

# MÜHENDİSLİK

ALANINDA ULUSLARARASI TEORİ,  
ARAŞTIRMA VE DERLEMELER

*Cilt 2*

*Ekim 2023*

## EDİTÖRLER

PROF. DR. COŞKUN ÖZALP  
DOÇ. DR. SELAHATTİN BARDAK

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

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

**Birinci Basım / First Edition • © Ekim 2023**

**ISBN • 978-625-6760-00-4**

**© 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.serüvenyayınevi.com

**e-mail:** serüvenyayınevi@gmail.com

**Baskı & Cilt / Printing & Volume**

Sertifika / Certificate No: 47083

# MÜHENDİSLİK ALANINDA ULUSLARARASI TEORİ, ARAŞTIRMA VE DERLEMELER

CİLT 2

EKİM 2023

Editörler

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



# İÇİNDEKİLER

## *Bölüm 1*

### **BİTKİ BÜYÜME DÜZENLEYİCİLERİ 6-BENZİLAMİNOPURİN VE INDOL-3-ASETİK ASİDİN *CHLORELLA VULGARİS* MİKROALGININ GELİŞİMİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

*Abayhan BURAN*..... 1

## *Bölüm 2*

### **ENGELLİ BİREYLER İÇİN BRAİLLE YÖNTEMİNE YÖNELİK YARDIMCI TEKNOLOJİLER**

*Serhat KÜÇÜKDERMENCİ*..... 15

## *Bölüm 3*

### **UÇAK BAKIMINDA İNSAN FAKTÖRÜ VE KAZA ÖNLEYİCİ MODELLER**

*Mustafa SOYLAK* ..... 29

## *Bölüm 4*

### **TARİHİ CİMCİME HATUN KÜMBETİNİN YIKILMA MEKANİZMASI**

*İrfan KOCAMAN*..... 39

## *Bölüm 5*

### **ZEMİN STABİLİZASYONUNDA POLİMER KATKILARIN KULLANIMI**

*Gamze BİLGİN, Zekeriya DOĞAN* ..... 57

## *Bölüm 6*

### **HARMONİK BİLEŞENLER İÇEREN GÜÇ SİSTEMİNDE PARALEL REZONANSIN ANALİZİ\***

*Suleyman ADAK* ..... 73

## *Bölüm 7*

### **DEVELİ - YAHYALI (KAYSERİ) BÖLGESİ SÜS TAŞLARI**

*Zeynel BAŞIBÜYÜK, İlkay KAYDU AKBUDAK, Gökhan EKİNCİOĞLU* ..... 93

***Bölüm 8***

**DEMONTAJ HATTI PROBLEMLERİNDE İŞ BOZULMASININ AÇILAN  
İSTASYON SAYISINA ETKİSİ\***

*Halime SOMTÜRK, Mehmet Duran TOKSAR* ..... 113

***Bölüm 9***

**GEMLİK İLÇESİ İÇİN SAHAYA ÖZEL DEPREM TEHLİKE ANALİZİ**

*Evren SEYREK* ..... 135

# ***Bölüm 1***

**BİTKİ BÜYÜME DÜZENLEYİCİLERİ  
6-BENZİLAMİNOPURİN VE INDOL-  
3-ASETİK ASİDİN *Chlorella vulgaris*  
MİKROALGININ GELİŞİMİNE  
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

*Abayhan BURAN<sup>1</sup>*

## Giriş

Algler teriminin bilim literatürüne ilk tanıtımı 1753'te Linnaeus tarafından gerçekleştirilmiştir. Oldukça geniş bir yayılım alanına sahip olsalar da ekolojik olarak esas dağılım alanları sulardır. Okyanuslar, denizler, göller, nehirler vb. sulu ortamların yanı sıra karada da ağaçlara ve kayalara tutunabilmek için yaşayabilmektedir. Ekolojik olarak sulu ortamların dışında, Arktik ve Antarktika'daki kar ve buzullar gibi ekstrem ortamlar da dahil olmak üzere karasal habitatlarda da yaşarlar (Phang vd., 2008; Chu vd., 2002). Yeni fonksiyonlarını keşfetmek ve alglerden yararlanmak için gelişimini hızlandırmak, büyüme ortamlarını optimize etmek, içerdikleri yağ, protein ve klorofil miktarlarını arttırmak amacıyla biyoteknolojik gelişmeler sürmektedir. Göletlerde, ormanlarda hem tuzlu suda hem de tatlı suda gelişebilmeleri nedeniyle yetiştiriciliğinin kolay ve hızlı olduğu, özel reaktörlerde atık su içerikli ortamlarda dahi yetiştigi bildirilmektedir (Lu vd., 2015).

Alglerin pek çok alanda kullanıldığını ve algler hakkında hala güncel araştırmalar yapıldığı bilinmektedir. Alglerin sağladığı avantajlar arasında endüstriyel düzeyde, büyüme döngülerini birkaç gün içinde tamamlayabilmeleri en büyük ve önemli özelliklerinden biridir. Alglerin en yaygın olarak yejetatif üremeye çoğaldıkları bilinse de eşeyli üreme ve eşeysiz üreme yöntemleriyle çoğaldıkları bilinmektedir. Grupsal koloniler oluşturan alg türleri de vardır (Dural, 1989). Genel anlamda boyutları 70 cm'ye kadar olabilen çok hücreli olan *makroalgler* ve boyutları 2-10 µm arasında değişebilen tek hücreli *mikroalgler* olarak iki farklı sınıfa ayrılmıştır. Mikroalglerin su ürünleri yetiştiriciliği, gıda üretimi, kozmetik ve ilaç endüstrileri gibi biyoteknoloji başta olmak üzere çeşitli alanlara uzanan geniş bir işlevselliği vardır.

Son zamanlarda yapılan araştırmalarla birlikte 40.000'den fazla yeni ökaryotik mikroalg türünün, gıdasal ürünler ve farmasötikler için alternatif kaynak olarak kullanılabilirliği ortaya çıkarılmıştır (Chu, 2012; Maruyama vd., 1997). Algler, gıda ve ilaç endüstrilerinin yanı sıra halk sağlığı üzerinde de önemli etkileri olan biyoteknolojik kullanıma yönelik önemli bir organizma grubunu temsil eder. Alglerde henüz tam olarak yararlanılmayan, çeşitli biyoaktivitelere sahip çok çeşitli metabolitler üretilmektedir (Cardozo vd., 2007). Mikroalgler bu biyoteknolojik üretime dair alanlarda son zamanlarda önemli bir rol oynamaktadır. Spirulina ve Chlorella gibi mikroalgler insanlar tarafından gıda takviyesi olarak tüketilmesinin yanında hayvan yemi olarak da kullanılmıştır.

Chlorella, toz ve hap şeklinde gıdasal takviyeler üretmek amacıyla endüstriyel ölçekli kültürlerle alınan bir mikroalgdir. Büyük ölçekli kültür için ilk pilot tesisin Boston/ABD'de kurulduğu ve ardından dönemin Çekoslovakya'sı, İsrail ve Japonya tarafından da yetiştirme tesislerinin kurulduğu bilinmektedir (Iwamoto, 2004). Chlorella'nın sahip olduğu besin değeri, kuru



ağırlığındaki yüksek miktarda protein (%51-58) ve karotenoidlere sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Becker, 2004). Besin değerine sahip olmasının yanında serbset radikalleri temizleme ve kan lipitlerini azaltma gibi faydalı fonksiyonları da bulunmaktadır (Iwamoto, 2004). Bu zengin içeriklerin keşfedilmesi ticari amaçlı ilk üretim tesisinin Japonya'da (1961) kurulmasına etki etmiştir. Japonya'daki ticari üretim tesisinin ardından Tayvan, Malezya ve Endonezya gibi ülkelerde de ticari üretim tesisleri kurulmuştur. İlk ticari tesisin kurulmasından yaklaşık 20 yıl sonra Asya kıtasına bakıldığında 1 ton/ay üzerinde üretim hacmine sahip 46 büyük ölçekli tesisin kurulduğu bilinmektedir (Spolaore, 2006).

Son dönemlerde biyoteknolojik araştırmalarda *Chlorella* mikroalginin faydalı içeriklerinin çeşitli araştırmalarla geliştirilmeye çalışıldığı bilinmektedir. Bu bağlamda önemli bir role sahip olan *Chlorella vulgaris* mikroalgi içeriği ve kolay üreyebilme kabiliyetiyle ana rol üstlenen alglerden birisidir.

### ***Chlorella vulgaris* Mikroalginin Genel Özellikleri**

Mikroalgler biyoteknolojinin gelecekteki en önemli faktörlerindedir ve bu özellikleriyle birlikte biyoteknolojik ürün üretiminde güvenli ve uygun bir üretim sisteminin bir parçası olmayı başarmışlardır. Özellikle son dönemdeki biyoteknolojik gelişmeler göz önüne alındığında mikroalg türlerinin kitlesel kültürlerinde çeşitli güçlüklerle karşılaştığı görülmektedir. Biyokütle artışı, bu biyokütlenin biyokimyasal kompozisyonu ve yağ asitleri değerleri gibi faktörlerin yanında, besin ortamı, sıcaklık, tuz, ışık yoğunluğu, pH ve pH değişimi gibi çevresel faktörler mikroalglerin kitlesel kültüründe dikkat edilmesi gerek hususlardır.

*C. vulgaris* son dönemlerde mikroalg çalışmalarında popüler olan içerdiği besin değerleri açısından göz önünde bulunan yeşil, yuvarlak, klorofil ihtiva eden ve hızlı üreyebilen bir mikroalgdir. Bu mikroalgin içeriğindeki yoğun klorofil-a ve klorofil-b sebebiyle ekolojik sistemde karbon konsantrasyonlarının dengesinde aktif rol oynayan mikroalglerden birisidir (Keffer ve Kleinheinz, 2002). Ayrıca *C. vulgaris* çeşitli enzimleri, karotenleri ve klorofili yüksek oranda içermesi nedeniyle ticari açıdan büyük önem taşımaktadır. *C. vulgaris*'in kültürleri, mikroalglerin sağlam ve hızlı büyüyen türleri olduğundan, sağlıklı ikincil metabolitlerin üremesi dikkate alınarak yapılmaktadır. *C. vulgaris* türleri, metabolizmalarına bağlı olarak kültür ortamının ototrofik, heterotrofik, miksotrofik ve fotobiyoreaktör olabileceği, kolay ve hızlı bir şekilde büyüyen mikroalg türleridir.

**Tablo 1.** *C. vulgaris* mikroalginin kimyasal kompozisyonu (Coronado-Reyes vd., 2020'den direkt olarak alınmıştır).

Bileşen	(%)
Nem	5,83
Kuru Madde	94,17
Ham Protein	51,45
Karbonhidrat	11,86
Ham Lipid	12,18
Ham Lif	9,18
Kül	9,50

*C. vulgaris* biyokütlesinin kuru ağırlık bileşenleri olarak; %40 protein, %25 yağ, %20 karbonhidrat, %5 lif ve %10 mineral ve vitaminlerden oluştuğu bilinmektedir. Bu değerlere bakıldığında diğer bitkilerden daha fazla yağ ve protein üretme potansiyeli olduğu görülmektedir (Ammar, 2016; Sankar ve Ramasubramanian, 2012; Yağın Duygu, 2017). *C. vulgaris*'in ürettiği protein ve bazı karbonhidratların sentezinin yanı sıra lipid üretimleri de bulunmaktadır (Ardila-Álvarez vd., 2017). *C. vulgaris* mikroalginin kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Hücre duvarı mikroalglerin biyotik ve abiyotik risklere karşı hücre savunmasında görev almaktadır. Savunmada en önemli role sahip olan hücre duvarının başlangıçta kalınlığı yaklaşık 2 nm olup, hücre olgunluğa eriştikçe 21 nm kalınlığa erişebilmektedir (Yamamoto vd., 2004).

*C. vulgaris* yalnızca fosfolipidlerden oluşan ve iki zardan oluşan tek bir kloroplast içerir. Sahip olduğu ilk zar belirli metabolitlere ve bazı iyonlara geçirgendir. İkinci zar ise üst düzeyde seçicidir. Bu seçici zarın proteinlerin taşınmasında işlev gördüğü bilinmektedir. Bu proteinlerin %20'ye yakını hücre duvarına yapışarak hücre için yapısal ve taşıma görevi görür, %50'si çoğunlukla enzim işlevi gören hücre içi proteinlerdir ve geri kalan %30'u hücre dışı ortama salgılanarak mikroalglerin gelişmesini sağlar. Bu fonksiyona ek olarak kloroplast içerisinde nişasta granüllerinin sentezi de mümkündür (Safi vd., 2014; Coronado-Reyes vd., 2020).

### ***C. vulgaris* Mikroalginin Kullanım Alanları**

*C. vulgaris* mikroalginin sağlıklı gıda takviyelerinden biyoenerji üretimine kadar çok yaygın bir kullanım alanı mevcuttur. Genel anlamda bakıldığında biyogaz üretiminde, biyodizel üretiminde, kozmetik sektöründe, gıda takviyelerinde ve hatta atık suların arıtılmasında dahi kullanılmaktadır.

Gelişen dünyada enerji ihtiyacının giderek artması göz önüne alındığında mikroalglerin bu konuda paha biçilemez bir kaynak olduğu söylemek mümkündür. Mikroalglerin biyokütlesine dayanarak ürettiği lipidlerin türüne bağlı olarak biyodizel ve biyogaz üretmek mümkündür (Mata vd., 2010).

Aynı zamanda fosil yakıtlarla kıyaslandığında daha sağlıklı, çevreci bir üretimle birlikte çevreye zarar vermeyen bir yakıt kaynağı elde edilmiş olmaktadır.

*C. vulgaris*'in lipid üretimini arttıran etkenlerin uygulanması ile biyodizel üretimine uygun hale getirilmesi olanaklıdır. Pandit ve arkadaşları (2017), tarafından yapılan bir çalışmada *C. vulgaris* besin sınırlamaları altında ve hatta salin stresi altında değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına bakıldığında salin konsantrasyonunun (NaCl) 0,06 M ila 0,4 M civarında olduğu ortamlarda biyokütledeki lipid içeriğinin yüzdesinin arttığı en yüksek tuz konsantrasyonunda %49 konsantrasyona ulaşıldığı için biyodizel üretimine uygun hale gelmiştir.

Mikroalgler protein, lipid, karbonhidrat ve bazı pigmentler açısından zengin kaynaklar olduğundan, onları besin değeri yüksek bir kaynak olarak kullanmak ve bunu gıda takviyesi olarak tüketime sunmak önemli bir hamledir. Piyasada tablet ve toz halde gıda takviyesi olarak *C. vulgaris* ürünleri bulunmaktadır.

Kozmetik alanına baktığımızda mikroalglerin yaygın kullanılan bir alan olduğu bilinmektedir. *C. vulgaris* tarafından sentezlenen bileşikler endüstriyel düzeyde kozmetik sektöründe önemli bir kaynak olarak kullanılmaktadır. Antioksidan özelliğe sahip bileşikleri sayesinde retina dejenerasyonunun önlenmesinde ve bazı hastalıkların engellenmesinde potansiyel bir kaynak olarak kullanılmaktadır (Arnal vd., 2009).

*C. vulgaris* mikroalgi diğer mikroalglerle benzer olarak farklı büyüme koşullarına adaptasyonda çok zorluk çekmezler. Değişik koşullardaki büyüme ortamlarına kolayca adapte olabilirler. Bunun ekstra bir faydası olarak da *C. vulgaris* atık su arıtımında kullanılabilir. Atık suların arıtılmasında su içerisindeki giderilmek istenen bileşiklerin, elementlerin ya da kirleticilerin doğru bir şekilde giderimi sağlanmalıdır. Bu giderimin sağlanabilirliği için *C. vulgaris* ile çalışmalar yapılmış ve atık sulardaki kirleticilerin giderilebilirliği gösterilmiştir (Znad vd., 2018; Sulisty ve Nuravivah., 2018).

### **Genel Olarak Bitki Büyüme Düzenleyiciler ve Çeşitleri**

'Bitki büyüme düzenleyiciler' olarak adlandırılan bitki büyümesinde uyarıcı ve engelleyici rollere sahip olan hormonlardır. Farklı kimyasal yapılara sahip olan bu kimyasal bileşiklerin çoğu bitkilerin bünyesinde doğal olarak oluşmaktadır. İnsan vücudundakine benzer bir biçimde bitki bünyesinde de meydana gelen fizyolojik olayları hormonlar kontrol etmektedir. Bitki bünyesindeki büyüme, gelişme vb. fizyolojik olayları düzenleyen bu maddelere tıp literatüründen benzetilerek hormonlar ya da 'fitohormonlar' adı verilmektedir (Kumlay ve Eryiğit, 2011).

Bitki büyüme düzenleyicilerinin (BBD) önemi ilk kez 1930'lu yıllarda anlaşılmış, başlangıçta varsayımlara dayanan bitki büyüme düzenleyiciler daha sonraki çalışmalarla birlikte literatüre kazandırılmaya başlanmıştır. Başlıca 5 ana başlık altınca incelenen bitki büyüme düzenleyiciler; Oksinler, Sitokininler, Gibberellinler, Absisik Asit ve Etilen olarak sınıflandırılmaktadır.

Bu hormonlar çok düşük doz ve konsantrasyonlarda etkilerini göstermektedir. Gelişen biyoteknolojik bakış açısıyla bitki büyüme düzenleyicileri bitki doku kültürü çalışmalarında ve mikroçoğaltım çalışmalarında kilit roller almaktadır. *In vitro* ortamda mikroçoğaltımla bitki yetiştirmede bitki büyüme düzenleyiciler kullanılarak gerek kallus gerek yeni sürgünlerin hızla üretimi sağlanmaktadır. Bu aşamada farklı stresler ve hormon kombinasyonları kullanılarak bitkilerde biyoaktif madde miktarının artırılması, yeni sürgünlerdeki antioksidan aktivite, fenolik madde miktarı ve pigment miktarlarının değişimini takip eden araştırmalar son dönemlerde popüler hale gelmiştir (El Sherif 2020; Buran ve Topdemir, 2022; Topdemir ve Buran, 2023).

**Oksinler;** genel olarak hücrelerde büyümeyi ve kök büyümesini arttıran veya teşvik eden kimyasal bileşiklerdir. Bu tür bitki büyüme düzenleyicileri tarımda en eski kullanılan fitohormonlardır. Genel olarak bütün yüksek bitkilerin genç yapraklarında ve gelişmekte olan tohumlarda sentezlenir. En çok bulunan oksin sınıfı bitki büyüme düzenleyici bileşik IAA olarak adlandırılan Indol-3-Asetik Asit'tir (Grunewald vd., 2009). Buna ek olarak Naftalin Asetik Asit (NAA), Indol Bütirik Asit (IBA), 2,4-D fenilasetik asit (2,4-D), Fenoksi Asetik Asit (FOAA) gibi çok kullanılan farklı kimyasal bileşik türleri de bulunmaktadır.

**Sitokininler;** diğer fitohormonların aksine hem bitkide hem de hayvanlarda bulunabilen organik bileşiklerdir. Doku kültürü ortamlarında organ oluşuma katkıda bulunurlar. Hücre bölünmesinde oldukça etkilidirler. Bu özellikleri sebebiyle yaşlandırmayı geciktirici hormonlardır. Oksinlerin kök gelişimini teşvik edici etkisinin aksine sitokininler sürgün gelişimini teşvik eden hormonlardır. En yaygın olarak kullanılan sitokininler 6-Benzilaminopurin (BAP), kinetin (KIN) ve zeatindir.

**Gibberellinler;** en yaygın etkileri bitki hücrelerinin hacimce büyümesini ve bunu takiben bölünmenin teşvik edilmesini sağlamalarıdır. Şu an 76 kadar değişik gibberellin türü, bitki türlerinden ve Gibberella mantarından izole edilmiştir (Kumlay ve Eryiğit, 2011).

**Absisik Asit;** oksin, gibberellin ve sitokinin gibi büyümeyi hızlandırıcı bitki büyüme düzenleyicileridir. Absisik asit bazı bitkilerde stomaların kapanmasını teşvik ettiği, tek ve çok yıllık bitkilerde depo organlarında gelişimi inhibe ettiği bilinmektedir. Bazı dormansi kırılmalarının absisik asit miktarıyla ilişkili olduğu belirtilmiştir. Bunlara ek olarak tohumların erken çimlenmesinin önlenmesinde rol oynamaktadır (Seçer, 1989; Raven vd., 1992; Kaynak ve Ersoy, 1997).

**Etilen;** bitkinin kendisi tarafından üretilen gaz formundaki bir hormondur. Basit formülüyle  $C_2H_4$  bilinse de yüksek derecede etkili bir fitohormondur. Bitkinin büyüme ve gelişiminin her aşamasında üretilebilir. Meyvelerde yeterince havalandırma bulunmayan depolarda hızlıca olgunlaşma ve olgun meyvelerin çürümesine neden olan bitki büyüme düzenleyicisidir. Sentetik olarak da üretilebilmektedir.

Bitki büyüme düzenleyicilerin bitkiler üzerindeki gelişimi teşvik edici ya da inhibe edici özellikleri artık bilinmektedir. Yeni nesil araştırmalar bu bitki büyüme düzenleyicilerin farklı canlı kültürleri üzerindeki etkilerini incelemeye odaklanmaktadır. Yapılan bu çalışmada da IAA ve BAP bitki büyüme düzenleyicilerinin farklı konsantrasyonlarının *C. vulgaris* mikroalginin gelişimine etkisinin araştırılması üzerinde durulmaktadır.

## Materyal ve Metot

### Materyal

Bitki büyüme düzenleyicilerin gelişimine etkileri incelenen *C. vulgaris* mikroalgî Fırat Üniversitesi Biyoloji Bölümü'nden temin edilmiştir. Kullanılan mikroalg Elazığ Keban Baraj Gölü'nden izole edilmiştir. Alg kültürleri eşit şartlardaki fotobiyoreaktörlerde kültüre alınmıştır. 14 günlük kültür süresi boyunca Shimadzu - 1800 Model UV-Visible spektrofotometre yardımıyla absorbansları ölçülmüştür. Kültür ortamı olarak Basal Medium kullanılmıştır. Tablo 2'de besi ortamının bileşenleri ve Tablo 3'te ise basal mediumun ihtiva ettiği micronutrient çözeltisinin içeriği verilmiştir.

