

MÜHENDİSLİK

ALANINDA ULUSLARARASI ARAŞTIRMA VE DERLEMELER

Mart 2023

EDİTÖRLER

PROF. DR. COŞKUN ÖZALP

DOÇ. DR. SELAHATTİN BARDAK

DOÇ. DR. ERTAÇ HÜRDOĞAN

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi

Birinci Basım / First Edition • © Mart 2023

ISBN • 978-625-6399-84-6

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz. The right to publish this book belongs to Serüven

Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing

Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Telefon / Phone: 05437675765

web: www.seruyenyayinevi.com

e-mail: seruyenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

Mühendislik Alanında Uluslararası Araştırma ve Derlemeler

Mart 2023

Editörler

Prof. Dr. Coşkun ÖZALP
Doç. Dr. Selahattin BARDAK
Doç. Dr. Ertaç HÜRDOĞAN

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

YENİLEBİLİR MANTARLAR: BESLEYİCİ ÖZELLİKLERİ, NUTRASÖTİK DEĞERLERİ VE FONKSİYONEL BİLEŞEN OLARAK GIDALARDA KULLANIMLARI

Cemhan DOĞAN, Nurcan DOĞAN 1

BÖLÜM 2

YİNELEMELİ SİNİR AĞI İLE EEG SİNYALLERİNDEN AĞRI DERECELENDİRİLMESİ

Feyzi Alkım AKTAŞ, Aykut EKEN, 31

Osman EROĞUL..... 31

BÖLÜM 3

BULUT AĞ ORTAMINDA DERİN ÖĞRENME TABANLI DAĞITILMIŞ HİZMET REDDİ ALGILAMA VE SAVUNMA SİSTEMİ TASARIMI

Emine DENİZ, Soydan SERTTAŞ..... 45

BÖLÜM 4

BULUT AĞ ORTAMINDA DERİN ÖĞRENME TABANLI DAĞITILMIŞ HİZMET REDDİ ALGILAMA VE SAVUNMA SİSTEMİ TASARIMI

Abdulla SAKALLI, Muhittin DÖNER..... 55

BÖLÜM 5

KRİPTO MADENCİLİĞİNE GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEĞİNİN TEKNO-EKONOMİK ANALİZİ

Ali Murat ATEŞ..... 81

BÖLÜM 6

BİYOTİKLERİN ÖNEMİ VE SÜT SANAYİNDE KULLANIM OLANAKLARI

Vildan AKDENİZ..... 107

BÖLÜM 7

OTOMOTİV ÜRETİMİ SÜREÇLERİNDE PARETO ANALİZİ VE HTEA KULLANARAK KALİTE İYİLEŞTİRME

İrem DÜZDAR ARGUN, Enes GÜRSOY..... 129

BÖLÜM 8

MADEN YATAKLARININ İNCELENMESİNDE KULLANILAN BAZI DURAYLI İZOTOPLAR VE ÖZELLİKLERİ

Nevin KONAĞCI..... 139

BÖLÜM 9

DERİN ÖĞRENME ALGORİTMALARINDA KULLANILAN OPTİMİZER TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Serhat KILIÇARSLAN, Cemil KÖZKURT 153

BÖLÜM 10

DÜNYADA TÜRK MERMERLERİNİN YERİ VE ÖNEMİ

Esmâ KAHRAMAN 175

BÖLÜM 11

FİLAMENT SARMA TEKNOLOJİSİNİN TEMELLERİ VE ELYAF TAKVİYELİ PLASTİK KOMPOZİTLERİN İŞLENMESİ

Evren ÇAĞLARER 191

BÖLÜM 12

ENDÜSTRİYEL BUZ ÜRETİM YÖNTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

Muhammed ŞULE, Zühal OKTAY, 213

Can COŞKUN, Bahadır BİRECİKLİ 213

BÖLÜM 13

TEDARİK ZİNCİRİ TASARIMINDA MODELLEME YAKLAŞIMLARI VE SİMÜLASYON

Gülnehal AKAN ÖZKÖK..... 227

BÖLÜM 14

DETONASYON MOTORLU KOJENERASYON ÇEVİRİMLERİNİN EKSERJİ ANALİZİ

Arzu KEVEN..... 245

BÖLÜM 1

YENİLEBİLİR MANTARLAR: BESLEYİCİ ÖZELLİKLERİ, NUTRASÖTİK DEĞERLERİ VE FONKSİYONEL BİLEŞEN OLARAK GIDALARDA KULLANIMLARI

Cemhan DOĞAN¹, Nurcan DOĞAN²

1 Dr. Öğr. Üyesi, Yozgat Bozok Üniversitesi Boğazlıyan Meslek Yüksekokulu Gıda İşleme Bölümü cemhan.dogan@bozok.edu.tr <https://orcid.org/0000-0002-9043-0949>

2 Dr. Öğr. Üyesi, Yozgat Bozok Üniversitesi Boğazlıyan Meslek Yüksekokulu Gıda İşleme Bölümü nurcan.dogan@bozok.edu.tr <https://orcid.org/0000-0001-5414-1819>

1. GİRİŞ

Mantarlar, yüzyıllar boyunca besleyici değerleri yüksek olması yanında sağlık üzerine de ilave faydalar sağladığından fonksiyonel gıdalar olarak değerlendirilmişlerdir. Geçmişten günümüze kadar birçok mantar çeşidi, farklı ülkelerde gıda ve halk hekimliğinde ilaç olarak kullanılmış ve halende kullanılmaya devam etmektedir. İnsanoğlunun mantarlarla ilk tanışması Paleolitik çağa kadar dayanmaktadır (Wani vd., 2010). İnsanlık avcılık ve toplayıcılık dönemlerinde bu mucizevi besin kaynağını fark etmiş ve günlük diyetlerinin ayrılmaz parçası haline getirmiştir. Paleolitik çağdan itibaren mantarlar kutsal gıdalar olarak anılmışlardır. Firavunlar mantarları lezzetli gıdalar olarak kabul etmiş, Romalılar mantarları “Tanrıların yiyeceği” olarak adlandırmış, Yunanlılar ise savaşçılara güç veren kutsal yiyecekler olarak görmüşlerdir. Günümüzde de mantar üretim ve tüketim konusunda liderliği bırakmayan Uzak Doğu Ülkelerinden biri olan Çin kültüründe ise mantarlar sağlıklı gıda ve yaşam iksiri olarak değerlendirilmektedir (Singh vd., 2021).

Bilinen en az 12000 mantar türü olmakla birlikte bunlardan yaklaşık 2000 tanesi yenilebilir ve insan tüketimi için güvenli kabul edilirler. Yenilebilir mantarlar içerisinde 100 tanesi ekonomik olarak değerli mantarlar olarak bilinmekte, yaklaşık 60 tanesinin de ticari olarak üretimleri yapılmaktadır. Günümüzde ise yaklaşık 10 tane mantar endüstriyel olarak yetiştirilmektedir (Gupta vd., 2016). Mantarlar genel olarak yenilebilir mantarlar, tıbbi mantarlar, zehirli mantarlar ve diğer mantarlar (özellikleri tam olarak belirlenmemiş mantarlar) olmak üzere dört kategoriye ayrılmaktadır (El Sheikha ve Hu, 2018). Yenilebilir mantarlar içinde de büyük bölümünü oluşturan Basidiomycota ve azınlıkta olarak Ascomycota olmak üzere 2 büyük grupta sınıflandırılabilir. Bu mantarlar organik maddelerce zengin ve humuslu topraklarda, nemli ağaç kabuklarında, çeşitli hayvansal ve bitkisel atık ve/veya artık kaynakları üzerinde bulunabilir veya bazıları kültüre alınıp yetiştirilebilir (Zied vd., 2011). Yenilebilir mantarlar (makromantarlar), yeraltı (hypogeous) veya yer üstünde (epigeous) yetişebilen kendine özgü fruktifikasyon gövdelerine sahip yaşam formlarıdır (Miles ve Chang, 2004). Mantarları gastronomik olarak da üstün kılan da söz konusu bu fruktifikasyon yapılarıdır. Doğadan toplanan mantarlar, insanlar için önemli gıda kaynaklarından bir tanesi olup, insanoğlunun alışlagelmiş mantar tüketim şeklini temsil etmektedir. Ancak doğadan toplanan mantarlarda en önemli mesele bazı yenilebilir mantarların zehirli olanlarından fiziksel olarak ayırmanın zor olmasıdır. Mantar zehirlenmeleri önemli sağlık problemlerine sebep olmakla birlikte bazı cins ve türlerinin tüketiminde ölüm vakaları gözlenebilmektedir. Bu durum mantarların imajını zedelemekte ve tüketimi yaygınlaşmamaktadır. Bir diğer açıdan bakılacak olursa tüketim miktarlarının düşük olmasının bir diğer nedeni de

doğa mantarlarına yılın belli ve kısa dönemlerinde ulaşılabilir olmasıdır. Buna çözüm olarak gastronomik üstünlükleri olan bazı mantarlar kültüre alınmış ve iklimlendirilmiş özel odalarda yılın her mevsiminde yetiştirilebilmektedir. Kültür mantarlarının nispeten yetiştiriciliğinin kolay olması, az yer gerektirmesi, yüksek verim ve kısa yetiştirme periyodu (15-25 gün) ile doğadan toplanan mantarlara yakın besinsel ve biyoaktif özelliklere sahip olmasından dolayı avantajlıdır. Kültür mantarlarının üretimi ile tüketicilerin mantarlar hakkındaki olumsuz düşünceleri bertaraf edilmiş ve mantar tüketiminin artmasına katkı sağlanmıştır.

Yenilebilir mantarlar gastronomik üstünlükleri yanında, yüksek protein, mineral ve β -glukan içeriğine sahiptir (Mallikarjuna vd., 2013; Khan vd., 2018). Mantarlar, hayvansal kaynakların dışında nadir olarak bulunan D vitamininin ön vitamini olan ergosterol (Provitamin D₂) içeriği bakımından zengindir. Dolayısıyla mantarlar toplumda sayıları gün geçtikçe artan vejeteryan ve vegan beslenen bireyler için önemli bir D vitamini kaynağı olarak düşünülebilir (Rathore vd., 2017). Tüm bunlarla birlikte içeriğinde bulunan %2-6'lık düşük yağ oranı ile düşük kalorili gıdaların tercihinde önemli bir yere sahiptir. Her ne kadar yenilebilir mantarlar ile tıbbi mantarlar ayrı sınıflandırmaya tabi olsa da birçok yenilebilir mantarlar üstün biyoaktif ve tıbbi özelliklere sahiptir. Mantarlar yapısında bulundukları fenolik bileşikler sayesinde antioksidan, antimikrobiyal ve sağlık üzerine çeşitli faydaları yapısında barındırmaktadır (Doğan vd., 2021). Mantarlar antiviral (Joo Seo vd., 2021), antifungal (Alves vd., 2012), antibakteriyel (Morel vd., 2021) özellikleri ile üstün antimikrobiyal karaktere sahiptir. Önceki çalışmalarda mantarların antikolesterol (Emiljanowicz ve Malinowska-Pańczyk, 2020), antialerjik (Hetland vd., 2020), antikarsinojenik (Sivanesan vd., 2022), antihipertansif (Miyazawa vd., 2008), antidiyabetik (Doğan vd., 2021) vb. tıbbi özelliklerinin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yapısında bulunan kitin, hemiselüloz, β ve α -glukanlar, mannans, ksilanlar ve galaktanlar gibi zengin polisakkarit kaynakları prebiyotik özellik sergileyerek bağırsak mikrobiyotasını sitimüle etmektedir (Jayachandran vd., 2017). Mantarlarda bulunan polifenoller, diyet lifleri, oligosakkaritler, triterpenoidler, peptitler ve sindirilebilir proteinler, alkoller, mineraller, vitaminler, esansiyel amino asitler, doymamış yağ asitleri vb. bileşenlerin bağışıklık sistemini güçlendirdiği ve sağlık üzerinde ilave faydalar sağladığı deklare edilmiştir (Wani vd., 2010).

Dünyada yenilebilir mantarların genellikle taze olarak tüketilmesi tercih edilmektedir. Ancak mantarların taze haldeyken içermiş oldukları yüksek su oranı ve enzim içeriği raf ömürlerinin kısa olmasına sebep olmaktadır. Taze mantarlar soğuk hava depolarında ortalama 7-10 gün arası depolanabilmekle birlikte sürece bağlı olarak hızlı kalite kayıpları görülmektedir. Bundan dolayı mantarların raf ömrünü arttırmak için konserve,

kurutma ve dondurma gibi teknolojik yöntemler sıklıkla uygulanmaktadır. Ayrıca kurutulup toz haline getirilmiş veya püre haldeki çeşitli mantarlar birçok gıdanın formülasyonuna zenginleştirme amacı ile katılmaktadır (Doğan vd., 2020). Mantarların direk tüketimle, teknolojik işleme yöntemleri ile veya çeşitli gıdaların formülasyonlarında kullanılmasıyla söz konusu faydalarından yararlanılabileceği gibi son 20 yılda bu mantarların nutrasötik olarak kullanımında da artış kaydedilmiştir. Yenilebilir mantarlardan elde edilen birçok ticari ürün mevcuttur. *Lentinus edodes*'ten Lentinan, *Ganoderma lucidum*'dan Concord Sunchih ve Reishi Plus, *Grifola frondosa*'dan Grifon ve *Cordyceps militaris*'ten Didanosine gibi mantar kaynaklı nutrasötikler halihazırda piyasada satılanlardan bazılarıdır (Lakhanpal ve Rana, 2005).

Mantarlar yalnızca gıda olmanın ötesinde tıbbi özellikleri ile son yıllarda adından söz ettirmektedir. Ayrıca doğadaki atık ve/veya artık bileşenleri dönüştürebilme yeteneklerinden dolayı önemli ekolojik rol üstlenirler. Mantar üretimi ile söz konusu atık maddelerin değerli insan gıdasına dönüştürülebilmesi ile çevresel problemlere de çözüm üretilebilir. Bu kapsamda mantarlar denildiğinde gastronomi, gıda, sağlık, ekonomi, çevre, endüstri vb. birçok açıdan birlikte ele alınması gerekmektedir. Mantarlar doğanın bahsettiği önemli besin kaynaklarından birisi olup yeterince değerlendirilememekte ve hak ettiği önem gösterilmemektedir. Halbuki dünyada sınırlı kaynakların efektif değerlendirilmesinde mantarlar en başta üzerinde durulması gereken öğelerden birisi olarak görülmelidir. Bu nedenle mantarlar küresel ekonomiyi canlandıracak olması açısından gelecek vaat eden stratejik bir üründür. Ancak bu faydanın yalnızca doğadan toplanan mantarlar ile sağlanması güç olacaktır. Burada en büyük rol kültüre alınarak üretilen mantarlara düşmekte olup, yetiştiriciliğinde cins ve tür çeşitliliğinin artırılması gerekmektedir. Mantarlar insan tüketime uygun olmayan materyalleri katma değeri yüksek gıdalara dönüştürmesi açısından geleceğin gıdaları arasında yer almaktadır. Doğa mantarları ve kültür mantarları hakkında besinsel ve biyoaktif özellikleri açısından çalışmalar var olmakla birlikte gıda endüstrisinde uygulamaları hakkında sınırlı bilgi mevcuttur. Bu çalışma da yenilebilir mantarlar (doğa mantarları ve kültür mantarları) besleyici özellikleri, nutrasötik değerleri ve gıdalarda kullanımları açısından değerlendirilmiştir.

2. Mantarların Besleyici Özellikleri

Yenilebilir mantarların ilk dikkat çekici tarafı tabii ki de eşsiz tat ve lezzete sahip olmalarıdır. Bununla birlikte mantarlar sindirilebilir proteinler, karbonhidratlar, lifler, vitaminler, mineraller gibi primer metabolitleri yüksek oranda içermesi yanında antioksidanlar gibi sekonder metabolitleri de içerdiğinden dolayı çok yönlü besin kaynakları olarak kabul edilirler (Pereira vd., 2012). Taze mantarların kuru madde içeriği nispeten düşük

(~%10) olmakla birlikte karbonhidratlar, proteinler, diyet lifler ve mineraler maddelerce zengindir. Mantarların besin bileşenleri cins, tür, varyete, doğa mantarı, kültür mantarı, hasat zamanı, depolama vb. birçok faktöre göre değişebilmektedir. Mantarlar yüksek protein (%20–45 kuru madde) içermesi ve dokuz temel amino asidin tümünü barındırması açısından değerli gıda kaynaklarından (Kalač, 2009). Mantarda bulunan başlıca aminoasitler arasında glutamik asit, aspartik asit ve arginin sayılabilir. Bunların yanı sıra, olağandışı iki amino asit γ -amino bütirik asit ve kendine özgü fizyolojik aktiviteleri ile bilinen ornitin de bulunmuştur (Manzi vd., 1999). Mantar proteinlerinin sindirilebilirliği sebze, meyve ve süt gibi gıdaların oldukça üzerindedir. Esansiyel amino asitlerin toplam amino asitlere oranı o gıdanın protein kalitesi hakkında bir fikir verir. Bu oran mantarlarda son derece yüksektir. Bu durum mantarı esansiyel amino asitlerin alımında değerli kılmaktadır (X. M. Wang vd., 2014). Mantarların protein değerlerinin ete yakın olması, esansiyel aminoasitlerce zengin olması, birçok mantarın tekstürel olarak ete benzemesi, vejetaryen ve vegan beslenmede et ikame olarak tercih edilmesi gibi sebeplerden dolayı birçok kültürde halk arasında bitkisel et olarak adlandırılmaktadır (Lotfy vd., 2015).

Mantarlarda bulunan karbonhidratların büyük bir kısmını sindirelemeyen oligosakkaritler ve kitin, β -glukanlar ve mannanlar gibi nişasta olmayan polisakkaritler oluşturmakla birlikte mannitol, glikoz ve glikojen gibi sindirilebilir karbonhidratları da az da olsa içermektedir (Cheung, 2010). Mantarların karbonhidrat içeriği kuru madde de %13-65 arasında değişmektedir. Hatta bazı cinslerinde %70 oranına ulaşmaktadır. Ham lifler, sindirilemeyen bir karbonhidrat grubundan olup mantarlarda yüksek oranda bulunurlar. Lif gruplarının sindirim sistemini regüle ettiği, kan şekeri ve kolesterol seviyelerini düşürdüğü bilinmektedir (X. M. Wang vd., 2014). Mantar kaynaklı polisakkaritlerin büyük çoğunluğu, beta-glukanlar (1 \rightarrow 3, 1 \rightarrow 6) ve alfa-glukanlar (1 \rightarrow 3) gibi çeşitli glikozidik bağlara sahip doğrusal ve dallı glukanlar olarak bulunur. Özellikle beta-glukan mantarlarda hücre duvarında bulunan ana polisakkarit olup, bağışıklık sistemini güçlendirdiği, antimikrobiyal, antioksidan, antiviral, antifungal, anti-tümör, kolesterol düşürücü ve kan şekerini düzenleyici etki göstermektedir (Wasser, 2002).

Mantarların yağ içeriği genellikle düşük olmakla birlikte kuru madde de ortalama %5'den daha az olmakla birlikte doymamış yağ asitleri açısından zengindir. İçeriğinde bulunan doymamış yağ asitlerinin %75'den fazlasını da linoleik asit (C18:2) ve oleik asit (C18:1) oluşturmaktadır. C12:0, C14:0, C16:1 ve C18:0 gibi yağ asitlerini de az da olsa içermektedir (Díez ve Alvarez, 2001). Bir gıdanın yağ asidi profilinin değerlendirilmesinde doymamış ve doymuş yağ asitlerinin oranı önemli bir ölçüdür. Doymamış yağ asitlerinin doymuş yağ asitlerine oranı doğadan toplanan 5 mantar

çeşidi için 4.3 ile 12.7 arasında değişirken, kültür mantarları için bu oran 0.7-4.5 arasında bir değer gözlemlenmiştir (X. M. Wang vd., 2014). Linoleik asit üzerine yapılan *in vivo* çalışmalarda meme, prostat ve kolon kanserlerinde tümör oluşumunun hemen hemen tüm aşamalarında azaltmada ayrıca 5-lipoksijenaz metaboliti, 5-hidroksieikosatetraenoik asidi ve değiştirerek tümör hücresi büyümesini yavaşlatmada etkili olduğu tespit edilmiştir (J. H. Kim vd., 2005). Linoleik asit, aromatik bir bileşik olan 1-okten-3-ol mantar alkolünün öncü rolü olması nedeniyle mantarların lezzetine büyük katkı sağlar (Maga, 1981). Mantarların lipid fraksiyonu yağda eriyen vitaminler olan D, E ve K vitaminini içermektedir. Önemli bir antioksidan bileşen olan tokoferol (E vitamini) kaynağıdır. Mantarlar, D vitamininin öncü maddesi olan ergosterol içeren ve hayvansal olmayan tek besin kaynağıdır. Yapılan çalışmalarda mantarların belirli koşullar altında UV ışığına maruz kaldığında mantar sterolü olan ergosterolün, güneş ışığından gelen ultraviyole (UV) radyasyonu tarafından katalize edilen bir dizi fotokimyasal ve termal reaksiyon yoluyla D₂ vitaminine dönüştürüldüğünü (Ergokalsiferol) göstermektedir (Jasinghe ve Perera, 2005; Roberts vd., 2008). Mantarlar ayrıca tiamin, riboflavin, niasin, folik asit ve askorbik asit açısından zengindir. Kültür mantarları üzerine yapılan çalışmada B₂ vitamini, niasin ve folik asit açısından sırasıyla 1.8-5.1, 31-65 ve 0.30-0.64 mg/100 g kuru madde olarak tespit edilmiştir. Mantarlardaki riboflavin içeriği, genel olarak sebzelerde bulunandan daha yüksek olmakla birlikte *Agaricus bisporus*'un bazı varyetelerinde yumurta ve peynir kadar yüksek konsantrasyonlara sahip olduğu bildirilmiştir (Mattila vd., 2001). Mantarlar, genellikle sebzelerde bulunanlara benzer konsantrasyonlarda veya daha yüksek miktarlarda folat içerir (Cheung, 2010). Yenilebilir mantarlar çok çeşitli mineralleri içermekte olup, kül içeriği kuru madde de yaklaşık %4 ila %13 arasında değişmektedir. Mantarlar, insan sağlığı için gerekli olan mineralleri yüksek düzeyde içermesiyle karakterize edilirler. Mantarlardaki majör mineral bileşenler K, P, Na, Ca, Mg ve Fe iken Cu, Zn ve Mn gibi elementler ise minör bileşenleri oluşturmaktadır (X. M. Wang vd., 2014). Sebzelerle karşılaştırıldığında, mantarların birçok mineral madde için iyi bir kaynak olduğu görülmektedir.

3. Mantarların Biyoaktif Özellikleri, Terapötik ve Nutrasötik Değerleri

Hipokrat'ın 2500 yıl öncesinden söylediği “Besinler ilacımız, ilacınız besininiz olsun” (“Let food be your medicine and medicine be your food”) sözü adeta mantarlara addedilmiştir. Mantarlar gıda, ilaç ve nutrasötik alanlarında değerli hammaddelerden olup, kimyasal ve biyoaktif özellikleri son derece yüksek doğal biyodönüştürücülerdir. Mantarlar karbonhidratlar, lifler, proteinler, vitaminler, mineraller açısından zengin be-

sin kaynakları olduğu gibi aynı zamanda biyoaktif bileşiklerin de önemli bir kaynağı olarak bilinirler. Makro mantarlar tarafından sentezlenen çok sayıda molekülün biyoaktif olduğu bilinmektedir. Bu biyoaktif bileşikler arasında polisakkaritler, proteinler, yağlar, mineraller, glikozitler, alkaloidler, uçucu yağlar, terpenoidler, tokoferoller, fenolikler, flavonoidler, steroller, alkaloidler, karotenoidler, folatlar, lektinler, enzimler, askorbik asit ve diğer organik asitler sayılabilir. Bileşimindeki bu öğeler mantarlara muazzam tıbbi özellikler kazandırmaktadır. Mantarlar hipertansiyon, hiperkolesterolemi, diyabet, ateroskleroz, kanser vb. hastalıklarda terapötik gıdalar olarak kullanılmaktadır (Bobek ve Galbavý, 1999; Bobek vd., 1995). Uzakdoğu Ülkelerinde mantarlar tıbbi amaçlı olarak uzun yıllardır kullanılmakta iken Batı Ülkelerinin dikkatini çekmesi ile üretiminde ve tüketiminde artış kaydedilmiştir. Küresel makro mantar pazar değeri 1991 yılında 1.2 milyar ABD doları iken, 2021'de 50.4 milyar dolara ulaşmış olup 2028 yılında yaklaşık 100.1 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir (<https://www.zionmarketresearch.com/report/mushroom-market>, accessed on 15 october, 2022). Mantarlar çekici tadı, aroması ve yüksek besin değerine sahip olmaları yanında sağlığa ilave faydalar sağladığından fonksiyonel gıdalar olarak kabul edilirler. Son zamanlarda mantarlar potansiyel fonksiyonel gıdalar olarak anılması ile mantar bazlı fonksiyonel gıdalara olan talep artmıştır. Bu talebin doğmasında mantar fruktifikasyon yapıları ve miselleri üzerine yapılan biyoaktif ve tıbbi çalışmalar rol oynamaktadır (Doğan ve Doğan, 2021a; Doğan vd., 2021; G. Ma vd., 2021). Tıbbi özelliklerinin araştırılması ile yenilebilir mantarlar potansiyel nutrasötik kaynaklar olarak kabul edilmişlerdir (Krakowska vd., 2020).

Mantarlar, farklı türlerde sekonder metabolitleri içermektedir. Bu sekonder metabolitler genellikle normal büyüme ve üreme için gerekli olmayan ancak hayatta kalmasına yardımcı olan strese yanıt olarak üretilen düşük molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Mantarların tıbbi yönden fayda sağlamasında da söz konusu sekonder bileşiklerin yadsınamaz katkısı vardır. Biyolojik olarak aktif polisakkaritler benzersiz özelliklere sahiptir. Tıbbi mantarlardaki en önemli sekonder metabolitlerden birisi 1,3-β-glukanlardır. β-glukanlar hücrel bağışıklık yolunu güçlendirerek ve/veya bloke ederek etki gösteren antitümör aktiviteye sahip polisakkaritlerdir. Mantarlar farklı farmakolojik aktivite sağlayan fenolik bileşikler, poliketitler, terpenler, saponin, ergosterol ve steroidler gibi sekonder bileşikler açısından da son derece zengindir. Mantarların içerdiği söz konusu sekonder bileşikler onlara terapötik değer kazandırırken, nutrasötik olarak kullanımına zemin hazırlamaktadır. Çünkü bu biyoaktif bileşiklerin antimikrobiyal, antiviral, antioksidan, anti-inflamatuar, anti-tümör, anti-alerjik, anti-aging, anti-alzheimer gibi farmakolojik aktivitelere sahip olduğu bilinmektedir (Chaturvedi vd., 2018; Venturella vd., 2021). Yapılan çalış-

malarda bazı mantarların lipid ve nişasta için ana sindirim enzimleri olan pankreatik lipaz (Palanisamy vd., 2012), alfa-amilaz ve alfa-glukosidaz (Doğan ve Doğan, 2021b; Stojkovic vd., 2019) üzerine inhibitör etkilerinin olduğu deklere edilmiş ve diyabet ve obezite ile mücadelede kullanılabileceğine dikkat çekilmiştir. Tıbbi mantarlarda bulunan biyoaktif bileşiklerin ve polisakkaritlerin doğal antioksidan kaynağı olarak kanser gibi oksidatif stres ile ilgili hastalıkları olumlu yönde etkilediği bilinmektedir (P. Chen vd., 2015; Konno vd., 2015). Mantar ekstraktındaki polisakkarit β -glukanlar veya polisakkarit-protein komplekslerinin anti-diyabetik, anti-kanseröz, anti-obezite, immünomodülatör, hipokolesteremi, hepatoprotektif gibi birçok özelliğe sahip oldukları için insan sağlığı üzerinde büyük terapötik uygulamalara sahiptir (Chaturvedi vd., 2018). Mantarların sahip olduğu sekonder metabolitler sadece bağışıklık sistemini güçlendirmekle kalmayıp, belirli transdüksiyon yollarına da müdahale ederek spesifik hücresel tepkileri modüle etmektedir. *Pleurotus ostreatus*, hücre döngüsü düzenleyici protein sentezinin regüle ederek meme ve kolon kanserinde hücre çoğalmasını bloke etme yeteneğine sahip yenilebilir bir mantardır (Jedinak ve Sliva, 2008). Yapılan *in-vivo* ve *in-vitro* çalışmada *Pleurotus pulmonarius* özütünden izole edilen polisakkarit-protein kompleksinin PI3K/AKT sinyal yolunu inhibe ederek karaciğer kanseri gelişimini baskıladığı tespit edilmiştir. İnsan karaciğer kanserinde potansiyel olarak kullanılabileceği önerilmiştir (Xu vd., 2012). *Agaricus bisporus*'un metanolik ekstraktı ve mantar majör bileşeni olan konjuge linoleik asit, anjiyogenezin inhibisyonu ve protein kinaz B (AKT), hücre dışı regüle kinaz (ERK/AKT) ve nükleer faktör NF-kappa (NF6-B)'nın düzenlenmesi yoluyla prostat kanserini önleyen antiproliferatif ve proapoptotik aktiviteler sergilemektedir (Adams vd., 2008). *Pleurotus ostreatus*, *Agaricus bisporus*, *Cordyceps sinensis*, sağlığa zararlı olduğu bilinen endojen kolesterol sentezini engelleyen lovastatinin kaynağıdır. Lovastatin hiperkolesterolemi tedavisinde kullanılan kolesterol düşürücü olarak bilinen reçeteli bir ilaçların hammaddesidir. *Flammulina velutipes*, *Boletus edulis* ve *Agaricus blazei* ise γ -aminobütirik asit içermektedir. γ -aminobütirik asit (GABA) beyindeki majör inhibitör nörotransmitter olarak bilinmektedir. *Pleurotus citrinopileatus*, *Pleurotus eryngii* ve *Pleurotus ostreatus* ise ergotionein kaynağı olarak bilinirler (S. Y. Chen vd., 2012).

Fenolik bileşikler, genellikle mantar türlerinde bulunan minör metabolitler olarak bilinirler. Ancak mantar sekonder metabolitleri içinde önemli yerdedir ve mantarların sahip olduğu birçok tıbbi özellikler fenolik bileşiklerden kaynaklanmaktadır. Fenolikler antioksidan özellikler açısından zengin bileşiklerdir. Antioksidan içeren gıdalar vücuttaki aşırı serbest radikallerin etkilerine karşı koruma sağlarlar. Antioksidan karakterli bileşikler kanser, kardiyovasküler hastalıklar, diğer dejeneratif bozukluklar gibi bazı

kronik hastalıklar ve yaşlanma karşıtı etkiler gösterdiğinden son 20 yılda talep artmıştır (Shah ve Channon, 2004; Valko vd., 2006). Fenolik bileşikler ve antioksidanlar insan sağlığı için potansiyel avantajları nedeniyle, fonksiyonel gıdalar ve nutrasötik ajanlar olarak oldukça ilgi görmektedir. Mantarlar da bulunan fenolik bileşikler arasında fenolik asitler, tokoferoller, flavonoidler, tanninler ve diğer fenolikler (Pirogallol, grifolin, benzofenon, diaporthin, ortosporin ve hispidin) sayılabilir. Mantarda bulunan fenolik bileşiklerin antioksidan, antitümör, anti-inflamatuvar, anti-hiperglisemik, anti-osteoporotik, anti-tirozinaz ve antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu gözlemlenmiştir (Abdelshafy vd., 2021). Mantarların içerdiği polifenoller geniş çapta araştırılmıştır. Mantar fenolikleri arasında kafeik, p-kumarik, gallik, sinamik, trans sinamik asit, mirisetin, protokateşik, ferulik, klorojenik, sinapik, p-hidroksibenzoik, vanilik, salisilik ve siringik asitler ve flavonoid bileşikleri ekstraktlarda en fazla karşılaşılan polifenollerdendir (Bahadori vd., 2019; Yahia vd., 2017). Günümüzde mantar özleri, temel olarak bağışıklık fonksiyonunu güçlendirmesi ve antitümör aktivitesinden dolayı nutrasötikler adı altında ticarileştirilmektedir (Valverde vd., 2015). Tablo 1 de dünyada yaygın tüketimi olan mantarların taksonomisi, yaygın olarak bilinen isimleri, bileşimlerindeki aktif bileşik formu ve sağladığı tıbbi özellikler verilmiştir.

Tablo 1. Yaygın tüketimi olan bazı mantarların aktif bileşik formu ve tıbbi özellikleri

| Mantarların latince isimlendirilmesi | Taksonomisi/ yaygın adlandırmaları | Aktif bileşik | Tıbbi özellikleri | Kaynaklar |
|--|--|--|---|------------------------|
| <i>Agaricus bisporus</i> (J.E. Lange) Imbach | Basidiomycota/ Beyaz şapkalı mantar | (1→3), (1→6)-D-glucans | Tümör nekroz faktörü (TNF) ve nitrit oksit üretimini indükler | (Volman vd., 2010) |
| | | Ergotionein, serotonin | Alzheimer hastalığının ilerlemesini önler | (Muszyńska vd., 2011) |
| <i>Auricularia</i> spp. | Basidiomycota/ Ağaç kulağı mantarı | β -1,3-D-glukan, β -1,6-D -glukosil | Kanser hücrelerinin apoptozunu indükler | (Z. Ma vd., 2010) |
| <i>Agaricus blazei</i> Murriel | Basidiomycota/ Matsutake mantarı | Heteroglikan, Glikoprotein, Glucomannan-protein kompleks, β -1,3-D-glukan, β -1,6-D-glukan | Makrofajları, dendritik hücreleri ve granülositleri uyarır, Tümör Nekroz Faktörü, İnterferon ve İnterlökin üretimini indükler | (Firenzuoli vd., 2008) |

| | | | | |
|--|---|--|--|---|
| <i>Boletus edulis</i> Bull. | Basidiomycota/ Çörek mantarı, Porçini mantarı | Lektin Lovastatin, γ-aminobutirik asit ergotionein | Fare splenositlerinin mitojenitesini uyarır, insan hepatosit karsinom G2 (HepG2) ve HT-29 hücrelerinin çoğalmasını engeller LDL kolesterolü düşürür, kardiyovasküler riski azaltır, anti-inflamatuar, antihipertansif, romatoid artrit tedavi edicidir | (Zheng vd., 2007) (S. Y. Chen vd., 2012) |
| <i>Cantharellus cibarius</i> | Basidiomycota/ Kanlıca mantarı | Ergosterol, ergosterol peroksit ve serevisterol | Nükleer faktör kappa B (NF-κB) aktivasyonunu inhibe eder | (J. A. Kim vd., 2008) |
| <i>Cordyceps sinensis</i> (Berk.) Sacc. | Ascomycota/Çin tırtıl mantarı | Polisakaritler, nükleositler, steroller, proteinler | Hiperglisemik etki, sitotoksik aktivite, immünomodüler, antitümör etki, antibakteriyel aktivite, Antiinflamatuar | (Shashidhar vd., 2013) |
| <i>Flammulina velutipes</i> (Curtis) Singer | Basidiomycota/ Enoki mantarı, Kış mantarı | Glikoprotein, peptidoglikan, β-1,3-D-glukan | Sitokin üretimini arttırır, bağışıklık sistemini düzenler | (Yin vd., 2012) |
| <i>Grifola frondosa</i> (Dicks.:Fr.) SF Gray | Basidiomycota/ Maitake mantarı | Grifolan (1-6-monoglukozil- dallı β-1,3-d- glukan), proteoglikan, heteroglikan, galaktomannan | Makrofaj aktivasyonunu sağlar, IL-1, IL-6 ve TNF-α sekresyonunun indükler | (Matsui vd., 2001) |
| <i>Hericium erinaceus</i> (Bull.) Pers. | Basidiomycota/ Aslan yelesi | Heteroglikan, heteroglikan-peptid, β-1,3 dallı-β-1,2-mannan Diterpenler, Erinasin, Herisinoid | Pro-inflamatuar sitokinlerin ekspresyonunu arttırır, Nitrik oksit üretimini indükler Antiinflamatuar, nörokoruyucu etki, antitümör etki | (Lee vd., 2009) (Bailly ve Gao, 2020) |
| <i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler | Basidiomycota/ Şitaki mantarı | Lentinan, glukan, mannoglukan, proteoglikan, β-(1-6)-d-glukan, α-(1-3)-d-glukan | Sitotoksin üretimini arttırır, meme kanseri üzerinde sitotoksik etkiyi indükler | (Morales vd., 2020) |

| | | | | |
|--|---|---|---|--|
| <i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.) P. Kumm. | Basidiomycota/ İstiridyeye mantarı,kavak mantarı | Pleuran, heterogalaktan, proteoglikan | IL-4 ve IFN- γ sitokin üretimini indükler | (Gern vd., 2008) |
| | | Lovastatin | Kolesterolü düşürür | (S. Y. Chen vd., 2012) |
| | | Ergosterol | Antidiyabetik aktivite | (Xiong vd., 2018) |
| <i>Pleurotus eryngii</i> (DC.) Quéf. | Basidiomycota/ Kral mantarı | Polisakkaritler | β -amiloid kaynaklı nörotoksitenin modülasyonu, Alzheimer hastalığını iyileştirme | (C. J. Zhang vd., 2020) |
| <i>Pholiota nameko</i> (T. Itô) S. Ito & S. Imai | Basidiomycota/ Nameko mantarı | Polisakkaritler | Düşük yoğunluklu (LDL) kolesterol seviyesini düşürür, yüksek yoğunluklu (HDL) kolestreol seviyesini arttırır, koroner arterlerindeki patolojik değişiklikleri iyileştirir | (Joh vd., 1996) |
| <i>Morchella esculenta</i> | Ascomycota/Kuzu göbeği mantarı | Galaktomannan, β -1,3-D-glukan | Makrofajların aktivasyonunu sağlar | (H. L. Cui vd., 2011) |
| <i>Tremella fuciformis</i> Berk. | Basidiomycota/ Beyaz kuru kulağı | α -1,3-D-mannan, D-glukuronik asit | İnterlökinleri ekspresye etmek için önemli monositleri indükler | (De Baets ve Vandamme, 2001) |
| <i>Tuber melanosporum</i> Vittad. | Ascomycota/Siyah trüf mantarı | (1 \rightarrow 3)- β -glukanlar ve heteropolimerler | Proinflamatuar sitokinlerin salgılanmasını azaltır, immünomodülör ajan | (Tejedor- Calvo vd., 2020) |
| <i>Trametes versicolor</i> (L.) Lloyd | Basidiomycota/ Hindi kuyruğu mantarı | Polisakkarit peptit Krestin (PSK), β -1,3-glikosidik β -1,6-glikosidik dallarla bağ | Sitokinlerin ekspresyonunu arttırır; makrofaj fagositlerini uyarır, yüksek immünomodülör ve antikansorejen etki gösterir | (El Enshasy ve Hatti-Kaul, 2013) |
| <i>Volvariella volvacea</i> (Bull. ex Fr.) Singer | Basidiomycota/ Saman mantarı | (1 \rightarrow 3)- β -D-glucan | İmplant edilmiş tümörlere karşı büyüme inhibe edici aktivite sergileme | (Kishida vd., 1989) |

4. Mantarların Gıdalarda Kullanımları

Mantarlar tadı, aroması, lezzeti, besleyici değeri, yüksek diyet lif içeriği, tekstürel yapısı, düşük kalorisi yanında sahip olduğu biyoaktif özellikler sayesinde diğer gıda kaynaklarından ayrılır. Mantarlar hem gıda olarak hem de tıbbi özellikleri açısından değerlendirilmesi gereken nadir kaynaklardan birisidir. Gıda endüstrisinde mantarlar genellikle taze, kurutulmuş, konserve ve fermente edilmiş olarak ticarileştirilme şekline gidilmektedir. Mantarlar su içeriği yüksek olması yanında gelişmiş enzim sistemlerine sahip olan gıda kaynaklarından birisi olup raf ömürleri son derece kısadır. Bu durum kültür mantarları üretim ve tüketim miktarlarının artmamasının önündeki en büyük temel sorunlardan bir tanesidir. Bu sorunun bertarafı için taze tüketim yanında kurutulmuş, konserve ve fermente edilmiş hali de son yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır. Mantarlar yaygın ticarileştirilmiş şekli ile direk olarak tüketilebildiği gibi, mantarların son yıllarda birçok gıda formülasyonunda fonksiyonel bileşen olarak kullanımı da söz konusudur. Özellikle işlenmiş gıdalarda yaygın görülen bu durum, güvenli, fonksiyonel özellikleri bilinen mantarların ve/veya biyoaktif bileşenlerinin bir başka gıdanın formülasyonunda kullanılabilmesine imkân tanımaktadır. Bunun da ötesinde nutrasötik olarak da farklı sektörde de kullanılabilir. Ancak bilinçli tüketiciler arasındaki yaygın yaklaşım günlük diyetlerindeki gıdaların doğal gıda kaynakları ile zenginleştirilmesi yönünde olup, bu trend son yılların en popüler konuları arasındadır. Bu yaklaşımla çeşitli mantarlar; makarna, erişte, kek, cips, kraker, atıştırmalık ürünler, ekmek, köfte, sucuk, sosis vb. birçok gıda formülasyonunda kullanılmış olup, gıdalara besleyicilik, biyoaktif, tekstürel, duyuşsal, mikrobiyolojik ve tıbbi olarak birçok avantaj sağlandığı bilindiğinden tercih edilmektedir. Mantarların yüksek diyet lif, β -glukan, protein, mineral ve vitaminleri içermesi gıdaların besleyici değerlerinin artırılmasında en çok yararlanan öğelerindendir. Bunun yanında mantarların antioksidan değerlerinin yüksek olması gıdalarda lipit peroksidasyonunu geciktirdiğinden dolayı raf ömrünü uzatmakta olup, sahip olduğu biyoaktif bileşikler antimikrobiyal özellikler kazandırarak patojenlerin kontrolünde kullanılmaktadır. Ayrıca antidiyabetik, antikanserijen, antiinflamatuvar, antikolesterol, nörokoruyucu ve kardiyovasküler etki vb. tıbbi faydaları gerekçesi ile taze mantarlar, kurutulmuş formları, ekstraktları, saflaştırılmış formları gıdalarda fonksiyonel bileşen olarak en fazla tercih edilen unsurlardandır. Tablo 2 de yaygın tüketimi olan bazı mantarların gıdalarda kullanımı ve gösterdikleri faydalar verilmiştir.

Bir başka açıdan bakılacak olursa mantarlar et kalitesine yakın protein içeriğine sahip ender bitkisel kaynaklardan olup tekstürel olarak da ete çok yakındır. Bu durum mantarları vejetaryen, vegan ve sağlık açısından et tüketemeyen bireyler için vazgeçilmez kılmaktadır. Ayrıca mantarlar içer-

miş oldukları glutamik ve aspartik amino asitler gibi serbest amino asitlerin sodyum tuzlarının mevcudiyeti nedeniyle umami lezzettedir (Y. Zhang vd., 2013). Umami lezzet birçok gıdada lezzeti arttırmak için kullanılan gıda katkı maddelerinden (mono-sodyum glutamat) bir tanesidir. Bundan mütevellit mantarlar birçok gıda formülasyonunda birçok özelliğinin yanı sıra gıda aromalandırıcı olarak da tercih edilebilir. Kurutulmuş *Lentinula edodes* mantarından umami peptitler (2 tripeptit ve 3 dipeptit) hidrolizati ile izole edilmiş olup bu peptitlerin, mantarın spesifik tadından sorumlu olduğu düşünülmektedir. Bu peptitlerin ayrıca diğer lezzeti etkileyen bileşikler ile etkileşime girerek lezzetin artmasına katkı sağlarlar (Kong vd., 2019). Feng vd. (2019) tarafından yapılan çalışma da *Agaricus bisporus*'dan izole edilen Gly-Leu-Pro-Asp ve Gly-His-Gly-Asp gibi umami tat peptitlerinin kokumi tadı üzerinde anahtar molekül olarak hareket ettiği bildirilmiştir. Kokumi tadı, kendi başına hafif bir tadı veya hiç tadı olmayan bileşikler olup tatlı, tuzlu ve umami gibi temel tatların lezzetini artırma ile bilinirler. *Agaricus bisporus*'tan izole edilen bu peptitlerin boş bir tavuk suyuna dahil edildiğinde ağız doluluğu ve ete yakın karmaşıklık bir tat gibi yeni tat duyularını ortaya çıkarabildiği ortaya atılmıştır. Myrdal Miller vd. (2014) tarafından et ikamesi olarak *Agaricus bisporus*'un kullanıldığı bir çalışmada yemekteki tuzun azaltılmasına bağlı olarak lezzet kaybı yaşanmadığı dolayısıyla gıda formülasyonlarına mantar ilavesinin sodyumun azaltılmasında kullanılabileceği belirtilmiştir. Mantarlar ayrıca düşük sodyum içeriği yanında B₁, B₂, B₁₂, C, D, E, niasin ve folat gibi çeşitli vitaminleri de bünyesinde barındırırlar (Valverde vd., 2015). Vitamin D vitamini genellikle hayvansal kaynaklı vitaminlerden birisi olup ender olarak mantarlarda da bulunur. Bu durum mantarların vejetaryen ve vegan beslenme tipinde değerlendirilmesi gereken önemli bir diğer durumdur. Tüm bu açılardan bakıldığında mantarlar direk gıda kaynağı olarak kullanılabileceği gibi emsal besin kaynaklarına göre daha ekonomik olması yanında sağlık açısından da ilave faydalar sağlaması gıda formülasyonlarında kullanılmasını cazip hale getirmektedir.

Tablo 2. Yenilebilir mantarlar ve gıdalarda kullanımları

| Mantar | Gıdalarda kullanımları | Faydaları | Kaynaklar |
|-----------------------------|--|---|----------------------------|
| <i>Agaricus bisporus</i> | Meyye suyu zenginleştirme (5g gluklan/gün) | Tümör nekroz faktörü (TNF) ve nitrit oksit üretimini indükler | (Volman vd., 2010) |
| | Kıymaya %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında ilave | Duyusal ve tekstürel özelliklerinde azalma olmadan sodyum ve yağ içeriğini azaltması ile daha sağlıklı ürün sunma | (Wong vd., 2019) |
| <i>Agaricus blazei</i> | Sosise %1, %2 ve %4 oranında mantar tozu ilavesi | Sosislerde depolama periyodu boyunca oksidatif ve mikrobiyolojik stabilitesi artmıştır. | (Stefanello vd., 2015) |
| | Mantarın yapısındaki alkol dehidrogenaz enzimi sayesinde şarap, bira ve sake yapımında kullanımı | Kontrol grubuna göre aynı sürede eşit alkol konsantrasyonuna ulaşılmıştır. <i>S. cerevisiae</i> sadece aerobik koşullarda alkol üretmez iken mantar kullanılan örneklerde hem aerobik hem de anaerobik koşullarda alkol üretilebilmiştir. Mantar şarapları ayrıca %0,68 β-Dglukan içermiştir. | (Okamura-Matsui vd., 2003) |
| <i>Boletus edulis</i> | %1, %3 ve %5 ekstrakt ile hamburger köftesine ilave | Lipit peroksidasyonuna karşı koruma sağlanmış ve köftelerin raf ömrü uzatılmıştır. | (Barros vd., 2011) |
| <i>Flammulina velutipes</i> | Taze Orkinos balıklarına ekstrakt (3 mg ergotionein) ilavesi | Yüksek antioksidan aktivite göstermiş ve lipit oksidasyonunu baskılamıştır. Ayrıca renk stabilizasyonunu sağlayarak balıkların raf ömrü uzatılmıştır. | (Bao vd., 2009) |
| | Keçi etinden yapılan nuggetlara %2, %4 ve %6 oranlarında mantar sap (toz) atık materyal ilavesi | Pişirme verimini, diyet lif içeriğini ve mineral içeriğini arttırmış, aynı zamanda lipit oksidasyonunu engelleyerek raf ömrünü uzatmıştır. | (Banerjee vd., 2020) |
| | Peynir üretiminde rennet ikamesi olarak kullanımı | Kontrol grubuna göre verimde, protein ve yağ geri kazanımı açısından fark gözlemlenmemiştir. 6 aylık depolama periyodu boyunca acı tat gelişimi olmamıştır. | (Okamura-Matsui vd., 2003) |
| | Yapısındaki alkol dehidrogenaz enzimi sayesinde şarap yapımında kullanımı | Mantar ile fermente edilen şaraplarda trombin pıhtılaşma süresini kontrole göre 2.2 kat uzatarak tromboz önleyici aktivite göstermiştir | (Jang vd., 2002) |
| | Elma sularında liyofilize mantar tozu olarak kullanımı | Elma sularında esmerleşmeyi engellemiştir. | |

| | | | |
|----------------------------|--|---|--|
| <i>Grifola frondosa</i> | Mantar içeren besiyerinin ekmeğin üretiminde kullanımı | Ekmeğin üretiminde <i>S. cerevisiae</i> ya karbonhidrat desteği sağlanmış ve alkol fermantasyonu hızlanmıştır. | (Okamura-Matsui vd., 2003) |
| <i>Lentinula edodes</i> | Fermente sucuklara mantar sap ekstraktı ilavesi | Yüksek antioksidan, patojen mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal aktivite ve duyuşal özellikler açısından kontrole göre yüksek skor | (Van Ba vd., 2017) |
| | (1-6)- β -bağlı yan zincirlere sahip (1-3)- β -glukanların mantardan fraksiyonu ile keklerin β -glukanlarca zenginleştirilmesi | Keklerde kalite kaybı olmadan diyet lif içeriği zenginleştirilmiş ve kalorisi düşürülmüştür. | (J. Kim vd., 2011) |
| | Ekmeğin yapımı için buğday ununa mantar sapından izole edilmiş %5 kitin ilavesi | Ekmeğin nem kaybı azalmış, depolama özelliklerinde iyileşme ve mikrobiyal yükte azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca protein ve fiber içeriği açısından zengin ekmeğin eldesi | (Yen vd., 2011) |
| <i>Pleurotus ostreatus</i> | %4, %8 ve %12 oranlarında mantar tozu ile köftelerin zenginleştirilmesi | Köftelerin protein, kül değeri ve su tutma kapasitesi artmış, pişirme kayıpları ise azalmıştır. | (El-Refai vd., 2014) |
| | %13.18 ve %40 oranları arasında mantar tozu ilavesi ile buğday cipsi üretimi | Cipslerin yağ oranlarında %37.07 azalma, protein değeri artmış ve aynı zamanda cipslere antioksidan karakteristlik kazandırılmıştır. | (Doğan vd., 2020) |
| | %2, %4 ve %6 oranlarında mantar tozunun tavuk soslerine ilavesi | Sosislerin diyet lif ve β -glukan değerlerinde artış, toplan yağ içeriğinde ise düşüş sağlanmıştır. | (Rosli vd., 2015) |
| | %2-10 arasında mantar tozunun erişteye ilavesi | Protein içeriği, antioksidan kapasitesi, fiber içeriği artırılmıştır. | (Arora vd., 2018) |
| | %2-10 arasında mantar tozunun erişteye ilavesi | Mantar tozu eklenen soslerde su tutma kapasitesi ve emülsiyon stabilitesi artmıştır. Sosislerin duyuşal ve kimyasal kompozisyonlarında değişiklik olmamıştır. Kimyasal gıda katkı maddelerinin azaltılarak daha sağlıklı ürün sunma | (Hleap-Zapata ve Rodríguez-de-la-Pava, 2021) |
| | Kırmızı Tilapia balıklarından üretilen soslere sodyum pirofosfatın kısmi ikamesi olarak mantar tozu kullanma | | |

| | | | |
|-----------------------------|--|--|----------------------------|
| <i>Pleurotus eryngii</i> | Ekmek yapımı için buğday ununa %0, %5 ve %10 mantar tozu ilavesi | Mantar tozu ilaveli ekmekler daha yüksek konsantrasyonlarda tiamin, riboflavin ve pantotenik asit içermiştir. En önemlisi, genellikle buğday ekmeğinde bulunmayan biyotin, kobalamin ve kolekalsiferol kazandırılmıştır. | (Gaglio vd., 2019) |
| | Kurabiyelere mantar tozu ilavesi | Toplam fenolik madde içerikleri ve antioksidan içeriği artmış daha sağlıklı ürün eldesi | (Y. J. Kim vd., 2010) |
| <i>Tricholoma matsutake</i> | Bira üretiminde kullanımı | Bira üretiminde <i>S. cerevisiae</i> nın yerine başarılı bir şekilde kullanılmıştır. | (Okamura-Matsui vd., 2003) |

Mantarların gıda formülasyonlarına dahil edilmesi ile çalışmalar limitlidir. Mantarlar bilinen en eski gıda kaynaklarından biri olmasına rağmen endüstriyel olarak beklenen yere ulaşamamıştır. Mantarların mucizevi gıda kaynakları olması yanında raf ömürlerinin düşük olması mantarların gıda bileşeni olarak kullanımını dahi kısıtlamıştır. Halbuki raf ömrü kısa olan bu değerli kaynak toz ve ekstrakt formda veya biyoaktif bileşenlerin fraksiyonu şeklinde çeşitli gıdaların formülasyonlarında kullanılabilir. Mantarlar işlenmiş gıdaların kalite özelliklerini ve sağlığa yararlı etkilerini artırmak için çeşitli ürünlerde direkt olarak kullanılabilir ve/veya dolaylı olarak enzimlerin veya diğer fonksiyonel bileşiklerin yerine kullanılabilir. Gıda endüstrisinde mantarların fonksiyonel bileşen olarak kullanımının teşvik edilmesi gerekmektedir.

5. SONUÇ

Gıdaların fonksiyonalitesini geliştirmek amaçlı doğal ve alternatif kaynakların kullanımı ve bunlar hakkındaki araştırmalar sürekli olarak artmaktadır. Yenilebilir mantarlar, birçok özelliği bünyesinde barındıran ancak tam potansiyelleri henüz açığa çıkarılmamış gıda endüstrisi için umut verici doğal kaynaklardır. Bazı mantar türlerinin besleyici değerlerinin yanında biyoaktif bileşikleri de içermesi onların fonksiyonel gıdalar kategorisinde değerlendirilmesine ve potansiyel diyet takviyeleri olarak kullanımına imkân tanımıştır. Mantarlara tıbbi özellikler kazandıran biyoaktif bileşiklerin varlığı yapılan çeşitli çalışmalarla gösterilmiştir. Mevcut durum göz önüne alındığında gerek doğa mantarları olsun gerekse de kültür mantarları olsun biyoaktif bileşenlerin araştırılması henüz yetersizdir. Mantarlar üzerine yapılacak ileriki çalışmalar bazı dejeneratif hastalıkların önlenmesi ve tedavisinde mantar fitokimyasalların etki mekanizmalarını daha fazla tanımamıza ve anlamamıza yardımcı olacaktır. İşlenmiş gıda endüstrisine talep gün geçtikçe artmaktadır. Bilinçli tüketiciler son zamanlarda doğala dönüş çabası içerisindeyler. Özellikle işlenmiş gıdalar içerisinde sentetik yöntemlerle sağlanan faydaların doğal kaynaklardan

sağlanabiliyor olması aranan özelliklerden birisi haline gelmiştir. Bu taleplerin arasında yeni geliştirilmiş ürünler yer almakla birlikte günlük diyetle daha çok tüketilen gıdaların doğal yenilebilir bir başka gıda kaynağı ile var olan bir endüstriyel sorunun giderilmesi, besin değerinin artırılması, tıbbi özellik kazandırılması, sürdürülebilir olmayan bir kaynağın analogu olarak kullanılabilmesi vb. faydalar sağlaması da beklenmektedir. Yenilebilir mantarların direkt, püre, toz, ekstrakt, liyofilize veya biyoaktif bir bileşenin fraksiyonu olarak çeşitli gıdalarda kullanımları ve sağlamış olduğu faydalar bilinmektedir. Ancak bilindiği kadarı ile mantarların gıda formülasyonlarına dahil edilmesi ile çalışmalar limitlidir. Mantar biyoaktif bileşenleri üzerine yapılan çalışmalar arttıkça gıda uygulamalarının da artacağı aşikardır. Dünyada yaygın tüketimi olan yenilebilir mantarların biyoaktif bileşenlerinin ve tıbbi özelliklerinin kategorize edilmesi ve yine söz konusu mantarların çeşitli formlarının güncel gıda uygulamaları ve faydalarının işlendiği bu çalışma, bilim camiasına ve işlenmiş gıda endüstrisinde araştırma geliştirme faaliyetlerine önem veren kuruluşlar için değerli bilgiler sunmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abdelshafy, A. M., Belwal, T., Liang, Z., Wang, L., Li, D., Luo, Z., Li, L. 2021. “A comprehensive review on phenolic compounds from edible mushrooms: Occurrence, biological activity, application and future prospective”. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1898335>, *62*(22), 6204–6224.
- Adams, L. S., Phung, S., Wu, X., Ki, L., Chen, S. 2008. “White Button Mushroom (*Agaricus Bisporus*) Exhibits Antiproliferative and Proapoptotic Properties and Inhibits Prostate Tumor Growth in Athymic Mice”. <http://dx.doi.org/10.1080/01635580802192866>, *60*(6), 744–756.
- Al Rai, A., Stojanovska, E., Akgul, Y., Khan, M. M., Kilic, A., Yilmaz, S. 2021. “Fabrication of co-PVDF/modacrylic/SiO₂ nanofibrous membrane: Composite separator for safe and high performance lithium-ion batteries”. *Journal of Applied Polymer Science*, *138*(7), 49835.
- Altan, A., Aytac, Z., Uyar, T. 2018. “Carvacrol loaded electrospun fibrous films from zein and poly(lactic acid) for active food packaging”. *Food Hydrocolloids*, *81*, 48–59.
- Alves, M., Ferreira, I. F. R., Dias, J., Teixeira, V., Martins, A., Pintado, M. 2012. “A review on antimicrobial activity of mushroom (basidiomycetes) extracts and isolated compounds”. *Planta Medica*. Bentham Science Publishers.
- Ardi, A., Fauzi, A., Rajak, A., Khairurrijal, K. 2021. “The effect of rotational speed of rotary forcespinning to the morphology of polyvinylpyrrolidone (PVP) fibers with garlic extract”. *Materials Today: Proceedings*, *44*, 3403–3407.
- Arora, B., Kamal, S., Sharma, V. P. 2018. “Nutritional and quality characteristics of instant noodles supplemented with oyster mushroom (*P. ostreatus*)”. *Journal of Food Processing and Preservation*, *42*(2), e13521.
- Aytac, Z., Ipek, S., Durgun, E., Tekinay, T., Uyar, T. 2017. “Antibacterial electrospun zein nanofibrous web encapsulating thymol/cyclodextrin-inclusion complex for food packaging”. *Food Chemistry*, *233*, 117–124.
- Bahadori, M. B., Sarikurkcu, C., Yalcin, O. U., Cengiz, M., Gungor, H. 2019. “Metal concentration, phenolics profiling, and antioxidant activity of two wild edible *Melanoleuca* mushrooms (*M. cognata* and *M. stridula*)”. *Microrochemical Journal*, *150*, 104172.
- Bailly, C., Gao, J. M. 2020. “Erinacine A and related cyathane diterpenoids: Molecular diversity and mechanisms underlying their neuroprotection and anti-cancer activities”. *Pharmacological Research*, *159*, 104953.
- Banerjee, D. K., Das, A. K., Banerjee, R., Pateiro, M., Nanda, P. K., Gadekar, Y. P., ... Lorenzo, J. M. 2020. “Application of Enoki Mushroom (*Flammulina Velutipes*) Stem Wastes as Functional Ingredients in Goat Meat Nuggets”. *Foods* 2020, Vol. 9, Page 432, *9*(4), 432.
- Bao, H. N. D., Ushio, H., Ohshima, T. 2009. “Antioxidative Activities of Mushroom (*Flammulina velutipes*) Extract Added to Bigeye Tuna Meat: Dose-De-

- pendent Efficacy and Comparison with Other Biological Antioxidants”. *Journal of Food Science*, 74(2), C162–C169.
- Barros, L., Barreira, J. C. M., Grangeia, C., Batista, C., Cadavez, V. A. P., Ferreira, I. C. F. R. 2011. “Beef burger patties incorporated with *Boletus edulis* extracts: Lipid peroxidation inhibition effects”. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 113(6), 737–743.
- Bobek, P., Galbavý, Š. 1999. “Hypocholesterolemic and antiatherogenic effect of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in rabbits”. *Nahrung - Food*, 43(5), 339–342.
- Bobek, P., Ozdin, L., Kuniak, L. 1995. “The effect of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*), its ethanolic extract and extraction residues on cholesterol levels in serum, lipoproteins and liver of rat”. *Food / Nahrung*, 39(1), 98–99.
- Bugatti, V., Vertuccio, L., Viscusi, G., Gorrasi, G. 2018. “Antimicrobial Membranes of Bio-Based PA 11 and HNTs Filled with Lysozyme Obtained by an Electrospinning Process”. *Nanomaterials 2018*, Vol. 8, Page 139, 8(3), 139.
- Canbay-Gokce, E., Akgul, Y., Gokce, A. Y., Tasdelen-Yucedag, C., Kilic, A., Has-sanin, A. 2020. “Characterization of solution blown thermoplastic polyurethane nanofibers modified with *Szygium aromaticum* extract”. *Journal of the Textile Institute*, 111(1), 10–15.
- Chaturvedi, V. K., Agarwal, S., Gupta, K. K., Ramteke, P. W., Singh, M. P. 2018. “Medicinal mushroom: boon for therapeutic applications”. *3 Biotech*, 8(8), 1–20.
- Chen, P., Yong, Y., Gu, Y., Wang, Z., Zhang, S., Lu, L. 2015. “Comparison of Antioxidant and Antiproliferation Activities of Polysaccharides from Eight Species of Medicinal Mushrooms”. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 17(3), 287–295.
- Chen, S. Y., Ho, K. J., Hsieh, Y. J., Wang, L. T., Mau, J. L. 2012. “Contents of lovastatin, γ -aminobutyric acid and ergothioneine in mushroom fruiting bodies and mycelia”. *LWT*, 47(2), 274–278.
- Cheung, P. C. K. 2010. “The nutritional and health benefits of mushrooms”. *Nutrition Bulletin*, 35(4), 292–299.
- CİHANBEYOĞLU, G., YANILMAZ, M. 2022. “Morphology investigation of porous carbon nanofibers”. *European Journal of Science and Technology*, 34(34), 160–163.
- Cui, H., Bai, M., Lin, L. 2018. “Plasma-treated poly(ethylene oxide) nanofibers containing tea tree oil/ β -cyclodextrin inclusion complex for antibacterial packaging”. *Carbohydrate Polymers*, 179, 360–369.
- Cui, H., Bai, M., Rashed, M. M. A., Lin, L. 2018. “The antibacterial activity of clove oil/chitosan nanoparticles embedded gelatin nanofibers against *Escherichia coli* O157:H7 biofilms on cucumber”. *International Journal of Food Microbiology*, 266, 69–78.

- Cui, H. L., Chen, Y., Wang, S. S., Kai, G. Q., Fang, Y. M. 2011. "Isolation, partial characterisation and immunomodulatory activities of polysaccharide from *Morchella esculenta*". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(12), 2180–2185.
- Cui, T., Yu, J., Li, Q., Wang, C.-F., Chen, S., Li, W., ... Wang, G. F. 2020. "Large-Scale Fabrication of Robust Artificial Skins from a Biodegradable Sealant-Loaded Nanofiber Scaffold to Skin Tissue via Microfluidic Blow-Spinning". *Advanced Materials*, 32(32), 2000982.
- Dadol, G. C., Lim, K. J. A., Cabatingan, L. K., Tan, N. P. B. 2020. "Solution blow spinning–polyacrylonitrile–assisted cellulose acetate nanofiber membrane". *Nanotechnology*, 31(34), 345602.
- De Baets, S., Vandamme, E. J. 2001. "Extracellular Tremella polysaccharides: structure, properties and applications". *Biotechnology Letters*, 23, 1361–1366.
- Dias, F. T. G., Rempel, S. P., Agnol, L. D., Bianchi, O. 2020. "The main blow spun polymer systems: processing conditions and applications". *Journal of Polymer Research*, 27(8), 1–23.
- Díez, V. A., Alvarez, A. 2001. "Compositional and nutritional studies on two wild edible mushrooms from northwest Spain". *Food Chemistry*, 75(4), 417–422.
- Doğan, N., Doğan, C. 2021a. "İstiridye Mantarının (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm.) Farklı Flaş Zamanlarına Göre Antioksidan Aktivitesinin ve Hiperglisemide Anahtar Enzim Rolü Olan α -amilaz ve α -Glukozidaz İnhibisyon Potansiyelinin Belirlenmesi". 2021 KSU J. Agric Nat, 24(6), 1177–1186.
- Doğan, N., Doğan, C. 2021b. "*Pleurotus eryngii*' nin Misel Biyokütlesinin ve Farklı Olgunlaşma Seviyesindeki Gövdelerinin Ekstraksiyonunun Optimizasyonu ve Antidiyabetik Özelliklerinin Belirlenmesi". *The Journal of Fungus Nisan*, 12(1).
- Doğan, N., Doğan, C., Atila, F. 2021. "Parts from life-cycle of *h.erinaceus*: Response surface methodology approach to optimize extraction conditions and determination of its antioxidant, antidiabetic and antimicrobial effect". *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 10(6), 1–6.
- Doğan, N., Doğan, C., Çam, M., Hayoğlu, İ. 2020. "Optimization and comparison of three cooking methods for wheat flour-oyster mushroom (*P. ostreatus*) powder composite chips". *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(11), e14873.
- Doğan, N., Doğan, C., Eticha, A. K., Gungor, M., Akgul, Y. 2022. "Centrifugally spun micro-nanofibers based on lemon peel oil/gelatin as novel edible active food packaging: Fabrication, characterization, and application to prevent foodborne pathogens *E. coli* and *S. aureus* in cheese". *Food Control*, 139, 109081.

- El-Refai, a, El-Zeiny, a R., Rabo, E. a E. a. 2014. "Quality attributes of mushroom-beef patties as a functional meat product.". *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 6, 49–62. Tarihinde adresinden erişildi [http://www.jhed.mk/filemanager/JHED Vol 6/02. FQS/01. Ahmed El-Refai.pdf](http://www.jhed.mk/filemanager/JHED_Vol_6/02_FQS/01_Ahmed_El-Refai.pdf)
- El Enshasy, H. A., Hatti-Kaul, R. 2013. "Mushroom immunomodulators: unique molecules with unlimited applications". *Trends in Biotechnology*, 31(12), 668–677.
- El Sheikha, A. F., Hu, D. M. 2018. "How to trace the geographic origin of mushrooms?". *Trends in Food Science & Technology*, 78, 292–303.
- Emiljanowicz, K. E., Malinowska-Pańczyk, E. 2020, Ekim 27. "Kombucha from alternative raw materials–The review". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Taylor & Francis.
- Feng, T., Wu, Y., Zhang, Z., Song, S., Zhuang, H., Xu, Z., ... Sun, M. 2019. "Purification, Identification, and Sensory Evaluation of Kokumi Peptides from *Agaricus bisporus* Mushroom". *Foods* 2019, Vol. 8, Page 43, 8(2), 43.
- Firenzuoli, F., Gori, L., Lombardo, G. 2008. "The Medicinal Mushroom *Agaricus blazei* Murrill: Review of Literature and Pharmacotoxicological Problems". *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 5(1), 3–15.
- Gaglio, R., Guarcello, R., Venturella, G., Palazzolo, E., Francesca, N., Moschetti, G., ... Gargano, M. L. 2019. "Microbiological, chemical and sensory aspects of bread supplemented with different percentages of the culinary mushroom *Pleurotus eryngii* in powder form". *International Journal of Food Science & Technology*, 54(4), 1197–1205.
- Gern, R. M. M., Wisbeck, E., Rampinelli, J. R., Ninow, J. L., Furlan, S. A. 2008. "Alternative medium for production of *Pleurotus ostreatus* biomass and potential antitumor polysaccharides". *Bioresource Technology*, 99(1), 76–82.
- Göksen, G., Fabra, M. J., Ekiz, H. I., López-Rubio, A. 2020. "Phytochemical-loaded electrospun nanofibers as novel active edible films: Characterization and antibacterial efficiency in cheese slices". *Food Control*, 112, 107133.
- Gupta, S., Summuna, B., Gupta, M., Mantoo, A. 2016. "Mushroom cultivation: A means of nutritional security in India". *Asia-Pacific Journal of Food Safety and Security*, 2(1), 3–12. Tarihinde adresinden erişildi <http://apjfs.wix.com/apjfs>
- Hetland, G., Tangen, J. M., Mahmood, F., Mirlashari, M. R., Nissen-Meyer, L. S. H., Nentwich, I., ... Johnson, E. 2020. "Antitumor, Anti-inflammatory and Antiallergic Effects of *Agaricus blazei* Mushroom Extract and the Related Medicinal Basidiomycetes Mushrooms, *Hericium erinaceus* and *Grifola frondosa*: A Review of Preclinical and Clinical Studies". *Nutrients* 2020, Vol. 12, Page 1339, 12(5), 1339.
- Hleap-Zapata, J. I., Rodríguez-de-la-Pava, G. C. 2021. "Evaluation of oyster mushroom powder (*Pleurotus ostreatus*) as a partial substitute for phospho-

- tes in red tilapia fillet sausage”. *British Food Journal*, 123(6), 2107–2122.
- <https://www.zionmarketresearch.com/report/mushroom-market>. y.y. “Mushroom Market Growth, Size, Share, Demand, Trend and Global Analysis”. Tarihinde 15 Ekim 2022, adresinden erişildi <https://www.zionmarketresearch.com/report/mushroom-market>
- Jang, M. S., Sanada, A., Ushio, H., Tanaka, M., Ohshima, T. 2002. “Inhibitory Effects of ‘Enokitake’ Mushroom Extracts on Polyphenol Oxidase and Prevention of Apple Browning”. *LWT*, 35(8), 697–702.
- Jasinghe, V. J., Perera, C. O. 2005. “Distribution of ergosterol in different tissues of mushrooms and its effect on the conversion of ergosterol to vitamin D2 by UV irradiation”. *Food Chemistry*, 92(3), 541–546.
- Jayachandran, M., Xiao, J., Xu, B. 2017. “A Critical Review on Health Promoting Benefits of Edible Mushrooms through Gut Microbiota”. *International Journal of Molecular Sciences* 2017, Vol. 18, Page 1934, 18(9), 1934.
- Jedinak, A., Sliva, D. 2008. “Pleurotus ostreatus inhibits proliferation of human breast and colon cancer cells through p53-dependent as well as p53-independent pathway”. *International Journal of Oncology*, 33(6), 1307–1313.
- Joh, T., Malick, D. H., Yazaki, J., Hayakawa, T. 1996. “Purification and characterization of secreted acid phosphatase under phosphate-deficient condition in *Pholiota nameko*”. *Mycoscience*, 37(1), 65–70.
- Joo Seo, D., Choi, C., Antiviral, C., Baz, M., Mifsud, E. 2021. “Antiviral Bioactive Compounds of Mushrooms and Their Antiviral Mechanisms: A Review”. *Viruses* 2021, Vol. 13, Page 350, 13(2), 350.
- Kalač, P. 2009. “Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review”. *Food Chemistry*, 113(1), 9–16.
- Khan, A. A., Gani, A., Khanday, F. A., Masoodi, F. A. 2018. “Biological and pharmaceutical activities of mushroom β -glucan discussed as a potential functional food ingredient”. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 16, 1–13.
- Kim, J. A., Tay, D., Carcache De Blanco, E. 2008. “NF- κ B Inhibitory Activity of Compounds isolated from *Cantharellus cibarius*”. *Phytother. Res.*, 22, 1104–1106.
- Kim, J. H., Hubbard, N. E., Ziboh, V., Erickson, K. L. 2005. “Attenuation of breast tumor cell growth by conjugated linoleic acid via inhibition of 5-lipoxygenase activating protein”. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1736(3), 244–250.
- Kim, J., Lee, S. M., Bae, I. Y., Park, H. G., Gyu Lee, H., Lee, S. 2011. “(1-3) (1-6)- β -Glucan-enriched materials from *Lentinus edodes* mushroom as a high-fibre and low-calorie flour substitute for baked foods”. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(10), 1915–1919.
- Kim, Y. J., Jung, I. K., Kwak, E. J. 2010. “Quality characteristics and antioxi-

- dant activities of cookies added with *Pleurotus eryngii* powder”. Tarihinde 06 Kasım 2022, adresinden erişildi <https://koreascience.kr/article/JAKO201021147394887.page>
- Kishida, E., Sone, Y., Misaki, A. 1989. “Purification of an antitumor-active, branched (1→3)-β-d-glucan from *Volvariella volvacea*, and elucidation of its fine structure”. *Carbohydrate Research*, 193(C), 227–239.
- Kobayashi, H., Kusakabe, I., Murakami, K. 1985. “Milk-clotting Enzyme from *Irpex lacteus* as a Calf Rennet Substitute for Cheddar Cheese Manufacture”. *Agricultural and Biological Chemistry*, 49(6), 1605–1609.
- Kolbasov, A., Sinha-Ray, S., Jojjode, A., Hassan, M. A., Brown, D., Maze, B., ... Yarin, A. L. 2016. “Industrial-Scale Solution Blowing of Soy Protein Nanofibers”. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 55(1), 323–333.
- Kong, Y., Zhang, L. L., Zhao, J., Zhang, Y. Y., Sun, B. G., Chen, H. T. 2019. “Isolation and identification of the umami peptides from shiitake mushroom by consecutive chromatography and LC-Q-TOF-MS”. *Food Research International*, 121, 463–470.
- Konno, S., Chu, K., Feuer, N., Phillips, J., Choudhury, M. 2015. “Potent Anticancer Effects of Bioactive Mushroom Extracts (*Phellinus linteus*) on a Variety of Human Cancer Cells”. *Journal of Clinical Medicine Research*, 7(2), 76.
- Krakowska, A., Zięba, P., Włodarczyk, A., Kała, K., Sułkowska-Ziaja, K., Bernaś, E., ... Muszyńska, B. 2020. “Selected edible medicinal mushrooms from *Pleurotus* genus as an answer for human civilization diseases”. *Food Chemistry*, 327, 127084.
- Lakhanpal, T. N., Rana, M. 2005. “Medicinal and nutraceutical genetic resources of mushrooms”. *Plant Genetic Resources*, 3(2), 288–303.
- Lee, J. S., Cho, J. Y., Hong, E. K. 2009. “Study on macrophage activation and structural characteristics of purified polysaccharides from the liquid culture broth of *Herichium erinaceus*”. *Carbohydrate Polymers*, 78(1), 162–168.
- Li, S., Yan, Y., Guan, X., Huang, K. 2020. “Preparation of a hordein-quercetin-chitosan antioxidant electrospun nanofibre film for food packaging and improvement of the film hydrophobic properties by heat treatment”. *Food Packaging and Shelf Life*, 23, 100466.
- Li, X., Chen, H., Yang, B. 2016. “Centrifugally spun starch-based fibers from amylopectin rich starches”. *Carbohydrate Polymers*, 137, 459–465.
- Li, X., Liu, J., Lu, Y., Hou, T., Zhou, J., Wang, A., ... Yang, B. 2021. “Centrifugally spun starch/polyvinyl alcohol ultrafine fibrous membrane as environmentally-friendly disposable nonwoven”. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(40), 51169.
- Lin, L., Dai, Y., Cui, H. 2017. “Antibacterial poly(ethylene oxide) electrospun nanofibers containing cinnamon essential oil/beta-cyclodextrin proteoliposomes”. *Carbohydrate Polymers*, 178, 131–140.

- Lin, L., Mao, X., Sun, Y., Rajivgandhi, G., Cui, H. 2019. “Antibacterial properties of nanofibers containing chrysanthemum essential oil and their application as beef packaging”. *International Journal of Food Microbiology*, 292, 21–30.
- Lin, L., Zhu, Y., Cui, H. 2018. “Electrospun thyme essential oil/gelatin nanofibers for active packaging against *Campylobacter jejuni* in chicken”. *LWT*, 97, 711–718.
- Liu, F., Avena-Bustillos, R. J., Bilbao-Sainz, C., Woods, R., Chiou, B. Sen, Wood, D., ... Zhong, F. 2017. “Solution Blow Spinning of Food-Grade Gelatin Nanofibers”. *Journal of Food Science*, 82(6), 1402–1411.
- Liu, R., Xu, X., Zhuang, X., Cheng, B. 2014. “Solution blowing of chitosan/PVA hydrogel nanofiber mats”. *Carbohydrate Polymers*, 101(1), 1116–1121.
- Lotfy, S. N., Fadel, H. H. M., El-Ghorab, A. H., Shaheen, M. S. 2015. “Stability of encapsulated beef-like flavourings prepared from enzymatically hydrolysed mushroom proteins with other precursors under conventional and microwave heating”. *Food Chemistry*, 187, 7–13.
- Ma, G., Du, H., Hu, Q., Yang, W., Pei, F., Xiao, H. 2021. “Health benefits of edible mushroom polysaccharides and associated gut microbiota regulation”. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1903385>, 62(24), 6646–6663.
- Ma, Z., Wang, J., Zhang, L., Zhang, Y., Ding, K. 2010. “Evaluation of water soluble β -d-glucan from *Auricularia auricular-judae* as potential anti-tumor agent”. *Carbohydrate Polymers*, 80(3), 977–983.
- Maga, J. A. 1981. “Mushroom Flavor”. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 29(1), 1–4.
- Mallikarjuna, S. E., Ranjini, A., Haware, D. J., Vijayalakshmi, M. R., Shashirekha, M. N., Rajarathnam, S. 2013. “Mineral composition of four edible mushrooms”. *Journal of Chemistry*.
- Manzi, P., Gambelli, L., Marconi, S., Vivanti, V., Pizzoferrato, L. 1999. “Nutrients in edible mushrooms: an inter-species comparative study”. *Food Chemistry*, 65(4), 477–482.
- Marano, S., Barker, S. A., Raimi-Abraham, B. T., Missaghi, S., Rajabi-Siahboomi, A., Craig, D. Q. M. 2016. “Development of micro-fibrous solid dispersions of poorly water-soluble drugs in sucrose using temperature-controlled centrifugal spinning”. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 103, 84–94.
- Matsui, K., Kodama, N., Nanba, H. 2001. “Effects of Maitake (*Grifola frondosa*) D-Fraction on the carcinoma angiogenesis”. *Cancer Letters*, 172(2), 193–198.
- Mattila, P., Könkö, K., Eurola, M., Pihlava, J. M., Astola, J., Vahteristo, L., ... Piironen, V. 2001. “Contents of Vitamins, Mineral Elements, and Some Phenolic Compounds in Cultivated Mushrooms”. *Journal of Agricultural*

- and Food Chemistry, *49*(5), 2343–2348.
- Medeiros, E. S., Glenn, G. M., Klamczynski, A. P., Orts, W. J., Mattoso, L. H. C. 2009. “Solution blow spinning: A new method to produce micro- and nanofibers from polymer solutions”. *Journal of Applied Polymer Science*, *113*(4), 2322–2330.
- Miles, P. G., Chang, S.-T. 2004. “Mushrooms : Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect, and Environmental Impact”.
- Miyazawa, N., Okazaki, M., Ohga, S. 2008. “Antihypertensive Effect of *Pleurotus nebrodensis* in Spontaneously Hypertensive Rats”. *Journal of Oleo Science*, *57*(12), 675–681.
- Morales, D., Rutckeviski, R., Villalva, M., Abreu, H., Soler-Rivas, C., Santoyo, S., ... Smiderle, F. R. 2020. “Isolation and comparison of α - and β -D-glucans from shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) with different biological activities”. *Carbohydrate Polymers*, *229*, 115521.
- Morel, S., Vitou, M., Masnou, A., Jumas-Bilak, E., Rapior, S., Licznar-Fajardo, P. 2021. “Antibacterial Activity of Wild Mushrooms from France”. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, *23*(1), 79–89.
- Muszyńska, B., Sułkowska-Ziaja, K., Ekiert, H. 2011. “Indole compounds in fruiting bodies of some edible Basidiomycota species”. *Food Chemistry*, *125*(4), 1306–1308.
- Myrdal Miller, A., Mills, K., Wong, T., Drescher, G., Lee, S. M., Sirimuangmoon, C., ... Guinard, J. X. 2014. “Flavor-Enhancing Properties of Mushrooms in Meat-Based Dishes in Which Sodium Has Been Reduced and Meat Has Been Partially Substituted with Mushrooms”. *Journal of Food Science*, *79*(9), S1795–S1804.
- Nazari, M., Majdi, H., Milani, M., Abbaspour-Ravasjani, S., Hamishehkar, H., Lim, L. T. 2019. “Cinnamon nanophytosomes embedded electrospun nanofiber: Its effects on microbial quality and shelf-life of shrimp as a novel packaging”. *Food Packaging and Shelf Life*, *21*, 100349.
- Okamura-Matsui, T., Tomoda, T., Fukuda, S., Ohsugi, M. 2003. “Discovery of alcohol dehydrogenase from mushrooms and application to alcoholic beverages”. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, *23*(2–6), 133–144.
- Palanisamy, M., Gil-Ramírez, A., Ruiz-Rodríguez, A., Marín, F. R., Reglero, G., Soler-Rivas, C. 2012. “Testing edible mushrooms to inhibit the pancreatic lipase activity by an in vitro digestion model”. *International Journal of Food Science & Technology*, *47*(5), 1004–1010.
- Pereira, E., Barros, L., Martins, A., Ferreira, I. C. F. R. 2012. “Towards chemical and nutritional inventory of Portuguese wild edible mushrooms in different habitats”. *Food Chemistry*, *130*(2), 394–403.
- Rathore, H., Prasad, S., Sharma, S. 2017. “Mushroom nutraceuticals for improved nutrition and better human health: A review”. *PharmaNutrition*, *5*(2), 35–46.

- Rihova, M., Lepcio, P., Cicmancova, V., Frumarova, B., Hromadko, L., Bureš, F., ... Macak, J. M. 2022. "The centrifugal spinning of vitamin doped natural gum fibers for skin regeneration". *Carbohydrate Polymers*, 294, 119792.
- Roberts, J. S., Teichert, A., McHugh, T. H. 2008. "Vitamin D2 Formation from Post-Harvest UV-B Treatment of Mushrooms (*Agaricus bisporus*) and Retention During Storage". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(12), 4541–4544.
- Rosli, W., Ishak, W., Raushan, W. I. 2015. "The ability of oyster mushroom in improving nutritional composition, β -glucan and textural properties of chicken frankfurter MyBFF@Work View project The ability of oyster mushroom in improving nutritional composition, β -glucan and textural properties of chicken frankfurter". Article in *International Food Research Journal*, 22(1), 311–317.
- Rzayev, Z. M. O., Erdönmez, D., Erkan, K., Şimşek, M., Bunyatova, U. 2014. "Functional Copolymer/Organo-MMT Nanoarchitectures. XXII. Fabrication and Characterization of Antifungal and Antibacterial Poly (Vinyl Alcohol-co-Vinyl Acetate/ODA-MMT/AgNPs Nanofibers and Nanocoatings by e-Spinning and c-Spinning Methods". <http://dx.doi.org/10.1080/00914037.2014.936599>, 64(5), 267–278.
- Schmatz, D. A., Costa, J. A. V., Morais, M. G. de. 2019. "A novel nanocomposite for food packaging developed by electrospinning and electrospraying". *Food Packaging and Shelf Life*, 20, 100314.
- Sett, S., Stephansen, K., Yarin, A. L. 2016. "Solution-blown nanofiber mats from fish sarcoplasmic protein". *Polymer*, 93, 78–87.
- Shah, A. M., Channon, K. M. 2004. "Free radicals and redox signalling in cardiovascular disease". *Heart*, 90(5), 486–487.
- Shao, P., Niu, B., Chen, H., Sun, P. 2018. "Fabrication and characterization of tea polyphenols loaded pullulan-CMC electrospun nanofiber for fruit preservation". *International Journal of Biological Macromolecules*, 107, 1908–1914.
- Shashidhar, M. G., Giridhar, P., Udaya Sankar, K., Manohar, B. 2013. "Bioactive principles from *Cordyceps sinensis*: A potent food supplement - A review". *Journal of Functional Foods*, 5(3), 1013–1030.
- Shen, C., Cao, Y., Rao, J., Zou, Y., Zhang, H., Wu, D., Chen, K. 2021. "Application of solution blow spinning to rapidly fabricate natamycin-loaded gelatin/zein/polyurethane antimicrobial nanofibers for food packaging". *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100721.
- Shi, L., Zhuang, X., Tao, X., Cheng, B., Kang, W. 2013. "Solution blowing nylon 6 nanofiber mats for air filtration". *Fibers and Polymers* 2013 14:9, 14(9), 1485–1490.
- Silva, F. T. da, Cunha, K. F. da, Fonseca, L. M., Antunes, M. D., Halal, S. L. M. El, Fiorentini, Â. M., ... Dias, A. R. G. 2018. "Action of ginger essential

- oil (*Zingiber officinale*) encapsulated in proteins ultrafine fibers on the antimicrobial control in situ". *International Journal of Biological Macromolecules*, *118*, 107–115.
- Singh, M. P., Rai, S. N., Dubey, S. K., Pandey, A. T., Tabassum, N., Chaturvedi, V. K., Singh, N. B. 2021. "Biomolecules of mushroom: a recipe of human wellness". <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1964431>, *42*(6), 913–930.
- Sinha-Ray, S., Zhang, Y., Yarin, A. L., Davis, S. C., Pourdeyhimi, B. 2011. "Solution blowing of soy protein fibers". *Biomacromolecules*, *12*(6), 2357–2363.
- Sivanesan, I., Muthu, M., Gopal, J., Oh, J. W. 2022. "Mushroom Polysaccharide-Assisted Anticarcinogenic Mycotherapy: Reviewing Its Clinical Trials". *Molecules* 2022, Vol. 27, Page 4090, *27*(13), 4090.
- Stefanello, F. S., Cavalheiro, C. P., Ludtke, F. L., dos Santos da Silva, M., Fries, L. L. M., Kubota, E. H. 2015. "Estabilidade oxidativa e microbiológica de linguiça frescal de carne suína adicionada de pó de cogumelo do sol". *Ciencia e Agrotecnologia*, *39*(4), 381–389.
- Stojanovska, E., Canbay, E., Pampal, E. S., Calisir, M. D., Agma, O., Polat, Y., ... Kilic, A. 2016. "A review on non-electro nanofibre spinning techniques". *RSC Advances*, *6*(87), 83783–83801.
- Stojkovic, D., Smiljkovic, M., Ciric, A., Glamoclija, J., Van Griensven, L., Ferreira, I. C. F. R., Sokovic, M. 2019. "An insight into antidiabetic properties of six medicinal and edible mushrooms: Inhibition of α -amylase and α -glucosidase linked to type-2 diabetes". *South African Journal of Botany*, *120*, 100–103.
- Tandon, B., Kamble, P., Olsson, R. T., Blaker, J. J., Cartmell, S. H. 2019. "Fabrication and Characterisation of Stimuli Responsive Piezoelectric PVDF and Hydroxyapatite-Filled PVDF Fibrous Membranes". *Molecules* 2019, Vol. 24, Page 1903, *24*(10), 1903.
- Tejedor-Calvo, E., Morales, D., Marco, P., Sánchez, S., Garcia-Barreda, S., Smiderle, F. R., ... Soler-Rivas, C. 2020. "Screening of bioactive compounds in truffles and evaluation of pressurized liquid extractions (PLE) to obtain fractions with biological activities". *Food Research International*, *132*.
- Tepekiran, B. N., Calisir, M. D., Polat, Y., Akgul, Y., Kilic, A. 2019. "Centrifugally spun silica (SiO₂) nanofibers for high-temperature air filtration". <https://doi.org/10.1080/02786826.2019.1613514>, *53*(8), 921–932.
- Valko, M., Rhodes, C. J., Moncol, J., Izakovic, M., Mazur, M. 2006. "Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer". *Chemico-Biological Interactions*, *160*(1), 1–40.
- Valverde, M. E., Hernández-Pérez, T., Paredes-López, O. 2015. "Edible mushrooms: Improving human health and promoting quality life". *International Journal of Microbiology*, *2015*.