**Tablo 2.** Kültür ortamı olan Basal Medium ortamının içeriği

Bileşen	Konsantrasyon (g/100 mL)	Miktar
$KNO_3$	1	20 mL
$KH_2PO_4$	0,1	20 mL
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0,1	20 mL
Micronutrient	-	5 mL
Saf Su	-	935 mL

**Tablo 3.** Micronutrient çözeltisinin içeriği

Bileşen	Konsantrasyon (g/100 mL)	Miktar
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0,1	1 mL
$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	0,1	2 mL
$H_3BO_3$	0,2	5 mL
$CO(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	0,02	5 mL
$NO_2MNO_4 \cdot 2H_2O$	0,02	5 mL
$CUSO_4 \cdot 5H_2O$	0,0005	1 mL
Saf Su	-	981 mL
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	-	0,7 g
EDTA	-	0,8 g

Bitki büyüme düzenleyicisi olarak Indol-3-Asetik Asit (IAA) ve 6-Benzilaminopurin (BAP) kullanılmıştır. IAA bir oksindir ve BAP ise bir sitokindir.

### Metot

İki farklı tür bitki büyüme düzenleyicisi kullanılarak oksin ve sitokinin fitohormonlarının *C. vulgaris* gelişimi üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Her iki bitki büyüme düzenleyicisinden de 3 farklı konsantrasyon hesaplanmış ve kültür ortamına ilave edilmiştir. Önceden hazırlanan stok IAA ve BAP hormonlarından 0,5 mg/L, 1 mg/L ve 2 mg/L konsantrasyonlarda ayrı ayrı IAA ve BAP hormonları 6 ayrı 250 mL erlen ölçekli fotobiyoreaktör içindeki basal medium besi ortamına eklenmiştir. Bitki büyüme düzenleyicileri eklendikten sonra 100 mL basal medium içeren erlen ölçekli fotobiyoreaktörlere %2,5'lik *C. vulgaris* mikroalgi enjeksiyonu yapılmıştır. Sabit sıcaklıkta (25 °C), ortam pH'sında (yaklaşık 7,2-7,5) ve 3000 lux ışık şiddetinde 12 saatlik gece/gündüz döngüsünü sağlayan bir kültür ortamında 14 gün boyunca gelişimleri gözlemlenmiştir. Bu 6 erlen ölçekli fotobiyoreaktöre ek olarak sadece aynı koşullarda ve hacimlerde basal medium içeren ancak herhangi bir bitki büyüme düzenleyicisi içermeyen kontrol kültürü de aynı şartlardaki ortama gelişimini gözlemlemek üzere bırakılmıştır. Statik bir reaktörde kültür yapıldığından dolayı tutunma ve topaklanmaları minimize etmek amacıyla 24 saate bir çalkalama yoluyla karıştırma sağlanmıştır.

24 saatte bir 690 nm dalga boyunca bir spektrofotometre ile ölçülen absorbans değerleri (ABS), Kazeem ve arkadaşları (2018) tarafından aynı dalga boyunda *C. vulgaris* için oluşturulan kalibrasyon doğrusundan faydalanarak konsantrasyon değerlerine (g/L) dönüştürülmüştür. Spektrofotometrede ölçülen absorbans değerlerinden biyokütle konsantrasyonunu belirlemeye yardımcı olan kalibrasyon doğrusunun denklemi (1) aşağıda verilmiştir:

$$\text{Biyokütle Konsantrasyonu (g/L)} = 0,2611 \times \text{ABS} + 0,0208 \quad (1)$$

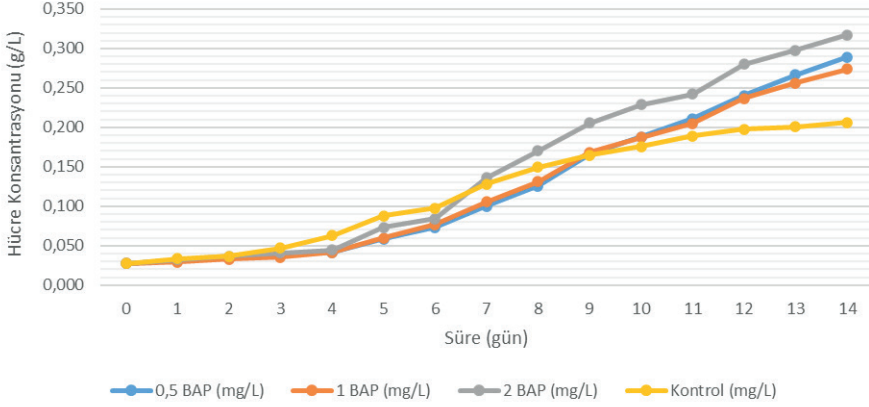
Bu denklem yardımıyla g/L cinsinden kültür konsantrasyonları gün gün hesaplanmış ve not edilmiştir.

### SONUÇ

14 günlük kültür süresince 24 saate bir yapılan absorbans okumaları neticesinde kalibrasyon doğrusundan elde edilen denklem yardımıyla elde edilen sonuçlar hem iki hormon arasında hem de hormonların konsantrasyonları arasında bir kıyaslama yapabilme imkanını sunmaktadır.

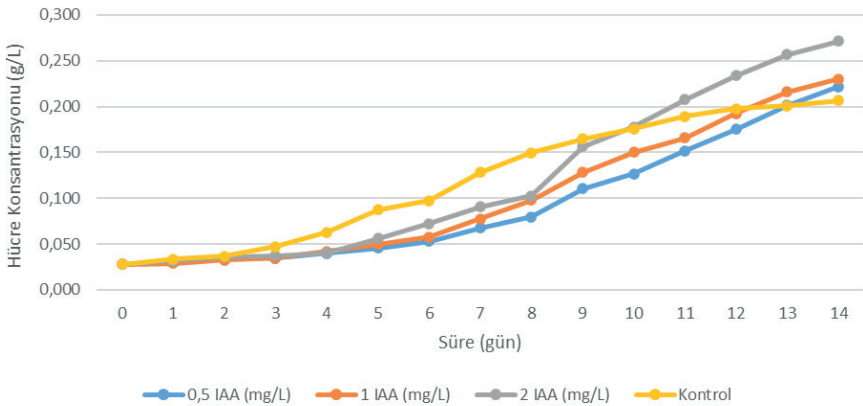
Sonuçlara bakıldığında, BAP bitki büyüme düzenleyicisi konsantrasyonları arasında 0,317 g/L hücre konsantrasyonu ile en yüksek biyokütle konsantrasyonuna 2,0 mg/L BAP içeren kültür ulaşmıştır. Diğer konsantrasyonlara

bakıldığında 1,0 mg/L BAP içeren kültür ortamı 0,274 g/L hücre konsantrasyonuna ulaşmıştır. En düşük BAP konsantrasyonunu içeren 0,5 mg/L BAP kültürü ise 0,289 g/L hücre konsantrasyonuna ulaşmıştır. BAP konsantrasyonları ve kontrol kültürü ile karşılaştırmaları Şekil 1’de gösterilmiştir.



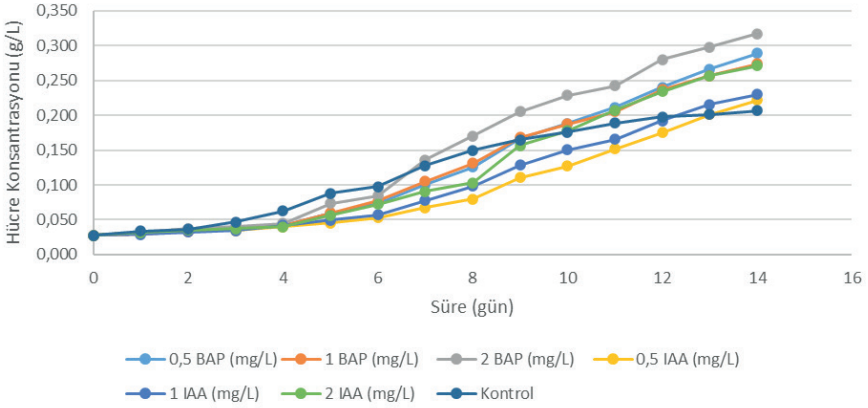
**Şekil 1.** BAP bitki büyüme düzenleyicisinin farklı konsantrasyonlarını içeren *C. vulgaris* kültürlerinin hücre konsantrasyonları.

IAA'nın farklı konsantrasyonlarıyla kültüre bırakılan *C. vulgaris* mikroalglerinin sonuçlarına bakıldığında ise 0,271 g/L ile en yüksek hücre konsantrasyonu 2,0 mg/L IAA bitki büyüme düzenleyicisi içeren kültür ulaşmıştır. Diğer konsantrasyonlardan elde edilen sonuçlara bakıldığında 1,0 mg/L IAA içeren kültür ortamında 0,230 mg/L hücre konsantrasyonu elde edilirken, 0,5 mg/L IAA içeren kültür ortamında ise 0,222 mg/L hücre konsantrasyonu elde edilmiştir. IAA konsantrasyonları ve kontrol kültürü ile karşılaştırmaları Şekil 2’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.** IAA bitki büyüme düzenleyicisinin farklı konsantrasyonlarını içeren *C. vulgaris* kültürlerinin hücre konsantrasyonları.

Kültür ortamlarına eklenen bitki büyüme düzenleyicilerle elde edilen sonuçlar hormonlar açısından kıyaslandığında BAP içeren kültürlerin hepsinde IAA içeren kültürlere göre daha fazla hücre konsantrasyonu elde edilmiştir. Bunun bir ön çalışma olduğu değerlendirildiğinde bitki büyüme düzenleyicilerin ve bunların farklı konsantrasyonlarının BAP ve IAA içeren kültürlerden elde edilen hücre konsantrasyonlarının kıyaslandığı grafik Şekil 3'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.** IAA bitki büyüme düzenleyicisinin farklı konsantrasyonlarını içeren *C. vulgaris* kültürlerinin hücre konsantrasyonlarının karşılaştırılması.

Bitki büyüme düzenleyicileri genel hücre konsantrasyonuna etkilerine ek olarak, mikroalgin klorofil miktarına etkisini, toplam protein ve lipid üretimi üzerindeki etkisini de inceleyen araştırmalar yapılabilir. Bitki büyüme düzenleyicileri ve farklı kombinasyonlarını içeren ortamda büyüyen mikroalglerin besin değeri ve atık su arıtmadaki veriminin incelenmesi de potansiyel çalışma konularındandır. Salisilik asit (SA), 1-naftalinasetik asit (NAA), gibberellin A3 (GA3) ve jasmonik asit (JA) gibi çeşitli bitki büyüme düzenleyicileri (PGR'ler), mikroalglerin büyümesi üzerindeki etkileri açısından son dönemlerde bazı araştırmalar yapılmıştır (Hunt vd., 2010; Piotrowska-Niczyporuk ve Bajguz, 2014; Gao vd., 2016).

Yapılan bir çalışmaya göre eksojen oksinler, alg büyümesi üzerinde konsantrasyona bağlı bir şekilde etki göstermiştir. 100  $\mu\text{M}$  konsantrasyondaki fitohormonlar, hücre sayısı olarak ifade edilen alg büyümesini inhibe etmiştir. IAA ve IBA, 0,1  $\mu\text{M}$ 'de en yüksek biyolojik aktiviteyi sergilerken, PAA ve NAA, 1  $\mu\text{M}$ 'de hücre sayısı üzerinde en büyük uyarıcı etkiyle sahip olmuştur. 0,1  $\mu\text{M}$ 'de IAA ve IBA veya 1  $\mu\text{M}$ 'de NAA ve PAA uygulaması *C. vulgaris*'teki fotosentetik pigmentlerin, monosakkaritlerin ve çözünür proteinlerin konsantrasyonunu arttırmıştır (Piotrowska-Niczyporuk ve Bajguz, 2014).



*Chlorella pyrenoidosa* mikroalginin büyüme ortamına IAA, indol-3-laktik asit (ILA) ve IBA'nın uygulanması, IAA için gözlemlenen en güçlü etki ile klorofil, karotenoid, aldoheksozlar ve suda çözünür proteinlerin içeriğini arttırdığı bildirilmiştir (Czerpak vd., 1994).

Ekzojen oksinlerin yeşil algler tarafından emilimini ve metabolizmasını araştıran birkaç çalışma vardır. *Caulerpa paspaloides* üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar, oksidasyon yolları yoluyla üretilen bir IAA kataboliti olan dioksindol-3-asetik asidin varlığını ortaya çıkarmıştır (Jacobs, 1993). Nitella'daki ekzojen IAA ağırlıklı olarak bozunma ürünlerine ve diğer inaktif metabolitlere dönüştürülmüştür (Cooke vd., 2002). Buna göre alglerin bitki büyüme düzenleyicilerini bozunma ürünlerine ve inaktif metabolitlere dönüştürebilme potansiyelleri de bulunmaktadır.

*C. vulgaris* mikroalginin gelişimi üzerine oksin ve stokinin fitohormonlarının etkilerinin anlamlı olup olmadığı konusunda geniş araştırma yapılması ihtiyaç olarak görülmektedir. Geniş bir araştırma sonucunda yapılacak istatistiksel analizler ile farkların ve sonuçların anlamlı olup olmadığı kanıtlanmalıdır. Piotrowska-Niczyporuk ve Bajguz (2014)'e göre oksinler, *C. vulgaris* kültüründe kısa süreli büyüme olaylarının ve birincil metabolitlerin içeriğinin düzenlenmesinde merkezi bir rol oynamaktadır. Ayrıca alg hücrelerindeki oksin etki mekanizması, hücrenel antioksidan mekanizmanın kontrolü altındaki oksidatif stres ile ilişkilidir. Bununla birlikte, bu hipotezi doğrulamak amacıyla mikroalglerdeki oksinlere kesin olarak bir rol atfetmek için moleküler düzeyde daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

## KAYNAKÇA

- Ammar, S. H. (2016). "Cultivation of Microalgae *Chlorella vulgaris* in Airlift Photobioreactor for Biomass Production Using Commercial NPK Nutrients." *Al-Khwarizmi Engineering Journal* 12: 90-9.
- Ardila-Álvarez, A., López-Matos, Y., Vásquez-Cáceres, M., González-Delgado, Á. ve Barajas-Solano, A. (2017). Obtaining lipids and carbohydrates from microalgae via design of selective culture media. *Tecnológicas*, 20(38), 83-94.
- Arnal, E., Miranda, M., Johnsen-Soriano, S., Alvarez-Nolting, R., Diaz-Llopis, M., Araiz, J., Cervera, E., Bosch-Morell, F., & Romero, F. J. (2009). Beneficial effect of docosahexanoic acid and lutein on retinal structural, metabolic, and functional abnormalities in diabetic rats. *Current Eye Research*, 34(11), 928-938. <http://dx.doi.org/10.3109/02713680903205238>. PMID:19958109.
- B. Dural, (1989). Taxonomic investigation of the order Ulvales in Çandarlı Bay II. *Ulvaceae* A) *Ulva* L. species, Doğa *Turkish Journal of Botany*, 13, pp.474-486.
- Becker, W. (2004). Microalgae in human and animal nutrition. In: Richmond A, ed. *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology*. Oxford: Blackwell Science, 2004: 312-351.
- Buran, A. ve Topdemir, A. (2022). Phenolic and flavonoid amounts and antioxidant capacity of *Lavandula officinalis* (lavender) callus grown in different growth regulator combinations. *Anatolian Journal of Botany* , 6 (2) , 115-121 . DOI: 10.30616/ajb.1181724
- Cardozo, K.H.M., Guaratini, T, Barros, M.O., Falcao, V.R., Tomon, A.P., Lopes, N.P., Campos, S., Tores, M.A, Souza, A.O., Colepicolo, P. ve Pinto, E. (2007). Metabolites form algae with economically impact. *Comp Biochem Physiol Part C*; 146: 60-78.
- Chu W.L., Yuen, Y.S., Wong, C.Y., Teoh, M.L. ve Phang, S.M. (2002). Isolation and culture of microalgae from the Windmill Island Region, Antarctica. *Proceedings on Malaysian International Seminar on Antarctica: Opportunities for Research*, Kuala Lumpur, Malaysia, 5-6 August, 2002: 53-59
- Chu, W. L. (2012). Biotechnological Applications of Microalgae. *International E-Journal of Science, Medicine & Education*, international E-Journal of Science, Medicine & Education. 2012, 6(Suppl 1), 24. DOI: 10.56026/imu.6.Suppl1.S24.
- Cooke, T.J., Poli, D.B., Szein, A.E. ve Cohen, J.D. (2002). Evolutionary patterns in auxin action. *Plant Mol Biol* 49:319–338. doi:10.1023/A:1015242627321
- Coronado-Reyes, J.A., Juan Alfonso Salazar-Torres, J.A., Juárez-Campos, B. ve Gozález-Hernández, J.C. (2020). "Chlorella vulgaris, a microalgae important to be used in Biotechnology: a review". *Food Sci. Technol (Campinas)* 42 : 320–370.
- Czerpak, R., Bajguz, A., Białecka, B., Wierzchołowska, L.E. ve Wolańska, M.M. (1994). Effect of auxin precursors and chemical analogues on the growth and chemical composition in *Chlorella pyrenoidosa* Chick. *Acta Soc Bot Pol* 63:279–286. do-

i:10.5586%2Fasbp.1994.038

- El Sherif, F., Albotnoor, N., Yap, Y.K., Meligy, A. ve Khattab, S. (2020). Enhanced bioactive compounds composition in *Lavandula officinalis* in-vitro plantlets using NaCl and *Moringa oleifera*, *Aloe vera* and *Spirulina platensis* extracts. *Industrial Crops and Products* 157: 112890.
- Gao, Z.Q., Miao, X.X., Zhang, X.W., Wu, G.X., Guo, Y.Y., Wang, M.M., Li, B., Li, X.B., Gao, Y.H., Hu, S., Sun, J.T., Cui, J.L., Meng, C.X. ve Li, Y. (2016). Comparative fatty acid transcriptomic test and iTRAQ-based proteomic analysis in *Haematococcus pluvialis* upon salicylic acid (SA) and jasmonic acid (JA) inductions. *Algal Res* 17:277–284.
- Grunewald, W., Noorden, G.V., Isterdael, G.V., Beeckman, T., Gheysen, G. ve Mathesius, U. (2009). Manipulation of auxin transport in plant roots during *Rhizobium* symbiosis and nematode parasitism. *The Plant Cell*, Vol. 21: 2553–2562.
- Hunt, R.W., Chinnasamy, S., Bhatnagar, A. ve Das, K.C. (2010). Effect of biochemical stimulants on biomass productivity and metabolite content of the microalga, *Chlorella sorokiniana*. *Appl Biochem Biotech* 162:2400–2414.
- Iwamoto, H. (2004). Industrial production of microalgal cell-mass and secondary products – major industrial species. *Chlorella*. In: Richmond A, ed. *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology*. UK: Blackwell Science, 2004: 255-263.
- Jacobs, W.P. (1993). A search for some angiosperm hormones and their metabolites in *Caulerpa paspaloides* (Chlorophyta). *J Phycol* 29:595–600. doi:10.1111/j.0022-3646.1993.00595.x
- Kaynak, L. ve Ersoy, N., (1997). Bitki büyüme düzenleyicilerinin genel özellikleri ve kullanım alanları, *Akd. Üniv. Zir. Fak. Dergisi*, 10, 223-236.
- Kazeem, M., Hossain, S., Hossain, M. ve Razzak, S. (2018). Application of Central Composite Design to Optimize Culture Conditions of *Chlorella Vulgaris* in a Batch Photobioreactor: An Efficient Modeling Approach. *Chemical Product and Process Modeling*, 13(4), 2018. <https://doi.org/10.1515/cppm-2017-0082>
- Keffer, J.E., ve Kleinheinz, G.T. (2002). “Use of *Chlorella vulgaris* for CO<sub>2</sub> Mitigation in a Photobioreactor.” *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 29 (5): 275-80.
- Kumlay, A.M. ve Eryiğit, T. (2011). Bitkilerde Büyüme ve Gelişmeyi Düzenleyici Maddeler: Bitki Hormonları. *Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech.* 1(2): 47-56.
- Lu, W., Wang, Z., Wang, X. ve Yuan, Z. (2015). Cultivation of *Chlorella* sp. using raw dairy wastewater for nutrient removal and biodiesel production: characteristics comparison of indoor bench-scale and outdoor pilot-scale cultures. *Bioresource Technology*, 1, 1-31.
- Pandit, P.R., Fulekar, M.H. ve Karuna, M.S.L. (2017). Effect of salinity stress on growth, lipid productivity, fatty acid composition, and biodiesel properties in *Acutodesmus obliquus* and *Chlorella vulgaris*. *Environmental Science and Pollution Research International*, 24(15), 13437-13451. <http://dx.doi.org/10.1007/>

s11356-017-8875-y.PMid:28386901.

- Phang, S.M., Chu, W.L., Wong, C.Y., Teoh, M.L., Tan, K.P., Lee, H.K. (2008). A checklist of microalgal isolates from Ny Alesund, Svalbard. Polarnet Technical Report: the Journal of the CNR's Network of Polar Research, 8th Ny Alesund Seminar, Cambridge, UK, 16 – 17 October, 2007, 2008; 1–14.
- Piotrowska-Niczyporuk, A., ve Bajguz, A. (2014). The effect of natural and synthetic auxins on the growth, metabolite content and antioxidant response of green alga *Chlorella vulgaris* (Trebouxiophyceae). *Plant Growth Regul* 73, 57–66. <https://doi.org/10.1007/s10725-013-9867-7>
- Raven, P.H., Evert, R.F. ve Eichhorn, S.E. (1992). Regulating growth and development: The plant hormones (in: Biology of Plants) pp 545-571, Worth Publishers, New York, USA.
- Safi, C., Zebid, B., Merah, O., Pontalier, P. ve Vaca-García, C. (2014). Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: A review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 35, 265-278. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.007>.
- Sankar, M., ve Ramasubramanian, V. (2012). “Biomass Production of Commercial Algae *Chlorella vulgaris* on Different Culture Media.” *E-Journal of Life Sciences* 1 (1): 56-60.
- Seçer, M., (1989). Doğal büyüme düzenleyicilerin (bitkisel hormonların) bitkilerdeki fizyolojik etkileri ve bu alanda yapılan araştırmalar, *Derim*, 6: (3),109-124.
- Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E. ve Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *J Biosci Bioengr* 2006; 101: 87-96.
- Sulistya, E. ve Nuravivah, R. (2018). Potential of Microalgae *Chlorella vulgaris* as bio-remediation agents of heavy metal Pb (Lead) On Culture Media. *Web of Conferences*, 31(1), 1-4.
- Topdemir, A. ve Buran, A. (2023). Determination of antioxidant activity and phenolic and flavonoid content of *Ocimum basilicum* L. callus cultures obtained by different plant growth regulators. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 22(2), 133–149. <https://doi.org/10.24326/asphc.2023.1661>
- Yalçın Duygu, D. (2017). Increasing the Protein Amount of *Chlorella vulgaris* [Chlorophyta] Strains Isolated from Different Fresh Water Ponds. *Journal of Environmental Science and Engineering B* 6 (2017) 201-208.
- Yamamoto, M., Fujishita, M., Hirata, A., ve Kawano, S. (2004). Regeneration and maturation of daughter cell walls in the autospore-forming green alga *Chlorella vulgaris* (Chlorophyta, Trebouxiophyceae). *Journal of Plant Research*, 117(4), 257-264. <http://dx.doi.org/10.1007/s10265-004-0154-6>. PMID:15108033.
- Znad, H., Al Ketife, A., Judd, S., Al Momani, F. ve Vuthaluru, H. (2018). Bioremediation and nutrient removal from wastewater by *Chlorella vulgaris*. *Ecological Engineering*, 110, 1-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.10.008>.

# ***Bölüm 2***

## **ENGELLİ BİREYLER İÇİN BRAİLLE YÖNTEMİNE YÖNELİK YARDIMCI TEKNOLOJİLER**

*Serhat KÜÇÜKDERMENCİ<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Doç. Dr.; Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü.  
kucukdermenci@balikesir.edu.tr ORCID No: 0000-0002-6421-7773

## GİRİŞ

2020 yılında yaklaşık 43,3 milyon kişi görme engeline ve 295 milyon kişi orta ila şiddetli görme bozukluğuna sahiptir. 2050 yılına kadar bu iki grubun sırasıyla 61,0 milyon ve 474 milyon kişiye ulaşacağı öngörülmektedir (Bourne vd., 2021). Yardımcı teknolojiler, engelli bireylerin yeteneklerini artırmak, sürdürmek veya geliştirmek için kullanılan cihaz ve hizmetleri ifade eder (Newton & Dell, 2011). Başka bir deyişle, yardımcı teknoloji, engelli bireyin işlevsel kapasitesini geliştirmek veya özel eğitim ihtiyacı olan bireyin genel eğitim müfredatına erişimine yardımcı olmak için tasarlanmış herhangi bir öge veya ekipman parçasıdır. Yardımcı cihaz, engelli kişilerin teknolojiyi yaşam kalitelerini artıracak şekilde kullanmalarını kolaylaştıran donanım ve yazılım anlamına gelir. Günlük yükümlülüklerini yerine getirebilmek ve topluma tam olarak katılabilmek için birçok engelli insan yardımcı teknolojiye ihtiyaç duymaktadır. Yardımcı teknolojiler görme engellilere engel algılama, görselleştirme, navigasyon ve tanımanın yanı sıra hareketlerini takip etmede yardımcı olabilir. Bu cihazların her biri, verileri toplayan bir sensöre ve daha sonra verileri anlamlı bilgilere dönüştüren bir mikrodenetleyiciye sahiptir. Kullanıcı, cihaza bağlı olarak ses, titreşim ya da her iki duyum yoluyla üretilen geri bildirimini deneyimleyebilir.

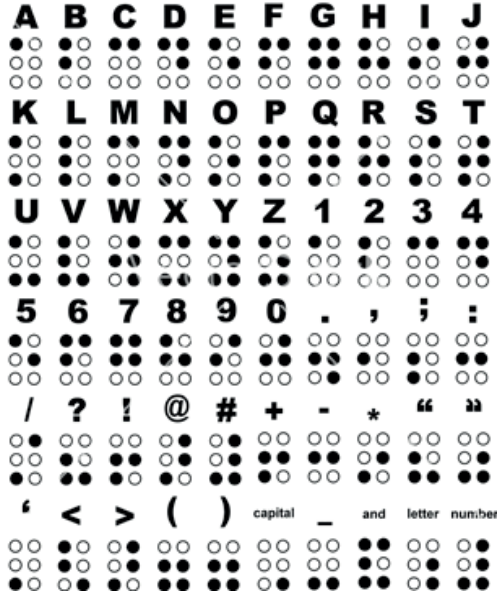
Akademik düzeyde gözlemlenen temel sorunlardan biri özellikle okuma ve yazma süreciyle ilgili olarak ciddi görme bozukluğu olan kişilerin beceri ve yeteneklerini geliştirecek öğretme-öğrenme metodolojileri ve araçlarının eksikliğidir. Bunun için, görme engelli kişilerin dokunarak okumasına ve yazmasına olanak tanıyan yükseltilmiş noktalardan oluşan bir sistem olan geleneksel Braille yöntemine pedagojik açıdan bakıldığında, bu sistem yavaş ve kullanışsızdır. Genel olarak, görme engellilere yardımcı cihazların gelişimi bilgisayar teknolojisi, makine öğrenimi ve yapay zekâ alanlarındaki ilerlemeler tarafından yönlendirilmektedir. Bu ilerlemeler, görme engelli bireylere günlük yaşamlarında yardımcı olmak için daha sezgisel, verimli ve etkili cihazların geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Bundan dolayı mevcut teknolojik birikim kullanılarak Braille yöntemine yönelik yeni tasarımlar geliştirilebilir.

## BRAILLE ALFABESİ VE BRAILLE HÜCRESİ

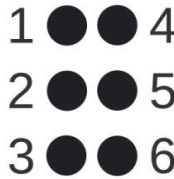
Braille, görme engelliler için alfabenin harflerini kabarık noktaların temsil ettiği dokunsal bir okuma ve yazma sistemidir. Louis Braille tarafından icat edilen Braille alfabesi (bkz. Şekil 1), görme engelli kişilerin okuma ve yazması için geliştirilen bir tekniktir. Braille alfabesi, elin her satır boyunca soldan sağa doğru hareket ettirilmesiyle okunur.

Braille hücresi, görme engelli kişilerin kullanabileceği Braille alfabesini temsil etmek için kullanılan bir kabartma yazı sisteminin temel yapı taşıdır. Braille hücresi, 6 kabartma noktasının düzenli bir 2x3 matrisinden oluşur

ve bu noktaların her biri, farklı bir karakteri veya sembolü temsil eder. Kabartma noktalarının düzeni, alfabede kullanılan karakterlerin ve sembollerin farklı kombinasyonlarını oluşturur. Her bir Braille hücresi, farklı harf, rakam, noktalama işareti veya özel sembolleri temsil edebilir. Braille hücreleri, metin belgeleri, kitaplar, etiketler, kartvizitler ve diğer birçok materyalde kullanılır ve görme engelli bireylerin okuma, yazma ve iletişimde kullanılmalarına olanak tanır. Örneğin bir Braille hücresi Şekil 2’de gösterildiği gibi 2x3’lük bir matris her biri dikdörtgen şeklinde düzenlenmiş üçer noktadan oluşan iki sütundan oluşur.



Şekil 1: Braille karakterler (İngilizce), rakamlar ve semboller



Şekil 2: Braille hücresi

Günümüzde, teknolojinin kullanımıyla Braille cihazlarının geliştirilmesinde birçok ilerleme kaydedilmiştir. Braille alfabesine ses ekleme, hareket ekleme, metin ekleme yeni dönüştürme cihazlarında bulunan önemli özelliklerden bazılarıdır. Görme engellilere yardımcı cihazlar temel olarak uygun maliyetli bir ses veya metinden Braille alfabesine veya tam tersi bir yöntem oluşturmaya odaklanmaktadır.

## BRAILLE YÖNTEMİ İÇİN YARDIMCI TEKNOLOJİLER

Görme engellilere yardımcı cihazlar son birkaç on yılda önemli değişimler geçirmiştir. Teknik gelişmeler, bu cihazların görme engelli bireylere yardımcı olmada daha etkili ve verimli hale gelmesini sağlamıştır. Bu teknik gelişmeler şöyle sıralanabilir;

**Braille kabartma makineleri:** Görme engelli bireyler için geliştirilen ilk yardımcı cihazlardan biridir. İlk olarak 1950'lerde kullanılmaya başlanmış ve o zamandan beri daha hızlı, daha güvenilir ve daha uygun fiyatlı olacak şekilde gelişmiştir. Modern Braille kabartma makineleri, çeşitli biçimlendirme seçenekleriyle yüksek kaliteli Braille belgeleri üretebilmektedir.

Perkins Braille Writer veya kısaca Perkins Brailler, Braille alfabesini kabartma noktaları olarak kâğıda işleyen bir tür kabartma yazı makinesidir. Braille alfabesini temel alan kabartma yazı sistemiyle uyumlu olarak çalışır ve görme engellilerin okuma ve yazma yeteneklerini geliştirmelerine yardımcı olur. Kullanıcılar Braille alfabesindeki harf ve sembollerin kabartma noktalarını oluşturmak için tuşlara basarlar ve her tuş, ilgili Braille karakterini kâğıda kabartır. Perkins Brailler, Braille öğrenmekte olan öğrenciler, iş ve iletişim amaçları için metinleri oluşturmak isteyen yetişkinler ve görme engelli kişiler için yazma ve okuma süreçlerini kolaylaştırmak için sıkça kullanılır. Her ne kadar Perkins Brailler geleneksel bir yazma aracı olarak kullanılsa da günümüzde daha modern teknolojilerin yaygınlaşmasıyla birlikte dijital Braille çeviri cihazları ve ekran okuyucu yazılımlar gibi dijital araçlar da kullanılmaktadır. Ancak Perkins Brailler, hala Braille yazma becerilerini öğretme ve geliştirme süreçlerinde önemli bir rol oynar.

**Ekran okuyucular:** Bilgisayar ekranındaki metni konuşmaya dönüştürerek görme engelli bireylere sesli geri bildirim sağlayan yazılım programlarıdır. İlk ekran okuyucular 1980'lerde geliştirilmiştir ve o zamandan beri daha gelişmiş ve çok yönlü hale gelmişlerdir. Günümüzün ekran okuyucuları; web tarayıcıları, e-posta istemcileri ve kelime işlemciler gibi çeşitli uygulamalarla etkileşime girebilmektedir.

**Metinden sese (TTS) teknolojisi:** TTS teknolojisi de son yıllarda önemli ölçüde gelişmiştir. TTS motorları artık insan konuşmasını taklit eden tonlama ve ritim ile kulağa doğal gelen konuşma üretebilmektedir. TTS teknolojisi ekran okuyucularda kullanılmakla birlikte, dijital kitap okuyucular ve konuşan GPS sistemleri gibi bağımsız cihazlarda da kullanılmaktadır.

**Nesne tanıma teknolojisi:** Görme engelli bireylerin nesnelere tanımlamalarını ve çevrelerinde daha etkili bir şekilde gezinmelerini mümkün kılmıştır. Nesne tanıma teknolojisini kullanan cihazlar arasında, nesnelere tanımlamak ve metni yüksek sesle okumak için bir kamera ve yazılım kullanan elektronik gözlükler bulunmaktadır.



**Giyilebilir cihazlar:** Bu cihazlar da görme engelliler için önemli bir yardımcı teknoloji olarak ortaya çıkmıştır. Bu cihazlar, kullanıcıya gelen çağrılarını, mesajları veya alarmları bildirmek için titreşim veya dokunma gibi dokunsal geri bildirim sağlayabilen akıllı saatleri ve navigasyon yardımcılarını da içerebilir.

İşitme engelli ve görme engelli bireylerin karşılaştığı iletişim sorununu çözmek için önerilen ana yaklaşımlardan biri (Raghuandan & MR, 2017) ham metni bir kamera ile yakalamak ve yakalanan görüntüyü bir Raspberry Pi'ye göndermektir. Alfanümerik metin Braille metnine dönüştürüldükten sonra PIC16F877 mikrodenetleyici ile dönüştürülen metin bir LCD ekran aracılığıyla görüntülenir. Önerilen başka bir yaklaşım ise giyilebilir bir bant gibi olan ve metin, sayı ve özel sembollerin algılandığı 6 ayrı titreşimli motordan oluşan bir Braille gövde sistemini içermektedir. Braille yazıcı, altısı Braille kodu için ve ikisi yardımcı işlevler için kullanılan bir giriş görevi görür (Sarkar vd., 2013). Başka bir prototip (Su vd., 2001) yüz yüze ve kablosuz olmak üzere iki farklı veri aktarım moduna sahiptir. Tuş takımı 6 tanesi Braille alfabesi için, diğerleri ise enter, clear, call, send, next, change komutları için atanan 12 tuştan oluşmaktadır. LCD ekran, yüz yüze modu tercih edilirse metin mesajını görüntülemek için kullanılır. İşitme engelli ve görme engelli bireyler için Arduino Nano ve Zigbee tabanlı iletişim cihazı (Ramachandran vd., 2021) Zigbee'ye bağlı titreşim motoru tarafından alınan herhangi bir mesajı bildirebilir. Örnek bir tasarımda giyilebilir bir Braille alfabesinden sesli iletişim cihazında (Kishore vd., 2017) görme engellilerin girdileri için basmalı düğmeler kullanılmış ve girdiler bir microSD'de depolanarak sese dönüştürülmüştür. Bu ses dönüşümü mp3 modu, tuş modu ve döngü çalma modu gibi üç modda yapılmıştır. Başka bir çalışmada Arapça Braille öğrenme sistemi, özel olarak tasarlanmış etkileşimli dokunsal Braille tuş takımı kullanılarak geliştirilmiştir (Bintaleb & Al, 2020). Bu tuş takımı, kullanıcının öğrenme modu ve eğitim modu arasında seçim yapmasına olanak tanır.

## **BRAILLE CİHAZLARDAKİ ÇEŞİTLİ ELEKTRONİK BİLEŞENLER**

Mikrodenetleyiciye sahip elektronik kartlar ve Raspberry Pi gibi tam teşekküllü bilgisayarların ortaya çıkmasından bu yana, görme engelli bireylere yardımcı olmak için düşük maliyetli, kullanıcı dostu ve yeni teknolojileri temel alan cihaz tasarımı alanında birçok gelişmeler ortaya çıkmaktadır. Elektronik Braille cihazı tasarımlarında Raspberry Pi gibi bilgisayarlar, PIC ve Arduino gibi mikro denetleyiciler, RFID modülü, GSM SIM modülü, Zigbee modülü gibi çok çeşitli elektronik bileşenler kullanılabilir.

**Kontrol birimi:** Farklı mikrodenetleyici kartları ve Raspberry Pi; hobiciler, geliştiriciler ve yenilikçiler tarafından farklı alanlardaki sorunlara çözüm geliştirmek için prototip olarak kullanılmaktadır. Sistem tasarımı (Cvijetkovic & Matijevic, 2016), genel amaçlı uygulama (Damjanovic-Behrendt &

Behrendt, 2019), endüstri (Ilten & Demirtaş, 2016), (İlten & Demirtaş, 2018), donanım iletişimi (Jo & Khan, 2017), kontrol (Ilten, 2022), ve işaret dili çevrimi (Küçükdermenci, 2023a) gibi farklı alanlarda uygulamalar mevcuttur.

PIC mikrodenetleyicisi en popüler mikrodenetleyici tiplerinden biridir (Abubakar, 2019). Örneğin PIC ailesinden PIC16F84 (bkz. Şekil 3), düşük maliyetli, 8-bit bir mikrodenetleyici olarak tasarlanmıştır. 1,024 kelime (her bir kelime 14-bit) program belleği (Flash bellek) ve 68 byte veri belleği (RAM) içerir. Program belleği, kullanıcı tarafından yazılabilir ve yeniden programlanabilir.



Şekil 3: PIC16F84 mikrodenetleyici pin dizilimi

Genellikle 18 adet giriş/çıkış pini bulunur. Bu pinler, dijital sinyalleri okuma ve kontrol etme amaçları için kullanılır. PIC16F84, basit projeleri geliştirmek, temel programlama becerilerini öğrenmek ve eğitim amaçları için yaygın olarak kullanılan bir yongadır. Ancak, daha karmaşık ve güçlü uygulamalar için daha yeni ve gelişmiş PIC mikrodenetleyici modelleri mevcuttur. PIC16F84, özellikle mikrodenetleyici programlamaya yeni başlayanlar için iyi bir seçenek olabilir.

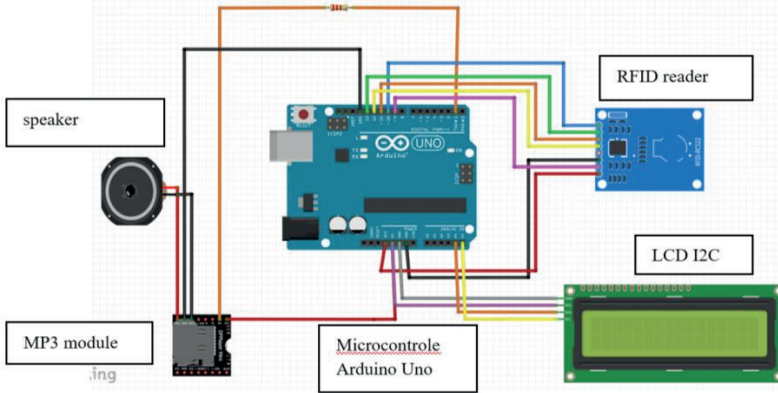
Açık kaynaklı bir donanım ve yazılım organizasyonu ve kullanıcı etkileşim topluluğu olan Arduino, 2005 yılından beri mikrodenetleyici tabanlı Arduino kartları üretmektedir. Arduino modülleri olarak da bilinen bu geliştirme kartları mikrodenetleyici geliştirme için kullanılabilir. Arduino, mikrodenetleyicilerle çalışma prosedürünü daha basit hale getirirken, benzer sistemlerle kıyaslandığında öğretmenlere, öğrencilere ve hobicilere büyük faydalar sunmaktadır. Diğer mikrodenetleyici geliştirme platformlarının aksine, Arduino kartları orta derecede ucuzdur. Arduino basit, anlaşılması ve kullanımı kolay bir söz dizimine sahiptir, bu da onu doğal olarak C, basitleştirilmiş C++ ve Processing'i seven insanlar, yani hobiciler, öğrenciler ve amatör yenilikçiler için mükemmel kılar. Bir Arduino kartı, kullanıcıların

hayata geçirmek istedikleri yenilikçi fikirler üzerinde deney yapmalarına olanak tanır. Arduino board'daki kontrolör Arduino IDE ile programlanabilir. Arduino'nun Arduino Uno, Arduino Due, Arduino Mega ve Arduino Leonardo dahil olmak üzere birçok çeşidi mevcuttur.

Küçük bir tek kartlı bilgisayar olan Raspberry Pi okullarda temel bilgisayar bilimlerini öğretmek için kullanılmıştır, ancak daha sonra düşük maliyeti ve açık tasarımı nedeniyle beklenenden çok daha popüler hale gelmiştir. Oyun cihazları, fitness aletleri, hava durumu istasyonları ve çok daha fazlasını inşa etmek, bunun dışında bilgisayar bilimine ilk adımını atmak isteyen her yaştan binlerce kişi tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Raspberry Pi bir Broadcom BCM2835 SOC (yonga kartı üzerinde sistem). 700MHz, 512 MB SDRAM ve ARM1176JZF-S çekirdekli CPU ile donatılmıştır.

### ENGELLİ BİREYLER İÇİN BRAILLE YÖNTEMİNE YÖNELİK TEKNOLOJİK TASARIM ÖRNEKLERİ

Örnek bir çalışmada (Bintari, 2023) RFID ile Braille öğrenme okuma yardımı prototipi, kullanıcı tarafından ses yoluyla düzenlenen Braille harflerinin doğrulanması prensibine göre çalışmaktadır. Devre, mikrodenetleyici olarak bir Arduino Uno, RFID etiket kartlarını okumak için bir RFID okuyucu, Braille harflerinden oluşan kelimeleri görüntülemek için bir LCD, harflerin düzenini onaylamak için bir MP3 modülü ve MP3 modülünden gelen sesi yükseltmek için hoparlörler kullanır. Devre prototipi genel görüntüsü Şekil 4'te verilmektedir. RFID okuyucu, okunan kelimenin doğru veya yanlış olduğunu onaylayacak olan mikrodenetleyiciye giriş bilgisi sağlar ve bu etkinleştirilen MP3 modülü aracılığıyla seslendirilir.

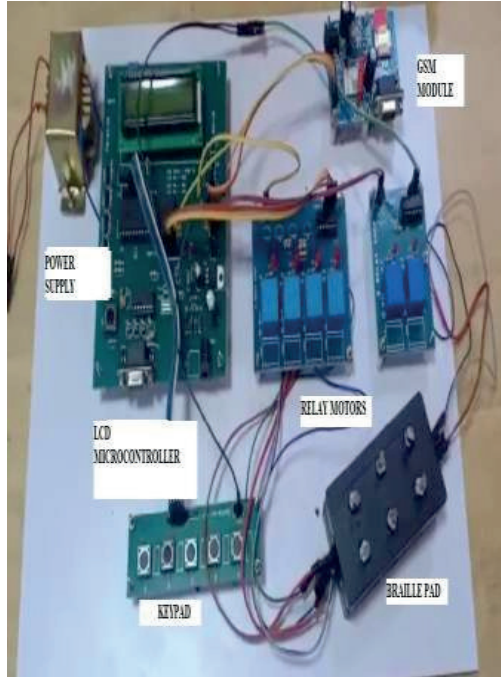


Şekil 4: Arduino Uno R3 ile devre prototipi genel görüntüsü (Bintari, 2023)

Benzer bir sistem (Kavitha vd., 2023) metinden Braille alfabesine dönüşüm süreci için PIC mikrodenetleyicisini kullanır (bkz. Şekil 5). Önerilen

sistem için, bir GSM modül aracılığıyla bir Arduino UNO mikroişlemci ile iletişim kuran bir cihaz oluşturulmuştur. İşlemci, bir mesaj alındığında GSM modülünün görüntülemesi için cep telefonundan uygun Braille karakterlerini seçer ve 3x2 matrisindeki titreşimli aktüatörler buna göre döner. Önerilen sistem, görme engelli kişilerin kısa mesaj servisi aracılığıyla uzaktaki bir kişiye mesaj iletmesini sağlar. 3x2 matris nokta sistemi, kullanıcının tüm noktaları aynı anda algılamak için parmak uçlarını geçirerek Braille dilindeki alfabele-ri veya harfleri tanımasına yardımcı olur. Metin mesajları, PIC mikrodenetle-yici kullanılarak LCD ekranda sırayla sunulur ve önceden belirlenmiş zaman aralıklarında Braille metnine uygun olarak her bir pim döndürülerek Brail-le pedinde eşzamanlı olarak alınır. Metinden Braille alfabesine dönüştürme iletişim sistemini kullanan görme engelli kişiler tarafından metin mesajının hem okunması hem de yanıtlanması mümkündür.