- Van Ba, H., Seo, H. W., Cho, S. H., Kim, Y. S., Kim, J. H., Ham, J. S., ... Pil-Nam, S. 2017. "Effects of extraction methods of shiitake by-products on their antioxidant and antimicrobial activities in fermented sausages during storage". *Food Control*, 79, 109–118.
- Venturella, G., Ferraro, V., Cirlincione, F., Gargano, M. L. 2021. "Medicinal Mushrooms: Bioactive Compounds, Use, and Clinical Trials". *International Journal of Molecular Sciences* 2021, Vol. 22, Page 634, 22(2), 634.
- Volman, J. J., Mensink, R. P., Van Griensven, L. J. L. D., Plat, J. 2010. "Effects of α -glucans from *Agaricus bisporus* on ex vivo cytokine production by LPS and PHA-stimulated PBMCs; a placebo-controlled study in slightly hypercholesterolemic subjects". *European Journal of Clinical Nutrition* 2010 64:7, 64(7), 720–726.
- Wang, P., Zhang, C., Zou, Y., Li, Y., Zhang, H. 2021. "Immobilization of lysozyme on layer-by-layer self-assembled electrospun films: Characterization and antibacterial activity in milk". *Food Hydrocolloids*, 113, 106468.
- Wang, X. M., Zhang, J., Wu, L. H., Zhao, Y. L., Li, T., Li, J. Q., ... Liu, H. G. 2014. "A mini-review of chemical composition and nutritional value of edible wild-grown mushroom from China". *Food Chemistry*, 151, 279–285.
- Wani, B. A., Bodha, R. H., Wani, A. H. 2010. "Nutritional and medicinal importance of mushrooms". *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(24), 2598–2604.
- Wasser, S. 2002. "Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides". *Applied Microbiology and Biotechnology* 2002 60:3, 60(3), 258–274.
- Wong, K. M., Corradini, M. G., Autio, W., Kinchla, A. J. 2019. "Sodium reduction strategies through use of meat extenders (white button mushrooms vs. textured soy) in beef patties". *Food Science & Nutrition*, 7(2), 506–518.
- Xin, Y., Chen, F., Lai, S., Yang, H. 2017. "Influence of chitosan-based coatings on the physicochemical properties and pectin nanostructure of Chinese cherry". *Postharvest Biology and Technology*, 133, 64–71.
- Xiong, M., Huang, Y., Liu, Y., Huang, M., Song, G., Ming, Q., ... Yang, X. 2018. "Antidiabetic Activity of Ergosterol from *Pleurotus Ostreatus* in KK-Ay Mice with Spontaneous Type 2 Diabetes Mellitus". *Molecular Nutrition & Food Research*, 62(3), 1700444.
- Xu, W., Huang, J. J. hui, Cheung, P. C. K. 2012. "Extract of *Pleurotus pulmonarius* Suppresses Liver Cancer Development and Progression through Inhibition of VEGF-Induced PI3K/AKT Signaling Pathway". *PLOS ONE*, 7(3), e34406.
- Yahia, E. M., Gutiérrez-Orozco, F., Moreno-Pérez, M. A. 2017. "Identification of phenolic compounds by liquid chromatography-mass spectrometry in seventeen species of wild mushrooms in Central Mexico and determination of their antioxidant activity and bioactive compounds". *Food Chemistry*, 226, 14–22.

- Yan, G., Zhuang, X., Tao, X., Cheng, B. 2013. "Solution Blowing of Silicon Carbide nanofiber and its thermal stability". *Science of Advanced Materials*, 5(3), 209–215.
- Yang, Z., Shen, C., Zou, Y., Wu, D., Zhang, H., Chen, K., ... Chen, K. 2021. "Application of Solution Blow Spinning for Rapid Fabrication of Gelatin/Nylon 66 Nanofibrous Film". *Foods* 2021, Vol. 10, Page 2339, 10(10), 2339.
- Yao, Z. C., Chang, M. W., Ahmad, Z., Li, J. S. 2016. "Encapsulation of rose hip seed oil into fibrous zein films for ambient and on demand food preservation via coaxial electrospinning". *Journal of Food Engineering*, 191, 115–123.
- Yen, M.-T., Yang, J.-H., Tseng, Y.-H., Li, R.-C., Mau, J.-L. 2011. "QUALITY OF FUNGAL CHITIN BREADj fpp_521 708..713".
- Yin, H., Wang, Y., Wang, Y., Chen, T., Tang, H., Wang, M. 2012. "Purification, Characterization and Immuno-Modulating Properties of Polysaccharides Isolated from *Flammulina velutipes* Mycelium". <https://doi.org/10.1142/S0192415X10007750>, 38(1), 191–204.
- Zhang, C. J., Guo, J. Y., Cheng, H., Lin, L., Liu, Y., Shi, Y., ... Yu, H. T. 2020. "Protective Effects of the King Oyster Culinary-Medicinal Mushroom, *Pleurotus eryngii* (Agaricomycetes), Polysaccharides on β -Amyloid-Induced Neurotoxicity in PC12 Cells and Aging Rats, *In Vitro* and *In Vivo* Studies". *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 22(4), 325–333.
- Zhang, L., Kopperstad, P., West, M., Hedin, N., Fong, H. 2009. "Generation of polymer ultrafine fibers through solution (air-) blowing". *Journal of Applied Polymer Science*, 114(6), 3479–3486.
- Zhang, X., Lu, Y. 2014. "Centrifugal Spinning: An Alternative Approach to Fabricate Nanofibers at High Speed and Low Cost". <http://dx.doi.org/10.1080/15583724.2014.935858>, 54(4), 677–701.
- Zhang, Y., Venkitasamy, C., Pan, Z., Wang, W. 2013. "Recent developments on umami ingredients of edible mushrooms – A review". *Trends in Food Science & Technology*, 33(2), 78–92.
- Zheng, S., Li, C., Ng, T. B., Wang, H. X. 2007. "A lectin with mitogenic activity from the edible wild mushroom *Boletus edulis*". *Process Biochemistry*, 42(12), 1620–1624.
- Zhuang, X., Yang, X., Shi, L., Cheng, B., Guan, K., Kang, W. 2012. "Solution blowing of submicron-scale cellulose fibers". *Carbohydrate Polymers*, 90(2), 982–987.
- Zied, D. C., Savoie, J.-M., Pardo-Giménez, A. 2011. "Soybean the Main Nitrogen Source in Cultivation Substrates of Edible and Medicinal Mushrooms". *Soybean and Nutrition*.

BÖLÜM 2

YİNELEMELİ SİNİR AĞI İLE EEG SİNYALLERİNDEN AĞRI DERECELENDİRİLMESİ

*Feyzi Alkım AKTAŞ¹, Aykut EKEN²,
Osman EROĞUL³*

1 Arş. Gör.; Samsun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü. f.aktas@etu.edu.tr ORCID No: 0000-0001-6940-2989

2 Dr. Öğr. Üyesi.; TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü. aykuteken@etu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-7023-7930

3 Prof. Dr.; TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü erogul@etu.edu.tr

GİRİŞ

Ağrı bireyin hissettiği kompleks ve çok boyutlu haz vermeyen tecrübe olarak tanımlanmaktadır. Ağrı hissiyatının tanımlanması bireylerde önceki deneyimlerinden ve kişinin beklentilerinden etkilenmektedir (Koyama, McHaffie, Laurienti, & Coghill, 2005). Son zamanlarda yapılan çalışmalarda ağrının kortikal periferik ve spinal mekanizmaları hakkında önemli bilgilere ulaşılmıştır (Apkarian, Bushnell, Treede, & Zubieta, 2005; Mano et al., 2018). Ancak ağrının beyinde derecelendirilmesi için beyinde başlıca bir bölge bulunmamaktadır. Nörogörüntüleme çalışmaları sayesinde ağrının beyinde algılanmasında birden fazla subkortikal ve kortikal bölgelerin aktive olduğu gözlemlenmiştir (Ploner, Sorg, & Gross, 2017). Birincil somatosensöriyel korteks (S1), ikincil somatosensöriyel korteks (S2), anterior singulat korteks (ACC), prefrontal korteks (PFC), insular korteks, amigdala ve talamus bölgelerinin içinde bulunduğu kortikal ve subkortikal bölgeler ağrı algısı ile ilişkilendirilmiştir. Literatürdeki çalışmalarda ağrının beyinde algılanmasını tasvir eden ‘ağrı matrisi’ ya da ‘ağrı yolağı’ olarak adlandırılmıştır (Iannetti & Mouraux, 2010). Farklı ağrı çalışmalarında ağrının algılanması sürecinde beyinde ağrı yolağı diye isimlendirilen subkortikal bölgelerin aktivasyonuna değinilmiştir (Wu et al., 2020).

Elektroensefalografi (EEG) çalışmalarında tercih edilen yöntemlerden biri olmuştur. Ağrı çalışmalarında EEG’nin çok sık tercih edilmesinin nedeni ise iyi bir zamansal çözünürlüğe sahip olması ve kantitatif sonuçlara daha az maliyet ile ulaşılmasına olanak sağlamasıdır (Madeo, Castellani, Mocenni, & Santarcangelo, 2015).

Yapılan çalışmalarda EEG ile ağrının tahmini için iki yaklaşım tercih edilmiştir. İlk olarak EEG’den alınan verilerde frekans bantlarına odaklanılarak istatistiksel farklar çıkarılmıştır. Bu sayede ağrının oluşması aşamasında farklılık gösteren frekans bantları belirlenmiştir (Gram, Graversen, Olesen, & Drewes, 2015). Alfa bandı (8-12 Hz) ağrı çalışmalarında kullanılan spektral belirteçler arasında yer almaktadır. Çalışmalarda ağrı esnasında somato-motor bölgesinde alfa bandındaki güç artışı gözlemlenmiştir (Furman et al., 2018). Alfa bandına ek olarak beta bandında (14-29 Hz) gözlemlenen güç değişimleri de akut ağrı ile ilişkilendirilmiştir (Misra, Wang, Archer, Roy, & Coombes, 2017; Nickel et al., 2017). Aynı zamanda EEG esnasında gözlemlenen kortikal bölgelere yayılan gamma bandında ki (30-100 Hz) güç artışı akut ağrı uyarının derecesi ile doğrusal bir ilişkiye sahiptir (Schulz et al., 2015). Özellikle ağrı uyarının şiddeti arttırıldığında frontal bölgelerde gamma bandındaki güç artışı oranının daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Schulz et al., 2015). Akut ağrı uygulamalarında gözlemlenen bir diğer spektral özellik ise teta bandı (3-7 Hz) olmuştur. Bir diğer çalışmada, ağrı uyarını verildikten sonra prefrontal bölgelerde teta bandında güç artışı gözlenmiştir (Reches et al., 2016).

Son olarak delta bandı (0.5-3 Hz) pariyetal ve oksipital bölgelerde ağrı ile korele olduğu belirli çalışmalarda kanıtlanmıştır (Giehl, Meyer-Brandis, Kunz, & Lautenbacher, 2014; Huishi Zhang, Sohrabpour, Lu, & He, 2016).

EEG de ağrı belirteci olarak kullanılan bir diğer yaklaşım ise olaya ilişkin potansiyellerdir (ERPs) (Wang et al., 2016). ERP'ler EEG verilerinden zamana bağlı değişen dalgalar olarak adlandırılmaktadır. ERP çeşitlerinden biri olan termal teması bağımlı uyarılmış potansiyellerdir (Contact-Heat-Evoked Potentials-CHEP). Termal uyarıcı verildikten sonrasında CHEP'ler sık bir şekilde EEG çalışmalarında gözlemlenmektedir. Bu dalgalar özellikle dominant olmayan kola uygulanan uyarıcı eşliğinde gözlemlenmiştir (Moont, Crispel, Lev, Pud, & Yarnitsky, 2012),(Meng et al., 2013). Literatürde CHEP'lerin iki bileşenden meydana geldiği vurgulanmıştır. Bunlar, negatif potansiyel (N2) ve pozitif potansiyellerdir (P2). Oluşan bu CHEP komponentleri ağrı uyarıcı verildikten sonrasında 200 ile 500 ms aralığında gözlemlenmektedir (Kisler et al., 2017). Uyarıcı esnasında CHEP'ler özellikle motor, insular, sensöriyel ve serebral bölgelerde yayılım göstermektedir (Kisler et al., 2017). Gençler üzerinde yapılan çalışmalar N2 ve P2 potansiyellerinin uyarıcı esnasında merkezi elektrotlar (Cz,C2) ve frontal elektrotlarda (FCz,F1,F2) olduğu kanıtlanmıştır (Albu & Meagher, 2019). Aynı zamanda yapılan farklı çalışmalarda temporal olarak alınan cevapların uzun süreli zaman aralığında tespit edilmesinin zor ve yanıltıcı olabileceği vurgulanmıştır (Read & Innis).

Yapılan bu çalışmada ise açık kaynak olarak paylaşılan EEG verileri üzerinde (Tiemann et al., 2018) 20 katılımcının verileri seçilmiştir. Sonraki aşamada veriler düşük ağrı ve yüksek ağrı olarak 4.5 saniyelik kesitlere ayrılmıştır. Ayrılan kesitler üzerinde sinyal ön-işlemesi yapıldıktan sonra frekans cevaplarına bakılarak öznelik çıkarılmıştır. Çıkarılan öznelikler istatistiksel testler kullanılarak fark olan bölgelerden belirlenmiştir. Testin sonucunda zaman frekans bölgesinde (TFR) ağrı oluştuktan 500 ms içerisinde 8-12 Hz arasında güç değerlerinde farklardan oluşan nitelikler kaydedilmiştir. Düşük ve yüksek ağrı derecelendirilmesi için kaydedilen nitelikler öz yinmeli sinir ağı (RNN) modeline aktarılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

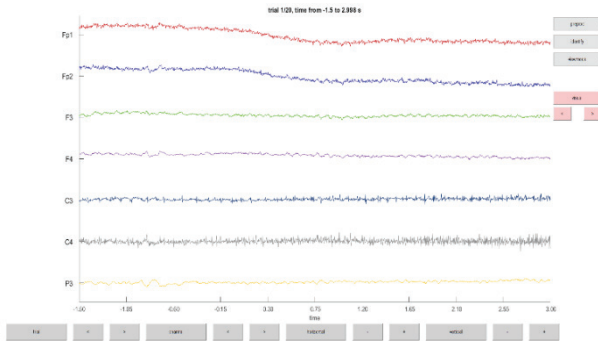
Bu bölümde çalışmada kullanılan veriler, verilerin hazırlanması, EOG ve EKG gürültülerinin temizlenmesi, zaman frekans cevabının çıkartılması, çıkarılan zaman frekans cevaplarından nitelik seçimi ve model tasarımı hakkında bilgiler anlatılacaktır.

DeneySEL Veriler

Yapılan çalışmada açık kaynak olarak sunulan EEG veri seti kullanılmıştır. Veriler toplam 51 sağ el dominant katılımcıdan elde edilmiştir (25

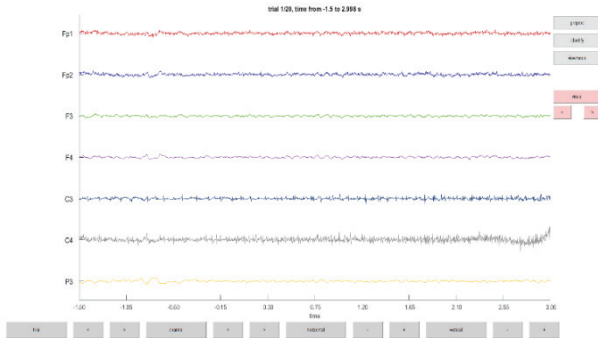
Verilerin Hazırlanması

Verilerin hazırlanması MATLAB ortamında FieldTrip uygulaması kullanılarak yapılmıştır (Oostenfeld, Fries, Maris, & Schoffelen, 2011). EEG verileri kesitler haline düşük ve yüksek ağrı uyararı olarak ayrılmıştır (Şekil 2). Epoch aralığı uyarı öncesi (prestimulus) 1.5 saniye uyarı sonrası için (poststimulus) 3 saniye olarak toplam 4.5 saniye olacak şekilde seçilmiştir. Sonraki aşamada alınan EEG verilerinin örnekleme frekansı 1000 Hz değerinden sinyal işleme ve model eğitiminde boyut azaltma ihtiyacından dolayı 500 Hz değerine düşürülmüştür. Referans elektrot olarak FCz elektrotu tanımlanmıştır.



Şekil 2: Örnek katılımcıdan alınan 4.5 sn kesitler halinde çıkarılan ham EEG verileri.

İkinci olarak alınan ham EEG verilere kesim frekansı 1 Hz olacak şekilde yüksek geçiren butterworth filtre (YGF) uygulanmıştır. YGF uygulamasından sonra 49 ile 51 Hz arasında bant durduran filtre ile 1 ve 150 Hz kesim frekans aralıklarında band geçiren filtreyle beraber kaynak artıkları temizlenmiştir (Şekil 3).

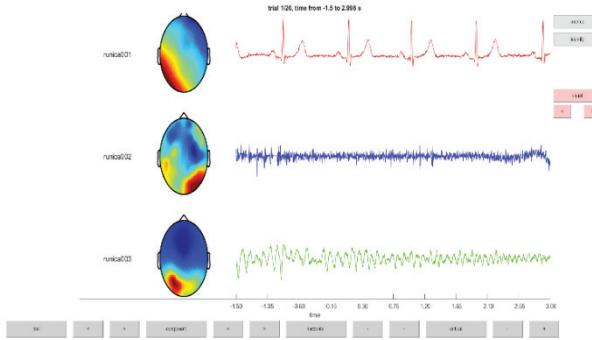


Şekil 3: Örnek katılımcının EEG verilerinin hazırlanması sonucu temizlenen EEG verileri

EKG ve EOG Gürültülerinin Temizlenmesi

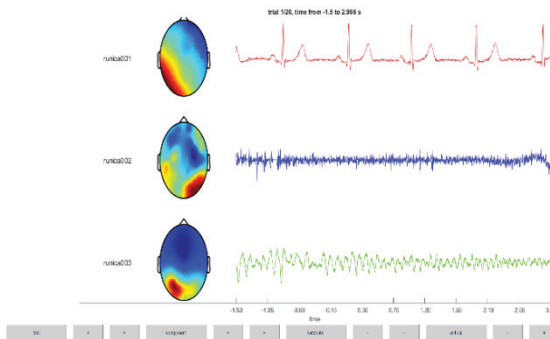
Elektrokardiyografi (EKG) ve Elektrookülografi (EOG) sinyallerini EEG sinyallerinden ayırmak için bağımsız bileşen analizi (Independent Component Analysis – ICA) yöntemini uyguladık.

Çekim esnasında oluşan EKG gürültüleri ICA ile komponentleri ayrılarak her bir komponent için gözlemlenmiştir. Komponentlerde oluşan bu gürültüler topografik haritada lineer güç artışı ile gözlemlenmiş ve grafiklerde senkronize değişimler yakalanarak belirtilmiştir (Şekil 4). EKG gürültüleri tespit edilen komponentler her bir katılımcı için bulunarak EEG sinyalinden temizlenmiştir.



Şekil 4: ICA ile EKG gürültüsü tespiti

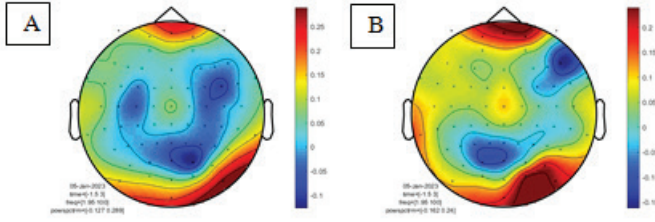
EOG gürültüleri ICA algoritmasında belirli periyodlar ile hesaplanan ağırlık değerlerinde artışlar gözlemlenen komponentlerdir. Aynı zamanda topografik harita üzerinde göz hizalarında artışlarla da belirlenebilir. EOG gürültülerine sahip olan ICA bileşenleri veriler üzerinden temizlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5: ICA ile EOG gürültüsü tespiti

Zaman Frekans Cevabı Verileri

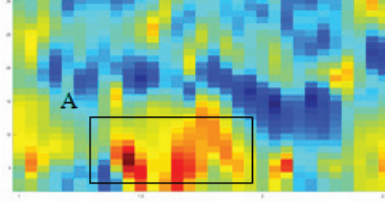
Zaman frekans analizini gerçekleştirirken, Hanning pencereyi kısa zamanlı Fourier dönüşümü (KZFD) kullanılmıştır. Hareket eden pencerenin boyut değeri 250 ms olarak seçilmiştir. Basamak oranı ise 50 ms olarak alınmıştır. Seçilen veriler ile 1 ile 100 Hz arasındaki güç değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler ile her bir katılımcının kesit değerleri için düşük ağrı ve yüksek ağrı seviyelerinde güç spektrumları bulunmuştur. Bulanık spektrumların ortalamaları alınarak hesaplanan topografik haritalar üzerinde çizdirilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6: Zaman frekans cevaplarının her hasta için ortalama değerlerinin topografik şekilleri (A) Düşük ağrı (B) Şiddetli ağrı

Zaman Frekans Cevaplarından Nitelik Seçilmesi

Düşük ağrı ile yüksek ağrı uyarının ayrımı için TFR değerleri kullanılarak permütasyonel istatistiksel test kullanılmıştır. Metot olarak ise bağımlı örnekli t-testi seçilmiştir. Permütasyonel istatistiksel test verilerde bulunan değerler için rastgele olarak p-değeri ataması yaparak istatistiksel olasılıkları hesaplamaktadır (Proschan, Glimm, & Posch, 2014). Çıkarılan p-değerleri eşliğinde maskeleyerek FieldTrip uygulamasında TFR cevaplarına çizdirilmiş, düşük ile şiddetli ağrı arasındaki farklar zaman frekans bölgesinde gözlemlenmiştir. Sol parietookspital (PO) bölgede bulunan elektrotların ortalama p-değerlerine bakılarak (PO3,PO7,PO9 ve O1), düşük alfa bandında (6-10 Hz) uyaran verildikten 500 ms sonra belirgin bir fark gözlemlenmiştir (Şekil 7). Her bir hastanın TFR değerleri düşük (N=20) ve yüksek (N=20) ağrı uyarınları için bu bölgeler 2 boyutlu matris olarak ([251x20]) ayrı ayrı kaydedilerek tasarlanan modele nitelik olarak aktarılmıştır.



Şekil 7: Sol PO bölgede bulunan PO3, PO7, PO9 ve O1 elektrotlarından alınan TFR cevaplarının p-değerleri ile maskelenmesi (A) Düşük alfa bandında gözlemlenen farklar

Özyinelemeli Sinir Ağı Modeli

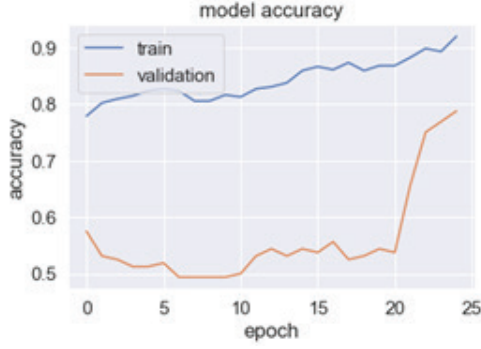
Alınan TFR nitelikleri kullanılarak özyinelemeli sinir ağı modeli tasarlanmıştır. Özyinelemeli sinir ağı modeli kullanılan diğer derin öğrenme modellerinden matrisel veriler için daha hızlı şekilde sonuç vermektedir (Roy, Kiral-Kornek, & Harrer, 2019).

Her bir katılımcı için düşük ağırlı nitelikleri ($N=20 \times 20$) ve yüksek ağırlı nitelikleri ($N=20 \times 20$) 20 Hz değerine kadar matris olarak kaydedilmiştir. Kaydedilen nitelikler içerisinde %80'i eğitim verisi %20'si ise test verisi olarak ayrılmıştır. Ayrılan eğitim verilerinde tek-çıkışlı çapraz doğrulama (leave one out cross validation) kullanılmıştır.

Niteliklerin boyutuna göre giriş değerleri 251×20 şeklinde tasarlanmıştır. Model 64 tane gizli katmandan oluşturulmuştur. Her bir katmanın aktivasyon fonksiyonu olarak düzeltilmiş doğrusal aktivasyon fonksiyonu (RELU) seçilmiştir. (Lin & Shen, 2018) En son katman olarak sigmoid fonksiyonu kullanılarak sonuçlar binary olarak ayrılmıştır.

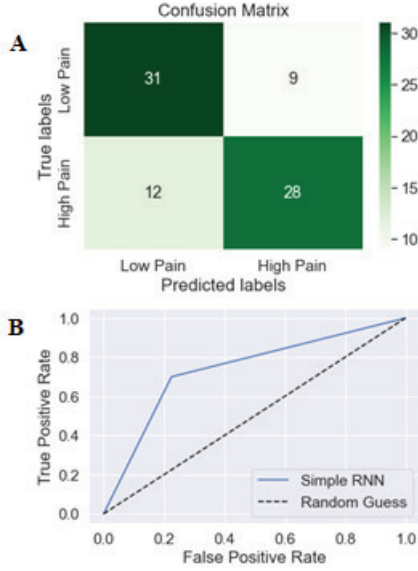
BULGULAR

Model eğitimi için toplam 20 epoch sayısı kullanılmıştır. Eğitim sırasında optimizasyon yöntemi olarak Adam metodu kullanılmıştır. Modelin öğrenme oranı 0.001 seçilmiştir. Batch size değeri ise 32 olarak alınmıştır. Kullanılan nitelikler ile model eğitimi gerçekleştirildikten sonra, eğitim verisi ile ortalama %78, validasyon verisi ile ortalama %62 oranında performans bulunmuştur. Model eğitimi için toplam 20 epoch sayısı kullanılmıştır. Seçilen epoch sayısında arttırma yapıldığında modelde ezberleme yapıldığı tespit edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8: RNN modelinin doğruluk-epoch grafiği

Model eğitimi tamamlandıktan sonra ayrılan test verileri üzerinden sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Sonuç olarak ortalama %74 oranında test verilerinde doğruluk oranına ulaşılmıştır (Şekil 9). Tablo 1’de eğitim verileri ve test verilerinin doğruluk oranı verilmiştir.



Şekil 9: (A) Test verileri sonucunda çizdirilen confusion matrix (CM) verileri (B) receiver operating characteristic curve (ROC)

Tablo 1: Eğitim ve test verileri doğruluk oranları

| Veri Tipi | Doğruluk(%) |
|------------|-------------|
| Eğitim | 78 |
| Test | 74 |
| Validasyon | 62 |

TARTIŞMA

Literatürde EEG verileri birçok farklı çalışmada tespit ve sınıflandırma için kullanılmıştır. Yayımlanan çalışmalarda EEG anestezinin yoğunluğunu tespit etme (Merigo et al., 2017), epileptik nöbet tespiti (Hassan, Siuly, & Zhang, 2016), beyin bilgisayar ara yüzü (Zarei, He, Siuly, & Zhang, 2017) ve ağrı tespiti (Cao, Wang, Liu, Sun, & Bai, 2020) gibi birçok farklı çalışmada kullanılmıştır. Kullanılan çalışmalara bakıldığında zaman frekans verilerinin bu çalışmalarda yapay-zeka (AI) modelleri için nitelik olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmada ise verilerin temizlenmesi kısmında örnekleme frekansı azaltılması, bant geçiren filtre uygulaması, ICA ile EKG ve EOG gürültülerinin giderilmesi ve zaman frekans cevaplarının çıkartılması kısımları uygulanmıştır. Eğer çalışmada verilerin temizlenmesi kısmı uygulanmadan derin öğrenme modeline veriler aktarılırsa modelin düşük ve şiddetli ağrıyı ayırt edemediği bulunmuştur.

Çalışmamızda TFR verilerinden elde edilen sol PO bölgesinde düşük alfa bandında farklar nitelik olarak kullanılmıştır. Literatürdeki farklı çalışmalara bakıldığında, ağrı tespiti için yüksek alfa ve beta bantlarındaki güç artışı (Cleeland et al., 1996), alfa bandındaki güç baskılanması (Chen & Rappelsberger, 1994) ve merkezi kısımda alfa ve beta bantlarında güç artışı (Chen, Rappelsberger, & Filz, 1998) gibi nitelikler tercih edilmiştir. Tablo 2’de bahsedilen çalışmalar ile yapılan çalışmanın farkları gösterilmiştir.

Tablo 2: Yapılan çalışmanın farklı çalışmalar ile karşılaştırılması

| Çalışma | Kullanılan EEG Nitelikleri | Doğruluk(%) |
|---------------------------------|--|-------------|
| [32] | Yüksek Alfa güç artışı | 65 |
| [33] | Alfa bandı güç düşüşleri | 59 |
| [34] | Merkezi bölgede alfa ve beta bandı güç artışı | 61 |
| RNN ile ağrı derecelendirilmesi | Sol PO bölgede düşük alfa bandında toplam güç değişimi | 78 |

Literatürde EEG verilerinden alınan zaman frekans cevapları ile ağrı derecelendirilmesinde spektrogram verileri resim şeklinde kaydedilerek modellere aktarılmıştır (Levitt et al., 2020),(Tu, Tan, Bai, Hung, & Zhang, 2016),(Choi, Yim, Shin, & Noh, 2021). Çalışmamızda farklı olarak çıkarılan TFR verileri resim olarak kaydedilmemiş, direkt olarak modele matris şeklinde uygulanmıştır. Yapılan bu farklılık sayesinde modelin daha hızlı eğitilmesi ve daha yüksek doğrulukta çalışması sağlanmıştır.

SONUÇ

Yapılan çalışmada ağrı seviyesinin EEG ile derecelendirilmesi için farklı nitelik ve sınıflandırma modeli önerilmektedir. Ayrıca ağrı seviyesinin derecelendirilmesine ek olarak bulunan nitelikler ağrı tespiti için de kullanılabilir. Diğer çalışmalardan farklı olarak yapılan çalışma da ağrı seviyesini belirlemek için çeşitli veri temizleme algoritmaları kullanılmaktadır. Sınıflandırma işlemi yapılmadan önce zaman frekans bölgesinde ki güç değişimlerini düşük alfa bandında alarak 2 boyutlu matrisi model için nitelik olarak kullanılmaktadır. Literatürdeki diğer çalışmalar ağrı tespiti ve derecelendirilmesi için spektrogram resimleri ile modeli eğitirken yapılan çalışmada 2 boyutlu zaman frekans cevapları (TFR) kullanılmıştır. Bu sayede veri bilgisi kaybetmeden daha yüksek oranda doğruluk oranında sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKÇA

- Albu, S., & Meagher, M. W. (2019). Divergent effects of conditioned pain modulation on subjective pain and nociceptive-related brain activity. *Exp Brain Res*, 237(7), 1735-1744. doi:10.1007/s00221-019-05545-8
- Apkarian, A. V., Bushnell, M. C., Treede, R. D., & Zubieta, J. K. (2005). Human brain mechanisms of pain perception and regulation in health and disease. *Eur J Pain*, 9(4), 463-484. doi:10.1016/j.ejpain.2004.11.001
- Cao, T., Wang, Q., Liu, D., Sun, J., & Bai, O. (2020). Resting state EEG-based sudden pain recognition method and experimental study. *Biomedical Signal Processing and Control*, 59, 101925. doi:https://doi.org/10.1016/j.bspc.2020.101925
- Chen, A. C., & Rappelsberger, P. (1994). Brain and human pain: topographic EEG amplitude and coherence mapping. *Brain Topogr*, 7(2), 129-140. doi:10.1007/bf01186771
- Chen, A. C., Rappelsberger, P., & Filz, O. (1998). Topology of EEG coherence changes may reflect differential neural network activation in cold and pain perception. *Brain Topogr*, 11(2), 125-132. doi:10.1023/a:1022254505510
- Choi, B.-M., Yim, J. Y., Shin, H., & Noh, G. (2021). Novel Analgesic Index for Postoperative Pain Assessment Based on a Photoplethysmographic Spectrogram and Convolutional Neural Network: Observational Study. *J Med Internet Res*, 23(2), e23920. doi:10.2196/23920
- Cleeland, C. S., Nakamura, Y., Howland, E. W., Morgan, N. R., Edwards, K. R., & Backonja, M. (1996). Effects of oral morphine on cold pressor tolerance time and neuropsychological performance. *Neuropsychopharmacology*, 15(3), 252-262. doi:10.1016/0893-133x(95)00205-r
- Furman, A. J., Meeker, T. J., Rietschel, J. C., Yoo, S., Muthulingam, J., Prokhorenko, M., . . . Seminowicz, D. A. (2018). Cerebral peak alpha frequency predicts individual differences in pain sensitivity. *Neuroimage*, 167, 203-210. doi:10.1016/j.neuroimage.2017.11.042
- Giehl, J., Meyer-Brandis, G., Kunz, M., & Lautenbacher, S. (2014). Responses to tonic heat pain in the ongoing EEG under conditions of controlled attention. *Somatosens Mot Res*, 31(1), 40-48. doi:10.3109/08990220.2013.837045
- Gram, M., Graversen, C., Olesen, S. S., & Drewes, A. M. (2015). Dynamic spectral indices of the electroencephalogram provide new insights into tonic pain. *Clinical Neurophysiology*, 126(4), 763-771. doi:https://doi.org/10.1016/j.clinph.2014.07.027
- Hassan, A. R., Siuly, S., & Zhang, Y. (2016). Epileptic seizure detection in EEG signals using tunable-Q factor wavelet transform and bootstrap aggregating. *Comput Methods Programs Biomed*, 137, 247-259. doi:https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2016.09.008

- Huishi Zhang, C., Sohrabpour, A., Lu, Y., & He, B. (2016). Spectral and spatial changes of brain rhythmic activity in response to the sustained thermal pain stimulation. *Hum Brain Mapp*, 37(8), 2976-2991. doi:10.1002/hbm.23220
- Iannetti, G. D., & Mouraux, A. (2010). From the neuromatrix to the pain matrix (and back). *Exp Brain Res*, 205(1), 1-12. doi:10.1007/s00221-010-2340-1
- Kisler, L. B., Weissman-Fogel, I., Sinai, A., Sprecher, E., Chistyakov, A. V., Shamay-Tsoory, S., . . . Granovsky, Y. (2017). Bi-phasic activation of the primary motor cortex by pain and its relation to pain-evoked potentials - an exploratory study. *Behav Brain Res*, 328, 209-217. doi:10.1016/j.bbr.2017.04.006
- Koyama, T., McHaffie, J. G., Laurienti, P. J., & Coghill, R. C. (2005). The subjective experience of pain: where expectations become reality. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 102(36), 12950-12955. doi:10.1073/pnas.0408576102
- Levitt, J., Edhi, M. M., Thorpe, R. V., Leung, J. W., Michishita, M., Koyama, S., . . . Saab, C. Y. (2020). Pain phenotypes classified by machine learning using electroencephalography features. *NeuroImage*, 223, 117256. doi:https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117256
- Lin, G., & Shen, W. (2018). Research on convolutional neural network based on improved Relu piecewise activation function. *Procedia Computer Science*, 131, 977-984. doi:https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.239
- Madeo, D., Castellani, E., Mocenni, C., & Santarcangelo, E. L. (2015). Pain perception and EEG dynamics: does hypnotizability account for the efficacy of the suggestions of analgesia? *Physiology & behavior*, 145, 57-63.
- Mano, H., Kotecha, G., Leibnitz, K., Matsubara, T., Sprenger, C., Nakae, A., . . . Seymour, B. (2018). Classification and characterisation of brain network changes in chronic back pain: A multicenter study. *Wellcome Open Res*, 3, 19. doi:10.12688/wellcomeopenres.14069.2
- Meng, J., Jackson, T., Chen, H., Hu, L., Yang, Z., Su, Y., & Huang, X. (2013). Pain perception in the self and observation of others: an ERP investigation. *NeuroImage*, 72, 164-173. doi:10.1016/j.neuroimage.2013.01.024
- Merigo, L., Beschi, M., Padula, F., Latronico, N., Paltenghi, M., & Visioli, A. (2017). Event-Based control of depth of hypnosis in anesthesia. *Comput Methods Programs Biomed*, 147, 63-83. doi:10.1016/j.cmpb.2017.06.007
- Misra, G., Wang, W. E., Archer, D. B., Roy, A., & Coombes, S. A. (2017). Automated classification of pain perception using high-density electroencephalography data. *J Neurophysiol*, 117(2), 786-795. doi:10.1152/jn.00650.2016
- Moont, R., Crispel, Y., Lev, R., Pud, D., & Yarnitsky, D. (2012). Temporal changes in cortical activation during distraction from pain: a comparative LORETA study with conditioned pain modulation. *Brain Res*, 1435, 105-117. doi:10.1016/j.brainres.2011.11.056
- Nickel, M. M., May, E. S., Tiemann, L., Schmidt, P., Postorino, M., Ta Dinh, S., . . .

- . Ploner, M. (2017). Brain oscillations differentially encode noxious stimulus intensity and pain intensity. *Neuroimage*, *148*, 141-147. doi:10.1016/j.neuroimage.2017.01.011
- Oostenveld, R., Fries, P., Maris, E., & Schoffelen, J.-M. (2011). FieldTrip: Open Source Software for Advanced Analysis of MEG, EEG, and Invasive Electrophysiological Data. *Computational Intelligence and Neuroscience*, *2011*, 156869. doi:10.1155/2011/156869
- Ploner, M., Sorg, C., & Gross, J. (2017). Brain Rhythms of Pain. *Trends Cogn Sci*, *21*(2), 100-110. doi:10.1016/j.tics.2016.12.001
- Proschan, M., Glimm, E., & Posch, M. (2014). Connections between permutation and t-tests: relevance to adaptive methods. *Stat Med*, *33*(27), 4734-4742. doi:10.1002/sim.6288
- Read, G. L., & Innis, I. J. Electroencephalography (Eeg). In *The International Encyclopedia of Communication Research Methods* (pp. 1-18).
- Reches, A., Nir, R. R., Shram, M. J., Dickman, D., Laufer, I., Shani-Hershkovich, R., . . . Geva, A. B. (2016). A novel electroencephalography-based tool for objective assessment of network dynamics activated by nociceptive stimuli. *Eur J Pain*, *20*(2), 250-262. doi:10.1002/ejp.716
- Roy, S., Kiral-Kornek, I., & Harrer, S. (2019, 2019//). *ChronoNet: A Deep Recurrent Neural Network for Abnormal EEG Identification*. Paper presented at the Artificial Intelligence in Medicine, Cham.
- Schulz, E., May, E. S., Postorino, M., Tiemann, L., Nickel, M. M., Witkovsky, V., . . . Ploner, M. (2015). Prefrontal Gamma Oscillations Encode Tonic Pain in Humans. *Cereb Cortex*, *25*(11), 4407-4414. doi:10.1093/cercor/bhv043
- Tiemann, L., Hohn, V. D., Ta Dinh, S., May, E. S., Nickel, M. M., Gross, J., & Ploner, M. (2018). Distinct patterns of brain activity mediate perceptual and motor and autonomic responses to noxious stimuli. *Nature Communications*, *9*(1), 4487. doi:10.1038/s41467-018-06875-x
- Tu, Y., Tan, A., Bai, Y., Hung, Y. S., & Zhang, Z. (2016). Decoding Subjective Intensity of Nociceptive Pain from Pre-stimulus and Post-stimulus Brain Activities. *10*. doi:10.3389/fncom.2016.00032
- Wang, L., Gui, P., Li, L., Ku, Y., Bodner, M., Fan, G., . . . Dong, X. W. (2016). Neural correlates of heat-evoked pain memory in humans. *J Neurophysiol*, *115*(3), 1596-1604. doi:10.1152/jn.00126.2015
- Wu, N., Phang, J., Park, J., Shen, Y., Huang, Z., Zorin, M., . . . Geras, K. J. (2020). Deep Neural Networks Improve Radiologists' Performance in Breast Cancer Screening. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, *39*(4), 1184-1194. doi:10.1109/TMI.2019.2945514
- Zarei, R., He, J., Siuly, S., & Zhang, Y. (2017). A PCA aided cross-covariance scheme for discriminative feature extraction from EEG signals. *Comput Methods Programs Biomed*, *146*, 47-57. doi:https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2017.05.009

BÖLÜM 3

BULUT AĞ ORTAMINDA DERİN ÖĞRENME TABANLI DAĞITILMIŞ HİZMET REDDİ ALGILAMA VE SAVUNMA SİSTEMİ TASARIMI

Emine DENİZ¹, Soydan SERTTAŞ²

1 Arş. Gör.; Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. emine.deniz@dpu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-0670-3578

2 Dr. Öğr. Üyesi; Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. soydan.serttas@dpu.edu.tr ORCID No: 0000-0001-8887-8675

GİRİŞ

Ocak 2021’de interneti kullanan kişi sayısı 4,66 milyardır (Karnik, 1999). İnternetin günlük hayatımızın içinde olmasının sağladığı avantajların yanında, siber tehditlere açık olması dezavantajdır. Yanlış bilgilerin yayılması, bilgisayar korsanlığı, hizmet(ler), makine(ler) veya ağ(lar)ın meşru kullanıcıları tarafından kullanılamaz hale getirilmesi gibi birçok suç internet üzerinden çoğalmıştır. Kullanıcı ve sistem bilgilerinin herkesin erişebileceği noktada olması, siber suç işleyen kişi ya da gruplar için avantajdır. Bilgilerin korunmasının yanında, hizmet sağlayan sistemlerin sürekli erişilebilir olması hem kullanıcılar hem de sistem yöneticileri açısından büyük önem taşımaktadır. Son zamanlarda Sony, Verizon, Yahoo, Target, JP Morgan, Ashley Madison gibi dev şirketleri ve devlet kurumlarını hedef alan siber saldırılar yaygınlaşmıştır. Siber saldırılar, kullanıcıların özel bilgilerinin sızmasına, can kayıplarına ve kritik altyapıların tahrip olmasına neden olmaktadır. Bu saldırıların en önemlilerinden biri de Hizmet Reddi (Denial of Service – DoS) ve DDoS saldırılarıdır (Balaban, 2021). DoS saldırıları, aynı anda bir hedefe çok sayıda istek gönderilmesi nedeniyle birçok kaynak (örneğin bellek, CPU zamanı) tüketildikten sonra gerçekleşir. Bu nedenle, hizmeti yasal kullanıcılar için kullanılamaz hale getirir. DoS saldırıları yerine, birden fazla cihaz veya bilgisayar aynı anda büyük miktarda hizmet talebi oluşturduğunda DDoS saldırıları meydana gelmektedir (Kaur ve diğerleri, 2017).

Estonya’da 2007 yılında yaşanan DDoS saldırısı Estonya’da yaşayan Ruslar ve Estonya hükümeti arasındaki siyasi huzursuzluk sebebiyle başlamıştır. Saldırılar başbakan, parlamento ve çeşitli bakanlıklar dahil olmak üzere altyapının birçok bölümünü etkilemiştir (Padhye ve diğerleri, 1999). Ekim 2016’da Amerika’da bulunan DNS servis sağlayıcısı Dyn’e yapılan DDoS saldırısı bütün dünyada yankı uyandırmıştır. Daha sonra 2018 yılında bilinen en büyük DDoS saldırısı Github sunucularına yapılmıştır. Saldırısı sırasında, saniyede 126.9 milyon paketle 1.35 Tbps’ye ulaşan trafik kaydedilmiştir. Sadece Avrupa ve Amerika’da değil 2019 yılında Türkiye’de, Türk Telekom ve Vodafone servis sağlayıcıları tarafından altyapı desteği verilen Garanti Bankası sunucuları DDoS saldırısına uğramıştır. Saldırı süresi boyunca Garanti Bankasına ait web sitesi, ödeme sistemleri görev yapamamıştır. Şubat 2021’de, kripto para borsası olan EXMO, saniyede 30 GB trafik ile yönetilmiş ve 2 saat boyunca kullanılamamıştır (Samssoerizal ve diğerleri, 2007). NETSCOUT’un ATLAS Güvenlik Mühendisliği ve Müdahale Ekibi’ne (ASERT) göre, 2021’in ilk çeyreğinde tehdit aktörleri tarafından yaklaşık 2,9 milyon DDoS saldırısı başlatıldı ve bu, 2020’deki aynı zamana göre %31’lik bir artışı (Ademola ve diğerleri, 2021).

Kaspersky şirketinin araştırmasına göre, bir DDoS saldırısı, küçük işletmeler için ortalama 120.000 dolar ve büyük işletmeler için ortalama

olarak 2.000.000 dolar zarara yol açmaktadır (Han ve diğerleri, 2012). Siber savaş amacı ile uygulanan DDoS saldırıları, başka bir devletin, ulusun veya uluslararası bir şirketin bilgisayarına veya bilgi sistemine yönelik başlatılan saldırılardır.

Yukarıda bahsedilen olaylar DDoS saldırılarını tespit etmek için etkili bir yöntem ihtiyacı duyulmasını zorunlu kılmaktadır. DDoS saldırıları, bulut bilişimde karşılaşılan en büyük tehditlerden biridir. Bulut bilişimin bilgisayar ağlarına ve internete bağımlılığı, bulut sistemlerini siber saldırılara ve tehditlere karşı savunmasız hale getirmiştir (Mittal ve Behal, 2022). Bulut bilişimin doğası gereği, bulut hizmetlerine yönelik siber saldırılar, bulut servislerini ve bulut sistemlerini istismar etmek, bozmak, değiştirmek, önlemek veya zarar vermek için siber ortamlarda gerçekleştirilen faaliyetler olarak tanımlanabilir. DDoS saldırıları, tüm bulut güvenlik tehditlerinin en sık görülenidir ve DDoS'un neden olduğu hasarın sonuçları çok ciddidir. Bu nedenle, verimli bir DDoS algılama sisteminin tasarımı, buluttaki şüpheli etkinliklerin izlenmesinde önemli bir rol oynar (Berard, 2018).

DDoS saldırısına yol açan kötü amaçlı trafiği bulmak için kullanılan yöntemler, imza tabanlı ve anomali tabanlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Rawashdeh, 2018). İmza tabanlı yöntemler, önceden kayıt altına alınmış saldırıların tespiti için kullanılmaktadır (Deshmukh, 2015). Fakat gelişen teknoloji ve erişim kolaylıkları nedeniyle DDoS saldırıları gün geçtikçe değişmekte ve gelişmektedir. İmza tabanlı yöntemler bilinmeyen saldırılar için yetersizdir. Anomali tabanlı yöntemler ise daha önce meydana gelen saldırıları örnek alarak ve kullanılan çeşitli algoritmalar yardımıyla karşılaştırma yaparak kötü amaçlı trafiği tespit etmeye çalışır (Balarezo ve diğerleri, 2021). Bu sayede daha önce kayıt altına alınmamış saldırıların da tespitini sağlar.

Literatüre bakıldığında yapay zeka yöntemleri siber saldırıları tespit etmek ve önlemek amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Tekrarlayan sinir ağlarına dayalı bir RNNIDS (Recurrent Neural Network Intrusion Detection Systems - Tekrarlayan Sinir Ağı Saldırı Tespit Sistemleri) algılama sisteminin tasarımı ve uygulaması sunulmuştur (Otoum ve Nayak, 2021). Çalışmada önerilen modelin eğitim süresi 4800 s olarak hesaplanmıştır. Hareket tanıma bağlamında bir Evrişimli Uzun Kısa Vadeli Bellek Tekrarlayan Sinir Ağı'nı (CNNLSTM - Convolutional Long Short Term Memory Recurrent Neural Network) analiz edilmiştir (Dimolianis ve diğerleri, 2021). DDoS tespiti için bir CNN (Convolutional Neural Network - Evrişimli Sinir Ağı) çerçevesi önerilmiştir (Buragohain ve diğerleri, 2015). Saldırılarda DDoS ve Portscan'ı tespit etmek ve azaltmak için bir LSTM-Fuzzy sistemi sunulmuştur (Yin ve diğerleri, 2017). CICDDoS2019 veri seti üzerinde RNN kullanarak SDN'e (Software-defined networking - Yazılım tanımlı ağ) yönelik DDoS saldırılarını tespit etmek için bir model (DDoS-

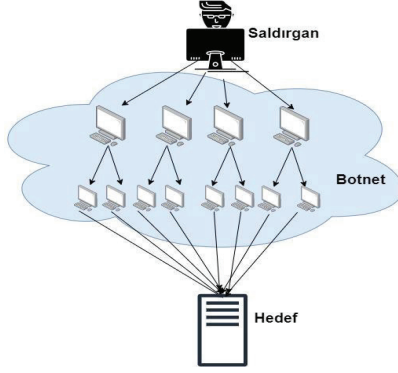
Net) önerilmiştir (Tsironi ve diğerleri, 2017).

Literatür taramasında incelenen çalışmalar, anomali tespitinin önemli bir problem olarak kabul edildiğini ve farklı veri setleri üzerinde farklı derin öğrenme algoritmaları kullanılarak geniş çapta çalışıldığını göstermektedir. Ek olarak, gözden geçirilen çalışmalar, etkili bir anomali tespit yönteminin ağ davranış özelliklerini doğru bir şekilde yakalaması ve hızlı bir şekilde doğru sonuçlar üretmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Karşılaşılan her siber saldırıyı tespit edebilen ve bütün veri setleri ile tam uyumlu çalışan genel siber saldırı tespit metodolojisi bulunmamaktadır. Bu çalışmada genel bulut ağ ortamında DDoS saldırılarının tespiti ve önlenmesi için planlanmış derin öğrenme tabanlı bir sistem tasarımı önerilmiştir. İlk olarak farklı çeşit DDoS saldırılarını içeren eğitim ve test veri setleri, sanal sunucular oluşturmak ve yönetmek için bir dizi yazılım aracı sağlayan açık kaynaklı OpenStack yazılımı kullanılarak oluşturulacaktır. Büyük ölçekli veri işleme için kullanılan Apache Spark ile dağıtık bir çerçevede bir DDoS saldırı tespit sistemi tasarlanmıştır. Tespit edilen DDoS saldırılarını önlemek için de bir savunma mekanizması kullanılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

DDoS saldırıları, saldırganın kötü amaçlı yazılım bulaşmış makinelerden oluşan bir botnet kullandığı en yaygın siber saldırı türüdür. Şekil 1’de gösterildiği gibi, saldırgan, hedef sunucuya bir DDoS saldırısı gerçekleştirmek için bir kontrol merkezi ve botnet kullanır. Saldırganın makinesi, saldırı türünü ve hedef sunucunun IP adresini kontrol sunucusuna belirtir. Ardından kontrol sunucusu bu bilgileri botnet ağına gönderir. Botnet ağını oluşturan birden fazla makine, yanlış bir girdi atarak veya aynı anda çok sayıda istek göndererek hedef sunucuya bir saldırı istek akışı gönderir. Hedef sunucu bu isteğe yanıt verdikten sonra bile botnet makineleri aynı isteği tekrar tekrar atar. Böylece hedef sunucunun kaynakları tükenir, performansı düşer ve hatta sunucu çöker. Saldırıları botnetin farklı makinelerinden kaynaklandığı için dağıtılmış DoS saldırıları olarak adlandırılır (Haider ve diğerleri, 2020).



Şekil 1: DDoS Saldırı Şeması

Çeşitli saldırı türleri arasında DDoS saldırılarının, bulut ortamları da dahil olmak üzere ağlar üzerindeki potansiyel zararlı etkileri nedeniyle en yıkıcı ve şiddetli saldırılardan biri olduğu söylenebilir.

Bulut bilişim, bilgisayar ağlarına, sunuculara, veri depolama birimlerine, uygulamalara ve bilgi işlem kaynaklarına isteğe bağlı ağ erişimi sağlamak için oluşturulmuş bir hizmet modelidir. Bulut sistemlerinin artan siber saldırı riskleri altında olması, bilgi güvenliği olgusunu bu sistemler için önce bir ihtiyaç sonra da bir zorunluluk haline getirmiştir (Novaes ve diğerleri, 2020).

John McCarthy önderliğinde 1956 yılında ilk kez tüm dünyaya adını duyuran derin öğrenmede, diğer makine öğrenmesi yöntemlerinden farklı olarak, öğrenme süreci ham veriler üzerinde ve oluşturulan bilginin farklı katmanlarında gerçekleşmektedir. Günümüzde Grafik işleme birimi (Graphics Processing Unit-GPU) hızlarının artmasıyla birlikte derin ağlar ön eğitime gerek kalmadan eğitilebilmektedir. Derin öğrenme modeli, yapay zeka alanında birçok başarı sağlamıştır (Elsayed ve diğerleri, 2020). Derin öğrenme, bilgi güvenliğini sağlamak için siber saldırıları tespit etmek ve önlemek amacıyla yaygın olarak kullanılır hale gelmiştir. Derin öğrenme algoritmaları, siber saldırılarla ilgili geçmiş ağ trafiği değerlerine bakarak gelecekteki saldırı değerlerini tahmin etme fırsatı sunar (Najafimehr ve diğerleri, 2022). Bu yaklaşım, geçmiş verileri kullanarak ağ profilini karakterize eden bir model oluşturma yeteneği verir. Saldırıları tanımlamak amacıyla, saldırı algılama veri kümelerini eğitmek ve test etmek için derin öğrenme kullanılabilir (Somani ve diğerleri, 2017).

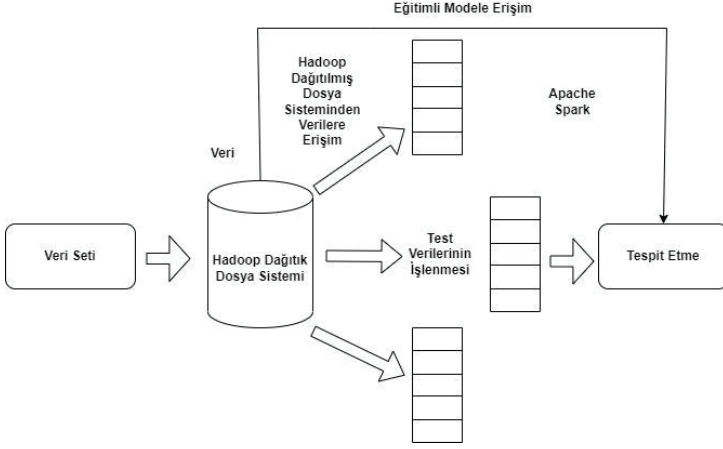
Her veri kümesi için uygun derin öğrenme algoritmasının seçimi önemli bir konudur. Verilerin doğru sınıflandırılması için doğru sınıflandırıcının seçilmesi gerekir. Bu nedenle, sınıflandırıcı seçiminde algoritmaların tahmini ve performanslarının karşılaştırılması gereklidir. Ayrıca,

doğruluklarına, kesinliklerine ve hesaplama sürelerine göre sınıflandırıcıların seçilmesi arasında bir denge vardır. Çoğu sınıflandırıcı, izinsiz giriş algılama hızı ve ilgili performans açısından sorunludur. Bu, araştırmacıları DDoS saldırılarının daha verimli ve daha hızlı tespit edilmesini sağlayan yeni yaklaşımlar aramaya motive etmektedir.

Bu çalışmada önerilen sistemin temel amacı, genel bulut ağ ortamında DDoS saldırılarını tespit etmek ve önlemektir. Sistem iki modülden oluşmaktadır.

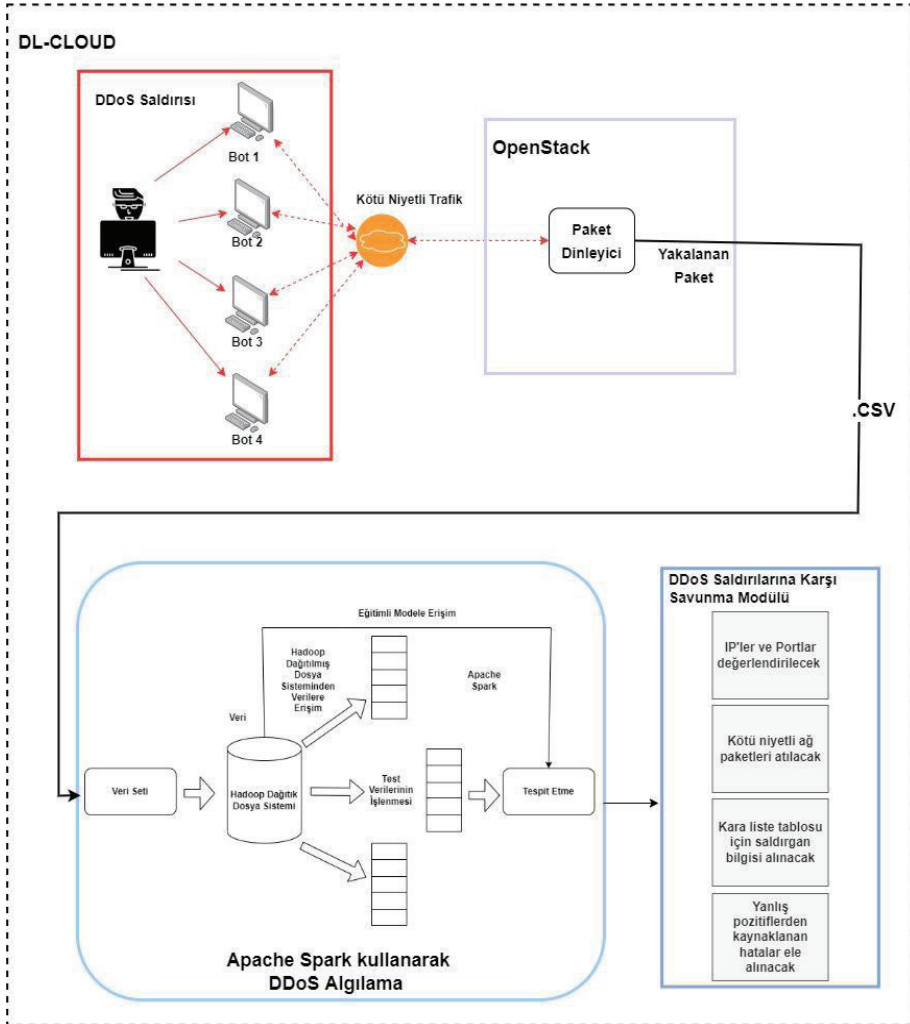
Sistemin ilk modülü algılama modülüdür. Kötü niyetli ağ trafiğini kısa sürede, tam ve gerçek zamanlı olarak tespit edilebilmesi bilgi güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Anormalliklerin tespiti ve tanımlanması bu modülün ana fonksiyonları olarak belirlenmiştir. Bu modül, bu çalışmada geliştirilecek derin öğrenme modelleri ile DDoS saldırılarının oluşumunu tespit edecek şekilde belirlenmiştir. Başka bir deyişle, derin öğrenme yöntemine dayalı olarak kötü niyetli ağ akışını tespit etmek için sınıflandırma modelleri geliştirilecektir. Şekil 2, Apache Spark çerçevesi kullanılarak DDoS algılama sürecini göstermektedir.

Apache Spark, YARN (Yet Another Resource Negotiator) altyapısı üzerine kurulmuştur. Spark, önceki Hadoop sürümünde dağıtılmış toplu iş işlemeye ek olarak, derin öğrenme algoritmalarını etkin bir şekilde gerçekleştirmek için bellek içi yinelemeli işlemeyi destekleyen dağıtılmış bir işleme çerçevesidir. Spark dağıtılmış işleme çerçevesi Scala'da yazılmış olsa da, ayrıca Python için bir dizi bağlamaya sahiptir. Çalışmada bir ana düğüm ve 3 düğüme kadar değişen sayıda bağımlı düğüm kullanılacaktır. Hem bağımlı makinelerdeki hem de ana makinedeki konfigürasyonun aynı olduğuna dikkat edilecektir. Özelliklerin ön işlenmesi için Spark RDD (Resilient Distributed Datasets) akışından ve eğitim ve algılama motoru için MLlib'den faydalanılacaktır. Süreci hızlandırmak için paralel bir hesaplama yaklaşımı dahil edilmiştir. Spark, bellek içi bilgi işlem biçiminde çalışan Apache sunucularının uygulamalarından biridir. OpenStack kullanılarak oluşturulan veri seti, Spark Engine kullanılarak büyük veri ortamında işlenir. Spark ortamında çalıştığımız için veriler değişmez olan RDD'de depolanır ve sınıflandırma algoritmalarını uygulamak için verileri dize biçiminde depolamaktadır. Spark MLlib kitaplığı, geniş sınıflandırma algoritmaları koleksiyonuna sahip açık kaynaklı bir kitaplıktır. Herhangi bir saldırıyı tespit etmek için derin öğrenme etkili bir analizdir. Derin öğrenme algoritmalarının performansları için doğruluk, kesinlik ve geri çağırma parametreleri karşılaştırılmalı ve model için en iyi algoritmaya karar verilmelidir.



Şekil 2: Apache Spark kullanarak DDoS Algılama

Sistemin ikinci modülü savunma modülüdür. Otonom politikalar uygulanarak tespit edilen anormalliklerin neden olduğu etkilerin en aza indirilmesi bu modülün ana işlevi olarak belirlenmiştir. Bu modülün görevi, tespit edilen DDoS saldırılarının etkilerini insan müdahalesine ihtiyaç duymadan en aza indirmek olarak tanımlanmıştır. Bulut ağının güvenli çalışmasını garanti altına almak için önceden belirlenmiş savunma mekanizmalarının ve güvenlik adımlarının uygulanması bu modül tarafından gerçekleştirilecektir. Kötü niyetli paketler tespit edildiğinde, analiz aralığındaki IP'ler ve portlar sistem tarafından şüpheli olarak değerlendirilecektir. Daha sonra kötü niyetli ağ paketlerinin atılması ve kara liste tablosu için saldırgan bilgisinin alınması yapılacaktır. Yanlış pozitiflerden (false positive) kaynaklanan hatalar ve arızalar bu modül tarafından ele alınacaktır. Bu modül ayrıca ağ yöneticisine bir alarm vermekten de sorumlu olacaktır. Bu çalışmada önerilen sistem tasarımı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3: Bulut Ağ Ortamında Derin Öğrenme Tabanlı Dağıtılmış Hizmet Reddi (DDoS) Algılama ve Savunma Sistemi Akış Şeması

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, özel bir bulut ortamında DDoS saldırılarının verimli bir şekilde algılanması için bir sistem tasarımı önerilmiştir. Sistem tasarımı sayesinde, derin öğrenme modeli kullanılarak farklı türde DDoS saldırıları tespit edilebilecektir. Spark çerçevesinin sunduğu avantajlar sayesinde DDoS saldırılarını tespit etme süresinin kısılacağı ve tespit verimliliğinin önemli ölçüde artacağı ön görülmektedir. Gelecekteki çalışmalar olarak, önerilen sistem tasarımı gerçek zamanlı çalıştırılarak değerlendirilecektir.

KAYNAKÇA

- Ademola, E. O., Oyemade, D. A., & Allenotor, D. (2021). Dyn DDoS Cyberattack: A Position Paper. *Journal of Advances in Mathematical & Computational Sciences*, 9(1), 1-8.
- Balaban, I. (2021). Denial-of-Service Attack. *International Journal of Information Security and Cybercrime (IJISC)*, 10(1), 59-64.
- Balarezo, J. F., Wang, S., Chavez, K. G., Al-Hourani, A., & Kandeepan, S. (2021). A survey on DoS/DDoS attacks mathematical modelling for traditional, SDN and virtual networks. *Engineering Science and Technology, an International Journal*.
- Berard, D. 2018. A single DDoS attack can cost a company more than \$400,000. Kaspersky. Web Sitesi: https://usa.kaspersky.com/about/pressreleases/2018_ddos-breach-costs-rise-to-over-2m-for-enterprises-finds-kaspersky-lab-report Erişim Tarihi: 09.10.2022.
- Buragohain, C., Kalita, M. J., Singh, S., & Bhattacharyya, D. K. (2015). Anomaly based DDoS attack detection. *International Journal of Computer Applications*, 123(17).
- Deshmukh, R. V., & Devadkar, K. K. (2015). Understanding DDoS attack & its effect in cloud environment. *Procedia Computer Science*, 49, 202-210.
- Dimolianis, M., Pavlidis, A., & Maglaris, V. (2021). Signature-Based Traffic Classification and Mitigation for DDoS Attacks Using Programmable Network Data Planes. *IEEE Access*, 9, 113061-113076.
- Elsayed, M. S., Le-Khac, N. A., Dev, S., & Jurcut, A. D. (2020, August). Ddosnet: A deep-learning model for detecting network attacks. In *2020 IEEE 21st International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks" (WoWMoM)* (pp. 391-396). IEEE.
- Haider, S., Akhunzada, A., Mustafa, I., Patel, T. B., Fernandez, A., Choo, K. K. R., & Iqbal, J. (2020). A deep CNN ensemble framework for efficient DDoS attack detection in software defined networks. *Ieee Access*, 8, 53972-53983.
- Han J, Kamber M, Pei J (2012) Introduction. In: *Data mining*. Morgan Kaufmann, pp 1–38.
- J. Padhye, V. Firoiu, and D. Towsley, "A stochastic model of TCP Reno congestion avoidance and control," Univ. of Massachusetts, Amherst, MA, CMPSCI Tech. Rep. 99-02, 1999.
- Karnik, A. (1999). Performance of TCP congestion control with rate feedback: TCP ABR and rate adaptive TCP/IP.A. Karnik, "Performance of TCP congestion control with rate feedback: TCP/ABR and rate adaptive TCP/IP," M. Eng. thesis, Indian Institute of Science, Bangalore, India, Jan. 1999.
- Kaur, P., Kumar, M., & Bhandari, A. (2017). A review of detection approaches for distributed denial of service attacks. *Systems Science & Control Engineer-*

ing, 5(1), 301-320.

- Mittal, M., Kumar, K., & Behal, S. (2022). Deep learning approaches for detecting DDoS attacks: a systematic review. *Soft Computing*, 1-37.
- Najafimehr, M., Zarifzadeh, S., & Mostafavi, S. (2022). A hybrid machine learning approach for detecting unprecedented DDoS attacks. *The Journal of Supercomputing*, 78(6), 8106-8136.
- Novaes, M. P., Carvalho, L. F., Lloret, J., & Proença, M. L. (2020). Long short-term memory and fuzzy logic for anomaly detection and mitigation in software-defined network environment. *IEEE Access*, 8, 83765-83781.
- Otoum, Y., & Nayak, A. (2021). As-ids: Anomaly and signature based ids for the internet of things. *Journal of Network and Systems Management*, 29(3), 1-26.
- Padhye, J., Firoiu, V., & Towsley, D. A Stochastic Model of TCP Reno Congestion Avoidance and Control CMPSCI Technical Report 99-02.
- Rawashdeh, A., Alkasassbeh, M., & Al-Hawawreh, M. (2018). An anomaly-based approach for DDoS attack detection in cloud environment. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 57(4), 312-324.
- Samsoerizal, A. D., Hidayat, E. R., & Sukendro, A. Analytical Study of Indonesian Cybersecurity: Lesson Learned From Estonian Cyberattacks In 2007. Samsoerizal, A. D., Hidayat, E. R., & Sukendro, A. Analytical Study of Indonesian Cybersecurity: Lesson Learned From Estonian Cyberattacks In 2007.
- Somani, G., Gaur, M. S., Sanghi, D., Conti, M., & Buyya, R. (2017). DDoS attacks in cloud computing: Issues, taxonomy, and future directions. *Computer Communications*, 107, 30-48.
- Tsironi, E., Barros, P., Weber, C., & Wermter, S. (2017). An analysis of convolutional long short-term memory recurrent neural networks for gesture recognition. *Neurocomputing*, 268, 76-86.
- Yin, W., Kann, K., Yu, M., & Schütze, H. (2017). Comparative study of CNN and RNN for natural language processing. arXiv preprint arXiv:1702.01923.

BÖLÜM 4

BULUT AĞ ORTAMINDA DERİN ÖĞRENME TABANLI DAĞITILMIŞ HİZMET REDDİ ALGILAMA VE SAVUNMA SİSTEMİ TASARIMI

Abdulla SAKALLI¹ , Muhittin DÖNER²

1 Doç. Dr., İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğabilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, E-mail: abdulla.sakalli@iste.edu.tr

2 İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğabilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, E-mail: muhyittindoner20@gmail.com

1. Giriş

İşletmeler günümüz rekabet koşullarında kaliteli ürünü, maliyeti en düşük şekilde üretmek istemektedirler. Üretim sürecine bakıldığında genel olarak işletmeler sektöre bağlı olarak üretimin sürekli üretim, kesikli üretim ya da siparişe göre üretim olarak süreci tasarlarlar. Bu süreçlere bakıldığında çelik boru üretimi yapan işletmelere farklı çeşitlerde boru üretimlerinden her bir borunun üretim sürecinin farklı olduğu ve seri üretim yapıldığı bilmektedir. Bu yüzden bu işletmeler esnek üretime sahip üretim planlamaktadırlar. İşletmeler kârlarını artırmak amacıyla üretim hacmini ve kapasitesini genişletmek isterler. İstenilen ürünün kaliteli, tam zamanında ve maliyeti en düşük şekilde teslim etmek yeni teknolojiye ayak uydurmakla birlikte oluşmaktadır. Bunun yanında üretim hattında görev alan makineler dışında insan gücü, üretim hattının başındaki stok durumu, fabrikanın kapasitesi gibi birçok etken kontrol edilmesi ve birbiri ile verimli şekilde çalışması gerekmektedir. Bu birlikteliği bir simülasyon yardımı ile analiz edip bilgisayar yardımıyla üretim sürecini incelemeyi ve çözümlenmeyi ve sadece üretim hacminin büyümesi değil üretim akışını bozan verimliliği düşüren sorunların tespitinde de simülasyon yardımı ile çözümlere ulaşmayı planlamaktadır. Simülasyon firmaların yapacağı devasa yatırımlarda önceden işleyip işlenmeyeceğini bilgisayar üzerinden tahmin etmekte ve üretimi aksatan durumları tespit etmek amacıyla kullanılan bir programdır. Günümüzde bilgisayar simülasyonu, birçok üretim organizasyonunda, üretim sisteminin ilgilenilen problemini tasarlamak, geliştirmek, uygulamak ve analiz etmek için kullanılmaktadır.

Literatürde yer alan çeşitli performans tespit yöntemleri ile süreç iyileştirme ve bunların simülasyonla yardımıyla yapılmasına yönelik birçok çalışma yapılmıştır.

Bir tekstil fabrikasında yapılan süreç iyileştirmede işgücü malzeme ve teçhizatın istenilen kapasiteye ulaştırmak amacıyla yapılan çalışmalarda fabrikanın istenilen verimlilikte çalışmasına engel olan darboğazların tespit edilip ortadan kaldırılması için simülasyon çalışması yapılmıştır. Çalışmada mevcut durumla gelecek durum karşılaştırılmış çıkan sonuçlarda ek kaynaklara ihtiyaç duyulmadan mevcut sistem üzerinde çalışmalar yaparak gelecek durumun şimdiki durumdan %47 oranda daha fazla ürün üreteceği tespit edilmiştir [1]. Bir başka çalışmada ise, elektrik motoru üreten firmada yarı mamul üretim hattının süreç iyileştirmesi ve performans artışının sağlanması amacıyla Anylogic yazılımı kullanarak kesikli olay simülasyonu modeli geliştirilmiştir ele alınan hatta 8 makine 11 operatör kaynağı kullanılarak akış tipi üretim gerçekleştirilmiştir. Modelde darboğazları tespit etme, üretim kullanılan kaynakları maksimize etme ve stok maliyetlerini minimize ederek hattaki üretim akışını verimli hale getirmeyi amaçlanmıştır. Bu çalışmayı yaparken geçmiş bir yıllık verilerden yarar-

lanıp çalışılmıştır [2]. Benzer bir çalışma, emniyet ve güvenlik sistemleri sektörüne fason imalat yapan bir firmada, emniyet kilidi üretim ve montaj süreçlerinde ortaya çıkan aksaklıklar ve gecikmeler tespit edilmeye çalışılmıştır. Hammaddenin gelişinden sisteme girip ve son ürün olana kadar ki süre arena 14.0 programında simüle edilip sürecin tüm istasyonlarını çıktıya nasıl etki edeceğini incelenmiş ve darboğazlar tespit edilmiştir. Oluşturulan modelde uzmanlardan alınan veriler ve analizi yapılan verilerin modele işlenmesi ve çıkan çıktının 6368 olduğu tespit edilmiştir. Daha sonra gecikmeye sebep olan, uzun kuyruklar oluşturan istasyonları belirleyerek model üzerinde tekrardan düzeltmeler yapıp modeli iyileştirdiklerinde çıktının %31,58'lik bir üretim artışı sağlandığını gözlemlemişlerdir. Bu sayede çalışma sonucunda firmanın rekabet gücünün artması ve teslimatları tam zamanında yapmasından dolayı diğer ürün üretimlerine de firmaya kazanç sağlayacağı görülmüştür [3]. Farklı bir sektörde ise, bir jeneratör firmasında kabin kaynak hücresi hattını inceleyip yeterince kaynaklı kabin çıkartmaması gözlemlenmiş ve iyileştirme yapılması için çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmada hattın üretim kapasitesini artırmak amaçlı robot alım projesini simülasyon uygulamasıyla yapılmıştır. Simülasyonun mevcut durumunu hazırlanması için kullanılacak veriler firmanın sahip olduğu standart zaman metot formlarından temin edilmiştir. İyileştirilmiş simülasyon da ki veriler ise robot alımı için araştırılan firmalarda test denemeleri ile belirlenen sürelerden ideal olanı alınmıştır. Kabin kaynak hattını dengelem problemini çözmek amacıyla ProModel 7.5 uygulaması kullanılmıştır. Programda mevcut durum ve robot alımından sonraki durum sırasıyla incelenmiştir. İncelenen durumlar değerlendirildiğinde iş merkezleri, stok alanları ve iş gücünün etkin kullanımını kapsamında öneriler sunulmuştur. Üretimdeki tezgâh sayılarının azaltılması ve robot alımıyla belirgin iyileştirme sağlanmıştır. İyileştirilmiş durumda hat %21 daha fazla kaynaklı kabin verebilecektir. Bu durumda firma daha fazla ürün çıkarabilecek ve stok miktarlarını artırabileceği saptanmıştır [4].

Yiğit (2015) yaptığı bir çalışmada, ofis mobilya üretimi yapan bir firmanın üretim akışını bilimsel yöntemlerle analiz edip mevcut durumu simülasyon ile inceleme ve iyileştirme yapma amaçlamıştır. Çalışmada üretimde kenar bantlama makinelerinde darboğaz tespit edilmiş ve CNC makinelerinde kapasiteye göre çok az çalıştığını gözlemlemişlerdir. Mevcut durumda kenar bantlama verimliliğini artırması için modellenen sisteme bir kenar bantlama makinası eklenmiş ve tekrar simüle edilerek üretim süresini %28 kısaltmış ve makinelerin kullanım oranını %40 arttırmıştır. Çıkan bu sonuçlar sonucunda darboğazların problemini tam olarak çözememiştir. Daha sonra ikinci bir öneri sunulmuş bu öneride bir tane daha kenar bantlama makinası eklenmesi istenmiştir. Modelleme üzerinde ikinci makine eklendiğinde ve simüle edildiğinde darboğazların ortadan kalktığını ve birinci modele göre %30 lük zaman tasarrufu elde edildiğini saptamıştır [5].

Bir diğer üretim alanında, UPS (kesintisiz güç kaynağı) imalatı yapan bir endüstriyel fabrikada üretim hattının verimliliği artırmak ve süreci iyileştirmek adına arena programı kullanarak simülasyon çalışması Rahman vd. (2015) tarafından ele alınmıştır. Çalışmada yapılan simülasyon modelinde stokastik dağılımlar seçilerek giriş verilerinin analizi için Arena Input Analyzer'ın ve istatistiksel analiz için Microsoft Excel yazılım paketinin kullanılarak geliştirilmiştir. Bu çalışmanın asıl amacı üretimdeki yerleşimin hatalı ve işçilere uygun olmayan yük dağılımı sebebiyle üretilen ürünün harcanan hammaddeye göre az olması nedeniyle hattın en baştan denetlenmesi ve incelenmesi istenmiştir. Yapılan çalışma KGK trafo üretim hattında gerçekleştirilmiş ve simülasyon çalışması sonucunda darboğazlar tespit edilerek, sorunlara öneri olarak üretimdeki yerleşimin yeniden yerleşimi, kaynak seviyesinin değiştirilmesi ve fazladan işçi eklenmesi şeklinde öneriler sunulmuş, işletmenin daha verimli üretim yapması sağlanmıştır [7]. Petrilva vd. (2016) farklı bir sektörde, hidrostatik bileşen üreten bir firmada, üretim akışını tecnomatix yazılımıyla inceleyip düzenlemeler yapılmıştır. Ürün proses tasarımı, simülasyonu, işleyişi ve son olarak çıktısına kadar tüm üretim sistemleri birbirine bağlıdır. Çok çeşitli simülasyon yaratmaya yönelik bu program bu çalışmada kullanılmıştır. Yapılan modelde rapor incelendiğinde torna makinası iki kısma ayrılarak torna 1 torna 2 olmak üzere operasyon sayısı azaltılıyor böylece tornalama işlemi için tek bir ayar ve paketleme ve depolama işlemi için tek bir vardiya gerçekleştiriliyor. İnceleme sonucunda tek bir montaj hattı için yaklaşık iki saatlik farkla üretim hattı optimize edilmiştir [10].

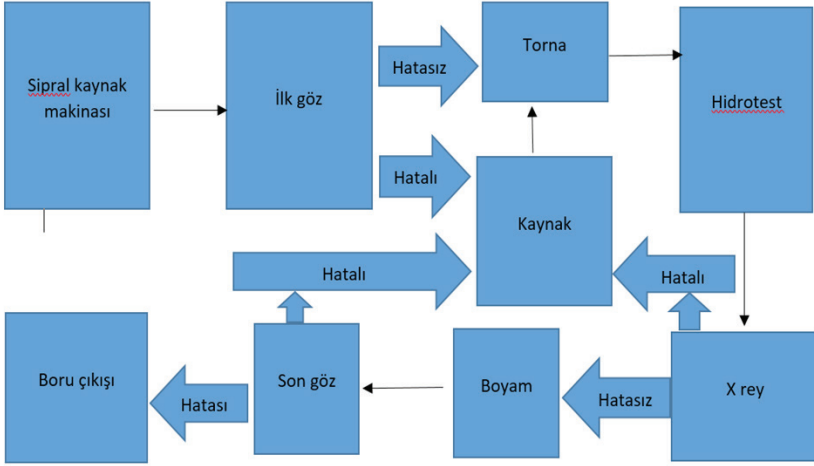
Bu veriler ve literatür taraması ışığında, çalışmamızda çelik doğal gaz borusu üretimi yapan bir imalat işletmesinde üretim sürecine etki edip verimliliği düşüren tüm sorunları simülasyon yardımı ile tespit edip düzeltilmesi ve karın artırılması yönünde çalışmalar yapılması amaçlanmıştır. Üretime etki eden aksatan verimliliği azaltan etmenler üretime başlamadan, üretim esnasında ve üretim sonunda birçok yerde ortaya çıkmaktadır. Bu etmeler üretim esnasındaki makine, personel verimsizliğinden oluşabilecek darboğazlardan, stoktaki ürün miktarından, fabrikanın kapasite alanından ve vardiya sistemlerinden oluşabilmektedir. Bu çalışma sonunda firmada üretim süreci en baştan simüle edip maliyeti azaltarak ev verimli hale getirmeyi planlamaktadır.

2. Materyal ve Metotlar

2.1. İşletmedeki Ürün Akışı

Firmada ele alınan ve incelenen ürün API5L standartlarında sızal kaynaklı çelik doğalgaz borusudur. Bu ürünün üretildiği süreç ise ikinci sızal kaynak makinasında başlayıp üretimi sürecini takip etmektedir. Üre-

tim akışı şu şekildedir; ilk olarak gelen sac bobin sipral kaynak makinasına yerleştirilir üretim standartlarına uygun üretim açısı belirlenir ve ayarlamalar yapılır. Ayarlamalar yapıldıktan sonra üretime başlanır. Üretilen ürün kesilmeden önce ultrason cihazdan geçerek kontrol edilir, daha sonra ürün istenilen uzunlukta kesildikten sonra ilk göz kontrol noktasına gelir. Burada çalışan personeller boruyu gözle kontrol ve ölçülerini aldıktan sonra herhangi bir hata tespit etmezler ise boru kaynak ağzı açılmak için torna makinasına gönderilir eğer her hangi bir hata ilk gözde tespit edilirse kaynak tamire gönderilir. Tamiri yapıldıktan sonra boru torna makinasına gider. Torna makinasında kaynak ağzı açılan boru test için hidrotest makinasına gönderilir, orada görünmeyen hataları tespit etmek için içine basınçlı su verilerek test edilir. Oradan çıkan boru x ray cihazına gönderilir. Orada borulara radyoskopik kontrol yapılır, hata varsa kaynak tamirine yok ise boya için iç epoksi kısmına gönderilir. İç epoksi yapılan borular işlemleri bittikten sonra son göz denilen son gözle kontrol kısmına gelir ve orda sevkiyattan önceki son kontroller yapılır. Herhangi bir sorun tespit edilmez ise sevkiyat hazırdır. Eğer standartlar dışında bir sorun görülürse boru tamir kaynak kısmına tekrar gönderilir ve gereken yapılır daha sonra aynı yolu izleyerek son kısma gelir kontrolü bir daha yapıldıktan sonra sevkiyata hazır hale gelir.



Şekil 1: Ürün akış şeması

1.2. Kullanılacak Teknikler

Bu çalışmada Hatboru işletmesinin üretim sürecinde bir prosesi ele alarak üzerinde iyileştirme yapmak amacıyla ARENA 16.0 simülasyon programı kullanılmıştır.

Arena programı gerçek hayatta uygulanması zor ve pahalı olan uygulamaları, uygulanan iyileştirmenin üretim performansını artırıp artırmayacağına önceden tahmin eden nasıl değişiklik göstereceği açısından ön izlenim veren bir programdır. Bu program günümüzde askeri, trafik, ulaştırma ve üretim gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Programın kullanıcıya sağladığı bir diğer özellik sürece gelen varlıkların gelişleri input analyzer tarafından istenildiği dağılımda ve grafikleri verilecek şekilde oluşturulmasıdır. Son olarak da model sonunda verilen rapor ile istatistiksel verilerin alınmasına yardımcı olduğu gibi ortalama çıktı sayısı, kaynakların ne kadar kullanıldığı, hatalı ürün sayısı gibi birçok veriyi kullanıcıya raporda vermektedir.

Arena programı için gerekli verileri elde etmek amacıyla işletmede zaman etüdü yapılmıştır. Yapılan zaman etüdü işletmede üretim sisteminin sorumlu mühendisle her bir proses başında gözlem yapılarak veri toplanmıştır. Yapılan zaman etüdü ve gözlemlerde her bir proseste borunun geliş, üzerinde çalışma ve çıkış zamanını tespit ederek borunun o proseste kaç dakika kaldığı belirlenmiştir. Her bir proseste toplam üretilen boruların rastgele 15 tanesinin işlem süreleri ele alınmıştır. Alınan süreler daha sonra arena programı için veri olarak kullanılacaktır.

2.3 Mevcut Durumda Üretim Akışında Yaşanan Sorunlar Ve Bu Sorunların Çözümüne İlişkin Gelecek Durum Önerisi

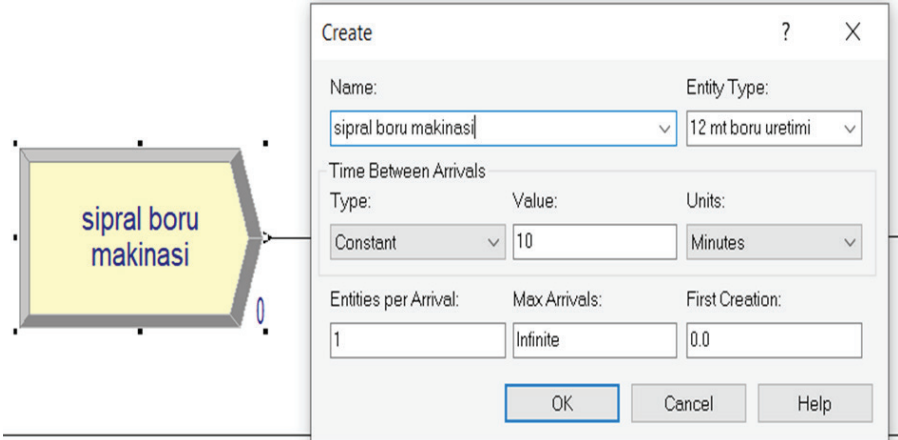
Bu çalışma Hatboru' nun sipral kaynak 2 makinasında API5L standartlarında üretimi gerçekleştirilen doğal gaz çelik borusu ele alınmıştır. Bu üretimin ele alınmasının nedeni borunun sipral makinadan çıkıp son aşamaya kadar olan bütün proseslerde standartlarından dolayı detaylı bir şekilde incelenmesidir. Bu yüzden proseslerde gecikmeler çok olmaktadır. Bunun yanında sipral boru makinasında çıkan borular 12 metre olarak kesildikten sonra, ilk göze geldiğinde 2 personel tarafından incelemesi yapılmaktadır. Burada kaynak hatalarına, boru ovalliğine, boy uzunluğuna, çapına ve gövdeye bakılmaktadır ve borunun üzerinde olan kaynak uzunluğu yani boru uzunluğu /imalat açısı yapıldığında borunun üzerindeki kaynak uzunluğuna bakılıp kontrolünün yapılması uzun sürmektedir. Sonra ilk gözde hatalı kaynak tespit edildiğinde kaynak tamire gönderilen boru orada tamir edilmektedir, burada da iki personele çalışmaktadır. Eğer burada hata yok ise tornaya gönderilip orda kaynak ağzı açılmaktadır. Burada iki makine iki personel çalışmaktadır. Kaynak tamirinden gelen borular tornaya gelen boruların hemen arkasına geçmektedir, bu da tornada sıkışıklığa neden olduğu görülmektedir. Daha sonra hidrotest kısmına giden boru basınçlı su uygulanarak borunun hataları olup olmadığı tespit edilir. Kalite standartları için burada iki makine ile hidrotest üretime katkı sağlamaktadır. Ardından x ray cihazına gönderilen boru hatalı ise tamir kısmına geri

dönmektedir. X ray de borulara biraz dikkatli bakıldığı gözlemlenmiş ve borunun oradan çıkması uzun sürdüğü görülmüştür, bu da darboğaz olmasına sebep olacağı tahmin edilmektedir. Tamir alan boru kaynak tamirine gitmektedir. Şu ana kadar ilk gözden ve x raydan sonra hatalı olan ürünler kaynak tamire gitmektedir. X raydan çıkan boru iç epoksi yapılması yani boyanması için boyama kısmına gitmektedir. Boyama kısmında 1 makina olduğundan dolayı bir borunun boyanması uzun sürmektedir. Üretim hattının gözle ve verilerle incelediğinde en çok boyama kısmında darboğaz olduğu tahmin edilmektedir. Bu prosesten sonra son göz kısmına gelen borular burada bir daha gözle kontrol yapılmaktadır. Burada tespit edilen hatalar tamir kısmına gönderilmektedir. Bu aşamaya kadar ilk göz, x ray ve son göz de tespit edilen hatalar kaynak tamir kısmına gönderilmektedir. Üretim sürecinde kaynak tamir kısmında borular çok birikmektedir ve her tamire gelen boru aynı prosesi bir daha baştan geçmektedir. Bu yüzden diğer makinalardan az da olsa darboğazlar olması görülmektedir. Üretim hattında gecikmeler yapılan kaynak tamirlerinden ya da personel sebepli gecikmelerden yaşanmaktadır. Bu incelemeler yapıldığında üretim sürecinin iyileştirmek amacıyla arena simülasyon programı kullanılacak ve darboğazlar detaylı bir şekilde tespit edilip makinaların kapasitesinin yeteri kadar doğru kullanıp kullanılmadığı bakılacaktır ve aynı zamanda üzerinde çalışma yapılarak iyileştirmeler yapılacaktır.

2.4 Gelecek Durumda Önerilen Akışın Etkisini Görmek İçin Simülasyon Yönteminden Yararlanılması

2.4.1 Create modülü

Create modülünün bu çalışmada uygulanan simülasyondaki durumunu şekil 2 kısmında incelenmiştir.