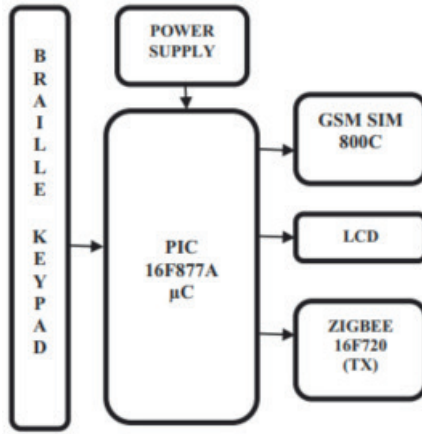
Görme engelliler için bu iletişim cihazını kullanmanın faydaları, mobil mesajlaşma uygulamalarını görme engelli olmayan insanlarla aynı şekilde kullanmalarını sağlamasıdır. Bu Braille sistemini kullanarak önerilen yön-tem görme engelli kişilerin mesajları okumasını ve onlara yanıt vermesini mümkün kılmaktadır. Görme engelli kişiler mobil mesajlaşma programını diğer kullanıcılarla aynı şekilde kullanabilirler. Cevap vermek için cevap me-sajının her bir tuşa basılarak tek tek gönderildiği bir tuş takımı kullanılır.



**Şekil 5:** Metinden Braille alfabesine dönüştüren PIC mikrodenetleyicili donanım (Kavitha vd., 2023)

Zigbee modülü kullanılan benzer bir çalışma (Ramachandran vd., 2021) görme ve işitme engelli bireyler için özel olarak tasarlanmış bir iletişim cihazının geliştirilmesini ele almaktadır. Bu cihaz Braille karakterlerini İngilizce metne dönüştürebilmekte ve hem kısa hem de uzun mesafeli iletişim için kullanılabilir. Bu tasarımda hem PIC hem de Arduino mikrodenetleyicisi birlikte kullanılmaktadır. Sistem giriş için bir Braille tuş takımı, çıkış için bir LCD ekran ve uzaktan mesajlaşma için bir GSM modülünden oluşmaktadır. Cihazın maliyeti, Braille klavyenin basmalı düğmelerle değiştirilmesiyle azaltılmıştır ve ayrıca bir mesaj gönderildiğinde kullanıcıyı bilgilendirmek için bir titreşim bandı içerir.

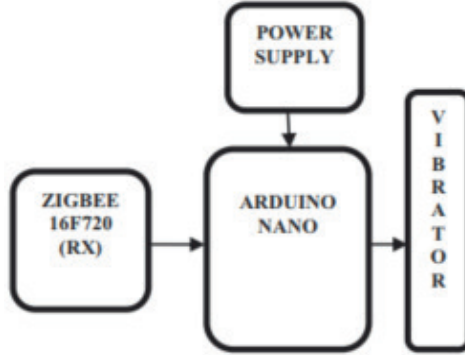
İletişim cihazı, Braille karakterlerini girmek için basma düğmeli bir Braille tuş takımı kullanır. Her Braille karakteri, aynı anda basılan belirli bir düğme kombinasyonu ile temsil edilir. Cihaz, düğmeye basma düzenini tanıyabilir ve bunu ilgili İngilizce alfabe veya sayıya dönüştürür. Bu dönüşüm, girişi işleyen ve tanınan karakteri LCD ekranda görüntüleyen bir PIC mikrodenetleyici tarafından yapılır. Cihaz 26 alfabe ve 10 sayı olmak üzere toplam 36 alfanümerik karakteri tanıyabilir. PIC mikrodenetleyici içeren Braille alfabesinden metne dönüştürücü için blok diyagram Şekil 6'da verilmektedir.



**Şekil 6:** PIC kontrollü Braille alfabesinden metne dönüştürücü için blok diyagram (Ramachandran vd., 2021)

Blok diyagramda gösterildiği gibi bir Braille tuş takımı, LCD ekran, GSM modülü ve PIC 16F877A ile arayüzlenmiş bir ZigBee vericisinden oluşmaktadır. Braille tuş takımı, sisteme giriş sağlamak için kullanılan 5 x 2 basmalı düğme dizisini içerir. Basmalı düğmeler sisteme girdi sağlamak için kullanılır. 5 x 2 dizisinin üst kısmında kalan 4 buton clear, enter, send ve space gibi eylemleri gerçekleştirmek için kullanılır. PIC16F877A mikrodenetleyici, bu metinden Braille dönüştürücü projesinde işleme ve yürütme için kullanılır. 16 x 2 LCD ekran, sistem tarafından Braille tuş takımından tanınan karakterleri görüntülemek için PIC mikrodenetleyici ile arayüzlenir.

Bu proje, kişinin bir mesaj gönderildiğinde bunu anlaması için bir gösterge olarak bir titreşim bandı içermektedir. Bu bant kişinin bileğine takılır ve bir mesaj gönderildiğinde titreşim bandı bir gösterge olarak kısa bir titreşim üretir. Titreşim bandı, Şekil 7’deki blok diyagramda gösterildiği gibi bir ZigBee alıcı ünitesi ve bir Arduino Nano mikrodenetleyici ile arayüzlenmiş bir vibratör motoru içerir.



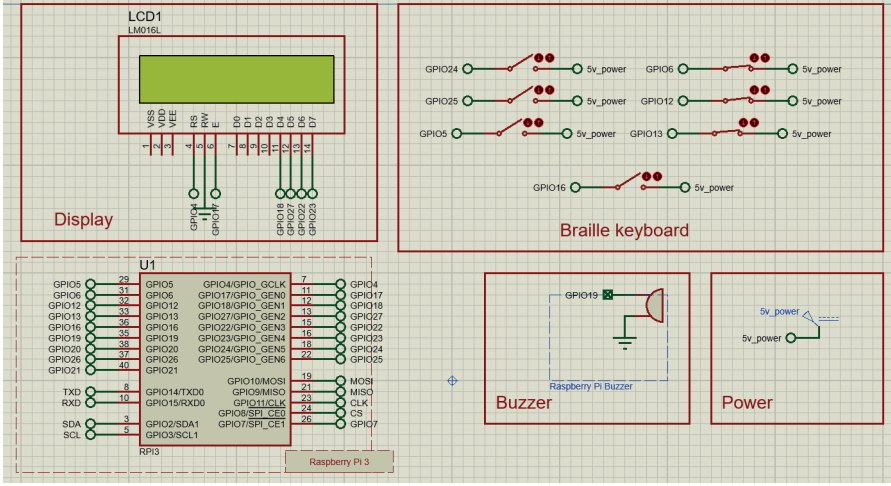
Şekil 7: Arduino kontrollü titreşim bandı için blok şeması (Ramachandran vd., 2021)

Arduino Nano, ATmega328p tabanlı küçük, uyumlu, 8 bitlik bir mikrodenetleyici kartıdır. Arduino Nano mikrodenetleyicisini kullanmanın amacı, titreşim bandındaki ZigBee alıcı ünitesi Braille’den metne dönüştürücü cihazda bulunan ZigBee verici ünitesinden bir sinyal aldığı anda titreşim üretmektir. Bir ZigBee16F720A, Braille’den metin dönüştürücü ünitesine sinyalleri almak için Arduino Nano ile arayüzlenmiştir. Alım kısmındaki ZigBee, titreşim bandındaki Arduino Nano mikrodenetleyicisinin  $R_x$  pinine bağlanır. Titreşim motoru bir röle aracılığıyla Arduino Nano mikrodenetleyiciye bağlanır. ZigBee alıcı ünitesi tarafından bir sinyal alındığında, Arduino Nano röleye bir sinyal gönderir. Röle beslemeyi aldığı anda, motorun titreşim üretmesini sağlayacak kapalı bir devre oluşturur. Titreşim motorunun boyutu kompakttır ve çekirdeksiz bir DC motordur. Bu motorun temel amacı kullanıcıyı giden mesajlar konusunda uyaraktır.

İletişim için Braille alfabesini metne dönüştüren bu cihaz, kişinin herhangi bir engelli kişiyle kolaylıkla iletişim kurmasına büyük ölçüde yardımcı olacak ve kullanıcının ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilecektir. Bu cihaz hem yüz yüze hem de uzun mesafeli olmak üzere iki iletişim modunu mümkün kıldığından üçüncü bir kişinin yardımı olmadan engelli kişiler için iletişimi tamamen geliştirir ve ayrıca daha fazla taşınabilirlik, doğruluk, kolay anlama sağlar ve çok ekonomiktir.

Örnek bir çalışmada (Küçükdermenci, 2023b) görme engelli öğrencilerin Braille tuş takımı kullanarak alfabeği girmelerine olanak tanıyan düşük ma-

liyette, Raspberry Pi tabanlı, ses çıkışlı bir elektronik Braille klavye tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, kullanıcıların Braille yazı sistemini kullanarak metin oluşturmaya ve dijital cihazla iletişim kurmasına olanak tanıyan bir Braille klavye prototipini gerçekleştirmektir. Klavye, sistemin GPIO girişleri kullanılarak Raspberry Pi'ye bağlanır. Raspberry Pi, basılan tuş algılar ve Braille kodunu alfabetik harflere çevirmek için uygun şekilde kodlanmıştır. LCD ekran engelli olmayan kişilerin hangi verilerin yazıldığını görebilmesi için eklenmiştir. Ses çıkışı, girilen karakterin seslendirilmesini sağlamak için kullanılır. Google metinden konuşmaya API metni konuşmaya dönüştürür. gTTS (Google Text-to-Speech), Google Translate'in metinden konuşmaya API'si ile etkileşim için bir Python kütüphanesi ve komut satırı arayüzüdür. Bu API metni girdi olarak alır ve çıktı olarak bir ses dosyası çıkarır. Bundan sonra, ses dosyası .mp3, .m4a formatında veya başka bir formatta kaydedilir. Daha sonra .mp3 ses dosyasını çalmak için bir müzik çalar kullanılır. Tuşlara basıldıktan veya Braille hücrelerine karakter yerleştirildikten sonra kısa bir ses çıkaran sesli uyarı, kullanıcıya eylem sırasını hatırlatır. Program aşamaları sırasında, kullanıcı Braille kodunu yazmaya başlar ve yazılım basılan tuşları kontrol eder. Bu mod kullanıcı yazma işlemi bitirene kadar devam eder. Karakter için Braille kodu yazıldıktan sonra genel tuşa basılırsa, bir sesli uyarı duyulur ve karakter ekranda görüntülenir, ses oynatıcıya iletilir ve döngü tekrarlanır. Bu Braille klavye çalışması, Raspberry Pi ve Proteus simülasyonu kullanarak görme engelli kişiler için yenilikçi bir veri girişi alternatifi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Kullanıcı, her biri farklı bir Braille karakteri sunan bir dizi Braille kodunu tuşlar ve veri girişi anahtarını devreye sokar. Raspberry Pi, Braille tuş girişini yorumlar ve metin karakterlerine dönüştürür. Proteus simülasyon programı, Raspberry Pi ve Braille klavyenin verimliliğini ve doğruluğunu test edilmesini sağlayan sanal bir ortam olarak kullanılır. Önerilen yöntemle Braille klavye diğer sistemlere kıyasla daha kolay ve pratik bir seçenek haline gelmektedir. Daha az karmaşık donanım mimarisi cihazın maliyetini düşürmekte ve kullanımını kolaylaştırmaktadır. Geleneksel Braille yazma yöntemleri ile dijital teknoloji arasındaki boşluğu doldurarak, görme engelli bireyler için daha kapsayıcı ve erişilebilir bir dijital deneyim sağlamak amaçlanmıştır. Şekil 9, Proteus simülasyon ortamında oluşturulan ve bir LCD ekran, tuş takımı Raspberry Pi, buzzer ve güç modülü içeren tasarımın genel görüntüsünü göstermektedir.



Şekil 9: Raspberry Pi tabanlı sistemin ekran görüntüsü (Küçükdermenci, 2023b)

## SONUÇ

Görme engelli kişiler günlük yaşamlarında pek çok zorlukla karşılaşmaktadır. Eğer eğitim için yeterli fırsat bulamazlarsa bu sıkıntılar daha da artar. Yardımcı teknolojilerle bu sorunlar büyük ölçüde azaltılabilir. Engelli bireyler için Braille yöntemine yönelik yardımcı teknolojilerle oluşturulmuş cihazların temel avantajları düşük maliyetleri, hafif yapıları, cihazın küçük boyutu vb. özelliklerden kaynaklanmaktadır. Bu avantajlarından dolayı yardımcı teknoloji destekli Braille tabanlı metin giriş yöntemi görme engelli kullanıcılar için daha çok tercih edilme potansiyeline sahiptir. Kullanıcılar bu tip Braille metin girişi yöntemine kolayca uyum sağlayabilirler ve kendi kişisel ihtiyaçlarına göre uyarlayabilirler. Gelecekte bu sistemlerin geliştirilmesi amacıyla daha fazla metin dosyası için harici depolama alanının oluşturulması ve kendi kendine öğrenme mekanizmalarını için konuşma giriş-çıkış sisteminin eklenmesi düşünülebilir.



## KAYNAKÇA

- Abubakar, M. A. (2019). *PIC MICROCONTROLLERS: TRENDS IN DEVELOPMENT AND APPLICATIONS*.
- Bintaleb, H. T., & Al, D. (2020). Extending Tangible Interactive Interfaces for Education: A System for Learning Arabic Braille using an Interactive Braille Keypad. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(2). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2020.0110247>
- Bintari, B. (2023). Rfid Application For Designing Lowcost Learning Device For Play And Learning To Read Early Braille For Blind Children. *International Journal of Applied Sciences and Smart Technologies*, 5(1), 17–26. <https://doi.org/10.24071/ijasst.v5i1.5599>
- Bourne, R., Steinmetz, J. D., Flaxman, S., Briant, P. S., Taylor, H. R., Resnikoff, S., Casson, R. J., Abdoli, A., Abu-Gharbieh, E., Afshin, A., Ahmadiéh, H., Akalu, Y., Alamneh, A. A., Alemayehu, W., Alfaar, A. S., Alipour, V., Anbesu, E. W., Androudi, S., Arabloo, J., ... Vos, T. (2021). Trends in prevalence of blindness and distance and near vision impairment over 30 years: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet Global Health*, 9(2), e130–e143. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30425-3](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30425-3)
- Cvjetkovic, V. M., & Matijevic, M. (2016). Overview of Architectures with Arduino Boards as Building Blocks for Data Acquisition and Control Systems. *International Journal of Online Engineering (IJOE)*, 12(07), 10. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v12i07.5818>
- D'Ausilio, A. (2012). Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment. *Behavior Research Methods*, 44(2), 305–313. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0163-z>
- Damjanovic-Behrendt, V., & Behrendt, W. (2019). An open source approach to the design and implementation of Digital Twins for Smart Manufacturing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 32(4–5), 366–384. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1599436>
- İlten, E. (2022). Conformable Fractional Order Controller Design and Implementation for Per-Phase Voltage Regulation of Three-Phase SEIG Under Unbalanced Load. *Electric Power Components and Systems*, 50, 636–648. <https://doi.org/10.1080/15325008.2022.2139433>
- İlten, E., & Demirtas, M. (2016). Off-Line Tuning of Fractional Order PI? Controller by Using Response Surface Method for Induction Motor Speed Control. *Journal of Control Engineering and Applied Informatics*, 18, 20–27. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:217182143>
- İlten, E., & Demirtaş, M. (2018). Fractional Order PI $\lambda$  Controller Application for Limited Memory System. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(1), 237–242. <https://doi.org/10.31202/ecjse.356652>
- Jo, B., & Khan, R. (2017). An Event Reporting and Early-Warning Safety System Based

on the Internet of Things for Underground Coal Mines: A Case Study. *Applied Sciences*, 7(9), 925. <https://doi.org/10.3390/app7090925>

- Kavitha, M., Meenakshi, V., Pushpavalli, M., Amudha, S., Bharathi, S., & Pavithra, P. (2023). Communication Device for Converting Text to Braille language for Visually Impaired People. *2023 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, 1016–1023. <https://doi.org/10.1109/ICICT57646.2023.10134300>
- Kishore, K. K., Prudhvi, G., & Naveen, M. (2017). Braille script to voice conversion. *2017 International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, 1080–1082. <https://doi.org/10.1109/ICCMC.2017.8282637>
- Küçükdermenci, S. (2023a). Sign language voice convertor design using Raspberry pi for impaired individuals. *1st International Conference on Recent and Innovative Results in Engineering and Technology*.
- Küçükdermenci, S. (2023b). Raspberry Pi based braille keyboard design with audio output for the visually challenged. *International Conference on Modern and Advanced Research, SE-Conference Papers*, 334–339. <https://as-proceeding.com/index.php/icmar/article/view/1306>
- Newton, D. A., & Dell, A. G. (2011). Assistive Technology. *Journal of Special Education Technology*, 26(3), 47–49. <https://doi.org/10.1177/016264341102600305>
- Raghunandan, A., & MR, A. (2017). The Methods Used in Text to Braille Conversion and Vice Versa. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*.
- Ramachandran, S., Rajan, N., Pallavi, K. N., Subashree, J., Suchithra, S., & Sonal, B. (2021). Communication Device for the Visual and Hearing Impaired Persons to Convert Braille Characters to English Text. *2021 International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI)*, 587–592. <https://doi.org/10.1109/ESCI50559.2021.9396859>
- Sarkar, R., Das, S., & Rudrapal, D. (2013). A low cost microelectromechanical Braille for blind people to communicate with blind or deaf blind people through SMS subsystem. *2013 3rd IEEE International Advance Computing Conference (IACC)*, 1529–1532. <https://doi.org/10.1109/IAdCC.2013.6514454>
- Su, M.-C., Chen, C.-Y., Su, S.-Y., Chou, C.-H., Hsiu, H.-F., & Wang, Y.-C. (2001). Portable communication aid for deaf blind people. *Computing & Control Engineering Journal*, 12, 37–43. <https://doi.org/10.1049/ccej:20010106>
- Zeineddine, Z., Sindian, S., Al Hoda Ahmad, N., & Ismail, G. (2020). Low Cost Electronic Braille. *WSEAS TRANSACTIONS ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT*, 16, 811–819. <https://doi.org/10.37394/232015.2020.16.84>

# ***Bölüm 3***

## **UÇAK BAKIMINDA İNSAN FAKTÖRÜ VE KAZA ÖNLEYİCİ MODELLER**

*Mustafa SOYLAK<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Doç. Dr. Mekatronik Laboratuvarı, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, soylakm@erciyes.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-5617-5913

## 1. Giriş

Hava araçlarının bakımlarının yapılması sürecin devamlılığı açısından mutlak gerekliliktir. Yaşlı uçak yoktur, bakımsız uçak vardır yaklaşımı ile hareket edilen havacılık sektöründe hava aracının uzun yıllar hizmet verebilmesinin sağlanması ve bu süreçte güvenilirliğin sağlanması bakım faaliyetlerinin aksatılmadan, kurallara uygun şekilde yapılmasına bağlıdır. Sürecin doğru planlanması ile bakım kuruluşlarının yüksek performans gösterebileceği gerçeği unutulmamalıdır. Bakım faaliyetlerinin bu kadar önem arz ettiği havacılık sektöründe sürecin en değişken ve en kontrol edilmesi zor elemanı insandır. İnsan gündelik hayatı içinde kısa süreli durumlarda dahi önemli değişimler gösteren bir varlıktır. Bu değişkenlik var iken havacılık sektörü gibi zamanla yarışılan bir çalışma alanının içinde bulunmak bakım personeli üzerinde ekstra baskılar oluşturabilmektedir. Çalışan rolü bulunan insan, tüm sistemin veya komponentlerin tasarımından üretimine giden süreçte ve sistemin işletilmesi ve bakımı aşamalarında en önemli etkidir. Bu etkenin hata yapması sorunların oluşmasına açılan bir kapı olacaktır. İnsan hatası, bir görevi yerine getirmeme veya olmaması gereken bir eylemi gerçekleştirme olarak tanımlanabilmektedir ve bu, planlanmış operasyonların kesilmesine, ekipman ve/veya sistemin zarar görmesine neden olabilmektedir [1].

Her ne sebeple olursa olsun (zaman baskısı, yönetim baskısı, hedefe ulaşma baskısı, vb.) baskı oluşması durumunda insan kaynaklı hatalar ve böylece sistemden beklenen güvenlikten uzaklaşma artmaktadır. Bu süreç beraberinde arızaların sıklıkla yaşanmasına sebep olmaktadır. Çözümün sağlanması ve sağlıklı bakım gerçekleşmesi için sadece uçak bakım teknisyenleri değil; uçak mühendisleri, tasarımcılar, denetçiler, bakım planlayıcılar, yöneticiler konunun muhatabı konumundadırlar [2]. Bu ilişkilendirme son zamanlarda insan faktörleri konusunun sadece uçuş personeli ile alakalı değil aynı zamanda tasarım-işletme-yönetim-bakım parametrelerinin birlikte incelenmesi ile doğru sonuçlanacağı tespitinde bulunmuştur [3-5].

Bakım süreci önemli riskler içermektedir. Sadece zaman baskısı değil, diğer bozucu etkilerinde bir araya gelmesiyle bakım personeli daha da karmaşık bir yapının içinde kendini bulabilmektedir. Havacılıkta bakım kaynaklı hataları oluşturan en önemli faktörler şunlardır [6];

- İletişimde yaşanan aksaklıklar ve eksiklikler,
- Kendine aşırı güvenmek
- Eksik bilgi ile hareket etmek
- Zihinsel olarak işe adapte olamamak,
- Çalışan ekipte uyumsuzluk,
- Yorgun olmak,

- Eksik kaynakla işi gerçekleştirme çabası
- Çalışan ve şirket üzerinde baskı olması
- Kendine güvenmemek
- Aşırı stresle çalışmak
- Eksik bilgi ile işi devam ettirmek
- Yazılı olmadığı halde mutlak yapılması gerektiği öğretilen kurallar (Normlar)
- Çevre

Tüm bu faktörlerin ayrı ayrı etkileri incelenerek teşhisten tedaviye giden süreç oluşturulmaktadır. Bakım faaliyetlerinde oluşacak insan hatası sonucunda güvenlik ve performans yeterli düzeyde sağlanamaz. Kazalar ve arızalar sıradan bir durum halini alabilir. Özellikle uzun süreli kullanıma bağlı malzeme yorulmaları, titreşim vb. etkiler sonucu oluşan deformasyonlar ve sektörde gerçekleşen teknolojik yenilikler bakım sürecini daha da karmaşık ve önemli hale getirmektedir [7]. Dunn, S.(2014) tarafından yapılan çalışmada bakım kaynaklı hatalar ve buna bağlı kazaları en aza indirmek amacıyla bakım için çalışma talimatlarının geliştirilmesi ve kullanılması önerilmektedir. Aynı çalışmada iyi bir bakım çalışma talimatının özellikleri şu şekilde verilmiştir [8]:

- Riskler belirlenir.
- Denetim mekanizması kurulur.
- Önemli adımların atlanmaması için uygun ve göze çarpan hatırlatıcılar tanımlanır.
- Karmaşık görevler alt görevlere bölünür.
- Resimler ve grafikler kullanılır.
- Talimatı okuyacak bakım personelinin eğitim, kültür, vb. durumuna uygun talimat hazırlanır. Talimatın kullanıcı tarafından anlaşılabilir olmasına önem verilir.
- Net ifadeler içerir, basit bir dil kullanır.