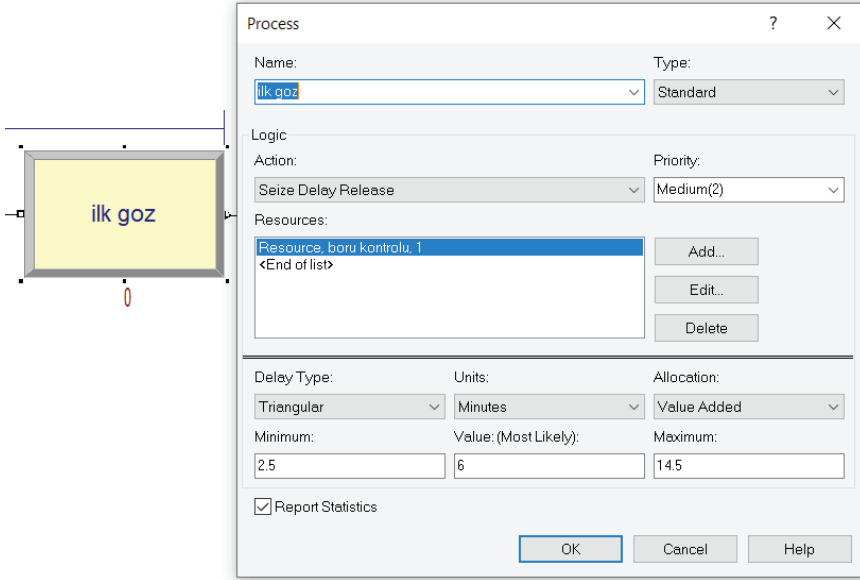


Şekil 2: Simülasyonda kullanılan create modülü

Bu modülde hammaddenin yerleştirilmesinde imalat açısının ayarlanmasından sonra rulonun boruya dönüştüğü yani kaynak kısmı yapımından, borunun 12 metreye yetiştiğinden sonra kesildiği yere kadar olan bölüm aynı makine olarak sayıldı bu nedeni bitişik yani birbirine bağlı olmasıdır. Bu makinenin adı sızpal boru makinasıdır ve her 10 dakika da bir 12 metrelik bir boru çıkartmaktadır. Bu yüzden constant varış tipi belirlendi ve 10 dakika yazıldı.

2.4.2 Proses modülü

2.4.2.1 ilk göz proses modülü

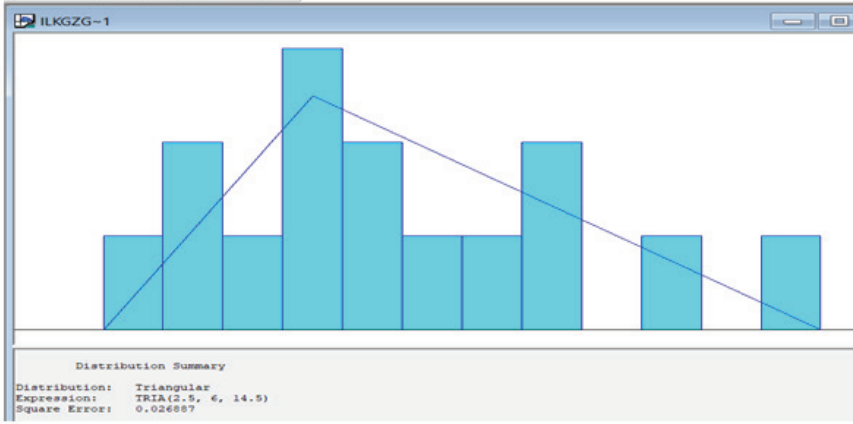


Şekil 3: Simülasyonda kullanılan ilk göz süreç modülü,

Tablo 1: İlk göz, kaynak tamiri, torna kaynak gazı açma, hidrotest basınçlı su testi, X-ray boru kontrol ve son göz gözlem sonucu elde edilen veriler

| İlk göz boru kontrol süresi (dk) | kaynak tamiri borunun tamir süresi (dk) | Torna kaynak ağı açma (dk) |
|----------------------------------|---|----------------------------|
| 6 | 7 | 3 |
| 4 | 20 | 6 |
| 8 | 14 | 9 |
| 7 | 9 | 6 |
| 5 | 21 | 7 |
| 10 | 6 | 4 |
| 3 | 15 | 11 |
| 6 | 22 | 6 |
| 4 | 8 | 8 |
| 12 | 11 | 9 |
| 9 | 14 | 3 |
| 7 | 19 | 9 |
| 6 | 6 | 6 |
| 14 | 25 | 5 |
| 10 | 5 | 8 |
| Hidrotest basınçlı su testi (dk) | X Ray boru kontrol (dk) | Son göz boru kontrolü (dk) |
| 6 | 4 | 7 |
| 7 | 8 | 5 |
| 6 | 10 | 4 |
| 7 | 11 | 9 |
| 6 | 7 | 11 |
| 7 | 8 | 6 |
| 6 | 6 | 5 |
| 7 | 9 | 8 |
| 6 | 8 | 8 |
| 7 | 9 | 9 |
| 9 | 5 | 5 |
| 8 | 7 | 4 |
| 7 | 9 | 6 |
| 6 | 10 | 7 |
| 12 | 8 | 6 |

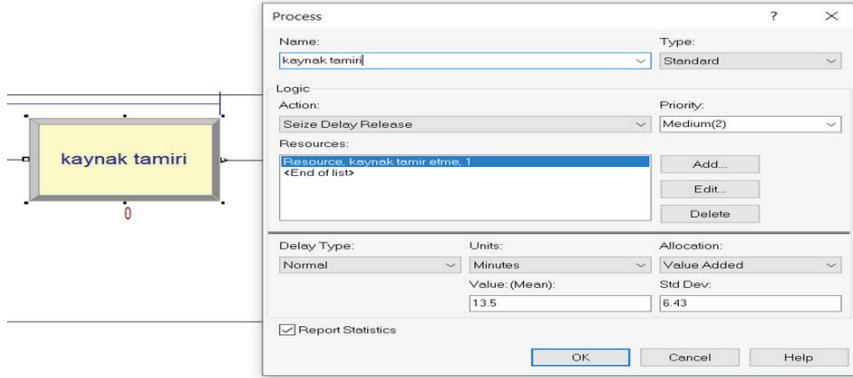
Sıralı kaynak makinasından çıkan borular ilk göz prosesine gelmektedir. Burada borular personeller tarafından boru kontrolü yapılmaktadır. Burada zaman etüdü yapılarak farklı zamanlarda 15 gözlem değeri alınmış (bkz. Tablo1). Bu değerler şekil 4 da görüldüğü gibi arena programının bize sunduğu input analyzera girildi ve triangular dağılım seçerek grafik ve veriler elde edildi. Elde edilen veriler şekil 3 te minimum=2.5, value=6 ve maksimum=14.5 kısımlarına değerler yazılarak ve resource kısmına işlemin içeriğini yani boru kontrol yazılarak ilk göz prosesi tamamlanmaktadır.



Şekil 4: Input analyze ile triangular dağılım seçerek grafik ve veriler.

2.4.2.2. Kaynak tamir proses modülü

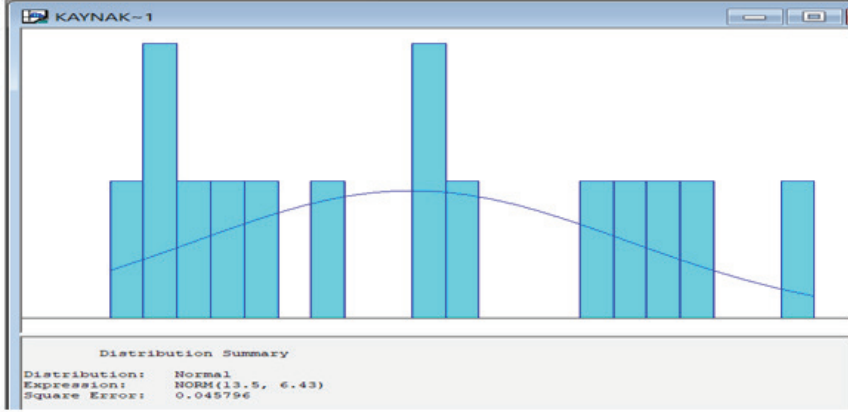
Bu çalışmada uygulanan simülasyondaki durumunu şekil 5 kısmında gösterilmiştir.



Şekil 5: Simülasyonda kullanılan kaynak tamir süreç modülü

Bu proseste ilk gözden sonra tamir alan borular kaynak tamir bölümüne gelerek bir tane kaynak ustası tarafından tamir edilmektedir. Tamir bölümünde zaman etüdü yapılmış ve farklı zamanlarda 15 gözlem değeri alınmıştır. Tablo 1 de görüldüğü gibi veriler elde edilmiştir. Elde edilen verileri input analyze programına girildi ve normal dağılım seçilerek grafik oluşturuldu ve veriler elde edildi. (bkz. şekil 6).

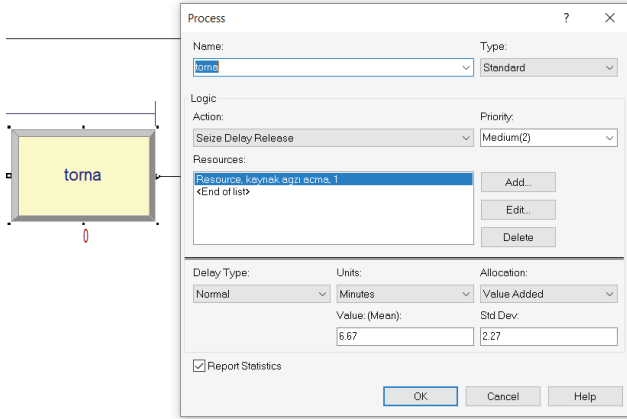
Şekil 5 de görüldüğü gibi normal dağılım seçildi elde input analyze da elde edilen veriler value =13.5 ve std dev =6.43 girilerek kaynak tamir prosesi tamamlandı



Şekil 6: Input analyzera ile normal dağılım seçerek grafik ve veriler:

2.4.2.3 Torna proses modülü

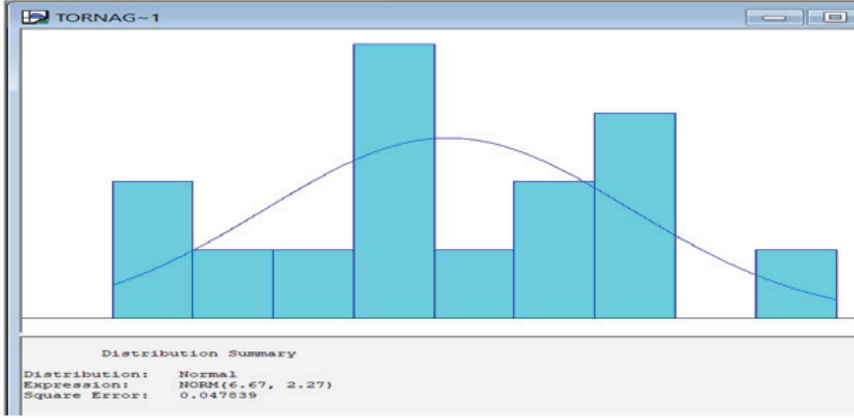
Bu çalışmada uygulanan simülasyondaki durumunu şekil 10 kısmında gösterilmiştir.



Şekil 7: Simülasyonda kullanılan torna süreç modülü

İlk gözden sağlam raporu alan borular ve kaynak tamire gidip orada tamir edilen borular torna bölümüne gelireler. Burada borulara kaynak ağızı açılır. Bu bölümde iki tane torna makinası bulunmaktadır ve Tablo 1’te ki veriler iki tornanın aynı makine gibi sayılıp farklı zamanlarda zaman etüdü yapılarak 15 gözlem değeri alınmıştır. Bunun nedeni gözlem yapılırken her bir makine için ayrı zaman etüdü yapmak yerine bu bölümü bir sayıp ona göre zaman etüdü yapılmıştır. Gözlem sonucu Elde edilen verileri (bkz.

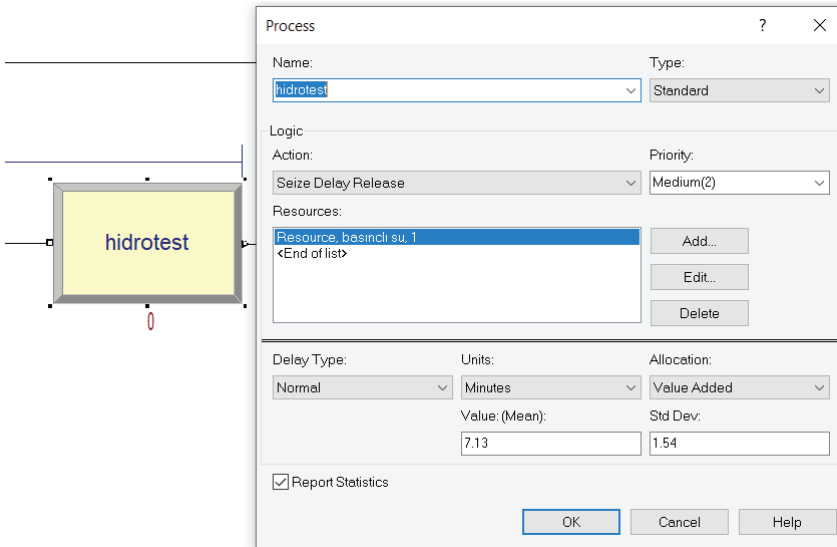
Tablo 1) input analyzera programına girildi ve normal dağılım seçilerek grafik oluşturuldu ve veriler elde edildi (bkz. şekil 8). Şekil 7 de görüldüğü gibi normal dağılım seçilerek programda bulunan veriler value=6.67, std dev=2.27 olarak girildi ve torna prosesi tamamlandı.



Şekil 8: İnpıt analyzera ile normal dağılım seçerek grafik ve veriler.

2.4.2.4 Hidrotest proses modülü

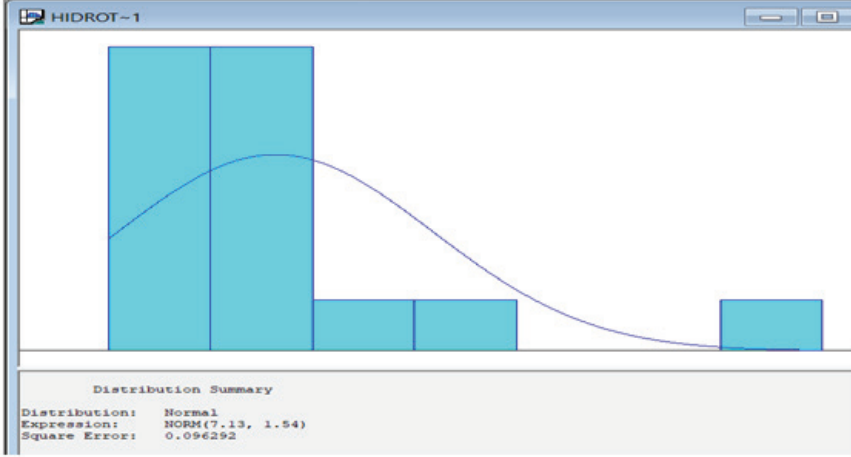
Bu çalışmada uygulanan simülasyondaki durumunu şekil 9 kısmında gösterilmiştir.



Şekil 9: Simülasyonda kullanılan hidrotest süreç modülü

Tornadan çıkan borular hidrotest bölümüne gelir. Burada borulara basınçlı su verilir ve kalitesi kontrol edilir.

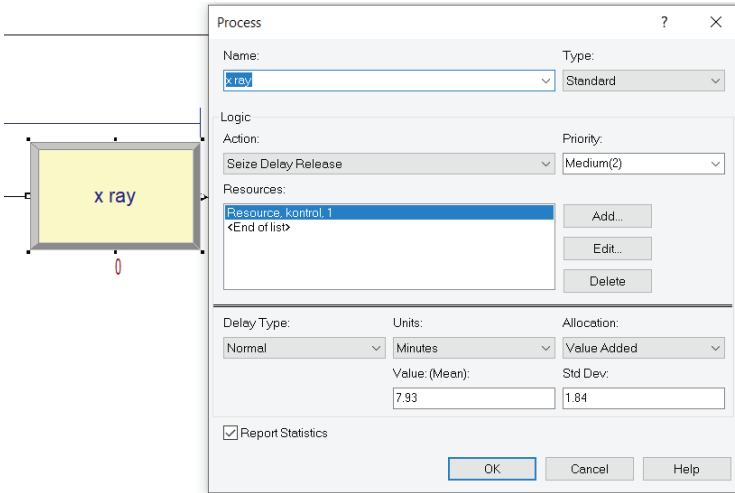
İki tane hidrottest makinası vardır. Zaman etüdü yapılırken iki makina-yı bir makine sayıp farklı zamanlarda 15 gözlem değeri alınmıştır. Gözlem sonucu elde edilen verileri (Tablo 1) input analyzera programına girildi ve normal dağılım seçilerek grafik oluşturuldu ve veriler elde edildi (şekil 10). Şekil 9 da görüldüğü gibi normal dağılım seçilerek programda bulunan veriler value=7.13, std dev=1.54 olarak girildi ve hidrottest prosesi tamamlandı.



Şekil 10: Input analyzera ile normal dağılım seçerek grafik ve veriler.

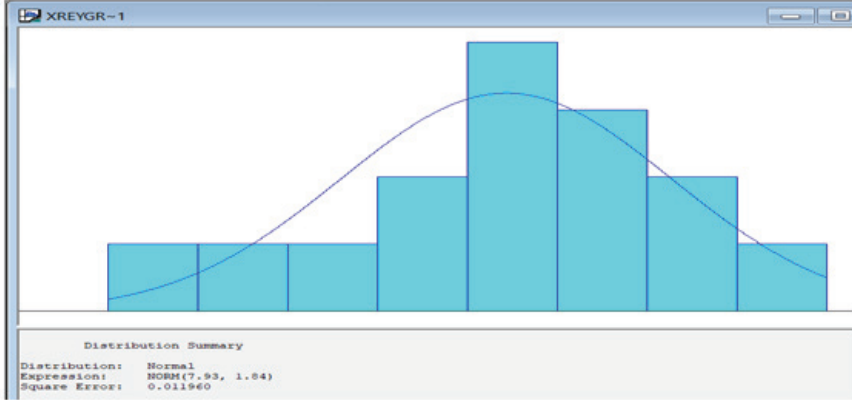
2.4.2.5 X Ray proses modülü

Bu çalışmada uygulanan simülasyondaki durumunu şekil 11 kısmında gösterilmiştir.



Şekil 11: Simülasyonda kullanılan X Ray süreç modülü

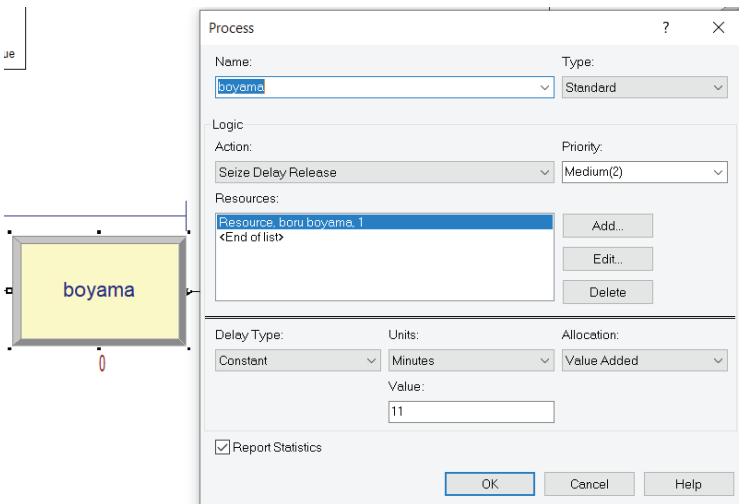
Hidrotesten çıkan borular x ray cihazına gönderilmektedir. Burada borulara radyoskopik kontrol yapılır. Burada zaman etüdü yapılarak farklı zamanlarda 15 gözlem değeri alınmış (bkz. Tablo 1). Bu değerler şekil 12 de görüldüğü gibi arena programının bize sunduğu input analyzera girildi ve normal dağılım seçerek grafik ve veriler elde edildi. Şekil 11 de görüldüğü gibi normal dağılım seçilerek programda bulunan veriler value=7.93, std dev=1.84 olarak girildi ve X ray prosesi tamamlandı.



Şekil 12: Input analyzera ile normal dağılım seçerek grafik ve veriler:

2.4.2.6 Boyama proses modülü

Bu çalışmada uygulanan simülasyondaki durumunu şekil 13 kısmında gösterilmiştir.

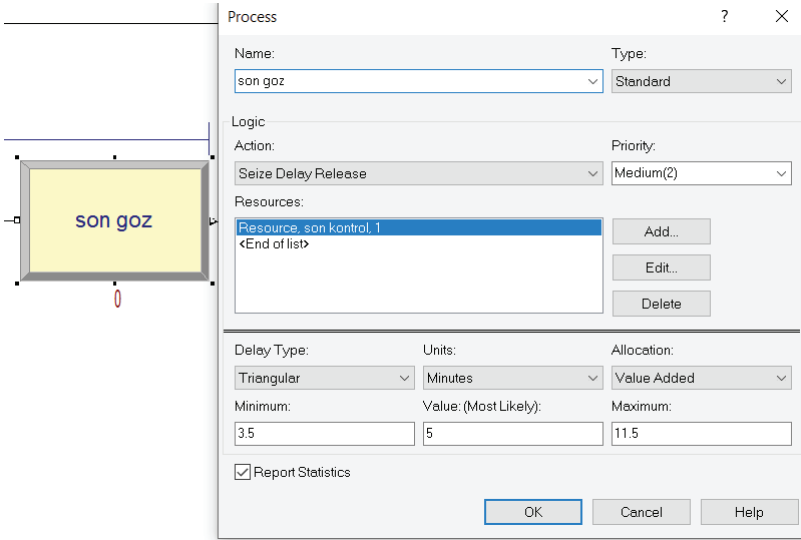


Şekil 13: Simülasyonda kullanılan boyama süreç modülü

Bu bölümde x ray den gelen sağlam borular iç epoksi için boyama kısmına geçer, doğal gaz borusu olduğu için sadece iç epoksi yapılır ve tek bir makine vardır. Her giren boru 11 dakika işlem görüp yani boyanıp çıkmaktadır. Şekil 13 da görüldüğü gibi constant dağılımı kullanılmıştır. Bunun nedeni değerlerin sabit olmasıdır. Burada iç epoksiden sorumlu mühendis ve üretimden sorumlu mühendis ile birlikte boyama kısmının bu ebatlardaki doğal gaz borusunun, boyama standartlarındaki işlem süresi 11 dakika olduğu tespit edilmiş ve her borununki 11 dakika sürdüğü görülmüştür. Bu yüzden sabit değer olarak constant dağılımı kullanılmıştır.

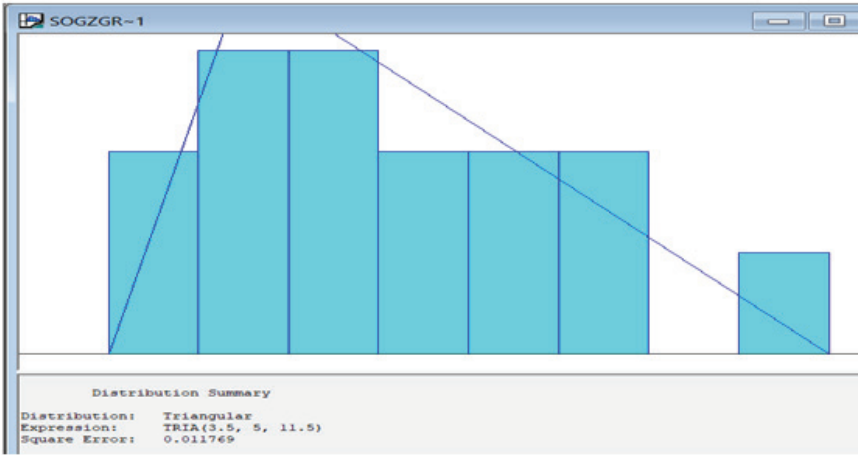
2.4.2.7 Son göz proses modülü

Bu çalışmada uygulanan simülasyondaki durumunu şekil 14 kısmında gösterilmiştir.



Şekil 14: Simülasyonda kullanılan son göz süreç modülü

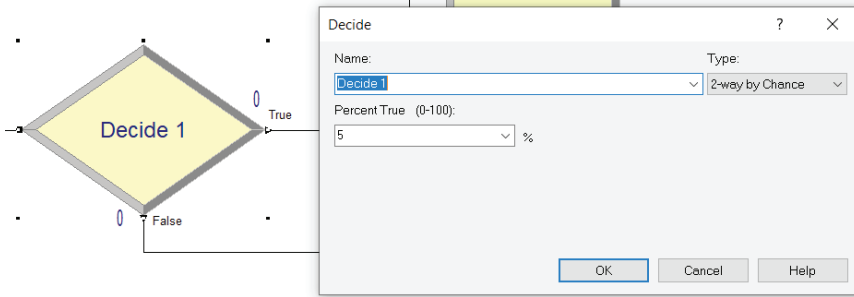
Boyama kısmından çıkan borular son göz prosesine gelmektedir. Burada borular personeller tarafından son olarak boru kontrolü yapılmaktadır. Burada zaman etüdü yapılarak farklı zamanlarda 15 gözlem değeri alınmış (bkz. Tablo 1). Bu değerler şekil 15 da görüldüğü gibi arena programının bize sunduğu input analyzera girildi ve triangular dağılım seçerek grafik ve veriler elde edildi. Elde edilen veriler şekil 14 de triangular seçilerek minimum=3.5, value=5 ve maksimum=11.5 kısımlarına değerler yazıldı ve resource kısmına işlemin içeriğini boru kontrol yazılarak son göz prosesi tamamlanmaktadır.



Şekil 15: İntput analyzera ile triangular dağılım seçerek grafik ve veriler.

2.4.2.8 Decide Modülü

Bu çalışmada kullanıldığı ilk yer ilk gözden hemen sonra yani ilk gözde tamir alan borular true kısmından çıkarak kaynak tamir bölümüne, hatasız olan borular ise false kısmından çıkarak torna bölümüne gitmektedir.



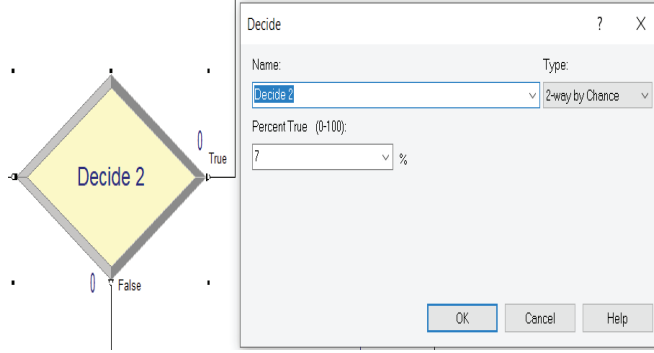
Şekil 16: Simülasyonda kullanılan dağıtıcı 1 modülü

Şekil 16 de görüldüğü gibi modülün isminin decide1 type kısmında ise 2-way by cahance seçilmesinin nedeni ise sadece iki çıkışın olacağı bilinmektedir. Boru ya hatalı ya hatasız olacaktır. İlk gözden çıkan boruların %5 lik bir hata oranı vardır. Bu değeri üretim hattından sorumlu ilgili mühendisle birlikte üretim bitene kadar incelenen ve elde edilen verilerden tespit edilmiştir. İlk olarak üretilen borulardan kaç tanesinin ilk gözden sonra tamir aldığı belirlenmiş ve daha sonra üretim sonunda kaç boru üretilmiş tespit edilip toplam üretimden % kaçını ilk gözden sonra tamir aldığı tespit edilmiştir.

2.4.2.9 Decide2 modülü

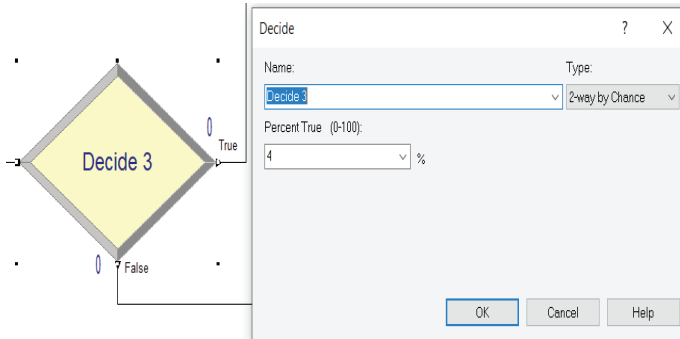
Simülasyonda ikinci kere kullanılmaktadır.

X ray da hata tespit edilir ise şekil 17 de true bölümünden kaynak tamire gönderilir eğer x ray da sağlam raporu alır ise false bölümünden boyama bölümüne gönderilir. Şekil 17 de görüldüğü gibi percet true bölümüne %7 yazılmıştır. X ray bölümünden gelen boruların % 7 hatalı olarak kaynak tamire gideceğini gösterir. Bu değeri üretim hattından sorumlu ilgili mühendisle birlikte üretim bitene kadar incelenen ve elde edilen verilerden tespit edilmiştir. İlk olarak üretilen borulardan kaç tanesinin x ray den sonra tamir aldığı belirlenmiş ve daha sonra üretim sonunda kaç boru üretilmiş tespit edilip, toplam üretimden % kaçını x ray den sonra tamir aldığı tespit edilmiştir.



Şekil 17: Simülasyonda kullanılan dağıtıcı 2 modülü

2.4.2.10 Decide3 modülü



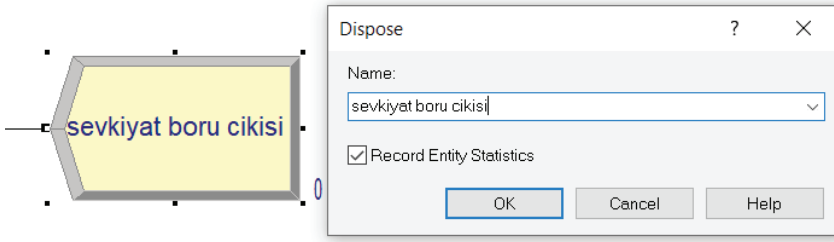
Şekil 18: Simülasyonda kullanılan dağıtıcı 3 modülü

Simülasyonda üçüncü kere kullanılmaktadır. Decide 3 modülünde son gözde eğer hata tespit edilir ise true bölümünden kaynak tamire gidilecektir eğer boru sağlam onayı alır ise sevkiyat için false bölümünden boru

çıkışı yani sevkiyat alanına gitmektedir. Şekil 18 de görüldüğü gibi percent true %4 olarak yazılmıştır. Boyama bölümünden gelen boruların % 4 hatalı olarak kaynak tamire gideceğini gösterir. Bu değeri üretim hattından sorumlu ilgili mühendisle birlikte üretim bitene kadar incelenen ve elde edilen verilerden tespit edilmiştir. İlk olarak üretilen borulardan kaç tanesinin son gözden sonra tamir aldığı belirlenmiş ve daha sonra üretim sonunda kaç boru üretilmiş tespit edilip, toplam üretimden % kaç son gözden sonra tamir aldığı tespit edilmiştir.

2.4.2.11 Dispose modülü

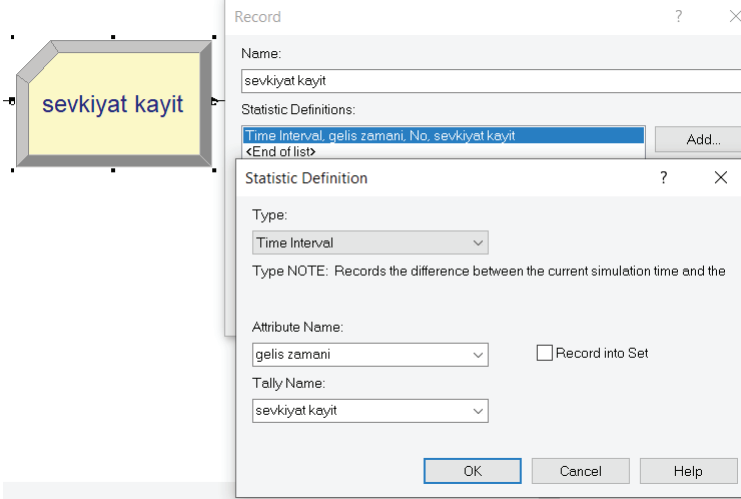
Dispose modülü yapılan simülasyon çalışmasında son olarak şekil 19 gibi kullanılmıştır.



Şekil 19: Simülasyonda kullanılan çıkarma modülü

2.4.2.12 Record1 modülü

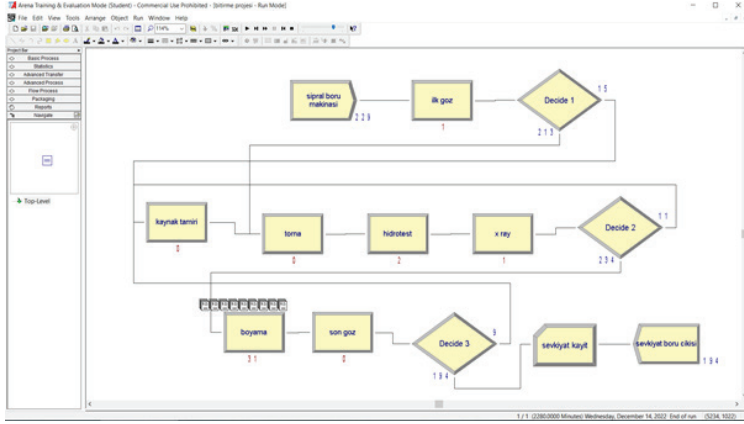
Record1 modülünün simülasyonda kullanımı şekil 20 de gösterilmiştir. Bu modül son göz den sonraki Decide3 modülü ile sevkiyat modülü arasına koyulmuştur. Savaş görevi görmektedir.



Şekil 20: Simülasyonda kullanılan veri toplama modülü

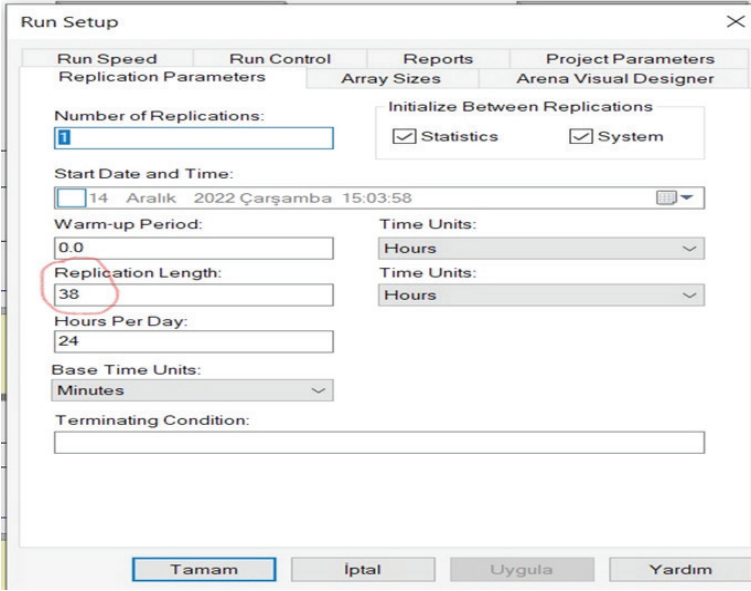
2. SONUÇ

3.1 Mevcut durum simülasyon modeli



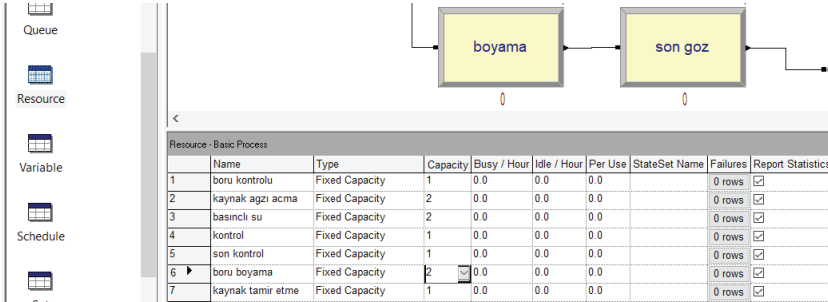
Şekil 21: Mevcut simülasyonun çalıştırılmış durumu

Şekil 21 de görüldüğü gibi yapılan simülasyon run setup ayarlarından şekil 22 görüldüğü gibi (repication length)38 saat çalışacak şekilde, sistem (hours per day) günün 24 saati çalışacak şekilde ve 38 saatin 2.280 dakika olacak şekilde base time units'ten dakika seçilmiştir. Bu şekilde ayarlamalar yapıldıktan sonra sistem çalıştırılmış ve şekil 21 görüldüğü gibi sonuçlar elde edilmiştir.38 saatin sonunda Sipral boru makinasından 229 tane 12 metrelik borular çıkmıştır. Daha sonra ilk gözde 38 saatin sonunda 1 tane bekleyen boru bulunmaktadır. Decide 1 de ilk gözden sağlam raporu alan boru sayısı 213, tamir alan boru sayısı 15 olarak görülmektedir. Kaynak tamiri ve tornada herhangi bir sıkışıklık görülmemekle birlikte 38 saatin sonunda bu makinalarda bekleyen boru yoktur.



Şekil 22: Simülasyon run setup ayar ekranı

Hidrotest kısmında 2 tane x ray kısmında 1 tane işlemi görmek için bekleyen borular bulunmaktadır. Decide2 de x ray den sağlam raporu alan boru sayısı 234, hata alan boru sayısı ise 11'dir. Daha sonra boyama kısmına bakıldığında simülasyonda şimdiye kadar ki en yüksek darboğaza sahip olan bölüm görülmektedir. Burada 31 tane işlem görmek için bekleyen boru bulunmaktadır. Son göz kısmına bakıldığında işlem görmek için bekleyen boru bulunmamaktadır. Decide 3 te ise son gözde 194 tane boru sağlam raporu almış, 9 tane boru da hata olarak kaynak tamire yollanmıştır. Son olarak sevkiyat boru çıkışına bakıldığında 194 adet 12 metrelik boru sevkiyata hazır hale getirilmiştir. 38 saatin sonunda 194 boru sevkiyata hazır hale getirilmiş ve 35 boru halen sistem içerisinde gözükmemektedir bu 35 borudan 31'i boyama sürecinde işlem için sıra beklediği görülmektedir. Bu sürecin en yüksek darboğaza sahip olduğu tespit edilmiştir.

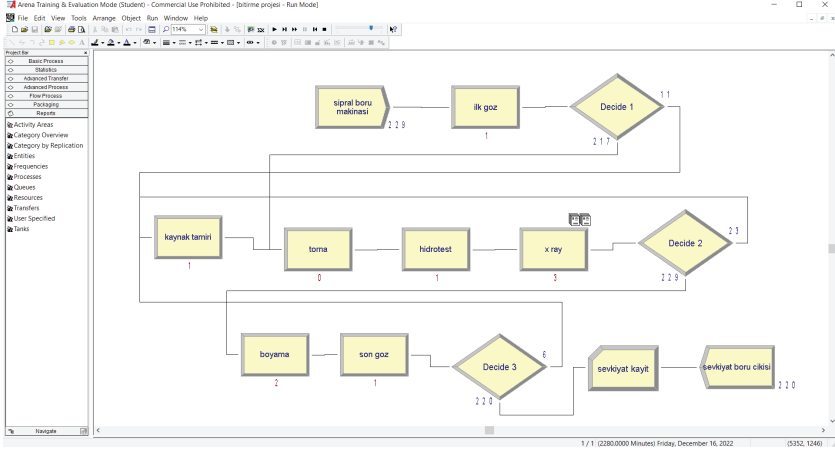


Şekil 23: Mevcut durum simülasyon düzenleme

3.2 Gelecek Durum Simülasyon Modeli

Gelecek durum için üretim sürecine yeni bir boyama makinası alınması ile simülasyon modeli düzenlenip en baştan çalıştırılmıştır.

Şekil 23 da görüldüğü gibi kaynak (Resource) bölümünden boru boyama kısmında kapasiteyi 1'den 2 ye çıkarıp simülasyonu şekil 24'te ki gibi çalıştırılmıştır.



Şekil 24: Gelecek durum simülasyonu

Şekil 24'te görüldüğü gibi boyama makinası kapasitesi 2 olunca sevkiyat için hazır olan boruların sayısı 220 olmaktadır. İlk duruma göre 26 tane daha fazla sevkiyata hazır boru elde edilmiştir. İlk duruma göre x-ray da az da olsa beklemenin arttığı görülmektedir. Yapılan bu yatırım ile büyük ölçüde bir iyileştirme görülmektedir.

Mevcut sistem ile gelecek durum simülasyonu arasındaki performans ölçütlerinin aşağıdaki Tablo 2 de karşılaştırılmıştır. Görüldüğü üzere fabrikanın yeni bir boyama makinası alması yani boyama sürecinin kapasitesini iki katına çıkarması ile boyama sürecinde işlem görmek için kuyrukta beklenen ortalama süre 156,32 dakikadan 0,00224902 dakikaya düştüğü görülmektedir, ayrıca üretim sürecinde beklenen toplam süre 168,97 dakikadan 7,503 dakikaya düşmüştür. Kuyrukta bekleyen boru sayısına bakıldığında ise 15,9647 adetten 0,00223466 adete düşmüştür. Bu sonuçlar bize 38 saatlik bir boru üretim hattında sevkiyata hazır boruların 194 borudan 220 boruya çıktığını göstermektedir. Üretim sürecinde yapılan bu iyileştirme fabrikaya %13,4 oranında sevkiyat artışı sağlamıştır.

Tablo 2: Mevcut ve gelecek durum simülasyon raporlarının karşılaştırılması

| Rapor Karşılaştırma | Mevcut durumdaki simülasyonun rapor verileri | | | Gelecek durumdaki simülasyonun rapor verileri | | |
|---|--|-----------|----------|---|------------|----------|
| | minimum | ortalama | maksimum | minimum | ortalama | maksimum |
| Number İn(sıralı kaynak makinasından çıkan boru sayısı) | | 229 | | | 229 | |
| Number OUT (sevkiyata hazır boru sayısı) | | 194 | | | 220 | |
| VA Time (boruların sistemde işlem gördüğü süre "dakika") | 34,0446 | 52,2481 | 156,37 | 34,6955 | 52,4157 | 127,1 |
| Wait Time(boruların ortalama sistemde beklediği süre"dakika") | 0 | 168,97 | 445,71 | 0 | 7,503 | 36,2474 |
| Total Time(boruların sistemde ne kadar süre geçirdiği "dakika") | 40,6038 | 221,22 | 543 | 40,1015 | 59,9187 | 141,44 |
| Waiting Time(boruların kuyrukta bekleme süreleri"dakika") | | | | | | |
| Boyama | 0 | 156,32 | 297,04 | 0 | 0,02224902 | 1,7314 |
| Hidrotest | 0 | 0,0257774 | 3,1616 | 0 | 0,1157 | 4,5195 |
| İlk göz | 0 | 0,2634 | 3,6045 | 0 | 0,4508 | 4,5748 |
| Kaynak tamiri | 0 | 0,9466 | 18,9322 | 0 | 2,3088 | 17,253 |
| Son göz | 0 | 0,0007794 | 0,1582 | 0 | 0,6619 | 8,8214 |
| Torna | 0 | 0,0335926 | 3,4451 | 0 | 0,02175535 | 2,2539 |
| X ray | 0 | 4,9145 | 20,612 | 0 | 5,2592 | 23,3937 |
| Number Waiting (boruların kuyrukta bekleme adeti) | | | | | | |
| Boyama | 0 | 15,9647 | 30 | 0 | 0,00223466 | 1 |
| Hidrotest | 0 | 0,0028039 | 1 | 0 | 0,01299597 | 1 |
| İlk göz | 0 | 0,0264568 | 1 | 0 | 0,04527442 | 1 |
| Kaynak tamiri | 0 | 0,014531 | 2 | 0 | 0,04050541 | 2 |
| Son göz | 0 | 0,0000694 | 1 | 0 | 0,06590226 | 2 |
| Torna | 0 | 0,0039078 | 1 | 0 | 0,00244271 | 1 |
| X ray | 0 | 0,5303 | 3 | 0 | 0,584 | 3 |
| Instantaneous Utilization (süreçlerin %lik çalışma verimleri) | | | | | | |
| Hidrotest (Basınçlı su) | 0 | 0,3843 | 1 | 0 | 0,4025 | 1 |
| Boyama(boru boyama) | 0 | 0,9838 | 1 | 0 | 0,5499 | 1 |
| İlk göz (boru kontrol) | 0 | 0,7395 | 1 | 0 | 0,762 | 1 |
| Torna (kaynak ağız açma) | 0 | 0,3656 | 1 | 0 | 0,3801 | 1 |
| Kaynak tamiri (kaynak tamir etme) | 0 | 0,203 | 1 | 0 | 0,2619 | 1 |
| X ray (kontrol) | 0 | 0,8609 | 1 | 0 | 0,8597 | 1 |
| Son göz(son kontrol) | 0 | 0,6029 | 1 | 0 | 0,6508 | 1 |
| Number Busy(süreçlerin %lik meşguliyet oranları) | | | | | | |
| Hidrotest (Basınçlı su) | 0 | 0,7687 | 2 | 0 | 0,8049 | 2 |
| Boyama(boru boyama) | 0 | 0,9838 | 1 | 0 | 1,0999 | 2 |
| İlk göz (boru kontrol) | 0 | 0,7395 | 1 | 0 | 0,762 | 1 |
| Torna (kaynak ağız açma) | 0 | 0,7312 | 2 | 0 | 0,7602 | 2 |
| Kaynak tamiri (kaynak tamir etme) | 0 | 0,203 | 1 | 0 | 0,2619 | 1 |
| X ray (kontrol) | 0 | 0,8609 | 1 | 0 | 0,8597 | 1 |
| Son göz(son kontrol) | 0 | 0,6029 | 1 | 0 | 0,6508 | 1 |
| Number Scheduled(üretim sürecinde kaç tane makine olduğu) | | | | | | |
| Hidrotest (Basınçlı su) | | 2 | | | 2 | |
| Boyama(boru boyama) | | 1 | | | 2 | |
| İlk göz (boru kontrol) | | 1 | | | 1 | |
| Torna (kaynak ağız açma) | | 2 | | | 2 | |
| Kaynak tamiri (kaynak tamir etme) | | 1 | | | 1 | |
| X ray (kontrol) | | 1 | | | 1 | |
| Son göz(son kontrol) | | 1 | | | 1 | |
| Tally(sevkiyata gelen borunun işletmede geçirdiği zaman) | 40,6038 | 1186,22 | 2278,51 | 40,6038 | 1155,06 | 2266,38 |

3. Tartışma

Tekstil fabrikasında yapılan süreç iyileştirme ile yapılan bu çalışmamızın süreç iyileştirme arasındaki benzerliğe bakıldığında işgücü malzeme ve teçhizatın istenilen kapasiteye ulaştırmak ve darboğazlar tespit etmek için kullanılan yollar aynı olmasına rağmen, uygulamada tekstil fabrikasında ile bu çalışmamız arasında benzerlik bulunmamaktadır. Tekstil fabrikasında mevcut durum üzerinde herhangi bir ek kaynak kullanılmadan sadece süreçler üzerinde çalışmalar yapılarak %47 oranında iyileştirme yapılmıştır. Bitirme projesinde ise mevcut durumdaki bir sürece ek bir makine eklenerek süreçte yaklaşık %156 oranında bir iyileştirme ve 38 saatin sonunda sevkiyat için %13,4 lük bir iyileştirme yapılmıştır [1].

Jeneratör firmasında kabin kaynak hücresi hattı incelemesi sonucu yeterince sevkiyata hazır kaynaklı kabin çıkmadığı gözlemlenmiş ve uygulama kısmında promodel7.5 uygulaması kullanılarak sevkiyata hazır kaynak kabinlerde %21 oranında artmıştır. Bizim çalışmamızda ise uygulama kısmına kadar aynı yollar benzerlik göstermesine karşın, uygulamada farklı olarak ARENA16.0 simülasyon program kullanılmıştır ve sonuç olarak sevkiyat hazır borularda %13.4 oranında artış görülmüştür [4]. UPS (kesintisiz güç kaynağı) imalatı yapan endüstriyel fabrikada, üretim hattı verimliliği artırmak için yapılan çalışma ile bu çalışmamız arasında aynı metodoloji izlenmiştir. Fakat sonuca bakıldığında UPS imalatı yapan firmanın işçi alımı yapılması gerektiği bitirme projesinde ise yeni bir makine alınması gerektiği tespit edilmiştir [7]. İşçi takviyesi, maliyet açısından bakıldığında işletmelerin en son kabul ettiği iyileştirme yöntemlerinden olduğu bilinmektedir. Bu sebeple, çalışmamızın sonuçları işletmeler tarafından genelde daha kabul edilir sonuçlar kısmında sayılabilir.

Emniyet ve güvenlik sistemleri sektörüne fason imalat yapan bir firmada üretim sürecini arena 14.0 programın üzerinde simülasyonu yapılarak incelenmiştir. Uygulama kısmına bakıldığında fason imalatı yapan firmanın üretim sürecini aksatan sorunları bularak yeni bir kaynak kullanılmadan üzerinde çalama yaparak %31,58'lik üretim artışı sağlamıştır. Bitirme projesindeki çalışmada ise arena 16.0 sürümünü kullanarak ve yeni bir makine olarak gecikme sorun yaratan süreç üzerinde %156'lık bir iyileştirme genel olarak 38 saatlik çalışma sonucunda ise %13.4 lük bir iyileştirme görülmektedir [3].

Ofis mobilya üretimi yapan bir firmanın üretim akışını bilimsel yöntemlerle analiz edip mevcut durumu simülasyon ile inceleme ve iyileştirme yapma amaçlanmıştır. Çalışmada üretimde kenar bantlama makinelerinde darboğaz tespit edilmiş ve CNC makinelerinde kapasiteye göre çok az çalıştığını gözlemlenmişlerdir. Mevcut durumda kenar bantlama verimliliğini artması için modellenen sisteme bir kenar bantlama makinası eklenmiş ve

tekrar simüle edilerek üretim süresini %28 kısaltmış ve makinelerin kullanım oranını %40 arttırmıştır. Elde edilen sonuçların darboğaza çözüm bulamadığından ikinci bir öneri sunulmuş ve bir tane daha kenar bantlama makinası eklenmesi talep edilmiştir model bir daha çalıştırıldığında darboğazların ortadan kalktığı ve birinci modele göre %30 zaman tasarrufu yapıldığı gözlemlenmiştir. Yapılan bitirme projesindeki çalışmada modelleme tek bir denemede bir makine eklenerek ilk duruma göre %156 lık bir zaman tasarrufu yapılmıştır ve simülasyonda kullanılan veriler gözlem yapılarak toplanmış ve analiz edilip kullanılmıştır [5].

Gıda endüstrisinde soya fasulye üreten bir imalathane de soya fasulye üretim hattının üretim düzgünlüğünü ve sorunlarını tespit etmek amacıyla arena simülasyon programı kullanılmıştır. Hattı inceleyip veriler toplandığında arenada simüle edilip darboğazlar ve üretimi aksatan sorunlar tespit edilmiş bitirme projesinde ise kullanılan yöntemlerden farklı olarak neden-neden analizi kullanılarak ikincil bir model yapıp sorun çözülmüştür [6].

Abu Ghraib Süt Fabrikası'nda yoğurt üretim hattında aksamlar gözlemlenmiş makineler için deneysel gözlem yapılarak arena simülasyon yardımı ile mevcut durum simüle edilmiş rapor sonunda kaynak takviyesi gerektiği gözlemlenmiştir. Yapılan bitirme projesi bu çalışma ile benzerlik göstermektedir ve aynı yollar izlenmiştir [8].

Hidrostatik bileşen üreten bir firmada bu çalışmadan farklı olarak üretim akışını tecnomatix yazılımıyla incelenmiş ve üretim sürecindeki torna makinasını torna1 ve torna 2 olarak iki ayrı makine yaparak farklı bir yöntemle iyileştirme yapmıştır [10].

Öneri

Mevcut durum incelendiğinde boyama sürecinde darboğaz olduğu tespit edilmiş ve kapasitesini artırma amacıyla yeni bir boyama makinası alınması sevkiyata hazır olan boru sayısını artıracaktır.

Mevcut durumda X ray sürecinde az da olsa bir bekleme olmaktadır. Bu soruna çözüm olarak x ray operatörlerinin eğitimlerine önem verilmeli ve performansları takip edilmelidir.

Mevcut durumda kaynak tamir bölümündeki kaynak ustalarına eğitim verilmeli ya da ek olarak bir kaynak ustası daha alınmalı.

Gelecek durum önerisinde yeni bir boyama makinası alındığında son gözde darboğazlar oluşmaktadır. Buna öneri olarak son göz için ek olarak yeni bir personel alınmalıdır.

KAYNAKÇA

- [1]. Doğan, N. Ö., & Takıcı, E. (2015). Bir tekstil İşletmesinde Simülasyon Yardımıyla Süreç İyileştirme. *Ege Akademik Bakış*, 185-196.
- [2]. Cihangir, E., Keskin, F. D., Çiçekli, U. G., & Yakan, G. (2021). Bir Üretim İşletmesinde Simülasyon Yönetimi ile Darboğaz Analizi ve Sistem İyileştirme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 917-923.
- [3]. Bakdaal, B., & Tekez, E. K. (2021). Emniyet Kilidi Üretim Hattının Simülasyon Kullanılarak İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1258-1264.
- [4]. Arslankaya, S., & Duran, E. (2019). Jeneratör Üreten Bir Firmada Kabin Kaynak Hattının Simülasyon ile İyileştirme Çalışması. *International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Sciences*, 61-72.
- [5]. Yiğit, A. M. (2015). Parti Tipi Üretim Yapan Bir İmalat Sisteminin Simülasyon Yöntemi İle Analizi. *Akademik Bakış Dergisi*, 47.
- [6]. Rasib, A. H., Abdullah, R., Bazilah, N., Rafeai, Z. F., & Noor, R. M. (2021). Production Smoothness Improvement through Arena Application in the Food Manufacturing Industry. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 3516-3526.
- [7]. Rahman, C. M., & Sabuj, S. U. (2015). proocess Flow İmprovement Proposal of a Batch Manufacturing System Using Arena Simulation Modelling. *Review of General Management*.
- [8]. Hasan, K. A., Kadhum, A. H., & Morad, A. H. (2019). Evaluation of Yogurt Production Line Simulation Using Arena Software. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 71-78.
- [9]. Kasim, A. S., Bareduan, S., Masood, İ., Ho, F. H., & Abdullah, H. (2021). Capacity Study of a Food Processing Company Using Arena Simulation Software. *Universiti Tun Hussein Onn Malaysia Publisher's Office*, 166-173.
- [10]. Petrila, S., Brabie, G., & Chirita, B. A. (2016). The use of Tecnomatix Software to Simulate the Manufacturing Flows in an Industrial Enterprise Producing Hydrostatic Components. *ModTech International Conference-Modern Technologies in Industrial Engineering IV Bacau: IOP Publishing*.

BÖLÜM 5

KRİPTO MADENCİLİĞİNE GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEĞİNİN TEKNO- EKONOMİK ANALİZİ

Ali Murat ATEŞ¹

¹ Dr. Öğrt. Üyesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, ORCID ID: 0000-0002-2815-1404

1. Giriş

Para terimi, mal ve hizmetlerin takasında kullanılan bir değişim aracı olarak kullanılmaktadır. İlk zamanlarda insanlar ihtiyaçlarını mal ve hizmetlerin doğrudan takası yöntemi ile karşılamıştır. İlerleyen zamanlarda alış-verişler bakır, tuz, inci, köle gibi emtia parayla yapılmaya başlanmıştır. Daha sonraları değişim aracı olarak altın ve gümüş gibi değerli madenler kullanılmaya başlanmıştır. M.Ö. 3200'lerde Mısır'da alış-veriş aracı olarak altın çubuklar kullanıldığı ve M.Ö. 7. Yüzyılda da Lidyalıların altın sikkeler bastırarak günümüzdeki anlamıyla ilk parayı icat ettikleri bilinmektedir. İlerleyen zamanda para, altın karşılığı olan değerli kağıtlara ve daha sonra da karşılığı bulunmayan ve değeri, bastırana karşı güvene dayalı olan itibari paraya dönüşmüştür. Bilişim teknolojilerinin hızla ilerlemesi sonucu sanallaşmaya doğru evrilen dünyada para da sanal hale gelmiştir (Çarkacıoğlu, 2016).

Günümüzde bankacılık işlemlerinde çeşitli kartlar ile yapılan ödemeler ya da transferlerde kullanılan para bankacılık sistemi içerisinde bir merkezden, işlemi gerçekleştiren kişilerin kimlik bilgileri ile kayıt altına alınmakta, kontrol edilebilmekte ve istendiğinde iptal edilebilmektedir. Üstelik yapılan işlemlerden komisyon ve vergi alınabilmekte ve uluslararası yapılan bazı işlemler çok uzun zamanlar alabilmektedir. Ayrıca bu paranın değerinin de bir otorite tarafından belirlenebilmesi piyasada kullanılan bu paraya karşı olan güveni de sarsabilmektedir. İşte tam bu noktada merkezi bir otorite tarafından yönetilemeyen ve blok zincir şeklinde kriptografik bir alt yapıyla işlemlerin peer-to-peer (p2p) yürütüldüğü bir sanal para birimi 2008 yılında Satoshi Nakamoto tarafından Bitcoin adıyla duyurulmuştur (Khalilov, Gündebahar ve Kurtulmuşlar, 2017).

Bitcoin, bilgisayar ve akıllı telefonlar gibi birçok cihazda çalışan, açık kaynak kodlu bir yazılımdan oluşan ve fiziksel karşılığı olmayan bir kripto varlıktır. İşlem maliyetlerinin düşük olması, dünya çapında hızlı transferinin yapılabilmesi, varlık ve hizmet alımlarında kullanılabilmesi gibi sebeplerden dolayı Bitcoin giderek yaygınlaşarak dünya çapında bir para birimi olarak sayılmaya başlamıştır (Antonopoulos, 2014). Bitcoin'in piyasaya sürülmesinin ardından Ethereum, Litecoin gibi binlerce kripto para daha piyasaya sürülmüştür. Tüm bu kripto para birimleri blok zinciri alt yapısını kullanırlar.

Blok zincirleri açık (herkese açık, izin gerektirmeyen), özel (kapalı grup, izinle girilen), ve konsorsiyum (tek kişi ya da otorite tarafından değil bir grup tarafından yönetilen) olmak üzere 3 farklı alt yapıda kurulabilir (Dattani ve Sheth, 2019; Ünal ve Uluyol, 2020). Bitcoin ve Ethereum gibi alt yapılar herkese açık olan blok zinciri örnekleridir. Blok

zincir alt yapısında sistemi yöneten ve tüm işlemleri onaylayan bir merkezi otorite yoktur. Bunun yerine tüm işlemlerin kaydı tamamen şeffaf bir küresel hesap defterinde (open ledger) tutulur. Açık blok zincirlerinde sisteme düğüm (node) adı ile bağlanan tüm kullanıcılar (bilgisayarlar) bu hesap defterini takip eder (Kırbaş, 2018).

Blok zinciri her ne kadar kripto para endüstrisi ile gündeme gelse de birçok farklı kullanım alanları sunmaktadır. Bunlardan bazıları pırlanta, gayrimenkul, sağlık sektörleri, dijital içerik ve telif konuları, devlet kurumları ve seçimler olarak sayılabilir (Ünal ve Uluyol, 2020). Blok zincirlerin swot analizinin yapıldığı bir çalışmada; şeffaf ve dağıtık yapıda olması, transferlerde üçüncü bir tarafa ihtiyaç olmaması, denetlenebilir olması bu teknolojinin avantajları olarak sayılmakla birlikte standart eksikliği, düşük kapasite ve işlem hızı, ölçeklenebilirlik, değişiklik yönetiminin zorluğu gibi dezavantajları da vurgulanmıştır (Niranjanamurthy, Nithya ve Jagannatha, 2019). Blok zincirinin ve dolayısıyla kripto para alt yapısının en büyük dezavantajı yüksek enerji tüketimi olarak söylenebilir (de Vries, 2018; Truby, 2018).

Bu çalışmada bir eve kripto para madenciliği için kurulan RIG sisteminin yoğun elektrik tüketiminin çatı üstü bir fotovolttaik (FV) güneş enerji santrali (GES) ile karşılanabilirliği araştırılarak farklı güçlerdeki FV tesislerinin kendilerini amorti etme süreleri araştırılmıştır.

2. Blok Zincir Madenciliği ve Enerji Tüketimi

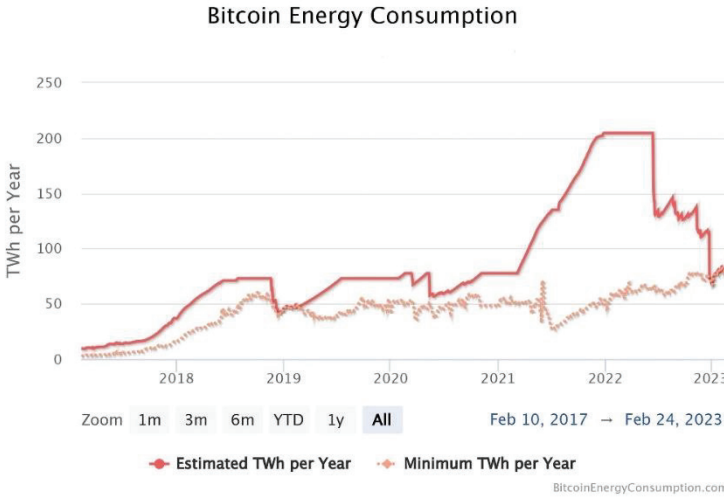
Blok zincir madenciliği (blockchain mining), blok zincir teknolojisi kullanılarak kripto para kazanmak için yapılan bir işlemdir. Blok zinciri, birçok kullanıcının oluşturduğu bir ağda paylaşılan bir dijital defterdir ve bu deftere eklenen yeni blokların doğrulanması ve işlenmesi madencilik adı verilen bir süreçle gerçekleştirilir.

Madencilik süreci, öncelikle blok zincirine yeni bir blok eklemek için gereken matematiksel işlemlerin çözülmesini içerir. Bu işlemler, blok zincirinin güvenliğini sağlamak için tasarlanmış karmaşık bir algoritma kullanılarak gerçekleştirilir. Madenciler kendi donanımlarını kullanarak bu algoritmayı çalıştırlar.

Madenciler, yeni bir blok eklediklerinde ödül olarak kripto para birimleri kazanırlar. Blok zincirindeki her yeni blok, tüm işlemlerin doğruluğunu sağlamak için bir önceki bloğa bağlıdır. Zincire yeni blok eklemek için yapılan tüm matematiksel işlemlerin doğruluğunun kanıtlanması gerekir. İşlemlerin doğruluğu iş kanıtı (Proof of Work-PoW) ya da hisse kanıtı (Proof of Stake-PoS) algoritmalarından birisi kullanılarak yapılır (Lin ve Liao, 2017). Bitcoin madencileri PoW algoritmasını kullanır. Ethereum madenciliğinde de başlarda PoW

algoritması kullanılmıştır ancak Aralık 2020'den itibaren Ethereum 2.0'ın piyasaya sürülmesiyle, PoS algoritması kullanılmaya başlanmıştır.

PoW algoritması, blok zincirlerindeki işlem doğrulama sürecini gerçekleştirmek için kullanılan bir konsensus mekanizmasıdır. Bu algoritmanın temel prensibi, bir madencinin blok zincirine yeni bir blok eklemek için önce bir matematiksel problemi çözmesi gerektiridir. Bu problem genellikle karmaşık bir hesaplama işlemidir ve çözümü, yeterli sayıda doğrulama ve onaylama işleminden sonra blok zincirine eklenir. Bu işlemi gerçekleştirmek için yüksek miktarda işlemci gücü gerekir ki bu da yüksek miktarda enerji tüketimi demektir. Blok zincirinin boyutu büyüdükçe madencilerin rekabeti de artar, dolayısıyla toplam enerji tüketimi de artar. Ayrıca, kripto paraların ticaret hacminin artışıyla enerji tüketimindeki artış arasında da pozitif bir korelasyon bulunmaktadır (Schinckus, Nguyen ve Ling, 2020). Bitcoin blok zincirinin toplam enerji tüketimi ve karbon ayak izini hesaplamaya yönelik çeşitli yayınlar bulunmaktadır (de Vries, 2019; De Vries, 2023; Dilek ve Furuncu, 2018; Kohli, Chakravarty, Chamola, Sangwan ve Zeadally, 2022; Krause ve Tolaymat, 2018). Şekil 1'de Bitcoin blok zincirinin, yıllar içerisinde, enerji tüketimindeki artış görülmektedir. Grafikteki estimated eğrisi yıllık tüketim tahminini, minimum eğrisi de yıllık minimum tüketim tahminini göstermektedir.



Şekil 1 Bitcoin blok zincirinin enerji tüketimi (digiconomist.net)

24 Şubat 2023 tarihi itibarıyla Bitcoin blok zincirinin yıllık tahmini elektrik tüketimi 91,31 TWh ve karbon ayak izi 50,93 Milyon ton CO₂ olarak hesaplanmıştır.

Proof of Stake (PoS) algoritması, blok zincirlerindeki konsensus mekanizmasını gerçekleştirmek için kullanılan diğer bir yöntemdir. Bu algoritmanın temel prensibi, blok zincirine yeni bir blok eklemek için madencilerin özel donanımlar kullanması yerine, blok zincirindeki varlıkları (coin'leri) kilitleyerek bu görevi gerçekleştirmeleridir. PoS algoritması, blok zincirine eklenen blokların doğruluğunu ispatlamak için rastgele bir seçim süreci kullanır. Bu süreç, blok zincirindeki varlıkların belirli bir yüzdesinin blok zincirindeki bir blok için rastgele seçilmesiyle gerçekleştirilir. Madencilerin sahip oldukları hisseler, ağda daha fazla işlem yapmalarına izin verir. PoS algoritması, enerji tüketimini azaltır ve ağı daha çevre dostu olmasını sağlar (Sedmeir, Buhl, Fridgen ve Keller, 2020). Ethereum blok zincirinin, Ethereum 2.0'a yani PoW algoritmasından PoS algoritmasına geçişi ile, madencilerin enerji tüketiminde %99,95 azalma olduğu tahmin edilmektedir. PoW uzlaşma mekanizmasının enerji tüketiminin sorgulandığı çalışmada, PoW ve PoS alt yapılarında işlem başına enerji tüketimlerinin sırasıyla 360.39300-3691.40700kWh/tx, 0.00026-0.00803kWh/tx arasında değiştikleri hesaplanmıştır (Platt ve diğerleri, 2021). Şekil 2'de Ethereum blok zincirinin yıllık enerji tüketim tahmini verilmiştir.

Ethereum Energy Consumption



Şekil 2 Ethereum blok zincirinin elektrik tüketimi (digiconomist.net)

Şekil 2'de Ethereum blok zincirinin yıllık tahmini elektrik tüketiminin yıllar içerisindeki değişimi görülmektedir. Mayıs 2022'de 93,98 TWh'e kadar çıkan yıllık tüketim miktarının 2022 Aralık ayında PoS algoritmasına geçişle 0,02 TWh'e kadar düştüğü görülmektedir. Grafiğin alındığı 24 Şubat 2023 tarihi itibarıyla Ethereum blok zincirinin yıllık

tahmini elektrik tüketimi 0,02 TWh ve karbon ayak izi 0.01 Milyon ton CO₂ olarak hesaplanmıştır.

Grafiklerden anlaşıldığı gibi kripto para madenciliği, yüksek enerji tüketimi nedeniyle, son yıllardaki enerji kısıtlılığında sürekli artan elektrik fiyatlarının daha da artmasına sebep olmaktadır. Artan enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla gelişmekte olan ülkeler genellikle karbon emisyonu yüksek olan fosil yakıtlı teknolojilere yatırım yaptıkları için de küresel ısınmanın ve diğer çevre felaketlerinin kontrol altına alınması güçleşmektedir. Kripto paraların çevresel etkilerinin değerlendirmek üzere yapılan çalışmalarda çeşitli çözüm önerileri sunulmuştur. İncelenen çalışmalar; donanım verimliliğinin artırılması, daha az enerji tüketen kanıt protokollerine geçilmesi, yenilenebilir enerji kaynakları ile bu sistemlerin desteklenmesi ve yasal düzenlemelerin yapılması konularında ortak çözüm önerilerinde bulunmaktadır (Hosseini ve Kamyab, 2022; Lotfi, Ghaboulia Zare, Gharehbaghi, Nazari ve Weber, 2023; Nair, Gupta, Soni, Kumar Shukla ve Dhiman, 2020; Nikzad ve Mehregan, 2022; Truby, 2018; Wendl, Doan ve Sassen, 2023; Yan, Mirza ve Umar, 2022; Yılmaz ve Kaplan, 2022; Zhang, Chen, Lau ve Xu, 2023).

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgâr ve güneş ön plana çıkmaktadır. Rüzgâr enerji santralleri 5m/sn üzerinde ve düzenli rüzgâr alan bölgelere kurulabilirler. Ayrıca hareketli parçaları nedeniyle bakım maliyetleri yüksektir ve çalışırken de kanatlara çarpan hava akımı nedeniyle sürekli gürültü çıkarırlar. Kripto madenciliği yapan bireysel yatırımcılar genellikle kent merkezlerinde kendi evlerinde uygun bir yere cihazlarını kurarak madencilik yapmaktadır. Rüzgâr enerji santrallerinin bu dezavantajları nedeniyle kent merkezleri ve yerleşim yerleri yakınlıklarında kullanımları çok uygun değildir. Kentsel alanlarda FV GES kullanımı ön plana çıkmaktadır. FV sistemler tarıma uygun olmayan boş arazilere, çatı üstlerine ve su yüzeylerine kurulabilirler (Ateş, Yılmaz ve Gülgen, 2022).

Kripto madencilikte çatı üstü FV sistemlerin kullanımı oldukça uygun görülmektedir. Çatı üstü FV sistemler ile evlerin, binaların ya da kampüslerin enerji ihtiyacını karşılamaya yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Manisa’da yapılan fizibilite çalışmasında 30kWp gücündeki FV GES yatırımının geri dönüş süresi 12 yıl (Ateş ve Salmanoğlu, 2017), Kütahya’da 150kWp gücündeki bir FV sistemin geri dönüş süresi 6 yıl olarak hesaplanmıştır (Karabacak, 2022). Manisa’da kurulan 30kWp gücündeki sistemin 1 yıllık çalışması sonucunda 45.592 kWh elektrik enerjisi ürettiği kayıt altına alınmıştır (Ateş ve Singh, 2021).

Manisa ve Kütahya’da yapılan fizibilite çalışmalardaki geri dönüşüm süreleri arasındaki büyük fark yıllar içerisinde FV sektöründeki gelişmeler nedeniyle FV modüllerin fiyatlarındaki düşüşten kaynaklanmaktadır. Bu

durum da FV GES kurulumuna yatırım yapmanın giderek daha karlı olduğunu göstermektedir.

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Madencilik donanımının özellikleri ve konumu

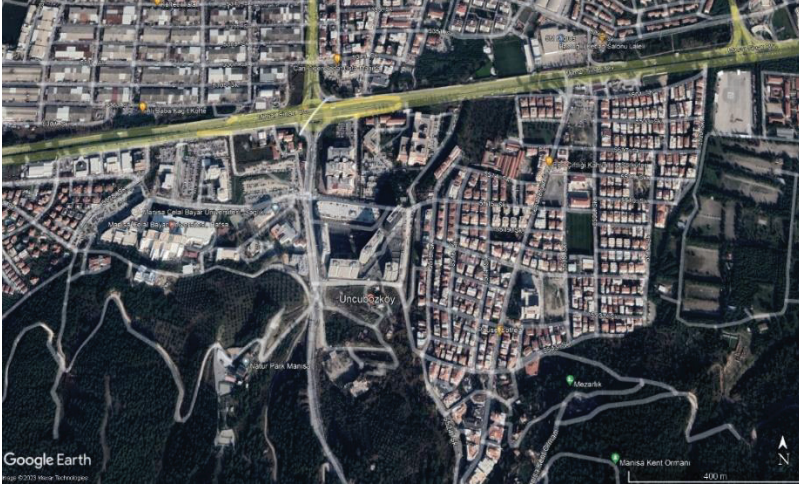
Kripto madenciliği, yoğun matematiksel işlemler gerektirdiği için kullanılan donanımlar da özel olarak tasarlanmış yüksek performanslı bilgisayar bileşenleridir. Kripto madenciliği için kullanılan donanımlar Application-Specific Integrated Circuit (ASIC), Graphics Processing Unit (GPU), Central Processing Unit (CPU) ve Field-Programmable Gate Array (FPGA) madencilik cihazları olmak üzere 4 çeşittir.

Bu çalışmada, kripto para madenciliğinde kullanılmak üzere GPU kartlarının bir araya getirilmesi ile oluşturulan ve PoW algoritmasına göre çalışan bir RIG sistemi seçilmiştir (Şekil 3). Farklı marka ve modellerden ekran kartlarının bir araya getirilmesi ile 2022 yılı ocak ayında kurulan sistem kesintisiz çalışmaktadır. Kurulan RIG sistemde NVIDIA marka 2 adet GeForce RTX 3080 Ti, 1 adet GeForce RTX 3070 Ti, 1 adet GeForce RTX 3060 Ti ve 2 adet GeForce GTX 1660 Super ekran kartları bulunmaktadır. Yoğun çalışma dolayısıyla çok ısınan ekran kartlarını soğutmak için alüminyum bir kasa içine yerleştirilen sistemde Gigabyte B450 Gaming X anakart üzerinde AMD Ryzen 7 2700 sekiz çekirdek 3.2GHz işlemci ve 8 GB RAM bulunmaktadır. Sistemin şebeke bağlantısına bir enerji analizörü bağlanarak sürekli elektrik tüketimi kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3 RIG sistemin görüntüsü

Manisa şehir merkezinde Uncubozköy mahallesindeki bir çatı dubleks dairenin üst katında hava sirkülasyonu uygun olan bir odaya kurulan RIG sistemin soğutulması doğal havalandırma ile sağlanmaktadır. Bu sayede soğutma için ekstra maliyetten kaçınılmıştır. Sistemin kurulu olduğu evin yaklaşık konumu Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4 RIG sistemin yaklaşık konumu

Sistemin kurulu olduğu evi deşifre etmemek adına konum yaklaşık olarak verilmiştir. Dünya yüzeyinde yatay düzlemdeki güneş ışınımı, bulunulan konumun gölgeleme durumuna göre değişmekte olup gölgeleme olmayan ve birbirine yakın olan noktalarındaki değişim ihmal edilebilir seviyededir.

3.2. Elektrik tüketiminin faturalandırılma yöntemi

Türkiye’de elektrik tüketiminde faturalandırma Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından yayınlanan yönetmeliğe göre yapılır. EPDK tarafından yayınlanan ve 01.01.2023 tarihinden itibaren geçerli olan fiyatlar Tablo 1’de verilmiştir. Madencilikte kullanılan donanım bir evde kuruludur ve tek zamanlı enerji tarifesi uygulandığı için hesaplamalarda mesken fiyatlandırması kullanılmıştır.

Tablo 1 Elektrik tüketiminde ücretlendirme tablosu (EPDK, 2023)

| | Alçak Gerilim (kr/kWh) | | | |
|---|------------------------|----------|----------|----------|
| | Tek Zamanlı | Gündüz | Puant | Gece |
| Sanayi | 362,8769 | 366,6028 | 544,7602 | 222,8125 |
| Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile diğer (30 kWh/gün ve altı) | 273,2607 | 366,0445 | 535,6747 | 231,0764 |
| Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile diğer (30 kWh/gün üstü) | 363,0836 | 366,0445 | 535,6747 | 231,0764 |
| Mesken (8 kWh/gün ve altı) | 156,6703 | 236,1424 | 345,0771 | 149,0277 |
| Mesken (8 kWh/gün üstü) | 233,1508 | 236,1424 | 345,0771 | 149,0277 |
| Şehit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler | 75,0298 | | | |
| Tarımsal Faaliyetler | 232,5586 | 237,6298 | 345,0320 | 146,1651 |
| Aydınlatma | 336,6597 | | | |

Elektrik tüketiminin faturalandırılmasında evlerde günlük 8kWh ve altında tüketim için bir sübvansiyon sistemi bulunmaktadır. Faturalandırma yapılırken bir aydaki gün sayısına göre sübvansiyon miktarı eşitlik 1 kullanılarak hesaplanır.

$$SM = 8 \times GS \quad (1)$$

Burada SM sübvansiyonlu tüketim miktarını (kWh), GS hesaplama yapılan aydaki gün sayısını gösterir. Buna göre aylık tüketimi hesaplarken sübvansiyonlu tutar (ST) eşitlik 2 kullanılarak hesaplanır.

$$ST = \begin{cases} TM \times SB, & TM \leq SM \\ SM \times SB, & TM > SM \end{cases} \quad (2)$$

Burada TM aylık tüketim miktarı (kWh) ve SB sübvansiyonlu elektrik bedelidir (156,6703 kuruş). Toplam tüketim tutarını hesaplamak için de eşitlik 3 kullanılır.

$$Tutar = \begin{cases} ST, & TM \leq SM \\ ST + (TM - SM) \times EB, & TM > SM \end{cases} \quad (3)$$

$$TF = Tutar \times (1 + ETV) \times (1 + KDV) \quad (4)$$

Eşitliklerdeki $Tutar$ elektrik tüketimi için hesaplanan ham fatura bedeli, EB günlük 8kWh üstündeki ekstra tüketime uygulanan bedel (233,1508 kuruş) ve TF toplam fatura tutarıdır. Elektrik faturasının vergiler dahil toplamı hesaplanırken tutarın üzerine ETV elektrik (belediye) tüketim vergisi (Manisa'da %3,5) ve KDV (%8) ilave edilir (Eşitlik 4).

3.3. Fotovoltaik sistem ile elektrik üretiminin hesaplanma yöntemi

FV sistemler ile elektrik üretimi FV modülün yüzeyine düşen güneş ışınımı ve modül sıcaklığına bağlıdır. Bir FV modülün çıkış gücü eşitlik 5 ve modülün sıcaklığı eşitlik 6 kullanılarak hesaplanabilir (Ateş, 2022).

$$P_m = P_{peak} \left(\frac{G_T}{G_{St}} \right) [1 - \alpha_T (T_m - T_{St})] \quad (5)$$

$$T_m = T_a + \left(\frac{G_T}{G_{T,NOCT}} \right) \left(\frac{9.5}{5.7 + 3.8 V} \right) (T_{NOCT} - T_{a,NOCT}) \left[1 - \frac{\eta_m}{\tau \alpha} \right] \quad (6)$$

Denklemlerdeki;

P_m : Modül çıkış gücü

P_{peak} : Modül kataloğunda verilen maksimum çıkış gücü (Modül kataloğunda verilir)

G_T : Modül yüzeyindeki toplam ışınım miktarı

G_{St} : Standart ışınım miktarı (1000 W/m^2)

α_T : Modül çıkış gücü sıcaklık katsayısı (Modül kataloğunda verilir)

T_m : Modül sıcaklığı

T_{St} : Standart sıcaklık (25°C)

T_a : Ortam sıcaklığı ($^\circ \text{C}$)

$NOCT$: Nominal Operating Cell Temperature (Nominal hücre çalışma sıcaklığı koşulları)

$G_{T,NOCT}$: NOCT koşullarında modül yüzeyindeki toplam ışınım (800 W/m^2)

V : Rüzgâr hızı (m/s)

T_{NOCT} : NOCT koşullarında hücre ya da modül sıcaklığı (45°C)

$T_{a,NOCT}$: NOCT koşullarında ortam sıcaklığı (20°C)

η_m : Modül verimi (Modül kataloğunda verilir)

$\tau \alpha$: Malzemenin yutma-geçirme (soğurma) katsayısı (0.9) (Duffie ve Beckman, 1991)

Modüllerin çıkış gücünü en hassas şekilde hesaplayabilmek için formülde kullanılan G_T değerini FV sistemin kurulumunun yapılacağı noktada en az bir yıllık süre ile ölçerek saatlik periyotlarla kayıt altına almak gerekir ki bu da oldukça hassas piranometre cihazları ile yapılır ve maliyeti yüksektir. Bunun yerine uydular üzerinden ışınım hesaplayıp yeryüzündeki ölçülen noktalarla kıyaslayarak doğrulayıp istenilen nokta için enterpolasyon yöntemi ile simüle eden Satel-Light (<http://www.satel-light.com/core.htm>), Soda (Wald ve diğerleri, 2004) ve SolarGIS (Şuri, Cebecauer ve Skoczek, 2011) gibi bazı veri tabanları vardır. Bu veri tabanları yatay yüzeydeki güneş ışınım değerlerini verir. Ancak FV sistemler kurulurken genellikle güneşe (kuzey yarım kürede güneye, güney

yarım kürede ise kuzeye) doğru, bulunulan noktadaki enlem değerine bağlı olarak, optimum eğim açısına göre kurulurlar. Dolayısıyla yatay düzlemdeki ışınım değerlerinin modüllerin yerleştirildiği eğim açısına göre hesaplanması gereklidir.

Yatay düzlemdeki direk (beam) ve dağınık (diffuse) ışınım değerleri biliniyorsa eğik düzlemdeki ışınım değerlerini hesaplamak için literatürde birçok model bulunmaktadır. Liu ve Jordan modeline göre eğik düzlemdeki toplam ışınım, eğik düzlemdeki direk, dağınık ve yansıyan ışınımın toplamı şeklinde eşitlik 7 kullanılarak hesaplanır (Duffie ve Beckman, 1991; Liu ve Jordan, 1962).

$$I_T = I_b r_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho_g I \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (7)$$

Denklemlerdeki;

I_T : eğik düzlemdeki toplam ışınım

I_b : yatay düzlemdeki direk ışınım

r_b : direkt ışınım dönüşüm katsayısı

I_d : yatay düzlemdeki dağınık ışınım

β : eğik düzlemin yatay ile yaptığı açı

ρ_g : FV modülün bulunduğu yüzeyin yansıtma oranı

I : yatay düzlemdeki toplam ışınım

Eşitlik 7'deki direkt ışınım dönüşüm katsayısını hesaplamak için eşitlik 8 kullanılır.

$$r_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (8)$$

Buradaki θ açısı güneş ışınlarını geliş açısı θ_z açısı da zenit açısıdır. Kuzey yarım kürede θ açısı eşitlik 9, θ_z açısı da eşitlik 10 kullanılarak hesaplanır.

$$\cos \theta = \cos(\Phi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\phi - \beta) \sin \delta \quad (9)$$

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (10)$$

Denklemlerdeki Φ enlem açısı (modülün kurulduğu noktanın enlemi, β FV modülün yatay ile yaptığı açı, δ deklinasyon açısı ve ω saat açısıdır. Saat açısı, güneşin yerel meridyenin sağında ya da solunda kaç derece açıda olduğunu gösterir. Dünya kendi eksenini etrafında saatte 15° hızla dönmektedir. Buna bağlı olarak güneş sabah lokal meridyenin doğusundadır ve saat açısı negatif değer alır, güneş saatine göre tam öğlen saatinde 0 ve öğleden sonra ise batısında olduğu için pozitif değer alır. Güneş açısı eşitlik 11 kullanılarak hesaplanır.

$$\omega = 15(GS - 12) \quad (11)$$

Denklemdaki GS FV sistemin bulunduğu noktadaki güneş saattir. Bulduğumuz noktadaki güneş saati eşitlik 12 kullanılarak hesaplanır.

$$GS = SS + 4(L_{st} - L_{loc}) + E \quad (12)$$

Denklemdaki SS standart saattir. Bulunulan bölgedeki yerel saati ifade eder. L_{st} standart meridyendir. Bulduğumuz ülkedeki saat diliminin belirlenmesinde kullanılan meridyeni ifade eder. L_{loc} da FV sistemin kurulu olduğu noktadaki meridyendir. E değeri dakika cinsinden zaman denklemdir ve eşitlik 13 kullanılarak hesaplanır.

$$E = 229,2(0,000075 + 0,001868 \cos B - 0,032077 \sin B - 0,014615 \cos 2B - 0,04089 \sin 2B) \quad (13)$$

Denklemdaki B değeri güneş sabiti ve zaman hesaplamalarında kullanılan ve bulduğumuz güne (n : yılın günü) bağlı olarak değişen bir değerdir ve eşitlik 14 ile hesaplanır.

$$B = (n - 1) \frac{360}{365} \quad (14)$$

Denklemler 8 ve 9'da kullanılan Deklinasyon açısı dünyanın yörüngesindeki güne bağlı sapmayı (eğimi) gösterir ve yaklaşık bir değer olarak eşitlik 15 ile hesaplanır (Cooper, 1969).

$$\delta = 23,45 \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (15)$$

Tüm bu hesaplamalar Matlab ya da Excel gibi bir program kullanılarak saatlik bazda hesaplanarak günlük, aylık ve yıllık üretim değerleri hesaplanır. Bu hesaplamalar sonucu elde edilen rakamlar hassas bir şekilde üretim değerlerini gösterir. Ancak bu kadar hesap yapmak yerine belirli bir noktaya kurulan FV sistemin üretim değerlerini kabaca hesaplayarak sonuçları raporlayan PVWatts (<https://pvwatts.nrel.gov/index.php>) ve PVGIS (Şüri, Huld ve Dunlop, 2005) gibi web tabanlı yazılımlar vardır. Bu çalışmada da $1,2 \text{ kWp}^1$ (1 kWe^2) gücünde model bir sistemin Manisa, Uncubozköy'de bir evin çatısına monte edildiği düşünülerek PVGIS uygulaması üzerinden enerji üretimi hesaplanmıştır. Evin çatısının eğim açısı 18° olarak ölçülmüş ve sistemin çatı yüzeyine paralel olarak yerleştirilmesi planlanmıştır. Bu sayede modüllerin birbirlerini gölgelemesi problemi de ortadan kalkmıştır.

Madencilik donanımının bulunduğu koordinatlar (38,609 enlem ve 27,384 boylam) PVGIS yazılımındaki harita üzerinden bulunmuştur.

¹ kWp bir GES sisteminde FV modüllerin toplam gücünü yani DC gücü ifade eder.

² kWe GES sisteminin şebeke tarafındaki gücünü yani AC gücü ifade eder.

Yazılımda seçilen bölgedeki sistemin parametrelerinin doğru girilmesi oldukça önemlidir. Bu parametrelerin özellikleri sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

1. Solar radiation database: Güneş ışınım değerlerinin alınacağı veri tabanının seçildiği bölümdür. Bu bölümde PVGIS-SARAH2, PVGIS-SARAH ve PVGIS-ERA5 olmak üzere 3 seçenek bulunmaktadır.

a. PVGIS-SARAH2: Bu veri tabanı $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ mekânsal çözünürlüklü olarak PVGIS-SARAH'ın yerini almak üzere CM SAF (Satellite Application Facility on Climate Monitoring) tarafından üretilmiştir. 2005-2020 zaman aralığında, Avrupa, Afrika, Asya'nın çoğu ve Güney Amerika'nın bazı kısımlarını kapsar. Dolayısıyla zaman aralığı daha geniş olduğu için daha güncel ölçüm değerleri bu veri tabanındadır.

b. PVGIS-SARAH: Bu veri tabanı da $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ mekânsal çözünürlüklüdür ve CM SAF algoritması kullanılarak üretilmiştir. Kapsama alanı da SARAH-2'ye benzerdir ancak 2005-2016 zaman aralığındaki değerleri kapsar.

c. PVGIS-ERA5: $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ mekânsal çözünürlüklü olarak 2005-2020 zaman aralığında ECMWF'nin (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) verilerinin yeniden analizi ile ışınım verilerini tahminleyen veri tabanıdır. Bu veri tabanında hem çözünürlük daha düşüktür hem de tahminleme ile ışınım verileri oluşturulduğu için sonuçlar yanıltıcı olabilir.

2. PV Technology: Kurulum yapılması planlanan PV sistemin teknolojisinin seçildiği bölümdür. Crystalline silicon, CIS, CdTe ve unknown olmak üzere 4 seçenek vardır. İlk seçenek bildiğimiz tek kristal ya da çok kristalli silikon modüller için kullanılan seçenektir. İkinci seçenek ince film teknolojili CIS ya da GIS modüller için uygundur. Kadmiyum Tellur tabanlı ince film modüller kullanılıyor ise üçüncü seçenek seçilir. Eğer kullanılan PV modülün tipi bilinmiyorsa unknown seçeneği seçilerek sıcaklık kaybının yaklaşık %8 (ılıman iklimlerde genel kabul gören değer) olduğu kabul edilerek hesaplama yapılır.

3. Installed peak PV power [kWp]: Kurulum yapmak istediğiniz PV sistemin gücünün girildiği bölümdür.

4. System loss [%]: Buraya sistemin tüm bileşenlerinden (kablolar, bağlantı ekipmanları, inverter ve

şebekeye bağlanma sırasındaki kayıplar) ve kirlilik vb gibi durumlardan kaynaklanabilecek tüm kayıplar tahmini olarak girilir. Genellikle %14 gibi bir oran kabul edilebilir. Eğer kurulacak sistemde kayıpların daha az olabileceği düşünülüyorsa daha düşük bir değer girilebilir.

5. Mounting position: PV modüllerin yerleştirilme şeklinin seçildiği bölümdür. Free-standing ve Roof added / Building integrated olmak üzere iki seçenek bulunur. Free-standing seçeneği modüllerin arka yüzeyleri boş kalacak ve hava sirkülasyonu olacak şekilde monte edildiği durumlarda kullanılır. Eğer modüller çatı üstüne ya da bina yüzeyine monte edilirse arka yüzeylerinden hava sirkülasyonu olmayacağı ya da çok düşük olacağı için verimleri ve dolayısıyla üretim değerleri de daha düşük olacaktır.

6. Slope [°]: Modüllerin yatay yüzey ile yaptıkları açının (eğim açısı) girildiği bölümdür.

7. Azimuth [°]: Modüllerin azimut açısının girildiği bölümdür. PV modüllerinin Güney ile yaptığı açıdır. -90° Doğu, 0° Güney ve 90° Batı'dır.

8. Optimize slope: Bu seçenek işaretlendiğinde modül eğim açısının, PV sistemin yıl içerisinde en yüksek üretimi yapabileceği şekilde optimum eğim açısında konumlandırılması yapılır.

9. Optimize slope and azimuth: Bu seçenek işaretlendiğinde modül eğim açısının ve azimut/oryantasyon açısının, PV sistemin yıl içerisinde en yüksek üretimi yapabileceği şekilde otomatik ayarlanmasını sağlar.

10. PV electricity price: Bu seçenek işaretlendiğinde PV sistemin ekonomik hesaplamaları ile ilgili kısmın açılması sağlanır. Ekonomik hesaplama sistemin kullanım süresince üreteceği enerjinin kWh başına birim fiyat olarak hesaplanmasıdır. Bu çalışmada ekonomik hesaplama farklı bir şekilde yapıldığı için bu ara yüzden sistemin ekonomik verileri hesaplanmamıştır.

11. PV system cost (your currency): buraya sistemin montaj dahil toplam tutarı yerel para cinsinden girilir.

12. Interest [%/year]*: Eğer sistemi kurmak için kredi alınmışsa alınan kredinin faiz oranı girilir.

13. Lifetime [years]*: Sistemin kaç yıl çalıştırılması düşünüldüğü bilgisi bu alana girilir.

Gerekli tüm bilgiler girildikten sonra Visualize results butonuna basılarak sistemin aylar bazında yıllık toplam üretimi görülür.

Çalışmada model olarak seçilen 1,2kWp (1kWe) gücündeki sistemin üretim değerleri, 2-10kWe arasındaki değerlere çoğaltılarak FV sistemin elektrik üretiminin madencilik sisteminin aylık bazda tüketimini karşılaması hesaplanmıştır. 10 yıl süreli olarak yapılan hesaplamalarda FV GES'in, degradasyon ve tozlanma gibi sebeplerle, her yıl üretiminin %1 oranında düşmesi de hesaplara katılmıştır.

3.4. Fotovoltaik sistem yatırımının geri dönüş süresinin hesaplanma yöntemi

Türkiye'de 11.08.2022 tarihinde 31920 sayılı Resmî gazetede yayınlanan yönetmelikle birlikte konut tipi kullanıcılar 10kW ve altındaki çatı üstü güneş enerji tesisinden ürettikleri ve ihtiyaç fazlası elektriğin tamamını değil bir önceki yılda tükettikleri kadarını şebekeye (dağıtım şirketine) satabilecektir. Daha önceki yönetmelikte ihtiyaç fazlası elektriğin tamamını kilo-watt saati 13,3 cent fiyatla şebekeye satabiliyorlardı. Yeni yönetmelikle birlikte şebekeye satış fiyatı da tüketicinin alış fiyatı olarak değiştirildi. Bu yönetmelikle birlikte ihtiyaçtan fazla elektrik üretecek FV GES kurmak karlı bir yatırım olmaktan çıkmıştır. Bu durumda FV sistemlere yatırım yapacakların kendi tüketimini hesaplayarak GES sistemlerini tam tüketimi karşılayacak şekilde boyutlandırması gerekmektedir. Bu çalışmada FV sistemin üreteceği ihtiyaç fazlası enerjinin şebekeye verilmeyeceği düşünülerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada, 1-10kWe FV sistemlerinin elektrik üretimleri ile madencilik donanımının tüketimi arasındaki fark (üretim açığı) aylık olarak eşitlik 16 ile hesaplanmıştır.

$$UA = \begin{cases} 0, & TM < UM \\ TM - UM, & TM > UM \end{cases} \quad (16)$$

Burada UA aylık üretim açığı, TM madencilik donanımının enerji tüketim miktarı ve UM FV sistemin üretim miktarıdır. Elektrik faturası ise eşitlik 2, 3 ve 4'te anlatılan formüller kullanılarak hesaplanır. Yıllık nakit akışı ise eşitlik 17 kullanılarak hesaplanır.

$$Nakit = -YM + \sum_{y=1}^{10} \left(SG - \sum_{a=1}^{12} TF_{(a)} \right) \quad (17)$$

Eşitlikte Nakit 10 yıl sonunda elimizdeki nakit kazancı, YM yatırımın ilk maliyetini, SG sabit gideri TF de aylık elektrik faturasını göstermektedir. SG değeri FV sistem kurulmadan önce sabit olarak ödenen yıllık fatura tutarıdır.

4. Bulgular

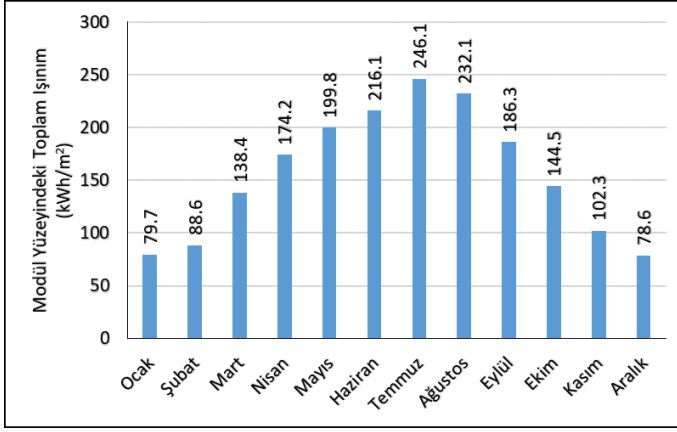
Manisa, Uncubozköy’de 38,609 enlem ve 27,384 boylamlarında bulunun madencilik donanımı ortalama 1.6 kWh elektrik tüketmektedir. Sistem 24 saat kesintisiz çalışarak yılda 14.016 kWh enerji tüketir. Bu tüketimin elektrik faturasına yansımaları Tablo 2’de verilmiştir. Türkiye’de enflasyon oranındaki oynaklık sebebiyle 10 yıl vadeli hesaplama yapılan bu çalışmada rakamlar USD (\$) kuruna çevrilerek kullanılmıştır.

Tablo 2 Yıllık elektrik faturasının detayları

| Aylar | Aylık Tüketim (kWh) | 8 kWh altı (TL) | 8 kWh üstü (TL) | Tüketim Tutarı (TL) | ETV (TL) | KDV (TL) | Toplam Fatura (TL) | Toplam Fatura (\$) |
|---------------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| Ocak | 1190 | 389 | 2.197 | 2.586 | 90,50 | 214,10 | 2.890,36 | 153 |
| Şubat | 1075 | 351 | 1.985 | 2.336 | 81,74 | 193,38 | 2.610,65 | 138 |
| Mart | 1190 | 389 | 2.197 | 2.586 | 90,50 | 214,10 | 2.890,36 | 153 |
| Nisan | 1152 | 376 | 2.126 | 2.502 | 87,58 | 207,19 | 2.797,12 | 148 |
| Mayıs | 1190 | 389 | 2.197 | 2.586 | 90,50 | 214,10 | 2.890,36 | 153 |
| Haziran | 1152 | 376 | 2.126 | 2.502 | 87,58 | 207,19 | 2.797,12 | 148 |
| Temmuz | 1190 | 389 | 2.197 | 2.586 | 90,50 | 214,10 | 2.890,36 | 153 |
| Ağustos | 1190 | 389 | 2.197 | 2.586 | 90,50 | 214,10 | 2.890,36 | 153 |
| Eylül | 1152 | 376 | 2.126 | 2.502 | 87,58 | 207,19 | 2.797,12 | 148 |
| Ekim | 1190 | 389 | 2.197 | 2.586 | 90,50 | 214,10 | 2.890,36 | 153 |
| Kasım | 1152 | 376 | 2.126 | 2.502 | 87,58 | 207,19 | 2.797,12 | 148 |
| Aralık | 1190 | 389 | 2.197 | 2.586 | 90,50 | 214,10 | 2.890,36 | 153 |
| Toplam | 14.016 | 4.575 | 25.870 | 30.445 | 1.065,58 | 2.520,86 | 34.031,63 | 1.801 |

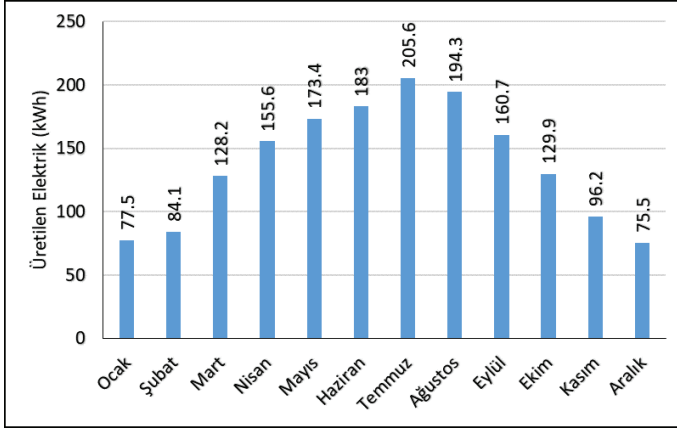
Tablodan da görüldüğü gibi 1.075 kWh ile 1.190 kWh arasında değişen aylık elektrik tüketiminin faturaya yansımaları 2.610 TL ile 2.890 TL arasında değişmektedir. Bu koşullar altında yıllık toplam 34.031 TL olan elektrik faturasının, şubat ayında 18,9 TL olan dolar kuruna göre çevrildiğinde, 1.801 \$ olduğu görülmektedir.

Manisa’da güneye doğru 18° eğik konumlandırılmış FV modül yüzeyinde PVGIS yazılımı ile hesaplanan toplam güneş ışınımının aylara göre dağılımı Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5 Modül yüzeyindeki ışıınım

Çalışma bölgesinde aylık en yüksek, en düşük ve yıllık toplam güneş ışıınım değerleri sırasıyla, temmuz ayında $246,1\text{kWh/m}^2$, aralık ayında $78,6\text{kWh/m}^2$ ve toplamda $1.886,70\text{kWh/m}^2$ olarak bulunmuştur. Bu ışıınım değerleri altında çalışan 1kWe gücündeki bir çatı üstü FV GES ile yıllık toplam 1.664kWh elektrik üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Yıllık üretimin aylara göre dağılımı Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6 FV sistemle üretilen elektrik enerjisi

1kW gücündeki bir çatı üstü FV santralin üretimi $1,6\text{kW}$ sürekli güç tüketen bir sistemin ihtiyacını karşılayamayacağı bilinmektedir. FV GES’in aylık tüketimi karşılama durumu ve bu açığı karşılamak için şebekeden çekilen elektriğin faturaya yansımaları Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3 1kW FP GES ile üretimin tüketimi karşılama durumu

| Aylar | Aylık Tüketim | Aylık Üretilen Enerji | Şebekeden Çekilen | Toplam Fatura (TL) | Toplam Fatura (\$) |
|---------------|---------------|-----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Ocak | 1.190,4 | 77,5 | 1.112,9 | 2.688,38 | 142,24 |
| Şubat | 1.075,2 | 84,1 | 991,1 | 2.391,47 | 126,53 |
| Mart | 1.190,4 | 128,2 | 1.062,2 | 2.556,25 | 135,25 |
| Nisan | 1.152 | 155,6 | 996,4 | 2.391,60 | 126,54 |
| Mayıs | 1.190,4 | 173,4 | 1.017 | 2.438,45 | 129,02 |
| Haziran | 1.152 | 183 | 969 | 2.320,19 | 122,76 |
| Temmuz | 1.190,4 | 205,6 | 984,8 | 2.354,53 | 124,58 |
| Ağustos | 1.190,4 | 194,3 | 996,1 | 2.383,98 | 126,14 |
| Eylül | 1.152 | 160,7 | 991,3 | 2.378,31 | 125,84 |
| Ekim | 1.190,4 | 129,9 | 1.060,5 | 2.551,82 | 135,02 |
| Kasım | 1.152 | 96,2 | 1.055,8 | 2.546,41 | 134,73 |
| Aralık | 1.190,4 | 75,5 | 1.114,9 | 2.693,59 | 142,52 |
| Toplam | 14.016 | 1.664 | 12.352 | 29.694,98 | 1.571,16 |

Burada karşımıza çıkan açığı kapatacak FV sistemin boyutlandırılması konusu bir optimizasyon konusudur. İlk bakışta 14.016 kWh'lik bir tüketimi karşılamak için 1.664 kWh üretim yapan FV sistemlerden kaç tane kullanmalıyız şeklinde basit bir problem gibi görünen bu sorun aslında o kadar da basit şekilde çözülemez. Çünkü her ne kadar madencilik donanımının tükettiği güç sabit olsa da yıl içerisindeki ayların gün sayıları değişken olduğu için aylık fatura miktarı ve tüketime uygulanacak sübvansiyon miktarı değişkendir. Ayrıca güneş ışınımının aylık değişimi, ihtiyaç fazlası olarak üretilen elektriğin şebekeye verilmemesi ve FV sistemin gücünün büyümesi ile yatırım maliyetinin artması hep birlikte düşünüldüğünde ortaya karmaşık bir optimizasyon problemi çıkmaktadır. Böyle karmaşık sistemleri optimize etmek için literatürde birçok yöntem ve akademik çalışma bulunmaktadır. Ancak optimizasyon konusu bu çalışmanın konusu değildir.

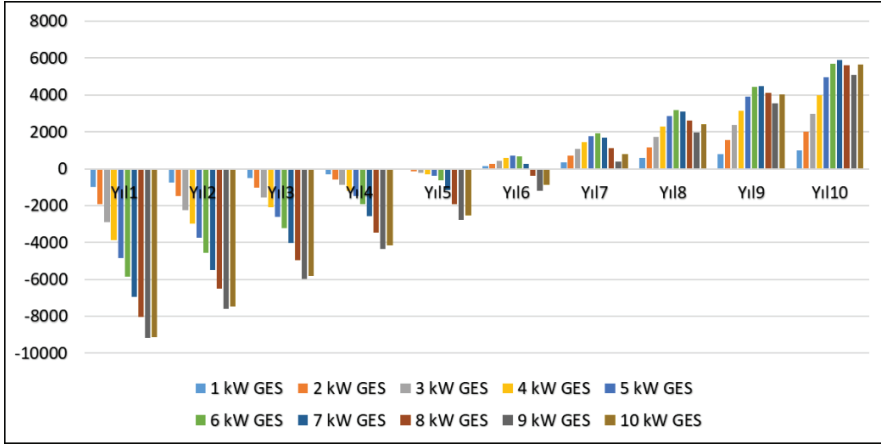
Buradaki problemi daha basit bir yaklaşımla çözmek için FV sistemin gücünün birer kW artırılması ile tüketimi karşılama durumu incelenmiştir. Bunun için sırasıyla 1-10kWe arası sistemlerin üretimleri hesaplanarak tüketimi karşılama durumları ele alınmış ve sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4 FV sistem büyüklüğüne göre üretimin tüketimi karşılama durumu

| Aylar | FV GES Kurulu Gücüne Karşılık, Tüketim – Üretim (kWh) | | | | | | | | | |
|---------------|---|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 1kW GES | 2kW GES | 3kW GES | 4kW GES | 5kW GES | 6kW GES | 7kW GES | 8kW GES | 9kW GES | 10kW GES |
| Ocak | 1.113 | 1.035 | 958 | 880 | 803 | 725 | 648 | 570 | 493 | 415 |
| Şubat | 991 | 907 | 823 | 739 | 655 | 571 | 487 | 402 | 318 | 234 |
| Mart | 1.062 | 934 | 806 | 678 | 549 | 421 | 293 | 165 | 37 | 0 |
| Nisan | 996 | 841 | 685 | 530 | 374 | 218 | 63 | 0 | 0 | 0 |
| Mayıs | 1.017 | 844 | 670 | 497 | 323 | 150 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Haziran | 969 | 786 | 603 | 420 | 237 | 54 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Temmuz | 985 | 779 | 574 | 368 | 162 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ağustos | 996 | 802 | 608 | 413 | 219 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Eylül | 991 | 831 | 670 | 509 | 349 | 188 | 27 | 0 | 0 | 0 |
| Ekim | 1.061 | 931 | 801 | 671 | 541 | 411 | 281 | 151 | 21 | 0 |
| Kasım | 1.056 | 960 | 863 | 767 | 671 | 575 | 479 | 382 | 286 | 190 |
| Aralık | 1.115 | 1.039 | 964 | 888 | 813 | 737 | 662 | 586 | 511 | 435 |
| Toplam | 12.352 | 10.688 | 9.024 | 7.360 | 5.696 | 4.075 | 2.939 | 2.258 | 1.666 | 1.275 |

Tablo incelendiğinde 6kW'a kadar olan sistemlerde tüketimin üretimi karşılama oranı lineer artış göstermekle beraber 6kW'lık sistem ile temmuz ayındaki üretim, tüketimin tamamını karşılamıştır. Bu durumda temmuz ayında elektrik faturası ödenmeyecek demektir. 7kW'lık sistem kurulumunda ise mayıs-ağustos arası hiç elektrik faturası ödenmeyecektir. Bu durum ilk bakışta olumlu gibi görünse de fazla üretilen elektriğin şebekeye satılmadığı düşünüldüğünde sistemin ilk yatırım maliyetindeki artışı karşılama oranını görmek için ekonomik analiz yapılması gereklidir.

1kWe gücündeki bir FV GES için yatırım maliyeti, 600Wp gücündeki 2 FV modül, 1kW gücünde modül arkasına monte edilebilen mikro inverter, montaj için alüminyum profiller, kablolar, ve konnektörler dahil, 2023 şubat piyasa değerlerine göre 1.200\$ olarak hesaplanmıştır. Formüllerde kullanılan sabit gider değeri de FV sistem kurulmadan önce sabit olarak ödenen 1.800\$ yıllık fatura tutarı olarak hesaba katılmıştır. Yapılan ekonomik analiz sonucunda her bir FV GES için yıllık nakit akışı tek bir grafikte toplanarak Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7 FV sistemlerin 10 yıllık süreçteki nakit akışı

Grafik incelendiğinde 7kW ve altındaki tesislerin kendilerini beşinci yıldan sonra amorti ettikleri ve altıncı yıldan itibaren karlı duruma geçtikleri görülmektedir. 8kW ve üstü sistemler ise yedinci yılda ancak karlı duruma geçmeye başlamışlardır. Grafikte 8, 9 ve 10 kW gücündeki tesislerin 7-10 yılları arasındaki karmaşık değişimi yukarıda bahsi geçen sübvansiyon mekanizması, ilk yatırım maliyeti ve üretilen fazla enerjinin şebekeye verilmemesi gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. Tablo 4 ve Şekil 7 birlikte incelendiğinde bu tüketim değerini karşılamak için kurulacak FV sistemin 5kW gücünde olmasının optimum çözüm olacağı söylenebilir. Çünkü 6kW sistem ile temmuz ayında üretilen enerji miktarı madencilik donanımının tüketiminden fazla olmakta ve gereksiz şekilde şebekeye enerji transferi yapılmaktadır. FV sistemi kurarken şebekeye elektrik satışı işleminin yapılmayacağı kararı alındığından madencilikte kullanılan bu donanım için 5kW FV sisteminden daha büyük bir GES yatırımı gereksiz maliyet artışına sebep olacaktır sonucuna varılabilir.

5. Sonuç

Mal ve hizmet takasında bir değişim aracı olarak kullanılan paranın, teknolojinin sürekli gelişmesi ile, evrimleşerek sanal hale gelmesi sonucu kripto paralar hayatımıza girmiş durumdadır. Merkeziyetsiz olması kripto para ekosistemine büyük avantaj sağlasa da sistemin yüksek enerji tüketimi en büyük dezavantajıdır. Enerji tüketiminin sürekli artması karşısında büyük oranda karbon emisyonu üreten enerji kaynaklarına yatırım yapılması dünyayı küresel ısınmaya ve dolayısıyla sürdürülemez bir yaşama doğru sürüklemektedir. Bu sebeple bazı ülkeler kripto para madenciliğini yasaklama hatta kripto paraları tanımama adımları atmışlardır. Ancak bazı ülkelerin yasaklaması küresel anlamda bir çözüm getirmemektedir. Bu enerji tüketimini azaltmak ya da yenilenebilir

kaynaklarla karşılaşmak şu anki teknolojilerle karşımızda duran en mantıklı çözüm yolları olarak görünmektedir.

Kripto para teknolojilerindeki yüksek enerji tüketimi, büyük oranda, sistemdeki paranın dolaşımında kullanılan doğrulama algoritmasından kaynaklanmaktadır. Kripto para ekosisteminde Proof of Work (PoW) ve Proof of Stake (PoS) algoritmalarının kullanımı yaygındır. PoW algoritmasında madencilik yapan (sistemdeki para dolaşımı kayıtlarını doğrulayan) bilgisayar donanımları sürekli kendi aralarında yarışmak zorunda oldukları için PoS algoritmasıyla çalışan sistemlere göre çok daha fazla elektrik tüketirler. 2020 aralık ayına kadar PoW algoritması kullanan Ethereum'un bu tarihten sonra PoS algoritmasına geçmesi sonucu elektrik tüketimindeki düşüş iki algoritma arasındaki tüketim farkını açıkça göstermektedir (Şekil 2). Bu durumda, kripto madenciliğindeki yüksek enerji tüketimini düşürmenin bir yolu algoritma değişikliği olarak önerilebilir.

Kripto para teknolojilerindeki yüksek enerji tüketimini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamak da diğer bir çözüm önerisi olarak literatürde yer almaktadır. Türkiye'de yönetmelikler çerçevesinde 10kW ve altındaki çatı üstü GES kurulumları ile lisanssız bir şekilde kendi elektriğini üretmek ve ihtiyaç fazlasını dağıtım şirketine satmak mümkündür. Ancak son çıkan yönetmelikle ihtiyaç fazlası elektriğin satışından elde edilecek gelir önceki yönetmeliklere göre daha düşük olduğu için ve FV GES'lerin kurulum maliyetlerini bu satıştan elde edilecek gelir ile karşılamak pek mümkün görünmediği için yatırımcıların ihtiyaçlarından daha güçlü bir FV yatırımı yapmaları mantıklı görünmemektedir. Bu sebeple kurulacak FV sistemin boyutlandırılması önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada Manisa, Uncubozköy mahallesinde bir eve kripto para madenciliği için kurulan RIG sisteminin yoğun elektrik tüketiminin çatı üstü bir fotovoltaik (FV) güneş enerji santrali (GES) ile karşılanabilirliği araştırılarak farklı güçlerdeki FV tesislerinin kendilerini amorti etme süreleri araştırılmıştır. Kripto para madenciliğinde kullanılan donanım saatte 1,6kWh enerji tüketmektedir. Türkiye'deki elektrik tüketim bedeline göre hesaplanan bu tüketim aylık 2.610 TL ile 2.890 TL arasında değişmekle beraber yıllık toplam 34.031 TL tutmaktadır. Bu fiyat, 2023 şubat ayında 18,9 TL olan dolar kuruna göre çevrildiğinde, 1.801 \$ olduğu görülmektedir.

Madencilik donanımının kurulduğu evin çatısı FV GES kurulumu için uygundur. Bölgede, çatının eğimi olan 18° eğik yüzeyde aylık toplam güneş ışınım değerleri 78,6-246,1kWh/m² arasında değişmekte olup yıllık toplam 1.886,70kWh/m² olarak PVGIS yazılımı ile hesaplanmıştır. Bu

ışınım değerleri altında çalışan 1kWe gücündeki bir çatı üstü FV GES ile yıllık toplam 1.664kWh elektrik üretimi gerçekleştirilebilmektedir.

1kWe gücündeki bir FV sistemin kurulum maliyeti internet üzerinde yapılan piyasa araştırması ile yaklaşık 1.200\$ civarında bulunmuştur. 1-10kW arası sistemlerin çatıya kurulması ile enerji tüketiminin FV sistemden karşılanması sayesinde elde edilecek kazanç ve sistemlerin kendini amorti etme süreleri hesaplanmıştır. Yapılan ekonomik analiz sonucunda 5kW gücündeki tesisin optimum olduğu sonucuna varılmıştır. Daha yüksek güçlerdeki FV GES kurulumlarının ilk yatırım maliyetleri artarken özellikle yaz aylarında ihtiyaç fazlası üretim yaptığı görülmüştür. Bu çalışmada ihtiyacın üzerinde bir üretim yapılması ve şebekeye verilmesi yoluna gidilmemesi düşünüldüğü için daha yüksek bir GES kurmanın karlı olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışma kripto madencilğinde güneş enerjisi desteğinin mümkün olduğunu ve üretilen elektriğin istenirse tamamının dahi FV GES ile sağlanabileceğini ortaya koymuştur. Ancak FV GES kuracak yatırımcıların, madencilik donanımlarının şebekeden çektiği elektrik enerjisini, kurulduğu noktanın ışıınım değerlerini ve sistemin kurulacağı yüzeyin eğim açısını dikkate alarak optimum çözüm yoluna gitmeleri gerektiği de bu çalışmada ortaya konmuştur.

KAYNAKÇA

- Antonopoulos, A. M. (2014). *Mastering Bitcoin: unlocking digital cryptocurrencies*. “O’Reilly Media, Inc.”
- Ateş, A. M. (2022). Unlocking the floating photovoltaic potential of Türkiye’s hydroelectric power plants. *Renewable Energy*, 199(April), 1495–1509. doi:10.1016/j.renene.2022.09.096
- Ateş, A. M. ve Salmanoğlu, F. (2017). A Project That Provides Electricity from Solar Energy for Vocational School Campus. *Solaris 2017 Conference Proceedings* içinde (ss. 1–6). London.
- Ateş, A. M. ve Singh, H. (2021). Rooftop solar Photovoltaic (PV) plant – One year measured performance and simulations. *Journal of King Saud University - Science*, 33(3), 101361. doi:10.1016/j.jksus.2021.101361
- Ateş, A. M., Yılmaz, O. S. ve Gülgen, F. (2022). Investigating the Effect of Shading on the Capacity Factor of Floating Photovoltaic Systems. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18(3), 309–319. doi:10.18466/cbayarfbe.1020070
- Çarkacıoğlu, A. (2016). Kripto-Para Bitcoin. *Sermaye Piyasası Kurulu Araştırma Dairesi*, 73. <http://www.spk.gov.tr/SiteApps/Yayin/YayinGoster/1130> adresinden erişildi.
- Cooper, P. I. (1969). The absorption of radiation in solar stills. *Solar Energy*, 12(3), 333–346. doi:10.1016/0038-092X(69)90047-4
- Dattani, J. ve Sheth, H. (2019). Overview of blockchain technology. *Asian Journal For Convergence In Technology (AJCT) ISSN-2350-1146*, 5(1).
- de Vries, A. (2018). Bitcoin’s Growing Energy Problem. *Joule*, 2(5), 801–805. doi:10.1016/j.joule.2018.04.016
- de Vries, A. (2019). Renewable Energy Will Not Solve Bitcoin’s Sustainability Problem. *Joule*, 3(4), 893–898. doi:10.1016/j.joule.2019.02.007
- De Vries, A. (2023). Cryptocurrencies on the road to sustainability: Ethereum paving the way for Bitcoin. *Patterns*, 4(1), 100633. doi:10.1016/j.patter.2022.100633
- Dilek, Ş. ve Furuncu, Y. (2018). Bitcoin mining and its environmental effects. *İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 33(1), 91–105.
- Duffie, J. A. ve Beckman, W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes* (2. bs.). Newyork: John Wiley & Sons Inc.
- EPDK. (2023). Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları. *Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu*. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari> adresinden erişildi.
- Hosseini, S. E. ve Kamyab, H. (2022). Sustainable energy and digital currencies: challenges and future prospect. *Future Technology*, 1(1), 26–32. doi:10.55670/fpll.futech.1.1.4
- Karabacak, K. (2022). Economic Feasibility Analysis of a Grid-Connected PV Energy System: A Case Study of Kütahya Dumlupınar University, Türkiye.

- Journal of Scientific Reports-A*, (050), 200–216. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jsr-a/issue/72895/1095014> adresinden erişildi.
- Khalilov, M. C. K., Gündebahar, M. ve Kurtulmuşlar, İ. (2017). Bitcoin ile Dünya ve Türkiye’deki Dijital Para Çalışmaları Üzerine Bir İnceleme. *Proceedings of ab 2017* içinde (C. 19). Aksaray.
- Kırbaş, İ. (2018). Blokzinciri Teknolojisi ve Yakın Gelecekteki Uygulama Alanları. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 75–82. doi:10.29048/makufebed.365066
- Kohli, V., Chakravarty, S., Chamola, V., Sangwan, K. S. ve Zeadally, S. (2022). An analysis of energy consumption and carbon footprints of cryptocurrencies and possible solutions. *Digital Communications and Networks*, (June), 1–16. doi:10.1016/j.dcan.2022.06.017
- Krause, M. J. ve Tolaymat, T. (2018). Quantification of energy and carbon costs for mining cryptocurrencies. *Nature Sustainability*, 1(11), 711–718. doi:10.1038/s41893-018-0152-7
- Lin, I. C. ve Liao, T. C. (2017). A survey of blockchain security issues and challenges. *International Journal of Network Security*, 19(5), 653–659.
- Liu, B. Y. H. ve Jordan, R. C. (1962). Daily Insolation on Surfaces Tilted towards the Equator. *ASHRAE Transactions*, 67, 526–541.
- Lotfi, R., Ghaboulia Zare, S., Gharehbaghi, A., Nazari, S. ve Weber, G.-W. (2023). Robust optimization for energy-aware cryptocurrency farm location with renewable energy. *Computers & Industrial Engineering*, 177(January), 109009. doi:10.1016/j.cie.2023.109009
- Nair, R., Gupta, S., Soni, M., Kumar Shukla, P. ve Dhiman, G. (2020). An approach to minimize the energy consumption during blockchain transaction. *Materials Today: Proceedings*, (xxxx). doi:10.1016/j.matpr.2020.10.361
- Nikzad, A. ve Mehregan, M. (2022). Techno-economic, and environmental evaluations of a novel cogeneration system based on solar energy and cryptocurrency mining. *Solar Energy*, 232(January), 409–420. doi:10.1016/j.solener.2022.01.014
- Niranjanamurthy, M., Nithya, B. N. ve Jagannatha, S. (2019). Analysis of Blockchain technology: pros, cons and SWOT. *Cluster Computing*, 22(S6), 14743–14757. doi:10.1007/s10586-018-2387-5
- Platt, M., Sedlmeir, J., Platt, D., Xu, J., Tascia, P., Vadgama, N. ve Ibanez, J. I. (2021). The Energy Footprint of Blockchain Consensus Mechanisms Beyond Proof-of-Work. *2021 IEEE 21st International Conference on Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C)* içinde (ss. 1135–1144). IEEE. doi:10.1109/QRS-C55045.2021.00168
- Schinckus, C., Nguyen, C. P. ve Ling, F. C. H. (2020). Crypto-currencies Trading and Energy Consumption. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(3), 355–364. doi:10.32479/ijeep.9258
- Sedlmeir, J., Buhl, H. U., Fridgen, G. ve Keller, R. (2020). The Energy

- Consumption of Blockchain Technology: Beyond Myth. *Business & Information Systems Engineering*, 62(6), 599–608. doi:10.1007/s12599-020-00656-x
- Šúri, M., Cebecauer, T. ve Skoczek, A. (2011). SolarGIS: Solar Data and Online Applications for PV Planning and Performance Assessment. *Proceedings of 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, (September), 3930–3934.
- Šúri, M., Huld, T. A. ve Dunlop, E. D. (2005). PV-GIS: a web-based solar radiation database for the calculation of PV potential in Europe. *International Journal of Sustainable Energy*, 24(2), 55–67. doi:10.1080/14786450512331329556
- Truby, J. (2018). Decarbonizing Bitcoin: Law and policy choices for reducing the energy consumption of Blockchain technologies and digital currencies. *Energy Research & Social Science*, 44(June), 399–410. doi:10.1016/j.erss.2018.06.009
- Ünal, G. ve Uluyol, Ç. (2020). Blok zinciri teknolojisi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 13(12), 167–175. doi:10.17671/gazibtd.516990
- Wald, L., Albuissou, M., Best, C., Delamare, C., Gaboardi, E., Hammer, A., ... Dumortier, D. (2004). SoDa : a Web service on solar radiation. *Eurosun 2004* içinde (ss. 921–927). Freiburg, Germany: PSE GmbH.
- Wendl, M., Doan, M. H. ve Sassen, R. (2023). The environmental impact of cryptocurrencies using proof of work and proof of stake consensus algorithms: A systematic review. *Journal of Environmental Management*, 326(PA), 116530. doi:10.1016/j.jenvman.2022.116530
- Yan, L., Mirza, N. ve Umar, M. (2022). The cryptocurrency uncertainties and investment transitions: Evidence from high and low carbon energy funds in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 175(July 2021), 121326. doi:10.1016/j.techfore.2021.121326
- Yılmaz, M. K. ve Kaplan, A. (2022). Kriptopara Madencilikinin Çevresel Sürdürülebilirlik Üzerine Etkileri. *Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilir Hayat* içinde (ss. 143–174). Turkish Academy of Sciences. doi:10.53478/TUBA.978-605-2249-97-0.ch06
- Zhang, D., Chen, X. H., Lau, C. K. M. ve Xu, B. (2023). Implications of cryptocurrency energy usage on climate change. *Technological Forecasting and Social Change*, 187(December 2022), 122219. doi:10.1016/j.techfore.2022.122219

BÖLÜM 6

BİYOTİKLERİN ÖNEMİ VE SÜT SANAYİNDE KULLANIM OLANAKLARI

Vildan AKDENİZ¹

¹ Dr., Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Süt Teknolojisi Bölümü, ORCID:
0000-0002-2288-7832

GİRİŞ

Bağırsak bariyeri, bağırsağı istila eden zararlı mikroorganizmalara ve antijenlere karşı ilk savunmadır. Esas olarak goblet hücreleri tarafından üretilen bir mukus tabakasından ve ardından epitelyal sıkı bağı oluşturan tek tabakalı epitel hücrelerinden oluşan çok katmanlı bir sistemdir. Bağırsak bağımsızlık sistemi ve mikrobiyota, bağırsak bariyer fonksiyonunun kritik bileşenleridir (Gao vd., 2019). Bağırsak mikrobiyotası, konağın mukozal bağımsızlık sisteminin fizyolojisini ve patolojisini etkileyen metabolik bir aktivite ile bağırsağı kolonize eden büyük bir bakteri topluluğudur. Bağırsak bakterilerinin insan sağlığını geliştirmede yararlı etkileri olmasının yanısıra, koruyucu ve zararlı mikroflora bileşenlerinde dengesizlik olduğu durumlarda iltihabi bağırsak hastalıkları (Crohn hastalığı ve ülseratif kolit), huzursuz bağırsak sendromu, kolorektal kanser gibi bağırsak hastalıklarının, tip 2 diabet, karaciğer yağlanması, obezite gibi metabolik hastalıkların ve hatta Alzheimer, Parkinson gibi otoimmün hastalıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Alonso vd., 2013). Bağırsak mikrobiyotası 400'den fazla bakteri türünün bulunduğu tahmin edilen, insan sağlığı üzerindeki etkisinin giderek daha iyi anlaşıldığı çok çeşitli ve nispeten istikrarlı aynı zamanda karmaşık ve dinamik bir mikrobiyal ekosistemdir (Domingo, 2017). Son yıllarda yapılan çalışmalar mide-bağırsak sistemi mikrobiyotasının vücudun bağımsızlık sistemi ve strese adaptasyonunda anahtar bir role sahip olduğunu, fizyolojik süreçlerin homeostazını korumada ve hastalıkları önlemede etkili olduğunu göstermektedir. Beslenme biçimimiz, bağırsak mikrobiyotasının bileşimi ve işlevselliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Rosa vd., 2021).

Besinler, açlığımızı gidermesinin ve temel beslenme gereksinimimizi sağlamasının yanısıra, beslenme ile ilgili hastalıkların ortaya çıkmasını engellemeye de yardımcı olmaktadır. Bu sebeple, sağlık bilincine sahip tüketiciler tarafından fonksiyonel gıdalara yoğun bir talep bulunmaktadır. Yararlı mikroorganizmaların insan sağlığındaki rolü uzun yıllardır bilinmektedir. Bununla birlikte yalnızca canlı hücreler veya bunların metabolitleri değil, aynı zamanda cansız hücrelerin de insan sağlığını geliştirici etkileri olduğu ortaya çıkmış ve bu konudaki çalışmalar giderek önemini arttırmıştır. Bu çalışmalar sonucunda çeşitli fonksiyonel biyotik kavramlara göre sınıflandırmalar ortaya çıkmış ve biyotikler genel olarak probiyotikler, prebiyotikler, sinbiyotikler, postbiyotikler, parabiyotikler ve psikobiyotikler olarak sınıflandırılmıştır (Nataraj vd., 2021).

Probiyotikleri, prebiyotikleri, sinbiyotikleri, postbiyotikleri, parabiyotikleri ve psikobiyotikleri içeren fonksiyonel gıdalar hem tarım-gıda endüstrisi hem de tüketiciler ve halk sağlığı için büyük bir potansiyele sahiptir. Günümüzde biyotikler, genel fonksiyonel gıda pazarının önemli bir kısmını oluşturan fermente süt ürünleri başta olmak üzere dondurma,

peynir, bebek maması, sütlü tatlılar, peynir altı suyu bazlı içecekler gibi süt ürünlerine ilave edilerek gıda inovasyonunun mihenk taşı haline gelmişlerdir (Mohammadi vd., 2011; Tripathi ve Giri, 2014).

PROBİYOTİKLER

Probiyotikler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından “Yeterli miktarlarda uygulandığında konakçıya sağlık yararı sağlayan canlı mikroorganizmalar” olarak tanımlanmaktadır (FAO/WHO, 2002). Probiyotikler, gastrointestinal mikrobiyal dengeyi koruyan ve konakçıya terapötik faydalar sağlamak için bağırsak mikrobiyotasını değiştiren biyolojik ajanlar olarak hareket etmektedir (de Almada vd., 2016; Gibson vd., 2017). İnsan bağırsağı, konakçı sağlığında, özellikle savunma işlevinde, katabolizma ve anabolizmada önemli bir rol oynamakta ve beyin-bağırsak tepkilerini etkilemektedir. Probiyotiklerin başlıca faydaları bağırsak mikroflora dengesini korumaları, bağışıklık sistemini uyarmaları, antimikrobiyal özelliklere sahip maddeleri üretmeleri, kan şekeri, serum kolesterol seviyesini ve kan basıncını düşürmeleri, kan şekeri düşürerek bağırsak epitelindeki yapışma bölgeleri için patojenlerle rekabet etmeleri, laktöz intoleransı semptomlarını hafifletmeleri, immüno-modülasyon, antikanserojen etkiler ve diğer bakteriler tarafından toksin üretiminin inhibisyonu olarak karşımıza çıkmaktadır (Kocot vd., 2022). Bir bakterinin probiyotik olarak tanımlanabilmesi için güvenilir olması, yan etki oluşturmaması, konakçıya sağlık açısından faydalı olması, antibiyotiklerden etkilenmemesi, üretim ve depolama boyunca canlılığını kaybetmemesi, stabil olması, sindirim sisteminden canlı olarak geçebilmesi, bağırsak hücrelerine tutunması ve bağırsak hücrelerinde kolonize olması gerekmektedir (Dinkçi vd., 2019).

Yapılan çalışmalar probiyotiklerin; diyabet, çoklu-ilaç dirençli bakteriyel patojenler, huzursuz bağırsak sendromu gibi çeşitli hastalıklar üzerinde olumlu etkisi olduğunu göstermektedir (Kazemi vd., 2021). Probiyotikler ayrıca terapötik olarak bebek ishalini, ürogenital hastalıkları, osteoporozu, gıda alerjilerini ve atopik hastalıkları önlemek, antikor kaynaklı ishali azaltmak, kabızlığı ve yüksek kolesterol seviyesini hafifletmek, kolon ve mesane kanserinden korumak için kullanılabilir (Tripathi ve Giri, 2014). Probiyotikler goblet hücrelerinin sayısını ve mukus tabakasını artırarak bağırsak bariyerini de güçlendirmektedir. Bağırsak bariyeri, mukus ve salgısal immünoglobulin A üretimi yoluyla bakterilerin lümeninde tutulmasında önemli rol oynamaktadır (Kazemi vd., 2021).

Çok çeşitli mikroorganizma cinsleri ve türleri potansiyel probiyotikler olarak rapor edilmektedir. Ancak başta *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* cinsleri olmak üzere laktik asit bakterileri, gıda sanayinde en yaygın kullanılan probiyotik bakterilerdir ve genellikle güvenli (GRAS- Generally

Recognized as Safe) statüsüne sahiptirler. Bunların yanında, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc* cinsleri de süt sanayinde kullanılan probiyotik bakterilerdendir (Kocot vd., 2022).

Süt ürünleri başta olmak üzere pek çok fonksiyonel gıda ürünü tüketicilerin probiyotik alımını arttırmak için geliştirilmektedir. Probiyotikler fermente süt ürünlerinin ana bileşenleridir ve fonksiyonel gıda pazarının en önemli parçasıdır. Fakat probiyotiklerin belirtilen sağlık yararlarını gösterebilmesi için tüketilene kadar gıdada ve tükeltildikten sonra gastrointestinal sistemde canlılıklarını devam ettirebilmeleri gerekmektedir (Rashidinejad vd., 2022). Bu nedenle probiyotik gıdaların tüketim anında minimum 10^6 – 10^7 kob g^{-1} canlı probiyotik bakteriye sahip olması gerektiği bildirilmektedir. Genellikle gıda ürünlerinin depolanması sırasında bakteri canlılıklarında azalma meydana gelmektedir. Bu sebeple, gıdalara başlangıçta daha yüksek sayıda probiyotik bakteri eklenebilir, ki bunun maliyeti arttıracığı göz önüne alınmalıdır, ya da probiyotiklerin canlılığı, üretim ve depolama sırasında korunmalıdır (Dinkçi vd., 2019). Bununla birlikte, özellikle pH'nın oldukça asidik olduğu midede, gastrik geçiş sırasında alınan probiyotik bakterilerin hayatta kalma oranının azalması nedeniyle, bu tür canlı bakterilerin konakçı bağırsağa iletilmesi büyük bir zorluktur (Rashidinejad vd., 2022). Bu sebeple probiyotik gelişimini teşvik eden prebiyotik kavramı ortaya çıkmıştır.

PREBİYOTİKLER

Uluslararası Bilimsel Probiyotikler ve Prebiyotikler Birliği (ISAPP) tarafından prebiyotikler konakçıya sağlık yararı sağlayan mikroorganizmalar tarafından seçici olarak kullanılan substratlar” olarak tanımlanmaktadır (Gibson vd., 2017). Prebiyotikler, sağlıklı bir mikrobiyota oluşturmak veya dengesi bozulduğunda onu eski haline getirmek için kullanılabilirler. Prebiyotikler, probiyotik bakterilerin büyümesini ve/veya aktivitesini seçici olarak uyaran, sindirilmeyen gıda bileşenleri olarak da tanımlanmaktadır (Akalin ve Erisir, 2008). Prebiyotiklerin probiyotik bakteri canlılığı üzerindeki etkisi, probiyotik suşların türü, prebiyotiklerin türü, saflığı ve konsantrasyonu, gıdanın bileşimi ve saklama koşulları gibi çeşitli faktörlere bağlı olmakla birlikte, genellikle prebiyotikler probiyotik canlılığı arttırmaktadır (Dinkçi vd., 2019). Süt ürünlerinde prebiyotiklerin probiyotik canlılığına etkisini gösteren çalışmalardan bazıları Tablo 1’de sunulmaktadır.

Tablo 1. Süt üründe kullanılan prebiyotiklerin probiyotik bakteri canlılığına etkisi

| Prebiyotik | Ürün | Kullanılan probiyotik bakteri | Etkisi | Referans |
|---|---|--|---|-------------------------|
| Fruktooligosakkarit (FOS) | Yoğurt | <i>Bifidobacterium animalis</i> ve <i>Bifidobacterium longum</i> | FOS, <i>B. animalis</i> ve <i>B. longum</i> canlılığını arttırmıştır. En yüksek canlılık FOS ve <i>B. animalis</i> içeren yoğurttta tespit edilmiştir. | Akalın vd. (2004) |
| Oligofruktoz ve inulin | Az yağlı dondurma | <i>Lactobacillus acidophilus</i> La-5 ve <i>Bifidobacterium animalis</i> Bb-12 | Dondurma örneklerinde <i>L. acidophilus</i> ve <i>B. animalis</i> gelişiminde sadece oligofruktozun olumlu etki gösterdiği saptanmıştır. | Akalın ve Erisir (2008) |
| Taurin ve inulin | Farklı oranlarda taurin ve inulin ilave edilen probiyotik yoğurt dondurmaları | <i>Lactobacillus acidophilus</i> La-5 ve <i>Bifidobacterium animalis</i> Bb-12 | Örneklere ilave edilen % 0.25 ve % 0.50 oranlarındaki taurinin dondurmalarındaki probiyotik bakteri sayısını arttırdığı saptanmıştır. | Alibekiroğlu (2014) |
| Galaktooligosakkarit (GOS) ve izomaltooligosakkarit | Yağsız rekonsütüe keçi sütü | <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Bifidobacterium longum</i> , <i>Lactobacillus rhamnosus</i> | GOS ilavesi, <i>L. acidophilus</i> 'un gelişimi üzerinde önemli bir inhibisyona sebep olurken, <i>L. rhamnosus</i> 'un gelişimini olumlu etkilemiştir. Düşük konsantrasyonlarda izomaltooligosakkarit ilavesi <i>L. acidophilus</i> gelişimini olumlu etkilemiştir. <i>L. longum</i> gelişimi ise eklenen izomaltooligosakkarit konsantrasyonundaki artışa paralel olarak olumlu etkilenmiştir. | Chen vd. (2012) |
| Hi-maize, laktuloz, inulin, raftiloz | Yağsız rekonsütüe sütü | <i>Lactobacillus</i> spp. (<i>L. casei</i> , <i>L. paracasei</i> , <i>L. rhamnosus</i> , <i>L. zeae</i>) | Laktobasillerin prebiyotik varlığında canlılığı türe bağlı olmakla birlikte, genel olarak prebiyotikler <i>Lactobacillus</i> türlerinin gelişimini olumlu etkilemiştir. En olumlu etkiyi inülin sağlamıştır. | Desai vd. (2004) |
| Laktobiyonik asit | Fermente süt ürünü | <i>Lactobacillus casei</i> | Fermentasyon sonrasında üründe aktif 10^9 kob/mL <i>L. casei</i> ve 30 g/L prebiyotik laktobiyonik asit tespit edilmiştir. | Garcia vd. (2019) |
| İnulin ve laktuloz | Asidofilus-Bifidus yoğurt | <i>Lactobacillus acidophilus</i> La-5 ve <i>Bifidobacterium bifidum</i> | <i>B. bifidum</i> gelişimini inulin ve laktuloz olumlu etkiler iken, <i>L. acidophilus</i> gelişimini sadece laktuloz olumlu etkilemiştir. | Özer vd. (2005) |

| | | | | |
|---|---|---|--|------------------|
| FOS ve izomaltooligosakkarit | Farklı oranlarda FOS ve izomaltooligosakkarit ilave edilen fermente süt ürünleri | <i>Lactobacillus acidophilus</i> | Hem FOS hem izomaltooligosakkaritin % 2,5'a kadar ilavesi örneklerde <i>L. acidophilus</i> sayısını arttırmıştır. | Shafi vd. (2019) |
| FOS, GOS ve inulin | Farklı oranlarda FOS, GOS ve inülin içeren fermente yağsız rekonstitüe süt | <i>Bifidobacterium</i> spp. (Bf -1 and Bf -6) | Kullanılan prebiyotikler <i>Bifidobacterium</i> spp. gelişimini arttırmıştır. En çok artış % 5 oranında FOS ya da GOS kullanılan örneklerde saptanmıştır. | Shin vd. (2000) |
| FOS, GOS, inulin, soya-oligosakkariti, ksilooligosakkarit ve laktuloz | Temel gelişim besiyeri olarak karbonhidrat içermeyen Reinforced Clostridial Medium besiyeri bileşenlerinden hazırlanmıştır. | <i>Bifidobacterium animalis</i> Bb-12 | Kullanılan prebiyotiklerin tümünün Bb-12 gelişimini belirli düzeylerde teşvik ettiği ve bakteri gelişimine en olumlu etkiyi ksilooligosakkarit ilavesinin sağladığı tespit edilmiştir. | Şener vd. (2008) |

Probiyotikler ile prebiyotikler her ne kadar ortak etki mekanizmalarına sahip olsalar da bileşimleri ve metabolizmaları farklıdır. Prebiyotikler mikrobiyota üzerinde konakçının sağlığının iyileştirilmesiyle sonuçlanan seçici bir etkiye sahiptir. Aynı zamanda, prebiyotiklerin sindirime dirençli olması gerekmektedir. Önceleri prebiyotiklerin, çözünür lifler, inülin, fruktooligosakkaritler ve galaktooligosakkaritler gibi fermente edilebilir karbonhidratlar olduğu belirtilirken, günümüzde polifenol ve çoklu doymamış yağ asitleri gibi karbondihidrat olmayan maddeler de prebiyotik tanımına girmiştir (Drabinska vd., 2016).

Yapılan çalışmalar, prebiyotiklerin mineral Emilimi, vücut ağırlığı yönetimi ve bağırsak sağlığı modülasyonu üzerindeki olumlu etkisini bildirmekte ve prebiyotiklerin, probiyotik gelişimini arttırması sonucu hem lümende hem de epitel yüzeyinde bağırsak mikrobiyotasını dengeleyerek veya eski haline getirerek bağırsak sisteminde etkili olduğunu belirtmektedir (Drabinska vd., 2016; Kocot vd., 2022). Prebiyotiklerin; diyabet, kanser, böbrek yetmezliği, basınç ülserleri, metabolik stres, travma ve immünsüpresyon dahil olmak üzere çeşitli hastalıklar için yararlı etkileri bulunmaktadır. Prebiyotikler ile zenginleştirilmiş gıdalar, kolonositlere fermantasyon yoluyla kısa zincirli yağ asitleri sağlamak, bağırsak fonksiyonunu normalleştirmek ve sürdürmek, kolon bütünlüğünü iyileştirmek ve hastane ortamında kolonizasyon direnci oluşturmak için kullanılabilir. Böylece, prebiyotikler antibiyotikle ilişkili ishali olan hastalarda, Crohn hastalığı ve ülseratif kolit dahil olmak üzere çeşitli bağırsak rahatsızlıklarında ve tıbbi beslenme tedavisi için formüle edilmiş bir diyet alırken genel

bağırsak dengesini sağlamak için kullanılabilir (Pandey vd., 2015).

Prebiyotiklerden, özellikle süt sanayinde fonksiyonel gıdaların geliştirilmesinde bileşen olarak yararlanılmaktadır. Prebiyotik içeren süt ürünlerinin tüketimi, antidiyabetik ve antihipertansif özellikler ile kan lipit profilindeki, bağırsıklık sistemindeki ve bağırsak sağlığındaki iyileşmelerle ilişkilendirilmiştir (Rosa vd., 2021). Bunun yanında, yapılan çalışmalar prebiyotiklerin süt teknolojinde özellikle yoğurt gibi fermente süt ürünlerinde viskoziteyi arttırdığını ve ürünlerin yapısını olumlu etkilediğini göstermektedir (Garcia vd., 2019). Prebiyotik bileşenler, süt ürünlerinde yağ ikame maddeleri olarak da kullanılabilen ve tam yağlı ürünlere benzer reolojik, fizikokimyasal ve duyuşsal özelliklere sahip yağsız ürünlerin elde sine imkan vermektedir. Ayrıca süt ürünlerinde şeker yerine kullanıldığında lif içeriğini artırarak dokuyu iyileştirmektedir. Prebiyotik ilavesinin süt ürünlerinin teknolojik özellikleri üzerindeki etkisi, gıda matrisi, prebiyotik türü ve prebiyotik konsantrasyonuna bağlı olmakla birlikte yoğurt, dondurma, peynir, peynir altı suyu içecekleri, sütlü tatlılar gibi pek çok süt ürününde prebiyotiklerin kalite özelliklerinde iyileşmeler sağladığı belirlenmiştir (Neri-Numa vd., 2020; Rosa vd., 2021).

SİNBİYOTİKLER

Sinbiyotikler, konakçıya fayda sağlamak için sinerjik olarak hareket eden probiyotikler ve prebiyotiklerin bir kombinasyonu olarak tanımlanmaktadır (Shafi vd., 2019). Gıdalardaki, özellikle fermente süt ürünlerindeki, pH, H₂O₂, organik asitler, oksijen ve nem gibi faktörler probiyotiklerin canlılığını olumsuz etkilemektedir. (Pandey vd., 2015; Romeo vd., 2010). Sinbiyotikler, probiyotiklerin olası hayatta kalma zorluklarının üstesinden gelmesine yardımcı olmaktadır. Sinbiyotik gıdalar ise sağlığı olumlu yönde etkileyen prebiyotiklerin ve probiyotiklerin sinerjistik bir karışımı olan diyet takviyeleridir. Sinbiyotik formülasyona sahip gıdalar, probiyotik kültürlerin prebiyotiklerin varlığında sindirim sisteminde hayatta kalarak bağırsak sistemine canlı olarak ulaşmasını sağlamak ve gelişimini teşvik etmektedir (Shafi vd., 2019). Prebiyotikler ile probiyotiklerin doğru kombinasyonu ile oluşturulan bir sinbiyotik, faydalı bakteriler ve bunların ilgili substratı arasında sinerjistik bir bağlantı sağlayacaktır. Böyle bir sinerjik ilişki, insan sağlığını olumlu yönde etkilemekte, gıda kaynaklı bulaşıcı hastalıklar ve diyabet gibi hastalıklara karşı olumlu etkiler göstermektedir (Pandey vd., 2015).

Sinbiyotik formülasyonda kullanılan başlıca probiyotikler *Lactobacilli*, *Bifidobacteria* spp, *S. boulardii* ve *B. coagulans* iken, fruktooligosakkarit (FOS), galaktooligosakkaritler (GOS), ksiloseoligosakkarit ve inülin ise başlıca prebiyotiklerdir (Rosa vd., 2021).

Yapılan çalışmalar göstermektedir ki sinbiyotiğin göstereceği etki, probiyotik ve prebiyotiğin tek başına göstereceği etkiden daha fazladır. Bu nedenle fonksiyonel ürünlerde probiyotik ya da prebiyotiğin tek başına kullanılması yerine sinbiyotik kombinasyonlar olarak kullanılmalrı önerilmektedir (Surolia vd., 2022). Sinbiyotik gıdaların, enflamatuvar ve metabolizma ile ilgili hastalıklarda insan sağlığını olumlu etkilediği bildirilmektedir. Sinbiyotiklerin düzenli ve uzun süreli alımı, solunum yolu hastalıklarının insidansını ve şiddetini azaltmakta, kolonik mikrobiyotanın bileşimini değiştirerek bağırsak mukozasındaki inflamatuvar süreçleri ve inflamatuvar bağırsak hastalıkları aktivitesini azaltmaktadır (Romeo vd., 2010).

Sinbiyotik süt ürünlerinin insan sağlığına etkilerini gösteren çalışmalardan bazıları Tablo 2’de sunulmaktadır.

Tablo 2. Sinbiyotik süt ürünleri ve etkileri

| Sinbiyotik Gıda | Probiyotik bakteri | Prebiyotik | Gözlemlenen Etki | Referans |
|--------------------|---|--|---|----------------------------|
| Yoğurt | <i>Bifidobacterium animalis</i> subsp. <i>lactis</i> Bb-12 | İnülin | Sinbiyotik yoğurt tüketimi, non-alkolik yağlı karaciğer hastalığı olan hastalarda hepatik steatoz ve karaciğer enzim konsantrasyonlarında iyileşme sağlamıştır. | Bakhshimoghadam vd. (2018) |
| Sinbiyotik gıda | <i>Bifidobacterium lactis</i> | İnülin | Sinbiyotik tedavi geçirmeyi, karın dolgunluğu, kabızlığı ve yemeklerden sonra şişkinliği azaltmıştır. | Basturk vd. (2016) |
| Fermente süt ürünü | <i>Lactobacillus acidophilus</i> ve <i>Bifidobacterium lactis</i> | Dirençli nişasta (Organik yeşil muz unu) | Daha düşük aterosjenik ve trombojenik indeksler ve yağ asidi profilinde iyileşme gözlenmiştir. | Batista vd. (2017) |
| Ayran | <i>Lactobacillus rhamnosus</i> | İnülin | Bağışıklığı iyileştirmiş ve hastalığın süresini azaltmıştır. | Falke (2015) |
| Yoğurt | <i>Bifidobacterium animalis</i> | İnülin | Bağırsak bariyer fonksiyonunda iyileşme ile patojenik bakterilerin azaltılması sağlanmıştır. | Hussein vd. (2014) |
| Yoğurt | <i>Bifidobacterium animalis</i> ve <i>Lactobacillus acidophilus</i> | İnülin | Dışkıda <i>Clostridium</i> spp., <i>Escherichia coli</i> , <i>Enterococcus</i> spp. gibi zararlı bakteri sayılarında azalma saptanmıştır. | Komprda vd. (2013) |
| Yoğurt | <i>Bifidobacterium lactis</i> ve <i>Lactobacillus casei</i> | Oligofruktoz ve inülin | Bağırsak geçiş süresinde önemli bir azalma saptanmış ve özellikle kabızlığı olan hastalarda daha etkili olduğu saptanmıştır. | Malpeli vd. (2012) |

| | | | | |
|------------------------|--|-------------------------------|--|-------------------|
| Sinbiyotik süt ieeği | <i>Lactobacillus acidophilus</i> ve <i>Bifidobacterium bifidum</i> | Oligofruktoz | Sinbiyotik ieeğin 30 gün boyunca düzenli tüketimi açlık glisemi seviyelerinde önemli bir azalma sağlamıştır. Ayrıca yüksek yoğunluklu lipoprotein kolesterolünde de önemli bir artış saptanmıştır. | Moroti vd. (2012) |
| Fermente süt ürünü | <i>Lactobacillus acidophilus</i> | FOS ve izomaltooligo-sakkarit | Sinbiyotik fermente ürünün <i>Escherichia coli</i> ve <i>Staphylococcus aureus</i> 'a karşı önemli antimikrobiyal potansiyeli olduğu saptanmıştır. Ayrıca kan şekeri, üre ve kreatinin düzeylerinde de düşüş belirlenmiştir. | Shafi vd. (2019) |

POSTBİYOTİKLER

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, canlı olmayan mikroorganizmaların veya bakteriyel metabolizma yan ürünlerinin de konakçıda biyolojik aktivite göstererek fizyolojik faydalar sağlayabileceğinin belirlenmesi üzerine yeni terminolojiler ortaya çıkmıştır. Bunlardan birisi de postbiyotik kavramıdır ve en yalın şekilde metabolik aktiviteye sahip probiyotik mikroorganizmaların metabolik yan ürünleri olarak ifade edilebilirler (Aguilar-Toala vd., 2018; Barros vd., 2020). Uluslararası Bilimsel Probiyotikler ve Prebiyotikler Birliği (ISAPP) ise postbiyotikleri “cansız mikroorganizmaların ve/veya bileşenlerinin konakçıya sağlık yararı sağlayacak şekilde hazırlanması” şeklinde tanımlamaktadır (Salminen vd., 2021). Probiyotik mikroorganizmalar tarafından üretilen veya hücre parçalanmasından sonra salınan znr biyoaktif bileşenlerdir. Bu bileşenler; deoksiribonükleik asiti, ribonükleik asiti, sitoplazmik bileşenleri, hücre duvarlarını, hücre yüzey proteinlerini, bakteriyosin ve antimikrobiyal peptidler gibi proteinleri, bakteriyel enzimleri, teikoik asit ve ekzopolisakkaritler gibi karbonhidratları, pepti-doglikan türevi nropeptitleri, polisakkaritleri, organik asitleri, vitaminleri, bütirat, propiyanat ve kısa zincirli yağ asitleri gibi lipidleri içerebilir (Nataraj vd., 2021). Bu sayede postbiyotikler bağırsak bariyer işlevi üzerinde probiyotikler ile benzer koruyucu etkiye sahip olmaktadır (Gao vd., 2019). Yapılan alışmalar postbiyotiklerin bağırsak mikrobiyotasını dzenlererek bariyer fonksiyonunu geliştirdiğini, patojenlere karşı inhibitör etki gösterdiğini, immün hücre yanıtını modüle ettiğini göstermektedir. Postbiyotik metabolitler, ince bağırsağa ulaştıklarında antiinflamatuvar aktivite sağlarlar ve yapılarında bulunan antimikrobiyal peptitler sayesinde antioksidan etkileri ile patojenleri yok ederek bağışıklık sistemini güçlendirirler. Kısa zincirli yağ asitleri de bağışıklık sisteminin düzenlenmesine katkıda bulunur ve ayrıca lipid metabolizmasında rol oynarlar. Böylece kardiyovasküler hastalık riskinde azalma sağlanır ve insülin duyarlılığı düzenlenir (Pelton, 2020; Sabahi vd, 2022). Glutatyon peroksidaz gibi hücre

içi bakteriyel enzimler de antioksidan etkilerin yanı sıra bağışıklık sistemini güçlendirici etkilere sahiptir (Pelton, 2020). Ayrıca, postbiyotikler ishali önler, farengit, larenjit, atopik dermatit ve astım alevlenmelerinin insidansını azaltırlar (Zolkiewicz vd., 2020).

Postbiyotikler; termal işlem, yüksek basınç, ultraviyole ışın ve sonikasyon gibi çeşitli yöntemlerle *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* gibi probiyotik mikroorganizmaların inaktivasyonundan elde edilmektedir (Salminen vd., 2021). Ayrıca, *Pediococcus*, *Streptococcus* gibi laktik asit bakterileri de bakteriyosin üretmektedir ve birçok probiyotik suş antioksidan etkiye sahip postbiyotikler üretmektedir. Özellikle biyoaktif peptidler; antioksidan, antimikrobiyal, antihipertansif, antidiyabetik, antienflamatuar etkiler göstererek insan sağlığını olumlu etkilemektedir (Chang vd., 2021; Cuevas-González vd., 2020).

Postbiyotikler, net kimyasal yapıları, güvenli doz parametreleri, uzun raf ömürleri ve antienflamatuar, immünomodülatör, antiobezojenik, antihipertansif, hipokolesterolemik, antiproliferatif ve antioksidan aktivitelere sahip olabilecek çeşitli sinyal moleküllerinin içeriği ile dikkat çekmektedir. Bu özellikleri sayesinde postbiyotiklerin spesifik fizyolojik fonksiyonları iyileştirerek konakçı sağlığını olumlu etkilediği düşünülmektedir (Aguilar-Toala vd., 2018). Postbiyotiklerin etki alanı bağırsaklarla sınırlı değildir. Postbiyotikler, ağız boşluğu, bağırsak, cilt, ürogenital sistem veya üst yutak gibi konakçı yüzeylerine de uygulanabilir (Salminen vd., 2021). Ayrıca postbiyotikler, probiyotik suşlar tarafından salgılanan bakteri içermeyen metabolitler olduğundan yani canlı mikroorganizma içermediğinden probiyotiklere kıyasla daha güvenli olarak değerlendirilmektedirler (Mayorgas vd., 2021). Probiyotiklerin sağlık etkilerini gösterebilmeleri için işleme, depolama, dağıtım, hazırlama ve sindirim sisteminin uygun olmayan öldürücü koşullarına karşı hayatta kalmaları gerekirken, postbiyotikler bu elverişsiz koşullara karşı doğal bir stabiliteye sahiptir. Bu stabilite, probiyotiklere karşı en önemli avantajlarından. Geniş bir pH ve sıcaklık aralığında stabil kalabildiklerinden, üretim esnasında gıdaların gerek besin değerini gerek terapötik etkilerini olumsuz etkilemeden ısıl işlemden önce ilave edilebilirler ve ayrıca daha yüksek asitliğe sahip gıdalara ilave edilmeleri de mümkündür. Postbiyotiklerin, probiyotiklere göre diğer avantajları ise (de Almada vd., 2016; Barros vd., 2020):

- Gıda bileşenleri ile çok az etkileşime girerler ya da hiç etkileşime girmezler. Bu sayede ürünün raf ömrünün arttırılmasına katkı sağlarlar.
- Mikrobiyal kontaminasyona sebep olma ihtimalleri yoktur.
- Ürüne bağlı olarak depolama ve nakliye sırasında soğuk zincire ihtiyaç duyulmaz.

- Gıda üreticisi için ekonomik avantaj sağlar.

Bu bağlamda postbiyotikler ile zenginleştirilmiş süt ürünleri, probiyotik ürünlerle karşılaştırıldığında, endüstriyel kullanım ve ticarileştirme için daha basit ve uygundur. Bunun yanı sıra, postbiyotiklerin, probiyotiklerin hayatta kalmasının mümkün olmadığı gıdalarda da uygulanabilmesi fonksiyonel ürün pazarını genişletmektedir (Sabahi vd., 2022). Gıdalara postbiyotik eklenmesi ile ilgili çalışmalar son yıllarda artış göstermiştir. Konakçıya sağladığı faydaların yanı sıra ekzopolisakkarid (EPS) ve bakteriyosin gibi postbiyotikler gıda ürünlerinde emülgatör, stabilizatör ve kıvam artırıcı olarak da kullanılmaktadır. Bu bağlamda süt ürünlerinde özellikle bakteriyosin ve EPS kullanımına yönelik çalışmalar öne çıkmaktadır. EPS'nin süt ürünlerinde su tutma kapasitesini, viskoziteyi ve reolojiyi geliştirdiği bildirilmektedir (Aguilar-Toala vd., 2018; Huang vd., 2020). Bu çalışmalardan bazıları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Süt ürünlerinde postbiyotik kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalar

| Gıda | Postbiyotik | İncelenen Etki | Sonuç | Referans |
|---------------|---|---|---|-----------------------------|
| Yoğurt | Krem peynirden izole edilen <i>Lactobacillus fermentum</i> Lf2 ile üretilen EPS | Yoğurdun reolojik özelliklerine etkisi | <i>L. fermentum</i> Lf2 tarafından üretilen EPS'lerin yoğurtta sertlik, kıvam ve su tutma kapasitesini arttığı saptanmıştır. | Ale vd. (2016) |
| Yoğurt | <i>Lactarius volemus</i> Fr. tarafından üretilen polisakkarit | Yoğurdun fiziko-kimyasal, mikrobiyolojik, reolojik ve duyuşal özelliklerine etkisi | Polisakkarit özütü içeren yoğurtlardaki su tutma kapasitesinin, probiyotik canlı sayısının ve esansiyel amino asit miktarının daha fazla olduğu tespit edilmiştir. | Huang vd. (2020) |
| UHT keçi sütü | <i>Lactobacillus sakei</i> subsp. <i>sakei</i> 2a'dan elde edilen bakteriyosin | <i>L. sakei</i> 2a'dan elde edilen bakteriyosinlerin UHT keçi sütüne doğrudan ya da enkapsüle olarak eklendiğinde gösterdiği antimikrobiyal etkiler | UHT keçi sütüne enkapsüle olarak ilave edilen bakteriyosin doğrudan ilaveye kıyasla patojenik <i>Listeria monocytogenes</i> bakterisine karşı daha fazla antimikrobiyal etki göstermiştir. | Malheiros vd. (2016) |
| Yağsız süt | Yerel Polonya peynirlerinden izole edilmiş 29 farklı <i>Lactobacillus plantarum</i> suşlarının kültür üst fazları | Doğrudan sıvı olarak yağsız süte eklenmiş 29 farklı <i>L. plantarum</i> suşunun antimikrobiyal etkileri | Belirtilen suşların <i>Staphylococcus aureus</i> 'a antimikrobiyal etki gösterdiği ve gıda endüstrisinde koruyucu kültürler olarak kullanılabilirliği belirtilmiştir. | Oldak vd. (2020) |
| UHT süt | Bakteriyosin (Nisin) | Gram-pozitif ve gram-negatif bakteriler üzerine etkisi | Nisin ile sarımsak özütünün kapsüllenecek birlikte kullanılması ile UHT sütte <i>L. monocytogenes</i> , <i>S. Enteritidis</i> , <i>E. coli</i> ve <i>S. aureus</i> 'a karşı antimikrobiyal aktivite saptanmıştır. | Pinilla ve Brandelli (2016) |

| | | | | |
|------------------------|-----|---|---|-----------------|
| Az yağlı çedar peyniri | EPS | Çedar peynirinin olgunlaşma özelliklerine etkisi ve sağlığı geliştirici faydalarının belirlenmesi | EPS içeren peynirlerin antioksidan ve ACE inhibitör biyoaktivitelerinin ve depolama sonunda olgunlaşma karakteristiklerinin daha iyi olduğu saptanmıştır. | Wang vd. (2019) |
| Manda yoğurdu | EPS | Manda yoğurdunun mikroyapı, dokusal ve reolojik özelliklerine etkisi | Farklı konsantrasyonlarda manda sütüne eklenen EPS'ler manda yoğurdunun su tutma kapasitesini ve jel sertliğini arttırmıştır. | Yang vd. (2014) |

PARABİYOTİKLER

İnaktif probiyotikler ya da hayalet probiyotikler olarak da adlandırılan paraprobiyotikler, yeterli miktarda uygulandıklarında tüketiciler için fayda sağlamaktadırlar (Barros vd., 2020). Postbiyotikler metabolik yan ürünler olarak ifade edilirken, parabiyotikler bozulmamış/parçalanmamış cansız mikrobiyal hücreler veya işlenmemiş hücre fraksiyonları olarak ifade edilmektedir (de Almada vd., 2016). Parabiyotikler, peptidoglikan türevli nöropeptid, polisakkarit, teikoik asit, fimbria, flagella gibi hücre bileşenleri içeren probiyotiklerin bozulmamış, inaktive edilmiş mikrobiyal hücreleri veya hücre lizatlarıdır. DNA filamentlerinin kırılması, hücre zarının bozulması, hücre duvarının mekanik hasarı gibi faktörlerle hücre yapıları değişmiş ve hücre canlılıkları tamamen kaybolmuştur (Capponi vd., 2022). Hücre canlılıklarının kaybolmasına temel enzimlerin etkisizleştirilmesi, membran seçiciliğinin devre dışı bırakılması gibi faktörler de sebep olabilmektedir. Ayrıca canlı bakterilerin inaktivasyonu için ısıl işlem başta olmak üzere yüksek basınç, ultraviyole ışınlar, sonikasyon, ohmik ısıtma, pH değişimi gibi uygulamalar da kullanılmaktadır (de Almada vd., 2016).

Parabiyotikler; antikarsinojenik, antiproliferatif, antiinflamatuvar, immünomodülatör, antioksidan ve antimikrobiyal etkiler göstermektedir. Ayrıca solunum yolu hastalıkları, inflamatuvar bağırsak hastalıkları ve bazı karaciğer hastalıklarında olumlu etki gösterdikleri bildirilmiştir. Parabiyotiklerin, bağışıklık sistemi ve bağırsak mikrobiyotasının bakteriyel translokasyonu üzerinde düzenleyici etkisi bulunmaktadır. Ayrıca, kanser hücrelerinin büyümesinin kontrolü, yaşlanma belirtilerinin yavaşlatılması, laktoz intoleransının azaltılması ve diş çürüğünün iyileştirilmesi gibi etkileri de gözlenmiştir (Pique vd., 2019; Segawa vd., 2008).

Parabiyotikler de probiyotiklere kıyasla postbiyotiklere benzer avantajlara sahiptir ve probiyotiklerin canlılığını koruması için uygun olmayan gıda üretim prosesleri için kullanıma uygundur (Barros et al., 2020). Hem bu sebeple hem de sağlık faydaları sebebiyle parabiyotiklerin gıdalarda, özellikle süt ürünlerinde kullanımı giderek artmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları Tablo 4’de sunulmuştur.

Tablo 4. Süt ürünlerinde kullanılan parabiyoetikler ve etkileri

| Gıda | Parabiyoetik | Sonuç | Referans |
|----------------------|--|---|---------------------|
| Yoğurt | Isıl işlem ile inaktive edilmiş <i>Lactobacillus plantarum</i> | 12 hafta boyunca inaktive edilmiş <i>L. plantarum</i> içeren yoğurtların günlük tüketimleri doğal öldürücü hücre fonksiyonunu ve interferon- γ konsantrasyonunu artırarak bağışıklık fonksiyonunu iyileştirmiştir. | Lee vd. (2017) |
| Fermente süt ieeği | Isıl işlem ile inaktive edilmiş <i>Lactobacillus gasseri</i> CP2305'den elde edilmiş canlı olmayan parabiyoetik CP2305 hücreleri | Isıyla inaktive edilmiş CP2305'in bağırsak ortamını olumlu yönde etkilediği ve bağırsak fonksiyonlarının düzenlenmesi üzerinde etkili olduğu saptanmıştır. | Sawada vd. (2016) |
| Fermente süt ieeği | Isıl işlem ile inaktive edilmiş <i>Lactobacillus gasseri</i> CP2305'den elde edilmiş canlı olmayan parabiyoetik CP2305 hücreleri | 3 hafta boyunca canlı olmayan CP2305 hücreleri içeren içeceklerin günlük tüketiminin, kabızlığa eğilimi olan hastalarda bağırsak ortamını ve bağırsak fonksiyonlarını iyileştirdiği görölmüştür. | Sugawara vd. (2016) |

PSİKOBİYOTİKLER

Son yıllarda yapılan çalışmalarda gastrointestinal sistemde gerçekleşen fermantasyon sonucunda mikrobiyota-bağırsak-beyin ekseninde etkili olan nöroaktif bileşenlerin üretildiği belirtilmektedir. Böylece konakçıya fiziksel ve zihinsel yarar sağlayarak psikiyatrik rahatsızlıkların tedavisinde potansiyel uygulamalar öneren yeni bir yaklaşıma ortaya çıkmıştır ve bu yaklaşıma “psikobiyotik” kavramı ile adlandırılmaktadır (Bermudez-Humaran vd., 2019). Psikobiyotikler, duygusal bozukluklarda ve bağışıklık sisteminde anahtar unsurlar olarak kabul edilmektedir. Bağırsak florasına kolonize olarak nöronal fonksiyonlar üzerinde doğrudan ve dolaylı olarak olumlu etkiler oluşturan canlı bakterilerdir (Sherwin vd., 2019). Psikobiyotikler yeterli miktarda alındıklarında, bağışıklık sistemi ve sinir sistemi gibi metabolik yollar ile beyin-bağırsak eksenini oluşturan vagus siniri, omurilik veya nöroendokrin gibi sistemler aracılığıyla merkezi sinir sistemi üzerinde etkilidirler ve farklı yollardan beyine sinyaller gönderebilirler. Beyin-bağırsak ekseninde hareket eden gama-amino-bütirik asit, serotonin, melatonin, katekolaminler, histamin ve asetilkolin gibi nöroaktif maddeleri üretme ve aktarma yeteneğine sahiptirler (Dinan vd., 2013; Kapreliants ve Zhuk, 2021). Bu nöroaktif maddeler ruh hali ve duygu durum değişiklikleri üzerinde etkilidir. Denge, bilişsel işlevler, öğrenme ve hafıza süreçlerinde de etkili olmaktadır. Böylece davranış ve beyin fonksiyonunu etkileyebilmektedir (Del Toro-Barbosa vd., 2020). Psikobiyotikler, nöron/nöron veya nöron/hücre arasında iletişimi sağlayan nörotransmitter maddeleri düzenleyebilirler. Böylece, nöroendokrin sistemini kontrol edebilir ve kan yoluyla beyin ile etkileşime geçebilirler (Kapriliants ve Zhuk, 2021). Bazı psikobiyotiklerin antidepresan veya anksiyolitik aktiviteye sahip olduğu, depresyon semptomlarını hafifletmede,

kronik yorgunluk sendromunda ve hafızayı iyileştirmede faydaları olduğu, sosyal kaygıda iyileşme sağladığı belirtilmektedir. Bu tür faydalar, psikobiyotiklerin antiinflamatuvar etkileri ve hipotalamus-hipofiz-adrenal eksen aktivitesini azaltma kapasitesi ile ilişkilendirilmektedir. Ayrıca mikrobiyotik-bağırsak-beyin eksenini düzenleyen kortizol, sitokinlerin salgılanmasını, mikrobiyotanın kompozisyonunu ve fonksiyonlarını modüle ederek bağışıklık hücrelerini etkileyebilir (Dinan vd., 2013).

Psikobiyotik etkileri olan *Bifidobacterium infantis*, *Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium bifidum*, *Escherichia*, *Bacillus*, *Saccharomyces*, *Candida*, *Streptococcus*, *Enterococcus* ve *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* gibi probiyotikler nörotransmitterler üreterek ve/veya beyin-bağırsak eksenini üzerinde etkili olan endokannabinoid reseptörleri gibi nörokimyasal reseptörlerin ekspresyonunu düzenleyerek antidepresan ve anksiyolitik etkiye benzer psikotropik özellikler gösterebilirler (Del Toro-Barbosa vd., 2020). Tablo 5'te süt ürünlerinde kullanılan psikobiyotikler ve bunların sağlık etkileri ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları sunulmaktadır.

Tablo 5. Psikobiyotiklerin süt ürünlerinde kullanımı ve sağlık etkileri

| Gıda | Psikobiyotik | İncelenen Etki | Sonuç | Referans |
|--------------|---|---|---|-------------------------|
| Fermente süt | <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactobacillus casei</i> , <i>Bifidobacterium bifidum</i> , <i>Lactobacillus fermentum</i> | Bilişsel işlev üzerine etkisi | 60-95 yaş arası Alzheimer hastalarında bilişsel işlev ve bazı metabolik durumlar üzerinde olumlu etki gözlenmiştir. | Akbari vd. (2016) |
| Süt | <i>Bifidobacterium longum</i> 1714 | Psikobiyotik tüketiminin stres tepkisine, biliş ve beyin aktivite modellerine etkisi | 4 hafta boyunca günlük psikobiyotik tüketiminin kortizol seviyesini, anksiyeteyi ve bireylerin günlük stres seviyesini azalttığı belirlenmiştir. | Allen vd. (2016) |
| Süt içeceği | <i>Lactobacillus casei</i> Shirota | Ruh hali üzerine etkisi | Depresif ruh halindeki yetişkinlerin ruh halinde iyileşme gözlenmiştir. | Benton vd. (2007) |
| Fermente süt | <i>Lactobacillus casei</i> Shirota | Psikobiyotik etki gösteren <i>Lactobacillus casei</i> Shirota suşunun tüketiminin sınav stresi yaşayan öğrencilerin psikolojik, fizyolojik ve fiziksel stres tepkileri üzerindeki etkileri. | Belirtilen fermente sütlerin 8 hafta boyunca günlük tüketimi stresli durumlara maruz kalan bireylerde fekal serotonin seviyelerinde artış ve fiziksel semptomlarda azalma sağlamıştır. | Kato-Kataoka vd. (2016) |
| Fermente Süt | <i>Bifidobacterium animalis</i> subsp <i>lactis</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus bulgaricus</i> , <i>Lactococcus lactis</i> subsp <i>lactis</i> . | Psikobiyotik tüketiminin beyin merkezlerine etkisi | Belirtilen bakterileri içeren fermente süt ürünlerinin sağlıklı kadınlar tarafından 4 hafta boyunca tüketiminin duyu ve hisleri kontrol eden beyin bölgelerindeki merkezlerin aktivitesini etkilediği saptanmıştır. | Tillisch vd. (2013) |

Mental rahatsızlıklar, dünya çapında yüksek prevalansa sahip, hastaların yaşam kalitesini etkileyen ve tüm bölgelerin ekonomisini etkileyen ruhsal bozukluklardır. Tedavilerinin de istenmeyen yan etkileri mevcuttur. Psikobiyotikler, konakçıda nöral, duygusal ve sistemik durumlardaki değişikliklerin eşlik ettiği anksiyolitik ve antidepresan özelliklere sahip yeni bir probiyotik sınıfı olarak gelecek vaat etmektedir (Allen vd., 2016).

SONUÇ

Başlangıçta, biyotiklerin sağlık faydalarının bağırsak kolonizasyonu ve patojenlerle mücadele ile ilgili olduğuna inanılıyordu. Ancak zamanla, çeşitli biyotiklerin aktivitesine ilişkin bilgiler giderek daha kapsamlı hale gelmiş ve postbiyotikler veya parabiyoitikler gibi canlı bakteri hücrelerinden yoksun biyotiklerin bağırsak ekosisteminde denge sağlayabildiği ortaya çıkmıştır. Artan sayıda bilimsel araştırma, pek çok hastalık ile bağırsak mikrobiyotası arasında yakın bir ilişki olduğunu ortaya koymakta ve araştırma sonuçları biyotiklerin aile üyelerinin sağlık üzerindeki potansiyel etkilerinin önemini bildirmektedir. Bağırsak mikrobiyotasına ve sağlığa faydalı etkileri olduğu bilinen probiyotik ve prebiyotiklerin yanısıra biyotikler ailesinden sinbiyotiklerin, postbiyotiklerin, paraprobiyotiklerin ve psikobiyotiklerin de gıda sanayinde özellikle süt endüstrisinde kullanımına olan ilgi artmıştır. Biyotiklerin fermente süt ürünleri başta olmak üzere çeşitli süt ürünlerinin üretiminde kullanılması ile fonksiyonel gıda pazarının genişlemesine de katkı sağlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- Aguilar-Toala, J. E., Garcia-Varela, R., Garcia, H. S., Mata-Haro, V., González-Córdova, A. F., Vallejo-Cordoba, B., & Hernández-Mendoza, A. (2018). Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 105-114.
- Akalın, A. S., & Erişir, D. (2008). Effects of inulin and oligofructose on the rheological characteristics and probiotic culture survival in low-fat probiotic ice cream. *Journal of food science*, 73(4), 184-188.
- Akalın, A. S., Fenderya, S., & Akbulut, N. (2004). Viability and activity of bifidobacteria in yoghurt containing fructooligosaccharide during refrigerated storage. *International journal of food science & technology*, 39(6), 613-621.
- Akbari, E., Asemi, Z., Daneshvar Kakhaki, R., Bahmani, F., Kouchaki, E., Tamtaji, O. R., ... & Salami, M. (2016). Effect of probiotic supplementation on cognitive function and metabolic status in Alzheimer's disease: a randomized, double-blind and controlled trial. *Frontiers in aging neuroscience*, 8, 256.
- Ale, E. C., Perezlindo, M. J., Pavón, Y., Peralta, G. H., Costa, S., Sabbag, N., ... & Binetti, A. G. (2016). Technological, rheological and sensory characterizations of a yogurt containing an exopolysaccharide extract from *Lactobacillus fermentum* Lf2, a new food additive. *Food Research International*, 90, 259-267.
- Alibekiroğlu, R. (2014). *Farklı oranlarda taurin ve inülin ilavesinin probiyotik yoğurt dondurmalarının fizikokimyasal, duyuusal ve mikrobiyolojik özelliklerine etkisi/The effects of addition of taurine and inuline on the physico-chemical, sensory and microbiological properties of probiotic yoghurt ice-cream*
- Allen, A. P., Hutch, W., Borre, Y. E., Kennedy, P. J., Temko, A., Boylan, G., ... & Clarke, G. (2016). Bifidobacterium longum 1714 as a translational psychobiotic: modulation of stress, electrophysiology and neurocognition in healthy volunteers. *Translational psychiatry*, 6(11), 939-939.
- Alonso, V.R., & Guarner, F. (2013). Linking the gut microbiota to human health. *British Journal of Nutrition*, 109(S2), S21-S26.
- Bakhshimoghaddam, F., Shateri, K., Sina, M., Hashemian, M., & Alizadeh, M. (2018). Daily consumption of synbiotic yogurt decreases liver steatosis in patients with nonalcoholic fatty liver disease: a randomized controlled clinical trial. *The Journal of Nutrition*, 148(8), 1276-1284.
- Barros, C. P., Guimaraes, J. T., Esmerino, E. A., Duarte, M. C. K., Silva, M. C., Silva, R., ... & Cruz, A. G. (2020). Paraprobiotics and postbiotics: concepts and potential applications in dairy products. *Current Opinion in Food Science*, 32, 1-8.

- Basturk, A., Artan, R., & Yilmaz, A. (2016). Efficacy of synbiotic, probiotic, and prebiotic treatments for irritable bowel syndrome in children: a randomized controlled trial. *Turk J Gastroenterol*, 27(5), 439-443.
- Batista, A. L. D., Silva, R., Cappato, L. P., Ferreira, M. V. S., Nascimento, K. O., Schmiele, M., ... & Cruz, A. G. (2017). Developing a synbiotic fermented milk using probiotic bacteria and organic green banana flour. *Journal of functional foods*, 38, 242-250.
- Benton, D., Williams, C., & Brown, A. (2007). Impact of consuming a milk drink containing a probiotic on mood and cognition. *European journal of clinical nutrition*, 61(3), 355-361.
- Bermudez-Humaran, L. G., Salinas, E., Ortiz, G. G., Ramirez-Jirano, L. J., Morales, J. A., & Bitzer-Quintero, O. K. (2019). From probiotics to psychobiotics: live beneficial bacteria which act on the brain-gut axis. *Nutrients*, 11(4), 890.
- Capponi, M., Gori, A., De Castro, G., Ciprandi, G., Anania, C., Brindisi, G., ... & Zicari, A. M. (2022). (R) Evolution in Allergic Rhinitis Add-On Therapy: From Probiotics to Postbiotics and Parabiotics. *Journal of Clinical Medicine*, 11(17), 5154.
- Chang, H. M., Foo, H. L., Loh, T. C., Lim, E. T. C., & Abdul Mutalib, N. E. (2021). Comparative studies of inhibitory and antioxidant activities, and organic acids compositions of postbiotics produced by probiotic *Lactiplantibacillus plantarum* strains isolated from Malaysian foods. *Frontiers in veterinary science*, 7, 602280.
- Chen, H., Ji, L. Y., Shu, G. W., & Li, C. N. (2012). Effect of galaeto-oligosaccharide and isomalto-oligosaccharide on growth of selected probiotics. In *Advanced Materials Research* (Vol. 382, pp. 450-453). Trans Tech Publications Ltd.
- Cuevas-González, P. F., Liceaga, A. M., & Aguilar-Toalá, J. E. (2020). Postbiotics and paraprobiotics: From concepts to applications. *Food research international*, 136, 109502.
- de Almada, C. N., Almada, C. N., Martinez, R. C., & Sant'Ana, A. S. (2016). Paraprobiotics: Evidences on their ability to modify biological responses, inactivation methods and perspectives on their application in foods. *Trends in food science & technology*, 58, 96-114.
- Del Toro-Barbosa, M., Hurtado-Romero, A., Garcia-Amezquita, L. E., & García-Cayuela, T. (2020). Psychobiotics: mechanisms of action, evaluation methods and effectiveness in applications with food products. *Nutrients*, 12(12), 3896.
- Desai, A. R., Powell, I. B., & Shah, N. P. (2004). Survival and activity of probiotic lactobacilli in skim milk containing prebiotics. *Journal of Food Science*, 69(3), FMS57-FMS60.
- Dinan, T. G., Stanton, C., & Cryan, J. F. (2013). Psychobiotics: a novel class of

psychotropic. *Biological psychiatry*, 74(10), 720-726.