Dhillon, B.S. (2014), gerçekleştirdiği çalışmada insan kaynaklı bakım hatalarını incelemiştir. Çalışmasında bakım hatasının meydana gelme sürecinde zaman etkisi, ortam etkisi ve diğer nedenleri incelemiştir. Bakım kaynaklı hataların türleri ve alınabilecek önlemleri belirlemiştir (talimatlar, problemlerin analiz edilmesi, vb.) [9]. Ayrıca bu süreçte; havacılıkta mürekkep kandır ve havacılıkta kurallar kanla yazılır cümlelerinde anlatılmaya çalışılan kazalardan kurallara giden sürecin iyi anlaşılması da bir o kadar önemlidir.

Havacılıkta her kaza ve olumsuz olay incelenmekte, sebebi sorgulanmaktadır. Böylece kaza sebebiyle dökülen kanlar bir sonraki kazanın önüne geçmektedir. Yapılan hatalar veya donanımsal problemler tespit edilerek ivedilikle önlemler alınmaktadır. Havacılık ve endüstriyel uygulamalarda gerçekleştirilen incelemede sıklıkla yapılan bazı bakım hataları belirlenmiştir [10]:

- Parçaların ters takılması.
- Yanlış yağlar, gresler veya sıvıların kullanılması.
- Yanlış parçanın takılması.
- Belirtilen prosedürler ve talimatların izlenmemesi.
- Hizalamama, kontrol etmeme veya kalibre etmeme.
- Bir bileşen veya parçanın atlanması.
- Doğru şekilde kapatmama veya mühürleme yapmama.
- Zaman kısıtlamaları, öncelikler veya iş yükü gibi faktörlere bağlı olarak sorun belirtilerine müdahale etmeme.
- Yağlama yapmama.
- Vardiya değişikliği nedeniyle görevin doğru şekilde tamamlanmasından kaynaklanan hatalar.

Bu sürecin en sağlıklı şekilde analiz edilmesi, sonradan oluşması ihtimali olan hataların ve kazaların önüne set çekebilme potansiyeline sahiptir.

## 2. Bakım Kaynaklı Kazaları Önlemek İçin Yaklaşımlar ve Çözüm Önerileri

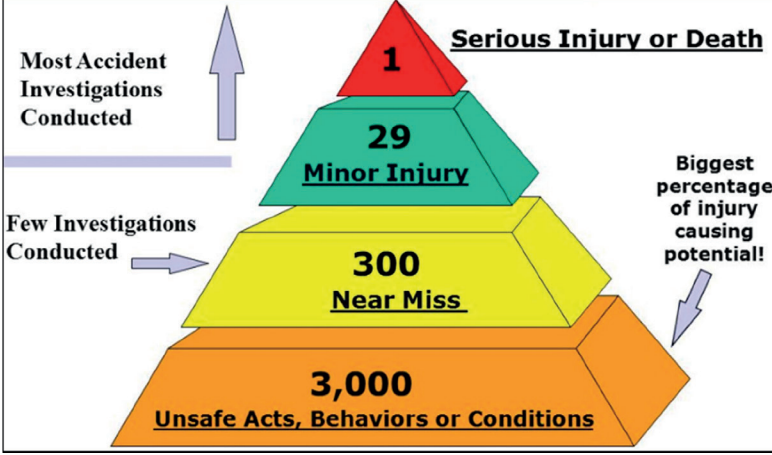
Uçak kazalarının incelenmesi sonucunda %6 oranında etkili faktörün bakım faaliyetleri olduğu belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. 1959-1986 ve 1987-1996 Yılları Arasında Yaşanan Uçak Kazalarının Sebepleri [6]

KAZA NEDENİ	1959-86	1987-96
Uçuş Ekibi	% 73	% 72
Uçak ve Sistemleri	% 10	% 9
Hava Koşulları	% 5	% 4
Bakım	% 3	% 6
Havalimanı/ATC	% 4	% 3
Diğer	% 4	% 6

Bu tablo analiz edildiğinde bakım kaynaklı kaza sebeplerinde %100' lük bir artış görülmektedir. Bu artışın sebebi teknolojinin artışına bağlı insan etkisinin artışı ve kaza sonrası sebeplerin tespitine yönelik çalışmalara daha

fazla önem verilmesidir. Böylece genel olarak uçuş ekibinin suçlandığı birçok kazanın altında yatan ana sebepler gün yüzüne çıkmaktadır. Bu tabloda karşılaşılan bakım kaynaklı kazalar; İyi bir bakım çalışması ile önüne geçilebilir veya azaltılabilir. Yapılması gereken; henüz oluşmamış olan kazaların önüne geçilebilmesidir. Heinrich H.W. tarafından oluşturulan ve Heinrich kanunu olarak adlandırılan yaklaşımda güvenlik anlayışının oluşmasının ne kadar önemli olduğu vurgulanmaktadır (Şekil 1).



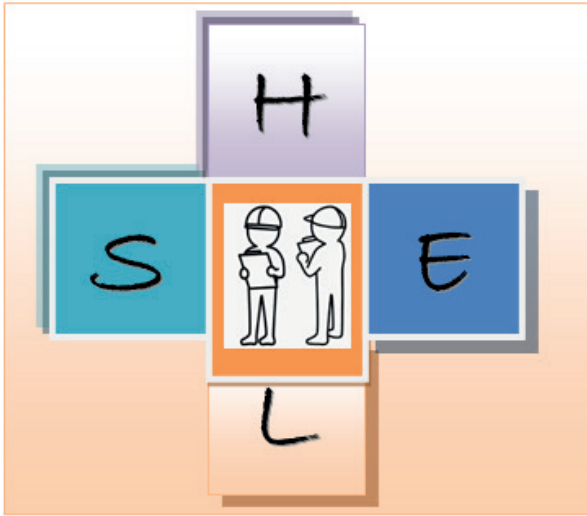
Şekil 1. Heinrich Kanunu (Buz Dağı Örnekleme) [6]

Bu yaklaşıma göre; büyük bir kaza meydana gelen işletmede her büyük kaza gerisinde 29 adet, yaralanma ile sonuçlanabilecek potansiyelde daha küçük kaza riski ile oluşmaktadır. Bu 29 küçük kazaya yol açan sebeplerin gerisinde ise 300 henüz yaralanmaya sebep olmamış daha küçük boyutlu kaza riski vardır. Tüm olayların bütünlük içinde ele alınması gösterecektir ki; oluşan tüm büyük ve küçük kazalar firma bünyesinde bulunan bir takım etkenler sebebiyle beslenmektedir. Ana kaynakları 3000 adet kaza potansiyeli taşıyan tutum, davranış, emniyet kültürü durumu, yönetim anlayışı, vb. gibi etkenlerdir.

Bu yaklaşım mevcut kazaları ve riskleri bir buzdağına benzetmektedir. Büyük kazalar su yüzüne çıkan durumlar iken yukarıda bahsedilen diğer durumlar kademeli şekilde buzdağının su altına doğru büyüyerek konum almaktadırlar. Kazaların boyutlarının küçülmesi buzdağının alta doğru giden tüm kademelerindeki riskleri de azaltacaktır. Henüz küçük kazalar oluşuyorken alınacak önlemler büyük kazaların oluşmasını engelleyecek veya boyutlarını küçültecektir. Heinrich kanununun işletmede uygulanması durumunda büyük kazalardan daha öncelikli olarak küçük kazalar gözlemlenmeli ki; büyük kazaların önü kesilebilsin. Diğer bir anlatımla buz dağının su altında kalan çok daha büyük hacimli kütesinin su yüzüne çıkması engellenebilsin.

Kazalara giden yolun kesilmesi ve engellenmesi için planlı hareket edilmesi gerekmektedir. Bu gerekçe ile iş yerinin uyması gereken etkileşim planlaması diyebileceğimiz ilişkilendirme planlamasının yapılması gerekmektedir. Bu amaçla modeller geliştirilmiştir. Bu modellerden seçili olanın sağlıklı şekilde uygulanması hataların oluşumunu en aza indirecektir.

Bu modellerden birisi SHEL modelidir (Şekil 2). SHEL Modeli, bir sistemde etken unsurların göz önüne alındığı bir model olup, iş yerindeki kural, prosedür, gelenek ve alışkanlıklar “software” kısmını oluşturmaktadır. Çok doğru şekilde oluşturulan bir software yapısı ilerde oluşması muhtemel hatalar ve buna bağlı kazaların önüne geçecektir. Yanlış anlaşılacak prosedürlerin hazırlanması, prosedür ve emirlerde yoruma açık noktalar olmaması, bilgilerin doğruluğunun kesin olması, eksiksiz kontrol listelerinin oluşturulması gerekmektedir. Böylece modelin ilk ayağı olan SOFTWARE kısmı hatalardan arındırılmış olacaktır. Tüm fiziksel etkenler ise HARDWARE yani donanım kısmının içindedir. Malzeme boyutundan tasarım boyutuna kadar tüm süreçte komponentlerin gerekli kalite standartlarını sağlaması gereklilik olarak ortaya konulmuştur. Organizasyon yapısı başta olmak üzere tüm çevresel faktörler (ısıtma-soğutma, aydınlatma, ekonomik yapı, coğrafi etkiler, siyasal yapı, tarihsel yapı, vb.) ise ENVIRONMENT yani çevre faktörleri olarak modeldeki yerini almaktadır. Son olarak LIVEWARE başlığı altında kişilerin arasındaki etkileşimi ve kişilerin kendini incelemesi ve buna göre planlama yapılması gerektiği belirlenmektedir. Motive edici unsurların belirlenmesi, iş gücü planlaması, kontrol ve denetim planlaması, yönetim anlayışı başlıkları bu konunun alt başlıkları olarak karşımıza çıkmaktadır.

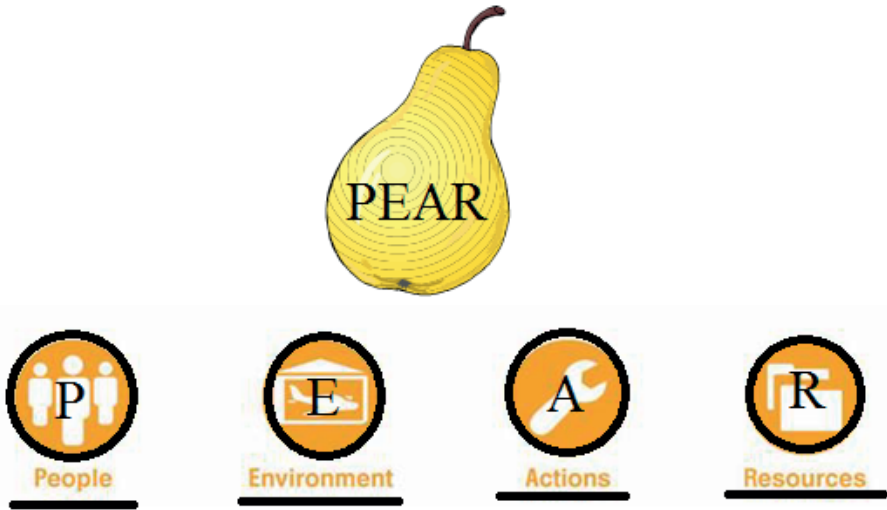


Şekil 2. SHEL Modeli



**Software** – kural, prosedür, gelenek ve alışkanlıklar, **Hardware** – Donanımlar, **Environment** – Sosyal ve fiziksel çevre, **Liveware** – kişilerin arasındaki etkileşimi ve kişilerin kendisi.

Diğer hata önleyici model ise PEAR modelidir (Şekil 3) Her türlü aksiyonun kaynağı modelde 4 ana parametre ve bu parametrelerin etkileşimi üzerine bina edilmiştir. Bu 4 parametre ve etkileşimlerinin başarılı şekilde yönetilmesi ile hata ve kaza riski minimum seviyede gerçekleşecektir. Bu dört ana etkenin birincisi PEOPLE yani insanlardır. Fiziksel yetenek ve sınırları ile insan bu başlık altında ele alınır ve sistemin en etkili parametresi kabul edilir. Sadece fiziksel değil aynı zamanda; teknik kabiliyetleri, iletişim ve takım çalışmasına yatkınlığı, karar verme birikimi ve özelliği, vb. donanımları ile insan bu başlık altına ele alınmaktadır. ENVIRONMENT yani çevre parametresi bu modelde ikinci parametredir. Organizasyon ve yönetim yapısı ile güvenlik anlayışı bu parametre altında ifade edilmektedir. ACTIONS ise çalışma ortamında gerçekleşen eylemler ile ilgilidir. Yapılacak eylemlerin doğru ekiple doğru zamanda olması gibi planlamaları içerir. RESOURCES ise tüm bu faaliyetlerde olması gereken kaynakları tanımlar. Uygun alet ve makinelerden, yardımcı ekipmanlara, yedek parça stoklarından teknik uygulama belgelerine, işyeri ve kişisel güvenlik donanımlarına kadar ilgili çalışmanın sağlıklı yürütülmesi ve tamamlanması için gerekli kaynakların planlanmasını içeren bir alt başlıktır.



Şekil 3. PEAR Modeli

**People** :Fiziksel yetenek ve sınırları ile insan), **Environment** : Tüm Çevresel Faktörler, **Action** : Çalışma ortamında gerçekleşen eylemler ve olaylar, **Resources** :Tüm bu faaliyetlerde olması gereken kaynaklar.

Her iki modelde de ele alınan konu başlıkları kendi içinde önem taşımaktadır. Ancak, daha da önemlisi bu parametrelerin birbiri ile etkileşimi bulunmaktadır. Bu parametrelerin ve birbiri ile olan etkileşimlerinin göz önüne alınması suretiyle düzenleyici, önleyici ve düzeltici faaliyetler gerçekleştirilebilecektir. Aksi halde sadece parametre bazlı düzenlemeler yapmak kazaya giden hataların oluşmasında kısıtlı çözüm sunacaktır.

### **3. Sonuçlar ve Öneriler**

Bu çalışma kapsamında bilgisi verilen modeller ve benzeri model önerileri ile insan faktörü konusunun bir bütün olarak ele alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. Havacılık sektörü başta olmak üzere tüm sektörlerde bakım çalışmalarının insan faktörü başlığında detaylı şekilde ele alınması ve oluşması muhtemel problemlerin ortadan kaldırılması gereklidir. İşletme için bir model seçilmeli ve bu seçilen modele uygun bir yapının kurulması ile planlı bir yapılanma oluşturulmalıdır. Böylece, olayların ve gelişmelerin incelenmesi ve gerekmesi durumunda yapılacak düzeltmeler kurumsal bazda çok daha belirgin şekilde ve modelin kurgusuna uygun bir program dahilinde gerçekleşecektir.

## KAYNAKLAR

- [1] Meister, D., Human Factors in Reliability, in Reliability Handbook, edited by W. G. Ireson, McGraw-Hill, New York, 1966, pp. 12.2 – 12.37.
- [2] <https://publicapps.caa.co.uk/docs/33/CAP718.PDF>
- [3] Yüksel, M., ve ark. (2006).Havacılık kazalarında insan faktörü. Savunma Bilimleri Dergisi
- [4] Miller, M., Mrusek, B., Implementing the REPAIRER Human Factors Safety Reporting System Through MRM(MxHF) to Meet SMS Compliance in Aviation Maintenance, Advances in Safety Management and Human Factors, Proceedings of the AHFE 2019 International Conference on Safety Management and Human Factors, July 24-28, 2019, Washington D.C., USA
- [5] Hawkins, F.H. (1987). Human factors in flight. Brookfield, VT: Gower Publishing Company.
- [6] THY Technic Eğitim Notları,Uçak Bakımında İnsan Faktörleri, 2002.
- [7] Mason, S., (2007), Improving Maintenance by Reducing Human Error. Available from Health Safety and Engineering Consultants Ltd., 70 Tamworth Road, Ashby-de-la-Zouch, Leicestershire, U.K.
- [8] Dunn, S., Managing Human Error in Maintenance, 2007. Available from Assetivity PtyLtd., P.O. Box 1315, Boorgoon, Washington 6154.
- [9] Dhillon, Bikram. (2014). Human error in maintenance: An investigative study for the factories of the future. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 65. 012031. 10.1088/1757-899X/65/1/012031.
- [10] Under, R.L., Conway, K., Impact of Maintainability Design on Injury Rates and-Maintenance Costs for Underground Mining Equipment, in Improving Safety at SmallUnderground Mines, Compiled by R.H. Peters, Special Publication No. 18 – 94, Bureau ofMines, United States Department of the Interior, Washington, D.C., 1994.



# ***Bölüm 4***

## **TARİHİ CİMCİME HATUN KÜMBETİNİN YIKILMA MEKANİZMASI**

*İrfan KOCAMAN<sup>1</sup>*

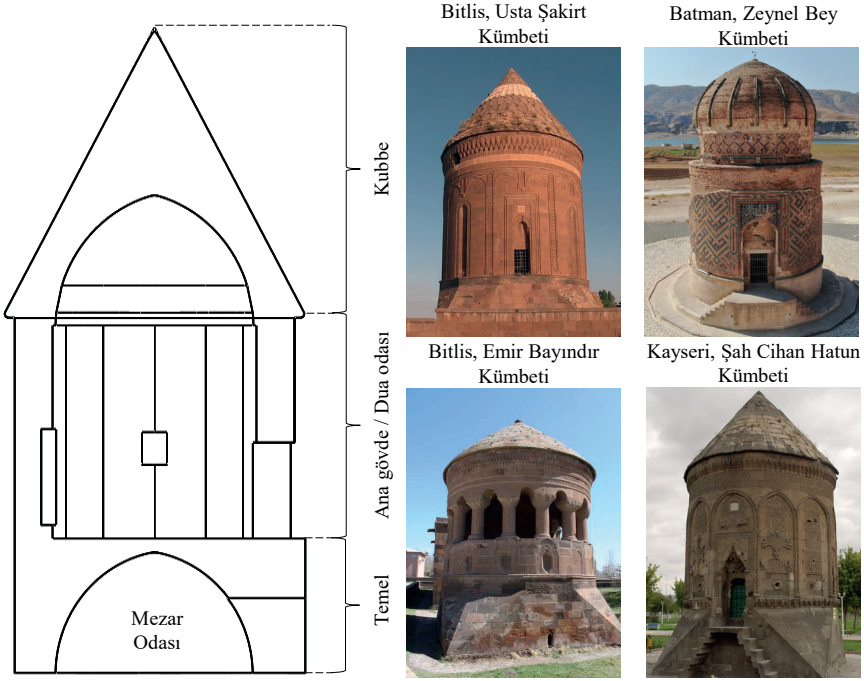
---

<sup>1</sup> Dr. Öğretim Üyesi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 0000-0002-1774-7114

## 1. Giriş

Türkiye, tarih boyunca birçok farklı medeniyetin etkisini taşıyan zengin bir kültürel mirasa sahiptir. Bu mirasın önemli bir parçası, ülkenin dört bir yanında bulunan çeşitli dönemlerde inşa edilmiş tarihi yapılarla ifade edilir. Antik kentler, kaleler, camiler, kiliseler, müzeler, türbeler, çarşılar ve hamamlar gibi tarihi yapılar, Türkiye'nin bu zengin kültürel mirasını oluşturan unsurlardır. Özellikle Selçuklu ve Osmanlı dönemlerine odaklandığımızda, bu yapılar ülkenin kültürel kimliğinin temel taşlarıdır. Selçuklu mimarisi, yerel malzemeler olan kesme taş ve tuğla kullanarak büyük kubbeleri ve göz alıcı süslemeleriyle tanınır. Bu dönemdeki yapılar, estetik bir zarafetle inşa edilmiştir. Osmanlı mimarisi ise çeşitli kültürlerin etkisi altında gelişmiştir. Bu mimari, özellikle süsleme sanatı açısından dikkat çeker. Detaylı işlemler ve zarif süslemeler, Osmanlı dönemi yapılarını diğerlerinden ayıran özelliklerdir. Bu tarihi kültür mirasları, mimari çeşitliliği, tarihi önemi ve sanatsal süslemeleri ile ziyaretçileri kendine çekmektedir. Türkiye'de Selçuklu ve Osmanlı dönemi yapılarının sayısı oldukça fazladır ve bu yapılar Türkiye'nin kültürel zenginliğine büyük katkı sağlamaktadır.

Türkiye'nin pek çok bölgesinde, taşınmaz kültür varlığı olarak kabul edilen tarihi yığma kümbetler bulunmaktadır. Tarihi yığma kümbetler, genellikle Türk kültürünün bir özelliği olarak karşımıza çıkar ve kare ya da çokgen şeklinde yapılmış anıt mezar yapılarıdır. Bu kümbetler, taş, tuğla ve kerpiç gibi çeşitli malzemelerin ustaca birleştirilmesiyle inşa edilirler. İslam mimarisinin önemli bir parçası olan bu kümbetler, genellikle dini liderler, bilginler veya zengin ailelerin mezarlarını içerirler. Tarihi kümbetler, inşa edildikleri dönemin sosyal, kültürel ve mimari özelliklerini yansıtır. Türk kültüründe özellikle Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde sıklıkla rastlanan bu yapılar, Anadolu'nun tarihinde önemli bir iz bırakmışlardır. Genellikle bu tür kümbetler, toprağın altında yer alan bir mezar odasından, bir temel yapıdan ve ana bir kubbeden oluşur (Şekil 1).



Şekil 1. Tarihi kümbetlerin bölümleri ve örnekler

Anadolu Türk mimarisi için büyük bir öneme sahip olan bu eserler, 10. yüzyılda Orta Asya'da ortaya çıkmıştır (Turkan, 2009). Günümüzde Anadolu'nun farklı şehirlerinde bu eserlere sıkça rastlanır. Ancak tarih boyunca çeşitli çevresel etkilere maruz kalmış olan bu yapılar, çeşitli hasarlara tabi tutulmuştur. Bu hasarlar genellikle şunlar şeklinde ortaya çıkar: kubbe üzerinde biyolojik bozulmalar, taşların erozyonu, kubbe kasağının çatlaması ve ana yapı duvarlarında çatlaklar (Gunasdi, Aksakal, ve Kemaloglu, 2023; Okuyucu ve Erdil, 2009; Aksar, Tutar, Akansel, ve Çakır, 2022). Şekil 2, bazı kümbetlerde gözlemlenen hasar mekanizmalarını göstermektedir.