- Dinkçi, N., Akdeniz, V., & Akalin, A. S. (2019). Survival of probiotics in functional foods during shelf life. In *Food quality and shelf life* (pp. 201-233). Academic Press.
- Domingo, J.J.S. (2017). Review of the role of probiotics in gastrointestinal diseases in adults. *Gastroenterología y Hepatología (English Edition)*, 40(6), 417-429.
- Drabinska, N., Zieliński, H., & Krupa-Kozak, U. (2016). Technological benefits of inulin-type fructans application in gluten-free products—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 56, 149-157.
- Falke, S. (2015). *Development of a synbiotic drinkable yogurt for school-aged children* (Doctoral dissertation, Kansas State University).
- FAO/WHO, 2002. Guidelines for the evaluation of probiotics in food. In: Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization Working Group Report.
- Feizi, H., Plotnikov, A., Rezaee, M. A., Ganbarov, K., Kamounah, F. S., Nikitin, S., ... & Kafil, H. S. (2022). Postbiotics versus probiotics in early-onset colorectal cancer. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-10.
- Gao, J., Li, Y., Wan, Y., Hu, T., Liu, L., Yang, S., ... & Cao, H. (2019). A novel postbiotic from *Lactobacillus rhamnosus* GG with a beneficial effect on intestinal barrier function. *Frontiers in microbiology*, 10, 477.
- Garcia, C., Bautista, L., Rendueles, M., & Díaz, M. (2019). A new synbiotic dairy food containing lactobionic acid and *Lactobacillus casei*. *International Journal of Dairy Technology*, 72(1), 47-56.
- Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., ... & Reid, G. (2017). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, 14(8), 491-502.
- Huang, Y., Zhao, S., Yao, K., Liu, D., Peng, X., Huang, J., ... & Li, L. (2020). Physicochemical, microbiological, rheological, and sensory properties of yoghurts with new polysaccharide extracts from *Lactarius volemus* Fr. using three probiotics. *International Journal of Dairy Technology*, 73(1), 168-181.
- Hussein, L., Gouda, M., Fouad, M., Labib, E., Bassyouni, R., & Mohammad, M. (2014). Dietary intervention with yoghurt, synbiotic yogurt or traditional fermented sobya: bio-potency among male adolescents using five bio-markers of relevance to colonic metabolic activities. *Food and Nutrition Sciences*, 2014.
- Kapreliants, L., & Zhuk, E. (2021). Psychobiotics—probiotics that elevate mood. *Food Science and Technology*, 15(1), 4-14.

- Kato-Kataoka, A., Nishida, K., Takada, M., Suda, K., Kawai, M., Shimizu, K., ... & Rokutan, K. (2016). Fermented milk containing *Lactobacillus casei* strain Shirota prevents the onset of physical symptoms in medical students under academic examination stress. *Beneficial microbes*, 7(2), 153-156.
- Kazemi, A., Soltani, S., Nasri, F., Clark, C. C., & Kolahdouz-Mohammadi, R. (2021). The effect of probiotics, paraprobiotics, synbiotics, fermented foods and other microbial forms on immunoglobulin production: A systematic review and meta-analysis of clinical trials. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 72(5), 632-649.
- Kocot, A. M., Jarocka-Cyrta, E., & Drabińska, N. (2022). Overview of the importance of biotics in gut barrier integrity. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(5), 2896.
- Komprda, T., Sladkova, P., Kolářová, M., Zornikova, G., Sládek, Z., & Rožnovská, D. (2013). Effect Of Probiotic And Symbiotic Yoghurt Consumption On counts of human faecal bacteria and tyramine production. *Journal of Food & Nutrition Research*, 52(4), 230-238.
- Lee, A., Lee, Y.J., Yoo, H.J., Kim, M., Chang, Y., Lee, D.S., & Lee, J.H. (2017). Consumption of dairy yogurt containing *Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei*, *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* and heat-treated *Lactobacillus plantarum* improves immune function including natural killer cell activity. *Nutrients*, 9(6), 558.
- Malheiros, P. S., Cuccovia, I. M., & Franco, B. D. (2016). Inhibition of *Listeria monocytogenes* in vitro and in goat milk by liposomal nanovesicles containing bacteriocins produced by *Lactobacillus sakei* subsp. *sakei* 2a. *Food Control*, 63, 158-164.
- Malpeli, A., González, S., Vicentin, D., Apás, A., & González, H. F. (2012). Estudio aleatorizado, doble-ciego y controlado por placebo del efecto de un simbiótico sobre el tránsito intestinal en mujeres adultas sanas. *Nutrición Hospitalaria*, 27(4), 1314-1319.
- Mayorgas, A., Dotti, I., & Salas, A. (2021). Microbial metabolites, postbiotics, and intestinal epithelial function. *Molecular Nutrition & Food Research*, 65(5), 2000188.
- Mohammadi, R., Mortazavian, A. M., Khosrokhavar, R., & da Cruz, A. G. (2011). Probiotic ice cream: viability of probiotic bacteria and sensory properties. *Annals of microbiology*, 61, 411-424.
- Moroti, C., Souza Magri, L. F., de Rezende Costa, M., Cavallini, D. C., & Sivieri, K. (2012). Effect of the consumption of a new symbiotic shake on glycemia and cholesterol levels in elderly people with type 2 diabetes mellitus. *Lipids in health and disease*, 11(1), 1-8.
- Nataraj, B. H., Shivanna, S. K., Rao, P., Nagpal, R., & Behare, P. V. (2021). Evolutionary concepts in the functional biotics arena: a mini-review. *Food Science and Biotechnology*, 30(4), 487-496.

- Neri-Numa, I. A., Arruda, H. S., Geraldi, M. V., Júnior, M. R. M., & Pastore, G. M. (2020). Natural prebiotic carbohydrates, carotenoids and flavonoids as ingredients in food systems. *Current Opinion in Food Science*, 33, 98-107.
- Oldak, A., Zielińska, D., Łepecka, A., Długosz, E., & Kołożyn-Krajewska, D. (2020). Lactobacillus plantarum strains isolated from polish regional cheeses exhibit anti-staphylococcal activity and selected probiotic properties. *Probiotics and antimicrobial proteins*, 12, 1025-1038.
- Özer, D., Akin, S., & Özer, B. (2005). Effect of inulin and lactulose on survival of Lactobacillus acidophilusla-5 and Bifidobacterium bifidum bb-02 in Acidophilus-bifidus yoghurt. *Food Science and Technology International*, 11(1), 19-24.
- Pandey, K. R., Naik, S. R., & Vakil, B. V. (2015). Probiotics, prebiotics and synbiotics-a review. *Journal of food science and technology*, 52, 7577-7587.
- Pelton, R. (2020). Postbiotic metabolites: How probiotics regulate health. *Integrative Medicine: A Clinician's Journal*, 19(1), 25.
- Pinilla, C. M. B., & Brandelli, A. (2016). Antimicrobial activity of nanoliposomes co-encapsulating nisin and garlic extract against Gram-positive and Gram-negative bacteria in milk. *Innovative food science & emerging technologies*, 36, 287-293.
- Pique, N., Berlanga, M., & Miñana-Galbis, D. (2019). Health benefits of heat-killed (Tyndallized) probiotics: An overview. *International journal of molecular sciences*, 20(10), 2534.
- Rashidinejad, A., Bahrami, A., Rehman, A., Rezaei, A., Babazadeh, A., Singh, H., & Jafari, S. M. (2022). Co-encapsulation of probiotics with prebiotics and their application in functional/synbiotic dairy products. *Critical reviews in food science and nutrition*, 62(9), 2470-2494.
- Rosa, M. C., Carmo, M. R., Balthazar, C. F., Guimarães, J. T., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., ... & Cruz, A. G. (2021). Dairy products with prebiotics: An overview of the health benefits, technological and sensory properties. *International Dairy Journal*, 117, 105009.
- Sabahi, S., Homayouni Rad, A., Aghebati-Maleki, L., Sangtarash, N., Ozma, M. A., Karimi, A., ... & Abbasi, A. (2022). Postbiotics as the new frontier in food and pharmaceutical research. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-28.
- Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E. M., ... & Vinderola, G. (2021). The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18(9), 649-667.
- Sawada, D., Sugawara, T., Ishida, Y., Aihara, K., Aoki, Y., Takehara, I., ... & Fujiwara, S. (2016). Effect of continuous ingestion of a beverage prepared with Lactobacillus gasseri CP2305 inactivated by heat treatment on the

- regulation of intestinal function. *Food Research International*, 79, 33-39.
- Segawa, S., Wakita, Y., Hirata, H., & Watari, J. (2008). Oral administration of heat-killed *Lactobacillus brevis* SBC8803 ameliorates alcoholic liver disease in ethanol-containing diet-fed C57BL/6N mice. *International journal of food microbiology*, 128(2), 371-377.
- Shafí, A., Naeem Raja, H., Farooq, U., Akram, K., Hayat, Z., Naz, A., & Nadeem, H. R. (2019). Antimicrobial and antidiabetic potential of synbiotic fermented milk: a functional dairy product. *International Journal of Dairy Technology*, 72(1), 15-22.
- Sherwin, E., Bordenstein, S. R., Quinn, J. L., Dinan, T. G., & Cryan, J. F. (2019). Microbiota and the social brain. *Science*, 366(6465), eaar2016.
- Shin, H. S., Lee, J. H., Pestka, J. J., & Ustunol, Z. (2000). Growth and viability of commercial *Bifidobacterium* spp in skim milk containing oligosaccharides and inulin. *Journal of Food Science*, 65(5), 884-887.
- Sugawara, T., Sawada, D., Ishida, Y., Aihara, K., Aoki, Y., Takehara, I., ... & Fujiwara, S. (2016). Regulatory effect of paraprobiotic *Lactobacillus gasseri* CP2305 on gut environment and function. *Microbial Ecology in Health and Disease*, 27(1), 30259.
- Surolia, R., Ali, S., & Singh, A. (2022). Synbiotics: A Promising Approach For Improving Human Health. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 766-777.
- Şener, A., Temiz, A., Toğay, S. Ö., & Bağcı, U. (2008). Çeşitli prebiyotiklerin *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Bb-12'nin gelişimi ve asitlik geliştirme özelliği üzerine in vitro etkileri. *Hacettepe Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye*, 10, 889-892.
- Tillisch, K., Labus, J., Kilpatrick, L., Jiang, Z., Stains, J., Ebrat, B., ... & Mayer, E. A. (2013). Consumption of fermented milk product with probiotic modulates brain activity. *Gastroenterology*, 144(7), 1394-1401.
- Tripathi, M. K., & Giri, S. K. (2014). Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. *Journal of functional foods*, 9, 225-241.
- Wang, J., Wu, T., Fang, X., & Yang, Z. (2019). Manufacture of low-fat Cheddar cheese by exopolysaccharide-producing *Lactobacillus plantarum* JLK0142 and its functional properties. *Journal of dairy science*, 102(5), 3825-3838.
- Yang, T., Wu, K., Wang, F., Liang, X., Liu, Q., Li, G., & Li, Q. (2014). Effect of exopolysaccharides from lactic acid bacteria on the texture and microstructure of buffalo yoghurt. *International Dairy Journal*, 34(2), 252-256.
- Zolkiewicz, J., Marzec, A., Ruszczyński, M., & Feleszko, W. (2020). Postbiotics—a step beyond pre-and probiotics. *Nutrients*, 12(8), 2189.

BÖLÜM 7

OTOMOTİV ÜRETİMİ SÜREÇLERİNDE PARETO ANALİZİ VE HTEA KULLANARAK KALİTE İYİLEŞTİRME

İrem DÜZDAR ARGUN¹, Enes GÜRSOY²

1 Dr. Öğr. Üyesi, Düzce Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Konuralp,
Düzce ; 0000-0002-7642-8121

2 Düzce Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Konuralp, Düzce

1.Giriş

Toplam kalite yönetiminin önemli unsurlarından biri de ticari işletmelerde ürün ve hizmet kalitesini ekonomik ilkeler çerçevesinde sürekli iyileştirmeye çalışmaktır. Ürün ve hizmetlerin ortaya çıkarıldığı iş süreçleri bu anlayışla ele alınmakta ve çeşitli yöntemler uygulanarak bu süreçler iyileştirilmeye çalışılmaktadır. ISO (Uluslararası Standardizasyon Örgütü) kalite iyileştirme tanımı, hem şirkete hem de müşterilere ek faydalar sağlamak için faaliyetlerin ve süreçlerin etkinliğini artırmak için kuruluş genelinde alınan önlemler olduğunu belirtir (Hoyle, 2000). İstenilen kalite düzeyinin sağlanması ve üretim süreçlerindeki belirsizliklerin incelenmesi açısından kalite iyileştirme tekniklerinin kullanılması önemlidir (Adam, 1994). Rekabetin üst düzeyde yaşandığı günümüz dünyasında, işletmeler mevcut kalite düzeylerini iyileştirmeye ve bunu istenilen düzeyde tutmaya çok daha fazla önem vermeye başlamışlardır. Rekabet ortamının getirdiği bu gereklilik, kalite iyileştirme tekniklerinin kullanımını artırmıştır. Kalitenin günümüzdeki tanımına gelince; belirsizlikle ters orantılı bir kavramdır. Kalite iyileştirme, ürün ve süreçlere ilişkin bu tür belirsizlikleri belirlemeye ve azaltmaya yönelik faaliyetler olarak tanımlanabilir (Montgomery, 2001). Süreçlerdeki belirsizliği ve değişkenliği belirlemek ve azaltmak için çeşitli teknikler vardır. Ishikawa, bir ticari girişimdeki sorunların önemli bir kısmının yedi temel kalite kontrol tekniği ile çözülebileceğini savunuyor. Pareto Analizi, Sebep-Sonuç Diyagramı, Histogram, Frekans Dağılımı, Dağılım Diyagramı, Gruplama ve Kontrol Grafiği (Özcan, 2001; Işığışok, 2005) problemlerin çözümünde en yaygın olarak kullanılan temel tekniklerdir. Bir üründe veya süreçte meydana gelmesi muhtemel tüm hataların aynı derecede önem taşıdığı söylenemez. Pareto analizinin hedefi, alınacak önlemlerin ve yapılacak faaliyetlerin en verimli noktalarda yoğunlaşmasını sağlayarak önemli hata modlarının tespiti konusunda kalite kontrol faktörlerine öncülük etmektir (Kobu, 1987). Hata türleri ve etkileri analizi (HTEA-FMEA), ürün geliştirme, hizmet, sistem ve süreçlerin iyileştirilmesine yönelik hata türlerini belirlemek ve sınıflandırmak için kullanılan bir yöntemdir (Eleren, 2007). ABD Otomotiv Mühendisleri Birliği'ne göre FMEA, bir sistemin, bir alt sistemin veya bir fonksiyonun olası arıza modlarını, bunların nedenlerini ve etkilerini, sistemin arıza modlarının oluşumunu kalitatif açıdan dikkate alarak analiz eden bir yapı olarak tanımlanmaktadır (Aksay ve diğerleri, 2009).

Çalışmanın amacı, temel kalite iyileştirme tekniklerinin birçok ticari işletmenin sorunlarının incelenmesi ve bu tür sorunlara yönelik çözümlerin belirlenmesinde hala önemli bir rol oynamaya devam ettiğini vurgulamaktır. Uygulama bölümünde gerçek bir endüstriyel problem incelenmekte ve problemin oluşum nedenleri tartışılarak önerilerde bulunulmaktadır.

2. Yöntem

2.1. Pareto Analizi

Pareto analizi, kalite iyileştirme sürecinde belirlenen sorunlara yol açan nedenleri belirtmek ve önceliklendirmek için kullanılan bir araçtır (Gitlow vd., 2005). İtalyan iktisatçı Vilfredo Pareto tarafından geliştirilen teknik, özellikle toplam kalite yönetiminin kurucusu Joseph M. Juran'ın çalışmaları sonucunda yönetim alanında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Vilfredo Pareto, İtalya'nın gelirinin halk tarafından nasıl paylaşıldığını incelemiş ve ülkede üretilen gelirin yaklaşık %20'sinin, nüfusun yaklaşık %80'inin, geri kalan %80'inin ise bu gelirin yalnızca %20'sine sahip olduğunu belirtmiştir. Bu saptama literatürde 80-20 Pareto kuralı olarak yer almıştır (Bozkurt, 2003). Pareto kuralına göre, genellikle bir sistemdeki arızaların %80'i, arızaları oluşturan sebeplerin %20'sinden kaynaklanır (Cravaner vd.,1993). Deming de Juran'dan sonra Pareto analizini benimsemiş ve yoğun bir şekilde kullanmaya başlamıştır. Deming'in Tokyo'da gerçekleştirdiği seminerlerde Pareto analizinin Japonya'ya taşınması sonucunda bu teknik kalite geliştirme grupları tarafından yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Pareto ilkesi literatürde “80-20”, “90-10” kuralı veya “70-30” kuralı olarak da anılmaktadır.

Pareto analizi, önemli nedenleri daha az önemli olanlardan ayırmak için kullanılan bir tekniktir. Bu teknik, önceliklerin belirlenerek problemin grafik yardımıyla belirtilmesine ve konunun en önemli nedenine dikkat çekilmesine yardımcı olduğu için ekonomi dışında birçok alanda da kullanılabilir. Özellikle kalite kontrol ve kalite iyileştirme çalışmalarında sorunların nedenlerinin belirlenmesinde hangi hataların daha fazla olduğu bu teknikle kolayca tespit edilebilmektedir (Akın, 1996; Özcan, 2001). Pareto analizinde prosedür genel olarak şu şekildedir:

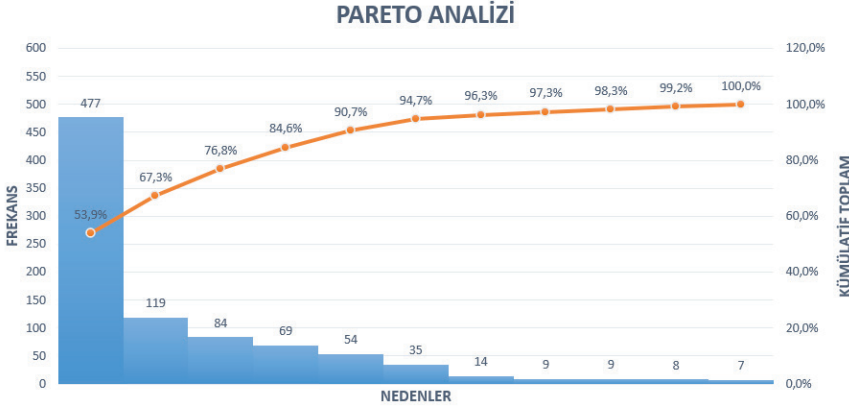
a) İncelenecek problemlerin türü, toplanacak bilgiler ve bunların sınıflandırılma şekli belirlenir.

b) Veriler, problem türlerine göre sınıflandırılmış bir puan tablosu üzerinde işlenir. Her kategoriye ait toplam ve yüzdeleri belirtilmiştir. Seçilen kategorilerin dışında kalan problemler “diğerleri” bölümünde son grup olarak işlenir.

c) Y eksenini toplamları ve yüzdeleri, x eksenini grupları gösteren bir çubuk grafik üretilir.

d) Birinci çubuğun sağ üst köşesinden başlayarak nitel toplamları gösterecek şekilde pareto grafiği çizilir (Şekil 1) (Akın ve Öztürk, 2005; URL-1).

Pareto eğrisi üzerinde; arıza modları x ekseninde gösterilirken, sıklık veya maliyet (veya her ikisi) genellikle y ekseninde gösterilir. Frekansı veya maliyeti en yüksek olan arıza grafiğin solunda yer alırken, frekansı veya maliyeti en düşük olan arıza sağ tarafında yer alır. Eğri çiziminin merkezindeki sütunların yüksekliği, arızanın sıklığını ve/veya maliyetini temsil eder. Bu nedenle, en yüksek sıklığa veya maliyete sahip başarısızlık, ele alınması veya önlem alınması gereken birinci derece sorun olarak algılanır. (Işığışık, 2005).



Şekil 1: Pareto Grafiği

Pareto eğrisinde başarısızlık nedenlerinin büyükten küçüğe sıralanmasının nedeni, bazı durumlarda önemli kalitede bir veya iki başarısızlığın nedeninin toplam başarısızlığın önemli bir bölümünü oluşturabilmesidir. Bu nokta, hangi hataya veya nedene öncelik verilmesi gerektiğini bilmek açısından önemlidir. Pareto analizi çoğunlukla problemlerin çözümü için bir araç olarak görülse de aslında problemin nasıl çözüleceğinden çok hangi problemlerin daha erken çözülmesi gerektiğini belirlemeye yardımcı olur. (Bozkurt, 2003).

2.2. Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA)

Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA), sistem, süreç, yöntem, model, hizmet veya ürünleri geliştirirken veya iyileştirirken mevcut veya potansiyel hata/risk modlarını ve iyileştirme aşamasındaki öncelikleri önceden belirlemek, listelemek için geliştirilmiş bir tekniktir (Eleren, 2007). Hata Türleri ve Etkileri Analizi aşağıda listelendiği gibi bir çeşitliliğe sahiptir ve uygulama alanı her türlü üretim ve hizmet türünü kapsamaktadır (Yılmaz, 2000; Besterfield vd., 2012).

Tasarım FMEA: Tasarım FMEA, potansiyel veya bilinen arıza modlarını tanımlayan, arızaların tanımlanmasını ve ilk üretim yapılmadan önce

düzenleyici faaliyetlerin uygulanmasını sağlayan bir yöntemdir.

Proses FMEA: Proses FMEA, Tasarım HTEA ve müşteri tarafından tanımlanan kalite, güvenilirlik, maliyet ve verimlilik kriterlerini yerine getirmek için mühendislik çözümleri üretmeyi hedefleyen bir yöntemdir. Çalışmamızda Proses FMEA kullanılmaktadır.

Servis FMEA: Hizmet FMEA, standart Proses FMEA'nın bir modifikasyonudur, çünkü çoğu hizmet türü süreç olarak kabul edilebilir.

Sistem FMEA: Tüm birimler ve tasarım tamamlandıktan sonra üretim, kalite güvencesi gibi sistemlerin akışını optimize etmek için kullanılan Sistem FMEA.

FMEA tekniğinde hata modları risk seviyelerine göre düzenlenir ve en yüksek önceliğe sahip hata modlarından başlanarak ölçümler tespit edilir. İyileştirme adım adım oluşturulur. Yöntemin temelinde risk önceliği sayısını tespit etmektir. Bu tür sayılar aşağıdaki gibi hesaplanır:

Risk Öncelik Sayısı (RÖS) = Şiddet x Olasılık x Tespit Edilebilirlik

“Olasılık”, arızanın sıklık seviyesini belirtir; “Şiddet”, başarısızlığın etki/önem derecesini belirtir; “Tespit edilebilirlik” ise söz konusu arızanın kullanıcıya ulaşmadan önce gerçekleşme derecesini ifade eder. RÖS'ün ne kadar doğru tespit edildiğine bağlı olarak uygulamada daha fazla başarı elde edilebilir. Bu tür risk analiz tekniklerinde sayısal ve yeterli veri, başarıyı artırmada önemli bir faktördür. Verilerin güvenilir olmaması veya yeterli veri bulunmaması durumunda, oluşma, şiddet ve tespit değerleri uzman görüşü alınarak ifade edilir. (Kumru ve Kumru, 2010: 172). FMEA tekniğinin uygulama aşamaları şu şekildedir:

- Analiz edilecek süreç veya süreçlerin tespit edilmesi
- Arıza modlarını belirleme
- Hatanın potansiyel etkisini veya etkilerini belirleme
- Hataların nedenlerini belirleme
- Hatanın şiddetini belirleme
- Hatanın olasılığını belirleme
- Hataların tespit edilebilirlik durumunun belirlenmesi
- Risk Öncelik Sayılarının (RÖS) Hesaplanması
- Hesaplanan değerlere dikkat ederek önerilerde bulunmak
- Düzenleyici veya önleyici uygulamaların yürütülmesi
- İyileştirmeden sonra RÖS sayılarını öncekilerle karşılaştırma

FMEA, müşteriye ulaşmadan önce sistem, tasarım, süreç ve/veya hizmetten kaynaklanan ve/veya bilinen ve/veya bilinen sorunları, potansiyel arızaları tanımlamak, belirlemek veya ortadan kaldırmak için kullanılan bir tekniktir. Yeni bir ürün yaratırken, bir üretim sürecini yeniden yapılan-

dırırken veya bir proje başlatırken, ürün ve süreçlerdeki mevcut/olası hata modlarını ortadan kaldırmak için kullanılabilir (Ateş vd., 2006).

FMEA'nın faydaları şu şekilde özetlenebilir (Yılmaz, 2000);

- ✓ Hataların azaltılmasına yardımcı olur ve süreçlerde bunların gözden geçirilmesini sağlar.
- ✓ Müşteri memnuniyetinin artırılmasını sağlar.
- ✓ Ürünün güvenlik, üretim teknolojisi güvenilirliği ve tasarımı alanlarında eksik, zayıf ve yetersiz noktaları tespit eder.
- ✓ Yapılan hesaplamalar sayesinde olası değişkenlik maliyetlerini azaltır.
- ✓ Ürünün pazarlanma süresini kısaltır.

3. Otomotiv Sektöründe bir Uygulama

Bir otomotiv firması, sıcak dövme prosesi ile ön takım süspansiyon parçası üreten bir firmadır. Prosesten kısaca bahsedecek olursak, yuvarlak kesitli içi dolu profiller hammadde olarak kullanılır. Hammaddeler rezistanslı ön ısıtma fırınlarından geçer. Malzeme sıcaklığı $450 \pm 20^\circ\text{C}$ olur. Daha sonra konveyör yardımıyla dövme prosesine geçer. Dövme prosesinde mekanik presler kullanılır. Dövme prosesi ön dövme ve final dövme olmak üzere iki aşamada gerçekleşir. Ön dövme de ürün taslak şeklini alırken final dövmede nihai haline gelir. Daha sonra dövme prosesinde oluşan çapaklar, çapak kesme operasyonunda üründen ayrılır. Eğer ürünün geometrisinden ötürü kalibre operasyonu gerekli ise kalibreleme yapılır. Ürünlerin hepsi emniyet parçası olduğundan, ısıtma hattında T6 ısıtma işlemi tabii tutulur. Keskin kenar ve çapak olan malzemeler taşlama işleminden geçer. Ürünlerin yüzeylerinin temizlenmesi aşaması ise kumlama işlemidir. Kumlama operasyonundan sonra ürün paketlenir ve ilgili müşterilere sevki yapılır.

Dövme prosesinin iyileştirilmesine yönelik firmada yapılan çalışma aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

1. Çalışma grubu oluşturma
2. Yöntem saptama çalışmaları
3. Süreçteki hataları tespit etmek
4. Pareto analizini kullanarak önemli hata modlarını belirleme
5. Önemli hata türlerinin, nedenlerinin, neden oldukları sorunların ve sorumluların tespiti
6. Şiddet, olasılık ve saptanabilirlik için değerleri belirleyerek RÖS değerinin hesaplanması

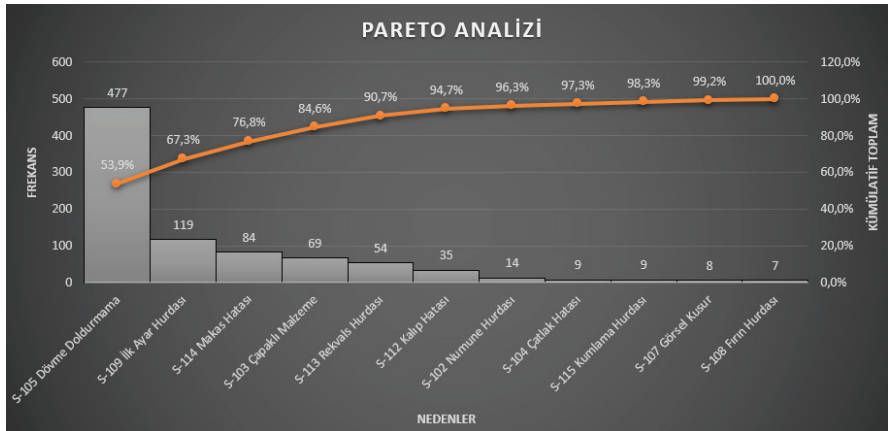
7. İyileştirme çalışmalarının öncelikle yüksek RÖS değerine sahip hata modlarını önerdiğini belirtmek.

FMEA süreci sonunda iyileştirme çalışmalarının sonuçları dikkate alınarak tekrar RÖS hesabı yapılır. Temmuz ayı boyunca günlük üretim takip dosyaları üzerinden hata kodları incelenmiş olup, hata kodlarına göre adetleri Tablo 4’de gösterildiği gibidir. Şekil 2’de bu veriler ışığında Pareto analizi sonucu görülmektedir.

Tablo-4 Hata Tipleri ve Adetleri

| Tip | Adet |
|-----------------------------|------|
| S-101 Açık Ölçüsü Hatalı | 0 |
| S-102 Numune Hurdası | 14 |
| S-103 Çapaklı Malzeme | 69 |
| S-104 Çatlak Hatası | 9 |
| S-105 Dövme Doldurmama | 477 |
| S-106 Kalıp Kaçıklığı | 0 |
| S-107 Görsel Kusur | 8 |
| S-108 Fırın Hurdası | 7 |
| S-109 İlk Ayar Hurdası | 119 |
| S-110 Kat Hatası | 0 |
| S-111 Malzeme Kalite Hatası | 0 |
| S-112 Kalıp Hatası | 35 |
| S-113 Rekvais Hurdası | 54 |
| S-114 Makas Hatası | 84 |
| S-115 Kuşlama Hurdası | 9 |

Şekil-2 Pareto Analizi



Önemli hata türlerinin tespit edilmesinin ardından, tespit edilen hata modları için FMEA uygulaması gerçekleştirilir. Bu çalışmada birinci sırada olan dövme doldurmama hatasına ön ısıtma prosesi ve dövme prosesi etken olduğundan iki proseste değerlendirilmiştir.

Tablo-5 Ön ısıtma ve Dövme Prosesi için FMEA Uygulaması

| Gereksinim | Olası Hata Türü | Hatanın olası etkileri | § | C/C | Hatanın olası sebepleri | O | Mevcut proses kontrolleri | | T | R O S | Önerilen Faaliyetler | Hedef tamamlama tarihi - sorumlusu | Faaliyet Sonuçları | | | | | | | | |
|--|---|---|---|------------------|---|---|---------------------------|---|------------------------------------|---|--|------------------------------------|---|--------------------|---|---|-------------|--|--|----------------------------|---------------------------------------|
| | | | | | | | Ölçüme | Keşfetme | | | | | Gerçekleşen Faaliyetler | § | O | T | R O S | | | | |
| Malzeme sıcaklığının 420 °C (+20-20C) olması | Malzeme sıcaklığının 470 °C'den yüksek olması | Malzeme deforme olur | 6 | | Fırın malzeme ile beslenmemesi | 3 | Ormatik yüklem yapıldı. | Proses kontroler | 5 | 90 | Platin 3 kere malzemeyi boş geçmesi durumunda ayarı yapılacak bir sistem kurulacaktır. | Bakım Müdürü 7.07.2023 | | | | | | | | | |
| | Malzeme sıcaklığının 420 °C'den düşük olması | Dövme doldurmama | 5 | | Fırın ısıtma süresi ve sıcaklığının oranısız olması | 4 | | Proses kontroler | 5 | 100 | 1000'ün fazla ön ısıtma fırına her bir malzemenin sıcaklığı ölçeri ve gösteren sistemi kurulacaktır. | Bakım Müdürü 25.08.2022 | Fırın promodre jaket ak sistemi devreye alındı. | 5 | 3 | 5 | 75 | | | | |
| İsme Farksiyon | Gereksinim | Olası Hata Türü | Hatanın olası etkileri | § | C/C | Hatanın olası sebepleri | O | Ölçüme | Keşfetme | T | R O S | Önerilen Faaliyetler | Hedef tamamlama tarihi - sorumlusu | Faaliyet Sonuçları | | | | | | | |
| OP-39 DÖVME | Parçanın isteneni formda dövülmesi | Ürün üzerinde kat izi oluşması | Hürda miktarı artar | 7 | | Ürünün kalba yanlış konumlandırılması | 3 | Tecrübeli personel | 1 adet/1saat Proses kontrol | 4 | 94 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Kalbin düzensiz yağlanması | 3 |
| | | Ürün üzerindeki malzemenin teknik resimde benzerliği gibi çıkmaması | Hürda miktarı artar | 7 | | Kalptaki malzeme yüzeyinde deforme olması | 3 | Kalıp başlanmadan önce kontrollerin yapılması | 1 adet/1saat Proses kontrol | 4 | 94 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Kullanılan yağın/grafiti kalın olması |
| | | Dövme doldurmama | Hürda miktarı artar | 7 | | Yağınmann yapılması | 2 | | | | 4 | 56 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Ürünün kalba yanlış konumlandırılması |
| | | Kalıp sıcaklığının 180°C(+20-10) olması | Kalıp sıcaklığının 230 °C'den yüksek olması | Kalıp ömrü düşer | 6 | | Kalbin fazla ısınması | 4 | Kalbin her ürün sonrası yağlanması | 1 adet/3 saat Proses kontrol/Kalıp sıcaklığı ölçümü | 4 | 96 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tablo 5'de elde edilen sonuçlara göre RÖS değeri 100 ve 100'ün üzerinde olanlar için aksiyon alınmıştır. Dövme doldurmamayı en çok etkileyen etken sıcaklık olduğu için ön ısıtma prosesi de FMEA'ya dahil edilmiştir. İyileştirme çalışması yapılacaksa öncelikle bu hata modunun ortadan kaldırılması veya azaltılması hedeflenmelidir.

4.Sonuç

İşletmelerde üretim süreçlerindeki hata modlarını belirlemek ve bunları önceliklendirmek için kullanılan Pareto analizi, kalite kontrol, stok yönetimi, üretim süreçlerinin satın alınması ve kontrolü gibi birçok alanda uygulanmaktadır. Pareto analizi sonucunda tespit edilen yüksek önem dereceli hatalar ve bu hataların kaynakları ile ilgili önlemler alınarak iyileştirmeler yapılarak hataların giderilmesi veya azaltılması sağlanmalıdır. Bir otomotiv firması için yapılan analize ilişkin olarak;

Dövme doldurmama, ilk ayar hürdası ve makas hataları en çok yapılan hataların başında gelmektedir. Bu tür hatalar için acilen önlem alınması gerekmektedir. FMEA tekniği ile önemli hata modlarını dikkate alarak risk öncelik değerleri bulunmuştur. Bu teknik çerçevesinde risk öncelik değerleri yüksek çıkan hata modları için aksiyonlar alınmıştır. Bu aksiyonlar ile

birlikte hataların azalması mümkün olacaktır. Süreçteki başarısızlıkların nedenlerinin araştırılması istenirse, diğer bir kalite iyileştirme tekniği olan neden-sonuç (kılçığı) diyagramının kullanılması da mümkündür. Hatalara yönelik önlemler alınırken maliyet unsuruna da dikkat etmek gerekir ve ana hata kaynakları arasında en uygun maliyetle giderilebilecek olanlar öncelikli olarak dikkate alınmalıdır. Alınan önlemler, hatanın önemine, önleme maliyetine ve hata önleme oranına göre çeşitlendirilebilir. Hata sayısındaki azalma izlenerek süreçler önlemler dahilinde kontrol edilmelidir. Yeni elde edilen veriler ve RÖS değerleri yeniden hesaplanarak süreç izlenmelidir. Böylece kalite geliştirme ve iyileştirmede verimlilik artışı ve düzenlilik sağlanır.

KAYNAKÇA

- Adam, Jr., E. E. (1994). Alternative Quality Improvement Practices and Organization Performance, *Journal of Operations Management*, 12 (1): 27-44.
- Ahmed, M., Ahmad, N. (2011). An Application of Pareto Analysis and Cause-and-Effect Diagram (CED) for Minimizing Rejection of Raw Materials in Lamp Production Process, *Management Science and Engineering*, 5 (3): 87-95.
- Akın, B. (1996). ISO 9000 Uygulamasında İşletmelerde İstatistik Proses Kontrol Teknikleri, İstanbul:Bilim Teknik Yayınevi, 49-50.
- Akın, B., Öztürk, E. (2005). İstatistiksel Proses Kontrol Tekniklerinin Bilgisayar Ortamında Uygulanması, VII. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Bildirileri CD, İstanbul, 1-15.
- Aksay, K., Orhan, F., Kurutkan M. N. (2012). Sağlık Hizmetlerinde Bir Risk Yönetimi Tekniği Olarak FMEA: Laboratuvar Sürecine Yönelik Bir Uygulama, *Sağlıkta Performans ve Kalite Dergisi*, 121-142.
- Ateş E., Oral, A., Gönen, D., İnal E. P. (2006). Ayarlanabilir Başlıklı Delme Aparatı için Tasarım FMEA Uygulaması, *Tasarım İmalat Analiz Kongresi Bildiriler Kitabı*, Eskişehir, 35-45.
- Besterfield, D. H., Besterfield, C. M., Besterfield, G. H., Urdhwarashe, H., Urdhwarashe, R. (2012). *Total Quality Management, Revised Third Edition*, Pearson Publication, 297.
- Bozkurt, R. (2003). Kalite İyileştirme Araç ve Yöntemleri: İstatistiksel Teknikler, Ankara: Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, 121.
- Eleren, A. (2007). Eğitim Başarısının Artırılmasında Süreç Geliştirme Yöntemlerinin Kullanılması ve Bir Uygulama, *Afyon Kocatepe Üniversitesi İİBF Dergisi*, 9 (2): 1-25.
- Gitlow, H. S., Oppenheim, A. J., Oppenheim, R., Levine, D. M. (2005). *Quality Management, Third Edition*,
- Hoyle, D. (2000). *Automotive Quality Systems Handbook*, Butterworth-Heinemann Ltd. Reed Educational Publishing: 34.
- İşığışık, E. (2005). Toplam Kalite Yönetimine Bakış Açısıyla İstatistiksel Kalite Kontrol, *Bursa: Ezgi Kitabevi*: 50-71.
- Kobu, B. (1987). *Endüstriyel Kalite Kontrolü*, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınları No:3425, 314-315.
- Kumru, M., Kumru, P. Y. (2010). Hastanelerde Satın Alma Sürecinin İyileştirilmesi: Bir Örnek Uygulama, *II.Uluslararası Sağlıkta Performans ve Kalite Kongresi Bildiriler Kitabı*, 171- 183.
- Montgomery, D. C. (2001). *Introduction to Statistical Quality Control*, 4th Edition, John Wileyand Sons, 4-6.
- Özcan, S. (2001).İstatistiksel Proses Kontrol Tekniklerinden Pareto Analizi ve Çimento Sanayiinde Bir Uygulama,C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 2(2): 151-174.
- Yılmaz, B. S. (2000). Hata Türü ve Etki Analizi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 2 (4): 133-150.

BÖLÜM 8

MADEN YATAKLARININ İNCELENMESİNDE KULLANILAN BAZI DURAYLI İZOTOPLAR VE ÖZELLİKLERİ

Nevin KONAKCI¹

¹ Arş.Gör.Dr., Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği, ORCID-ID 0000-0002-0163-0966

1. Genel Kavramlar

Proton sayıları aynı fakat nötron sayıları farklı atomlara o elementin izotopları denir. İzotoplar, radyoaktif ve duraylı (kararlı) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Radyoaktif izotoplar, radyoaktif bozuşma yoluyla başka bir elemente dönüşen izotoplardır. Bu tür izotoplar kayaçların yaş tayinlerinde kullanılırlar. Duraylı izotoplar ise radyoaktif bozuşma göstermeyen izotoplardır.

Oksijenin izotopları ^{16}O , ^{17}O ve ^{18}O ; hidrojenin ^1H ve ^2H (D); karbonun ^{12}C ve ^{13}C ; kükürtün ^{32}S , ^{33}S , ^{34}S ve ^{36}S ; azotun ise ^{14}N ve ^{15}N ' tir. Duraylı izotoplar, zamana bağlı olarak değişmedikleri için jeolojik olayların gelişimde önemli bir faktörlerdir. Örneğin maden yataklarını oluşturan çözeltilerin hangi kaynaktan geldiğini gösterirler.

Herhangi bir elemente ait izotopların (örneğin ^{16}O , ^{18}O ; ^{32}S , ^{34}S), o elementi barındıran bileşikler içerisindeki (H_2O ; FeS_2) bolluk derecelerinin değişim göstermesine izotop farklılaşması denir. Bu nedenle, bu duraylı izotoplar maden yataklarının oluşumunu inceleyen çalışmalarda çok önemlidir. Bir ortamda izotop oranları standartta göre oranlanıp farklılaşma bulunduktan sonra farklılaşmanın cinsine ve miktarına göre yorum yapılmaktadır. Duraylı izotop analizleri kütle spektrometresi ile yapılır ve analizi düşünülen izotopların analiz edilen örnek içindeki konsantrasyonları ölçülür. Veriler δ ile gösterilir, analiz edilen izotoplardan ağır olanının cinsinden yazılır ve % olarak gösterilir. İzotop verileri belirli bir standartta bağlı olarak ifade edilir ve bu standart analiz edilen elemente göre değişir. Buna göre izotop değerleri şu şekildedir:

$$\delta = \left(\frac{R_{\text{örnek}}}{R_{\text{standart}}} - 1 \right) * 1000$$

H, C, O ve S gibi elementlerin izotoplarının, bileşikleri içerisindeki bolluk dereceleri kolaylıkla değişim gösterir, bu nedenle izotop çalışmalarında en fazla kullanılırlar. Sularda bulunan oksijen ve döteryum izotop oranları suların kaynağını ve kökenini belirlemede kullanılır. Özellikle kökeni belirgin olmayan hidrotermal çözeltilerin kökenini hakkında fikir verirler. Hidrojen için SMOW standartı kullanılır, oksijen için ortalama okyanus suyu (SMOW) ve PeeDee Belemnite (PDB), kükürt için ise Canyon Diablo demirli meteoritinden alınan troilit (FeS) analizlerde kullanılan standartlardır.

2. Duraylı İzotopların Maden Yataklarında Kullanımı

Doğada 271 adet duraylı izotop bulunmasına rağmen, jeolojide kullanılan izotop sayısı çok azdır. Bunlar atom numarası düşük, birden fazla duraylı izotopa sahip olan ve kayaç içerisinde çok yaygın olan elementlere ait izotoplardır. Bunlar hidrojen, oksijen, karbon ve kükürt izotoplarıdır. Bu elementlere ait izotopların bileşikleri farklılaşmaya uğradıkları için sürekli değişim gösterirler. Bu özelliklerinden dolayı duraylı izotoplar, maden yataklarının oluşumunu incelemede son derece öneme sahiptirler.

Bi, Li ve Si elementlerinin de izotop farklılaşmasına uğrayan izotopları olmasına rağmen, çok yaygın bulunmadıkları için maden yataklarında pek tercih edilmezler. Be, F, Na, Al ve P gibi bazı elementler de sadece bir izotopa sahip oldukları için izotop çalışmalarında kullanılamazlar. Tek izotopları olduğu için herhangi bir izotop farklılaşması olmayacaktır.

Duraylı izotop çalışmaları sonucunda elde edilen veriler sayesinde cevherin oluşumuna ait fiziksel oluşum şartları, yani sıcaklık, basınç ve oluşum derinliği bulunabilir (jeotermometre olarak). Yine cevheri oluşturan çözeltilerin kaynağı, maden yataklarının ve sıcak su kaynaklarının hidrolojik özellikleri belirlenebilir. Ayrıca cevher oluşturan bileşenlerin kaynağı ve çözeltilerin kimyasal bileşimi, cevheri oluşturan magmaların kökeni ve oluşum işlemleri bulunabilir.

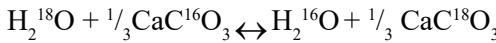
Duraylı izotop çalışmaları son zamanlarda öyle bir noktaya geldi ki, dünyanın her yerindeki laboratuvarlarında binlerce kütle spektrometresi çalışmaktadır. Bu çalışmalar birçok farklı problemin çözümü için kullanılmaktadır. Jeokimya, klimatoloji, hidroloji, bitki fizyolojisi, ekoloji, arkeoloji, meteoroloji, paleobiyoloji, bakteriyoloji ve yaşamın kökeni gibi bir çok alanda çalışmalar yapılmaktadır (Sharp, Z.D., 2017).

2.1. İzotop Farklılaşması

Herhangi bir elemente ait izotopların (örneğin ^{16}O , ^{18}O ; ^{32}S , ^{34}S), o elementi barındıran bileşikler içerisindeki (H_2O ; FeS_2) bolluk derecelerinin değişim göstermesine izotop farklılaşması denir (Çizelge 1).

2.1.1. İzotop Değişim Reaksiyonları

İzotop değişimi, farklı kimyasal bileşikler arasında herhangi bir değişiklik olmadan, sadece farklı elementlerin izotoplarının karşılıklı olarak yer değiştirdiği olayları içerir.



Bu reaksiyonda su ve kalsit bileşikleri içerisinde bulunan ^{18}O ile ^{16}O izotopları yer değiştirmiştir. Denge durumunda reaksiyona ait denge sabiti normal yolla belirlenir:

$$K = (H_2^{16}O)(CaC^{18}O_3)^{1/3} / (H_2^{18}O)(H_2^{18}O)^{1/3}$$

Denge sabiti denkleminde, reaktan ve ürünlerin miktarları molar konsantrasyon olarak verilir. Çünkü bunlar eğer aktivite olarak alınırsa, bu bileşiklerin, izotoplar arasında ayırım yapmayacağı, yani ister ^{18}O , ister ^{16}O olsun reddetmeyeceği anlamına gelir: Bu da reaksiyona ait $K=1$ olacağını ve dolayısıyla herhangi bir izotop farklılaşmasının gelişmemesini gerektirir. Yukardaki denkleme ait denge sabiti $25^\circ C$ ' de $K \neq 1$ dir. Yani izotop değişim reaksiyonları, denge sabitinde olduğu gibi direkt olarak sıcaklığa bağlıdır ve sıcaklığın karesinin tersi ile doğru orantılıdır. Böylece sıcaklık $0^\circ K$ olduğunda, denge sabiti sıfır veya sonsuz olur, izotop farklılaşması ise maksimuma ulaşır. Ancak düşük sıcaklıklarda değişim hızının aşırı yavaşlığından dolayı bu teorinin doğada gerçekleşmesi mümkün değildir (Akçay, 2002).

Çizelge 1. Önemli derecede izotop farklılaşması gösteren izotopların bolluk dereceleri ve kütleleri (Weast vd. 1986, Akçay, 2002).

| Element | Duraylı izotop | Kütle ağırlığı | Ortalama bolluk (%) |
|----------|----------------|----------------|---------------------|
| Hidrojen | 1_1H | 1,007825 | 99,985 |
| | 2_1H (D) | 2,014000 | 0,015 |
| Oksijen | $^{16}_8O$ | 15,994915 | 99,762 |
| | $^{17}_8O$ | 16,999131 | 0,038 |
| | $^{18}_8O$ | 17,999160 | 0,200 |
| Kükürt | $^{32}_{16}S$ | 31,972070 | 95,020 |
| | $^{33}_{16}S$ | 32,971456 | 0,750 |
| | $^{34}_{16}S$ | 33,967866 | 4,210 |
| | $^{36}_{16}S$ | 35,967080 | 0,020 |

2.2. İzotop Verilerinin Sunulması

Duraylı izotop analizleri kütle spektrometresi ile yapılır ve analizi düşünülen izotopların analiz edilen örnek içindeki konsantrasyonları ölçülür. Veriler δ ile gösterilir, analiz edilen izotoplardan ağır olanının cinsinden yazılır ($\delta^{18}O$, δD (δ^2H), $\delta^{13}C$, $\delta^{34}S$) ve ‰ (binde=per mil) olarak gösterilir. İzotop verileri belirli bir standarda bağlı olarak ifade edilir ve bu standart analiz edilen elemente göre değişir. Buna göre izotop verileri şu şekildedir:

$$\delta = \left(\frac{R_{\text{örnek}}}{R_{\text{s tan dart}}} - 1 \right) * 1000$$

$R_{\text{örnek}}$ ve R_{standart} , analiz edilen ağır izotopun hafif izotopa oranıdır. Oksijen izotopları için $R=^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, hidrojen izotopları için $R=\text{D}/\text{H}$, karbon için $R=^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ve kükürt için $R=^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ ’ dir.

İzotop analizlerinde bağlı değerler kullanıldığı için, analiz edilen örneğin belirli bir örneğe göre izotopsal olarak zenginleşmesi veya fakirleşmesi şeklinde yorumlanır. Bundan dolayı izotop analizleri yapılırken belirli standartlar kullanılır.

3. Maden Yataklarının İncelenmesinde Kullanılan Bazı İzotoplar ve Özellikleri

3.1. Hidrojen ve Oksijen İzotopları Jeokimyası

Litolojik birimler içerisinde H elementi bulunduran mineraller son derece fazladır. Hidrojenin iki tane duraylı izotopu bulunmaktadır (Karakaya, M., Aydal, D.,2009). Bulunma yüzdeleri aşağıda verilmiştir:

$$^1\text{H} = \% 99.9844$$

$$^2\text{D} = \% 0.0156 \text{ (döteryum)}$$

Hidrojen izotopları ‰ olarak, SMOW standartına göre ölçülür ve ‰ δD olarak gösterilir. Hidrojen izotop analizi çalışmalarında klorit, serizit, muskovit, serpantin ve talk kullanılabilir. Değişik ortamlara ait hidrojen izotop bileşimi Şekil 1’de gösterilmiştir.

Doğada en çok bulunan element oksijendir. Katı, sıvı ve gaz bileşikler içerisinde bulunur. Oksijenli bileşikler çok geniş sıcaklık aralıklarında duraylı oldukları için, izotop çalışmalarında en çok kullanılan elementlerden biridir. Oksijen elementinin ^{16}O , ^{17}O ve ^{18}O olmak üzere üç duraylı izotopu vardır. Doğadaki tüm oksijenin % 99,763’ ünü ^{16}O , % 0,0375’ ini ^{17}O ve % 0,1995’ ini ise ^{18}O oluşturur. İzotop analizlerinde en bol bulunan ^{16}O ve ^{18}O izotopları kullanılır ve $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ oranı ölçülür. Oksijen izotop analizleri, silikatlar, oksitler, karbonatlar ve sülfatlar ve ayrıca sıvı kapanımlar içerisindeki sıvının üzerinde yapılır (Hoefs, 1996).

Silikat ve oksitli mineraller, 500-600 °C’ de nikel tüpler içerisinde F_2 ve BrF_5 ile reaksiyona sokularak parçalanır; açığa çıkan gazlardan istenmeyenler soğuk tuzaklar ile sistemden alınırken, oksijen gazı ise sıcak grafit çubuklar üzerinden geçirilerek CO_2 ’ ye çevrilir. Bu esnada yeterince CO_2 gazı elde edilmesine dikkat edilmektedir. Aksi takdirde son derece düşük $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ değerleri elde edilir. Sülfatlar önce BaSO_4 haline dönüştürülür. Daha sonra, 1000 °C’ de karbon ile indirgenerek, CO ve CO_2 ’ ye dönüş-

türülür. Bu esnada oluşan CO platin elektrotlar arasından geçirilerek CO₂' ye dönüştürülür. Karbonatlı mineraller ise 25 °C' de direkt olarak fosforik asit ile reaksiyona sokularak CO₂ gazı elde edilir. Ancak bu durumda, karbonatlı mineral içerisinde mevcut oksijenin sadece üçte ikisi çıkan CO₂ gazı içerisinde bulunur ki bu durumun izotop analizleri esnasında ve verilerin yorumu aşamasında dikkate alınması gerekir (Hoefs, 1973). Su ise bir miktar CO₂ ile dengeye getirilerek analiz edilir (Akçay, 2002).

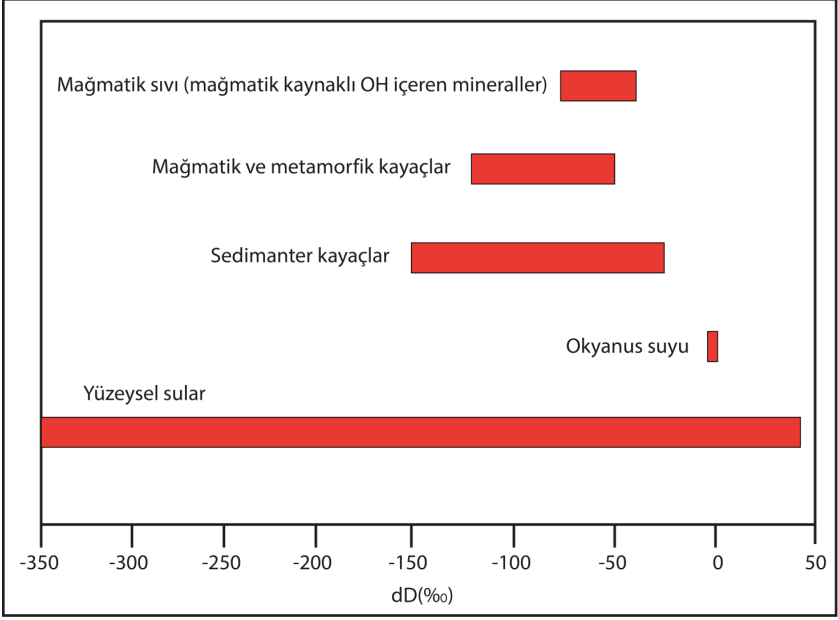
Elde edilen CO₂ gazı kütle spektrometresi yardımıyla analiz edilerek, ¹⁸O/¹⁶O oranı ölçülür. Oksijen izotop analizinde kullanılan her iki standart arasında bir dönüşüm mümkündür. Coplen et. Al. 1973' e göre bu dönüşüm faktörü şöyledir (Hoefs, 1996):

$$\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})} = 1,03091 \delta^{18}\text{O}_{(\text{PDB})} + 30,91$$

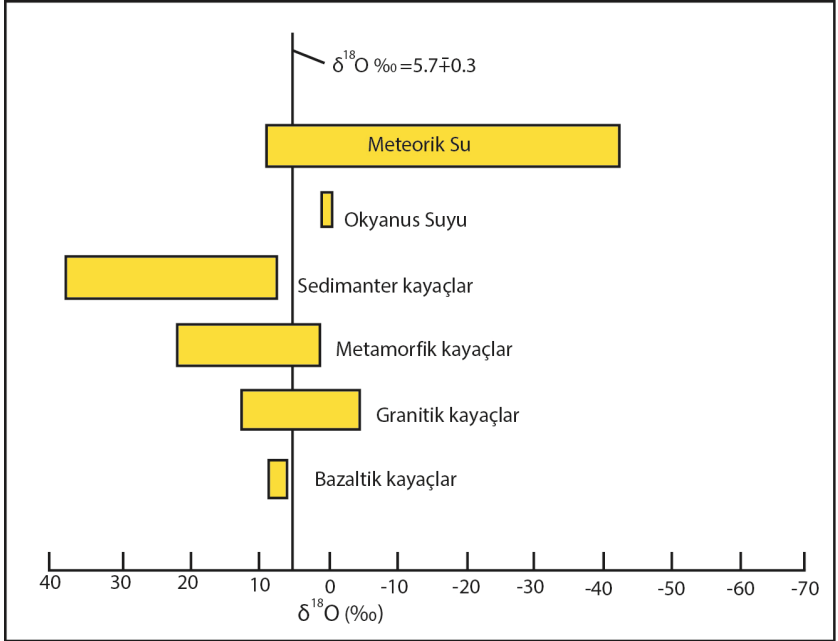
$$\delta^{18}\text{O}_{(\text{PDB})} = 0,97002 \delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})} - 29,98$$

SMOW' a göre ölçüldüğünde, herhangi bir örneğin izotop değeri şu şekildedir (Akçay, 2002):

$$\delta^{18}\text{O} = \left\{ \left[\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{mineral}} - \left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{SMOW}} \right] / \left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{SMOW}} \right\} * 1000$$



Şekil 1. Değişik ortamların hidrojen izotop bileşimleri (Hoefs 1973, Akçay, 2002)



Şekil 2. Değişik ortamların oksijen izotop bileşimleri (Hoefs, 1973'ten)

Genelde mağmatik kayaçların $\delta^{18}\text{O}$ değerleri SiO_2 konsantrasyonuna bağlı olarak artış gösterir. Ultramafik kayaçlar en düşük $\delta^{18}\text{O}$ değerlere (+5,4 ve 6,6 ‰) sahiptir. Gabro, bazalt ve anortozit benzer değerlere sahip olup, genelde +5,5' den +7,4 ‰ ' e kadar değişen değerlere sahiptirler. Granitik kayaçlar ve pegmatitler daha yüksek değerlikli ve +7' den +13 ‰ ' e kadar değerler gösterebilir. Şekil 2' de bazı oksijen içeren çözelti ve kayaçların $\delta^{18}\text{O}$ değerlerini görebiliriz.

Taylor (1974)' e göre mağmatik ve metamorfik kayaçların $\delta^{18}\text{O}$ değerleri +5 ile +15 ‰ arasında değişmektedir. Ama bazı lokasyonlarda mağmatik kayaçların $\delta^{18}\text{O}$ değerleri -5 ile +10 ‰ arasında değişmektedir. Sedi-manter kayaçlar ^{18}O bakımından daha zengin olup, +10 (kumtaşı) ile +35 ‰ (çört) arasındaki değerlere sahiptir.

3.1.1. Doğal Çözeltilerin O ve H İzotop Bileşimleri

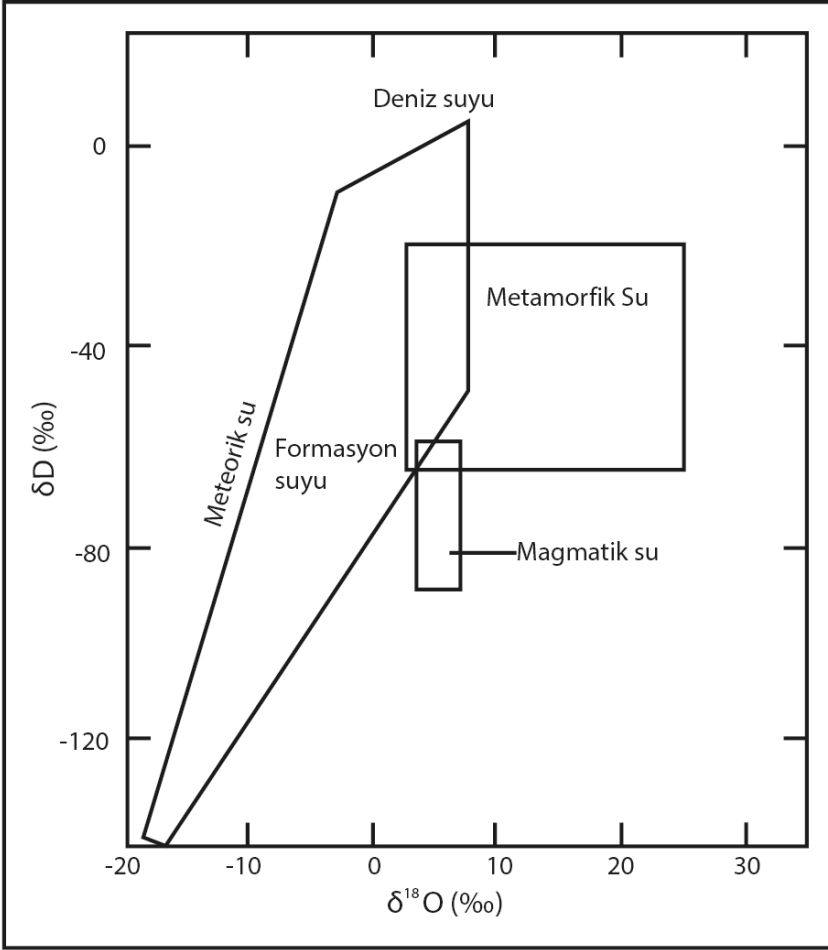
Maden yataklarına göre meteorik su, yer kabuğunda dolaşırken veya bir mağma kütlesi etkisiyle ısınır ve aynı zamanda tuzluluk da kazanırsa cevher yapıcı bir akışkan olur. Bu anlamda maden yataklarının kökenini belirlemede çeşitli su türlerindeki izotopik bileşimler önemlidir.

3.1.1.1. Okyanus Suyu

Günümüzdeki okyanus suyunun izotopik bileşimi SMOW standardında sabittir (Craig., 1961):

$$\delta^{18}\text{O}=0 \text{ ve } \delta\text{D}=0$$

Buharlaştırmanın yoğun olduğu ve tuzluluğun arttığı kapalı havzalarda $\delta^{18}\text{O} = +2$ ve $\delta\text{D} = +11$ gibi değerlerle oldukça yüksektir. Afrika ve Antartika gibi taze suyla önemli ölçüde seyrelmiş sularda ters yönde bir izotopik kaçış vardır: $\delta^{18}\text{O} = -20$ ile -50 ve $\delta\text{D} = -200$ ile -450 arasındadır (Oygür,1994). Doğal çözeltilerin oksijen ve hidrojen izotop bileşimleri Şekil 3' de görülmektedir.



Şekil 3. Doğal çözeltilerin oksijen ve hidrojen izotop bileşimleri (Kalender, 2011'den)

3.1.1.2. Meteorik Sular

Yağmur, kar, göl ve nehir suları ile yeraltı suyu gibi yüzeysel kaynaklı olan ve tuzlu olmayan sular meteorik sular olarak adlandırılır. Bütün bu sular içerisindeki H ve O izotop değişimi son derece sistemattir ve MWL (Meteorik Su Hattı) olarak ifade edilen doğrusal bir hatla gösterilir. Yükseklik ile suların O ve H izotop bileşimleri ters orantılıdır. Yani yükseklik arttıkça, suların $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri sistemattik olarak azalır. Bu sistemattik değişim her iki izotop arasında da bir lineer ilişkinin gelişmesine yol açmıştır (Craig, 1961):

$$\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10 (\text{‰})$$

Meteorik sular içindeki H ve O izotopları arasındaki bu lineer ilişki, atmosferdeki suyun yoğunlaşmasının bir izotopik denge işlemi olması ve D/H ile $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ izotopik farklılaşmalarının orantılı olmasından kaynaklanmaktadır (Akçay, 2002).

3.1.1.3. Jeotermal Sular

Jeotermal alanlardaki sıcak sular yüzeyden türemiştir. MWL' den yüksek $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine doğru karakteristik ^{18}O kaçıışı görülür (Craig, 1963). Bunun nedeni, silikat ve karbonat çevre kayalarla olan izotopik değişimdir (Oygür, 1994).

3.1.1.4. Formasyon Suyu

Çökel kayaların depolanması sırasında kayacın gözenekleri içinde hapsolmuş bu sulara $\delta^{18}\text{O}$, δD , tuzluluk ve ısı arasında pozitif korelasyon vardır. Düşük ısı ve tuzlulukta değerleri en düşüktür. Yüksek ısı ve tuzlulukta ise yüksek δ değerleri görülür (Oygür, 1994).

3.1.1.5. Metamorfik Sular

δD değerleri sınırlı olmasına rağmen, $\delta^{18}\text{O}$ değerleri geniş bir aralıktadır. İzotopik ayırılma faktörü ısıya bağlıdır. Buna göre düşük ısıli metamorfik sular yüksek δD ve düşük $\delta^{18}\text{O}$; yüksek ısıli ise düşük δD ve yüksek $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine sahiptir (Oygür, 1994). Metamorfik suların izotopik bileşimi kayaç tipi ve akışkan/kayaç etkileşimine göre değişik değerler alabilir. $\delta^{18}\text{O}$ değerleri 5-25 ‰, δD değerleri ise -70 ile -20 ‰ arasında değişmektedir (Taylor, 1974; Hoefs, 1996).

3.1.1.6. Mağmatik Sular

Doğrudan mağmadan gelen suyu örneklemek zordur. Granitoidlerin δD ve $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine sırasıyla ‰ 10 ve ‰ 1 eklenerek dolaylı yoldan hesaplanmaktadır (Ohmoto, 1986; Oygür, 1994). Mağmatik suyun izotopik bileşimi, mağmatik kayaların izotopik bileşimleri kullanılarak ve ayrıca mağmatik sıcaklık şartlarında ($T = 700 - 1100\text{ }^\circ\text{C}$) mineral-su izotop farklılaşma denklemleri yardımıyla ölçülebilmektedir. Şu ana kadar mağmatik su için tam olarak belirlenmiş bir izotop değişim aralığı yoktur. Volkanik ve plütonik kayaların büyük bir kısmının O ve H izotop bileşimleri dar bir aralıkta değişir ($\delta^{18}\text{O} = \text{‰ } 5,5 - \text{‰ } 10$ ve $\delta\text{D} = \text{‰ } -50 - \text{‰ } -90$) (Taylor, 1974-1979). Bu mağmatik kayalarla izotopik dengede olan mağmatik su-

yun izotopik bileşimi de bu değerlere göre plajiyoklas-su ve hornblend-su denge denklemleri yardımıyla belirlenmiştir. Buna göre mağmatik suyun $\delta^{18}\text{O}$ değerinin ‰ 5,5 – ‰ 9,5 arasında, δD değerinin ise ‰ -40 – ‰ - 80 arasında değiştiği hesaplanmıştır (Shepherd, 1976; Akçay, 2002).

3.2. Kükürt İzotopları Jeokimyası

Kükürt, yeryuvarı içerisinde çok değişik ortamlarda ve değişik oksidasyon durumlarında bulunabilen bir elementtir. Kükürdün 4 duraylı izotopu bulunmaktadır. Bolluk dereceleri aşağıdaki gibidir:

$$^{32}\text{S} = \% 95.02$$

$$^{33}\text{S} = \% 0.75$$

$$^{34}\text{S} = \% 4.21$$

$$^{36}\text{S} = \% 0.02$$

Kükürt izotop çalışmalarında en çok kullanılan ^{32}S ve ^{34}S izotopları aynı zamanda en bol bulunan izotoplardır. Kükürt izotop bileşimi $\delta^{34}\text{S}$ olarak gösterilir ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

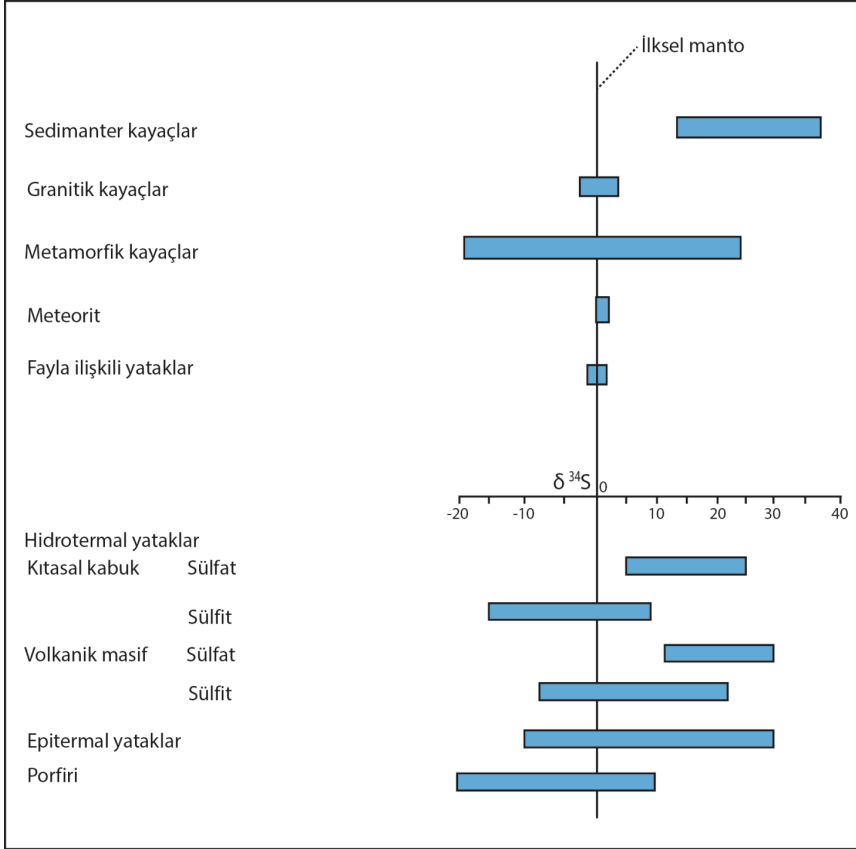
$$\delta^{34}\text{S}_{\text{örnek}} = \left[\left\{ \left(\frac{^{34}\text{S}}{^{32}\text{S}} \right)_{\text{örnek}} - \left(\frac{^{34}\text{S}}{^{32}\text{S}} \right)_{\text{standart}} \right\} / \left(\frac{^{34}\text{S}}{^{32}\text{S}} \right)_{\text{standart}} \right] * 1000$$

Kükürt izotop analizleri çoğunlukla SO_2 gazı üzerinde yapılır. Metal sülfürler (pirit, kalkopirit, sfalerit, vs.) ve sülfatlar (barit, anhidrit, anglezit vs.) analizlerinde kullanılabilecek olan minerallerdir. Sülfürlü mineraller 900-1000 °C’ de oksitleyici bir madde ile (CuO , Cu_2O , V_2O_5 ve O_2 buharı) reaksiyona sokularak SO_2 gazı elde edilir. Oksitlenme reaksiyonu esnasında SO_3 oluşmasını engellemek için, reaksiyonun gerçekleştirildiği kuvars tüpü çok hızlı bir şekilde oda sıcaklığına kadar soğutulur. Aksi takdirde, sülfürlü minerallerden hem SO_2 hem de SO_3 gazı oluşur ve bu iki gaz arasında kükürt izotop farklılaşması gerçekleşir. Kükürt izotop analizleri için yaklaşık 0,2 mg SO_2 gerekir. Buna göre analiz edilecek sülfürlü mineralden ne kadar gerektiğini hesaplamak mümkündür. Örneğin, kükürt izotop analizinin yapılacağını varsayalım. Piritin (FeS_2) molekül ağırlığı 120 akb (atomik kütle birimi) dir. Buna göre 120 g piritte 64 g kükürt varsa, 0,2 g kükürtün kaç g piritte olacağı basit bir orantı ile hesaplanır:

$$0,2 * 120 / 64 = 0,375 \text{ g pirit}$$

Bu değer gereken en az miktardır. Örnek hazırlık aşamasında, vanalardan gaz kaçıışı ve tüm gazın alınmaması gibi problemlerden ötürü ihtiyatlı davranmak ve seçilen sülfürlü mineral miktarını bir miktar artırmak gerekir.

Kükürt izotop çalışmaları araziden alınan saf mineraller üzerinde yapılmalıdır. Örnekler kırılıp öğütüldükten sonra saf suyla iyice yıkanır ve stereo mikroskop altında elle seçme yöntemi ile mineral ayırma işlemi yapılır. Seçilen saf örnekler öğütülerek toz haline getirilir ve analiz için izotop jeokimyası laboratuvarına gönderilir. Sonuçlar $\% \delta^{34}\text{S}$ VCDT değerleri şeklinde ifade edilmektedir. Kökeni belirlemek için $\% \delta^{34}\text{S}$ değerlerine göre tabloda örnekler yerleştirilir (Şekil 4).



Şekil 4. Bazı jeolojik ortam ve kayaç türlerindeki kükürt izotop değerleri (Hoefs, 1973)

KAYNAKÇA

- Akçay, M.**, 2002. Jeokimya temel kavramlar ve uygulamaya aktarımları.
- Craig.**, 1961 Isotopic variation in meteoric waters. *Science*, 133, 1702-3.
- Hoefs, J.** 1996, Stable Isotope Geochemistry. *Springer-Verlag*, New York, 201 s.
- Hoefs, J.**, 1973. Stable Isotope Geochemistry. *Springer, Berlin*, 140 pp.
- Kalender, L.**, 2011. Oxygen, carbon and sulphur isotope studies in the Keban Pb–Zn deposits, eastern Turkey: An approach on the origin of hydrothermal fluids, *Journal of African Earth Sciences*, **59**, 341-348.
- Karakaya, M., Aydal, D.**, 2009. Duraylı izotopların jeolojide kullanımı. *Mühendislikte Projelendirme Raporu*, Ankara, 1-100.
- Sharp, Z.D.**, 2017. Principles of stable isotope geochemistry. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 1-344.
- Taylor, H.P.Jr.** 1974, The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition. *Economic Geology*, 69, 843-883.
- Oygür, V.**, 1994. Duraylı İzotoplar Jeokimyasının Maden Yataklarına Uygulanması, *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını*, Mayıs-Kasım, 44-45, 27-38.

BÖLÜM 9

DERİN ÖĞRENME ALGORİTMALARINDA KULLANILAN OPTİMİZER TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Serhat KILIÇARSLAN¹, Cemil KÖZKURT²

1 Dr. Öğretim Üyesi, Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, 10200 Bandırma, Balıkesir/TÜRKİYE Orcid: 0000-0001-9483-4425

2 Dr. Öğretim Üyesi, Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği Bölümü, 10200 Bandırma, Balıkesir/TÜRKİYE Orcid: 0000-0003-1407-9867

GİRİŞ

Son zamanlarda, makine öğrenimi dikkate değer bir oranda büyüyerek çok sayıda araştırmacı ve uygulayıcıyı kendine çekmiştir. En popüler araştırma yönlerinden biri haline geldi ve makine çevirisi, konuşma tanıma, görüntü tanıma, öneri sistemleri vb. gibi birçok alanda önemli bir rol oynuyor. Optimizasyon, makine öğreniminin temel bileşenlerinden biridir. Çoğu makine öğrenimi algoritmasının özü, bir optimizasyon modeli oluşturmak ve verilen verilerden amaç fonksiyonundaki parametreleri öğrenmektir. Muazzam veri çağında, sayısal optimizasyon algoritmalarının etkinliği ve verimliliği, makine öğrenimi modellerinin yaygınlaşmasını ve uygulanmasını önemli ölçüde etkiler. Makine öğreniminin gelişimini desteklemek için, makine öğrenimi yöntemlerinin performansını ve verimliliğini artıran bir dizi etkili optimizasyon yöntemi ortaya atılmıştır. Gerçek dünya eğitiminde, Derin modeller akademisyenler ve araştırmacılar için verimli bir şekilde en önemli zorluklardan biri olmaya devam etmektedir (Maulud & Abdulazeez, 2020; Reisizadeh vd., 2019; J. Zhang, 2019; T. Zou & Sugihara, 2020). GD optimizasyon algoritması, Machine Learning (ML) ve Deep Learning (DL) modellerinin eğitiminde önemli bir rol oynar. Verimliliğini daha da artırmak için son yıllarda birkaç yeni varyant algoritması geliştirilmiştir (Lu & Jin, 2017; Yi vd., 2019; Zebari, Zeebaree, Abdulazeez, vd., 2020). Makine öğrenimi (ML), bilgisayar sistemlerinin belirli bir görevi gerçekleştirmek için açıkça programlanmadan (Abdulazeez vd., 2021; Hallen, 2017; Zeebaree vd., 2019b, 2021) anlamasını mümkün kılan bir bilgisayar bilimi alanıdır. Makine Öğreniminde bir maliyet fonksiyonu eklemek, makinenin sonuçlar için uygun ağırlık değerleri bulmasını sağlar (Adeen vd., 2020). Öte yandan Derin Öğrenme (DL), derin ağları kullanarak bilgi alma ile ilgilidir (Jahwar & Abdulazeez, 2020; Kamsing vd., 2020; Omar vd., 2020; Zeebaree vd., 2017). Genel olarak optimizasyonun amacı, çözümü kolaylaştıran fonksiyon parametresini tanımlamaktır. Birçok makine öğrenimi algoritmasının arkasında yatan zor bir konudur (Eesa vd., 2015; Sadeeq & Abdulazeez, 2018; Zebari, Zeebaree, Abdulazeez, vd., 2020). Gradient Descent (GD) algoritması gibi bazı optimizasyon algoritmaları, maliyet işlevini en aza indirerek ağırlıkları sınıflandırabilir. Şimdiye kadar GD, en yaygın optimizasyon algoritmalarından biridir ve sinir ağlarını optimize etmenin en popüler yöntemidir. GD, yerel bir minimumda ayrı bir rol bulmaya çalışır. Bir fonksiyonun kayıp fonksiyonunu mümkün olduğunca azaltan parametrelerinin (katsayılarının) değerlerini bulmak için kullanılır (Othman & Zeebaree, 2020). Algoritmanın performansını en üst düzeye çıkarmak için kullanılacak GD yaklaşımına bağlı birkaç değişken de vardır.

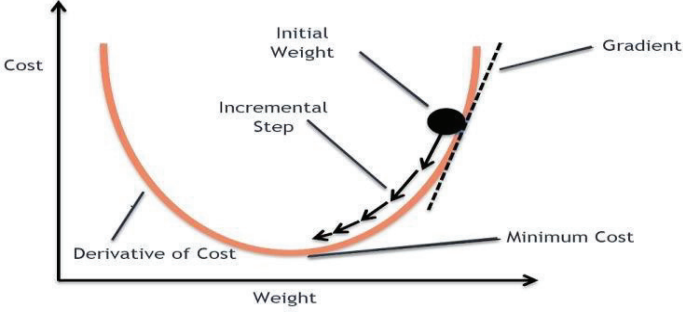
Bu kitap bölümünde, okuyucuya çok sayıda GD tabanlı optimizasyon

algoritmasının davranışı hakkında içgörü sağlamaya çalışılmaktadır. Bundan sonra, farklı GD varyantlarını tanımlayarak, ardından model eğitimi sırasındaki zorlukların kısa bir ayrıntısını vererek ve en popüler optimizasyon algoritmalarını sunarak devam edeceğiz, bu sorunları ele alma dürtülerini ve bunun güncelleme kurallarının türetilmesiyle nasıl ilişkili olduğunu açıklayacağız. Son olarak, bu GD optimizasyon teknikleri arasındaki karşılaştırma tartışılacaktır. Bu çalışmanın motivasyonu, bir makine öğrenimi modeli oluştururken yakınsama hızı ve eğitim hızı açısından GD'ye dayalı bu tür optimizasyon algoritmalarına odaklanmaktadır.

İster gerçek hayattaki bir sorunla ilgilenin, ister bir yazılım ürünü oluşturun, optimizasyon her zaman nihai hedeftir. Ancak bu amaca, optimizasyon algoritmalarından biri kullanılarak ulaşılır. Giderek popüler olan Gradyan İniş (Gradient Descent - GD) optimizasyon algoritmaları, sınırsız optimizasyon problemlerini çözerken sıklıkla kara kutu optimizasyon olarak kullanılır. Gradyan tabanlı bir algoritmanın her yinelenmesi, gradyanın amaç fonksiyonu bilgisini kullanarak minimize / maksimize edici maliyet fonksiyonuna yaklaşmaya çalışır. Bu çalışmada GD, Batch Gradient Descent (BGD), Stokastik Gradient Descent (SGD) ve Mini-batch GD gibi çeşitli GD varyantlarının karşılaştırmalı bir çalışması anlatılmaktadır. Ek olarak, bu makale, bu algoritmaların zorluklarını özetlemekte ve Momentum, Nesterov Momentum, Adaptive Gradient (AdaGrad), Adaptive Delta (AdaDelta), Root Mean Square Propagation (RMSProp), Adaptive Moment Estimation (Adam), Maksimum Uyarlanabilir Moment Tahmini (AdaMax) ve Nesterov Hızlandırılmış Uyarlanabilir Moment Tahmini (Nadam) algoritmaları dahil olmak üzere en yaygın kullanılan bütün bu optimizasyon algoritmalarını ayrı ayrı sunmaktadır. Son olarak GD'ye dayalı bu optimizasyon algoritmaları arasında eğitim hızı, yakınsama oranı, performans ve artıları ve eksileri açısından bir karşılaştırma yapılmıştır.

TEORİK ARKA PLAN

Bir diferansiyel denklemin yerel minimumunu bulmak için GD, birinci dereceden yinelenmeli bir optimizasyon algoritmasıdır. Teori, fonksiyonun mevcut aşamasında (veya yaklaşık bir gradyanda) gradyanın ters yönünde tekrarlanan adımları atmaktır, çünkü bu en dik iniş yönü olarak kabul edilir (Sadiq vd., 2020). Öte yandan, gradyanın yönünde adım atmak, o özelliğin yerel bir maksimumuyla sonuçlanacaktır. Daha sonra yaklaşıma gradyan yükselişi denir (Chandra vd., 2019).



Şekil 1: Gradyan İniş Algoritması (Abdulazeez vd., 2021).

Gradyan İniş çeşitleri

Amaç fonksiyonunun gradyanını değerlendirmek için ne kadar veri kullandığımıza göre değişen üç GD varyantı vardır (Abdulazeez vd., 2021). Veri miktarına bağlı olarak (Othman & Zeebaree, 2020), güncelleme parametresinin doğruluğu ile bir güncelleme yürütme zamanı arasında bir değiş tokuşumuz bulunur.

Yığın Gradyan İniş (Batch Gradient Descent - BGD)

Vanilya GD olarak adlandırılan BGD, her örnek için eğitim veri kümesindeki hatayı algılar. Ancak tüm eğitim örnekleri değerlendirildikten sonra model revize edilir. Tüm bu süreç bir döngü gibidir ve buna eğitim çağı denir (Hardt vd., 2016). BGD'nin faydalarından bazıları, etkili hesaplaması, dengeli bir hata gradyanı ve istikrarlı bir yakınsamadır (Dogo vd., 2018). Bazı zayıflıklar, sürekli hata gradyanının genellikle modelin başarabileceği en iyi durum olmayan bir yakınsama koşuluna yol açabilmesidir. Ayrıca, tüm eğitim veri setinin bellekte olmasını ve algoritma tarafından kullanılabilir olmasını talep eder. BGD en kesin performansı sunar, ancak gerçek verilerin birçok pahalı tam taramasını gerektirir (Si vd., 2019).

BGD, Denklem 1'de görüldüğü gibi, tüm eğitim veri kümesi için θ parametreleriyle ilgili maliyet fonksiyonunun gradyanını hesaplar.

$$\theta_{\text{new}} = \theta_{\text{old}} - \eta \cdot \Delta_{\theta} J(\theta) \quad (1)$$

Where:

θ_{new} = Next Position

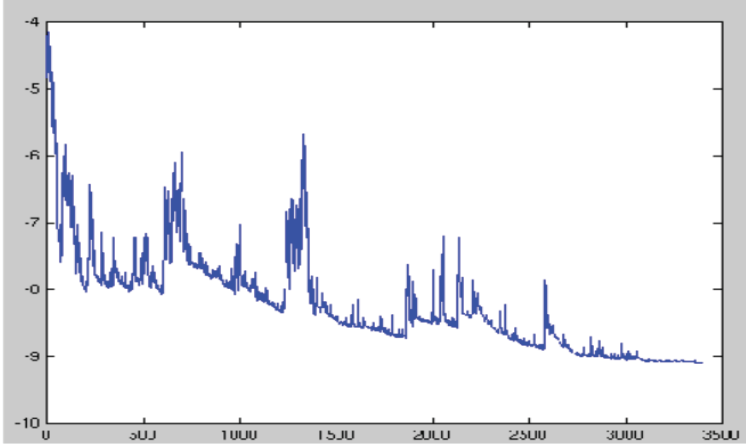
θ_{old} = Current Position

η = Learning Rate (Step Size)

$\Delta_{\theta} J(\theta)$ = Direction of the fastest increase

Stokastik Gradyan İniş (Stochastic Gradient Descent - SGD)

Büyük ölçekli derin öğrenme modellerini optimize etmede, SGD algoritmalarının verimli olduğu kanıtlanmıştır (Saeed, 2020). Stokastik terimi, rastgele bir olasılığa bağlı bir mekanizma veya yöntem anlamına gelir; bu nedenle, her yineleme için tüm veri seti yerine, rastgele birkaç örnek seçilir (Cui vd., 2018; Hardt vd., 2016). SGD, her eğitim aşamasından sonra ağ yapısını değiştirerek global minimumu bulmayı amaçlar. Bu yaklaşım, tüm veri kümesinin gradyanını bulmak yerine rastgele seçilen bir grup için gradyanı yaklaştırarak hatayı azaltır. Gerçekte, rasgele örnekleme, veri kümesinin rasgele karıştırılması ve kümeler boyunca adım adım ilerletilmesiyle yapılır (Wang & Ye, 2020). SGD, Şekil 2'de görüldüğü gibi, amaç fonksiyonunda önemli varyasyonlara izin veren sık sık yüksek varyanslı değişiklikler yürütür (Guo vd., 2020).



Şekil. 2: Stokastik Gradyan İniş (Othman & Zeebaree, 2020)

Mini-yığın (Mini-batch) gradyan iniş

SGD ve BGD ilkelerinin başka bir varyasyonu, mini yığın GD'dir. Eğitim veri setini daha küçük gruplara ayırır ve bu grupların her biri için bir güncelleme gerçekleştirir. Bu, SGD sağlamlığı ile toplu GD verimliliği arasında bir denge sağlar (J. Zhang, 2019).

BGD, SGD ve Mini-yığın GD'nin Performans Analizi

Birkaç optimizasyon problemi için, bu üç GD algoritması iyi performans gösterir ve tümü iyi derecede bir optimuma (yerel veya küresel) yakınsayabilir, ancak yine de aşağıda belirtilenler gibi birçok sorunları bulunmaktadır.

Öğrenme oranı seçimi

Denklem 1’de öğrenme oranı η , GD algoritmalarının yakınsaması üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir (Baydin vd., 2017; Yang vd., 2019). Bir öğrenme oranı belirlenirken, yakınsama oranı ile aşma oranı arasında bir denge vardır. Öğrenme oranı çok yüksekse, minimumu aşabiliriz ve minimumu karşılamadan sıçramaya başlayabiliriz. Öte yandan, öğrenme oranı çok düşükse, eğitim çok uzun sürebilir (Zhao vd., 2019).

Öğrenme oranının ayarlanması

Çoğu durumda, GD algoritmaları için, tüm güncelleme sürecinde sabit bir öğrenme oranı iyi çalışmaz (Fei vd., 2020). Algoritma, başarılı (yerel veya küresel) bir hızlı optimum elde etmek için ilk aşamalarda daha yüksek bir öğrenme oranı gerektirecektir. Ancak sonraki aşamalarda, algoritmanın öğrenme oranını değiştirmesi gerekecektir (Baydin vd., 2017).

Değişken bireysel öğrenme oranı

Farklı değişkenlerin güncelleme işlemi yerine yükseltmeleri basit bir farklı öğrenme oranı içerebilir. Bu nedenle, çeşitli değişkenler için bireysel bir öğrenme oranı kullanmak gerekli ve uygundur (Guo vd., 2020).

Yerel Minimum

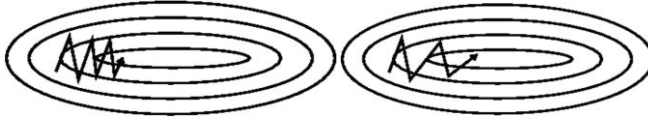
Diğer bir ana zorluk, sinir ağlarında yaygın olan son derece dışbükey olmayan hata fonksiyonlarını en aza indirerek yerel minimuma takılıp kalmasını önlemektir. Yerel minimumlar, Şekil 4’te görüldüğü gibi, yakınsamayı analiz etmek için en büyük zorluktur (Du vd., 2018; Li vd., 2018).

Gradyan iniş optimizasyon algoritmaları

Optimizasyon algoritmaları, bir makinenin uygulamasından yararlanabileceği temeli oluşturur (Eesa vd., 2015; Mohammed vd., 2018). Gradyanları ölçerler ve maliyetlerin işlevini en aza indirmeye çalışırlar (Zeebaree vd., 2020). Öğrenme, çeşitli optimizasyon yöntemleriyle çeşitli şekillerde uygulanabilir (De vd., 2018).

Momentum

Yaygın bir optimizasyon tekniği SGD'dir, ancak algoritmayı eğitirken çalışma süresi nispeten yüksektir. Momentum, özellikle geniş eğrilikler, küçük ama gürültülü gradyanlar veya sabit gradyanlar karşısında hızlı bir şekilde öğrenmek için tasarlanmıştır. Bir momentum teriminin kullanılması, ağır yerel minimumlardan kurtulmasına yardımcı olabilecek başka bir yaklaşımdır. Bu, belki de geri yayılım algoritmasının en yaygın uzantısıdır. Bu yaklaşımın kullanılmadığı diğer durumları bulmak zordur. Gradyan, yüzeydeki belirli noktalarda minimuma doğru işaret etmez ve ardışık GD adımları bir taraftan diğerine salınır ve minimuma yalnızca çok yavaş ilerlerler (Najat & Abdulazeez, 2017). (Şekil 3), bu salınımları sönmüleyerek momentumun dahil edilmesinin yakınsamayı nasıl minimuma indirme eğiliminde olduğunu göstermektedir.



(a)

(b)

Şekil 3. Momentumsuz SGD (a) Momentumlu SGD (Zeebaree vd., 2019a).

Nesterov Momentumu

Mevcut parametrelerden ziyade potansiyel konumları tahmin eden parametrelere dayalı olarak gradyan hesaplanır. Nesterov Momentum, momentum üzerinde bir gelişmedir ve parametrenin gelecekteki konumuna karar vermez (Bargarai vd., 2020; Orr vd., 2016). Nesterov, Nesterov hızlandırılmış gradyan yönteminden ilham alan momentum algoritmasının bir versiyonudur. Bu yaklaşım ile momentum yöntemi arasındaki fark, Nesterov Yönteminde gradyan hesaplanırken hızın zaten parametrelere eklenmesidir. Bu, geleneksel momentum formuna bir düzeltici faktör dahil etmeye çalışmak olarak görülebilir.

Adaptif Gradyan İniş (AdaGrad)

Bu duruma göre öğrenme oranını seçen bir yöntemdir (Bargarai vd., 2020). Gerçek oran parametrelerden hesaplandığından, öğrenme oranları uyum sağlama eğilimindedir. Daha yüksek bir parametre gradyanı daha düşük bir öğrenme oranına sahip olacaktır ve bunun tersi

de geçerlidir (Solanke, 2020). AdaGrad teorisi, diğer parametre öğeleri için farklı öğrenme oranlarını ölçmesi bakımından AdaDelta algoritmasına benzer. Yine de, gradyan kareler toplamasını kullanır: AdaDelta'dan farklı olarak, gradyan karelerin hareketli ortalamasını kullanır (N. Zhang vd., 2018).

Adaptif Delta (AdaDelta)

AdaDelta, AdaGrad uzantısıdır. AdaDelta, gradyanları biriktirmek yerine birkaç sabit boyutlu pencere kullanarak çalışır. Yalnızca pencere içindeki mevcut gradyanları izleyecektir (Bai vd., 2019; Zeiler, 2012). SGD algoritması, manuel öğrenme oranı seçimi gerektirdiğinden, seçilen uygun olmayan öğrenme oranı, düşük tahmin doğruluğuna yol açacaktır. Bununla birlikte, SGD algoritmasının bir optimizasyonu olarak, uyarlamalı öğrenme oranı (LR) algoritması olarak bilinen Adadelta, öğrenme oranını otomatik olarak ayarlayabilir ve tahmin doğruluğunu artırabilir (Nwankpa, 2020).

Karekök Ortalama Yayılım (RMSProp)

Derin Sinir Ağı (DNN) eğitimi için en yaygın uyarlanabilir stokastik algoritmalarından biri RMSProp'tur (Qu vd., 2019). RMSProp, Adagrad'ı gradyanı biriktirecek şekilde değiştirir (F. Zou vd., 2019). Gradyanlar, üstel olarak ağırlıklı bir ortalama toplar. RMSProp, gradyan hakkında geçmişte atar ve yalnızca mevcut bilgiyi korur (Kirori, 2019; Mukkamala & Hein, 2017).

Adaptif Moment Tahmini (Adam)

Adam, her parametre için uyarlanabilir öğrenme oranlarını ölçen bir SGD optimizasyon yöntemidir (Zebari, Zeebaree, Saeed, vd., 2020). Adam, sinir ağları alanındaki en yaygın adım boyutu stratejilerinden biridir. İsmi, Adaptif Moment'ten alınmıştır (Keegan, 2018). RMSProp ve Momentum'un bir karışımıdır. Yükseltme işlemi, yumuşak gradyan varyantını dikkate alır ve bir sapma düzeltme mekanizması sağlar. Adam bilgi işlem maliyetlerini düşürür, daha az yürütme belleğine ihtiyaç duyar ve gradyan diyagonal yeniden ölçeklendirmeye karşı değişmezdir [69]. RMSprop, öğrenme oranını bir hiperparametre olarak ele almak yerine zamanla değişen adaptif bir öğrenme oranı kullanan, gradyan tabanlı bir optimizördür (Adem vd., 2019; Yaqub vd., 2020).

Maksimum Adaptif Moment Tahmini (AdaMax)

AdaMax, adaptif bir SGD biçimi ve sonsuzluk normuna dayalı bir

Adam versiyonudur. AdaMax, SGD'ye göre hiper parametreler seçeneğine çok daha az duyarlı olmanın en büyük faydasını sağlar (Fatima, 2020). AdaMax denklemi, ADAM tahmin yönteminin ikinci momentum bileşeninin tam değerini kullanır. Bu daha kararlı bir çözüm sunar (Vani & Rao, 2019).

Nesterov-Hızlandırılmış Adaptif Moment Tahmini (Nadam)

Adam ve RMSProp için bu teknik, optimizasyon yaklaşımlarının bir kombinasyonudur. Adam'ın optimizasyon yaklaşımına benzer şekilde tasarlanmıştır. Ancak düz momentumun yerini Nesterov'un momentumu almıştır. Bu değişim, momentum performansında belirgin bir artışa neden olur (Kemal & Kilicarslan, 2019; Kim & Kim, 2017).

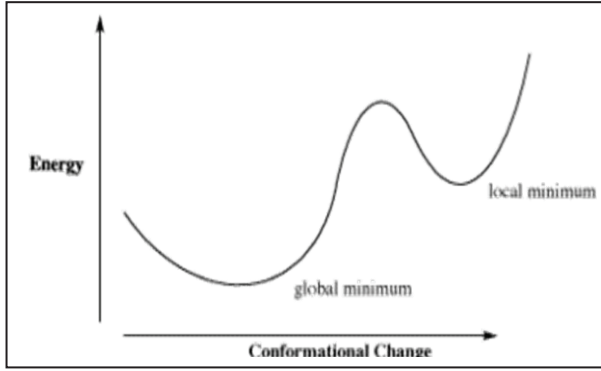


Fig. 4: Global Minimum Vs. Lokal Minimum (Kingma & Ba, 2014)

Tüm bu optimizasyon yöntemleri (SGD, AdaGrad, RMSProp, AdaDelta, Adam, Nadam, Adamax) için kullanılan formüller ve açıklamaları Tablo 1'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 1: Optimizasyon yöntemlerinin formülleri ve açıklamaları

| Optimizör | Formül | Sembol Açıklama |
|-----------|--|---|
| SGD | $\beta = \beta - \alpha * \nabla J(\beta, x(i), y(i))$ | β : Öğrenme Parametre α : Öğrenme Oranı J : Kayıp Fonksiyonu $x(i)$: eğitim örnek , $y(i)$: gerçek değer $\nabla J(\beta, x(i), y(i))$: β parametrelerine göre kayıp fonksiyonunun türevi (gradyan) |
| AdaGrad | $g_t = \nabla_{\beta} J(\beta_1)$ $s_t = s_{t-1} + \frac{g_t^2}{\alpha}$ $\beta_{t+1} = \beta_t - \frac{g_t}{\sqrt{s_t + \epsilon}}$ | $\nabla_{\beta} J(\beta_1)$: β parametrelerine göre kayıp fonksiyonunun türevi (gradyan) S : gradient önceki değerlerinin karesi ϵ : a sıfıra yakın değer |

| | | |
|-----------------|---|--|
| RMSProp | $g_t = \nabla_{\beta} J(\beta_1)$ $E[g^2]_t = 0.9E[g^2]_{t-1} + 0.1g_t^2$ $\beta_{t+1} = \beta_t - \frac{g_t}{\sqrt{(E[g^2]_t + \varepsilon)}}$ | $\nabla_{\beta} J(\beta_1)$: β parametrelerine göre kayıp fonksiyonunun türevi (gradyan) $E[g^2]_t$: gradyan karelerinin ikinci momenti |
| AdaDelta | $g_t = \nabla_{\beta} J(\beta_1)$ $E[g^2]_t = 0.95E[g^2]_{t-1} + 0.05g_t^2$ $\Delta\beta_t = -\frac{\sqrt{\Delta\beta_{t-1}}}{\sqrt{g_t}}g_t$ $E(\Delta\beta^2)_t = 0.95E(\Delta\beta^2)_{t-1} + 0.05\Delta\beta_t^2$ $\beta_{t+1} = \beta_t + \Delta\beta_t$ | $E[g^2]_t$: gradyan karelerinin ikinci momenti $\Delta\beta_t$: adım değeridir (Adadelta için önemli bir varlık) $E[g^2]_{(t-1)}$: adımın karelerinin ortalaması |
| Adam | $m_t = \theta_1 m_{t-1} + (1 - \theta_1)g_t$ $v_t = \theta_2 v_{t-1} + (1 - \theta_2)g_t^2$ $m'_t = \frac{m_t}{1 - \theta_1^t}, v'_t = \frac{v_t}{1 - \theta_2^t}$ $\beta_{t+1} = \beta_t - \frac{\alpha m'_t}{\sqrt{v'_t + \varepsilon}}$ | m : hareketli ortalamalar vektörü v : ikinci moment tahmin vektörü θ_1 : ilk an için hareketli ortalama ağırlık değeri θ_2 : ikinci an için hareketli ortalama ağırlık değeri |
| Nadam | $\beta_{t+1} = \beta_t - \frac{\alpha \left(\theta_1 m'_t + \frac{(1 - \theta_1)g_t}{1 - \theta_1^t} \right)}{\sqrt{v'_t + \varepsilon}}$ | β : Öğrenme Parametre α : Öğrenme Oranı m : hareketli ortalamalar vektörü v : ikinci moment tahmin vektörü θ_1 : ilk an için hareketli ortalama ağırlık değeri |
| Adamax | $g_t = \nabla_{\beta} J(\beta_1)$ $m_t = \theta_1 m_{t-1} + (1 - \theta_1)g_t$ $u_t = \max(\theta_2 u_{t-1}, \text{abs}(g_t))$ $w_{t+1} = w_t - \frac{\alpha m_t}{(1 - \theta_1^t)(u_t + \varepsilon)}$ | $\nabla_{\beta} J(\beta_1)$: β parametrelerine göre kayıp fonksiyonunun türevi (gradyan) u : ikinci anın hareketli maksimumu w : t zaman adımında ağırlık matrisi |

İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Dogo ve diğerleri, araştırmalarında açık bir "Evrışimli Sinir Ağı (ConvNet)" yapısal kurulumunda açıklamışlardır. En sık kullanılan stokastik gradyan tabanlı optimizasyon yaklaşımının karşılaştırmalı bir incelemesi yapıldı; optimizasyon stratejilerini yakınsama oranı, kesinlik ve hata fonksiyonu açısından test etmek için rastgele seçilmiş ve herkesin erişebileceği üç görüntü sınıflandırma veri seti kullanmışlardır. Test edilen yöntemler, vanilya SGD (vSGD), momentumlu SGD (SGDm), nesterov + momentumlu (SGDm+n), Adam, RMSProp, AdaDelta, Adaptive Gradient (AdaGrad), Nadam ve Adamax'tır. Cats and Dogs, Natural Images, Fashion Mnist olmak üzere üç veri seti kullanılmıştır. Bulgular, her optimizasyonun verimliliğinin her bir veri kümesinden farklı olduğunu göstermiş, diğer optimizasyon stratejilerinin aksine, ortalama deneysel sonuçlar, "Nadam"ın üç veri kümesi üzerinde daha iyi verimlilik elde ettiğini, "AdaDelta"nın ise en

kötüsünü yaptığını göstermiştir (Dogo vd., 2018).

Lu ve Jin, SGD algoritmasına dayalı olarak destek vektör makinelerinin (SVM) performansını ve sınıflandırma kabiliyetini geliştirme problemini tartışmışlardır. Bu sorunları çözmek için geliştirilmiş üç SGD algoritması kullanılmıştır (Momentum, NAG ve RMSprop). Deneysel bulgular, RMSprop algoritmasının doğrusal SVM'yi çözmek için daha yüksek bir yakınsama hızına ve daha yüksek doğruluk testine sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Lu & Jin, 2017).

Lydia ve Francis, Adagrad, Adadelta, RMSProp, Adam ve SGD gibi GD Algoritmalarının performansını iyileştirmek için bazı alternatifleri ve hiper parametreleri açıklamışlardır. Yazarlar, Adagrad optimizinin diğer tüm optimizelerden daha iyi performans gösterdiğini ve farklı görüntü veri kümeleri kullanılarak eğitilirken SGD Algoritmasını güçlendirdiğini açıklamışlardır (Lydia & Francis, 2019).

Wang ve Ye Stokastik Gradyan tabanlı optimizasyon algoritmalarında, momentumun Derin Sinir Ağı eğitimini (DNN'ler) hızlandırmada veya geliştirmede önemli bir rol oynadığını göstermişlerdir. Bununla birlikte, momentum hiper parametrelerini ayarlamak, büyük bir hesaplama zorluğu olabilir, bu nedenle bunun yerine, DNN'lerin eğitimini geliştirmek için yeni bir uyarlanabilir momentum önerdiler. Bu yeni adaptif momentum ile SG, hiper parametre momentum kalibrasyonu ihtiyacını ortadan kaldırır. Böylelikle, öğrenme oranı büyük ölçüde artar, DNN öğretimi hızlanır ve eğitilmekte olan DNN'lerin son doğruluğu ve sağlamlığı gelişir. SGD ayrıca mevcut uyarlanabilir ivme ile çekişmeli deneyimden faydalanır ve eğitilmiş DNN'lerin çekişmeli sağlamlığını artırır (Wang & Ye, 2020).

Yaqub ve diğerleri, beyin tümörlerini dünya çapında önde gelen ölüm nedenlerinden biri olarak ele almışlar ve bu hastalığın yaygınlığını, hızlı bir tümör teşhisi koyma zorluğuna bağlamışlardır. Beyin tümörü segmentasyonunun etkinliğini test etmek için yazarlar, önerilen CNN mimarisinde kullanılan çeşitli optimizasyon algoritmalarını karşılaştırmıştır. Karşılaştırma için kullanılan gradyan tabanlı optimizeler, Konvolüsyonel Sinir Ağı için Nadam, NAG, Adagrad, AdaDelta, SGD, Adam, Cyclic Learning rate, Adamax ve RMSProp'tur. Sonuçlar, Adam'ın en düşük hata oranına ve en yüksek doğruluk oranına sahip olduğunu göstermiştir (Yaqub vd., 2020).

Endah ve diğerleri, adaptif öğrenme oranını kullanmanın ve Momentum'u optimize etmenin yakınsama oranını artırabileceğini göstermiştir. Bu çalışmada diyabeti tespit etmek için tıbbi kayıtları

kullanmışlardır. Sonuçlar, algoritma eğitimi için, GD, momentum ve uyarlanabilir öğrenme hızı eğitimi algoritmasının kombinasyonunun, Momentum veya uyarlanabilir öğrenme hızına sahip Gradient ile bir gradyandan daha hızlı yakınsamaya sahip olduğunu göstermiştir (Endah vd., 2017).

Wibowo ve diğerleri, sinir ağı geri yayılımında en iyi optimizasyon algoritması ve ayarlama parametresinin, mikroRNA fonksiyonunu kullanarak kanser sınıflandırması için araştırıldığını göstermektedir. GD, AdaGrad, Momentum, AdaDelta, RMSProp ve Adam optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır. Deney sonuçları, en yüksek kesinliğin sırasıyla yüzde 98,53 ve yüzde 98,54 doğruluğa ulaşan Adam ve RMSProp optimizasyon algoritmaları tarafından sağlandığını göstermiştir (Wibowo vd., 2019).

Solanke ve diğerleri, izinsiz giriş tespiti için farklı derin öğrenme yöntemlerinin kullanıldığını, ancak hepsinin yüksek hata oranı ve hatta bir çıktıyı işlemek için yineleme sayısını artırma gibi belirli düzeylerde sorunlardan muzdarip olduğunu tartışmıştır. Bunun nedeni, sınıflandırma sistemi doğruluğunun düşük olmasıdır. Eğitim sürecindeki hata oranını azaltmak için Adagrad, Adam, Adadelta ve RMSProp gibi çeşitli GD optimizasyon yöntemlerini kullanarak bir sistem önermişlerdir. Sonuçlar, Adam'ın doğruluk, hatırlama ve f-skor açısından çok daha gelişmiş sonuçlar sunduğunu göstermiştir (Solanke, 2020).

Fatima, sinir ağı modeli için en uygun optimizasyon algoritmalarını tartışmıştır. Hangi optimizasyon algoritmasının derin sinir ağını en yüksek hassasiyet, güvenilirlik ve performansla sağladığını bulmak için en popüler optimizasyon algoritmalarından bazılarını dört ilişkisiz veri kümesiyle karşılaştırmıştır. Her koşulda Adam optimizasyon algoritması, dört derin sinir ağı modelinin tümü için iyi performans göstermiş ve bu nedenle, en iyi doğrulukla sonuçlanan herhangi bir sınıflandırma modeliyle neredeyse çalışılabilir olduğunu görmüştür. Dört veri kümesinden üçünde, RMSprop da makul bir seçenek olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, SGD ve Adadelta optimizasyon algoritmalarının, deney sonucunda dört modelin hepsinde yeterli sonuçlara sahip olmak için mücadele ettiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle SGD ve Adadelta, denetimli bir DL modeli için en az önerilen optimizasyon algoritmalarıdır (Fatima, 2020).

Tao ve Lu, rüzgar hızı tahmini bağlamında, GD, Momentum, AdaGrad, Adam, RMSprop ve Adadelta olmak üzere altı ağ parametresi optimizasyon algoritmasını uygulamış ve karşılaştırmışlardır. Deney

sonuçları, Adam algoritması ve RMSprop algoritması tarafından diğer optimizasyon algoritmalarına göre daha iyi tahmin edilebilirlik ve çok daha az eğitim süresi elde edildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, performansı ölçmek için karekök ortalama hatası (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE) ve ortalama mutlak yüzde hatası (MAPE) olmak üzere üç metrik kullanılmıştır (Tao & Lu, 2018).

Lancewicki ve Kopru, makine öğrenimi ve derin öğrenme modellerinin eğitimi için stokastik gradyan tabanlı yaklaşımların popüler olduğunu açıklamışlardır. Bununla birlikte manuel hiperparametre düzeltilmesinin çok pahalı ve zaman alıcı olduğunu açıklamışlardır. Bu nedenle yazarlar, iki önemli hiper parametreyi otomatik olarak ve aynı anda değiştirmek için tarafsız gradyan tahmincisi istatistiklerini kullanan genel bir metodoloji önermişlerdir (Lancewicki & Kopru, 2020).

YI ve diğ., dışbükey olmayan sorunlar için, mevcut optimizasyon algoritmalarının genel bir minimuma ulaşmadan hemen önce yerel bir minimumda kalabileceğini tartışmışlardır. Karmaşık, dışbükey olmayan bir sistem içinde, küresel minimumu belirlemede bazı zorluklar yaşamışlardır. Yazarlar, yerel minimumda ihmal edilemez bir değere ilişkin yeni bir kavram getirerek bu sorunu çözmek için Adam'a dayalı dışbükey olmayan maliyet fonksiyonunun küresel minimum değerini bulmak için yöntemler geliştirmişlerdir. Klasik Adam formülü geliştirilmiş ve onu küresel minimumda sıfır yapmışlardır. Bu nedenle, değiştirilen iyileştiricinin hiçbir zaman yerel minimumda yakınsamadığı; yalnızca küresel minimumda yakınsayabilir olduğunu ortaya koymuşlardır (Yi vd., 2019).

Hapsari ve diğerleri, veri tahmini etkinliklerinin, sınıflandırma algoritmasındaki parametreleri optimize ederek tahminlerin doğruluğunu artırma girişimlerini gerektirdiğini savundular. Kesirli Gradyan İniş (FGD), bir SVM sınıflandırıcısındaki amaç fonksiyonları için düzenlenmemiş bir optimizasyon algoritması olarak önerilmiştir. FGD, kesirli değerler kullanarak SVM sınıflandırma modelini optimize etmektedir. Küçük bir öğrenme oranıyla, küçük aşamaları bulunur ve küresel minimumlara yaklaşma sürecinde daha küçük iterasyonlarla yakınsamaya ulaşmaktadır. Sonuçlar, 350. yinelemede, SGD optimizasyonunu kullanan SVM Sınıflandırıcı çıktılarının yakınsama aşamasına ulaştığını göstermiştir. SGD ve ardından FGD optimizasyonu ile, SVM sınıflandırıcısından 50 yineleme daha kısa bir yakınsama noktasına ulaşmaktadır (Hapsari vd., 2020).

Yu ve Liu, NWM-Adam'ı önerdiler. Fikirleri, önceki gradyanları

yeni gradyanlardan daha fazla belleğe yerleştirmek şeklindedir. NWM-Adam, birinci dereceden bir ağırlıklandırma mekanizmasına dayanan yeni bir GD optimizasyon algoritmasıdır. Önceki degradelerin sabit boyutlu pencerelerini kullanan optimizasyon algoritmalarının istenmeyen yakınsama davranışının üstesinden gelmek ve Adam ve AMSGrad'ın performansını artırmak için gradyan güncellemelerini ölçeklendirmişlerdir. Deneysel bulgular, NWM-Adam'ın diğer optimizasyon algoritmalarından daha iyi performansa sahip olacağını göstermektedir (Yu & Liu, 2019).

Zhao ve diğerleri [39], geri yayılımda öğrenme oranını otomatik olarak değiştirmek için Enerji Endeksine Dayalı Optimizasyon Yaklaşımı (EIOM) adlı yeni bir yöntem önermişlerdir. Çalışmalar, EIOM'a dayalı makine öğrenimi modelinin, diğer optimizasyon modellerinden daha yüksek sınıflandırma doğruluğu elde ettiğini göstermiş, bununla birlikte varsayılan bir değer seçmek dışında manuel ayarlama gerekli olmamıştır. Örneğin, Evrişimli Sinir Ağında (CNN) EIOM'un farklı gradyan iniş optimizasyonu ile karşılaştırıldığında doğruluk oranı %82,1 iken SGD, AdaDelta, RMSProp, Adam ve CLR için sırasıyla %76,2, %77,9, %77,1, %79,8, %75,5 olmuştur (N. Zhang vd., 2018).

Hong ve diğerlerinin araştırmasında, bir SGD paradigması ile eğitilen bir sinir ağı modelini ve bir heyelan duyarlılık modeli oluşturmak için özellik seçim sürecini ve ayarlama modellerini birleştiren bir GA'yı birleştiren NN-SGD-GA olan yeni hesaplama metodolojisi benimsenmiştir. Deneyler, optimize edilmiş sinir ağı modelinin en iyi tahmin potansiyeline (%88,10) sahip olduğunu, ardından Rastgele Orman (RF) (%86,26) ve Lojistik Regresyon (LR) (%85,83) modellerinin geldiğini ortaya koymuştur (Hong vd., 2020).

Sharma, belirli bir veri kümesinde GD için güvenilir veri örneklerini açgözlülükle seçerek bu tutarsızlığı çözmek için SGD'nin bir varyantı olan Yönlendirilmiş SGD (GSGD) Algoritmasının girişimlerini önermişlerdir. GSGD ile rehberli arama, sınırlı bir zaman bütçesi içinde, orijinal kanonik ve diğer SGDD değişkenlerine göre üstün yakınsama ve kesinlik oranı sağlamışlardır (Sharma, 2018).

Ren ve diğerleri, SGD'yi entegre ederek ve vektör regresyonunu destekleyerek, uçak motoru aerodinamik modeli (SGDSVR) için veriye dayalı bir simülasyon yaklaşımı önermişlerdir. Simülasyon veri bulguları ve gerçek uçuş verileri, önerilen algoritmaların gürültü ve çalışma koşulları açısından kararlı ve doğru olduğunu kanıtlamıştır (Ren vd., 2020).

TARTIŞMA

Yapılan ilgili çalışmalardan, birçok araştırmanın optimizasyon tekniklerini kullanırken farklı sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Veri seti seyrek ise, adaptif öğrenme oranı stratejilerinden biri en iyi sonuçlara sahip olabilmektedir. Ek bir avantaj olarak, öğrenme oranının ayarlanmasına gerek yoktur, ancak varsayılan değerle genellikle en iyi sonuçlar elde edilebilir. RMSprop, Adagrad'ın radikalce düşen öğrenme hızıyla çalışan bir alt versiyonudur. Adadelta'ya benzer, ancak pay güncelleme ifadesinde, Adadelta parametre değişikliklerinin RMS'sini kullanmaktadır. Nihai olarak Adam, RMSprop öngerilim düzeltmesini ve momentumu tanımlamaktadır. Başka bir deyişle, RMSprop, Adadelta ve Adam, karşılaştırılabilir koşullar altında iyi performans gösteren çok benzer algoritmalarıdır. İlginç bir şekilde, son zamanlarda yayınlanan birkaç makale, momentum olmadan vanilya SGD'yi ve öğrenme oranı için basit bir tavlama planını kullanmaktadır. Gösterildiği gibi, SGD normalde bir minimum bulma yöntemini başarmaktadır. Yine de, her iki optimizasyon algoritmasından çok daha uzun sürebilir ve belki de güvenilir bir başlatma ve tavlama stratejisine çok daha fazla bağımlı olabilir ve yerel minimumlardan ziyade eyer noktalarında takılıp kalabilir. Ek olarak, verimliliğin optimize edilmesi ve derin veya karmaşık bir sinir ağını eğitmek düşünülüyorsa, uyarlamalı öğrenme performans stratejilerinden biri kullanılmalıdır. Bu çalışmada, gradyan inişine dayalı optimizasyon teknikleri incelenmiştir ve bu optimizasyon teknikleri ve bunların eğitim modeli hızı ve yakınsama kalitesi üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Tablo 1'de gösterildiği gibi, maliyet fonksiyonunu azaltmak, yakınsama oranını ve eğitim hızını artırmak için farklı optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır. Tablo 2, yakınsama kalitesi, eğitim hızı, artılar ve eksiler açısından ilgili çalışmada tartışılan optimizasyon algoritmaları arasındaki farklılıkları göstermektedir.

Tablo 2: Optimizere göre kategorize edilmiş optimizasyon teknikleri arasında karşılaştırma

| Optimizeler | Yakınsama Kalitesi | Eğitim Hızı | Artılar | Eksiler | Açıklama |
|-------------|--|--|---|---|--|
| GD | Bu optimize edici için yakınsama kalitesi iyidir | Basit model için orta ve karmaşık model için düşük | Amaç fonksiyonunun dışbükey olduğu yerde, çözüm genel olarak optimaldir. | Hesaplamanın maliyeti yüksektir. | Doğru öğrenme oranını atayarak, yerel minimuma yakınsama riski ele alınabilir. |
| SGD | Bu optimize edici için yakınsama kalitesi iyidir | Basit model için orta ve karmaşık model için düşük | Her güncelleme için, hesaplama periyodu Kaydedilmiş eğitim örneklerinin toplam sayısına ve birçok tahmin maliyetine bağlı değildir. | Makul bir öğrenme oranı seçmek zordur ve tüm boyutlarda aynı öğrenme oranını kullanmak uygun değildir ve küresel minimuma ulaşmak zordur. | Doğru öğrenme oranını atayarak, yerel minimuma yakınsama riski ele alınabilir. |
| Momentum | Bu optimize edicide yakınsama kalitesi iyidir. | GD algoritmasına göre basit model için hızlı ve karmaşık model için orta düzeydedir. | Converges more Quickly özneteliğinin hesaplanması gerekir. | Her güncelleme için | Daha az Özellik numarasına sahip daha az karmaşık bir model için uygundur. |
| NAG | İyi kalitede yakınsama | Basit model için hızlı ve karmaşık model için orta düzeydedir. | GD algoritmasıyla karşılaştırıldığında, gerekli bellek daha azdır. | Yakınsama için uzun zaman alır, bazen yerel minimumda takılıp kalır ve ayrıca iyi bir öğrenme oranı seçmek zorlayıcıdır. | Daha az özellik sayısına sahip daha az karmaşık bir model için uygundur. |
| AdaGrad | Bu optimize edici küresel Minima'yı kaçırıyor | Hızlı | İterasyona göre uyarlanabilir şekilde değiştiği için öğrenme oranını manuel olarak güncellemeye gerek yoktur. | Çok sayıda iterasyon nedeniyle, öğrenme oranı azalır ve yavaş yakınsamaya neden olur. | Basit bir ikinci dereceden sorun için uygun |
| RMS Prop | Bu optimize edicinin kalite yakınsama ası bir şekilde kabul edilebilir | Hızlı | AdaGrad'ın en son aşamasında verimsiz öğrenme sorununu büyütme. Durağan olmayan ve konveks olmayan problemlerin optimizasyonu yeterlidir. | Güncelleme geç eğitimi döneminde yerel minimum etrafında tekrarlanabilir. | Karmaşık model için uygundur. |
| ADA | Bu | Hızlı | Nispeten kararlı | Bu gibi | Karmaşık bir |

| | | | | | |
|----------------|--|-------|---|--|--|
| M | optimize edicinin kalite yakınsaması bir şekilde kabul edilebilir | | olan, gradyan iniş sürecidir. Büyük veri kümeleri ve yüksek boyutlu alan ile, dışbükey olmayan optimizasyon problemlerinin çoğu için uygundur. | durumlarda, süreç yakınsamaz. | modelde çok sayıda özelliğe sahip seyrek gradyanlar için uygundur |
| Ada Max | Bu optimize edicinin kalite yakınsaması bir şekilde kabul edilebilir | Hızlı | Öğrenme oranının manuel olarak kalibre edilmesi ihtiyacını azaltır. Ağırlıkların ölçeklendirilmesini farklı olduğu yerlerde yakınsama, temel SGD'den daha hızlı ve daha verimlidir. | AdaGrad'ın dezavantajlarındaki birisi, optimizasyon yönteminin monoton bir şekilde azalan agresif öğrenme oranlarına yol açacak olmasıdır. | Karmaşık model için uygundur. |
| Nadam | Yakınsama kalitesi burada iyidir. | Hızlı | Adam algoritmasında m, NADAM, zaman zaman vanilya momentinden um üstün olan Nesterov momentumunu bütünleştirir. Karmaşık model için seyrek gradyanlar için iyi optimize edici. | Mekanizma belirli durumlarda yakınsamayabilir. | Karmaşık bir modelde çok sayıda özelliğe sahip seyrek gradyanlar için uygundur |

SONUÇ

GD, Makine Öğrenimi (ML) ve Derin Öğrenme'de (DL) en popüler optimizasyon algoritmasıdır. GD, birinci dereceden optimizasyon için bir algoritma olduğundan parametre değişiklikleri yapılırken yalnızca birinci türevin dikkate alınmaktadır. Belirli bir dizi senaryoda, makine öğreniminin kritik amacı, iyi çalışan ve ayrıntılı tahminler sağlayan bir model oluşturmaktır. Ancak, bunu başarmak için optimizasyon algoritmalarına ihtiyaç vardır. Başlangıçta, BGD, SGD ve Mini Batch olan çok sayıda GD algoritması versiyonu incelenmiştir. Daha sonra optimizasyon için en çok kullanılan Momentum, Nesterov Momentum, AdaGrad, AdaDelta, RMSProp, Adam, AdaMax ve Nadam optimizasyon teknikleri analiz edilmiştir. Son zamanlarda yayınlanan birkaç makale incelenmiştir ve her optimizasyon algoritmasının öğrenme hızı ve yakınsama açısından farklı olduğu bulunmuştur. Çalışma sonuçları, Nadam'ın diğer optimizasyon tekniklerine göre yakınsama oranı, eğitim hızı ve performans açısından daha mükemmel ve istikrarlı bir performans gösterdiğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

- Abdulazeez, A. M., Hajy, D. M., Zeebaree, D. Q., & Zebari, D. A. (2021). Robust watermarking scheme based LWT and SVD using artificial bee colony optimization. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 21(2), Art. 2.
- Adeen, N., Abdulazeez, M., & Zeebaree, D. (2020). Systematic review of unsupervised genomic clustering algorithms techniques for high dimensional datasets. *Technol. Reports Kansai Univ*, 62(3), Art. 3.
- Adem, K., Kiliçarslan, S., & Cömert, O. (2019). Classification and diagnosis of cervical cancer with stacked autoencoder and softmax classification. *Expert Systems with Applications*, 115, 557-564.
- Bai, M., Liu, H., Chen, H., Gu, S., & Zhang, Z. (2019). An improved algorithm for radar adaptive beamforming based on machine learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1325(1), 012114.
- Bargarai, F., Abdulazeez, A., Tiryaki, V., & Zeebaree, D. (2020). *Management of wireless communication systems using artificial intelligence-based software defined radio*.
- Baydin, A. G., Cornish, R., Rubio, D. M., Schmidt, M., & Wood, F. (2017). Online learning rate adaptation with hypergradient descent. *arXiv preprint arXiv:1703.04782*.
- Chandra, K., Meijer, E., Andow, S., Arroyo-Fang, E., Dea, I., George, J., Grueter, M., Hosmer, B., Stumpos, S., & Tempest, A. (2019). Gradient descent: The ultimate optimizer. *arXiv preprint arXiv:1909.13371*.
- Cui, X., Zhang, W., Tüske, Z., & Picheny, M. (2018). Evolutionary stochastic gradient descent for optimization of deep neural networks. *Advances in neural information processing systems*, 31.
- De, S., Mukherjee, A., & Ullah, E. (2018). Convergence guarantees for RMSProp and ADAM in non-convex optimization and an empirical comparison to Nesterov acceleration. *arXiv preprint arXiv:1807.06766*.
- Dogo, E. M., Afolabi, O. J., Nwulu, N. I., Twala, B., & Aigbavboa, C. O. (2018). A comparative analysis of gradient descent-based optimization algorithms on convolutional neural networks. *2018 international conference on computational techniques, electronics and mechanical systems (CTEMS)*, 92-99.
- Du, S., Lee, J., Tian, Y., Singh, A., & Poczos, B. (2018). Gradient descent learns one-hidden-layer cnn: Don't be afraid of spurious local minima. *International Conference on Machine Learning*, 1339-1348.
- Eesa, A. S., Orman, Z., & Brifcani, A. M. A. (2015). A novel feature-selection approach based on the cuttlefish optimization algorithm for intrusion detection systems. *Expert systems with applications*, 42(5), Art. 5.
- Endah, S. N., Widodo, A. P., Fariq, M. L., Nadianada, S. I., & Maulana, F. (2017). Beyond back-propagation learning for diabetic detection: Convergence comparison of gradient descent, momentum and Adaptive Learning Rate. *2017 1st international conference on informatics and computational sciences (ICICoS)*, 189-194.
- Fatima, N. (2020). Enhancing performance of a deep neural network: A comparative analysis of optimization algorithms. *ADCAIJ: Advances in Distributed Computing*

- and Artificial Intelligence Journal*, 9(2), Art. 2.
- Fei, Z., Wu, Z., Xiao, Y., Ma, J., & He, W. (2020). A new short-arc fitting method with high precision using Adam optimization algorithm. *Optik*, 212, 164788.
- Guo, L., Li, M., Xu, S., & Yang, F. (2020). Application of stochastic gradient descent technique for method of moments. *2020 IEEE International Conference on Computational Electromagnetics (ICCEM)*, 97-98.
- Hallen, R. (2017). *A study of gradient-based algorithms*.
- Hapsari, D. P., Utoyo, I., & Purnami, S. W. (2020). Fractional gradient descent optimizer for linear classifier support vector machine. *2020 Third International Conference on Vocational Education and Electrical Engineering (ICVEE)*, 1-5.
- Hardt, M., Recht, B., & Singer, Y. (2016). Train faster, generalize better: Stability of stochastic gradient descent. *International conference on machine learning*, 1225-1234.
- Hong, H., Tsangaratos, P., Ilia, I., Loupasakis, C., & Wang, Y. (2020). Introducing a novel multi-layer perceptron network based on stochastic gradient descent optimized by a meta-heuristic algorithm for landslide susceptibility mapping. *Science of the total environment*, 742, 140549.
- Jahwar, A. F., & Abdulazeez, A. M. (2020). Meta-heuristic algorithms for K-means clustering: A review. *PalArch's Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology*, 17(7), Art. 7.
- Kamsing, P., Torteeka, P., & Yooyen, S. (2020). An enhanced learning algorithm with a particle filter-based gradient descent optimizer method. *Neural Computing and Applications*, 32(16), Art. 16. <https://doi.org/10.1007/s00521-020-04726-9>
- Keegan, B. (2018). Using first-order stochastic based optimizers in solving regression models. *2018 IEEE MIT Undergraduate Research Technology Conference (URTC)*, 1-4.
- Kemal, A., & Kilicarslan, S. (2019). Performance analysis of optimization algorithms on stacked autoencoder. *2019 3rd international symposium on multidisciplinary studies and innovative technologies (ISMSIT)*, 1-4.
- Kim, J., & Kim, H. (2017). An effective intrusion detection classifier using long short-term memory with gradient descent optimization. *2017 International Conference on Platform Technology and Service (PlatCon)*, 1-6.
- Kingma, D. P., & Ba, J. (2014). Adam: A method for stochastic optimization. *arXiv preprint arXiv:1412.6980*.
- Kirori, Z. (2019). *Performance Analysis of Stochastic Gradient Descent-Based Algorithms for Time Series Sequence Modeling*.
- Lancewicki, T., & Kopru, S. (2020). Automatic and Simultaneous Adjustment of Learning Rate and Momentum for Stochastic Gradient-based Optimization Methods. *ICASSP 2020-2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 3127-3131.
- Li, D., Chen, C., Lv, Q., Gu, H., Lu, T., Shang, L., Gu, N., & Chu, S. M. (2018). AdaError: An adaptive learning rate method for matrix approximation-based collaborative filtering. *Proceedings of the 2018 World Wide Web Conference*, 741-751.
- Lu, S., & Jin, Z. (2017). Improved Stochastic gradient descent algorithm for SVM. *International Journal of Recent Engineering Science (IJRES)*, 4(4), Art. 4.
- Lydia, A., & Francis, S. (2019). Adagrad—An optimizer for stochastic gradient descent. *Int. J. Inf. Comput. Sci*, 6(5), Art. 5.

- Maulud, D., & Abdulazeez, A. M. (2020). A review on linear regression comprehensive in machine learning. *Journal of Applied Science and Technology Trends*, 1(4), Art. 4.
- Mohammed, N. N., Cawthorne, M., & Abdulazeez, A. M. (2018). Detection of Genes Patterns with an Enhanced Partitioning-Based DBSCAN Algorithm. *Journal of information and communication engineering*, 4(1), Art. 1.
- Mukkamala, M. C., & Hein, M. (2017). Variants of rmsprop and adagrad with logarithmic regret bounds. *International conference on machine learning*, 2545-2553.
- Najat, N., & Abdulazeez, A. M. (2017). Gene clustering with partition around mediods algorithm based on weighted and normalized Mahalanobis distance. *2017 International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences (ICIIBMS)*, 140-145.
- Nwankpa, C. E. (2020). Advances in optimisation algorithms and techniques for deep learning. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 5(5), Art. 5.
- Omar, N., Abdulazeez, A. M., Sengur, A., & Al-Ali, S. G. S. (2020). Fused faster RCNNs for efficient detection of the license plates. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 19(2), Art. 2.
- Orr, G., Schraudolph, N., & Cummins, F. (2016). Momentum and learning rate adaptation. *CS-449: Neural Networks*.
- Othman, G., & Zeebaree, D. Q. (2020). The applications of discrete wavelet transform in image processing: A review. *Journal of Soft Computing and Data Mining*, 1(2), Art. 2.
- Qu, Z., Yuan, S., Chi, R., Chang, L., & Zhao, L. (2019). Genetic optimization method of pantograph and catenary comprehensive monitor status prediction model based on adadelta deep neural network. *IEEE access*, 7, 23210-23221.
- Reisizadeh, A., Mokhtari, A., Hassani, H., & Pedarsani, R. (2019). An exact quantized decentralized gradient descent algorithm. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 67(19), Art. 19.
- Ren, L.-H., Ye, Z.-F., & Zhao, Y.-P. (2020). A modeling method for aero-engine by combining stochastic gradient descent with support vector regression. *Aerospace Science and Technology*, 99, 105775.
- Sadeeq, H., & Abdulazeez, A. M. (2018). Hardware implementation of firefly optimization algorithm using FPGAs. *2018 International Conference on Advanced Science and Engineering (ICOASE)*, 30-35.
- Sadiq, S. S., Abdulazeez, A. M., & Haron, H. (2020). Solving multi-objective master production schedule problem using memetic algorithm. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 18(2), Art. 2.
- Saeed, J. N. (2020). *A survey of ultrasonography breast cancer image segmentation techniques*. Infinite Study.
- Sharma, A. (2018). Guided stochastic gradient descent algorithm for inconsistent datasets. *Applied Soft Computing*, 73, 1068-1080.
- Si, Z., Wen, S., & Dong, B. (2019). NOMA codebook optimization by batch gradient descent. *IEEE Access*, 7, 117274-117281.
- Solanke, A. V. (2020). Intrusion Detection using Deep Learning Approach with Different Optimization. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 8(5), Art. 5. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2020.5022>
- Tao, H., & Lu, X. (2018). On comparing six optimization algorithms for network-based

- wind speed forecasting. *2018 37th Chinese Control Conference (CCC)*, 8843-8850.
- Vani, S., & Rao, T. M. (2019). An experimental approach towards the performance assessment of various optimizers on convolutional neural network. *2019 3rd international conference on trends in electronics and informatics (ICOEI)*, 331-336.
- Wang, B., & Ye, Q. (2020). Stochastic gradient descent with nonlinear conjugate gradient-style adaptive momentum. *arXiv preprint arXiv:2012.02188*.
- Wibowo, A., Wiryawan, P. W., & Nuqoyati, N. I. (2019). Optimization of neural network for cancer microRNA biomarkers classification. *Journal of Physics: Conference Series*, *1217*(1), 012124.
- Yang, Z., Wang, C., Zhang, Z., & Li, J. (2019). Mini-batch algorithms with online step size. *Knowledge-Based Systems*, *165*, 228-240.
- Yaqub, M., Feng, J., Zia, M. S., Arshid, K., Jia, K., Rehman, Z. U., & Mehmood, A. (2020). State-of-the-art CNN optimizer for brain tumor segmentation in magnetic resonance images. *Brain Sciences*, *10*(7), Art. 7.
- Yi, D., Ji, S., & Bu, S. (2019). An enhanced optimization scheme based on gradient descent methods for machine learning. *Symmetry*, *11*(7), 942.
- Yu, Y., & Liu, F. (2019). Effective neural network training with a new weighting mechanism-based optimization algorithm. *IEEE Access*, *7*, 72403-72410.
- Zebari, D. A., Zeebaree, D. Q., Abdulazeez, A. M., Haron, H., & Hamed, H. N. A. (2020). Improved threshold based and trainable fully automated segmentation for breast cancer boundary and pectoral muscle in mammogram images. *Ieee Access*, *8*, 203097-203116.
- Zebari, D. A., Zeebaree, D. Q., Saeed, J. N., Zebari, N. A., & Adel, A.-Z. (2020). Image steganography based on swarm intelligence algorithms: A survey. *people*, *7*(8), Art. 8.
- Zeebaree, D. Q., Abdulazeez, A. M., Hassan, O. M. S., Zebari, D. A., & Saeed, J. N. (2020). Hiding image by using contourlet transform. *vol*, *83*, 16979-16990.
- Zeebaree, D. Q., Abdulazeez, A. M., Zebari, D. A., Haron, H., & Hamed, H. N. A. (2021). Multi-level fusion in ultrasound for cancer detection based on uniform LBP features. *Computers, Materials & Continua*, *66*(3), Art. 3.
- Zeebaree, D. Q., Haron, H., Abdulazeez, A. M., & Zebari, D. A. (2019a). Machine learning and region growing for breast cancer segmentation. *2019 International Conference on Advanced Science and Engineering (ICOASE)*, 88-93.
- Zeebaree, D. Q., Haron, H., Abdulazeez, A. M., & Zebari, D. A. (2019b). Trainable model based on new uniform LBP feature to identify the risk of the breast cancer. *2019 international conference on advanced science and engineering (ICOASE)*, 106-111.
- Zeebaree, D. Q., Haron, H., Abdulazeez, A. M., & Zeebaree, S. R. (2017). Combination of K-means clustering with Genetic Algorithm: A review. *International Journal of Applied Engineering Research*, *12*(24), Art. 24.
- Zeiler, M. D. (2012). Adadelta: An adaptive learning rate method. *arXiv preprint arXiv:1212.5701*.
- Zhang, J. (2019). Gradient descent based optimization algorithms for deep learning models training. *arXiv preprint arXiv:1903.03614*.
- Zhang, N., Lei, D., & Zhao, J. F. (2018). An improved Adagrad gradient descent optimization algorithm. *2018 Chinese Automation Congress (CAC)*, 2359-2362.
- Zhao, H., Liu, F., Zhang, H., & Liang, Z. (2019). Research on a learning rate with

energy index in deep learning. *Neural Networks*, 110, 225-231.

Zou, F., Shen, L., Jie, Z., Zhang, W., & Liu, W. (2019). A sufficient condition for convergences of adam and rmsprop. *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, 11127-11135.

Zou, T., & Sugihara, T. (2020). Fast identification of a human skeleton-marker model for motion capture system using stochastic gradient descent method. *2020 8th IEEE RAS/EMBS International Conference for Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob)*, 181-186.

BÖLÜM 10

DÜNYADA TÜRK MERMERLERİNİN YERİ VE ÖNEMİ

*Esmâ KAHRAMAN*¹

¹ Dr., Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü ORCID: 0000-0002-4326-7202

1. GİRİŞ

Bilimsel olarak mermer; kalker ve dolomitik kalkerin ısı ve basınç altında metamorfizma geçirerek yeniden kristallenmesi sonucu oluşan kayalardır. Ticari tanımı ise mermer; kesilip parlatılarak satılabilen her türlü kayaç olarak adlandırılmaktadır (Köse ve Onargan, 1992).

Mermerler görünüşleri, renkleri, yapısal-dokusal özellikleri, gösterişli ve dayanıklı olması sebebiyle çok eski zamanlardan beri yapılarda, görsel sanatlarda ve özel mimarilerde yaygın olarak kullanılan en önemli hammaddelerdendir.

Selçuklu ve Osmanlı mimarisinde mermer; mimari yapılarda kubbe, sütun, sütun başlıkları, duvar-zemin-iç mekan kaplama, taç kapı, minber, mihrap, basamak, korkuluk, çeşme, havuz ve kitabelerde kullanıldığı görülmektedir (Çelik, 2003; Şimşek ve Kaynar, 2011). Şekil 1’de Osmanlı döneminde yapılan Dolma Bahçe Sarayı’na ait bir görüntü görülmektedir.



Şekil 1. Dolmabahçe Sarayı mermer uygulaması (Beşkonaklı, 2017)

Cumhuriyetin ilk dönemlerinde ise İstanbul ve Ankara gibi büyük şehirler başta olmak üzere pek çok bina inşasında kullanılmıştır (Çelik, 2003). Günümüzde de mermerin yapılarda kullanımı giderek artan oranlarda devam etmektedir. Ayrıca endüstriyel gelişmeler ve artan nüfus ile birlikte mermere olan talep son yıllarda yükselişe geçmiştir. Bu durum üretim miktarını ve ihracat gelirlerini arttırmıştır.

Ülkemiz mermerleri dünya genelinde nadir bulunmaktadır. Dünya mimarisinde de önemli yere sahip olan mermerlerimiz iç ve dış pazarda oldukça önemli gelir kaynağıdır.

2. TÜRKİYE'DE MERMER YATAKLARININ DURUMU

Portekiz, İspanya, İtalya, Yunanistan, Türkiye, İran, Pakistan başta olmak üzere Alp-Himalaya kuşağı içerisinde bulunan pek çok ülke mermer, kireçtaşı, traverten ve oniks rezervi açısından oldukça zengindir. Asya kıtasında; başta Çin olmak üzere, Hindistan, İran ve Avrupa kıtasında İtalya, İspanya, Türkiye ve Portekiz doğal taş üretimi ve ticaretinde önde gelen ülkeler arasındadır.

Stratejik konumu ve jeolojik yapısından dolayı önemli doğal taş rezervine sahip ülkemiz günümüz verilerine göre 4 milyar m³ işletilebilir mermer rezervine sahiptir. Mermer rezervimizin yanında 2,8 milyar m³ işletilebilir traverten, 1 milyar m³ granit rezervimiz bulunmaktadır. Toplam 7,8 milyar m³ işletilebilir doğal taş miktarı ile dünya doğal taş rezervinin yaklaşık %40'ına sahiptir (İMİB, 2021; İMİB, 2022). Mermer pazarındaki yapılan araştırmalar 80'nin üzerinde değişik yapıda, 120'nin üzerinde farklı renk ve dokuya sahip mermer rezervi belirlenmiştir (TCTB, 2021). Mermer rezerv miktarımız ve çeşitliliğimiz önemli bir iç ve dış pazarda sektörün oldukça önemli bir konumda olmasını sağlamakla birlikte kayda değer bir istihdam kaynağı oluşturmaktadır

3. ULUSLARARASI PAZARDA TANINMIŞ MERMERLERİMİZ

Ülkemizde üretilen ve uluslararası pazarda tanınmış mermerimizin başında Süpren, Elazığ Vişne, Akşehir Siyah, Manyas Beyaz, Bilecik Bej, Kaplan Postu, Ege Bordo, Milas Leylak, ve Afyon Şeker gelmektedir. Bu mermerlerin genel özellikleri aşağıdaki başlıklarda özetlenmiştir.

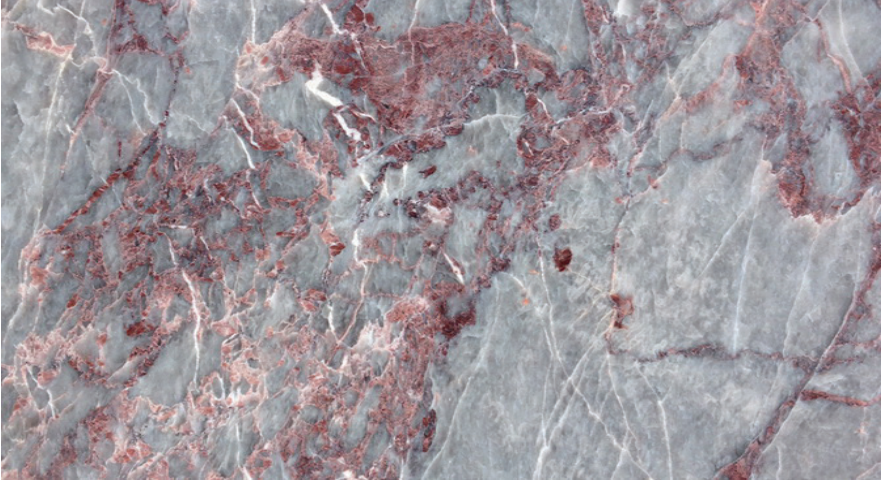
3.1. Süpren Mermeri Özellikleri

Süpren mermeri ülkemizin tarihi binalarını süsleyen nadir bulunan klasik bir Türk doğal taşıdır. Eskişehir ilinin Süpren köyünde üretilmektedir. Oluşum mekanizması incelendiğinde; Triyas yaşlı, rekristalize kireçtaşıdır. Kalsit kristalleri 0,9-1,9 mm aralığında değişmektedir. Koyu gri ve beyaz renk üzerinde bordo-mor-turuncu damarlar şeklinde katalastik tekstür göstermektedir (Güneş ve Gökten, 2005). Bu renk dalgalanması mermerin gösterişini arttırmaktadır (Şekil 2).

Kimyasal içeriği; %0,56 SiO₂, %0.57 Fe₂O₃, %53,26 CaO ve %1,42 MgO'dan meydana gelmektedir (URL-1). Süpren mermerine ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Süpren mermerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (URL-1)

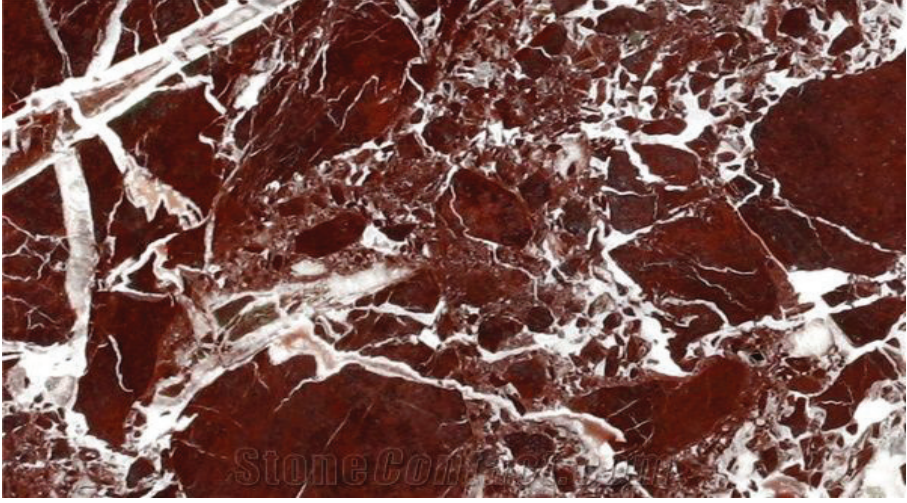
| Özellik | Değer |
|-----------------------------|---------------------------------------|
| Mohs Sertliği | 3-4 |
| Birim hacim ağırlık | 2,70 g/cm ³ |
| Yoğunluk | 2,76 g/cm ³ |
| Ağırlıkça su emme oranı | % 0,1 |
| Porozite | % 0,3 |
| Tek eksenli basınç dayanımı | 699 kgf/cm ² |
| Böhme aşınma dayanımı | 25 cm ³ /50cm ² |

**Şekil 2.** Süpren mermerinin görüntüsü (URL-2)

İç ve dış cephe kaplama, döşeme, dekorasyon, mutfak tezgahı yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.2. Elazığ Vişne Mermeri

Dünyada ender bulunan ve Türkiye’de sadece Elazığ’da çıkarılan vişne mermeri, ülkemiz ile birlikte 60’a yakın ülkede seçkin mekanları süslemektedir. Alacakaya ilçesi ve çevresinde üretilen, vişne renginde, beyaz damarlı bir mermerdir (Şekil 3). Yapılarda dekorasyon işlemlerinde büyük ilgi görmekte ve 4 kıtada 60’dan fazla ülkeye ihraç edilmektedir. İlk üretim yıllarında İtalyan bir firma aracılığı ile Beyaz Saray’a uygulanmış ardından Kabe’ye yakın Safa ve Merve dağlarının olduğu tepelerin arasındaki mekanlarda kullanımıyla popüleritesi artmıştır. Bu durum sonrasında dünya çapında kullanımı artmış ve Dubai ve Palmiye Adaları’ndaki turistik mekan ve otellerde, Burj Khalifa, Victoria’s Secret gibi pek çok dünya markasının satış mağazasında, Dolce-Gabbana moda tasarım mekanlarında ve Güney Afrika mağazaları gibi birçok mekanda kullanılmıştır (FKA, 2011).



Şekil 3. Elazığ mermerinin görüntüsü (URL-3)

Kimyasal içeriği; %30,50 SiO₂, %10,66 Fe₂O₃, %20,60 CaO, %22,01 MgO ve %0,75 Al₂O₃'den meydana gelmektedir (Kördemir, 2018). Elazığ vişne mermerine ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Elazığ Vişne mermerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (URL-4, URL-5)

| Özellik | Değer |
|-----------------------------|---|
| Mohs Sertliği | 4 |
| Birim hacim ağırlık | 2,69 g/cm ³ |
| Yoğunluk | 2,71 g/cm ³ |
| Ağırlıkça su emme oranı | % 0,48 |
| Porozite | % 1,31 |
| Tek eksenli basınç dayanımı | 1274 kgf/cm ² |
| Böhme aşınma dayanımı | 23,2 cm ³ /50cm ² |

3.3. Akşehir Siyah Mermeri

Konya İli Akşehir İlçesinde üretilen, siyah yüzey üzerinde kısım kısım beyaz ve gri kılcal damarlara sahip oldukça gösterişli bir mermerdir (Şekil 4). Yapılarda özellikle iç cephe kaplamada, merdiven döşemede, mutfak tezgahı ve banyo lavabolarında da sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca bina dış cephelerinde de kullanımı yaygındır.



Şekil 4. Akşehir Siyah mermerinin görüntüsü (URL-6)

Kimyasal içeriği; %0,49 SiO₂, %0,30 Fe₂O₃, %55,40 CaO ve %0,05 MgO'dan meydana gelmektedir (URL-6). Akşehir siyah mermerine ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Akşehir Siyah mermerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (URL-6, Akbay ve ark., 2012)

| Özellik | Değer |
|-----------------------------|--|
| Mohs Sertliği | 4 |
| Birim hacim ağırlık | 2,698 g/cm ³ |
| Yoğunluk | 2,710 g/cm ³ |
| Ağırlıkça su emme oranı | % 0,28 |
| Porozite | % 0,76 |
| Tek eksenli basınç dayanımı | 807,31 kgf/cm ² |
| Böhme aşınma dayanımı | 20,30 cm ³ /50cm ² |

3.4. Manyas Beyaz Mermeri

Balıkesir'in Manyas bölgesinden çıkartılan Skyline Mermer, Palisandra Mermer ismiyle de bilinir. Ağırlıklı beyaz renkli olmasına rağmen yer yer açık ve koyu gri, bej, kahverengi tonlarında geçişler görülür (Şekil 5). Bu geçişler Skyline Mermeri renkli mermerler kategorisine eklememi-ze öncülük sağlamıştır.



Şekil 5. Manyas beyaz mermerinin görüntüsü (URL-7)

Kimyasal içeriği; %0,10 SiO₂, %0,04 Fe₂O₃, %55,40 CaO, %0,23 MgO ve %0,02 Al₂O₃’den meydana gelmektedir (Yavuz ve ark., 2002). Manyas beyaz mermerine ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Manyas beyaz mermerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (Yavuz ve Topal, 2007)

| Özellik | Değer |
|-----------------------------|--|
| Mohs Sertliği | 3-4 |
| Birim hacim ağırlık | 2,660 g/cm ³ |
| Yoğunluk | 2,710 g/cm ³ |
| Ağırlıkça su emme oranı | % 0,05 |
| Porozite | % 0,14 |
| Tek eksenli basınç dayanımı | 612.84 kgf/cm ² |
| Böhme aşınma dayanımı | 23,24 cm ³ /50cm ² |

3.5. Bilecik Bej Mermeri

Bilecik bej mermeri eski zamanlardan beri yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Açık bej üzeri biraz daha koyu ince damarlardan oluşmaktadır (Şekil 6). Yapısı, dokusu ve renginden dolayı yapılarla büyük bir uyum sağlamaktadır. Cila alma kabiliyetinin de yüksek olması diğer bir tercih sebebidir. Dış ve iç cephe kaplamada, merdiven döşemede ve mut-fak tezgahlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 6. Bilecik bej mermerinin görüntüsü (URL-8)

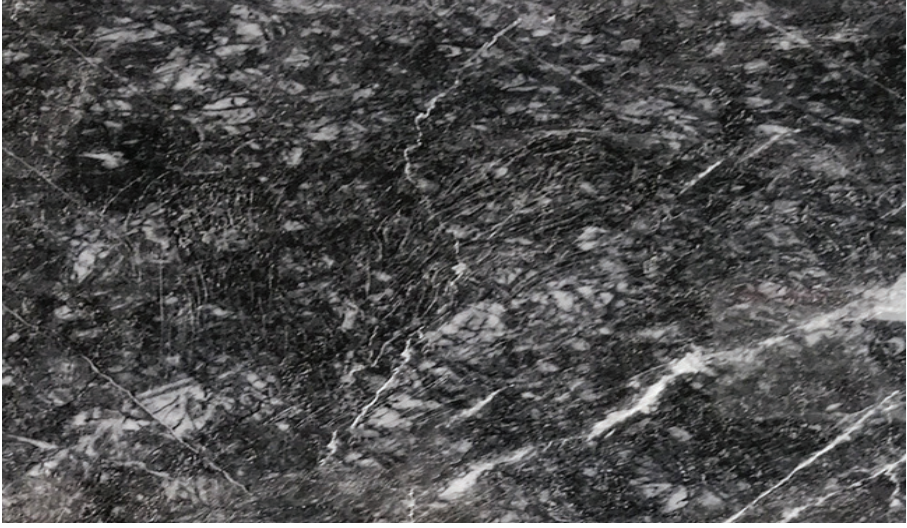
Kimyasal içeriği; %1,63 SiO₂, %0,67 Fe₂O₃, %53,48 CaO ve %0,46 MgO'dan meydana gelmektedir (URL-8). Bilecik bej mermerine ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Bilecik Bej mermerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (URL-8)

| Özellik | Değer |
|-----------------------------|--|
| Mohs Sertliği | 3-4 |
| Birim hacim ağırlık | 2,680 g/cm ³ |
| Yoğunluk | 2,700 g/cm ³ |
| Ağırlıkça su emme oranı | % 0,14 |
| Porozite | % 0,79 |
| Tek eksenli basınç dayanımı | 1010 kgf/cm ² |
| Böhme aşınma dayanımı | 16,50 cm ³ /50cm ² |

3.6. Kaplan Postu Mermeri

Kaplan postu mermeri siyah ve gri tonlarındaki yoğun renk ve desenler ile irili ufaklı benekli görüntüsünden dolayı eşsiz bir görünüme sahiptir (Şekil 7). Üretim aşamalarında hiç bir plaka birbiri ile benzerlik göstermez ve bu durum daha çok tercih edilmesine sebep olmaktadır. Dekoratif olarak oldukça şık olmasından dolayı anıt ve heykel çalışmalarında, sanatsal faaliyetlerde, duvar ve zemin kaplamada yaygın olarak tercih edilmektedir.



Şekil 7. Kaplan postu mermerinin görüntüsü (URL-9)

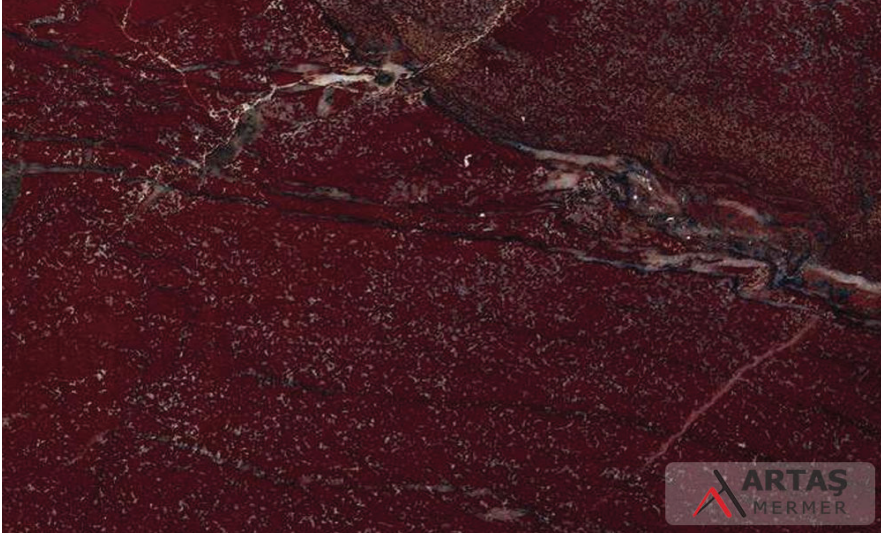
Kimyasal içeriği; %0,36 SiO₂, %0,04 Fe₂O₃, %55 CaO, %0,28 Al₂O₃ ve %0,62 MgO'dan meydana gelmektedir (Çelik ve Sabah, 2008). Kaplan postu mermerine ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Kaplan postu mermerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (İMMİB, 1990, Çelik ve Sabah, 2008)

| Özellik | Değer |
|-----------------------------|--|
| Mohs Sertliği | 4 |
| Birim hacim ağırlık | 2,710 g/cm ³ |
| Yoğunluk | 2,730 g/cm ³ |
| Ağırlıkça su emme oranı | % 0,10 |
| Porozite | % 0,2 |
| Tek eksenli basınç dayanımı | 648 kgf/cm ² |
| Böhme aşınma dayanımı | 33,30 cm ³ /50cm ² |

3.7. Ege Bordo Mermeri

Muğla-Milas bölgesinde üretilen renk ve dokusu ile mimari çalışmalarda kullanımı yaygındır. Bordo yüzey rengi üzerinde çoğunlukla siyah ve ara ara da beyaz damarlardan oluşmaktadır (Şekil 8). Parlatma ve cila alma özelliği oldukça iyidir.



Şekil 8. Ege bordo mermeri görüntüsü (URL-10)

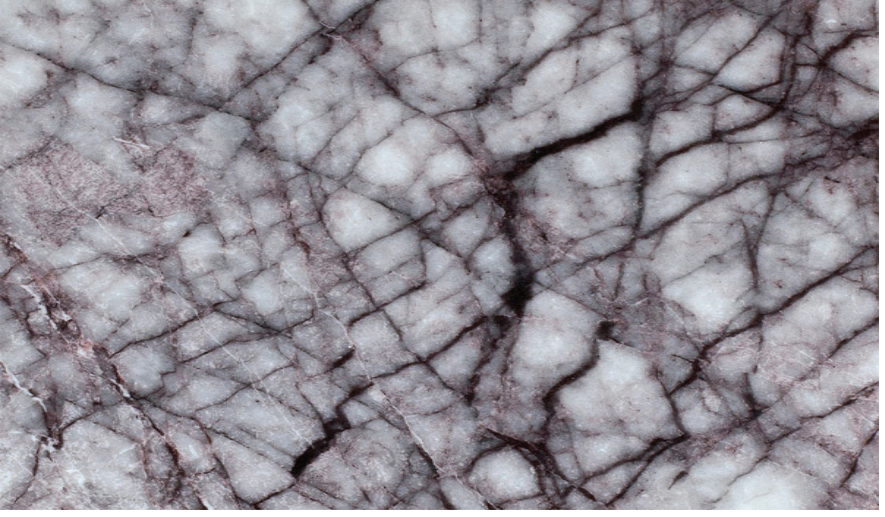
Kimyasal içeriği; %3,24 SiO₂, %0,70 Fe₂O₃, %54,20 CaO ve 1,40 Al₂O₃’den meydana gelmektedir (Üz ve Taşkın, 2017). Ege bordo mermerine ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7. Ege bordo mermerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (Gezen, 2013)

| Özellik | Değer |
|-----------------------------|--|
| Mohs Sertliği | 4 |
| Birim hacim ağırlık | 2,732 g/cm ³ |
| Yoğunluk | 2,740 g/cm ³ |
| Ağırlıkça su emme oranı | % 0,05 |
| Porozite | % 0,13 |
| Tek eksenli basınç dayanımı | 878,59 kgf/cm ² |
| Böhme aşınma dayanımı | 16,93 cm ³ /50cm ² |

3.8. Milas Leylak Mermeri

Muğla Milas’ta üretilen mor ve lila damarlı ve bantlı beyaz oldukça gösterişli bir Türk mermerdir (Şekil 9). Mutfak tezgahlarında, iç ve dış cephe kaplamada, duvarlar, zeminler, taş mozaikler, dekoratif öğeler, iç mekan döşemeleri, duvar kaplamaları, merdivenler, bordürler, sütunlar vb. için idealdir. Mimarlar tasarımlarında leylak mermerini kalitesi ve gösterişli olması nedeniyle yaygın olarak tercih etmektedir.



Şekil 9. Milas Leylak mermerinin görüntüsü (URL-11)

Kimyasal içeriği; %0,01 SiO₂, %0,136 Fe₂O₃, %6,96 MgO, %47,10 CaO ve 0,035 Al₂O₃'den meydana gelmektedir (Yavuz, 2001). Milas leylak mermerine ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. Milas leylak mermerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (URL-12)

| Özellik | Değer |
|-----------------------------|---|
| Mohs Sertliği | 3 |
| Birim hacim ağırlık | 2,721 g/cm ³ |
| Yoğunluk | 2,742 g/cm ³ |
| Ağırlıkça su emme oranı | % 0,10 |
| Porozite | % 0,20 |
| Tek eksenli basınç dayanımı | 1000,19 kgf/cm ² |
| Böhme aşınma dayanımı | 17,7 cm ³ /50cm ² |

3.9. Afyon Şeker Mermeri

Afyon Şeker mermeri sarı damarlı bej renklidir ve beyaz renkli kalsit mineral damarları Tektonik hareketlerle oluşan çatlaklar sarı demir oksit ile doldurulmuştur ve breş bir yapıya sahiptir (Şekil 10) (Çelik ve Sabah, 2008).



Şekil 10. Afyon Şeker mermerinin görüntüsü (URL-13)

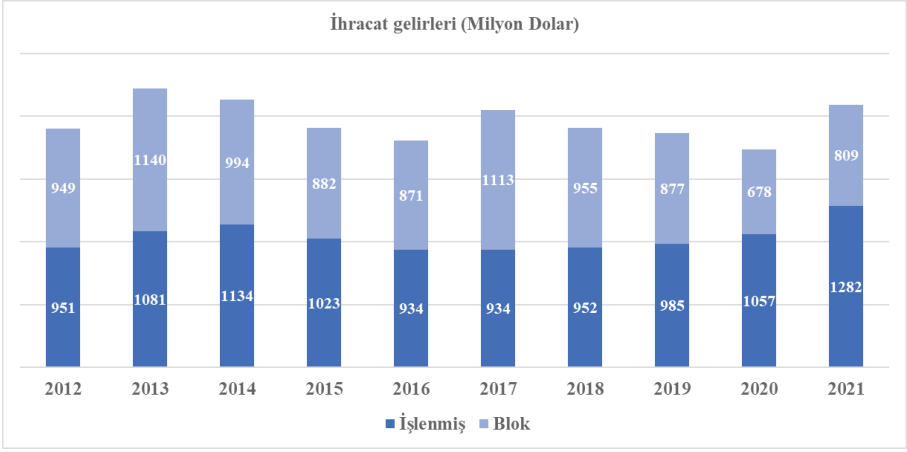
Kimyasal içeriği; %0,09 SiO₂, %0,125 Fe₂O₃, %53,80 CaO ve 0,08 Al₂O₃'den meydana gelmektedir (Emek, 2015). Afyon şeker mermerine ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 9. Afyon şeker mermerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (Çelik ve Sabah, 2008; İMMİB, 1990)

| Özellik | Değer |
|-----------------------------|---------------------------------------|
| Mohs Sertliği | 3 |
| Birim hacim ağırlık | 2,730 g/cm ³ |
| Yoğunluk | 2,750 g/cm ³ |
| Ağırlıkça su emme oranı | % 0,10 |
| Porozite | % 0,20 |
| Tek eksenli basınç dayanımı | 701 kgf/cm ² |
| Böhme aşınma dayanımı | 39 cm ³ /50cm ² |

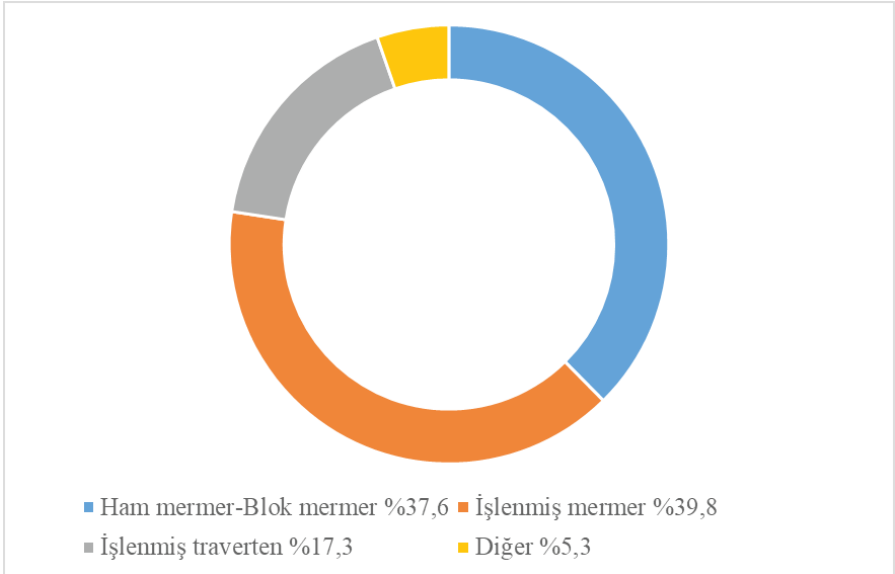
4. ÜLKEMİZ MERMER İHRACATI VE EKONOMİYE KATKISI

2021 yılında doğal taş ihracat miktarımızda 7,78 milyon ton olarak gerçekleşmiş ve bir önceki yıla göre %20,31 artış sağlamıştır. İhracat geliri olarak ise %20,54 oranında artış kaydederek, 2,09 milyar dolar gelir elde edilmiştir (İMBM, 2021). Şekil 11'de 2012-2021 yılları arasındaki ham ve işlenmiş bloktan elde edilen ihracat gelirleri görülmektedir.



Şekil 11. 2012-2021 yılları arasındaki işlenmiş ve blok doğal taş ihracat gelirleri

2021 yılında doğal taş sektöründe gerçekleştirilen ihracatın ürün grubuna göre dağılımları ise Şekil 12’de görülmektedir. Şekil 12 incelendiğinde; ihracatın %77,4’ünün ham blok mermer ve işlenmiş mermer kaynaklı olduğu görülmektedir (İMBM, 2021).



Şekil 12. 2021 yılında doğal taş sektöründe gerçekleştirilen ihracatın ürün grubuna göre dağılımları

2021 yılında gerçekleşen mermer ihracatının durumunu değerlendirecek olursak; işlenmiş mermer ihracatımız 2020 yılına göre %10,65 oranında artış göstererek 2.075.277 bin ton seviyesinde ve blok mermer-traverten ihracatımız ise 2020 yılına göre %21,96 oranında artış göstererek 4.231.114 bin ton seviyesinde gerçekleşmiştir (İMBM, 2021).

2021 yılında İşlenmiş Mermer ihracatımız bir önceki yılın aynı dönemine göre miktarda %10,65 ve değerinde %14,82 oranında artış göstererek 2.075.277 bin ton karşılığı 832,31 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir. İşlenmiş Mermer ihracatımızda; Amerika Birleşik Devletleri ilk sırada yer almaktadır. Ardından sırasıyla Irak, İsrail, Birleşik Arap Emirlikleri, Avustralya ve Libya gelmektedir. 2021 yılında mermer-traverten ham, kabaca yontulmuş veya blok ihracatımız bir önceki yılın aynı dönemine göre miktarda %21,96 ve değerinde %18,73 oranında artış göstererek 4.231.114 bin ton karşılığı 787,24 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir. Mermer-traverten ham, kabaca yontulmuş veya blok ihracatımızda Çin Halk Cumhuriyeti ilk ilk sırada yer almaktadır. Ardından sırasıyla Hindistan, Mısır İtalya, Tayvan ve Yunanistan gelmektedir (İMBM, 2021).

SONUÇLAR

Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte yapı sektörü ana hammadelerine olan talepte gün geçtikçe ivme kazanmıştır. Çevre bilinci yüksek ve çevreye duyarlı bir toplum anlayışının yaygınlaştığı günümüz dünyasında mermer gibi doğal yapı taşlara olan ilgide gün geçtikçe artmaktadır.

Ülkemiz jeopolitik konumu itibari ile mermer oluşumu açısından oldukça önemli bir noktadadır. Rezerv ve üretim bakımından dünya mermer talebini karşılamada öncü ülkeler arasında olan ülkemizin gelecekte mermer ihracatında da daha ileriye gideceği şüphesizdir. Fakat ülke gelirene daha da katma değer sağlaması açısından mermer ihracatımızda blok ürünlerin yerine işlenmiş ve boyutlandırılmış ürünlerin satışını arttırmak bir gereklilik haline gelmiştir. Ayrıca bu kadar mermer çeşitliliğine sahip olmasına karşın ülkemiz mermerleri uluslararası piyasalarda yeterince tanıtılmamıştır. Doğal taş fuarlarında mermer çeşitliliğinin sergilenmesi sektör açısından çok önemli avantajlar sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Akbay, D., Efe, T., Şengün, N., Demirdağ, S., Altındağ, R., Erinç Koççaz, C. (2012). Donma-çözülme ve termal şok koşullarının bazı mermerler üzerindeki etkilerinin incelenmesi. *MERSEM*, 8, 13-15.
- Beşkonaklı, J. (2017). Osmanlı Dönemi Arşiv Belgelerinde Dolmabahçe Sarayı Cephe Onarımlarında Kullanılan Yöntemler. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, (18), 38-46.
- Çelik, M. Y. (2003). Dekoratif doğal yapı taşlarının kullanım alanları ve çeşitleri. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 42(1), 3-15.
- Çelik, M. Y., Sabah, E. (2008). Geological and technical characterisation of Iscehisar (Afyon-Turkey) marble deposits and the impact of marble waste on environmental pollution. *Journal of environmental management*, 87(1), 106-116.
- Emek, G. (2015). Cehpe Kaplamada Kullanılan Doğaltaşların Montajında Saplama Deliginde Kırılma Yükünün Belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2015., 108 s.
- FKA, (2011). Sektörel araştırmalar serisi-2 Elazığ mermer raporu. *Fırat Kalkınma Ajansı*, 56 s.
- Gezen, Z. (2013). Kristal boyutunun mermerlerin malzeme özellikleri ile durabilirlikleri üzerindeki etkisi, *Yüksek lisans tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 185s.
- Güneş, N., Gökten, R.M. (2005). Türkiye doğal taşlarının coğrafi bilgi sistemleri ortamında değerlendirilmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi* 18.1, 1-18.
- İMİB, (2022). Doğaltaş yataklarının durumu, işletmeciliği ve geleceği, İstanbul, 31s.
- İMİB, (2021). İstanbul maden ihracatçıları birliği maden sektörü ihracatının genel değerlendirilmesi raporu, ss. 34-53.
- İMMİB, (1990). İstanbul maden ihracatçıları birliği mermer katalogu, İstanbul.
- Kördemir, Y. (2018). Altıoluk (Alacakaya-Elazığ) çevresinin jeolojisi ve rosso-le-vanto mermerlerin oluşumu, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Elazığ, 53 s.
- Köse, H., Onargan, T. (1992). *Mermer Üretimi, Kesme Teknolojisi, Ekonomisi*, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, 204s.
- Şimşek, S., Kaynar, H. (2011). "Sivas' taki Tarihi Eserlerde Mermer Kullanımı." *Art-e Sanat Dergisi* 4.8, 1-15.
- TCTB, (2021). Doğal taşlar sektör raporu, Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı İhracat Genel Müdürlüğü Maden, Metal ve Orman Ürünleri Dairesi, Ankara, 10s.

Uz, B., Yıldız, T.D., (2017). Milas Akbük Ege Bordo Mermerlerinin Etüt ve Değerlendirilmesi, Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi, 13-15 Aralık 2017, 545-556, Antalya.

Yavuz, A., Türk, B., Koca, M.Y. (2002). Muğla yöresi mermerlerinin. mineralojik, kimyasal fiziksel ve mekanik özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 26.1, 1-18.

Yavuz, A.B. (2001). Muğla yöresi mermer ocaklarında blok mermer üretimini etkileyen jeolojik parametreler. , Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 331 s.

Yavuz, A.B., Topal, T. (2007). Thermal and salt crystallization effects on marble deterioration: examples from Western Anatolia, Turkey. *Engineering geology*, 90.1-2, 30-40.

(URL-1) <http://yazilikayamermer.com/?s=urunler&id=19>

(URL-2) <https://www.dogastones.com/urun/salome-marble>

(URL-3) <https://www.stonecontact.com/products-110795/elazig-cherry-marble-slabs-tiles-turkey-red-marble>

(URL-4) www.golalan.com/Elazig_visne.html

(URL-5) <https://www.alacakaya.com/urun-mermer/Elazig-Visne-mermer.html>

(URL-6) <https://www.stonecontact.com/aksehir-black-marble/s6758>

(URL-7) <https://www.tureks.com/tr/ocaklari/skyline-balikesir-manyas/>

(URL-8) <https://www.turgutozenmermer.com.tr/urunler-mermer-bilecik>

(URL-9) <https://www.artasmermer.com.tr/detay/afyon-kaplan-postu/#detayresimler>

(URL-10) <https://www.artasmermer.com.tr/detay/ege-bordo/#:~:text=Milas%20b%C3%B6lgemizden%20%C3%A7%C4%B1kar%C4%B1lan%20bu%20g%C3%BCzel,i%C3%A7in%20gayet%20uygun%20bir%20%C3%BCr%C3%BCnd%C3%BCr>

(URL-11) <https://tajamarble.com/tr/milas-leylak-koyu-mermer/>

(URL-12) <https://www.ayhanmarble.net/urunlerimiz/leylak>

(URL-13) <https://www.cekickler.com.tr/tr/urun/7/afyon-seker>

BÖLÜM 11

FİLAMENT SARMA TEKNOLOJİSİNİN TEMELLERİ VE ELYAF TAKVİYELİ PLASTİK KOMPOZİTLERİN İŞLENMESİ

Evren ÇAĞLARER ¹

¹ Dr.Öğr.Üy.,Kırklareli Üniversitesi, Teknoloji Fak., Mekatronik Müh.,
ORCID ID:0000-0002-1343-4751

1. Giriş

Çeşitli sektörlerdeki teknolojik gelişmeler, geleneksel malzemelerin hizmet veremediği, yüksek basınç ve sıcaklıkta, yüksek derecede aşındırıcı ortamlarda, yüksek mukavemet gereksinimi olan zorlu koşullarda performans göstermeleri gereken daha yeni malzemeler için talep yarattı. Bu, özelleştirilmiş ihtiyaçları karşılamak için mühendislik malzemeleri geliştirme ihtiyaçlarını tetikledi. Endüstri, kompozit malzemelerin yüksek kaliteli, dayanıklı, uygun maliyetli ürünler üretme yeteneğini kabul etmiştir. Aslında binlerce yıldır var olan “kompozitler” ’in endüstriyel dünyaya girişi yüzyıldan kısadır. Bilinen ilk polimer matrisli kompozit ürün, 1930’lu yılların ortalarında, köpük bir kalıba yerleştirilmiş fiberglas kumaş ve polyester reçine kullanılarak yapılan bir tekne gövdesidir. Böyle bir başlangıçtan itibaren kompozit uygulamalar, havacılık, denizcilik ve elektrik, kimya, ilaç, ulaşım vb. dahil olmak üzere tüm endüstrilerde devrim yarattı.

Kompozitler, yüksek basınçlı altında yapılan kimyasal işlemlerde diğer geleneksel malzemelere göre güçlü bir alternatif oldular. Kompozit malzemeler, üstün korozyon direncinin yanı sıra, özellikle endüstriyel ortamlarda aşırı sıcaklıklara ve aşınmaya (özellikle termoplastik kompozitler) karşı iyi direnç gösterirler.

Kompozit, iki ya da daha fazla malzemenin bir araya gelmesiyle oluşur. Bir araya gelen malzemelerin birbirleri arasında kimyasal bağ yapma zorunluluğu vardır, aksi halde oluşan malzeme birleştirilmiş malzemedir. Matris olan malzeme ana gövdeyi oluştururken, takviye malzeme temel yük taşıyan elemanlar olarak çok yönlü dayanım sağlarlar. Bu malzemelerin bağlanma noktasında arayüz denen bir bölge bulunur. Eğer birleşen bu iki malzeme kimyasal bağ yapamıyorsa, arayüz için başka bir maddeye ya da maddelere ihtiyaç vardır.

Kompozitler, kullanılan matris tipine göre; polimer matrisli, metal matrisli ve seramik matrisli olarak adlandırılırlar. Takviyeler çeşitli şekillerde, kısa ve uzun elyaf, parçacık, pul, pudra ya da küresel grafit olabilir. Arayüz olarak, çoğunlukla doğal veya sentetik reçineler, yağlar ve yapıştırıcılar kullanılır.

Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitler (FRPC), konvansiyonel malzemelere göre birçok alanda üstünlüğüne sahiptir. Bunlar, yüksek mukavemet ve sertlik, mukavemet-ağırlık ve sertlik-ağırlık oranları, boyutsal kararlılık, yorulma mukavemeti, darbe ve korozyon direnci bunlardan bazılarıdır. Ayrıca plastik kompozitler daha ucuz ve plastiklerin yapısı gereği daha geniş üretim imkanına sahip olduklarından, çeşitli katkı maddeleriyle UV dayanımı, alev geciktiricilik, düşük termal genleşme katsayısı, kimyasallara ve korozyona direnç, hafiflik, pürüzsüz nihai ürün ve renk avantajlarına da sahiptirler (Chung,2010).

Kompozit Malzemenin Mekanik Performansına Etki Eden Faktörler

Kompozit malzemeyi oluşturan malzemelerin mekanik özellikleri, oluşan kompozitten farklılık gösterirler. Ancak yine de kompoziti oluşturan bileşenlerin elastiklik modülü, çekme dayanımı gibi özellikleri oldukça önem taşır. Takviye ile uyumlu hareket edemeyen bir matris malzeme ile uygun kompozit elde etmek mümkün değildir.

Kompozit malzemeler, bileşen malzemelerinin miktarı ve dağılımına göre de mekanik özelliklerinde değişiklik gösterirler. Özellikle matris malzeme içindeki takviyenin oranı ve dağılımı malzemenin mekanik performansını etkiler. Matris malzeme takviye arasında yük taşıma görevi yaparken, takviye malzemesini sıcaklık farklılıklarından, korozyon ve nem gibi çevresel etkilerden korur. Matris malzeme, takviyeyi birbirine bağlayan ve mekanik özellikleri destekleyen bir eleman gibi görünse de takviye malzemesine göre mekanik mukavemeti düşüktür. Ancak matrisin yapısı da tüm mekanik özellikleri (çekme, kayma mukavemeti, tabakalar arası mukavemet, yorulma ve basınç gibi) etkiler.

Takviye malzemesi olarak kullanılan elyaflar çok çeşitli kimyasal yapı, boyut ve biçimde olabilirler. Yaygın olarak cam, karbon elyaflar ile karbon elyafların alt kolları olan Kevlar ve Aramid elyaflar kullanılır. Tüm bu elyaflar, kısa ya da uzun, sürekli veya süreksiz, küresel, pudra ya da cips şeklinde olabilirler.

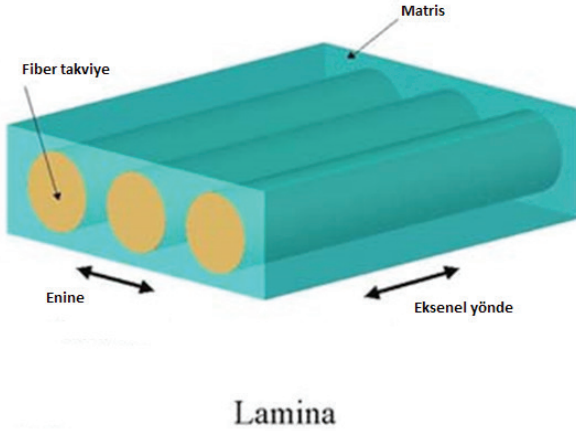
Takviye malzemelerini oluşturan elyafların şekil ve boyları ne olursa olsun, önemli olan takviyenin matris içinde aynı oran ve doğrultuda bulunmasıdır. Kısa elyaflar ucuz olduğu için maliyeti düşür, işlenmesi kolaydır. Ama dağılımı ve yönlendirmesi zordur. Kısa elyaflar bir araya gelerek matris içinde bir noktada yoğunluk oluştururken diğer alanlarda zayıf bölgeler gözlenir. Bu da kompozitin mekanik performansını olumsuz yönde etkiler. Uzun elyaflar ise, işlenmesi zor olmasına rağmen, istenen yönde ve doğrultuda yönlendirilebilirler. Sürekli elyaf takviyeli kompozitler, üstün çekme mukavemeti, gelişmiş darbe direnci ve daha iyi boyutsal kararlılığa sahiptirler. Takviyelerin matris içindeki konumu dışında bir diğer önemli konu boy/çap oranıdır.

Üretim yöntemleri de mekanik özellikleri doğrudan etkiler. Matris takviye oranı belirlenmiş, elyaf boy ve yönlendirmeleri, elyafların boy-çap oranı uygun seçilmiş, farklı yönlendirmelerle elyaf yönlendirilerek mukavemeti artırılmış bir ürün ortaya çıkarılmış olsa da üretim parametrelerindeki süre, sıcaklık değişimleri, arayüz faktörleri kompozitin mekanik özelliklerinde büyük rol oynar.