(a) Biyolojik bozulma (Günaslı vd. 2023)



(b) Kubbe hasarı (Özkan, 2016)



(c) Tamamen göçme (Aytekin, 2012)

*Şekil 2. Tarihi kümbetlerde görülen hasarlara örnekler*

Erzurum, Türkiye'nin doğusunda yer alan önemli bir şehirdir ve tarihi İpek Yolu üzerinde konumlanmıştır. Bu nedenle, birçok medeniyete ev sahipliği yapmıştır ve bu da şehri zengin bir kültür ve tarih mirasıyla donatmıştır. Tarihi eserler bakımından da oldukça zengin bir şehir olan Erzurum'da, şehir merkezinde bulunan önemli yapılar arasında 13. yüzyılda inşa edilen Selçuklu dönemi kümbetleri olan Üç Kümbetler, 14. yüzyılda inşa edilen Osmanlı dönemi medresesi olan Yakutiye Medresesi ve Osmanlı dönemi mimarisinin güzel örneklerinden biri olan Lala Mustafa Paşa Camii gibi öne çıkan eserler bulunmaktadır.

Erzurum, coğrafi konumu nedeniyle Türkiye'nin deprem riski yüksek illerinden biridir. Şehir sınırları içinde yer alan fay hatları ve tektonik yapılar, sık sık depremlere yol açar. 19. yüzyılın öncesinde, Erzurum ili ve çevresinde büyük yıkıma neden olan depremler yaşanmıştır (KOERİ, 2023). 1900 yılından sonra da şehir birçok depremle karşı karşıya kalmıştır. Bu depremler arasında en belirgin olanı, 1859'da gerçekleşen ve şehrin büyük bir kısmını tahrip eden büyük bir depremdir. Bu depremin ardından yapılan incelemeler, şehirdeki tarihi yapıların büyük zarar gördüğünü göstermiştir (Taşkesenlioğlu ve Taşkesenligil, 2020). Bu depremler, Erzurum'un tarihi dokusunu da etkilemiştir. Depremlerin sonucunda, şehrin büyük bir bölümü yıkılmış ve ye-



niden inşa edilmiştir. Bu nedenle, şehirdeki tarihi yapıların depremlere karşı korunması ve gelecek nesillere güvenle aktarılması, günümüz araştırmacıları için önemli bir sorumluluktur.

Bu çalışmada Erzurum ilinde bulunan tarihi Cimcime Hatun Kümbeti dikkate alınarak, tarihi kümbetlerin kuvvetli yer hareketleri altında yıkılma mekanizmaları belirlenmiştir. Yapının sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Literatürde bulunan örnekler ve öneriler ışığında, yapının malzeme özellikleri belirlenmiştir. Oluşturulan sonlu eleman modelinde, üç farklı yer hareketi kullanılarak dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Yapının yıkılma mekanizması, kuvvet ve yer değiştirme kapasiteleri nümerik analizler yardımıyla belirlenmiştir.

## 2. Tarihi Cimcime Hatun Kümbeti

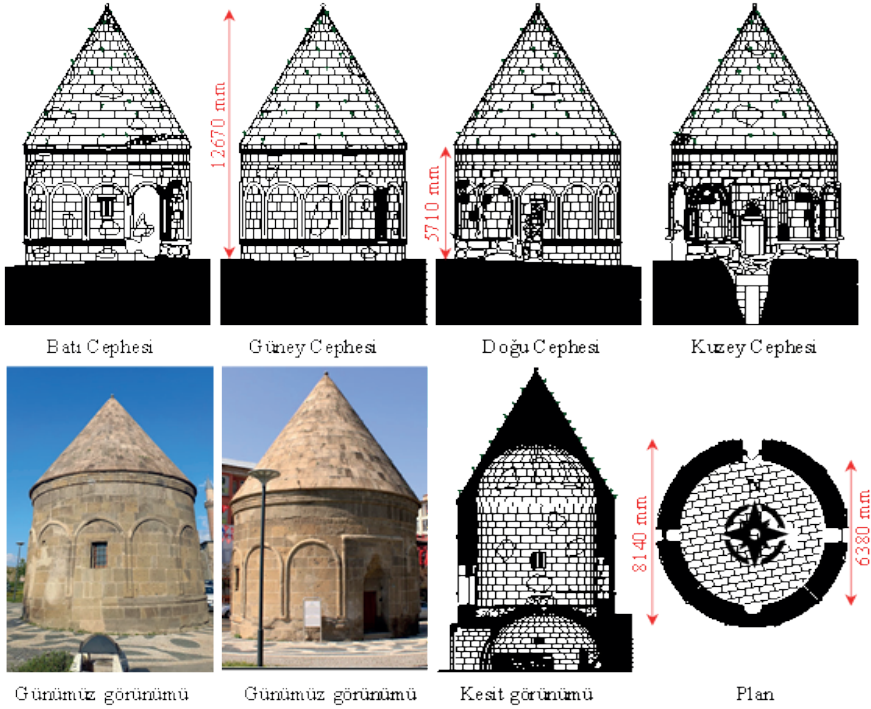
### 2.1. Tarihi ve Mimari Özellikleri

Erzurum, Anadolu'nun doğusunda bulunan bir şehir olup, zengin geçmişi ve kültür varlıklarıyla dikkat çeker. Şehrin eski haritalarına bakıldığında, eski şehir dokusunda mezar anıtlarının sayısının sınırlı olduğu görülmektedir. Genellikle kümbetler ve türbeler şehir surlarının dışına inşa edilmiştir. Ancak Cimcime Hatun Kümbeti, bu gelenekten farklı olarak şehir surları içinde yer almaktadır ve günümüzde Erzurum'un ana caddelerinden biri olan Cumhuriyet Caddesi üzerinde, Ulu Cami'nin kuzeybatısında bulunmaktadır.

Cimcime Hatun Kümbeti, bağımsız bir mezar yapısı olarak öne çıkar. Şehir sınırları içinde yer alan bu kümbet dışında, günümüze ulaşmayan bazı mezar anıtlarının da olabileceği belirtilmektedir (Topkaya, 2010). Benzer dönemlerde inşa edilmiş olan diğer mezar anıtları arasında Çifte Minareli Medrese Türbesi ve Yakutiye Medresesi Türbesi bulunmaktadır. Bunlar, medrese yapılarına bitişik olarak inşa edilmişlerdir. Diğer mezar anıtları ise Erzurum surları dışında yer almaktadır ve şunlar arasında Karanlık Kümbet, Gümüşlü Kümbet, Mehdi Abbas Kümbeti, Emir Şeyh Kümbeti, Rabia Hatun Kümbeti ve Üç Kümbetler olarak bilinen üç anonim kümbet ile Emir Saltuk Kümbeti sayılabilir. Adı geçen bu mezar yapılarının büyük çoğunluğu 13. yüzyıl sonlarından 14. yüzyılın başlarına tarihlenmektedir.

Cimcime Hatun Kümbeti, sade bir mimariye sahiptir ve diğer mezar anıtlarından bu yönüyle ayrılır. Düzgün kesme taş malzeme kullanılarak inşa edilen bu yapı, zaman içinde tahrip olmuştur. Kümbetin içten kubbesi ve dıştan konik bir külahla örtülüdür. Silindirik alt yapısı, 3 metre altında 6.20 metre çapında ve 3.10 metre yüksekliğinde bir kubbe ile çevrili mezar odasını barındırır. Gövde üzerinde, irice on bir yuvarlak kemerli yüzeysel niş bulunmaktadır. Yapının girişi kuzey yönündedir ve girişin hemen altında, mezar odasına ulaşan bir giriş bulunmaktadır. Mezar odası girişi tamamen toprak altında kalmıştır. Kümbetin kitabesi, giriş kapısının üstünde bulunur.

Yapının silindirik gövdesi yaklaşık olarak 92 cm kalınlığında ve 5.71 metre yüksekliğinde yığma duvarlarla çevrilidir. Yapının boyutları ve genel görünümü Şekil 3’de verilmektedir.



Şekil 3. Erzurum Cime Hatun Kümbeti genel görünümü ve boyutları

## 2.2. Malzeme Özellikleri

Malzeme mekanik özellikleri için sonlu eleman modelinde kullanılan basınç dayanımı ( $f_c$ ), çekme dayanımı ( $f_t$ ), özgül ağırlık ( $\gamma$ ), poisson oranı ve elastisite modülü ( $E$ ) değerleri, benzer yapılar üzerine yapılan çalışmaları dikkate alarak Tablo 1’de verilen değerlerdir. Üç yapraklı duvarların basınç dayanımını belirlemek amacıyla literatürde deneysel çalışmalar bulunmaktadır (Demir, 2012; Silva, 2006). Bu çalışmalarda, basınç dayanımı 3-5 MPa olarak elde edilmiştir. Ayrıca, İtalyan Yönetmeliği (2009), taş duvarlar için malzeme özellikleri önermektedir. Kesme taş duvarlar için İtalyan Yönetmeliği (2009), basınç dayanımı değerleri için 2.6 ile 3.8 MPa aralığını önermektedir. Bu nedenle, duvar basınç dayanıklılıkları çalışmada 3 MPa olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, tarihi binaların (düşük basınç gerilmeleri ve çok düşük çekme dayanımı göz önüne alındığında) genellikle geometri tarafından kontrol edildiği ve bu nedenle basınç dayanım değerlerinin daha az önemli olduğu belirtilmiştir (İtalyan Yönetmeliği, 2009). Tomažević (1999), mevcut taş ve tuğla duvarları için çekme

dayanımı değerleri aralığı önermektedir. Ayrıca, tarihi yapılar üzerinde gerçekleştirilen deneysel ve analitik çalışmalarda (Hökelekli, Demir, Ercan, Nohutçu, ve Karabulut; 2020; Kocaman, 2023; Kocaman ve Gürbüz, 2023), çekme dayanımının yaklaşık olarak basınç dayanımının %10'u ve Poisson oranının 0.17 ile 0.2 arasında değiştiği bildirilmiştir. Bu nedenle, çekme dayanımı çalışmada  $0.1f_c$  MPa olarak kabul edilmiştir. Elastisite modülü değerleri ise yapının gövde duvarlarında 1500 MPa, kubbesinde ise 1000 MPa olarak dikkate alınmıştır.

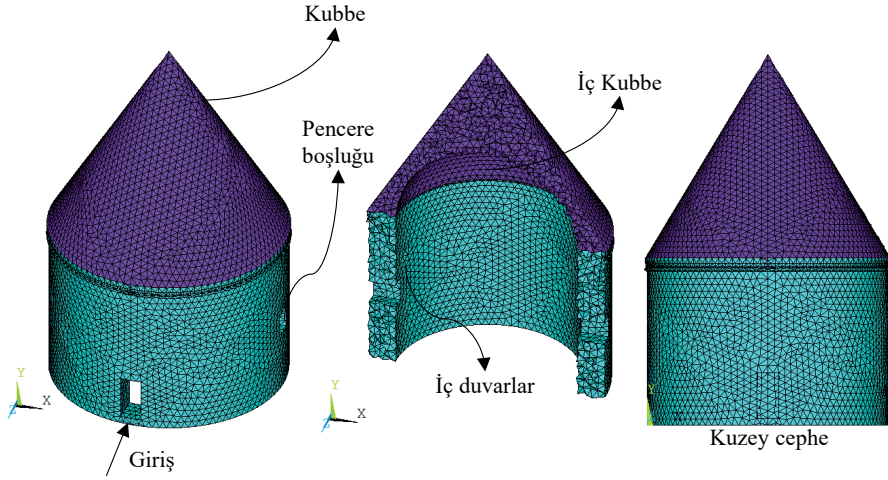
Tablo 1. Cimcime Hatun Kümbetinin malzeme özellikleri

	$f_t$ (MPa)	$f_c$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Poisson oranı	$E$ (MPa)
Ana duvarlar	0.30	3.00	25	0.18	1500
Yığma kubbe	0.20	2.00	25	0.18	1000

### 2.3. Sonlu Eleman Modeli

Son yıllarda, tarihi yapıların depreme karşı dayanıklılığı, kiliseler, köprüler, camiler, kuleler ve medreseler gibi yapılar için önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bu tür yapıları deprem hasarlarından korumak için, davranışlarını ve deformasyon modellerini anlamak gereklidir. Ancak, karmaşık geometri, inşaat teknikleri ve kullanılan malzemeler hakkındaki belirsizlik nedeniyle, tarihi binaların yapısal davranışlarını belirlemek zor olabilir. Bu tür belirsizlikleri sayısal yapı analizlerinde kolayca yanıtlanamayan birkaç faktör etkilemektedir: sınır koşulları, eğrili geometrik yapıların elemanları ve bölgeler arasındaki geçiş ve bağlantı detayları, malzeme özellikleri, önceden meydana gelmiş hasarlar ve geçmiş müdahaleler gibi faktörler. Bu nedenle, karmaşık yapısal davranışa sahip tarihi binaları analitik hesaplar kullanarak değerlendirmek neredeyse imkânsız hale getirir. Bu tür yapıların davranışını anlamak için kullanılan araçlar karmaşıktır ve yukarıda bahsedilen tüm özellikleri hesaba katmak için yeterince güvenilir olmalıdır. Bu nedenle, araştırmacılar bu sorunu aşmak için gelişmiş bilgisayar teknolojisi ve sayısal analizi kullanarak bu binaların 3D modellerini oluşturuyorlar. Tarihi yapılarda karmaşık yapısal davranışın anlaşılması için makro modelleme yaklaşımı ve doğrusal olmayan dinamik analiz kullanmak, bu yapıların deprem davranışını kapsamlı bir şekilde anlamak için uygun bir yöntemdir.

Kümbet modeli, SolidWorks yazılımı kullanılarak üç boyutlu olarak oluşturuldu. Yapısal davranış üzerinde etkisi olmayacağı düşünülen mimari ince işçilik öğeleri (süslemeler), modellemede göz ardı edildi. Üç boyutlu katı model, ANSYS APDL yazılıma aktarıldı. Kümbetin sonlu eleman modeli Şekil 4'te gösterildiği gibidir. Modellemede, kümbetin basitleştirilmiş bir geometrisi kabul edildi ve homojen malzeme davranışını varsayan makro modelleme yaklaşımı kullanıldı. Sonlu eleman modelinde, kümbetin taban mesnetleri ankastre olarak kabul edildi. Kümbetin zemin özellikleri bilinmediğinden zemin-yapı etkileşiminin olası etkisi dikkate alınmamıştır.



Şekil 4. Cimcime Hatun Kümbeti sonlu eleman modeli detayları

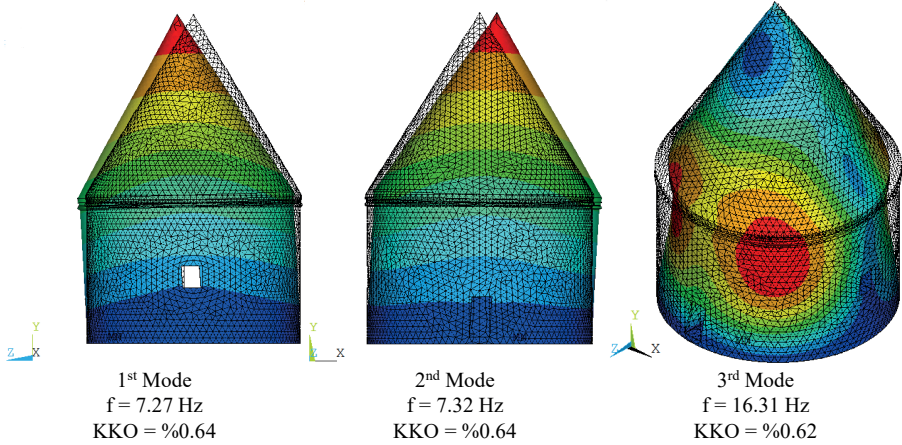
SOLID65 elemanı ve William Warnke malzeme modeli sonlu eleman modelinde kullanılmıştır. ANSYS SOLID65 elemanı ve William-Wranke malzeme modeli, yığma yapılar için sonlu eleman analizinde yaygın olarak kullanılır (Tapan vd., 2013; Koçak ve Comert, 2010). SOLID65, yığma elemanı ortotropik bir katı olarak temsil eden ve anizotropi ile doğrusal olmayan davranışını dikkate alan bir malzeme modelidir. William-Wranke modeli ise yığmayı homojenleştirilmiş doğrusal elastik bir malzeme olarak ele alır ve yığma yapıların genel davranışını temsil etmek için eşdeğer mekanik davranışı kullanır. Her iki model de sonlu eleman analizinde yaygın olarak kullanılmış ve yığma yapıların çeşitli yük koşulları altındaki davranışını simüle etmede faydalı olduğunu kanıtlamıştır. SOLID65 elementi ve William-Wranke malzeme modeli başlangıçta beton yapılar için tasarlanmıştır. Ancak, temel parametreleri uygun şekilde tanımlayarak bu modeller yığma yapılarına da uygulanabilir. Bu, yığma ve beton yapılar arasındaki heterojenlik ve anizotropi gibi benzerliklerden kaynaklanmaktadır. SOLID65 elementi ve William Wranke malzeme modeli hakkında daha fazla ayrıntılı bilgi için Kocaman'a (2023) bakabilirsiniz.

### 3. Nümerik Analizler

#### 3.1. Modal Analiz

Cimcime Hatun Kümbetinin modal analizi, titreşim frekanslarını ve kütle katılım oranını elde etmek amacıyla nümerik modal analiz gerçekleştirildi. Analiz, özellikle ilk üç modda olmak üzere toplam 20 moda odaklandı. Kümbetin ilk üç modun modal şekilleri ve kütle katılım oranı (KKO) Şekil 5'de verilmiştir. Kümbetin, ilk üç modun frekansları sırasıyla 7.27 Hz, 7.32 Hz

ve 16.31 Hz olarak belirlenmiştir. Bu modlar için kütle katılım oranları sırasıyla %0.64, %0.64 ve %0.62 olarak bulunmuştur. İlk mod X yönünde enine, ikinci mod Z yönünde enine, üçüncü mod ise burulma modu olarak belirlenmiştir. Bu sonuçların her kümbetin belirli özelliklerine bağlı olarak değişebileceğini belirtmek önemlidir, bu özellikler kümbetin geometrisi, malzeme özellikleri ve sınır koşulları gibi sıralanabilir. Bu nedenle, frekanslar ve mod şekilleri, her bir kümbet yapısının benzersiz özelliklerini göz önünde bulundurarak vaka bazında değerlendirilmelidir.



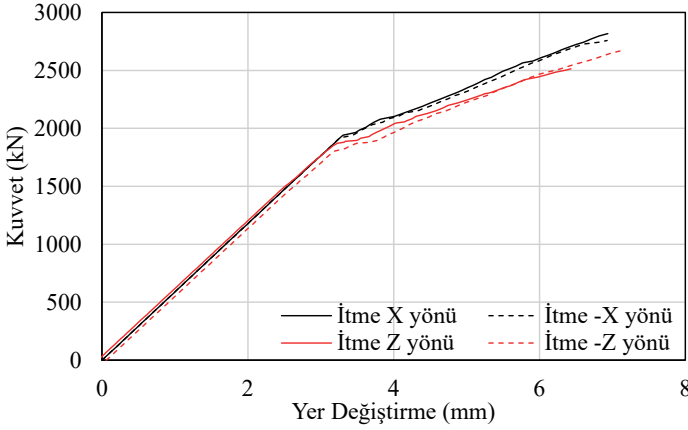
Şekil 5. Cimcime Hatun Kümbetinin ilk üç moduna ait mod şekilleri, kütle katılım oranları modal frekanslar

### 3.1. İtme Analizleri

İtme analizi tekniği, yapıların yan yük kapasitelerini değerlendirmek için sağlam bir teorik çerçeveye sahip güvenilir bir yöntem olarak geniş ölçüde kabul görmektedir. Bir yapıyı yavaşça artan yanal yükler altına sokarak çökme veya önemli deformasyon durumuna ulaşana kadar incelemek, aşırı koşullar altında yapının genel performansını tahmin etmesine olanak tanır. İtme analizinde, yapıya yanal yükler genellikle titreşimdeki ilk mod şekline orantılı olarak uygulanır. Ancak, yığma yapılarda, geleneksel çok katlı binalarda tipik olarak bulunan katlar arasındaki karakteristik kütle dağılımının eksikliği nedeniyle, itme analizinde yan yük profili belirlemek zorluk yaratır.

Şekil 6'de gösterildiği gibi kuvvet-deplasman eğrileri, yapının davranışı ve yük kapasitesi hakkında önemli bilgiler sağlar. Bu eğriler, itme analizi sırasında yapının maksimum yük kapasitesine ulaştığını gösterir. İtme analizi, yapının maksimum yük kapasitesine ulaşana kadar yapının üzerine aşamalı olarak kuvvetler uygulamayı içerir. Analizden elde edilen kuvvet-deplasman eğrileri, uygulanan kuvvet ile yapının karşılık gelen deplasmanı arasındaki ilişkiyi gösterir. Şekil 5, bu kuvvet-deplasman eğrilerini sunar ve yapının

kuvvet kapasitesini değerlendirmek için önemlidir. Eğriler, yapının artık ek yükleri taşıyamayacağı ve maksimum kapasitesine ulaştığı noktayı gösterir. Bu noktanın ötesinde daha fazla yükleme önemli yapısal deformasyonlara veya hatta çöküşe neden olabilir. Ayrıca, kuvvet-deplasman eğrileri, yapının maksimum yük kapasitesi ile ilişkilendirilen deplasman değeri hakkında bilgi verir. Bu değer, yapısal yanıtı anlama ve yapıyı aşırı yükleme koşullarında yeterliliğini değerlendirme açısından önemlidir. Bu çalışmada gerçekleştirilen itme analizlerinin, hem enine ( $\pm Z$ ) hem de uzunlamasına ( $\pm X$ ) yönlere odaklandığını belirtmek önemlidir.