Kompozitin arayüzü, matrisin yükü takviye elemanına ne kadar iyi aktardığını belirler. Arayüz, çoğunlukla matris ile takviyenin kimyasal bağ yapması için kullanılsa da mukavemet arttırmak için de kullanılır. Takviyeler, mekanik mukavemeti arttırmak için doğrusal ya da dağlanmış olabilirler. Matrisle takviyeyi yapıştırmak için bağlayıcı ve kaydırıcı maddeler uygulanabilir. Matris, takviyeden yüksek bir termal genişlemeye katsayısına sahipse, yüksek bir sıcaklıkta işlenirse, matris, takviye etrafında radyal olarak büzülecek ve elyaf üzerine burulma kuvveti uygulayarak mekanik bağı arttıracaktır (Satishkumar,2020; Chung,2010)

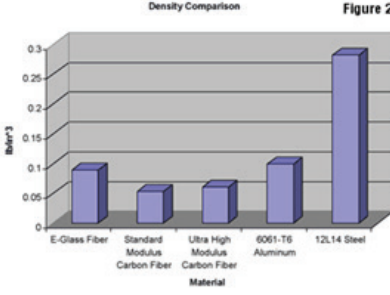
2.Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitler (FRPC)

Çeşitli özelliklerin tartışılmasından önce, elyaf takviyeli kompozitlerin anizotropik doğasını anlamak gerekir. Şekil 1, sürekli elyaf takviyeli laminanın kesitini göstermektedir. Elyaf takviye, matris içinde imalat yönünde hizalanmıştır. Takviye elemanına paralel yön “eksenel” yön, dik olan yön enine yöndür. FRPC’ler elyafın yönüne ve dağılımına bağlı olarak malzemeye farklı özellikler kazandırır.

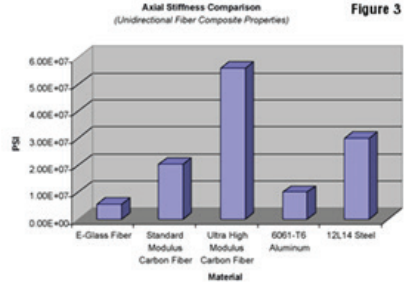


Şekil.1. Elyaf takviyeli kompozitlerin anizotropik yapısı (Reinhart,1998)

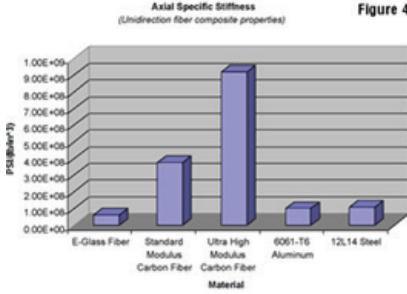
Aşağıdaki Şekil 2, 3, 4 ve 5, çeşitli malzemeler için yoğunluk, eksenel ve özgül sertlik ile termal genişleme katsayısı karşılaştırmaları gösterilmektedir. Kompozit malzeme örneklerinde karşılaştırılan özelliklerin laminanın aynı eksenel özellikleri olduğuna dikkat etmek gerekir.



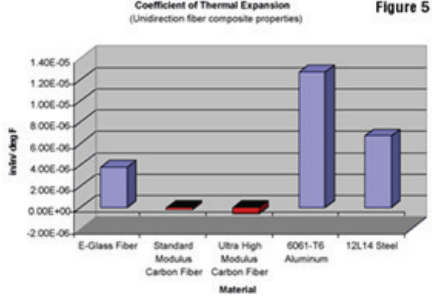
Şekil. 2. Çeşitli malzemelerin yoğunluğu



Şekil.3. Çeşitli malzemelerin aksel sertlikleri



Şekil.4. Çeşitli malzemelerin aksel sertliği



Şekil.5. Farklı malzemelerin termal genişmesi (Chung,2010)

Kompozitler yoğunluk, sertlik ve özellikle spesifik sertlik açısından üstün özellik gösterirler. Şekil 5, termal genişleme katsayılarının (CTE) karşılaştırmasını göstermektedir. Standart modüllü karbon elyaf ve ultra yüksek modüllü karbon elyaf tabakaların aslında aksel yönde negatif bir CTE'ye sahiptirler. Bu özellik, termal olarak kararlı olan kompozit yapıların tasarlanmasını sağlar (Chung,2010).

2.1.Üretim Teknikleri

Her malzemenin kendi özellikleri ile tasarımcının istediği özelliklere göre çok çeşitli üretim yöntemleri tercih edilebilir. Hatta aynı üretim yöntemi içerisinde farklı parametreler değiştirilerek yeni ürünler elde etmek mümkündür. Örneğin, ahşabın işlenmesi çok kolaydır ve bu nedenle ahşap bir bloğu son şekline dönüştürmek için işleme oldukça yoğun bir şekilde kullanılır. Seramik ise, işlenmesi zor, rijit, aynı zamanda mukavemeti oldukça yüksek bir malzemedir ve genellikle sıcak pres teknikleri ile yapılır. Metallerde, bir torna tezgâhı veya CNC makinesi kullanılarak

işlenmemiş sacın veya sacın istenen şekle getirilmesi çok yaygındır. Metallerde, standart boyutlarda boşluklar, çubuklar ve levhalar işlenir. Son parçayı elde etmek için kaynak yapılır veya çeşitli yöntemlerle birleştirilir. Kompozitlerde, standart boyutlu levhaların veya boşlukların işlenmesi yaygın değildir Elyafı kestiği ve elyafalarda süreksizlik oluşturduğu için kaçınılır. Açıkta kalan ve süreksiz elyaf, kompozitlerin performansını düşürür. Ayrıca, kompozit işleme kolaylığı, net şekle yakın parçaların elde edilmesini kolaylaştırır.

Kompozitler, ekstrüzyon, rulo şekillendirme veya döküm kullanılarak metal parçaların işlenmesine kıyasla parça işleme için yüksek basınç ve sıcaklık gereksinimlerine sahip değildir. Bu nedenle, kompozit parçalar, basit ve düşük maliyetli aletler kullanılarak net şekle yakın parçalara kolayca dönüştürülür. Tekne gövdesi yapmak gibi belirli uygulamalarda, kompozit parçalar oda sıcaklığında çok az basınçla yapılır. Kompozitlerin işlenmesinde metallere kıyasla bu daha düşük enerji gereksinimi, ham maddeyi net şekle yakın parçalara dönüştürmek için çeşitli yeni fırsatlar sunar. Net veya net şekle yakın parçalar üretmenin iki önemli faydası vardır. Birincisi, işleme gereksinimini ve dolayısıyla işleme maliyetini en aza indirir. İkincisi, hurda miktarını en aza indirerek malzeme tasarrufu sağlar. Delik açmak veya farklı özellikler oluşturmak için kompozitlerin işlenmesinin gerekli olduğu durumlar vardır.

Kompozit üretim teknikleri, kompozit parçaların imalatı için elyaf, reçineler, keçeler, kumaşlar, prepregler ve kalıplama bileşikler dahil olmak üzere çeşitli kompozit ham maddeler kullanır. Her üretim tekniği, parça üretimi için farklı türde malzeme sistemleri, farklı işleme koşulları ve farklı araçlar gerektirir.

2.2. Üretim Süreci Seçim Kriterleri

Bir parçanın üretimi için doğru üretim sürecini seçmek, tasarım ve üretim mühendisleri için büyük bir zorluktur, bunun nedeni, tasarım ve üretim mühendislerinin parçayı imal etmek için hammaddeler ve işleme teknikleri açısından çok fazla seçeneğe sahip olmalarıdır. Bir işlemi seçme kriterleri, aşağıda açıklandığı gibi, parçanın üretim hızına, maliyetine, dayanıklılığına ve boyut ve şekil gereksinimlerine bağlıdır (Faruk ve ark.,2017).

2.2.1 Üretim Oranı/Hızı

Uygulama ve pazar ihtiyaçlarına bağlı olarak, üretim hızı farklıdır. Örneğin, otomobil pazarı, yılda 10.000 adet (günde 40 adet) ile yılda 5.000.000 adet (günde 20.000 adet) arasında yüksek bir üretim hızı gerektirir. Havacılık pazarında, üretim gereksinimleri genellikle yılda 10 ila 100

adet aralığındadır. Benzer şekilde, düşük hacimli ve yüksek hacimli üretim ortamlarına uygun kompozit üretim teknikleri vardır. Örneğin, yüksek hacimli üretim için el yatırması ve ıslak yatırma işlemleri kullanılmazken, yüksek hacimli üretim ihtiyaçlarını karşılamak için sıkıştırma kalıplama (SMC) ve enjeksiyon kalıplama kullanılır. Kısaca üretim hızı ve oranı üretilen parçanın sayısına ve çeşidine bağlıdır (Faruk ve ark.,2017).

2.2.2. Maliyet

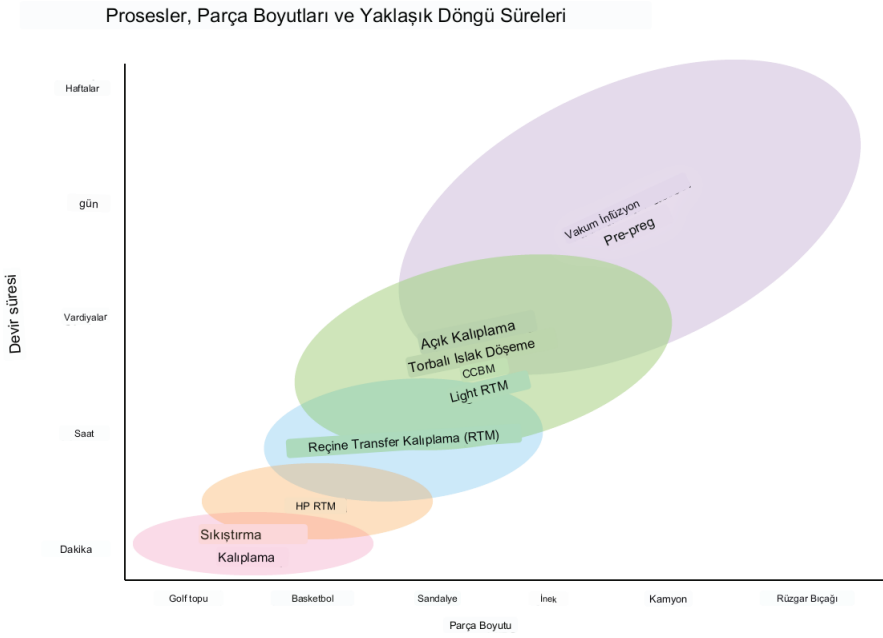
Çoğu tüketici ve otomobil piyasası maliyete duyarlıdır ve daha yüksek üretim maliyetlerini karşılayamaz. Maliyeti etkileyen faktörler takım, işçilik, hammaddeler, işlem döngü süresi ve montaj süresidir. Düşük maliyetli parçalar üretmede iyi olan bazı bileşik işleme teknikleri varken, diğerleri maliyeti engelleyicidir. Bir ürünün maliyetini belirlemek kolay bir iş değildir ve maliyet tahmin tekniklerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını gerektirir. Bir ürünün maliyeti, üretim hacmi ihtiyaçlarından da önemli ölçüde etkilenir. Örneğin, üretim hacmi yılda 150.000'den az olduğunda, otomotiv gövde panellerinin imalatı için çeliğin damgalanması yerine sıkıştırma kalıplama (SMC) seçilir. Daha yüksek hacim oranları için çelik damgalama tercih edilir (Faruk ve ark.,2017).

2.2.3. Verim

Her bileşik işlem farklı başlangıç malzemeleri kullanır ve bu nedenle parçanın nihai özellikleri farklıdır. Kompozit parçanın gücü büyük ölçüde elyaf tipine, elyaf uzunluğuna, elyaf yönüne ve elyaf içeriğine bağlıdır (kural olarak %60 ila %70 en güçlüsüdür). Örneğin, sürekli elyaf kompozitler, daha kısa elyaf kompozitlere göre çok daha yüksek sertlik ve mukavemet sağlar. Uygulama ihtiyacına göre uygun hammadde ve dolayısıyla uygun kompozit üretim tekniği seçilir (Faruk ve ark.,2017).

2.2.4. Boyut

Yapının boyutu, eleme imalat süreçlerinde de belirleyici bir faktördür. Otomobil pazarı, havacılık ve denizcilik endüstrilerine kıyasla tipik olarak daha küçük boyutlu bileşenler gerektirir. Küçük ila orta boyutlu bileşenler için kapalı kalıplar tercih edilir; tekne gövdesi gibi büyük yapılar için ise açık kalıplama işlemi kullanılır. Şekil.6, kompozit üretim tekniklerinin ürün boyutuna uygunluğunu ortaya koymaktadır (Faruk ve ark.,2017).



Şekil.6. Üretim Tekniklerinin Ürün Boyutuna Ve Zamana Göre Değişimi (URL 1)

2.2.5. Şekil

Bir ürünün şekli de üretim tekniğinin seçiminde belirleyici bir rol oynar. Örneğin, filaman sarma, basınçlı kapların ve silindirik şekillerin imalatı için en uygun olanıdır. Pultrüzyon, dairesel ve dikdörtgen gibi tekdüze kesitli uzun parçaların üretilmesinde çok ekonomiktir. Tablo 1., yukarıdaki faktörlere dayalı olarak her bir imalat yöntemini karakterize etmektedir. Parçanın maliyet kategorisi, imalat ekipmanı tam kapasitede çalışırken gösterilir (Faruk ve ark.,2017)

Tablo1. Üretim Süreci Seçim Kriterleri (Hambali ve ark.,2009)

| İşlem | Üretim Hızı | Maliyet | Kuvvet | Boyut | Şekil | Hammadde |
|----------------------|------------------|------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------------|--|
| Filaman Sarma | Yavaştan Hızlıya | Düşükten yükseğe | Yüksek | Küçükten büyüğe | Silindirik ve eksenel simetrik | Epoksi ve polyester reçineli sürekli elyaflar |
| Pultrüzyon | Hızlı | Düşükten Ortaya | Yüksek (Boyuna yönde) | Uzunluk kısıtlaması yok | Devamlı | Genellikle polyester ve vinilester reçineli sürekli elyaflar |
| El Yatırması | Yavaş | Yüksek | Yüksek | Küçükten büyüğe | Enine Kesit | Prepreg ve epoksi reçineli kumaş |

| | | | | | | |
|------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|--------------------|---|
| <i>Islak Yatırma</i> | Yavaş | Orta | Ortadan Yüksekçe | Ortadan büyüğe | Basitten karmaşığa | Polyester ve epoks reçineli kumaş |
| <i>Püskürtme</i> | Ortadan Hızlıya | Düşük | Düşük | Küçükten ortaya | Basitten karmaşığa | Katalize reçineli kısa elyaf |
| <i>RTM</i> | Orta | Düşükten Ortaya | Orta | Küçükten ortaya | Basitten karmaşığa | Vinilester ve epoksi ile preform ve kumaş |
| <i>SRIM</i> | Hızlı | Düşük | Orta | Küçükten ortaya | Basitten karmaşığa | Poliizosiyanürat reçineli kumaş veya preform |
| <i>Sıkıştırma, Kalıplama</i> | Hızlı | Düşük | Orta | Küçükten ortaya | Basitten karmaşığa | Kalıplanmış bileşik(SMC,BM) |
| <i>Damgalama</i> | Hızlı | Orta | Orta | Orta | Konturlu basit | Termoplastik bant ile emprenye edilmiş |
| <i>Enjeksiyon Kalıplama</i> | Hızlı | Düşük | Düşükten Ortaya | Küçük | Karmaşık | Kumaş pelletler (Termoplastik kısa elyaf ile) |
| <i>Rulo Sarma</i> | Ortadan Hızlıya | Düşükten Ortaya | Yüksek | Küçükten ortaya | Boru şeklinde | Prepregler |

Bir kompozit parçanın nihai özellikleri, yalnızca elyaf ve reçine matrisinin özelliklerine bağlı değildir, aynı zamanda bunların işlenme biçimine de bağlıdır. Kompozit parçaların/yapıların imalatı için çeşitli işleme teknikleri vardır, yani. reçine transfer kalıplama, otoklav kalıplama, pultrüzyon ve filaman sarımı.

Bu işlemlerden filaman sarımı, elyaf takviyeli silindirik bileşenlerin ve yüksek basınçlı boruların imalatı için düşük maliyetli ve en hızlı tekniktir.

3. Filament Sarma

Filament sarma işleminde, sürekli reçine emdirilmiş fitiller veya monofilamentlerden oluşan bir bant dönen bir mandrelin etrafına sarılır ve ardından nihai ürünü üretmek için oda sıcaklığında veya bir fırında sertleştirilir. Teknik, birçok kompozit katmanın yerleştirilmesi için yüksek hız ve kesinlik sunar.

Mandrel silindirik, yuvarlak veya yeniden giriş eğriliği olmayan herhangi bir şekilde olabilir. Filament sarım uygulamaları arasında silindirik ve küresel basınçlı kaplar, boru hatları, oksijen ve diğer gaz silindirleri, roket motoru muhafazaları, helikopter kanatları, büyük yer altı depolama tankları (benzin, yağ, tuzlar, asitler, alkaliler, su vb.) yer alır.

Proses, eksen simetrik yapılarla sınırlı değildir: prizmatik şekiller ve te-eklemler, dirsekler gibi daha karmaşık parçalar, uygun sayıda serbestlik derecesine sahip makinelerde sarılabilir.

Modern sarım makineleri, tam sayıda takviye katmanının döşenmesi için daha yüksek serbestlik dereceleriyle sayısal olarak kontrol edilir. Filament sargılı parçaların mekanik mukavemeti, yalnızca bileşen malzemesinin bileşimine değil, aynı zamanda sarma açısı, elyaf gerilimi, reçine kimyası ve sertleştirme döngüsü gibi işlem parametrelerine de bağlıdır (Minchenkov ve ark.,2021; Tarnopol'skii ve ark.,1998).

3.1. Filament Sarma Teknolojisinin Tarihçesi

1964 yılında ilk olarak yazarlar Rosato D.V ve Grove C.S., Filament sarma: Its Development, Manufacture, Applications and Design adlı kitaplarında bunu “... yüksek mukavemetli ve hafif ürünler üreten; temel olarak iki bileşenden yani, bir filament veya bant tipi takviye ve bir matris veya reçineden oluşan” şeklinde tanımlamışlardır (Rosato ve Grove,1964).

Bu malzemelerin benzersiz özellikleri uzun yıllar büyük devrimler yarattı. Filament sarma işlemi konsepti 40'lı yılların başında tanıtıldı ve ilk filaman sarma ekipmanı geliştirmek için girişimde bulunuldu.

1950'lerde tasarlanan ekipman çok basitti; sadece iki hareket eksenini kullanarak (iş mili dönüşü ve yatay taşıma) en basit görevleri gerçekleştirmek. Makine tasarımı, destek için bir kiriş, birkaç ayak ve kam makaralarından oluşuyordu.

Basit tasarım, ilk filament sargılı parçaları oluşturmak için yeterliydi: roket motoru kasaları. İlk gelişmeler, bir operatörün bir makineyi dişliler, kayışlar, kasnaklar ve zincirler kullanarak programlamasına izin veren mekanik sistemler şeklinde geldi. Bu makinelerin sınırlı yetenekleri ve kapasiteleri vardı, ancak isabetliydi.

Sonunda teknik yenilikler sayesinde mühendisler hidrolik sistemli servo kontrollü foto-optik makineler tasarlayabildiler. İstenen elyaf yolu, bir tambur üzerindeki siyah-beyaz bir arayüz aracılığıyla makine yolu hareketine dönüştürüldü; bunu makine işlevini kontrol eden bir foto-optik cihaz izledi.

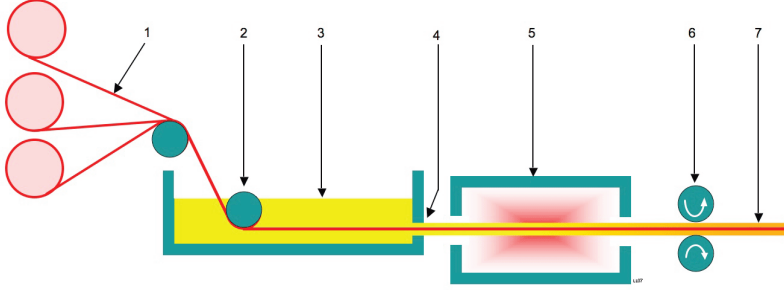
Bu süre zarfında, filaman sarma makinesi tasarım açısından giderek daha sofistike hale geldi; üçüncü bir hareket ekseninin (radyal veya çapraz besleme taşıyıcısı), profil raylarının ve bilyeli millerin eklenmesi, geliştirilmiş dişli kutuları ile birlikte daha yumuşak, daha doğru filaman sarımı ile sonuçlandı.

70'lerin ortalarında, makine tasarımı bir kez daha dramatik bir değişime uğradı. Bu kez servo teknolojisindeki ilerleme, makine tasarımı alanına girdi.

Yüksek hızlı bilgisayarlar, hızlı veri işlemeye izin vererek daha yu-

muşak hareket ve daha fazla elyaf yerleştirme doğruluğu ile sonuçlandı. Tarihsel olarak kayışlar, dişliler, kasnaklar ve zincirler kullanılarak kontrol edilen işlev, giderek artan bir şekilde bilgisayarların kullanımıyla kontrol edilmeye başlandı.

1980'ler ve 90'lar bilgisayar teknolojisinin kullanımının arttığını gördü. Bilgisayarlar ve hareket kontrol kartları, hemen hemen her makinede bulunan temel donanım parçaları haline geldi.



Şekil 7. Pultrüzyon işleminin şematik gösterimi, 1. Takviyeli elyafların/dokunmuş elyaf hasırın sürekli rulosu, 2. gergi makarası, 3. reçine emdirici, 4. Reçine emdirilmiş lif, 5. Kalıp ve ısı kaynağı, 6. Çekme mekanizması, 7. Bitmiş sertleştirilmiş fiber takviyeli polimer. (URL 2)

Makine hız kontrolü büyük ölçüde iyileştirildi; bilgisayar kontrol sistemleri, artan doğrulukla konum ve hızı izleyebilir. Ek hareket eksenleri de makine tasarımına dahil edildi; dört, beş ve hatta altı eksenli kontrollü harekete izin verir!

Aynı zamanda, bir dizi farklı şirket, model oluşturma yazılımı (ElyafGrafiXTM ve CADWINDTM) kavramı ve geliştirmesiyle denemeler yapmaya başladı. Model oluşturma yazılımı oluşturarak, konik shaftlar, T-şekilli parçalar ve aksenal simetrik olmayan parçalar gibi daha karmaşık konfigürasyonlar başarıyla sarılabilir (Wilson, 1998).

3.2. Filament Sarma İşleminin Endüstriyel Önemi

Bu imalat tekniği, güçlü, hafif parçaların üretimine izin verdiğinden, havacılık, uzay ve askeri uygulamaların bileşenleri ve ticari ve endüstriyel faydalı yapılar için özellikle yararlı olduğu kanıtlanmıştır.

Hem takviye hem de matris, hemen hemen her türlü ürün talebini karşılamak için özel olarak üretilebilir. Bu, mukavemet ağırlık oranının önemli olduğu hemen hemen tüm ticari ürünlerin üretimine filaman sarımının uygulanabilirliğinin genişletilmesine yardımcı olur. Ağırlık-güç avantajla-

rı ve düşük üretim maliyetinin yanı sıra, filaman sargılı kompozit parçalar daha iyi korozyon ve elektrik direnci özelliklerine sahiptir (Tarnopol'skii ve ark.,1998).

3.3. Başlıca Uygulamalar

Filament sarma işlemiyle üretilen en yaygın ürünler boru biçimli yapılar, basınçlı kaplar, borular, roket motor mahfazaları, kimyasal depolama tankları ve roket fırlatma tüpleridir. Sofistike filaman sarma makinelerinin ve özel CAD sistemlerinin piyasaya sürülmesi, daha karmaşık geometrilerin üretilmesini sağladı ve orijinal geometrik sınırlamaların çoğu artık aşıldı. Bükülmüş şekiller, biyel çubukları, şişeler, olta çubukları, golf milleri, basınç silindirleri, burçlar, yataklar, tahrik milleri (endüstriyel ve otomotiv), petrol sahası boruları, kriyojenikler, teleskopik direkler, alet sapları, sigorta tüpleri, sıcak çubuklar (iletken direkler), borular, sigortalar, bisiklet çerçeveleri ve gidonlar, beyzbol/voleybol sopaları, hokey sopaları, oltalar, kayak direkleri, kürekler, tüpler vb. günümüzde filaman sarma teknikleri kullanılarak üretilmektedir. Su temini boru sistemlerinde filaman sargılı cam takviyeli plastik (GRP) kullanılmaktadır. Bu yöntemle üretilen su boruları, temiz ve kurşunsuz borulama sistemi sağlar. Filament sargılı boru, beton veya sfero boruya kıyasla pürüzsüz iç yüzeyleri nedeniyle suyu hareket ettirmek için gereken pompalama enerjisini %10 ila %35 oranında azaltır. CTP borunun ağırlığı düktül demirin dörtte biri, betonun onda biri kadar olup, bu boruların nakliye ve montajında ilave avantajlar sağlamaktadır (Mazumdar ve Hoa, 1996).

3.4. Temel Hammaddeler

Genel olarak, filaman sarımı için başlangıç malzemeleri sürekli elyaf- lar (iplikler) ve sıvı termoset reçinelerdir. İplikler arka rafta makara halinde bekletilir ve taşıma ünitesinde bulunan reçine banyosundan geçirilir. Elyaf- lar reçine banyosundan geçerken ıslanır. Filament sarma işlemi için cam, karbon ve Kevlar elyaf- ları kullanılır, ancak düşük maliyeti nedeniyle cam elyaf- ları daha yaygındır. Reçine malzemesi olarak epoksi, polyester ve vinilester kullanılmaktadır. Polyester reçineli cam elyaf- ları, düşük maliyetli uygulamalar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Epoksili cam, açık deniz uygulamaları için biriktirilebilir filaman sarımlı tüplerde kullanılır. Bazen, prepreg kıtıklar başlangıç malzemeleri olarak kullanılır. Prepreg kıtıklarının kullanılması, parçanın kalınlığı boyunca tekdüze elyaf dağılımı ve reçine içeriği sağlar. Filament sarma işlemi, RTM işlemi için ön kalıplar yapmak için de kullanılır.

Filament sarımı, sürekli elyaf takviyesi ve şeyleri birbirine bağlamak için bir reçine sistemi gerektirir. Bu süreçte kullanılacak birçok malzeme türü vardır. Belirli bir ürün için malzeme seçimi daha çok ekonomiye,

çevresel dirence, korozyon direncine, ağırlık sınırlamalarına ve güç performansı gerekliliklerinin hepsi bu kararda önemli bir rol oynar:

a) Takviye Tipi : Sürekli elyaf takviyesi, nihai parçanın gerektirdiği yapısal performansı sağlar. Elyaf, kompozitin sertliğine ve mukavemetine birincil katkıda bulunur. Ticari olarak temin edilebilen baskın elyaflar şunlardır: E-cam, S-cam, aramid ve karbon/grafit sistemleri. Bu sistemleri özetlemek gerekirse:

- **E-Glass** $\frac{3}{4}$ iyi gerilme mukavemeti (3450 MPa), düşük gerilme modülü (70 GPa), en düşük maliyetli elyaf, birçok biçimde mevcuttur, ticari ve endüstriyel ürünlerde yaygın olarak kullanılır, en çok filament sarmada kullanılır;

- **S-Glass** $\frac{3}{4}$ geliştirilmiş mukavemet (4600 MPa), daha yüksek gerilme modülü (85 GPa), daha yüksek maliyetli elyaf, havacılık ve yüksek performanslı basınçlı kap uygulamalarında kullanılır;

- **Aramid** $\frac{3}{4}$ iyi mukavemet (2750 MPa), daha yüksek gerilme modülü (130 GPa), daha yüksek maliyetli elyaf, çok düşük yoğunluk (cam elyafın yarısı), mükemmel darbe ve hasar toleransı özellikleri, zayıf sıkıştırma ve kesme mukavemeti.

- **Karbon/Grafit** $\frac{3}{4}$ geniş mukavemet aralığı (2050 - 5500 MPa) en yüksek modül (210-830 GPa), en yüksek elyaf maliyeti, orta yoğunluk (cam elyafın üçte ikisi), zayıf darbe veya hasar toleransı, en iyi gerilme mukavemeti ve sertlik özellikleri (Mazumdar ve Hoa,1996).

b) Reçineler ;Her şeyi bir arada tutan reçine matrisi, yapıya sarılan elyaflar arasındaki yük aktarım mekanizmasını sağlar.

Reçine, matrisi ve kompozit yapıyı birbirine bağlamanın yanı sıra, korozyon direnci sağlamaya hizmet eder. Elyafı dış hasarlardan korur ve yüzey darbelerinden, kesiklerden, aşınmadan ve sert kullanımdan genel kompozit sağlamlığına katkıda bulunur.

Reçine sistemleri, her biri belirli yapısal performans, maliyet, çevresel ve/veya çevresel direnç sağlamak üzere tasarlanmış çeşitli kimyasal ailelere sahiptir. Filament sarıcıları ilgilendiren birkaç ana reçine matris ailesi şunlardır:

- **Ortoftalik polyesterler olarak sınıflandırılan Genel Amaçlı Polyester** $\frac{3}{4}$, en düşük maliyetli sistemler, FRP endüstrisinde yaygın olarak kullanılır, orta düzeyde mukavemet ve korozyon direnci, oda sıcaklığında kürlenir.

- **İzoftalik polyesterler olarak sınıflandırılan geliştirilmiş Polyester** $\frac{3}{4}$, biraz daha yüksek maliyet, iyi mukavemet ve korozyon direnci, FRP korozyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılır, oda sıcaklığında sertleşir

- **Epoksi** $\frac{3}{4}$ çok çeşitli reçineler mevcuttur, en iyi mukavemet özellikleri, yüksek sıcaklıkta sertleşme, iyi kimyasal direnç, daha yüksek viskozite sistemleri, daha yüksek malzeme maliyeti, geniş pazar segmenti aralığındaki uygulamalar.

- **Vinil Ester** $\frac{3}{4}$ epoksi ve polyester teknolojisinin kimyasal bileşimi, mükemmel korozyon direnci, yüksek maliyet, mükemmel mukavemet ve tokluk özellikleri, FRP ürünlerinde korozyon astarı olarak yaygın olarak kullanılır.

- **Bisfenol-A Fumarat, Klorendik** $\frac{3}{4}$ zorlu ortamlarda gelişmiş korozyon direnci, daha yüksek maliyetli reçineler, daha yüksek sıcaklık kapasitesi, kağıt ve kağıt hamuru endüstrisindeki uygulamalar için daha karmaşık sistemler;

- **Fenolik** $\frac{3}{4}$ mükemmel yanıcılık özelliklerine (örn. alev geciktirme, düşük duman yayma), daha yüksek maliyetli sistemlere, daha düşük uzamaya, orta derecede dayanıklılığa sahiptir, uygulamalar yangına dayanıklı sistem yapılarını içerir (Berglund, 1998; Rajak ve ark. 2019).

c) Katkı maddeleri: Çeşitli katkı maddeleri kullanılarak, sıvı reçine sistemleri belirli performans sağlamaya uygun hale getirilebilir. Dolgu maddeleri, baz reçineden sonra ikinci sırada bir formülasyonun en büyük oranını oluşturur.

En sık kullanılan dolgu maddeleri kalsiyum karbonat, alümina silikat (kil) ve alümina trihidrattır. Kalsiyum karbonat, performansın kritik olmadığı alanlarda en düşük maliyetli reçine formülasyonunu sağlamak için öncelikle bir hacim genişletici olarak kullanılır.

Alümina trihidrat, alev ve duman oluşumunu bastırma özelliği nedeniyle kullanılan bir katkı maddesidir. Dolgu maddeleri, toplam reçine formülasyonunun ağırlıkça %50'sine varan miktarlarda reçinelere dahil edilebilir (100 kısım reçine başına 100 kısım dolgu maddesi).

Olağan hacim sınırlaması, partikül boyutuna ve reçinenin özelliklerine bağlı olan kullanılabilir viskozitenin geliştirilmesine dayanır.

Özel amaçlı katkı maddeleri, gelişmiş hava koşullarına dayanıklılık için ultraviyole radyasyon ekranlarını, alev geciktirme için antimon oksit, renklendirme için pigmentler ve yüzey düzgünlüğü ve çatlak bastırma özellikleri için düşük profilli maddeleri içerir.

Kalıp ayırıcı maddeler (metalik stearatlar, silikon jel veya organik fosfat esterler vb.), pürüzsüz yüzeyler ve düşük işleme sürtünmesi sağlamak üzere mandrelden yeterli salınım için önemlidir.

3.5. Filament Sarma: Proses Teknolojisi

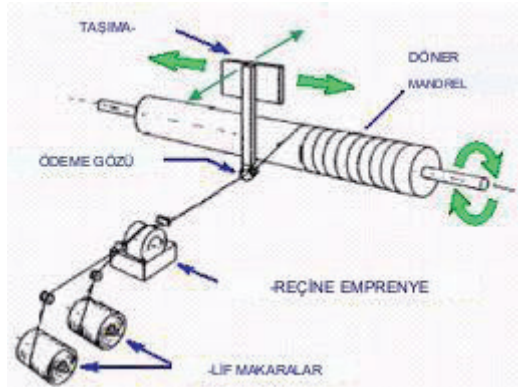
Bu bölümde elyafın sarma işleminden önce sıvı reçine emdirilerek sarımından bahsedeceğiz. İlk olarak, sıvı reçine, katalizör ve pigmentler ve UV geciktiriciler gibi diğer bileşenleri içeren banyoya çok sayıda elyaf fitili, bobinlerin üzerine dizildiği metal sehpa(cağlık) dizisinden çekilir. Elyaf gerilimi, her bir çağlık ve reçine banyosu arasında bulunan kılavuzlar veya makas çubukları tarafından kontrol edilir. Reçine banyosuna girmeden hemen önce, fitiller genellikle bir tekstil iplik levhası veya paslanmaz çelik taraktan geçirilerek bir bant halinde toplanır.

Reçine tankının sonunda, reçine emdirilmiş fitiller, fitillerdeki fazla reçineyi temizleyen ve her bir fitilin etrafındaki reçine kaplama kalınlığını kontrol eden bir silme cihazından çekilir.

En yaygın olarak kullanılan silme cihazı, elyaf fitillerindeki gerginliğin yanı sıra reçine içeriğini kontrol etmek için üst silindirin konumunun ayarlandığı bir sıkıştırma silindirleri setidir. Reçine emdirilmiş fitillerin silinmesi için başka bir teknik, her bir fitilin bir delikten ayrı ayrı çekilmesidir.

İkinci yöntem, reçine içeriğinin daha iyi kontrol edilmesini sağlar. Fitil iyice emprenye edilip silindikten sonra düz bir bant halinde bir araya toplanır ve mandrel üzerine yerleştirilir.

Bant oluşumu, paslanmaz çelik bir taraktan ve daha sonra toplama gözünden geçirilerek elde edilebilir. Taşıyıcının enine hızı ve mandrelin sarma hızı, istenen sarım açısı modellerini oluşturmak için kontrol edilir (Tarnopol'skii ve ark.,1998; Abdalla ve ark.,2007)).



Şekil 8. Elyaf sarma işleminin şematik gösterimi (URL 3)

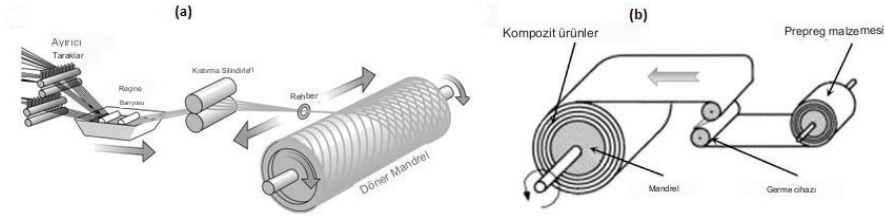
Sarıldıktan sonra, filaman sargılı mandrel, çevre çevresinde reçine içeriğinin tekdüzeliğini korumak için mandrelin sürekli olarak döndürül-

düğü kürlleme ve kürlleme sonrası operasyonlara tabi tutulur. Sertleştikten sonra ürün, hidrolik veya mekanik çıkarıcı ile mandrelden çıkarılır.

3.6 Sarma Yöntemleri

İki farklı sarma yöntemi vardır:

a) Elyafın bir reçine banyosundan geçirildiği ve dönen bir mandrel üzerine sarıldığı ıslak sarım (Bakınız şekil.9.a).



Şekil 9. Temel sarım düzeni diyagramı; (a) ıslak sarım yöntemi; (b) prepreg sarım yöntemi (Ma ve ark.,2018)

b) Önceden emprenye edilmiş elyaf demetlerinin dönen mandrel üzerine yerleştirildiği prepreg sarımı (Şekil 9. b)

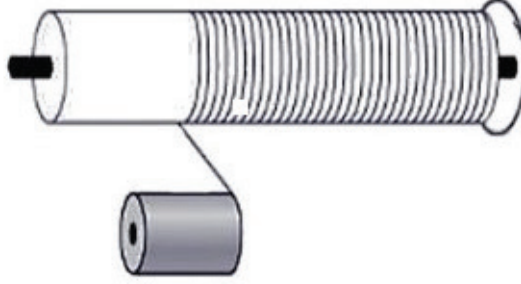
Bu sarım yöntemleri arasında, ıslak sarım daha çok elyaf takviyeli ısıyla sertleşen matris kompozit silindirlerin imalatında kullanılır.

Prepreg sarımla karşılaştırıldığında, ıslak sarımın birçok avantajı vardır: düşük malzeme maliyeti; kısa sarım süresi ve reçine formülasyonu, özel gereksinimleri karşılamak için kolayca değiştirilebilir. Bu makalede ele alınan incelemeler, ıslak filament sarım işlemiyle sınırlıdır ve bu nedenle “filament sarım” terimi bundan sonra ıslak sarım işlemi olarak anılacaktır (Tarnopol’skii ve ark.,1998).

3.7. Sarma Modelleri

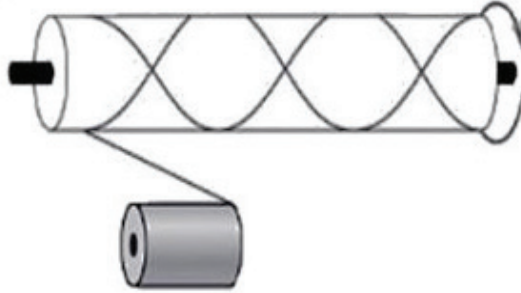
Filament sarımında, kompozitin istenen kalınlığı ve mukavemeti elde edilene kadar her takviye tabakasındaki sarım gerilimi, sarım açısı ve/veya reçine içeriği değiştirilebilir. Bitmiş kompozitin özellikleri, seçilen sarım modelinin tipine göre değişebilir. Üç temel filament sarım modeli şunlardır:

a) **Kasnak Sarımı:** (şekil 10.) Çevresel veya çevresel sarım olarak bilinir. Açıkça söylemek gerekirse, çember sarımı, 90 derecelik bir açığa yaklaşan yüksek açılı helisel bir sarımdır. Mandrelin her tam dönüşü, bant dağıtımını bir tam bant genişliği kadar ilerletir.



Şekil 10. Kasnak sarmanın şematik gösterimi ((Ma ve ark.,2018)

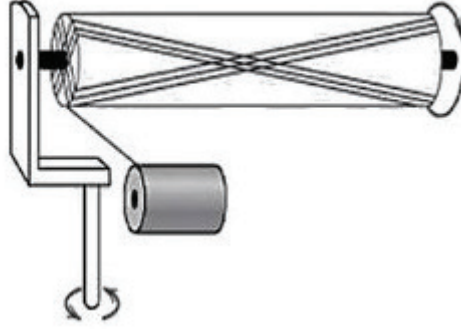
b) Helisel Sarma: Helisel sarımda, mandrel sabit bir hızda dönerken, elyaf besleme taşıyıcısı, şekil 11’de gösterildiği gibi istenen helisel açılı oluşturmak için düzenlenmiş bir hızda ileri ve geri hareket eder.



Şekil.11. Helisel Sarmanın şematik gösterimi (Ma ve ark.,2018)

c) Kutup Sargısı: Kutup sarımında, elyaf haznenin bir ucundaki kutup açıklığına teğet olarak geçer, yönünü tersine çevirir ve diğer ucundaki kutup açıklığının karşı tarafına teğet olarak geçer.

Başka bir deyişle, elyaflar, şekil 12’de gösterildiği gibi, mandrel kolu uzunlamasına eksen etrafında dönerken, kutuptan direğe sarılır. Kubbeli uçlu tip basınçlı kaplarda neredeyse eksenel elyafları sarmak için kullanılır.



Şekil 12. Kutup sarmanın şematik gösterimi ((Ma ve ark.,2018)

Yukarıdaki üç sarım yönteminde de sarmal sargı büyük bir çok yönlüğe sahiptir. Hemen hemen her çap ve uzunluk kombinasyonu, kalıpları kapatmak için sarım açısı ve bant kalınlığına göre değişik tokuş edilerek sarılabilir. Genellikle tüm kompozit borular ve basınçlı kaplar helisel sargı ile üretilir (Tarnopol'skii ve ark.,1998).

3.8. Filament Sarma İşleminin Sınırlamaları

Filament sarma, basit içi boş şekiller yapmak için oldukça uygundur. Ancak, süreç aşağıdaki sınırlamalara sahiptir.

Kapalı ve konveks yapıların üretilmesi ile sınırlıdır. Küvet gibi açık yapıların yapılması için uygun değildir. Bazı uygulamalarda, yaprak yaylar gibi açık yapılar yapmak için filaman sargısı kullanılır;

Filaman sarma işlemi sırasında tüm elyaf açıları kolayca üretilmez. Genel olarak, elyaf stabilitesi için jeodezik bir yol tercih edilir. Düşük elyaf açıları (0 ila 15°) kolayca üretilmez. Bu işlem sırasında elde edilebilecek maksimum elyaf hacim oranı sadece %60'tır. Filament sarma işlemi sırasında, laminanın kalınlığı boyunca uniform elyaf dağılımı ve reçine içeriği elde etmek zordur.

4. Sonuç

Filament sargılı kompozit borular, doğası gereği korozif olan petrol, gaz ve su temini sistemlerindeki tüm çelik ve metal boru hatları için daha iyi bir alternatiftir. Su ve kanalizasyon taşımacılığı için tüm belediye boru hatlarının dayanıklı, aşındırıcı olmayan ve yüksek basınçlarda bile boru arızalarını azaltan kompozitlerle yenilenmesi ve yenilenmesi için önemli bir ihtiyaç vardır.

Endüstriyel ihtiyaçlara göre çok sayıda ve çeşitte kompozit kullanılmaktadır. Stratejik elyaf takviye malzemeleri karbon ve cam elyaflardır. Elyafın özelliklerine göre kısa elyaflar ve uzun elyaflar gibi farklı kategoriler ayırt edilebilir.

Elyaf takviyeli kompozitlerin hazırlanması, farklı anizotropik malzeme özellikleri, kompozit makine parça ve elemanlarının tasarımı sırasında özel bir düşünme biçimini gerektirir.

Filamentlerin ve diğer formların işlenmesine ilişkin teknolojik altyapı, endüstriyel ölçekte çalışılır ve uygulanır, ancak teknolojiler, araştırmacının teknolojileri geliştirmesi için zorluklar sunar. Üretim sürelerinin kısalması, maliyet etkinliği, gelişmiş çevre koruma ve yeşil teknolojiler, gelişmenin durmayacağı açık sorulardır.

KAYNAKÇA

- Abdalla, F.H. Mutasher, S.A., Khalid, Y.A. Sapuan, S.M., Hamouda, A.M.S., Sahari, B.B., Hamdan, M.M.(2007).Design and fabrication of low cost filament winding machine, *Materials & Design*,28(1),Pages 234-239, ISSN 0261-3069, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2005.06.015>.
- Berglund, L.A. (1998). Thermoplastic Resins. In: Peters, S.T. (eds) *Handbook of Composites*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6389-1_7
- Chung, D.L.D. (2010). *Composite materials*. İkinci baskı. Springer.London. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-831-5>
- Chung, D.L.D. (2010). Mechanical Properties. In: *Composite Materials. Engineering Materials and Processes*. Springer, London. https://doi.org/10.1007/978-1-84882-831-5_3
- Faruk, O., Tjong, J., & Sain, M. (Eds.). (2017). *Lightweight and Sustainable Materials for Automotive Applications (1st ed.)*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315152967>
- Hambali, A., Sapuan, S., Ismail, N., Yusoff,, N. (2009). Composite manufacturing process selection using analytical hierarchy process. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME)*. 4 (1). 49-61.
- Ma, Q., Rejab, M.R.M., Idris, M., S., Amiruddin, M., Bachtiar, D., SiregarJ., P., & Ibrahim M., I. (2018). Design Of Portable 3-Axis Filament Winding Machine With Inexpensive Control System. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 12(1), 3479-3493. <https://doi.org/10.15282/jmes.12.1.2018.15.0309>
- Mazumdar, S.K., Hoa, S.V. (1996). Determination of Manufacturing Conditions for Hot-Gas-Aided Thermoplastic Tape Winding. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 9(1):35-53. doi:10.1177/089270579600900104
- Minchenkov, K., Vedernikov, A., Safonov, A., Akhatov, I. Thermoplastic Pultrusion: A Review. *Polymers*. 2021; 13(2):180. <https://doi.org/10.3390/polym13020180>
- Rajak, D.K., Pagar, D.D., Menezes, P.L., Linul, E. (2019) Fiber-Reinforced Polymer Composites: Manufacturing, Properties, and Applications. *Polymers*.; 11(10):1667. <https://doi.org/10.3390/polym11101667>
- Reinhart, T.J. (1998). Overview of Composite Materials. In: Peters, S.T. (eds) *Handbook of Composites*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6389-1_2
- Rosato, D.V., Grove, C.S. (1964). *Filament winding: Its Development, Manufacture, Applications, And Design*. Materials Science
- Satishkumar,P.(2020).Composites. https://www.researchgate.net/publication/345921909_Composites. (Son erişim 13 Mart 2023)

- Tarnopol'skii, Y.M., Peters, S.T., Beil', A.I. (1998). Filament Winding. In: Peters, S.T. (eds) Handbook of Composites. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6389-1_22
- URL1. <https://explorecomposites.com/articles/design-for-composites/basics-manufacturing-methods/> (Son erişim: 13 Mart 2023)
- URL 2. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1771128> (Son erişim: 12 Mart 2023)
- URL 3. http://www.etamax.com.au/filament_winding.html (Son erişim: 12 Mart 2023)
- Wilson, B.A. (1998). Pultrusion. In: Peters, S.T. (eds) Handbook of Composites. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6389-1_24

BÖLÜM 12

ENDÜSTRİYEL BUZ ÜRETİM YÖNTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

*Muhammed ŞULE¹, Zuhale OKTAY²,
Can COŞKUN³, Bahadır BİRECİKLI⁴*

1 İzmir Demokrasi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, muhammed_sule2000@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7987-5181>

2 İzmir Demokrasi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, zuhal.oktay@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6167-7048>

3 İzmir Demokrasi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, dr.can.coskun@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4100-0296>

4 Batman Üniversitesi/Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu/Elektrik Ve Enerji Bölümü/Doğalgaz Ve Tesisatı Teknolojisi, Bahadir.Birecikli@batman.edu.tr

1.GİRİŞ

İnsanlığın en temel ihtiyaçlardan birisi olan beslenme ihtiyacı beraberinde bazı sorunları da ortaya çıkarmaktadır. Bu sorunlardan birisi de yiyeceklerin bozulmadan muhafaza edilebilmesidir. Yiyeceklerin bozulmasını önlemek ya da geciktirebilmek için soğuk ortamda muhafaza edilmesi önemli bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bazı ürünlerin soğuk muhafazası için buz kullanımı çokça tercih edilen bir yöntemdir. Gelişen bilim ve teknoloji, buz üretiminin yapay yollar ile gerçekleştirilmesine imkân vermiştir. Buz, suyun düşük sıcaklık şartlarında donması sonucu oluşmaktadır. Günümüzde buz makineleri ile üretilen buz sayesinde gıda sektöründe depolama süreçleri kolaylaşmıştır. Suyun dondurularak buz haline getirilmesi sadece gıda sektörü için değil iklimlendirme sistemleri için de bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Balıkçılık, ilaç ve kimya sanayi gibi birçok farklı alanda da buz yapımından yararlanılmaktadır. Endüstride bazda üretilen çeşitli buz tipleri bulunmakta olup, bunlar Tablo 1’de sunulmuştur (Kocatepe ve ark., 2010).

Tablo 1. Endüstride bazda üretilen çeşitli buz tipleri ve açıklamaları

| Türü | Açıklama |
|-----------------------|--|
| Yaprak Buz | Silindirin dış yüzeyinde su püskürtülmesi sonucu meydana gelen buzlardır. 2-3mm boyutlarındadır. |
| Tüp Buz | İçerisi dolu olmayan silindirik yapıdaki tüplerde üretimi gerçekleşen buzlardır. Bu buzlar sıcak gaz tekniği ile tüplerden çıkarılmaktadırlar. |
| Plaka Buz | Yatay plakanın yüzeyinde oluşturulan buz türüdür. 10-12 mm boyutlarındadır |
| Bulamaç Buz | Mikro kristal şeklinde buz parçacıkları bulduran buz türüdür. Bu buz türü su ile donma derecesi düşük olan solüsyonun meydana getirdiği buz olarak da tanımlanabilmektedir. |
| Külçe Buz | Bu buzun üretiminde kullanılan makinede çelik malzemesinden iki konik biçimli kısım vardır. Su tüpün iç kısmından geçtiği esnada soğutucu da dış cidarda bulunmaktadır. Böylece içeride bulunan su donar. İstenen kalınlığa gelen buz, su girişi durdurulduktan sonra kalıp içine sıcak gaz iletilerek alınmaktadır. |
| Pelte Buz | Dondurulan madde bir kimyasaldır ve bu kimyasalın dondurulması ile oluşan buz türüdür. |
| Kuru Buz | Karbondioksitten elde edilen buz türüdür. Bu buz türünün sıcaklığı -78.9 derecedir. |
| Hızlı Blok Buz | Su dolu tüplerin çevresinden soğutucu dolaştırılıp hızlı bir şekilde buz oluşumu elde edildiği için bu isimle adlandırılmıştır. |

Günlük hayatta birçok yerde kullanılan buz makineleri özellikle sıcak iklime sahip bölgelerde gıda sektöründe, endüstriyel mutfaklarda tercih

edilmektedir. Buz makinelerine çeşitli işletmelerde karşılaşmakla beraber ticari alanda birçok sektörde de karşılaşırız. Buz makineleri çok çeşitli olmakla beraber özellikle yaprak buz makineleri hem tatlı sudan hem de tuzlu sudan buzlar üretebilmektedir. Bu makinelerin en önemli özelliklerinden bir tanesi de hem hava soğutmalı hem de su soğutmalı olarak çalışabilmeleridir. Balıkçılar için en iyi tercih konteyner tip buz makineleridir. Bu konteyner tipli buz makineleri hem çok az yer kaplar hem de geniş hacmi sayesinde tüm ürünlerinizi tek bir makine içinde muhafaza etmenize olanak tanır.

Buz makineleri, otomatik veya manuel olarak deposuna doldurulan suyu pompa yardımıyla kapalı devre çalıştıran ve termodinamik soğutma çevrimi döngülerine göre çalışan sistemlerdir. Buz üretme işleminin süresi, sistemin gücüne, üretilecek buzun boyutuna ve soğutma tipine göre değişmektedir. Buz makinelerini depolanan ürün miktarı ve alan büyüklüğüne uygun olarak seçilir. Buz makinelerinin kapasiteleri, buz ihtiyaca göre 25 kg ile 15 ton arasında üretim yapabilmektedir. Üretilen buz boyutu ufak parçalardan, büyük parçalara kadar değişim göstermektedir. Buz yüzeyinin alanı ne kadar büyük olursa buzun batırıldığı sıvıdan ısı çekimi de o ölçüde hızlı olur. Buzların orta kısımları delik olursa ısı transfer alanı daha da artacağından buz oluşum süresi azalır. Buzun oluşma süresi ve yüzey alanı arasında doğrusal bir orantı bulunmaktadır. Buzlar çeşitli boyutlarda, küp, briket tipi ve dikdörtgen şeklinde üretilebilmektedir. Endüstriyel buz makineleri tatlı veya tuzlu suyu dondurabilme özelliğine sahiptir. Soğutma tipine bağlı olarak, su ve hava soğutmalı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Buz makinelerindeki tasarıma bağlı olarak, evaporatör üniteleri suya daldırılmış olarak düşey veya yatay konumda bulunabilmektedir. Su, buz makinelerinin su hazne bölümünde depolanmaktadır. Buz makinesi haznesinden soğutma ünitesine iletilen suyun, püskürtme işlemi devamlı olarak tekrarlanır. Püskürtme işlemi için ihtiyaç duyulan basınç, su pompasını tarafından sağlanmaktadır. Pompa ünitesi yardımıyla püskürtülen su, saniyeler içerisinde buza dönüşmekte ve buz haznesine aktarılmaktadır. Soğutmanın meydana geldiği bölüm genellikle fincan şeklinde bir forma sahip olsa da kare şeklinde soğutma üniteleri de bulunmaktadır. Buz haznesinin şekli üretilen buzun şeklinde belirleyici bir rol almaktadır. Buz parçalarının boyutu kırıcı mekanizmasına bağlıdır. Bazı kırıcı üniteleri, bunu ince pullar halinde öğütürken, diğeri daha büyük ve düzensiz şekilde üretir. Buz makinesi tasarımlarında birçok farklı kombinasyon bulunmasına karşın hepsindeki temel prensip; bir buz tabakası oluşturulması ve buzun toplama kutusuna aktarılmasıdır. Mevcut buz makinelerinde tercihe göre farklı kullanım alanlarına uygun olarak buz kalınlığı (içi boş veya dolu) ayarlanabilmektedir. Sistemde hava filtreli kondenser kullanılarak kompresörlerin aşınmasını azaltılmaktadır. Bu sayede sistemin daha verimli ve uzun süreli kullanım imkânı sağlamaktadır.

2.YAPILAN ÇALIŞMALAR

Shin ve arkadaşları (Shin ve ark., 2000) buz parçacığı üretimi için su spreyi buharlaştırma yöntemini incelemek üzere teorik hem de deneysel bir çalışma yapmışlardır. Tasarlamış oldukları vakum odasında, iç ortam basınç değerini suyun donma noktasının altında tutulabilmişlerdir. Vakum odasına, ortam sıcaklığındaki su damlacıklarının püskürtülmesiyle deneysel olarak 300 µm'nin altında küresel buz parçacıkları elde etmişlerdir. Damlacığın soğutma ortamında 0,07 s'den fazla süre kalması için 1,33 m yüksekliğinde bir vakum odası oluşturulmuştur. Damlacık boyutunun buzlaşmaya olan etkisi noktasında incelemede bulunmuşlardır. Deneyde, 250-500 mm boyutlarında bir su deposu, bir su pompası ve püskürtme memeleri kullanılmıştır. Su pompası, suyu 7 atm'ye kadar basınçlandırıp nozula göndermektedir. Sistemdeki evaporatör ünitesi üç gözetleme camına sahip bir vakum odası olarak tanımlanabilir. Haznenin üst boşluğunda bulunan püskürtme memeleri içi boş koni şeklindedir. Sistemde iki kademeli bir kompresör kullanılmaktadır. Kondenser ünitesi su soğutmalı borulu ısı eşanjör sisteminden oluşmaktadır. Vakum pompası 1500 l/dk debiye sahip olup kompresör çalışmadan önce sistemdeki gazı vakuma almaktadır. Sistem çalışma basınç verileri basınç sensörleri tarafından ölçümlenmekte ve kayda alınmaktadır. Deneyin başlatılabilmesi için vakum pompası ile sistemin başlangıç basıncının 2,67 kPa (=20 mmHg) değerinin altına çekilmesi gerekmektedir. Sistem iç basıncı istenen seviyeye geldikten sonra sırasıyla iki hidrofor devreye alınır. Oda basıncı 0,133 kPa'nın (=1 mmHg) altına düştükten sonra, vakum pompası durdurulmakta ve sprey akış hızını kontrol eden valf açılarak su püskürtmesi başlatılmaktadır. Sistem stabil duruma gelince küresel buz parçaları devamlı olarak üretilebilir. Çalışma sonucu elde edilen verilerle ince küresel buz parçacıklarının bir vakum odasında suyun sürekli püskürtülmesi ile elde edilebildiği gözlemlenmiştir. Çalışma sonuçları, püskürtme debisinin sistemin performansına etki ederken, nozulun konumunun ise sistem performansına düşük bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Zhang ve arkadaşları (Zhang ve ark., 2013) yapmış oldukları çalışmada vakumlu ikili buz yapımını incelemişlerdir. Vakum ortamında hızlı buharlaşma ve buz oluşum süreci üzerine bir model oluşturmuşlardır. Buz yapma sürecini incelemek üzere deney düzeneği hazırlamışlardır. Kullanmış oldukları vakum cihazı ile su damlacığının çevresel basıncını azaltmış ve buharlaşmanın hızlanmasını sağlamışlardır. Vakum ikili buz yapma işleminde daha düşük çevresel basınçta daha yüksek IPF (buz paketleme faktörü) elde edilmesi mümkündür. Buz yapma prosesinde, IPF için damlacık boyutu ve damlacığın başlangıç hızı önemli bir parametre olmuştur. Damlacık boyutu küçültüldüğünde donma işlemi daha kolay bir biçimde sağlanabilmektedir. Damlacık boyutunu küçülterek daha yüksek bir IPF

elde edilebilmektedir. Damlacık başlangıç hızının yüksek olması, IPF’de azalmaya yol açmıştır. Çalışma sonuçları, bu yöntemin yüksek verimli bir metot olduğu göstermiştir.

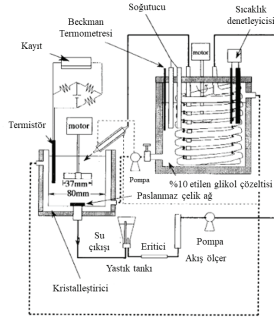
Kim ve arkadaşları (Kim ve ark., 2001) yapmış oldukları çalışmada su püskürtme yöntemi ile buz bulamacı üretimini teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. 13.5 °C ortam sıcaklığında ve hazne basıncı suyun üçlü noktasının altındayken 2 l/h akış hızında nozuldan su püskürtülmüştür. Yapmış oldukları sistemde spreyci damlacıklarının (veya buz parçacıklarının) çoğu, vakum egzoz hattından geçerek hazne tabanına düşmemiştir. Bunun en büyük nedeni, seçilen vakum pompasının performansının su buharını ve damlacıkları sürüklemek için yeterli seviyede olmamasıdır. Bu durumun bir sonucu olarak damlacıklar kısa bir sürede su spreyleme çıkışının etrafında donmuştur. Damlacıkların spreyleme çıkışı çevresinde donmasını engelleyebilmek için, donma noktası saf sudan daha düşük olan etilen glikol (%7) + su çözeltisinden faydalanılmıştır. Bu çözelti karışımı, daha az donma hareketiyle daha fazla damlacığı atomize edebilen başka bir spreyleme ünitesi tarafından püskürtülmüştür. Çözelti püskürtmeye başladıktan 6 dakikada sonra, hazne basıncı artmış ancak damlacıklar buharlaştığından dolayı hazne içindeki sıcaklık düşmüştür. Vakum pompasının performansı yüksek olduğunda, buharın büyük miktarı anında soğuk tuzağa emilmekte ve hazne sıcaklığı çok hızlı düşmektedir. Hazne duvarı ve solüsyon oda sıcaklığında olmasına rağmen, hazne iç sıcaklığının, 0,44 kPa hazne basıncı altında yaklaşık -4°C’ye düştüğü tespit edilmiştir. Taşınabilir buz bulamacının oluşturulan sistem ile yapılabileceği anlaşılmıştır. Bundan dolayı buz bulamacı yapmak için, spreyleme ünitesi seçiminin önemli hususlardan biri olduğu ortaya çıkmaktadır. Yapılan teorik analizden, damlacık boyutu yeterince küçültülerek 20°C’lik bir başlangıç sıcaklığında dahi buz elde edilebileceği sonucuna ulaşılmaktadır. Bu çalışma sonucunda, difüzyon kontrollü buharlaştırma modelinin, deneysel sonuçla nispeten uyum içinde olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca, %7 etilen glikol + su çözeltisinden gerekli koşullar sağlanarak ince buz parçacıkları içeren bir buz bulamacı elde edilebileceği deneysel olarak kanıtlanmıştır.

Li ve arkadaşları (Li ve ark., 2009) yapmış oldukları çalışmada atık ısıyı kullanan yeni bir buz bulamacı üretim sistemi önermişlerdir. Soğutulmuş su kullanan geleneksel buz bulamacı üretim yöntemi ile buz bloğunun kararsızlığı sorunu çözümlenememekte ve sistem büyük ölçüde elektrik gücüne bağlı kalmaktadır. Geleneksel sistemle karşılaştırıldığında, incelenen yeni sistem, elektrik talebini azaltarak verimliliği arttırabilme özelliğine sahiptir. İncelenen sistemde su (0 °C’nin üzerinde) bir su tankından pompalanmakta ve “buz üretim odasına” püskürtülmektedir. 0 °C’nin altında olan bu odaya az nemli hava verilir. Püskürtülen su damlacıkları, su buharı basıncı farkından dolayı buharlaşmayı sürdürürler. Bu süreçte

damlacıkların sıcaklığı hızla azalır. Sıcaklığı azalan damlacıklara kendisini çevreleyen atmosferden ısı akışı meydana gelmektedir. Bu durum da damlacık sıcaklığında bir artıma sebep olmaktadır. Bu süreçte bir denge ortamı oluşur ve damlacıkların sıcaklığı, yaş termometre sıcaklığı $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki buz üretimi odası havanın sıcaklığına yaklaşır. $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik buz üretimi odası sıcaklığı, buz bulamacı üretimi için güvenilir bir soğutma derecesi olarak kabul edilebilir. Buz üretim odasında su damlacıklarından bazıları buza dönüşürken bazıları dönüşmemektedir. Suyu ve buzu ayırmak için bir buz/su ayırıcısı kullanılmaktadır. Sistemden nemin uzaklaştırılması için nem alma cihazı kullanılmaktadır. Nem alma süreci esnasında, güçlü kurutucu solüsyon havadaki nemi emerek zayıf bir solüsyon haline gelmektedir. Döngüyü sürdürmek için bu zayıf çözüm yeniden etkinleştirilmelidir. Bir ısı kaynağının sıvı nem alma döngüsünü yürütmesi için sıcaklık eşiği yalnızca $60\text{-}80\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğundan kondenserden atılan ısı bu işi yapmak için tekrardan kullanılabilir. Sonuç olarak bu sistemle su buharlaşarak aşırı soğutulur ve buza dönüşür. Böylece buz bloğu problemi engellenmiş olur ve buz bulamacı üretme süreci daha güvenilir hale bu yöntemle gelebilir. Soğutma çevrimi sadece soğutma yükünü sağlamakla kalmaz, aynı zamanda buz bulamacının üretilmesi için kondansatöründen normalde boşa harcanan ısıya da katkı sağlar Bu önemli bir gelişme çünkü bu ikili etki elektrik gücünün yükünü azaltır ve tüm performans iyileşmiş olur.

Kobayashi ve arkadaşları (Kobayashi ve ark., 1996) yapmış oldukları çalışmada glikoz çözeltisinde büyük buz kristali üretimi için buz kristallerini aglomere etme yoluyla bir yöntem önerdiler. Aglomere etmek küçük parçacıkların bir araya getirilip yapıştırılması veya başka bir yolla birbirine bağlanması sonucu elde edilen yapıya verilen addır. Buz kristalleri aglomere edildikten sonra aglomeralar, buz kristalleştirme için ısının sirküle edilmesini sağlayan soğutucu tarafından kristalleştiricinin duvarından uzaklaştırıldığı ortak bir parti kristalleştiricide büyük bir buz kristaline kaynaştırıldı. Tavsiye ettikleri yöntemde saf suyun (1 litre), buz kristalleştirmesi maksadıyla ısıyı uzaklaştırmak için kristalleştirici ile harici soğutucu arasında sirküle edilmesi sağlanmıştır. Su, kristalleştiricide dört bıçaklı düz yapılı bir karıştırıcı vasıtasıyla 600 dev/dk dönüş hızında çalkalanmıştır. Harici soğutucudaki sıcaklık, bir soğutucu ve bir sıcaklık kontrol sistemi yardımıyla kontrol amacıyla tespit edilmiştir. Kristalleştiricideki sıcaklık donma noktasına vardığı zaman buz kristalleşmesini başlatmak üzere kristalleştiriciye bir tohum buz kristali ($50\text{ }\mu\text{g}$) verilmiştir. Bakır-konstantan termokupl yardımıyla kristalleştiricideki sıcaklık ölçülmüştür. Çıkışta bir paslanmaz çelik ağ (400 gözenek) tarafından reddedilen buz kristalleri içermeyen su, paslanmaz çelik ağdan geçen küçük buz kristallerinin tetiklediği buz oluşumuyla soğutucunun tıkanmasını engellemek için harici buz eritici ve soğutucu yardımıyla kristalleştiriciye geri

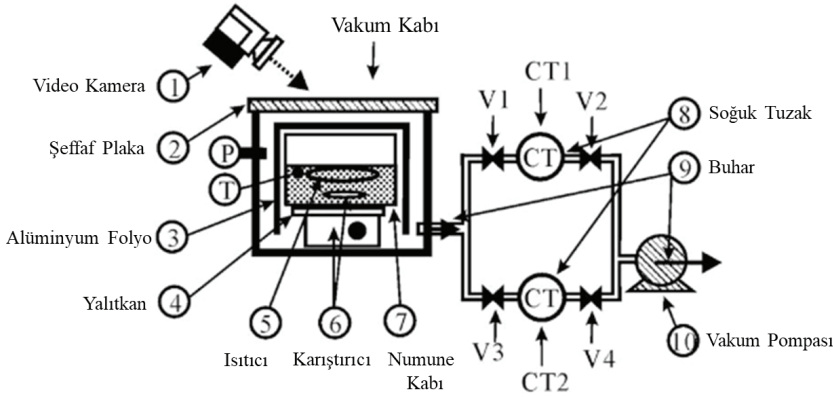
döndürülmüş ve sırasıyla buz kristalleşmesine devam etmek için (Şekil 1’de her iki düz çizgi). Buz kristalleri kümeleni ve buz kümeleri, kristalleştiricide 2 saat bekletilerek keskin bir kristal boyut dağılımına sahip büyük buz kristalleri şeklinde kaynaşmıştır. Küçük tohum buz kristalleri istendiğinde glikoz çözeltisi (%10) kullanılmıştır. Bunun nedeni, buz kristali büyüme hızı azalırken buz kristallerinin ikincil çekirdekleşme hızı çözeltinin konsantrasyonundaki artışla artarmasıdır, bu da buz kristali boyutunun azalmasına yol açmaktadır. Bu buz kristalleri aynı zamanda tohum buz kristalleri şeklinde kullanılmıştır. Bu çalışmada, tohum oluşumunda (Şekil 1) kullanılan aynı parti kristalleştirici benimsenmiştir.



Şekil 1. Deney Düzenegi (Kobayashi ve ark., 1996)

Harici ısı eşanjörleri kullanılmamıştır fakat soğutucu bir pompa vasıtasıyla soğutma için kristalleştirici duvarı ve tank etrafında dolandırılmıştır. Bundan dolayı, kullanılan kristalleştirici, ortak bir kesikli kristalleştiriciydi. Kristalleştiricinin çalışma hacmi 450 ml idi. Kristalleştiricinin hem girişindeki hem de çıkışındaki soğutucunun sıcaklığı iki bakır-konstantan termokupl yardımıyla tespit edilmiştir. Numune solüsyonu ayrıca kristalleştiricide 600 dev/dak’lık bir dönüş hızıyla çalkalanmıştır. Numune solüsyonunun kristalleştiriciye dökülüp soğutucu yardımıyla soğutulması sağlanmıştır. Numune çözeltisinin sıcaklığı normalde 0-003 K/s oranında düştüğünden, sıcaklık farkının 0.001 doğrulukla ölçülmesini sağlayan bir termistör tarafından izlenmiştir. Sıcaklık donma noktasına yaklaştığı zaman tohum buz kristalleri kristalleştiriciye verilmiştir. İndüksiyon periyodundan sonra buz kristallerinin büyümesiyle üretilen gizli ısı sebebiyle numune çözeltisinin sıcaklığında artış yaşanmıştır. En düşük sıcaklık ile donma noktası arasındaki sıcaklık farkına ilk süper soğutma (ΔT) denir. Başlangıçtaki aşırı soğutmanın hızı, tohum buz kristallerinin kristalleştiriciye verildiği zamanlama değiştirilerek kontrol edilmiştir. Tohum buzu kristaller, çok küçük bir ilk aşırı soğutma (0.05 K’den daha az) gerektiğinde donma noktasının yaklaşık 0-2 K üzerinde tanıtılmıştır. Yığın kristalleştirmeye 2 saat devam edilmiştir

Asaoka ve arkadaşları (Asaoka ve ark., 2009) yapmış oldukları çalışmada buzdolabı kullanılmadan etanol çözeltisinden buz bulamacı üretimi için özgün bir yöntem tavsiye etmişlerdir. Bu yöntem kullanılarak buz bulamacının üretilmesi prosesi incelendi. Çözeltinin etanol konsantrasyonu ile buz-çözelti karışımından buharlaşan buhar arasındaki ilişki tespit edildi. Deney bir vakum kabı, iki soğuk tuzak ve bir vakum pompasından meydana gelmektedir. Kullanılan etanol çözeltileri, ağırlıkça %3 ila %30 arasında değişen başlangıç konsantrasyonlarına sahiptir. 150 (± 5) g numune, numune kabına dökülmüş ve vakum kabına konulmuştur. Numune kabının yalıtılmıştır. Kaba bir ısıtıcı ve iki termokaplı sabitlenmiştir. Bir termokupl ısıtıcıya (A noktası) ve kap duvarına (B noktası) yakın konumlandırılmıştır. Numuneye ulaşan radyan ısı miktarı ihmal edilemeyeceğinden, gelen radyasyonu bloke etmek için numune alüminyum folyo ile kaplanmıştır. İçerideki basıncı ölçmek amacıyla vakum kabına bir basınç göstergesi monte edilmiştir. Bir vakum pompası kullanılarak kap içindeki basınç, solüsyonun buharlaşması için azaltılmıştır. Çözeltiden buharlaştırılan buhar katılaştırılmış ve tekne ile pompa arasına kurulan soğuk tuzaklarda birikmiştir. Soğuk tuzaka giren buharın tamamının, deneysel şartlar altında toplanabildiği doğrulanmıştır. İki soğuk tuzak paralel olarak kurulmuştur ve yol, Şekil 2’de V1-V4 olarak gösterilen valfler kullanılarak yönlendirilmiştir.



Şekil 2. Deney Düzenegi (Asaoka ve ark., 2009)

Soğuk tuzaklardan biri “soğutma periyodu” olarak adlandırılan numunenin sıcaklığının düşürülmesi işlemi sırasında, diğeri ise “stabilizasyon periyodu” olarak adlandırılan sıcaklık sabitlendikten sonra kullanılmıştır. “Stabilizasyon süresi” esnasında soğuk tuzak tarafından toplanan etanol solüsyonunun konsantrasyonu, bir refraktometre kullanılarak ölçülmüştür.

Buharın buharlaşması ve buz oluşumu sebebiyle, buz üretim süreci boyunca çözeltinin konsantrasyonu değişmiştir. Buharın bileşimi, donma sıcaklığı ve çözeltinin doymuş basıncı, çözeltinin konsantrasyonundan büyük ölçüde etkilenebilmektedir. Etanol çözeltisi konsantrasyonu sabiti, sıcaklığı kontrol etmek için bir ısıtıcı yerleştirilmiştir. Etanol çözeltisinde buz görüldüğünde, sıcaklık, çözeltinin konsantrasyonu ile belirlenebilen donma sıcaklığında tutulmuştur. Çözelti ve buz karışımı soğutulduğunda veya ısıtıldığında, sıcaklık değişmezken buzun kütlesi değişmiştir. Böylece sıcaklık sabit tutulduğu için konsantrasyon sabit kalmıştır. Deneyde başlangıçta, kalan hava nedeniyle kaptaki basınç hala yüksek olduğundan çözelti buharlaşmaz. Basınç yeterince düştüğünde, solüsyon buharlaşmaya başlar ve buharlaşma gizli ısı nedeniyle solüsyonun sıcaklığı düşmeye başlamıştır. Bu, çözeltinin aşırı soğumasının serbest kaldığı ve buzun görünmeye başladığı anlamına gelir. Yapılan deneyden çıkarılan sonuçlara göre buz bulamacının bu yöntem kullanılarak elde edilebileceği doğrulanmıştır. Üretilen buzun etkisiyle buhar konsantrasyonunun azaldığı bulunmuştur. COP'nin buzun varlığından dolayı değiştiği de bulunmuştur. Tahmini COP yüksek olduğundan, bu sistemin buzdolabı kullanan diğer sistemlere karşın daha fazla bir COP seviyesine sahip olabileceği sonucuna varılmıştır.

Eryılmaz (Eryılmaz, U.S., 2016) yapmış olduğu bir çalışmada soğuk plaka soğutma ve sprey tipi ticari buz makinelerini incelemiştir. Piyasada çoğunlukla kullanılan ticari buz makinesi tipi soğuk plakalı soğutma tipi buz makineleridir. Bu tasarımda çalışma prensibi olarak su, direkt olarak buharlaştırıcıya temaslı dikey soğuk plakanın yüzeyinde sirküle edilmektedir. Soğuk plakanın alt kısmında bulunan su deposuna su pompası konumlandırılmıştır. Haznedan başlığa değin su pompalanmaktadır. Başlık, su dağıtım sisteminin üst kısmındaki plastik yapıdır. Su, başlığın altındaki deliklerden dağılacak şekilde gider ve soğuk levhaya iner. Su tankındaki pompadan kollektöre değin su iletebilmek için yararlanılmaktadır ve sonrasında su, buz kalıp hücrelerinin içine ve dışına hareket ederek soğuk plakaya düşer. Sistem çalıştığı esnada soğuk levha 0°C'nin altında bekletilir. Bundan dolayı, su akışı devam ederken soğuk plaka yüzeyinde buz toplanır. Buz birikirken bu su akışının sürdürülmesi, bu sistemin en önemli noktasıdır. Buz yapma prosesi'nin sonlandırılmasına, buharlaşma sıcaklığı buz kalınlığı ya da buz kalınlığı ölçümü yapılarak karar verilmektedir. Buharlaştırıcı daha çok buzla kaplandığında buharlaşma sıcaklığı azalır ve buz yapma prosesini sonlandırmak için buharlaşma sıcaklığının alt noktasına varılabilir. Kalınlık ölçülmek istendiğinde soğuk levha yüzeyinin önüne konumlandırılmış bir prob yardımıyla işlem gerçekleştirilir. Buz tabakasının kalınlığı yeterli miktarda arttığında, buzun üzerindeki su filmi prob devrenin kapanmasını sağlar ve işlemin sonlandığına dair ikaz verir. Buz yapma işleminin bitmesi kararlaştırıldığı

zaman kompresör ve pompa kapatılır. Buzun plaka yüzeyinden alınabilmesi için soğuk plakaya ısıtma işlemi uygulanır. Bu işleme buz hasadı adı verilir. Ticari buz makineleri, buharlaştırıcıyı ısıtmak ve buz hasat etmek için sıcak gaz adı verilen bir teknik ile bu süreci tamamlamaktadır. Sıcak gaz yöntemi, kompresör çıkışına konumlandırılan bir valf vasıtasıyla kompresörü direkt olarak evaporatöre takarak soğutma sisteminin kondansatörünü temel olarak bypass edilmesini sağlar. Sistem bu konfigürasyonda aktif olunca evaporatör soğutmanın aksine ısıtılmaktadır. Bunun yol ile meydana gelen buz küpleri plaka yüzeyinden düşer, buz hücrelerinden soğuk plaka üzerine düşer ve buz üretimi sonlanmış olur. Sprey tipli buz makinesinde ise tavan kısmındaki soğutulmuş metal hücrelere kadar basınçlı su püskürtebilen nozullar vardır. Metal hücreler doğrudan evaporatörle bağlı olup soğutucu akışkan yardımıyla soğutma işlemine tabi tutulmaktadır. Önceki sisteme benzer şekilde sistem çalışırken buz hücreleri 0°C'nin altında bekletilir. Bu iki sistemin farkı, ikinci tasarımda su akışının direkt olarak nozullardan kabinin tavanındaki soğuk yüzeye olmasıdır. Bu, soğuk plakalı soğutma tipi sistemden daha yüksek kapasiteli bir pompaya ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Bu üst tasarımın, önceki sisteme nazaran bir olumlu ve bir olumsuz yönü bulunmaktadır. Olumlu yönü, yukarı doğru yönlendirmeden kaynaklı buz hasadının daha kolay olmasıdır. Fakat olumsuz yönü, tavadaki soğutulmuş yüzeyleri kaplamak için yeterli su debisi olması gerektiğinden, daha büyük bir pompa kapasitesine gereksinimin olmasıdır. İlk tasarımda olduğu gibi, buz birikirken bu sabit su akışını muhafaza etmek, bu sistemin en baz özelliğidir. Hasat işlemi, soğuk plaka tipi buz makinelerinde kullanılan sıcak gaz tekniğinden faydalanılarak yapılır.

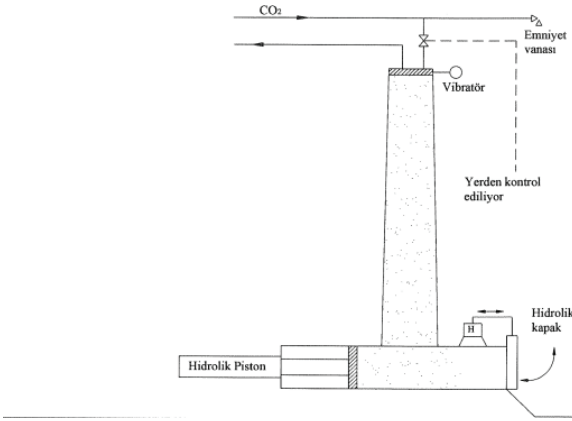
Yılmaz (Yılmaz, T., 1997) yapmış olduğu çalışmada serpantinler üzerinden buz elde edilmesini ve buz hasadını incelemişlerdir. Buz toplama sisteminden buz eldesin de prensip olarak soğutucu akışkanın düz olan ve düşey buharlaştırıcı levhalar içerisinden geçmesine dayanır ve bu esnada levhaların üstünden geçmekte olan su buz haline dönüşmektedir. Levhaların üstünde belli kalınlıkta buz meydana gelince, evaporatörden geçirilen sıcak soğutucu akışkan vasıtası ile buz evaporatörün atık kısmına konumlandırılmış su deposuna düşmektedir. Bu tankın altından alınan soğuk su iklimlendirilecek yerlere iletilir. Bu sistem sürekli olarak devam etmektedir. Serpantinler üzerinden buz elde etmede ise bir deponun içinde su bulunur ve bu su bulunan deponun içine serpantin konumlandırılır. Konumlandırılmış serpantin içinden soğutucu akışkan gezdirilerek, serpantin üstünde buz meydana gelir

Fertelli (Fertelli, A., 2008) yapmış olduğu çalışmada buz depolama sistemlerinden bahsetmektedir. Buz hasat sistemlerinde sistem çalışırken, buharlaştırıcı plakalar ya da tüpler üstünden giden suyun bir bölümü ka-

tılaşarak, sürekli şekilde biriken ve yahut aşağıdaki depoya bırakılan bir buz tabakası meydana getirmektedir. Harici eriyik depolama sisteminde ise ısı eşanjörü basınçsız bir su tankına daldırılır. Bu sayede bobinini üstünde buz meydana gelir ve depolanır. Dahili eriyik buz sistemlerinde ise doldurma ve boşaltma ısı transfer sıvısı olacak şekilde ikincil bir soğutucudan yararlanır. Soğutucu sıvısı su dolu tanklara daldırılmış tüpler ya da bobinler vasıtasıyla gezdirilir. Buz yapmak için bir soğutma sistemi soğutma sıvısını $-6\text{ }^{\circ}\text{C} / -3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar soğutur ve boruların dışında buz meydana gelir. Deponun boşaltımını sağlamak amacıyla sıcak soğutma sıvısı borulardan geçirilerek buzı içeriden dışarıya doğru eritir. Son depolama tekniği olan kapsüllü buz sistemlerinde, etilen glikol gibi ikincil bir soğutucuya daldırılmış plastik su kaplarından meydana gelmektedir. Donma ve çözülme olayları kaplarda tutulan suda olmaktadır. $-6\text{ }^{\circ}\text{C} / -3\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındaki soğutma sıvısı tankta sirküle edilir. Kapların içindeki su donarken gizli ısını verir. Depolamayı boşaltmak için, yükten gelmekte olan ısıyı taşıyan sıcak soğutma sıvısı tank içinde gezdirilir, kapsüllenmiş buzı eritir ve buzlar alınır.

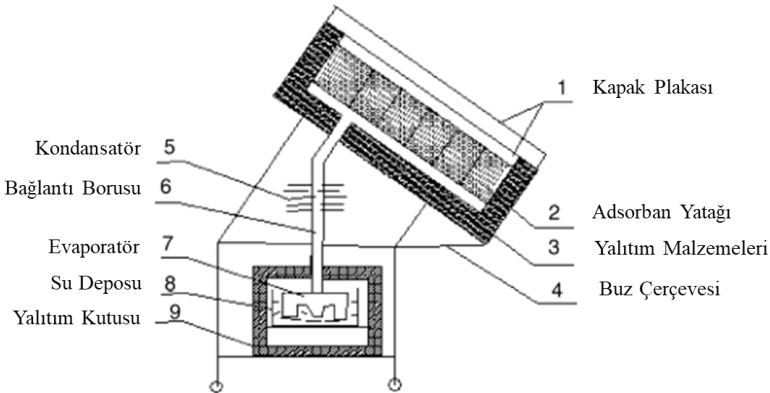
Akanlar (Akanlar, F. T., 2010) yapmış olduğu bir çalışmada kuru buz üretiminden tanımından bahsetmiştir. Çalışmada kuru buzdan bahsederken tarihte bu buzların tren soğutması için Newyork'lu şirketlere satıldığını belirtmiştir. Kuru buz üretimi sürecinde Sıvı karbondioksit $-78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ altında kar haline getirilmesi buz üretiminin birinci basamağıdır. Daha sonra kar biçimindeki katı CO_2 , 1 bar basınç şartlarında sıkıştırılarak kuru buz tanecikleri oluşturulur.

Mücasiroğlu (Mücasiroğlu, F., 2008) yapmış olduğu bir çalışmada kuru buz üretimi için uygun depolama şartlarının -23 ile $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve 16-19 bar olduğunu ifade etmiştir. Sistemde özel tanklar içinde depolanan sıvı karbondioksit kuru buz makinesine aktarılmaktadır. Kuru buz makinesinde ani bir biçimde atmosfer basıncındaki ortama gelen sıvı karbondioksit bir anda kar haline gelmektedir. Bu işlem gerçekleşirken gaz haline dönüşen bir miktar karbondioksit, makinanın kolonunun üst tarafından alınıp tekrar yoğunlaştırılmak üzere soğutuculara aktarılır. Kolonun üst bölgesinde titreşim olması amacıyla konumlandırılmış bir vibratör vardır. Vibratör vasıtasıyla aşağı indirilen kar halindeki madde şekillendirme ve sıkıştırma yapan aparat üstüne toplanmaktadır. Hidrolik bir piston ve yine hidrolik basınç ile açılıp kapanan bir kapak vasıtasıyla toplanmış karlar sıkıştırılma işlemine tabi tutulup şekil verilir (Şekil 3).



Şekil 3. Kuru Buz Makinesi İçin Sistem (Mücasiroğlu, F. (2008))

Li ve arkadaşları (Li ve ark., 2004) yapmış oldukları bir çalışmada valf kullanmaksızın güneş enerjisi destekli buz makinesi tasarlamışlardır. Tasarlanan sistem, absorpsiyonlu soğutma sistemlerindeki temel prensiplerle oluşturulmuştur. Akışkan güneş enerjisinin etkisiyle buharlaşır ve bu buhar kondenser aracılığıyla sıvıya soğutularak doğrudan evaporatöre aktarılır. Evaporatör ünitesindeki buharlaşma işlemi sırasında çevreden ısı çekerek suyun buz haline dönüşmesi sağlanır. Soğutucu akışkanın buharlaşmasından soğutma etkisi sağlanır ve ısı yalıtımlı su kutusu içerisine konulan su deposunda buz oluşur. Tasarlanan güneş enerjisi destekli buz makinesinin, ortalama 18-22 MJ/m² güneş radyasyonu şartlarında, günlük yaklaşık 4-5 kg buz üretebileceği tespit edilmiştir.



Şekil 4. Solar Buz Yapma Makinesi Şeması (Li ve ark., 2004)

3.SONUÇ

Yapılan inceleme sonucunda buz üretimi için farklı tasarımlar ile endüstriyel çözümler bulunduğu görülmüştür. Tasarımların birçoğunda ortak sistem elemanların kullanılmıştır. Buz depolama ünitelerine buz yapma mekanizmalarının entegre edilmesi, depolama sistemlerine hız ve pratiklik kazandırmaktadır. Buza ihtiyaç duyulan farklı sektörlerde buz makinalarının kullanımı ile yapılan işlemler daha hızlı ve kolay bir şekilde sonuçlandırılabilir.

- Buz tıkanması problemini önlemek için su, nemi az olan bir ortamda soğutulabilir. Bu şekilde buz üretimi daha güvenli hale getirilebilir.
- Soğutma döngüsünde yer alan kondansatörden dışarıya atılan ısıyı kullanarak sistem elektrik yükü azaltılabilir.
- Püskürtme debisinin sistemin performansına etki ederken, nozulun konumunun ise sistem performansına düşük bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.
- İnce buz parçacıklarından oluşan buz bulamacı üretmek için farklı su çözeltilerinden faydalanılabilmektedir. Bu su çözeltisinden biri de etilen glikol sulu çözeltisidir.
- Buz depolamalı sistemler vasıtasıyla buz üretilip ve depolanırken bunun sonucunda herhangi bir yerin iklimlendirme işlemi yapılabilmesi mümkün hale gelmiştir.
- Buz üretim metotlarından biri de güneşin enerjisini kullanarak buz üretiminin gerçekleştirilmesidir. Güneşin sağladığı ısı elektrikten de tasarruf edilmesine büyük ölçüde olanak sağlamakla birlikte elektriğin olmadığı ortamlarda bu sistemin kullanılmasını da mümkün hale getirebilmektedir.

KAYNAKÇA

- Asaoka, T., Saito, A., Okawa, S., Kumano, H., Hozumi, T. 2009. Vacuum freezing type ice slurry production using ethanol solution 2nd report: Investigation on evaporation characteristics of ice slurry in ice production. *International Journal of Refrigeration*, 32(3), 394-401.
- Akanlar, F. T. 2010. Gemi inşaatında atık ürünlerinin geri dönüşümünün incelenmesi. (Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul). <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/> adresinden edinilmiştir.
- Eryılmaz, U. S. 2016. Buz Dolabında Saydam Buz Oluşturulmasının Deneysel ve Matematiksel Olarak incelenmesi. (Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul). <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/> adresinden edinilmiştir.
- Fertelli, A. 2008. Air-conditioning System with Ice Thermal Storage. (Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana). <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/> adresinden edinilmiştir.
- Kocatepe, D., Taşkaya, G., Turan, H., Yalçın, K. A. Y. A. 2010. Balıklarda Buzlama İşlemi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (1), 17-27. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/pub/derleme/issue/35100/389411>
- Kim, B. S., Shin, H. T., Lee, Y. P., Jurng, J. 2001. Study on ice slurry production by water spray. *International Journal of Refrigeration*, 24(2), 176-184.
- Kobayashi, A., Shirai, Y., Nakanishi, K., Matsuno, R. 1996. A method for making large agglomerated ice crystals for freeze concentration. *Journal of Food Engineering*, 27(1), 1-15.
- Li, X. W., Zhang, X. S., Cao, R. Q., Fu, X. Z. 2009. A novel ice slurry producing system: Producing ice by utilizing inner waste heat. *Energy Conversion and Management*, 50(12), 2893-2904.
- Li, M., Sun, C. J., Wang, R. Z., Cai, W. D. 2004. Development of no valve solar ice maker. *Applied Thermal Engineering*, 24(5-6), 865-872.
- Mücasiroğlu, F. 2008. Jeotermal enerjiden kuru buz üretimi (Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli). <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/> adresinden edinilmiştir.
- Shin, H. T., Lee, Y. P., Jurng, J. 2000. Spherical-shaped ice particle production by spraying water in a vacuum chamber. *Applied Thermal Engineering*, 20(5), 439-454.
- Yılmaz, T. 1997. Su veya Buz Depolama Yöntemleriyle İklimlendirme. III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi. 137-149.
- Zhang, X., Han, Z., Li, Z. 2013. Analysis on IPF influencing factors for vacuum binary ice making method. *International Journal of Thermal Sciences*, 67, 210-216.

BÖLÜM 13

TEDARİK ZİNCİRİ TASARIMINDA MODELLEME YAKLAŞIMLARI VE SİMÜLASYON¹

Gülnehal AKAN ÖZKÖK²

¹ Bu çalışma künyesi verilmiş olan doktora tezinden üretilmiştir. Tedarik Zinciri Tasarımı ve Yönetiminde Simülasyon Uygulamaları ve Jenerik Simülasyon Modeli Önerisi, Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Anabilim Dalı, Lojistik ve Tedarik Zinciri Doktora Programı, Doktora Tez Danışmanı, Dr. Öğretim Üyesi Halil Halefşan SÜMEN, 2022.

² Dr. , Maltepe Üniversitesi İşletme ve Yönetim Bilimleri Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik (İngilizce) Bölümü Araştırma Görevlisi, gulnihalkan@maltepe.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1495-6479.

1. Tedarik Zinciri Tasarımı

Tedarik zinciri tasarımı, tedarik zincirinin nasıl yapılandırılacağıının belirlenmesini içerir. Tasarım kararı, iş ortaklarının seçimi, depo ve üretim tesislerinin yerlerinin ve kapasitelerinin belirlenmesi, ürünlerin, taşıma şekillerinin ve bunları destekleyen bilgi sistemlerinin belirlenmesi kararlarını içerir. Dolayısıyla, bir tasarım kararının oluşması, çok disiplinli bir katılım, yüksek tecrübe, uzman bilgisi, teknolojik altyapı, yeterli kaynak ve zamana ihtiyaç duyar. Tedarik zinciri tasarımı, çok fonksiyonlu bir süreç olması nedeniyle, finans, pazarlama, üretim ve tedarik zinciri takım üyelerinin tasarım sürecinde aktif rol almasını gerektirir. Ürün programına dahil olan her bir grubun sürece dahil olması, maliyet, temin süresi ve elde bulunabilirlik gibi önemli konularda faydalı bilgi sağlaması nedeniyle tedarik zinciri tasarımının başarısıyla birebir ilişkilendirilebilir. Tedarik zinciri tasarımı, tasarlanacak tedarik zincirinin niteliklerinin, iş yapma mekanizmasının ve kurallarının belirlenmesi süreçlerini kapsar. Bir tedarik zincirinin tasarlanması, bu tedarik zincirindeki tesislerin sayısı, yerleri ve kapasiteleri ile üretim, taşıma ve depolama miktarlarının belirlenmesini, taşıma ve depolama şekillerinin belirlenmesi ile bu aktivitelerin yürütülmesini destekleyen tüm ürün, hizmet ve bilgi akışı süreçlerinin yapılandırılmasını içerir (Calleja vd., 2018, s. 4468).

Literatürde yer alan tedarik zinciri tasarımı konulu çalışmaları, ürün tasarımını temel alan yaklaşımlar ve süreç tasarımını temel alan yaklaşımlar olmak üzere iki grupta incelemek mümkündür. Ürün tasarımını temel alan yaklaşımlar, tedarik zinciri tasarımının, ürün tasarımı ve üretim süreci tasarımı esnasında eşzamanlı olarak yapılması gerekliliğini öneren yaklaşımlardır. Bu çalışmalar, sırasıyla ürün tasarımı, süreç tasarımı ve tedarik zinciri tasarımı çalışmalarının ardı ardına yürütülmesinin, tedarik zinciri tasarımının başarısını olumsuz yönde etkilediği savunmaktadır. Ürün yaşam çevrimi göz önünde bulundurularak, ürün, süreç ve tedarik zinciri tasarımının birlikte eşzamanlı yapılması gerekliliği savunulmaktadır (Rungtusanatham, Forza, 2005).

Süreç tasarımını temel alan yaklaşımlar ise envanter optimizasyonu, ağ tasarımı, tesis tahsisi ve bunların sentezinden oluşan problemlere çözüm üretmeye çalışan yaklaşımlardır. Envanter optimizasyonu problemlerinde, envanterin tedarik zinciri içinde nasıl hareket edeceği ve envanter kontrol parametrelerinin nasıl belirleneceği gibi envanter politikaları incelenmektedir. Ağ tasarımı modellerinde, her bir tesisin nereye kurulacağı, kapasitelerinin ne olacağı, hangi pazara hizmet sunacağı ve hangi tedarikçiden kaynak temin edeceği konularının belirlenmesi ile birlikte, kurulacak tesislerin sayısı ve her tesisin tedarik zinciri içinde üstleneceği rol belirlenmektedir (Gunasekaran, Ngai, 2005; Karaman, Altıok, 2009).

2. Tedarik Zinciri Tasarım Aşamaları

İşletmelerde tedarik zincirinin kurulması ayrıntılı bir planlama gerektirir. Bir zincir boyunca her dakika yüzlerce birbirinden bağımsız kararlar alınabilir ve bunların koordine edilmesi gerekir. Çok karışık yapıya sahip olan tedarik zincirlerin oluşturulmasında tüm ayrıntıların planlama aşamasında yer alması gerekmez. Tedarik zinciri ağlarının etkin tasarımı ve yönetimi, üretimin ve çeşitli ürünlerinin tesliminin düşük maliyet, kısa gecikme zamanı ve yüksek kalitede olmasına yardım eder. Rekabetçi performans açısından tedarik zinciri ağının yapısının çok önemli olduğu açıktır. Tedarik zinciri ağının tasarımında yerine getirmesi gereken aşamalar aşağıda kısaca anlatılmıştır (Paksoy, 2005, s. 438-439):

1) Problemin Tanımlanması: Bir çalışma temelde bir ihtiyaca yönelik hazırlanmamışsa, eksiksizliği ve detaylılığı herhangi bir anlam ifade etmez. Etkili bir çalışmanın yapılabilmesi için, potansiyel problemleri bulunan sistemlerde yer alan parçaların incelenerek ve çalışmaların bunlara göre oluşturulması gerekir. Problem başarılı bir model kurucusu aracılığı ile sistemin tüm parçalarını içine alacak şekilde tasarlanmalıdır. Ancak fazla ve gereksiz bilgilere yer verilen bir model bilgisayar üzerinde diğer modellerle karşılaştırıldığında daha yavaş çalışma ve yüksek maliyet gibi dezavantajlarla karşılaşabilir.

2) Hedeflerin Belirlenmesi: Tedarik zinciri modelinin amaçları belirlenirken çalışılması planlanan tedarik zincirinin durumu göz önüne alınır. Geliştirmede yararlanılan bazı metotların, çalışma hedeflerinin oluşturulmasında rolü büyüktür. Ancak belirlenen hedefler, önceden oluşturulan modelin sonucunun yeni verilere uyarlanmasına engel olacak şekilde dar planlanmaması gerekir.

3) Model Formülasyonu: Hedeflerin ve problemin belirlenmesinin ardından, model kurucusu modelin çatısını geliştirir. Bu çatı çoğunlukla olayın prensibini ve kullanılmış olan elemanları bulundurur. Toplanmış olan verilerin doğruluğu, elde edilecek sonuç açısından çok önemlidir. Yapılan ilk planda; bilgi kaynağının, gerekli verilerin ve bu bilgilerin nasıl elde edilebileceğinin belirtilmesi gerekir. Öncelikle, çalışma hedefleri ile ilişkisi bulunan bilgilerin belirlenmesi gerekir. Tecrübeli olan bir model kurucunun, çalışmanın içinde yer alan diğer kişilere gerekli ve gereksiz verileri konusunda yardımcı olmalıdır.

Tedarik zinciri tasarımını gerçekleştirmek için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Tedarik zinciri tasarımı yöntemleri genellikle, tedarik zinciri tasarımı probleminin çözümü için hazırlık, tedarik zinciri tasarımının tespiti, performans ölçütlerinin tanımlanması ve verilen kararların değerlendirilmesi gibi genel karar verme aşamalarını içermektedir. Önerilen yöntemler temelde aynı süreci işaret etmektedir. Örneğin, Chandra

ve Grabis (2007) tarafından önerilen tedarik zinciri tasarımı metodolojisi adımları aşağıda sunulmuştur.

- Tasarım girişimini başlatma
- Karar ortamının tanımlanması ve modelleme hedefinin belirlenmesi
- Bilgi modellerinin geliştirilmesi
- Veri erişilebilirliğine bağlı olarak amaçların tekrar değerlendirilmesi
- Karar verme planı oluşturulması
- n seçim
- Seçim modellerinin geliştirilmesi ve çalıştırılması
- Çıktıların analizi
- Sonuçların kabul edilmesi
- Tasarım kararının uygulanması
- Beklenen ve gerçekleşen performans ölçütü değerlerinin izlenmesi (Chandra & Grabis, 2007).

3. Tedarik Zinciri Tasarım Amaçları

Tedarik zinciri, hammadde ve malzeme kaynaklarından başlamak üzere tteticilere uzanan, farklı coğrafi lokasyonlarda faaliyet gösteren, farklı ve kendi öz amaçları olan bağımsız kuruluşlar ile bu kuruluşlar tarafından gerçekleştirilen, birbirini izleyen üretim ve lojistik operasyonları zinciridir. Bu zincirin temel amacı müşteriler için değer yaratmak ve bu süreç içinde kar elde etmektir.

Tedarik zincirinde tasarımın gerçekleşmesi için operasyonel, taktik ve stratejik kararlar çerçevesinde amaçlar belirlenir. Belirlenen amaçlar doğrultusunda verilen kararlar mevcut tedarik zincirinin optimize edilmesi sağlanır. Tedarik zinciri tasarımı esnasında aşağıdaki kararlar amaç fonksiyonlarını oluşturmaktadır (Trkz, 2007).

Müşteri Hizmet İhtiyaçları: Kısıtlı müşteri hizmet seviyesi hedefleri, merkezi stokların birkaç yerde oluşturulmasına ve daha ekonomik taşıma tiplerinin kullanılmasına olanak sağlar. Yüksek müşteri hizmet seviyesi hedeflendiğinde ise kısıtlı hizmet seviyesinin tam tersi gerçekleşir. Hizmet seviyeleri çok üst sınırlaee çıktığında lojistik maliyetler artmaktadır. Bu sebeple en uygun müşteri hizmet seviyesine karar verilmelidir.

Lojistik Ağı Yapılandırılması ve Tesis Yeri Seçimi: Tedarik zinciri tasarımında gerekli fabrika ve depo sayısının belirlenmesi, tesislerin yer

seçimi, kapasitelerinin belirlenmesi en önemli stratejik kararlardandır. Bu sebeple tedarik zinciri boyunca maliyetlerin en aza indirgenmesi yönünde önemli rol oynamaktadır.

Stok Yönetimi: Yüksek stok müşteri hizmet seviyelerini gerçekleştirilmesi için garantidir ancak en büyük maliyet kalemine de sebep olmaktadır. Bu sebeple optimum stok kararını verebilmek tedarik zinciri tasarımında önemli bir amaç fonksiyonunu oluşturur.

Taşıma Kararları: Taşıma, tedarik zinciri tasarımının ve yönetiminin en önemli bileşenidir. Taşıma modu seçenekleri havayolu, karayolu, demiryolu, denizyolu ya da multimodel taşımadır. Taşıma kararları, stok seviyelerine, taşıma modu kararı, büyüklüğüne karar verme, yük birleştirme kararları, taşıyıcı rota tayini, araç çizelgeleme kararlarını içerir.

Üretim Kararları: Hangi ürünlerin üretileceği, üretim alanları, hammadde tedarikçi kararları stratejik kararlar olup operasyonel kararlara yön verir ve detaylı üretim planlamaları yapılır.

Dağıtım Stratejileri: Doğrudan sevkiyat, depolama, distribütörler, aktarma merkezlerini içeren dağıtım stratejilerine karar verilerek tasarım yapılır.

4. Tedarik Zinciri Tasarımı Karar Değişkenleri

Tedarik zinciri yönetiminde birçok karar verme problemi söz konusudur. Bu değişkenler aşağıdaki beş başlık altında açıklanmıştır (Dönmez, 2007):

Yer seçimi kararları: Üretim tesislerinin ve depoların sayılarının ve coğrafi konumlarının belirlenmesi, tedarik zinciri oluşturmada ilk karar adımıdır. Tesislerin konumlarının belirlenmesi, uzun dönem planlarında kaynaklara bağlıdır. Bu kararlar firmaların rekabet güçlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Yer seçimi kararları, üretim ve taşıma maliyetleri, vergiler, bölgesel bileşenler gibi etkenlere bağlı olarak tanımlanır. Ayrıca seçilen konumun, firma, tedarikçiler ve müşteriler arasındaki optimum ağı oluşturması amaçlanır.

Üretim kararları: Üretim kararları kapsamında değerlendirilebilecek kararlar, hangi üründen hangi üretim tesisinde ne kadar üretileceğinin, hangi tedarikçilerden ne kadar malzeme/ara ürün temin edileceğinin ve üretim tesisleri ile depoların kapasitelerinin belirlenmesi gibi kararları içerir. Bu kararların gelir, maliyet, finansman ve müşteri hizmetleri üzerinde derin etkileri vardır. Bu kararlar verilirken, tesislerin konumları veri olarak alınır. Operasyonel seviyedeki üretim kararları ise detaylı üretim çizelgelemesine dayanır. Taktik düzeyde belirlenen ana üretim çizelgesine uygun bir şekilde, makineler bazında üretim çizelgelerinin oluşturulması ve

araç gerecin bakımı gibi süreçlere ilişkin kararları içerir.

Stok kararları: Tedarik zincirinin her aşamasında hammadde, ara ürün ve bitmiş ürün stoklarıyla karşılaşıldığından, stokların yönetimine ilişkin kararlar, tedarik zinciri yönetiminin önemli bir diğer karar alanını oluşturmaktadır. Tedarik zincirinde tutulan stoklar, birçok belirsizliğe karşı tampon görevi görmektedir. Stokların etkin yönetimi, tedarik zinciri operasyonları için kritik bir unsurdur. Sipariş miktarının ve yeniden sipariş verme noktasının optimum seviyesinin tanımlanması, güvenlik stoğu düzeyinin belirlenmesi, bu alanda verilmesi gereken en önemli kararlardandır. Bu kararlar, müşterilere sunulan hizmetin düzeyini de büyük ölçüde etkilemektedir.

Taşıma kararları: Tedarik zinciri boyunca ürünlerin nasıl taşınacağına ilişkin verilmesi gereken kararlar, stok kararlarıyla çok yakından bağlantılıdır. rnlerin taşınmasında hangi taşıma tipinin kullanılacağıının belirlenmesi, bu alanda ele alınabilecek kararlardan birisidir. Hava yollarını kullanmak, hızlı, güvenilir ve daha az güvenlik stoğu tutulmasını gerektiren bir yol olmakla beraber pahalı bir yoldur. Deniz yoluyla veya demiryoluyla taşıma daha ucuz olabilir, ancak bu durumda nakliye sırasında karşılaşılabilecek belirsizliklere karşı tampon görevi görecek yüksek miktarda stok tutulması gerekir. Ayrıca hedeflenen müşteri memnuniyeti düzeyi ile tesislerin, depoların ve müşterilerin coğrafı yerleşimleri, bu kararların alınmasında önemli rol oynar. rnlerin taşınmasında kullanılacak araç filusunun büyüklüğünün tespiti, bu araçların rotalarının belirlenmesi ve çizelgelenmesi, araçlarda taşınacak kargo büyüklüğünün ve ürün bileşiminin belirlenmesi, kilit önem taşıyan taşıma kararlarındandır.

Dağıtım ağı kararları: Dağıtım ağı tasarımı, tedarik zinciri yönetiminde ele alınması gereken stratejik düzeyde bir karar alanıdır. Bir tedarik zincirindeki ürün, bilgi ve müşteri akışlarını belirleyecek olan dağıtım stratejisi seçilirken, ürünlerin karakteristik özellikleri, talep düzeyleri, taşıma ve stokta tutma maliyetleri gibi unsurlar göz önünde bulundurularak karar verilmelidir.

5. Tedarik Zinciri Tasarımı Modelleme Yaklaşımları

Tedarik zinciri tasarımı modelleme yaklaşımları, tüm modelleme paradigmalarının temel mantığını oluşturan ve altında yatan olgudur. Bunlar (Gökçe, 2008, s. 80-83; Kocaoğlu, 2009, s. 18-37):

Doğrusal-Tamsayılı Programlama: Doğrusal Programlama; sınırlı kaynakların en etkin biçimde nasıl kullanılması gerektiğini saptama tekniği ve bir karar verme aracıdır. Yöneylem Araştırması yöntemleri içerisinde en çok bilineni ve en fazla kullanım alanı bulmuş olanıdır. Kullanım alanları; optimum ürün karışım tespiti, satın alma politikası belirlenmesi, hammadde karışım ve kullanımların optimizasyonu, optimum işlem çizelgelerinin

kurulması, ürünlerin pazara en iyi dağıtımlarının yapılması, personel ataması, çok dönemli planların saptanması, reklam harcamalarında minimum maliyetle maksimum faydayı sağlayacak reklam araçlarının tespiti vb. alanlardır. Tamsayılı programlama, değişkenlerinden bazılarının veya tümünün tamsayı (ya da kesikli) değerler aldığı bir doğrusal programlama problemidir. Uygulamada karşılaşılan birçok problemin yapısı gereği, problemde yer alan değişkenlerin tümü ya da bir kısmı tamsayı değerli olmak durumundadır. Bu nedenden, değişkenlerin kesikli olarak tanımlandığı problemler literatürde kesikli optimizasyon problemleri ve özelde de tamsayılı optimizasyon problemleri olarak ele alınır. Tamsayılı programlama, işletme, iktisat, mühendislik, istatistik ve matematik gibi bilim dallarının uğraştıkları, planlama, ulaşım, üretim, telekomünikasyon, güvenlik, modelleme, öngörü, finans, yatırım, sigortacılık ve bunu gibi birçok alanda karşılaşılan problemlerin çözümünde yaygın bir şekilde kullanılır.

Stokastik Programlama: Stokastik modeller bir veya birden fazla olasılıklı veri içerirler. Dolayısı ile girdiler rassal olduğundan çıktılarda rassal olur. Gerçek hayat sistemleri genellikle stokastik yapıdadır. Örneğin sipariş miktarları, teslim süreleri, siparişler arası geçen süreler vb. stokastik olabilir.

Ağ temelli yaklaşım: Gruplara ve bireylere, karar verme sürecindeki karmaşık yapıyı yansıtan karşılıklı bağımlılık ve geri beslemeyi de değerlendirme olanağı veren bir yöntem bilimdir. Karışık, anlaşılması güç veya yapılaşmamış sorunlar için genel bir çok kriterli karar verme yöntemidir. Her sorun için kriter ve seçeneklerin elemanı olduğu farklı kümelerden oluşan bir ağ modeli kullanır. Ağ temelli yaklaşımda geri bildirim ve bağımlılık özellikleri bulunmaktadır. Bu özellikler nedeniyle, kriterler diğer kriterlere bağlı olabildikleri gibi kendi içlerinde de bağımlı olabilmektedirler. Kriter kümeleri arasındaki bağımlılığa dış bağımlılık, kriterin kendi kümesi içindeki bağımlılığa iç bağımlılık denir. Ağ temelli yaklaşım, içsel bağımlılıkları ve kriterler arasındaki karşılıklı etkileşimleri içerebilmesi nedeniyle karar verme problemlerinin daha etkili ve gerçekçi bir biçimde çözülmesini sağlamaktadır. Ağ temelli yaklaşım, karar verme sürecini etkileyen kriterler ve alt kriterler arasındaki her türlü bağımlılık ve geri besleme ilişkilerini sistematik olarak ortaya koyma olanağı veren bir metodolojidir.

Ajan Bazlı Simülasyon: Ajan, çevresi ve diğer ajanlar ile iletişim kurabilen, merkezi olmayan bir yazılım objesidir. Ajan aslında sistem bazlı düşünüldüğünde sistemi meydana getiren herhangi bir birimdir. Bu birim kendi başına karar verebilir, çevresine karşı duyarlıdır, öğrenebilir, yaşayan ve ölen bir objedir. Ajan bazlı modelleme bu yönü ile aşağıdan yukarıya bir modelleme yöntemidir. Sistemin bileşenleri modellenir ve bu

bileşenler birbirleri ile etkileşerek sistemin davranışını ortaya koyarlar. Bu açıdan özellikle Discrete Event modellenmesi için çok zor olan olgular, bu yolla daha kolay modellenenmektedir. Ajan bazlı yaklaşım, yazılım teknolojisinde nesne tabanlı yazılım geliştirme eğiliminin bir neticesi olarak ortaya çıkmıştır. Yazılım teknolojisinde gelişmeler ile simülasyon alanı her daim birbirini tetiklemiştir. Nesne yönelimli yazılımları özellikle robotics gibi alanlarda ajan bazlı yazılım sistemleri takip etmiştir. Ajan bazlı yazılım sistemleri ise, ajan bazlı simülasyon metodoloji geliştirilmesini tetiklemiştir. Ajan bazlı simülasyon metodolojisi, Sistem Dinamiğinde olduğu gibi sistemi modellemekten ziyade; sistemi oluşturan birimlerin modellenmesi ve birimlerin kollektif davranışlarının sistemi yansıtması esasına dayanır. Ajan bazlı modelleme sistemi yukardan aşağıya modellemek yerine, aşağıdan yukarı modellemek yolu ile bazı alanlarda çok daha etkin modelleme imkanı sağlar. Özellikle ekosistem modellerinde, sosyoekonomik modellerde ve pazar modellemede yaygın olarak kullanılır.

Kesikli Olay Simülasyonu: Kesikli olay simülasyonlarında, sistemin durum değişkenleri anlık olarak değişmektedir. İmalat ve lojistik simülasyon uygulamaları tamamen bu başlık altına girmektedir. Örnek olarak bir imalat modeli kurulurken, modelde her bir makinanın dolu-boş durumu, işlenecek malzeme geldiğinde dolu, işlem bittiğinde ise boş olarak anlık olarak değişecektir.

Sürekli Simülasyon: Sürekli simülasyonda sistemin durum değişkenleri sürekli olarak değişir. Örneğin boşalmakta olan bir tankın su seviyesi, reel bir değişken ile ifade edilebilir. Bir su tankının dolma ve boşalma sürecinin modellenmesi sürekli simülasyon çalışmasıdır. Sürekli simülasyonlar makina tasarımında, kimyasal reaksiyonların tasarımında, robot tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sistem Dinamiği: Sistem dinamiği, aslında sürekli simülasyonların bir varyasyonudur. Teknoloji olarak aynı mekanizmaya sahiptir ancak uygulama sahası farklıdır. Sistem dinamiği sistem düşüncesinden yola çıkarak, sosyo-ekonomik sistemlerde çalışma yapmak amacı ile geliştirilmiştir. Sosyo-ekonomik sistemin her bir faktörü bir sürekli değişken olarak ele almıştır. Sistem dinamiği modelleme tekniği, sistem parametreleri ve bu parametrelerin birbirleri ile etkileşimi esasına dayanır. Bu parametreler birbirlerini pozitif veya negatif etkileyerek değişimi sağlarlar ve yer yer bu parametreler arasında geri beslemeler oluşur. Sistem dinamiği modelleme tekniğinde, model birikim (stock) ve akış (flow) tespit edilmesi gerekmektedir. Modelde bir değişken değerinde birikim varsa o birikim iken, birikimlerin değerini değiştiren ise akıştır. Sistem dinamiği modelleme sürekli bir modelleme tekniği olduğundan simülasyon başladığı anda birikimler, akışa bağlı olarak sürekli azalır veya artar. Burdaki mantık ise

simülasyon motoru her birim zamanda ilerleme ile ilgili değişkenlerin değerini denklemler dahilinde güncellemesidir.

Dinamik Simülasyon: Dinamik simülasyon ile sürekli sistem modelleri kurulabilmektedir. Sistem Dinamiği ile Dinamik Simülasyon arasında teknoloji olarak bir fark yoktur, sadece farklı uygulama sahalarına odaklandıkları için farklı paradigmalardır.

Hibrid Simülasyon: Çoğu gerçek hayat uygulamasında, bir çok model hem sürekli hem de kesikli bileşenler ihtiva eder. Örneğin bir tüp dolum tesisinde gaz tankları sürekli bir component iken, tüpleri taşıyan forklift ekipmanları kesikli simülasyon bileşenleridir. Bunun gibi hem sürekli hemde kesikli simülasyon model komponentleri içeren simülasyon modelleri hibrid olarak adlandırılır.

6. Tedarik Zinciri Tasarımında Simülasyon

Tedarik zinciri tasarımında analiz, değerlendirme, karar verme ve uygulamada kullanılan bir çok araç ve modelleme yöntemi bulunmaktadır. Tedarik zincirinin etkin ve verimli yönetilmesi ancak tüm tedarik zinciri elemanlarının birbiriyle entegre olmuş bir yapıyla mümkündür. Bu entegrasyon tedarik zincirinin tasarım aşamasıyla başlar ve tasarım aşamasında en çok tercih edilen modelleme yaklaşımı ise simülasyondur. Simülasyon yaklaşımının tercih sebebi ise karmaşık bir yapıya sahip olan tedarik zincirinin yönetiminde planlama ve yönetiminde karşılaşılabilecek olası senaryoların sisteme olan etkilerinin test edilebilmesi ve genel olarak tedarik zinciri yapısının daha iyi anlaşılması için kullanılabilecek olmasıdır.

Simülasyon, bir sistemin davranışlarını anlamak veya farklı stratejileri değerlendirmek amacıyla, sistemin modelini tasarlama süreci ve tasarlanan model üzerinde denemeler yapmak olarak tanımlanmaktadır (Seila, 2005, s. 74). Simülasyonun en karışık sistemleri bile modelleyebilme imkanı sağlaması işletmeler tarafından sıklıkla tercih edilmesine neden olmuştur (Kelton vd., 2015, s. 36). Simülasyon, yeni kurulacak bir sistemin performansını ölçmek, mevcut sistemin ileriki dönemlerdeki analizini yapmak amacıyla en çok kullanılan tekniklerden birisidir. Sistemin özelliklerini ve çalışma mantığını ortaya koyabilen bir araç olduğu için en çok tercih edilen yöntemlerden birisidir. Simülasyon, belirli bir süreçte taklit edilen sistemin işleyişini inceler. Değerlendirme, karşılaştırma, tahminleme, optimizasyon amacıyla simülasyon tekniği kullanılabilir (Yetim, 2016, s. 34).

Simülasyon modelleri sayesinde birbirine bağlı sistemlerin ve sisteme etki eden tüm değişkenlerin performansı ölçülebilir ve sistem süreçleri optimize edilebilmektedir. Aslında simülasyon sistemin optimizasyonunu bulmaya yardımcı olan bir araçtır. Bir simülasyon modelinde modeli kuran

kişi belirli varsayımlar ve koşullar altında sistemin davranışını incelediği için simülasyon bir problem çözme tekniği değil aksine bir durum analiz aracıdır (Yetim, 2016, s. 35).

Simülasyon, “deterministik ve stokastik”, “statik ve dinamik” ve “sürekli ve ayrık” olmak üzere üç boyut içermektedir. Stokastik simülasyonların yaygın olarak zamanla gelişen rastgele olayları modellediği belirtilmekte, bu kapsamda olmayan türler ise deterministik olarak adlandırılmaktadır. Statik simülasyonlar zamanın doğal işlevlerini içermemekte, ancak dinamik modeller içermektedir. Sürekli simülasyon, zamanın her anında devam eden ölçüm gerektirmektedir. Ayrık simülasyon ise, gerçek sürecin davranış ve performansını simüle ederken, olaylar arasındaki ilgisiz davranışı dışarıda bırakarak yalnızca değişimin meydana geldiği zaman adımlarını temsil etmektedir (Rossetti, 2015, s. 36).

Gerçek yaşam sistemlerinin modellenmesinde stokastik karakter çok önemli bir unsurdur. Optimizasyon ile optimal sonuçlar bulan simülasyon arasında yöntem ve uygulama farklılıkları vardır. Optimizasyonda bulunan çözüm tanımlanan deneysel çevredeki senaryoya bağımlıdır. Optimal özm sadece tanımlanan senaryo için geçerlidir ve eğer senaryo değişirse çözümde değişecektir. Simülasyonda ise, en uygun çözümün bulunması farklı senaryo setlerinin denenmesi ile mümkün olabilmektedir (Persson ve Araldi, 2009, s. 576).

6.1. Simülasyonun Avantajları ve Dezavantajları

Simülasyonun önemli bir avantajı, dinamik karmaşıklıklar dahil olmak üzere gerçek yapıyı simüle etme potansiyeline sahip olmasıdır. Simülasyonun analitik yeteneği, karmaşık süreçleri kavrayabilmek için ihtiyaç duyulan uyarlanabilir modelleme üretebilmektedir. Gerçek hayatta geliştirilecek fiziki modeller çoğunlukla çok maliyetli olduğundan, simülasyon modelleri belirli bir sistemin nasıl çalıştığına dair çıkarımlar yapmak için düşük maliyetli deney yapma imkanı sağlamaktadır (Rossetti, 2015, s. 57). Bunun yanında simülasyon, maliyetli işlevsel uygulamalar gerektirmeden prosedürlerin oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca, değişken talep nedeniyle mevcut prosedür ve ilkelerin doğruluğunu teyit etmek için oldukça faydalı bir yöntemdir (Balogh vd., 2020, s. 219).

Simülasyon dinamik olayların etkilerinin ve sistemin bütünün daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Diğer yöntemlerle özlemeyen problemlerin çözümüne yardımcı olmaktadır. İşletme risklerinin hafifletilmesinin öneminin daha da arttığı günümüzde simülasyon, gerçek yaşamda çok pahalı ve tehlikeli olan projelerin ele alınıp incelenmesine imkan sağlamaktadır. Simülasyon, olayların birçok kez denenerek değişimlerin gözlenmesine de olanak vermektedir. Modelde yer alan ve birbirleri ile ilişkili

sabit ve değişkenlerin, bağımsız değişkenlere farklı değerler verilerek etkinliği ne şekilde etkileyeceği konusunda anlamlı duyarlılık analizleri yapılmasına olanak vermektedir. Gerçek problemlerde çok uzun sürede gerçekleşecek değişimleri çok kısa sürede deneme olanağı sağlamaktadır. Bazı durumlarda analitik yöntemlerle de çözülebilecek modeller, simülasyon modelleri ile çözümlenerek, bulunan çözümleri karşılaştırma ve analiz yapma olanağı sağlamaktadır (Esen, 2008, s. 397-398).

Simülasyon yöntemi oldukça esnek istenildiği zaman değişiklik yapılabilir. Gerçek sistemler ve bileşenleri oldukça stokastik yapıdadır ve bu modellerin matematiksel olarak gösterilmesi oldukça zordur. Bu tip sistemlerin modellenmesinde simülasyon yöntemi oldukça kolaydır. Simülasyon zaman kavramı üzerinde tam bir kontrol sağlar. Sistem zamanının değiştirilmesi ve zaman parametrelerindeki değişiklikler kolaylıkla kontrol edilebilir. Simülasyon yöntemi gerçek sistem içinde değişiklikler, denemeler, alternatif fikirlerin uygulanması gibi kontrol ve zaman isteyen çalışmaları kolay bir şekilde uygulama imkanı verir. Simülasyon yöntemi hem mevcut sistemdeki olası değişikliklerin sistem üzerindeki etkisini belirlemek için bir analiz aracı, hem de değişen koşullar altında yeni oluşturulacak bir sistemin performansını belirleme için bir tasarım aracı olarak kullanılabilir. Yeni sistem tasarımları, planlar, taşıma sistemleri simülasyon modeli üzerinde herhangi bir kaynak harcanmadan test edilebilir. (Çörekçi, 2014, s. 2-3).

Değişkenler arasındaki ilişki simülasyon modellerinde daha rahat gözlemlenebilmektedir. Anlaşılması daha kolay ve diğer risk analiz yöntemlerine göre daha esnek bir yapıdadır. Çözümlemesi pahalı ve aylar sürebilecek bir problemi kısa sürede ve daha ucuza çözebilmek mümkündür. Kurulan model üzerinde kullanıcı tam bir yetkiye sahiptir ve modeli revize etmek, yeni bir değişken eklemek tamamen isteğe bağlıdır. Senaryo analizine de imkan tanıyarak, kullanıcıların modelin değişken durumlarındaki davranışını görmesini sağlamaktadır (Yetim, 2016, s. 36-37).

Bu avantajlarının yanında simülasyonun bir takım dezavantajları da olabilmektedir. Simülasyon modelleri alternatif sistemlerin karşılaştırmasında iyi olduğu kadar optimizasyonda iyi değildir. Geçmiş verilerle deneme-yanılma yönteminin birleşkesi olan simülasyon hiçbir zaman optimum sonucu vermemektedir. Denemeler neticesinde alternatif çözümler karşılaştırılmakta ve alternatif çözümler arasından en iyisi seçilmektedir. Tüm alternatifleri denemek mümkün değildir. Diğer bir dezavantaj ise simülasyon modellerinin kendine has özelliklerinin olmasıdır. Yani modellemesi yapılan sistemlerin çözüm yaklaşımı başka modellerde kullanılmayabilir. Kısacası çözümler kendine özgüdür. Sabit bir modelden bahsetmek olanaksızdır, her bir problem için farklı modellerin kurulması gerekebilir. Bir diğer zorluk ise gerçek sistemi yansıtabilmek için

modellemeye başlamadan önce verilerin eksiksiz ve hatasız olmasının gerekmesidir. Aksi taktirde model yanlış sonuçlar verir. Modellenecek sistem karmaşıklaşıkça ve gerçekçi veriler elde edilememesi durumunda yararlı olmayabilir. Simülasyon modelini oluşturmak can alıcı nokta olduğu için, modelin geliştirilmesi vakit alıcı ve pahalı olabilir. Son olarak ise simülasyon özel amaçlı bir bilgisayar yazılımının kullanımını zorunlu kılmaktadır (reki, 2014, s. 3; Yetim, 2016, s. 37).

6.2. Simülasyon Kullanım Alanları

Simülasyonun anahtar glerinden biri zamanın ilerlemesiyle sistem davranışını modelleme yeteneğidir. Simülasyon, gerçek yaşam sisteminin davranışsal özelliklerini sergileyen modelin kullanımını kapsayan bir analiz yöntemidir.

Bazı problemlerin çözümünde simülasyon kullanılması zorunluluğu ortaya çıkabilir (Türker, 2011, s.8);

- Problemin tam matematiksel modelinin olmaması,
- Matematiksel modelin analitik yaklaşımla çözülemiyor olması,
- Analitik çözümün mümkün, ancak bu çözümün matematiksel olarak çok karmaşık olması,
- İçinde bulunan koşullarda simülasyonun tek analiz yönetimi olması,
- zerinde çalışılacak gerçek sistemin çalışmaya, deney yapmaya uygun olmaması,
- Sistem henüz tasarım aşamasında olması,
- Problemin analitik çözümü mümkün olmasına rağmen, matematiksel modelin verebileceği sonuçlar dışında farklı sonuçlarla ilgileniliyor olunması,
- Sistemin davranış analizleri yapılmak isteniyor olması.

Günümüzde simülasyon birçok problemin davranışlarını analiz ederek bir karar verme ortamı hazırladığından birçok alanda başarıyla kullanılır. Simülasyon, işletme hayatının hemen her alanında başarıyla kullanılabilir. Örneğin envanter, stok kontrol, dağıtım, kuyruk, bütçe kontrol, nakit akışı, borsa hareketlerinin incelenmesi, ihalelerin kazanılması konusunda açık arttırma ve eksiltme olaylarının incelenmesi, büyük projelere ilişkin farklı faaliyet sürelerinin toplam projeye ilişkin etkilerinin incelenmesi, pazar paylarındaki değişimlerin veya talep belirsizliklerinin işletmenin finansal yapısı üzerindeki etkileri ve benzeri birçok konuda simülasyon başarı ile kullanılır (Esen, 2008, s. 398-399).

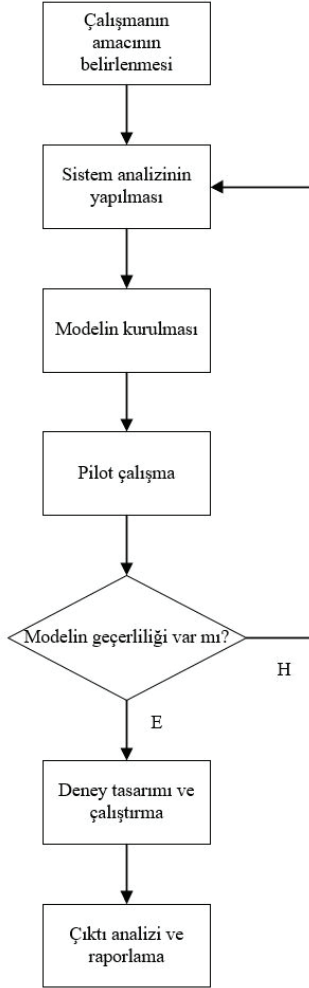
Tedarik zincirinde simülasyon uygulama alanlarına yönelik örnekler aşağıdaki gibidir;

- Üretim/imalat sistemlerinin tasarım ve analizi,
- İşgücü planlaması,
- Malzeme taşıma sistemleri,
- Yeni askeri silah ve sistem taktiklerinin saptanması,
- Bir envanter sistemindeki sipariş planlarının incelenmesi,
- İletişim sistemlerinin ve bunlar için gerekli mesaj protokollerinin tasarımı,
- Otoyollar, havaalanları, metrolar ve limanların tasarım ve işletimi,
- Acil durumda araç (ambulans vb.) bulundurma noktalarının ve araç sayılarının saptanması,
- Yangın söndürme istasyonlarının yerleri ve araç sayısının saptanması,
- Finansal veya ekonomik sistemlerin analizi,
- Dağıtım kanallarının tasarımı,
- Bir bilgisayar sisteminin donanım ve yazılım gereksinimlerinin belirlenmesi,
- İşletme yöneticilerinin eğitilmesi (işletme oyunları/fırma simülasyonu),
- Tamir-bakım sistemleri,
- Lojistik operasyonlarında risklerin minimize edilmesi,
- Tedarik zinciri tasarımları.

6.3. Simülasyon Aşamaları

Simülasyon çalışmalarında ilk olarak çalışmanın amacı net olarak belirlendikten sonra modelleme sürecindeki faaliyetler organize edilir. Modellenen sistemin analizi yapılarak sistem öğeleri, değişkenleri, parametreleri, ilişkileri, varsayımları, kısıtları ve çıktıları tanımlanır. Simülasyonun gerçekleşmesi için gerekli olan girdi değişkenlerinin değerlerinin belirlenmesi amacıyla gerçek sistemden veriler toplanacak, analiz edilecek ve buradan elde edilecek bilgiler ışığında uygun bir istatistiki dağılım ile girdi değişkenleri modellenir. Simülasyon programları ile sistemin modeli kurulur ve pilot çalışma gerçekleştirilir. Pilot deneyler ile elde edilen çıktılar gerçek sistemden toplanan veriler istatistiksel metotlar yardımı ile karşılaştırılır. Simülasyon modeli sistemi doğru şekilde yansıttığı tespit

edilemez ise gerekli düzenlemeler ile model yeniden oluşturulur. Model kurulduktan sonra, sistem üzerinde gerçekleştirilecek senaryolar belirlenir ve model çalıştırılır. Modelin alıştırılması ve sonuçların elde edilmesinden sonra toplanan bilgiler ve sonuçlar raporlanır (Türker, 2011, s.13). Aşağıdaki şekilde simülasyon çalışmasının aşamaları gösterilmektedir.



şekil 1. Simülasyon Aşamaları

Simülasyon, karar vericilerin değişik koşullar altında bir sistemin davranışlarını irdeleyebildiği, anlaması ve kullanımı kolay bir yöntemdir. Karar değişkenlerinin değerleri analitik modellerde ıktıları, simülasyon modellerinde ise girdileri oluşturur. Simülasyona ilişkin tüm bu özellikler

dikkate alınarak simülasyon modelleri günümüzde birçok sorunun çözümünde kullanılmaktadır (Esen, 2008, s. 403). Genel olarak simülasyon projeleri, “problem tanımlama”, “veri toplama ve manipülasyonu”, “model kurma”, “geçerlilik ve gerçekleminin yapılması”, “analiz ve denemelerin yapılması” ve “sonuçlar ve uygulama” olmak üzere altı temel aşama içermektedir (Yavuz, 2014, s. 5).

Birinci aşamada problem tanımlanmakta ve amaç belirlenmektedir. İkinci aşama sistem analizi yapılarak veri toplama ve analiz safhasıdır. Veri toplama, simülasyonu yapılacak sistemin ve alt bileşenlerinin sayısal verilerinin toplanması işlemidir. Gerçek sistemin yansıtılmasında simülasyon tekniği ne kadar önemli ise iyi bir simülasyon için de iyi bir istatistik bilgisine ihtiyaç vardır. Bu aşamada sistemle ilgili çok sayıda veri toplanması gereklidir. Gerçek sistemi birebir yansıtabilmesi için oldukça fazla sayıda veri toplamak önemlidir. Sistemin içerisindeki olaylar ile ilgili ayrı ayrı gözlemler yapılarak veriler toplanmalıdır. Sistemin içerisindeki olaylar ile ilgili veriler deterministik yapıda ise bu yapıların incelenmesi kolaydır. Çünkü verileri bir dağılıma uydurma zorunluluğu yoktur. Fakat olaylarla ilgili veriler rassal ise yani stokastik veriler varsa anlamlı sayıda veri toplanması gereklidir. Veri analizinin uygulanabilmesi için ilk olarak gözlemler yapılarak işlenmemiş haldeki ham veriler toplanmalıdır. Veriler toplandıktan sonra bağımsızlığı test edilmelidir. Veriler bağımsız ise verilerin uyabileceği dağılım ailesi belirlenir ve bu dağılımlara ait parametreler tespit edilir. Son olarak verilerin uyduğu düşünülen dağılımlar, sezgisel ve formal uyum iyiliği testleriyle test edilir (Çörekçi, 2014, s. 5-6).

Üçüncü aşama probleme uygun bir simülasyon modelinin oluşturulması safhasıdır. Model kurma üç adımda gerçekleşmektedir. Birinci adım; gerçek sistemi gözlemlenmek ve sistemin farklı parçaları/bileşenleri arasındaki etkileşimleri ve bileşenlerinin davranışları hakkında bilgi toplamaktır. Ancak modellemeci'nin/analizcinin yalnız başına sistemi incelemesi nadiren yeterli bilgileri elde ettirir. Bu nedenle, sistem ve sistemin alt sistemleri hakkında bilgisi olanlara sorular yönelterek, onların bu değerli bilgilerini toplamak gerekmektedir. Bu sayede bir uzmanın açıklayamadığını diğerinin açıklaması sağlanabilmektedir. Model geliştirilirken, bu adıma bazen geri dönerek, ortaya çıkan yeni sorunlara cevap bulmak için sistemin yapısı ve davranışları irdelenebilir. İkinci adım; kavramsal modelin kurulmasıdır. Kavramsal model, kişinin topladığı bilgilerin sonucunda zihninde, ilgili sistemin nasıl çalıştığının formüle edilmesidir. Bu adımda, sistemin yapısı ve bileşenleri hakkında varsayımları toplama, modelin girdi parametrelerinin değerleri hakkında hipotezde bulunma işlemleri yapılmaktadır. Üçüncü adım; bilgisayar yazılımı ile simülasyon modelinin ortaya çıkarılmasıdır. Bu adımda, daha önce tespit

edilen kavramsal modelin varsayımları, yazılım konseptine ve algılama durumuna göre birleştirilmektedir. Gerçekte model kurma, bu üç adımın sırayla yapılmasından çok, ihtiyaç duyulan adımlara tekrar geri dönerek, doğrulama ve geçерleme sonucunda ortaya çıkan hataların düzeltildiği bir süreçtir ve devamlılık arz etmektedir (Çörekçi, 2014, s. 10-11).

Dördüncü aşama modeli doğrulama ve geçерleme safhasıdır. Doğrulama, modelin doğruluğunu sağlamak için iki veya daha fazla sonucu karşılaştırma işlemidir. Bu süreçte, modelin uygulanması ve kavramsal açıklama ve spesifikasyonlarla ilişkili veriler karşılaştırılmalıdır. Simülasyon modeli çıktısı, doğrulama yapmak için çeşitli girdi kombinasyonları kullanılarak kontrol edilir. Geçerleme ise modelin, gerçek sistemin anlamlı ve doğru temsili olup olmadığını belirlenmesi sürecidir. Model, belirli bir amaç için geliştirilmeli ve geçerlemesi bu amaca göre belirlenmelidir. Geçerleme, kavramsal modelin altında yatan teori ve varsayımların doğruluğunu, modelin yapısının, mantığının, matematiksel ve tesadüfi ilişkilerinin mantıklı olduğunu belirlemektedir. Doğrulama, modeli doğru kurmakla ilgili iken geçerleme, doğru modeli kurmakla ilgilidir (Gözaçan, Kabadurmuş, 2019, s. 388).

Beşinci aşamada oluşturulan simülasyon modeli rastgele sayılar değiştirilerek işletilir. Çıktı analizi olarak adlandırılan bu aşama, simülasyon modelinin doğrulanması ve geçerlemesinden sonra, simülasyon modelinin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlara uygulanan istatistiksel analizlerden oluşmaktadır. Çıktı analizi, mevcut bir sistemin performansını incelemek için veya henüz mevcut olmayan bir sistemin performansını tahmin etmek için kullanılabilir. Girdi analizi yapılırken, sistemin yapısı, verilerin analizinde farklılık göstermez. Girdi analizinde sadece verilerin yapısı önemlidir. Ancak çıktı analizinde sistemin yapısına göre çıktı analizinin yapılması farklılık gösterir. Simülasyon modelinin girdileri rassal olduğu için çıktıları da rassaldır. Dolayısıyla, rassal olan bu çıktılarına girdi analizinde olduğu gibi istatistiksel analizlerin uygulanması gerekir. Girdileri rassal olan simülasyon modelinin her bağımsız tekrarında farklı rassal sayı setleri kullanılarak gerçek hayatta oluşabilecek çeşitli durumlar canlandırılmaya çalışılır. Her tekrarın sonucunda elde edilen farklı sonuçların değerlendirilmesi çıktı analizi olarak adlandırılır. Bir simülasyon modelinin birden fazla tekrarı ile oldukça fazla sayıda çıktı elde edilir. Hem çıktı çeşidi hem de çıktı miktarı olarak çok sayıda sonuç elde edilir. İlk bakıldığında, sistem hakkında bir fikir edinmek çok zordur. Bu sebeple, analizi yapan kişi ya da grup problemin tanımlanması ve amaçların belirlenmesi aşamasında tespit edilen bir ya da birkaç ölçüte odaklanmalıdır. Bu ölçütler, problemin çözülmesinde en önemli rolü oynayanlar arasından seçilir. Son aşamada ise simülasyon sonuçları değerlendirilmektedir. (Çörekçi, 2014, s. 14).

KAYNAKÇA

- Calleja, G., Corominas, A., Martínez-Costa, C., & de la Torre, R. (2018). Methodological approaches to supply chain design. *International Journal of Production Research*, 56(13), 4467-4489.
- Rungtusanatham Campuzano, F., & Mula, J. (2011). Introduction to Supply Chain Simulation. In *Supply Chain Simulation* (pp. 1-10). London: Springer.
- Gunasekaran, A., Ngai, E. W. T. (2005). Build-to-order supply chain management: A literature review and framework for development. *Journal of Operations Management*, 23(5), 423-451.
- Paksoy, T. (2005). Tedarik zinciri yönetiminde dağıtım ağlarının tasarımı ve optimizasyonu: Malzeme ihtiyaç kısıtı altında stratejik bir üretim-dağıtım modeli. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 14, 435-454.
- Chandra, C., Grabis, J. (2007). *Supply Chain Configuration Concepts, Solutions, and Applications*. New York: Springer Science.
- Türköz, Ö. (2007). *Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Gereksinim Planlaması*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Dönmez, N. (2007). *Tedarik Zinciri Planlama İçin Çok Amaçlı Doğrusal Programlama Modeli*. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gökçe, M. (2008). *Tedarik Zincir Yönetiminin Sistem Dinamiği ve Ajan Bazlı Yaklaşımla Modellenerek Karşılaştırılması*. (Doktora Tezi). Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya.
- Kocaoğlu, B. (2009). *Tedarik zinciri performansı ölçümü için stratejik ve operasyonel hedefleri bütünleştiren SCOR modeli temelli bir yapı*. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Seila, A., F. (2005). Spreadsheet Simulations. In *Proceeding of the 2005 Winter Simulation Conference Book*, pp. 33-40.
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Sturrock, D. T. (2015). *Simulation with Arena*. New York: McGraw-Hill Inc.
- Yetim, E. (2016). *Tedarik Sürecinde Monte Carlo Simülasyonu Kullanılarak Riskin Azaltılması*. (Yüksek lisans tezi). Yaşar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Rossetti, M. D. (2015). *Simulation Modeling and Arena*. NY: John Wiley & Sons.
- Balogh, A., Gyenge, B., Szeghegyi, Á., & Kozma, T. (2020). Advantages of simulating logistics processes. *Acta Polytechnica Hungarica*, 17(1), 215-229.
- Esen, H., Ö. (2008). *Uygulamalı Yöneylem Araştırması, Yöneticiler İçin Bilgisayar Destekli Karar Modelleri*. İstanbul: Çağlayan Kitabevi.

- Çörekçi, C. (2014). *Atölye Tipi retimde Simülasyon Teknikleri ile Dinamik izelgeleme ve Atölye Simülasyonu* (Yüksek lisans tezi). Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Yavuz, V. A. (2014). Tedarik Zinciri Yönetiminde Simülasyon Kullanımı. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2(3), 1-9.
- Gzaan, N., Kabadurmu, . (2019). A sustainability comparison of traditional supply chains and physical internet supply chains using simulation. *Celal Bayar University Journal of Science*, 15(4), 385-392.

BÖLÜM 14

DETONASYON MOTORLU KOJENERASYON ÇEVİRİMLERİNİN EKSERJİ ANALİZİ

Arzu KEVEN¹

¹ Gölcük MYO, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye. arzu.keven@kocaeli.edu.tr - ORCID: 0000-0003-0040-9167

1 Giriş

Yanma Dünya üzerinde çok önemli bir kirlilik kaynağı olup yanma ile ilgili tüm dünyada araştırmalar yapılmaktadır [1, 2]. Dizel, Otto, Brayton çevrimleri gibi geleneksel gaz çevrimlerinde basınçta çok az düşüşle ses altı hızlarda elde edilen alevlenme modunun kullanıldığı deflagrasyon adı verilen ses altı yanma süreci ile güç ve enerji elde edilir. Alevlenmeye dayalı gaz türbinleri, ekserji verim limitlerine ulaşmakta, performans verimlerini arttırmak çok zor hale gelmektedir. Uçak motorları özellikle gaz türbinleri ve detonasyon yanmalı motorlar, son yıllarda araştırmacılar tarafından çok önemli ilgi görmektedir. Bununla birlikte, elektrik ve ısı enerjisi üretmek yani kojenerasyon için detonasyon motorlarının kullanılması verimli bir şekilde araştırılmamıştır. Gelecek vaat eden ancak henüz ticarileşmemiş yeni teknolojilerden biri olan PGC (Basınç Kazançlı Yanma), gaz türbinli sistemlerden daha yüksek verimleri nedeniyle dikkat çekmektedir. Detonasyonlu yanma, basınç kazanımlı yanmayı elde etmek ve gerçekleştirmek için birincil yöntemlerden biridir. Detonasyonlu yanma, geleneksel gaz türbinlerine göre %30 daha yüksek termal verim sağlar, yapısı daha basittir. Detonasyonlu yanma, alevlerden binlerce kat daha hızlı yanmaya neden olan süpersonik yanma moduna dayanmaktadır [3, 4]. PDE çevrimlerinin modellenmesi biri sürtünme etkilerini içeren Fanno Akışı, diğeri ısı eklemeyi içeren Rayleigh Akışı şeklinde yapılabilir. Bu iki akış sabit alanlıdır.

Detonasyonlu yanma işlemi, sabit basınçlı yanmaya göre sabit hacimli yanma gibidir, çünkü basınç dengesi için yeterli zaman yoktur. Yani izobarik bir süreçten ziyade izokorik bir sürece yakındır. Sabit hacimli bir yakma işleminin avantajı, çalışma sıvısında sabit basınçlı bir yakma işlemine göre daha düşük bir entropi artışı üretebilmesidir. Kontrollü bir şekilde detonasyonu başlatma ve sürdürme zorluğu yüzünden, detonasyon son elli yıla kadar sadece tahrik uygulamaları için araştırılmış, ancak PDE (pulse detonation engine) ve RDE (rotating detonation engine) konseptleri ile güç üretiminin de mümkün olduğu ve sürekli çalışabileceği deneysel olarak gösterilmiştir.

PDE çevrimlerinde hava yakıt karışımlarının doldurulması, yanma, blöf ve tasfiye olmak üzere dört aşama vardır [5, 6]. Detonasyonda, enerji salınımları tarafından yönlendirilen bir şok cephesi vardır. Termodinamiğe uygun detonasyon dalgası modeli için en iyi model Chapman-Jouguet (CJ) modelidir. Detonasyon motorları, Zeldovich-von Neumann-Döring (ZND) çevrimi ile çok iyi açıklanmaktadır. ZND çevriminde oksidan-yakıt karışımı enjektörlerden gelir ve yanma odasına püskürtülür. Bundan hemen sonra, bir kıvılcım ateşleyici yanmayı başlatır ve alev, parlama yanması olarak ses altı olarak ilerler. Ses altı alev bir dizi gaz dinamiği işlemiyle hızlandırılır. Yanma odasındaki engellerle türbülans seviyesi artar. Türbülans seviyesinin artması yanmanın detonasyona geçişine (DDT) adı verilen detonasyona dönüşmesine neden olur [5, 6]. Yanma

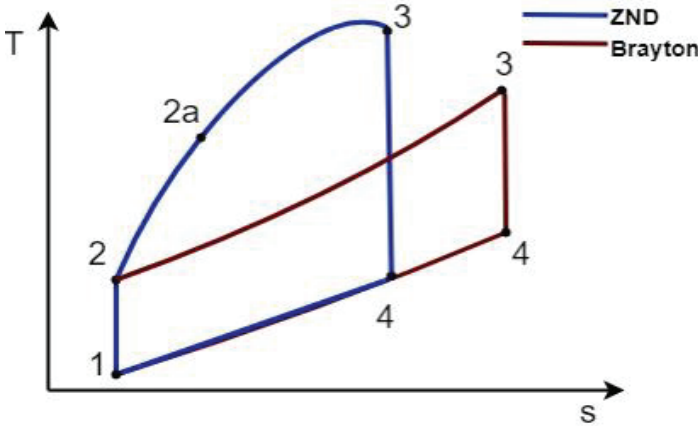
odası çıkışındaki detonasyon dalgası elde edilebilir. Egzoz gazları yanma odasında inert bir gaz kullanılarak temizlenir. Yanma odasının bir sonraki döngüsü devreye girer. Parlamadan daha verimli detonasyon için minimum veya ortalama frekans yaklaşık 60-100 Hz olmalıdır. Chapman-Jouguet hızında hareketler için alev hızı, yüksek frekanslı sensörler kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarla karşılaştırıldığında iyi sonuçlar vermiştir. Bir detonasyon dalgası süpersonik hızlarda hareket eder. Yakıt ısı değeri ve detonasyon önünde kullanılan yakıt-oksijen kombinasyonuna göre sıcaklıklar 2000-3000 K civarındadır. Basınç kazandıran yanma ile ideal termodinamik çevrim, ZND ve Humphrey çevrimleridir. Darbeli detonasyon motoru (PDE) ve dönele detonasyon motoru (RDE), detonasyonlu yanma kullanmak için en uygun motorlardır [5, 6, 7].

Basınç Kazançlı Yanma, yanma proseslerinin artan entropi üretimi, basınç kaybı ve kanat soğutma gibi temel problemlere ve çevrim cihazlarıyla ilgili diğer zorluklara sahiptir. PGC'lerde (basınç kazançlı yakıcılar) elde edilen egzoz akışları, sıcaklık ve hız dalgalanmaları ve güçlü basınç ile tanımlanır. PGC'nin gaz türbinlerine dönüştürülmesinin ana sorunu, PGC egzoz gazından verimli bir şekilde hasat işi elde etmektir. Bu sorunları yanma odasından sonra bir plenum kullanarak çözmek veya PGC'nin çıkış akışını genişletmek için geliştirilmiş türbin tasarımları literatürde tartışılmıştır. Bir PGC'den maksimum genişleme işini elde etmek hala gerçek ve önemli bir problemdir.

Şekil 1'de Brayton ve ZND çevrimleri Sıcaklık-Entropi (T-s) Diyagramı verilmiştir. Tablo 1'de parlama ve detonasyonlu yanmalarının temel parametrelerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 1. Detonasyonlu ve deflagrasyonlu yanmanın temel parametrelerinin karşılaştırılması

| Temel Parametreler | Detonasyon | Deflagrasyon |
|--------------------------------|------------|--------------|
| Yoğunluk Oranı ρ_1/ρ_0 | 1.5-2.7 | 0.6-1.3 |
| Sıcaklık Oranı T_1/T_0 | 8-20 | 5-16 |
| Basınç Oranı p_1/p_0 | 12-65 | 0.98-0.97 |
| Dalga Mach sayısı Ma | 1.1-5 | 0.0001-1.04 |



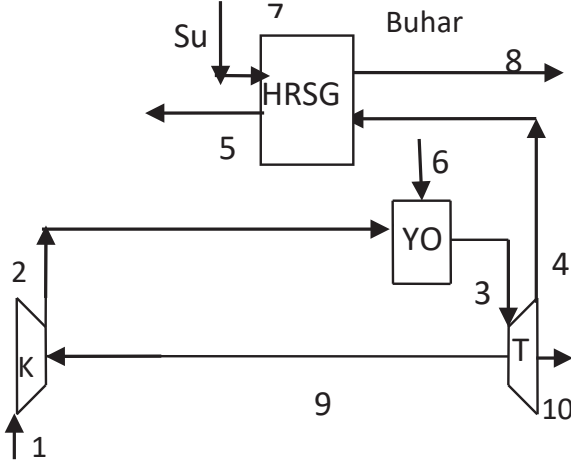
Şekil 1 Brayton ve ZND çevrimleri Sıcaklık-Entropi (T-s) Diyagramı [2].

Bu çalışmada gaz türbinli ve detonasyon motorlu kojenerasyon sistemleri termodinamiğin 1. ve 2. kanunları ve ekserji analizi yöntemi kullanılarak analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Temel gaz türbinli, ZND detonasyon motorlu ve buhar enjeksiyonlu rejeneratif ZND detonasyon motorlu kojenerasyon sistemleri olmak üzere üç farklı çevrim incelenmiştir. Bu üç çevrimin performans analizleri ve avantajları elde edilmiş ve tartışılmıştır. Üç çevrimin farklı sıkıştırma oranları (r) için, ekserji analizleri yapılmış, yapay termal verimlilik, ısı artma oranı ve Z faktörü yani kayıp ekserjinin faydalı ekserjiye oranı ve diğer performans parametreleri için performans analizleri yapılmış ve tartışılmıştır. Gaz türbini kojenerasyon sistemlerinin Zeldovich-von Neumann-Döring (ZND) çevrimine göre bazı koşullarda avantaj ve dezavantajları olduğu tespit edilmiştir. [8, 9, 10].

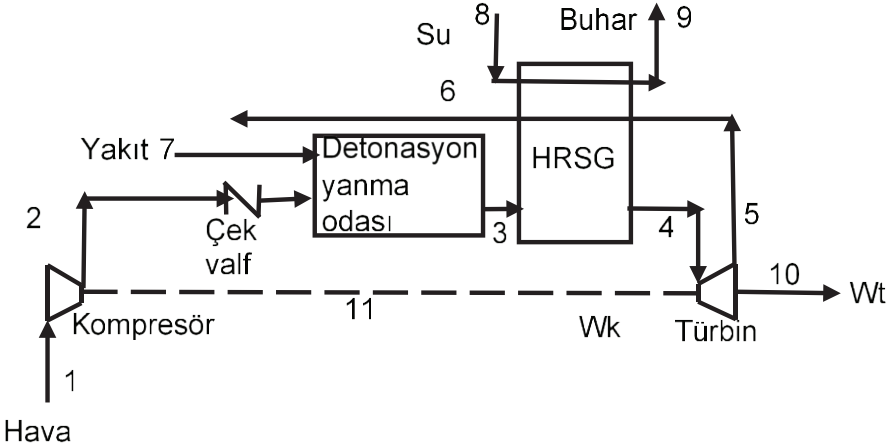
2. Brayton ve ZND çevrimli kojenerasyon sistemleri

Kojenerasyon santralleri, ana bileşeni türbin olan bazı bileşenleri içerir. Bu bileşenlerde kimyasal bileşimler, basınçlar ve sıcaklıklar değişir. Analizde yapılan varsayımlar ve detayları literatürde bulunabilir [11, 12, 13].

Temel gaz türbinli kojenerasyon santralının şeması Şekil 2'de verilmiştir. Hava kompresöre alınır ve sıkıştırıldıktan sonra metan ile yanması için yanma odasına gönderilir. Bir gaz türbininde egzoz gazlarının enerjilerinden elde edilen mekanik enerji, elektrik üretmek için bir kısmı jeneratöre verilir ve bir kısmı da kompresörde kullanılır. Egzoz gazlarının diğer kalan enerjileri, sıcak su veya buhar üretmek için bir HRSG bileşeninde aktarılır [14, 15, 16].



Şekil 2 Temel gaz türbinli kojenerasyon santralinin şeması.



Şekil 3 ZND (HRSGli) detonasyon motorlu kojenerasyon sisteminin şeması.

Bir ZND (HRSGli) detonasyon motorlu kojenerasyon sisteminin şeması Şekil 3'te görülmektedir. Hava kompresöre alınır ve sıkıştırıldıktan sonra metan ile detonasyonlu yanma için darbeleri detonasyonlu yanma odasına gönderilir. Bu yakıt-hava karışımı, detonasyon içindeki bir elektrik kıvılcımıyla ateşlenir. Alev detonasyonla hızlanır odanın içinde, sağa doğru yayılır. Detonasyonlu yanma sonrasında, gaz türbininin metalürjik sebeplerinden dolayı HRSG'de buhar üretilerek yüksek basınç ve yüksek sıcaklıktaki egzoz gazları soğutulur. HRSG'den sonra, gaz türbininin mekanik enerji üretmesi için egzoz gazları buradan geçirilir. Bundan sonra, egzoz tekrar buhar elde etmek için HRSG'de kullanılır. Bir çek valf

$$\eta = \frac{W+Q_{Buhar}}{Q_{Yakit,giren}} \quad (3)$$

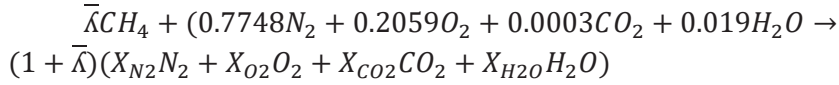
Sistemin elektrik verimi;

$$\eta_{el} = \frac{W}{Q_{Fuel,inlet}} \quad (4)$$

Sistemin ısı verimi;

$$\eta_{heat} = \frac{Q_{steam}}{Q_{Fuel,inlet.}} \quad (5)$$

Yakıtın yanma odasındaki kimyasal enerjisi, kimyasal reaksiyonla ısı enerjisine dönüştürülür. Hesaplamalarda yanmanın ideal ve aynı zamanda tam olarak olduğu kabul edilir. Yanma odasındaki kimyasal reaksiyon;



Havanın stokiyometrik değeri, teorik olarak yanmayı tamamlamak için gerekli minimum hava değeridir. Ancak Brayton çevriminde yanmayı tamamlamak için her zaman teorik miktardan daha fazla hava kullanılır. Fazla hava oranı verilen havanın gerçek miktarının teorik havaya oranıdır [11, 14]. Kullanılabilirlik, teorik olarak faydalı işin maksimum miktarıdır. Bu, çevre ile dengeye ulaşırsa, tersine çevrilebilir bir sürecin sonunda elde edilebilir. Ekserjinin fiziksel-kimyasal olmak üzere iki bileşeni vardır [15, 16]. Karışık maddeler için ideal gaz karışımlarının fiziksel ekserjisi şu şekildedir;

$$e_{fiz} = (\bar{h} - \bar{h}_0)_{karisim} - T_0 \cdot (s - s_0)_{karisim} = \sum_j x_j \left[\int_{T_0}^T \bar{c}_{p0j}(T) dT - T_0 \cdot \left(\int_{T_0}^T \frac{\bar{c}_{p0j}(T)}{T} dT - \bar{R} \ln \frac{p_j}{p_0} \right) \right] \quad (6)$$

Gaz karışımlarının kimyasal ekserjisi;

$$\bar{e}_{kim,karisim} = \sum_i x_i \bar{e}_{kim,i} + \bar{R}T_0 \sum_i x_i \ln x_i \quad (7)$$

Bir akış ya da kontrol hacmi için toplam ekserji;

$$\bar{E} = \bar{E}_{fiz} + \bar{E}_{kim} \quad (8)$$

Açık sistemler için ekserji denklemi;

$$\sum_i \dot{m}_i \cdot h_i - \sum_i T_0 \cdot S_i - \sum_j \dot{m}_j \cdot h_j + \sum_j T_0 \cdot S_j + \sum \dot{Q}_c - \sum \dot{Q}_c \cdot \frac{T_0}{T_c} - \dot{W} = \dot{E}_{kayıp} \quad (9)$$

Tablo 2 Temel gaz türbini kojenerasyon santralının cihazlarının, enerji, kütle ve entropi denklemleri [11, 12, 13, 14, 16, 17, 18].

| Cihazlar | Kütle denklemleri | Enerji denklemleri | Entropi denklemleri |
|-------------|--|--|--|
| Kompresör | $\dot{m}_1 = \dot{m}_2$ | $\dot{m}_1 h_1 + \dot{W}_K = \dot{m}_2 h_2$ | $\dot{m}_1 s_1 - \dot{m}_1 s_2 + \dot{S}_{\text{üret},K} = 0$ |
| Türbin | $\dot{m}_3 = \dot{m}_4$ | $\dot{m}_3 h_3 = \dot{W}_T + \dot{W}_K + \dot{m}_4 h_4$ | $\dot{m}_3 s_3 - \dot{m}_4 s_4 + \dot{S}_{\text{üret},T} = 0$ |
| HRSG | $\dot{m}_4 = \dot{m}_5$ $\dot{m}_7 = \dot{m}_8$ | $\dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_7 h_7 = \dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_8 h_8$ | $\dot{m}_4 s_4 + \dot{m}_7 s_7 - \dot{m}_5 s_5 - \dot{m}_8 s_8 + \dot{S}_{\text{üret},HRSG} = 0$ |
| Yanma Odası | $\dot{m}_2 + \dot{m}_6 = \dot{m}_3$ | $\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_6 h_6 = \dot{m}_3 h_3 + 0.02 \dot{m}_7 LHV$ | $\dot{m}_2 s_2 + \dot{m}_6 s_6 - \dot{m}_3 s_3 + \dot{S}_{\text{üret},YO} = 0$ |
| Tüm Çevrim | $\dot{m}_{\text{hava}} h_{\text{hava}} + \dot{m}_{\text{yakıt}} LHV_{CH_4} - \dot{Q}_{\text{kayıp},YO} - \dot{m}_{\text{eg},\varsigma} h_{\text{eg},\varsigma} - \dot{W}_T - \dot{m}_{\text{buhar}}(h_{\text{su},g} - h_{\text{buhar},\varsigma}) = 0$ $\dot{Q}_{\text{kayıp},YO} = 0.02 \dot{m}_{\text{yakıt}} LHV_{CH_4}$ $\bar{h}_i = f(T_i)$ $\bar{s}_i = f(T_i, P_i)$ | | |

Yapay termal verimlilik, elde edilen işin, iş üretimi için kullanılan yakıtın ısı değerine oranıdır [8]. Isı artım oranı kriteri termodinamik performans kriteri olup burada yakıt enerjisi artırıldığında elektrik enerjisinin ne kadar arttığının bilgisini verir. Kojenerasyon çevrimine enerji dengesi kanunu uygulandığında ve $(Q_{ATIK})_{CG}$ kullanılmayan ısı enerji olarak alındığında;

$$(\eta_{YO})_{CG} Q_{BESLEN.} = (Q_{NET})_{CG} + W_{CG} + (Q_{ATIK})_{CG} \quad (10)$$

$$Q_{BESLEN.} = \frac{(Q_{NET})_{CG}}{(\eta_{YO})_{CG}} + (IAO)_{CG} W_{CG} \quad (11)$$

$$(IAO)_{CG} = \frac{Q_{BESLEN.} - (Q_{NET})_{CG}}{W_{CG}} = \frac{1}{\eta_{\text{elekt.}}} - \frac{\lambda_{CG}}{(\eta_{YO})_{CG}} \quad (12)$$

şeklinde. Burada (η_{YO}) yanma odası verimidir [8].

Tablo 3 Temel gaz türbini kojenerasyon santralının cihazlarının, ekserji, ekserji verimi ve değerlendirme kriterleri denklemleri [11, 12, 14, 17, 18].

| Cihazlar | Ekserji denklemleri | Ekserji verimi |
|-----------|---|---|
| Kompresör | $\dot{E}_{D,K} = \dot{E}_1 + \dot{W}_K - \dot{E}_2$ | $\eta_{ex,K} = \frac{\dot{E}_{\varsigma,K} - \dot{E}_{g,K}}{\dot{W}_K}$ |
| Türbin | $\dot{E}_{D,T} = \dot{E}_3 - \dot{E}_4 - \dot{W}_K - \dot{W}_T$ | $\eta_{ex,T} = \frac{\dot{W}_{net,T} + \dot{W}_K}{\dot{E}_{g,T} - \dot{E}_{\varsigma,T}}$ |

| | | |
|--------------------|---|---|
| HRSG | $\dot{E}_{D,HRSG}$ $= \dot{E}_4 - \dot{E}_5 + \dot{E}_7 - \dot{E}_8$ | $\eta_{ex,HRSG} = \frac{\dot{E}_{buhar,HRSG} - \dot{E}_{su,HRSG}}{\dot{E}_{g,eg,HRSG} - \dot{E}_{c,eg,HRSG}}$ |
| Yanma Odası | $\dot{E}_{D,YO}$ $= \dot{E}_2 + \dot{E}_6 - \dot{E}_3$ | $\eta_{ex,YO} = \frac{\dot{E}_{ç,YO}}{\dot{E}_{YO,YO} + \dot{E}_{yakıt}}$ |
| Tüm Çevrim | Yapay termal verimlilik | $\eta_a = \frac{W}{Q_{BESLEN.} - (Q_{NET}/(\eta_{YO})_H)}$ |
| | Isı artım oranı | $(IAO)_{CG} = \frac{Q_{BESLEN.CG}}{W_{CG}} - \frac{(Q_{NET})_{CG}}{(\eta_{YO})_{CG} W_{CG}} = \frac{1}{\eta_{elekt.}} - \frac{\lambda_{CG}}{(\eta_{YO})_{CG}}$ |
| | Ekserji verimi | $\dot{E} = \dot{E}_{fiz} + \dot{E}_{kim}$ $\dot{E}_{kim} = \dot{m}(h - h_0 - T_0(s - s_0))$ $\dot{E}_{kim} = \frac{\dot{m}}{M} \left\{ \sum x_k \bar{e}_k^{kim} + \bar{R}T_0 \sum x_k \ln x_k \right\}$ $\eta_{ex} = \frac{W_{net,T} + (\dot{E}_{buhar,HRSG} - \dot{E}_{su,HRSG})}{\dot{E}_{yakıt}}$ |

Tablo 2’de temel gaz türbini kojenerasyon santralının cihazlarının, enerji, kütle ve entropi, denklemleri verilmiştir. Tablo 3’te, temel gaz türbini kojenerasyon santralının cihazlarının, ekserji, ekserji verimi ve değerlendirme kriterleri denklemleri verilmiştir.

Sıcaklık ZND çevrimleri için

$$T = T^* \left(\frac{(\gamma + 1)M}{1 + \gamma M^2} \right)^2$$

Entropi ZND çevrimleri için

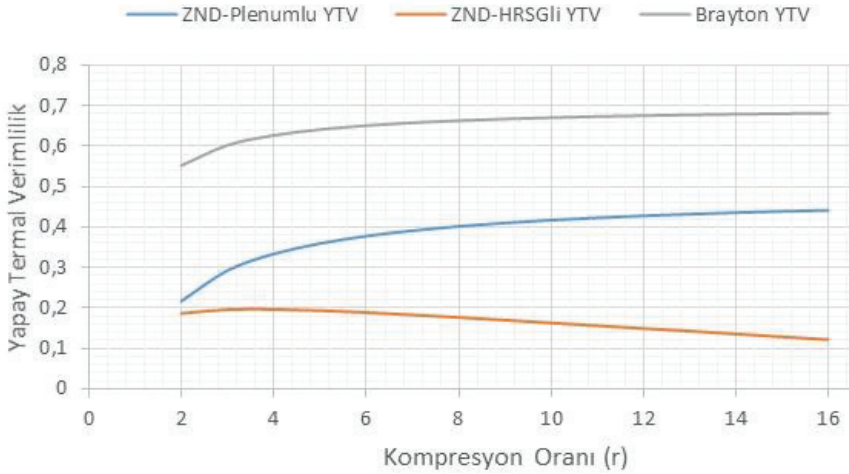
$$\Delta s = c_p \ln \left[M^2 \left(\frac{\gamma + 1}{1 + \gamma M^2} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right]$$

Yakıt hava karışımlarının detonasyon yanması ve parlama yanmasına ilişkin veriler ve egzoz gazlarının özellikleri, çıkış yanma odasının sıcaklık ve basıncı olarak NASA CEA kodu <https://cearun.grc.nasa.gov/> web sitelerinden alınmıştır. [21]. Bu çalışmanın ekserjetik analizleri için literatürde yapılan deneyler dikkate alınarak egzoz özelliklerinin ortalama yaklaşımı benimsenmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

Bu çalışmada normal şartlar $P_0=101.3$ kPa ve $T_0=25$ °C olarak alınmıştır. Brayton çevrimi kompresörünün giriş hava kütle akışı $m_{hava}=91,3$ kg/s, yakıt kütle akışı $m_{yakıt}=1,64$ kg/s ve üç çevrimin türbinleri ve kompresörleri için izentropik verimleri $\eta_{izC}=\eta_{izT}=0,86$, alınmıştır. Üretilen buhar sıcaklığı $T_{buhar}=485,57$ K, HRSG'nin çıkış sıcaklığı $T_{egzoz}=426$ K alınmıştır [8, 12, 17].

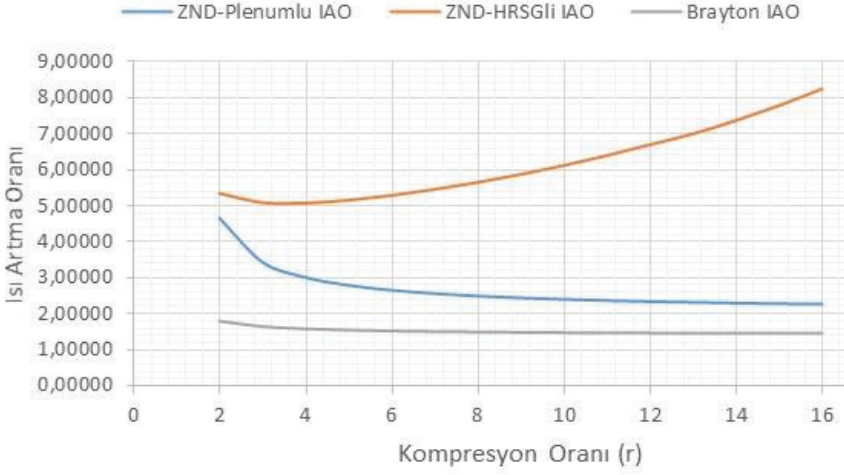
Şekil 5'te gaz türbinli (Brayton), ZND detonasyon motorlu ve buhar enjeksiyonlu rejeneratif ZND-plenumlu detonasyon motorlu kojenerasyon sistemleri için yapay termal verimliliğin kompresyon oranı ile değişimi verilmiştir. Görüldüğü gibi sıkıştırma oranlarının artması gaz türbini (Brayton) ve buhar enjeksiyonlu rejeneratif ZND-plenumlu detonasyon motorlu kojenerasyon sistemlerinin yapay termal verimliliğini artırmaktadır. Bu artış gaz türbini (Brayton) kojenerasyon sistemleri için %24 ve buhar enjeksiyonlu rejeneratif ZND-plenumlu detonasyon motorlu kojenerasyon sistemleri %100 civarındadır. Yapay termal verimlilik, elde edilen işin, iş üretimi için kullanılan yakıtın ısı değerine oranı olduğundan bu iki çevrimde sıkıştırma oranının artırılması elde edilen işi artırmaktadır. ZND-plenumlu detonasyon motorlu kojenerasyon sistemi için ise sıkıştırma oranı 3 civarında bir hafif bir maksimum yaptıktan sonra düşüşe geçmektedir. Bu çevrimde yapay termal verimlilik için üçten büyük sıkıştırma oranları önerilmemektedir.



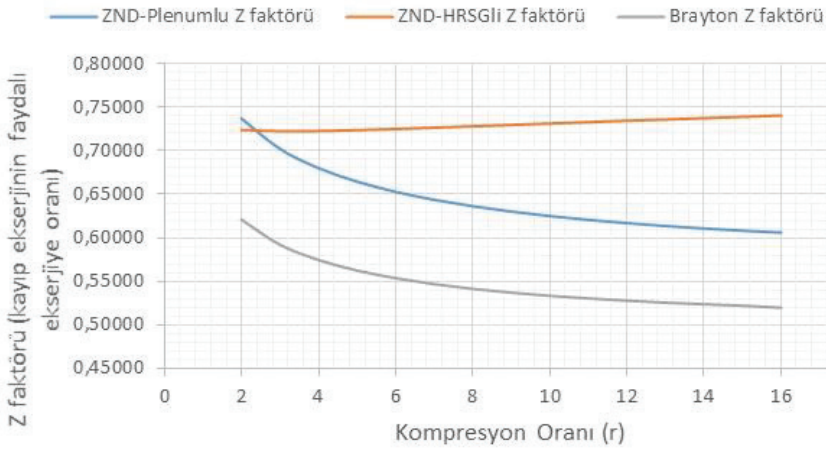
Şekil 5 Yapay termal verimliliğin kompresyon oranı ile değişimi.

Şekil 6'da gaz türbinli (Brayton), ZND detonasyon motorlu ve buhar enjeksiyonlu rejeneratif ZND detonasyon motorlu kojenerasyon sistemleri için ısı artım oranının kompresyon oranı ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi sıkıştırma oranlarının artması buhar enjeksiyonlu rejeneratif ZND detonasyon motorlu kojenerasyon sistemleri ısı artım oranını artırmaktadır. Isı artım oranı kriteri yakıt enerjisi artırıldığında elektrik enerjisinin ne kadar arttığının bilgisini verir. Burada sıkıştırma oranı dörtte bir minimum yapmaktadır. Gaz türbinli (Brayton) ve ZND detonasyon motorlu çevrimde ise sıkıştırma oranlarının artması ısı artım oranını azaltmaktadır.

Şekil 7'de gaz türbini (Brayton), ZND detonasyon motorlu ve buhar enjeksiyonlu rejeneratif ZND detonasyon motorlu kojenerasyon sistemleri için Z faktörünün (kayıp ekserjinin faydalı ekserjiye oranı) kompresyon oranı ile değişimi verilmiştir. Kompresör sıkıştırma oranı arttıkça gaz türbini (Brayton) için Z faktörü %15, ve buhar enjeksiyonlu rejeneratif ZND detonasyon motorlu kojenerasyon sisteminde %16 azalmaktadır. Yani bu iki çevrimde sıkıştırma oranı arttıkça kayıp ekserji azalmaktadır. ZND detonasyon motorlu kojenerasyon sistemleri için sıkıştırma oranı üç civarında bir minimum yaptıktan sonra Z faktörü %3 civarında ekserji kaybı oranı artmaktadır.



Şekil 6 Isı artım oranının kompresyon oranı ile değişimi.



Şekil 7 Z faktörünün (kayıp ekserjinin faydalı ekserjiye oranı) kompresyon oranı ile değişimi.

4 Sonuç

Bu çalışmada, farklı sıkıştırma oranı (r) için gaz türbini (Brayton), ZND detonasyonlu motoru ve buhar enjeksiyonlu rejeneratif ZND detonasyonlu motoru kojenerasyon sistemleri incelenmiştir. Sıkıştırma oranlarının artırılması, üç çevrimin yanma odası çıkış sıcaklıklarını arttırır. ZND çevrimleri yanma odası çıkış sıcaklıkları yaklaşık 2400-2800 K'dir, bu nedenle sıkıştırma oranı etkili değildir ve sıcaklıkları artırmak için gerekli değildir. Artan sıkıştırma oranı, yanma odası çıkış basıncını ZND çevrimleri için %300-700 arasında artırırken, Brayton çevriminde aynı kalır.

Sıkıştırma oranlarının artması gaz türbini (Brayton) ve buhar enjeksiyonlu rejeneratif ZND-plenumlu detonasyon motorlu kojenerasyon sistemlerinin yapay termal verimliliğini arttırmaktadır. Bu artış gaz türbini (Brayton) kojenerasyon sistemleri için %24 ve buhar enjeksiyonlu rejeneratif ZND-plenumlu detonasyon motorlu kojenerasyon sistemleri %100 civarındadır. Yapay termal verimlilik, elde edilen işin, iş üretimi için kullanılan yakıtın ısıl değerine oranı olduğundan bu iki çevrimde sıkıştırma oranının artırılması elde edilen işi arttırmaktadır. ZND-plenumlu detonasyon motorlu kojenerasyon sistemi için ise sıkıştırma oranı 3 civarında bir hafif bir maksimum yaptıktan sonra düşüşe geçmektedir. Bu çevrimde yapay termal verimlilik için üçten büyük sıkıştırma oranları önerilmemektedir.

Sıkıştırma oranlarının artması buhar enjeksiyonlu rejeneratif ZND detonasyon motorlu kojenerasyon sistemleride ısı artım oranını arttırmaktadır. Isı artım oranı kriteri yakıt enerjisi artırıldığında elektrik enerjisinin ne kadar arttığının bilgisini verir. Burada sıkıştırma oranı dörtte bir minimum yapmaktadır. Gaz türbinli (Brayton) ve ZND detonasyon motorlu çevrimde ise sıkıştırma oranlarının artması ısı artım oranını azaltmaktadır.

Kompresör sıkıştırma oranı arttıkça gaz türbini (Brayton) için Z faktörü %15, ve buhar enjeksiyonlu rejeneratif ZND detonasyon motorlu kojenerasyon sisteminde %16 azalmaktadır. Yani bu iki çevrimde sıkıştırma oranı arttıkça kayıp ekserji azalmaktadır. ZND detonasyon motorlu kojenerasyon sistemleri için sıkıştırma oranı üç civarında bir minimum yaptıktan sonra Z faktörü %3 civarında ekserji kaybı oranı artmaktadır.

Bu çalışmada, ZND çevrimlerinin performansı, alevlenmeye dayalı bir Brayton çevrimi ile karşılaştırılmıştır. 1'lik bir kompresör basınç oranı için Brayton çevrimi sıfır verim gösterirken, iki ZND çevriminin ısıl verimi %25-30'dan başlar. Bu bulgular, PDE'lerin Brayton döngülerine göre teorik avantajını desteklemektedir. PDE'lerin avantajı, yalnızca fan veya

az sayıda kompresör aşaması gerektirmesidir. Ayrıca, detonasyonlu motorları diğer motorlara göre daha az karmaşık ve uygun maliyetlidir.

Sonuç olarak, gaz türbini (Brayton) ve buhar enjeksiyonlu rejeneratif ZND çevrimleri birbiriyle rekabet edebilir. ZND çevrimlerinin buhar enjeksiyonu, rejenerasyon, PDE motorları için daha iyi tasarlanmış gaz türbinleri ve Basınç Kazançlı Yanma ile iyileştirilmesi, ZND çevrimlerini gaz türbini çevrimlerine göre üstün hale getirecektir.

KAYNAKÇA

- [1] Karaali, R., Oztürk, I.T. (2016). Thermodynamic Optimization of a Zero CO₂ Emission Cogeneration Cycle. *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol: 25, No. 12a/2016, p: 5729-5738
- [2] Bellini, R., and Lu, F.K. (2010). Exergy Analysis of a Pulse Detonation Power Device. *Journal of Propulsion and Power*. Vol:26; No. 4. DOI:10.2514/1.44141
- [3] Bellini, R. (2010). Ideal Cycle Analysis of a Regenerative Pulse Detonation Engine for Power Production. PhD Thesis. The University of Texas at Arlington USA.
- [4] Petela, R. (2000). Application of Exergy Analysis to the Hydrodynamic Theory of Detonation in Gases. *Fuel Processing Technology* V:67, 131–145
- [5] Karaali, R., Oztürk, I.T. (2017). Effects of Ambient Conditions on Performance of Gas Turbine Cogeneration Cycles. *J. of Thermal Science and Technology (Isı Bil.ve Tek.Der.)*. V.37, No. 1, p. 93-102.
- [6] Su, L., Wen, F., Wang, S., Wang, Z. (2022). Analysis of Energy Saving and Thrust Characteristics of Rotating Detonation Turbine Engine. *Aerospace Science and Technology*. Vol:124, 107555. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2022.107555>
- [7] Soni, S.K., Singh, A., Sandhu, M., Goel, A., Sharma, R.K. (2013). Numerical Simulation to Investigate the Effect of Obstacle on Detonation Wave Propagation in a Pulse Detonation Engine Combustor. *IJETAE Volume 3, Special Issue 3: ICERTSD, pages 458-464*
- [8] Horlock, J.H. (1997). *Cogeneration-Combined Heat and Power (CHP)*. Malabar, Florida: KRIEGER Pub.
- [9] Karaali, R., Oztürk, I.T. (2017). Efficiency Improvement of Gas Turbine Cogeneration Systems. *Tehnicki vjesnik-Technical Gazett*, V: 24, Suppl.1; p:21-27, DOI:10.17559/TV20140509154652
- [10] Panagiotis Stathopoulos. (2018). Comprehensive Thermodynamic Analysis of the Humphrey Cycle for Gas Turbines with Pressure Gain Combustion. *Energies*. V:11, 3521; doi:10.3390/en11123521
- [11] Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M. (1996). *Thermal Design and Optimization*. Danvers, Massachusetts: Wiley Pub.
- [12] ASHRAE. (2002). *Cogeneration Systems and Engine and Turbine Drives*. ASHRAE Systems and Equipment Handbook (SI). Chapter 7. New York.
- [13] Karaali, R., Öztürk, I.T. (2015). Thermoeconomic Analyses of Steam Injected Gas Turbine Cogeneration Cycles. *Acta Phys Pol A*. 128(2B B-279):279–81.
- [14] Moran, J.M., Tsatsaronis, G. (2000). *The CRC Handbook of Thermal Engineering*. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC; p. 15–109.
- [15] Karaali, R., Oztürk, I.T. (2016). Exergy Analysis of a Combined Power and Cooling Cycle. *Acta Phys Pol A*. Vol. 130, No. 1, p:209-213.
- [16] Lazzaretto, A., Toffolo, A., Morandin, M., Spakovsky, M.R. (2010). Criteria for the Decomposition of Energy Systems in Local/Global Optimization. *Energy*. 35(2):1157–63.

- [17] Staszak, M. (2023). Artificial Intelligence in the Modeling of Chemical Reactions Kinetics. *Physical Sciences Reviews*, vol. 8, no. 1, pp. 51-72. <https://doi.org/10.1515/psr-2020-0079>
- [18] Riffel, D.B., and Leite, A.P.F. (2021). The Challenges of the New Energy Revolution. *Frontiers of Science and Technology*. p.137-158. <https://doi.org/10.1515/9783110584455-009>
- [19] Karaali, R., Oztürk, I.T. (2017). Performance Analyses of Gas Turbine Cogeneration plants. *J. of Thermal Science and Technology (Isı Bil ve Tek. Der.)*, V:37 No. 1, p. 25-33.
- [20] Karaali, R., Oztürk, I.T. (2015). Thermoeconomic Optimization of Gas Turbine Cogeneration Plants. *Energy*; 80: 474–85.
- [21] <https://cearun.grc.nasa.gov/>