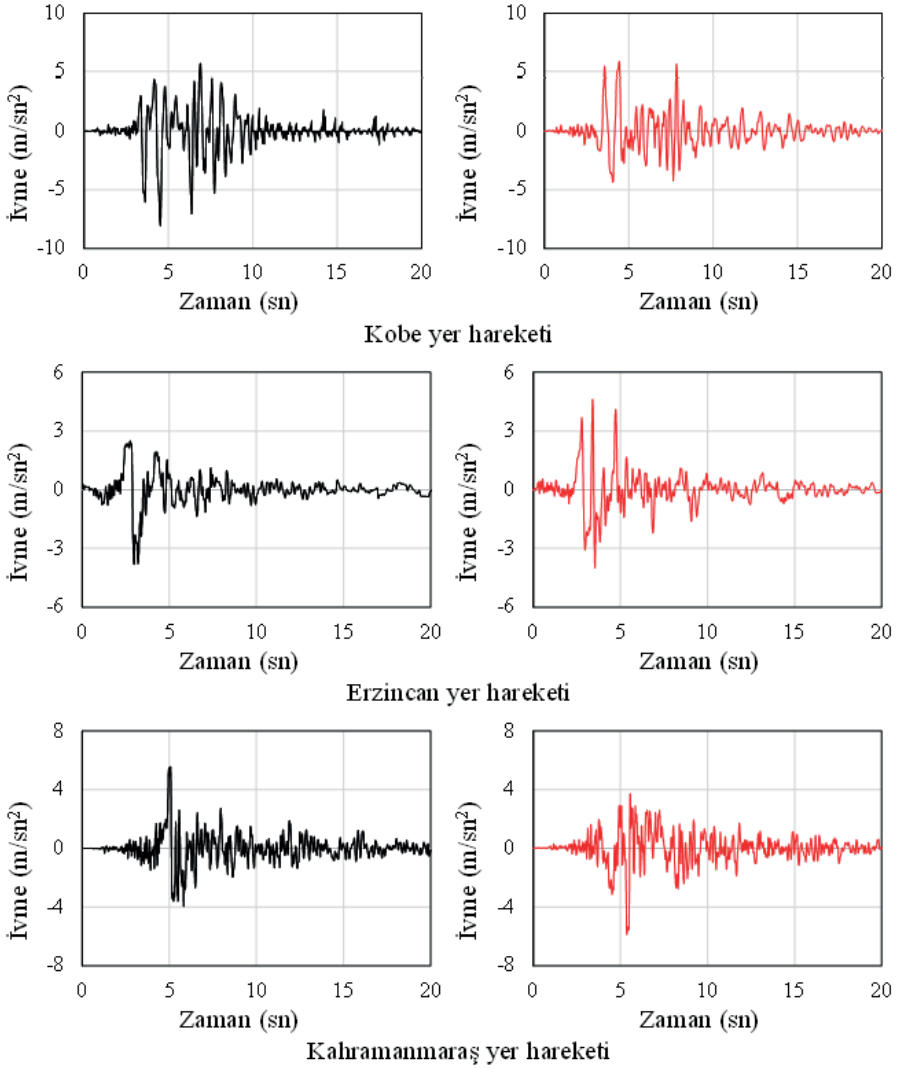
Şekil 6. İtme analizlerinden elde edilen kuvvet-yer değiştirme analizleri

Cimcime Hatun Kümbeti yapılan dört analiz sonucunda yaklaşık olarak 2750 kN'lik bir kuvvet kapasitesine sahiptir. Bu kuvvete ulaşıldığı noktada yer değiştirme kapasitesi 7 mm mertebelerindedir. Yapının tamamen simetrik olduğu göz önüne alındığında, bu değerler kabul edilebilirdir.

### 3.2. Dinamik Analizler

Erzurum, Türkiye'nin doğu bölgelerinde yer alan ve sismik aktivite açısından büyük öneme sahip bir şehirdir. Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde bulunan bölge, yüksek deprem aktivitesi yaşar. 1900 yılından bu yana, bölgede çeşitli dikkate değer depremler meydana gelmiştir. Bu depremler arasında 1924 Horasan M6.8, 1946 Hınıs Mw 5.9, 1952 Hasankale Mw 5.8, 1966 Hınıs-Varto Mw 6.8, 1983 Erzurum-Kars Mw 6.9, 1984 Balkaya-Şenkaya Mw 6.4, 1999 Şenkaya Mw 5.1 ve 2004 Aşkale Mw 5.6 depremleri bulunmaktadır (Kocaman, Kazaz, ve Okuyucu, 2018). Bu depremler şehirdeki yapıları etkilemiş ve belirli bölgelerde ciddi hasara neden olmuştur. Deprem Bölgeleri Haritası'na göre (Özmen, Güler, ve Nurlu, 1997), Erzurum ilinin I/II-derece bölgesinde sınıflandırıldığı görülmektedir, bu da nispeten yüksek bir deprem tehlikesi riskini işaret etmektedir.

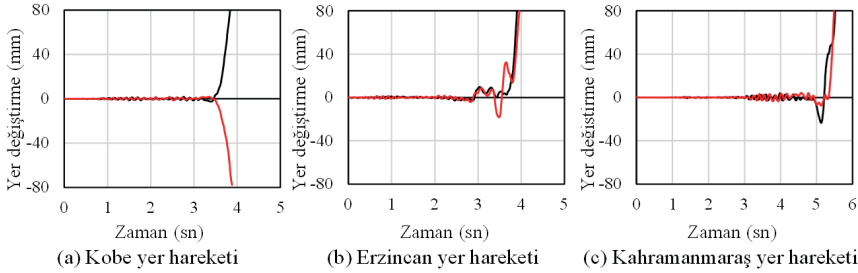
Kümbetin deprem değerlendirilmesi, lineer olmayan zaman tanım alanında analizler yaparak incelenmiştir. Analizler, yalnızca yatay deprem bileşenleri (X-Z yönü) dikkate alınarak üç farklı deprem seti için gerçekleştirilmiştir. Türkiye Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'e (DBYBHY, 2007) göre, zaman alanında bir analiz yapabilmek için en az üç yer hareketi gereklidir. Şekil 7'de kullanılan her kaydın ivme-zaman grafikleri verilmektedir. Yer hareketi kayıtlarına herhangi bir ölçekleme uygulanmamıştır. Lineer olmayan dinamik analizlerde, zaman adımı 0.01 sn olan tam Newton-Raphson zaman entegrasyon yöntemi ve %3 sönüm oranı için Rayleigh sönümleme katsayıları kullanılmıştır.



Şekil 7. Dinamik analizlerde kullanılan ivme kayıtları

### 3.2.1. Global Yer Değiştirme Davranışı

Şekil 8, üç farklı yer hareketine maruz kalan sonlu eleman modeli üzerinde gerçekleştirilen dinamik analizlerden kaynaklanan zaman-yer değiştirme eğrilerini göstermektedir. Grafiklerde sunulan deplasman değerleri, kubbenin tepesinden elde edilmiştir. Kobe yer hareketi altında, modeller 3.40 saniyeye kadar  $\pm 10$  mm aralığında deplasmanlar yaşamıştır. Bu saniyeden sonra yapının ani bir göçme hareketi sergilediği görülmektedir. Erzincan yer hareketi durumunda, modelin 3.50 saniyeye kadar elastik davrandığı görülebilir. Ancak, bu noktanın ötesinde ani bir çöküş yaşamıştır. Kahramanmaraş yer hareketi kullanılarak gerçekleştirilen dinamik analizleri incelediğimizde, modelin yaklaşık olarak 5.1 saniyede çökme moduna girdiği açıktır.  $\pm 80$  mm'yi aşan deplasmanlar, yaygın çatlaklara neden olmuş ve kubbenin çökmesine yol açmıştır. Model, üç farklı deprem uyarılarına benzer deplasman tepkileri sergilemiştir.



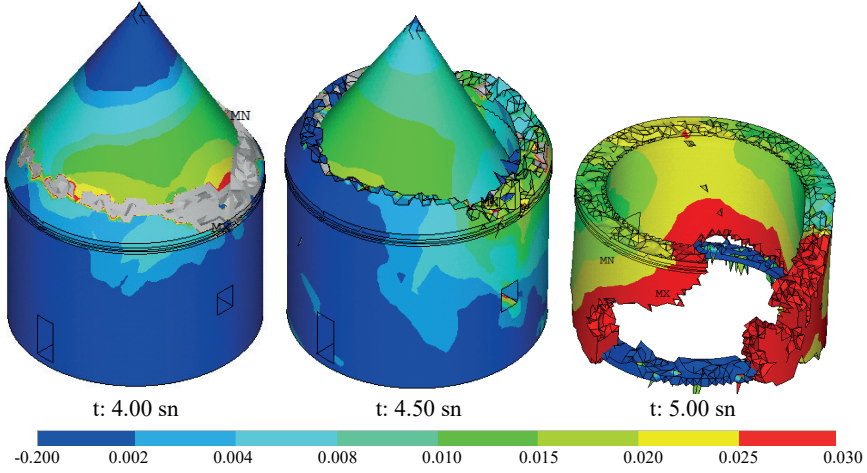
Şekil 8. Dinamik analizlerden elde edilen zaman-yer değiştirme eğrileri

Şekil 8, kubbenin elastik davranış bölgesini temsil eden  $\pm 10$  mm aralığındaki deplasmanları göstermektedir. Ancak, tüm analizlerden açıkça görülmektedir ki, kubbenin elastik deplasman sınırını aştıktan sonra hızlı bir göçme mekanizması sergilemektedir. Analizlerden elde edilen yer değiştirme eğrileri ışığında, maksimum kuvvet mertebesinde beklenen ötelenme oranı %0.08 mertebelerindedir. Deplasmanın bu sınırları aştığında, yapıda geniş çatlakların ve tam çökmenin gözlemlendiğini gösterir.

### 3.2.2. Global Yıkılma Mekanizmaları

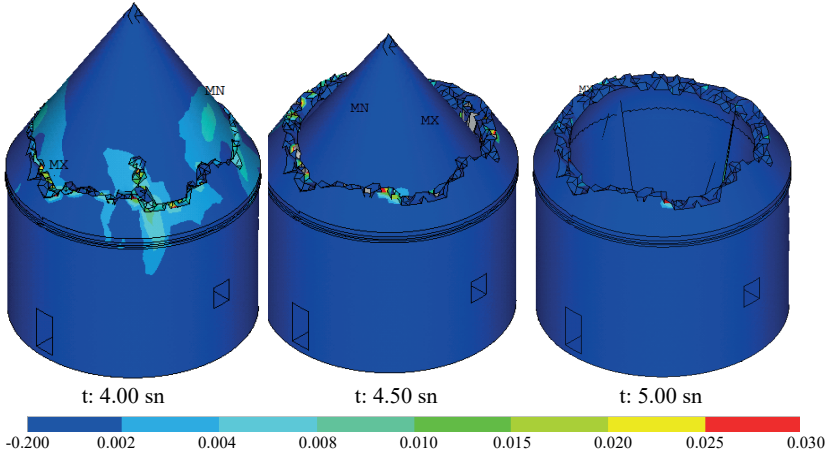
Şekil 9, sonlu eleman modelinin Kobe yer hareketini kullanarak gerçekleştirilen dinamik analiz sonuçlarını sunmaktadır. Gösterilen hasar mekanizmaları, birinci asal gerilmeler kullanılarak sunulmuştur. Kümbetin kubbesinde, kasnak üstünde çatlaklar oluşmaya başlamaktadır. Bu çatlakların kubbenin tüm çevresinde oluşmasıyla, kümbetin kubbesi içe doğru çökmektedir. Göçmenin görüldüğü zamanda çatlak genişlikleri 10 mm'yi geçmektedir. Bu çökme sonrasında taşıyıcı duvarlarda taş ezilmeleri ve çatlaklar sebebiyle göçtüğü görülmektedir.





Şekil 9. Birinci asal gerilmeler ışığında Kobe yer hareketi altında kümbetin yıkılma mekanizması

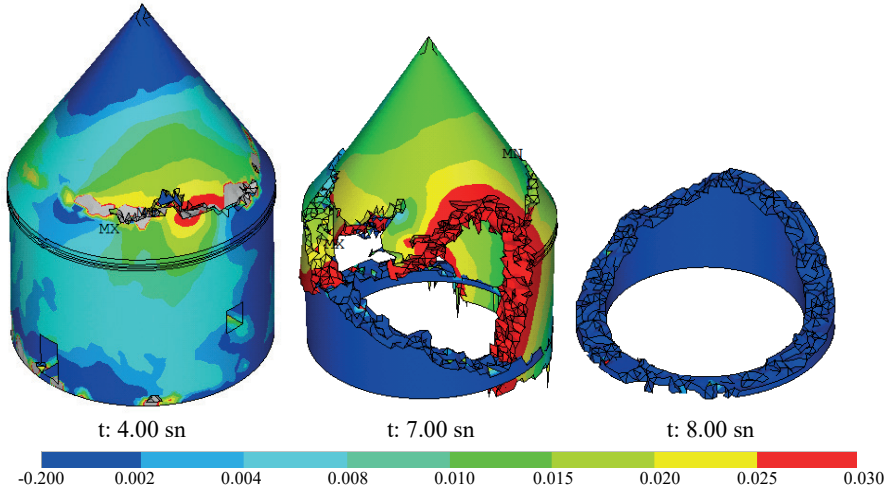
Şekil 10'da Erzincan yer hareketini kullanarak gerçekleştirilen dinamik analiz sonuçlarını bulunmaktadır. Kubbede, ana kasnak üzerinde başlayan çatlaklar, bazı bölümlerde duvarlara doğru ilerlemektedir. Kubbe çatlakların kubbenin etrafında tamamen görüldüğünde, kubbenin içe doğru çöktüğü görülmektedir. Bu çökme sonrasında ana duvarlar hasar almış ancak tamamen göçmemektedir. Duvarlarda oluşan çatlakların 10 mm altında olduğu görülmektedir.



Şekil 10. Birinci asal gerilmeler ışığında Erzincan yer hareketi altında kümbetin yıkılma mekanizması

Şekil 11'de, Kahramanmaraş yer hareketi kullanılarak gerçekleştirilen dinamik analizlerden elde edilen yıkılma mekanizmaları verilmektedir. Kümbette çatlaklar ilk olarak kubbede görülmektedir. Kubbeden başlayan

çatlak hatları ana duvarlara ilerleyerek, ana duvarlarda derin çatlaklara, taş ezilmelerine ve kopmalarına sebep olmaktadır. Kubbenin ve ana duvarların tamamen göçtüğü görülmektedir.



Şekil 11. Birinci asal gerilmeler ışığında Kahramanmaraş yer hareketi altında kümbetin yıkılma mekanizması

Üç farklı yer hareketi kullanılarak gerçekleştirilen dinamik analizler gözü önüne alındığında, kümbetin belirgin bir göçme mekanizması sergilediği görülmektedir. Yapının sismik olarak en hassas bölgesi kubbedir. Kubbede oluşan yatay çatlak hatları göçme mekanizmasını tetiklemektedir. Bu çatlak hatları bazı yer hareketlerinde kubbe ile sınırlı kalırken, bazı yer hareketlerinde ise taşıyıcı duvarlara ilerlemektedir. Kubbe göçmesinden sonra yapının duvarlarda çatlaklar ve ayrışmalar görülmektedir. Dinamik analizlerden elde edilen yıkılma ve hasar mekanizmaları, Şekil 2’de verilen örnek hasarlar ile oldukça uyumaktadır.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma, tarihi Erzurum Cimcime Hatun Kümbetinin kuvvet-deplasman kapasitesi ve çökme mekanizması araştırmayı amaçlamıştır. Yapının sonlu eleman modeli oluşturularak, itme analizleri ve zaman tanım alanında dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler neticesinde yapının muhtemel göçme mekanizmaları ve kuvvet kapasiteleri belirlenmiştir. Çalışmanın temel bulguları aşağıda özetlenmiştir.

Literatür araştırmaları, saha incelemeleri, fotoğraflar ve yapının ilgili sözlü ve yazılı bilgiler gibi kaynaklar kullanılarak kapsamlı bir bilgi tabanı oluşturuldu. Bu bilgiler, kümbetin ayrıntılı sonlu eleman modellerini oluşturmak için sağlam bir temel sağlar. Sonlu eleman modeli, sayısal analizden

elde edilen sonuçların daha kesin bir şekilde değerlendirilmesini sağlar.

Bu çalışma için kümbetin sonlu eleman modelleri, homojen ve izotrop malzeme özelliklerini varsayan makro modelleme tekniğini kullanarak geliştirildi. Bu yaklaşım, tarihi yığma kümbetlerin deprem davranışlarını doğru bir şekilde belirlemede yardımcı olmaktadır. Bu modelleme tekniği kullanılarak, çeşitli yük koşulları altında kümbetlerin yapısal davranışını ve depremsel performansını belirleyebilirler.

Sonlu eleman modellerinde kullanılan malzeme özellikleri hasarlı ve hasarsız bir dizi deney sonucunda belirlenmesi gerekmektedir. Ancak bu çalışmada örneklendiği gibi, herhangi bir deneysel çalışmanın mümkün olmadığı durumlarda, duvarın yapım tekniği ile ilişkili literatür çalışmaları kullanılarak malzeme özellikleri belirlenebilir. Literatürdeki farklı çalışmalar, üç yapraklı yığma duvarlar için benzer basınç dayanımı ve elastisite modülü önerilerinde bulunmaktadır.

Dinamik analizlerden elde edilen yıkılma mekanizmaları, bu özel yapıların sismik olarak hassas bölgelerini belirlemede kullanılabilir. Elde edilen yıkılma mekanizmaları ışığında tarihi yığma kümbetlerin güçlendirme önerileri sunulabilir. Kubbenin sismik olarak en hassas bölge olduğu göz önüne alındığında, kubbe kasnağının güçlendirilmesi, hasarın daha kontrollü gerçekleşmesine yardımcı olacaktır. Gelecek çalışmalarda, tarihi yığma kümbetlerde uygulanabilecek güçlendirme önerilerin çalışması, bu özel yapıların geleceğe güvenle aktarılmasında önemli olacaktır.

## KAYNAKÇA

- Turkan, Z. (2009). Tombs of Pre-classical and Classical Eras of Turkish Architecture in Anatolia *Sosyal Bilimler Dergisi/Journal of Social Sciences*, 2(2), 148-170. doi:
- Gunasdi, Y., Aksakal, O., & Kemaloglu, L. (2023). Biodeterioration of some historical monuments in Erzurum by vascular plants. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 176, 105530.
- Okuyucu D., & Erdil, B. (2009, October). Seismic Performance Evaluation of Emir Bayındır Cupola in Ahlat. *International Participation on Strengthening and Preserving Historical Buildings and Cultural Heritage-II*, Diyarbakır, Turkey.
- Aksar, B., Tutar, A. İ., Akansel, V. H., & Çakır, F. (2022). Structural Performance Assessment of the Historical Tomb of Emir. *International Conference on Engineering Sciences*, Baku, Azerbaijan.
- Özkan, H. (2015). *Saltuklu mimarisi*. Atatürk Üniversitesi Yayınları.
- Aytekin, O. (2012). 2011 Van depreminin yöresindeki kültür varlıklarına olan etkisi üzerine bir değerlendirme. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 1(1), 1081-1090.
- KOERİ (2023). *Tarihsel depremler*. Erişim tarihi: 7 Nisan 2023, <http://www.koeri.boun.edu.tr>.
- Taşkesenlioğlu, M. Y., & Taşkesenligil, M. (2020). 1859 Yılındaki Şamahı ve Erzurum Depremleri Hakkında Rusya Bilimler Akademisi Üyesi Hermann Von Abich'in Raporu. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (20), 569-592.
- Topkaya, D. (2010). *Cimcime Hatun Kümbetinin Koruma Projesi Raporu*, MİMKA Mimarlık.
- Demir, C. (2012). *Seismic Behaviour of Historical Stone Masonry Multi-Leaf Walls*, PhD thesis. İstanbul Technical University, İstanbul.
- Silva, B. L. (2012). *Diagnosis and Strengthening of Historical Masonry Structures: Numerical And Experimental Analyses*, PhD thesis. University of Brescia, Brescia.
- Italian Code C (2009) *Technical standards for constructions*, In: Gazzetta Ufficiale Serie Generale n.47 del 26/02/2009, Italy.
- Tomažević, M. (1999). *Earthquake-resistant design of masonry building* (Vol. 1). World Scientific.
- Hökelekli, E., Demir, A., Ercan, E., Nohutçu, H., & Karabulut, A. (2020). Seismic assessment in a historical masonry minaret by linear and non-linear seismic analyses. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 64(2), 438-448.
- Kocaman, İ. (2023). Effect of restoration interventions on the seismic behavior of historical masonry buildings: The case of Molla Siyah mosque. *Engineering Failure Analysis*, 148, 107206.
- Kocaman, İ., & Gürbüz, M. (2023). *Collapse mechanism of narthex part of historical masonry mosques*, 151, Engineering Failure Analysis, 107387.

- Tapan, M., Comert, M., Demir, C., Sayan, Y., Orakcal, K., & Ilki, A. (2013). Failures of structures during the October 23, 2011 Tabanlı (Van) and November 9, 2011 Edremit (Van) earthquakes in Turkey. *Engineering Failure Analysis*, 34, 606-628.
- Koçak, A., & Köksal, T. (2010). An example for determining the cause of damage in historical buildings: Little hagia sophia (Church of St. Sergius and Bacchus)–Istanbul, Turkey. *Engineering Failure Analysis*, 17(4), 926-937.
- Kocaman, İ., Kazaz, İ. & Okuyucu, D. (2018). Tarihi Erzurum Yakutiye Medresesi'nin Yapısal Davranışının İncelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20 (58) , 36-51 .
- Özmen, B., Nurlu, M. & Güler, H. (1997). Coğrafi Bilgi Sistemi ile Deprem Bölgelerinin İncelenmesi. *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, (2007). Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi.



# ***Bölüm 5***

## **ZEMİN STABİLİZASYONUNDA POLİMER KATKILARIN KULLANIMI**

*Gamze BİLGEN<sup>1</sup>*

*Zekeriya DOĞAN<sup>2</sup>*

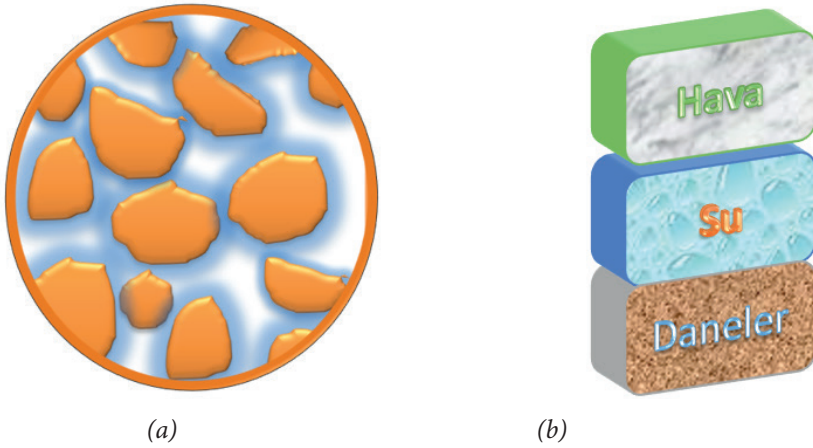
---

1 Doç. Dr. Gamze Bilgen. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Alaplı MYO, Alaplı-Zonguldak, Türkiye. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2840-7369>

2 Uzm. Dr. Zekeriya DOĞAN, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2721-4450>

## 1. GİRİŞ

Zemin stabilizasyonu, zeminin daha stabil (kararlı) hale getirilmesi için uygulanan bir iyileştirme yöntemidir. Zeminler, Şekil 1 (a) da modellendiği gibi, daneler (katı kısım) ve bu daneler arasında bulunan boşluk kısımlarından oluşur. Boşluk kısmı hava ile dolu olabileceği gibi, kısmen hava kısmen su veya tamamen su ile kaplı olabilir. Boşluklarda hiç su olmaması ve hava ile dolu olması durumunda zemin “Kuru zemin” olarak adlandırılırken, boşlukların su dolu olması “Doygun zemin” olarak tanımlanır. Danelerin, suyun ve havanın hacmi, bu hacimlerin birbirleri ile oranları sadece zeminin fiziksel özelliklerini değil aynı zamanda mekanik özelliklerini de etkileyen önemli parametrelerdir. Zeminin mekanik özelliklerinin iyi olması, genel olarak, birim hacmindeki katı yüzdesinin fazla ve boşluk yüzdesinin az olması ile doğru orantılıdır (H. S. Aksoy & Bilgen, 2022). Bu yüzden zeminler teknik olarak incelenirken, Şekil 1 (b)’de olduğu gibi “Zemin prizması” olarak modellenir. Böylece, katı, sıvı ve hava fazlarını bünyesinde barındıran zemin ile ilgili tüm veriler daha kolay ve anlaşılabilir şekilde ifade edilebilmektedir. Zemindeki boşluk hacminin azalması zeminin taşıma gücünün arttırmasında, deformasyonunun, geçirimsizliğinin ve oturma sorununun en aza indirgenmesinde önemli bir rol oynar. Dolayısı ile zemin stabilizasyonu, sıralanan bu parametrelerin değiştirilmesi maksadı ile yapılan bir iyileştirme yöntemidir.

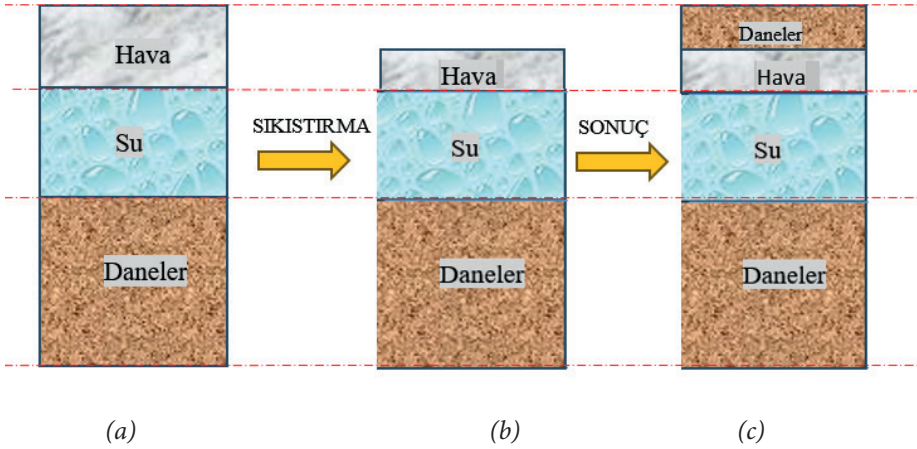


Şekil 1. (a) Zeminlerin doğal durumu (b) Zemin prizması

Zemin stabilizasyonu, temel olarak iki şekilde yapılır. İlki mekanik işlemler bütünüdür. Bu işlemlerde zemin tabakalar halinde serilir ve mekanik olarak sıkıştırılır. Sıkıştırma işlemi ile ilgili şartname (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013) ve standart (ASTM Standart D1883-14, 2014) hazırlanmış ve her bir tabakanın kalınlığı, sıkıştırma ekipmanının boyutları, uygulanacak enerji miktarı gibi tüm detaylar açıklanmıştır. Geoteknik ve zemin mekaniği bilim dallarında bu uygulamaya Kompaksiyon adı verilmektedir. Laboratu-



var ortamında yapılan deneysel kompaksiyon çalışmasına ise “Proctor” adı verilmektedir (Bilgen & Altuntas, 2023). Şekil 2’de Kompaksiyon (sıkıştırma) uygulamasının çalışma prensibi görselleştirilmiştir. Şekil 2 (a) da zeminin sıkışma öncesi faz durumları Şekil 2 (b) de sıkıştırma sonrası durum görseli bulunmaktadır. Görüldüğü üzere, sıkıştırma işlemi sırasında zeminin içeri-  
sindeki su hacminde veya dane hacminde bir değişiklik yoktur. Sadece havanın hacmi azalmıştır. Başka bir açıdan bakıldığında, zeminin eninde herhangi bir genişleme herhangi bir daralma yani herhangi bir değişiklik olmamış sadece boyu kısalmıştır. Bu hacimde azalma demektir. Şekil 2 (c) de görüldüğü üzere zemin kesitine, ilk durumdaki hacme eşitlenmesi adına dane eklendiğinde, birim hacimdeki “dane hacmi” artmaktadır. Böylece, kompaksiyon sayesinde birim hacimdeki “boşlukları” azaltılmış bir zemin yapısı elde edilmiş olur. Kompaksiyon uygulamasının mantığı bu şekilde işlemektedir.



Şekil 2. Zemin sıkıştırma (Kompaksiyon)

Geoteknik biliminde zeminler, farklı sınıflandırma sistemlerine sahip olmakla birlikte, en yaygın olarak kullanılan zemin sınıflandırma sistemi Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma (USCS) Sistemidir (ASTM Standard D2487-06, 2020; Bilgen, 2022). Bu sistemde zemin dane boyutlarına göre sınıflandırılır. USCS Zemin sınıflandırma sistemine ait dane çapları şu şekildedir: Çakıl (4,75-76,2 mm), kum (0,075-4,75 mm), kil (0-0,075 mm) (Bilgen, 2020a). Bahsedilen kompaksiyon uygulamaları, dane boyu ne kadar küçük ise o kadar etkili olmaktadır. Başka bir deyiş ile çakıl ve kumları sıkıştırma işlemleri, zemini titretmek, sarsmak yolu ile gerçekleştirilirken, killi zeminlerde yukarıda bahsedilen prosedür uygulanmaktadır. Killi zeminler için bazen, tarım bilimine ait bir terim olan “toprak” ifadesi de kullanılmaktadır.

Zemin stabilizasyonunda ikinci yöntem ise katkı maddelerin kullanıldığı kimyasal yöntemdir. Kimyasal yöntemlerde de kompaksiyon işleminde oldu-

đu gibi, dane boyutu küçüldükçe daha iyi sonuç elde edildiği görülmektedir. Yöntemde, katkı maddesinin zemin içerisine karıştırılması sonucu, zeminin mikro yapısı değiştirilir ve böylece dayanım özelliklerinde iyileştirme gerçekleştirilir. Kimyasal stabilizasyonda zemine katkı maddesi olarak çimento esaslı bağlayıcılar, kireç, bitüm, uçucu kül, reçine, polimer gibi katkılar karıştırılır (H. S. Aksoy & Bilgen, 2022; H. Ş. Aksoy & Gör, 2017; Bilgen, 2020b, 2020c; Bilgen, Kavak, & Faruk Çapar, 2012). Bu kimyasal yapılar zemin ile kimyasal tepkimelere girerek, zemin yapısını değiştirir ve dayanım özelliklerini iyileştirir.

Bu çalışmada, zemin iyileştirmede kullanılan polimer yapılar üzerinde durulmuş ve kullanılan polimerlerin yapısı ve zemin iyileştirme mekanizmalarının anlaşılması ile ilgili detaylara yer verilmiştir.

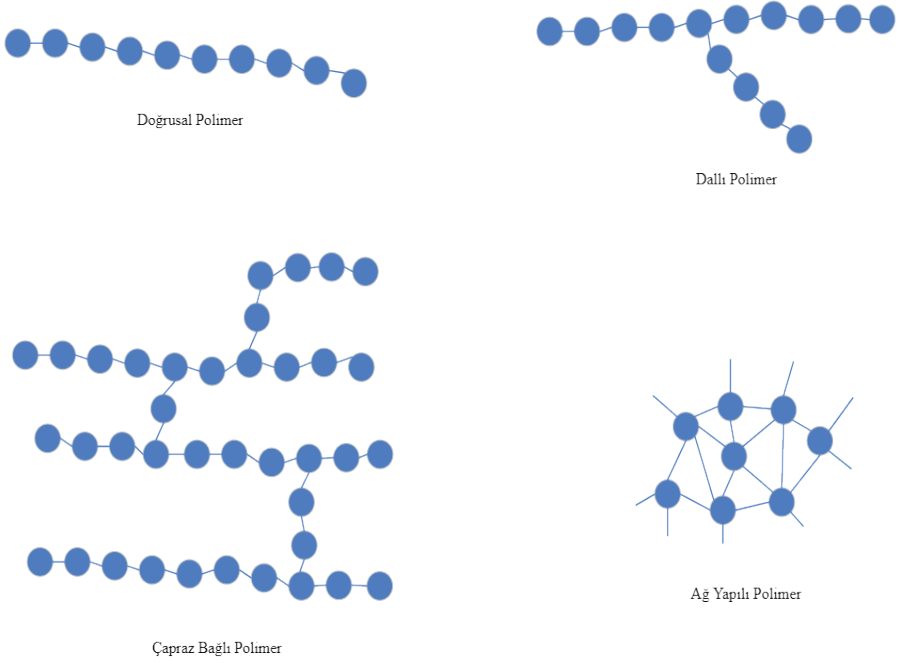
## **2. ZEMİN İYİLEŞTİRME AMACI İLE KULLANILAN POLİMERİK YAPILAR**

Zemin iyileştirmede kullanılan klasik metotlardan olan puzolanik katkıların çalışma mekanizması, polimerik zincir yapılar oluşturarak zemin ile bağlanma şeklinde gerçekleşmektedir. Polimerik zincir yapıların türleri göz önünde tutularak polimerik zemin katkıları, aşağıda sıralanan 3 temel sınıfta incelenebilir:

1. Sentez organik polimerler
2. Biyopolimerler
3. Geopolimerler

### **2.1. Sentez Organik Polimerler**

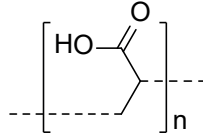
Polimerler tekrar eden “mer” adı verilen alt birimlerden oluşan büyük molekül ağırlıklı kimyasal yapılardır. Fiziki ve kimyasal yapı özellikleri bakımından çok çeşitlilik gösterebildikleri için Şekil 3’te görseli verilen, temel bir malzeme sınıfı olarak değerlendirilirler.



**Şekil 3** Polimerlerin Genel Yapısal Şekilleri

Stabilizasyon için uygulanan sentetik polimerik çözümler mekanik iyileştirme yöntemlerinden daha etkilidir ve başkaca kimyasal katkılara oranla daha çevre dostu çözümlerdir. Geçmişten günümüze zemin iyileştirilme çalışmalarında yoğun olarak kullanılan kireç ve çimentonun hammadde anlamında azalıyor oluşu ve maliyetlerin artması, yeni katkı malzemeleri arayışlarına hız kazandırmıştır. Karbon ayak izi büyük olan çimento sanayisinin aksine polimer üretim teknikleri, görece çok daha ekonomik ve çevre dostudur. Bu bağlamda polimerler üzerinde çok sayıda çalışma yapılan bir malzeme sınıfıdır.

Günümüzde zemin stabilizasyonu için polipropilen temelli polimerik malzemelerin katkı olarak kullanılması yaygınlaşmaktadır. Sentez organik polimerler olarak; poliakrilamid (PAM), poliakrilatlar, poli vinil alkol (PVA), poli vinil asetat (PVAc), poliüretan, aldehit, propilen vb. dahil olmak üzere son on yılda birçok sefer kullanılmış ve üzerinde çalışılmıştır (Huang, Kogbara, Hariharan, Masad, & Little, 2021). En yaygın kullanılan stabilizatör poliakrilamid (PAM) ve türevleridir. Toksik olmayan anyonik halleri zemin stabilizasyonunda tercih edilmektedir. (Soltani-Jigheh, Bagheri, & Amani-Ghadim, 2019)



Şekil 4. Poliakrilat yapısı

### 2.1.1. Poliakrilatların Türevleri

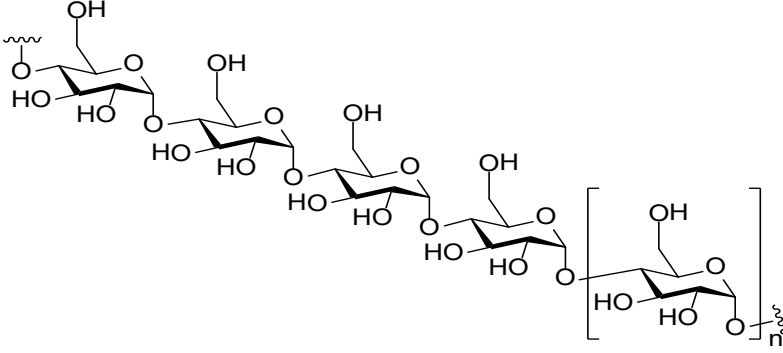
Poliakrilatlar, poliakrilik veya akrilik polimerler olarak da adlandırılabilir. Akrlat kökenli polimerler daha çok tarım ve sulama zeminlerinde, erozyonla mücadelede, süzme işlerinde, tozumayla mücadelede, askeri araç ve helikopter yol ve pistlerinde, yoğun trafiğin olduğu zeminlerde tercih edilmiştir. Poliakrilatların polimerizasyon süreçleri kolay ve ekonomiktir (Ohara et al., 2003). Kullanılan türevleri genel olarak şunlardır:

Akril amit	-----	$[CH_2 = CHCONH_2]_n$
Akrilik asit	-----	$[CH_2 = CH - COOH]_n$
Bütül akrilat	-----	$[CH_2 = CHCO - O - (CH_2)_3CH_3]_n$
Etil akrilat	-----	$[CH_2 = CHCO - O - CH_2CH_3]_n$
İsobütül akrilat	-----	$[CH_2 = CHCO - O - CH_2CH(CH_3)_2]_n$
Metil akrilat	-----	$[CH_2 = CHCO - O - CH_3]_n$
Vinil alkol	-----	$[CH_2 = CH - OH]_n$
Vinil asetat	-----	$[CH_2 = CH - O - CO - CH_3]_n$

Polivinil asetat (PVAc) polimeri kolay sentezlenebilen ve soğuk akma değeri yüksek bir polimerlerdir, bu yüzden zemini bağlamada tercih edilir. Yapılan çoğu çalışmada killerin şişme büzülme özelliklerini azalttığı görülmüştür. Poyivinil alkolün (PVA) suda çözünürlüğü yüksektir. Poli vinil asetat ile kullanıldığında içerisindeki hidroksil yapıları toprakla hidrojen bağları yaparak bağlanmayı güçlendirmektedir (Brydson, 1999).

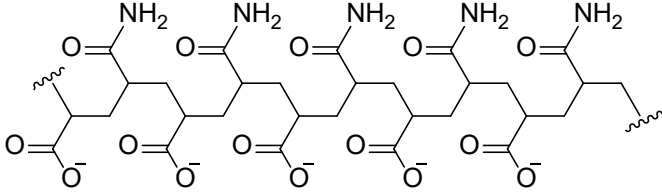
Bunların dışında sentetik polimerlerde birçok fonksiyonel grup bulunabilmektedir. Ester propilen üretan korboksilik aldehid gibi pek çok fonksiyonel grubun zemin ile yaptığı bağlar incelenmektedir (Ayeldeen & Kitazume, 2017; Liu, Feng, et al., 2017; Liu, Qi, et al., 2017).

Zeminde kullanılan en büyük polimer sınıflarından biri de poli sakkaritler (Şekil 5) ve poliakriamitlerdir (Şekil 6). Özellikle poliakrilamit yapılar on yıllardır tarımsal sulama alanlarında kullanılmaktadır.



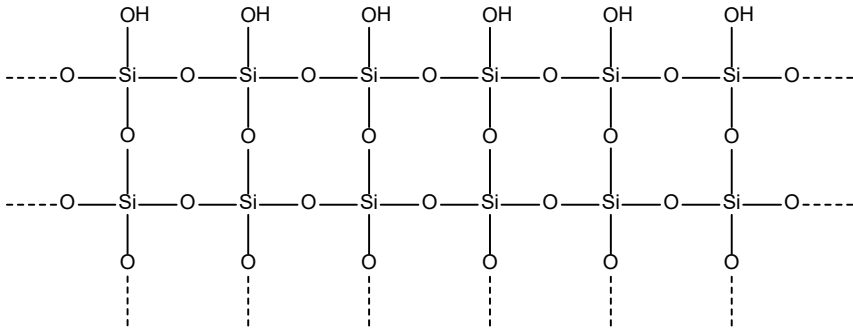
Şekil 5. Poli sakkarit polimerik yapısı

Şu an hali hazırda satılmakta olan polimer esaslı ticari zemin stabilizasyonları bulunmaktadır (Optima Soil, 2023). Kireç, çimento, uçucu kül, bitüm gibi geleneksel katkı maddeleri ile zycosil, zycobond, terrasil gibi ticari nanomalzemeler yol yapımında alt zeminin stabilize edilmesinde kullanılarak CBR değerlerini önemli ölçüde iyileştirmekte ve üstyapıların maliyetlerinde önemli azalmalar sağlamaktadır (Aderinola & Nnochiri, 2017)



Şekil 6. Poliakrilamid yapısı

Sentez polimerik yapılardan terrasil toprak yapılarını hidrofil ve hidrofob uçlara dönüştüren bir organik polimerdir. Hidrofob uçların oluşturduğu polarizasyon zeminin suya karşı daha inert davranmasını ve kendi içinde daha sıkı bir bağlanma sergilemesini sağlar. Kullanım oranı olarak 1:200 porşiyonu önerilir (Shirahatti, Kallimani, & Rajashekhar, 2016).



Şekil 7. Hidrofilik Yapılı Terrasil Polimer Yapısı

Bir başka ticari ürün olan Zycobond partekülleri erozyona, toz kontrolüne ve yorulmaya karşı direnç sağlar. Yapı olarak 90 nm den küçük nano polimerdir. Kullanım şekli olarak Terrasil ile karıştırılarak toprağa eklenmesi şeklindedir. Birlikte sağladıkları sinerji ile zeminde kalıcı korozyon kontrolü sağlar. UV direnci bağlanmaları uzun süreli olmasını destekler. Sahada 1:99 oranında kullanılması önerilir (Padmavathi, Nirmala Peter, Rao, & Padmavathi, 2019).

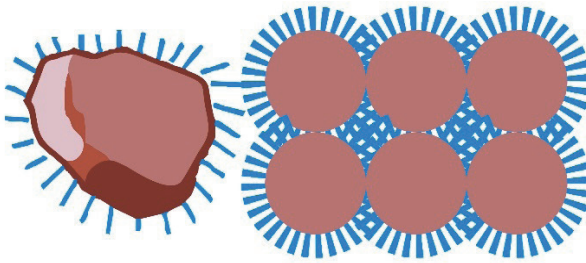
### 2.1.2. Organik Polimerlerin Çalışma Mekanizması

Sentez organik polimerlerin bağlanma modelleri taşıdıkları fonksiyonel grupların türüne göre çeşitlilik gösterir. Polimer yapının taşıdığı grupların polaritesine göre toprak partiküllerine bağlanma şekli değişebileceği gibi yine bu grupların hidrofobik veya hifrofilik oluşlarına göre iyileştirme tipleri de farklılık gösterecektir (Gu & Doner, 1992).

Toprak taneleri ile polimer yapı arasında fizikokimyasal bir bağlanma mevcuttur. Polimerin moleküler yük durumuna göre üç farklı bağlanma modeli mevcuttur. Polimer yapı üzerindeki fonksiyonel gruplara göre anyonik katyonik veya nötral olabilir.

Yapılara arasında elektrostatik bir bağlanma olabilmesi için katyonik bir polimer yapısı gereklidir. Çünkü kil yapıları genellikle negatif yüklü mineral yapılardır. Bu şekilde katyonik polimer uçlar kil yüzeye tutunum sağlayacaktır.

Nötral polimerler için bağlanma modeli kil yüzeyindeki kristal suyun absorplanması mekanizması ile açıklanır. Polimerik yapı ile kil arasında entropi farkından kaynaklı bir su geçişi gerçekleşir ve bu bir bağlanma enerjisi açığa çıkarır (Theng, 1982; Zydex, 2017).

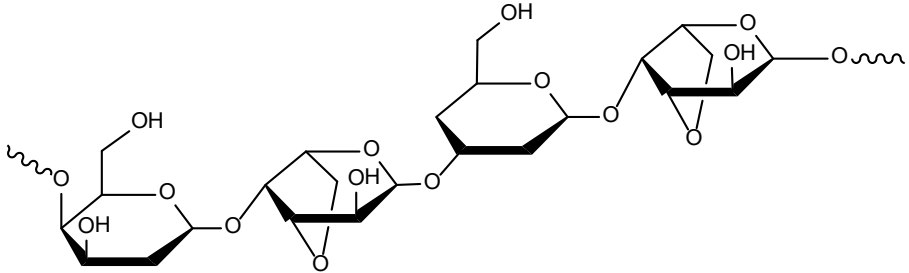


Şekil 8. Nötral Terrasil Polimer Yapısının Kristal Suyu İlişkisi

Anyonik polimer yapıları ise elektrostatik bağlanmadan çok uzun kuyruk hidrokarbon yapıları sayesinde interparticle köprü efekti oluştururlar. Anyonik polimerin uygun pH ortamında fonksiyonel kolları kil ile interkolasyon yaparak mekanik tutunum sağlar (Roberts, Kowalewska, & Friberg, 1974).

## 2.2. Biyopolimerler

Biyopolimerler canlı yapılar tarafından sentezlenen polimerik moleküllerdir. Mikrobiyal olarak indüklenmiş polimer türleridir ve zemin – yapı stabilizasyonunda yeni dönemde sıklıkla çalışılan konulardandır. Kimyasal olarak sentezlenme işlemini son kullanıcı için mikrobiyal yapılar üstlenir. En geniş kullanılan biyopolimer sınıfı polisakkaritlerdir. Agar, fuer, gellan gum gibi türleri, beta gluklan gibi poli sakkaritler gıda sektöründe bile katkı maddesi olarak kullanılabilir derecede çevre dostu polimerik yapılardır. Şekil 9 da görüldüğü gibi bu polimerik yapılar halkalı organik polimerik dizgilerdir (Mudgil, Barak, & Khatkar, 2014; Osmalek, Froelich, & Tasarek, 2014).



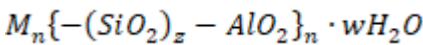
Şekil 9. Bir Biyopolimer Örneği Olarak Agar Yapısı

Bu sınıfa ait craft lignin, lignosülfanat, hidrorilze edilmiş lignin polimerleri vardır. Polisakkaritlerden agar sakızı, guar sakızı, kantan sakızı, gellan sakızı, beta gulukan ve sodyum aljinat biyopolimerlere verilebilecek örneklerdir. (Chen, 2004)

Bu biyopolimerler üzerlerinde taşıdıkları fonksiyonel gruplar vasıtasıyla zemin taneleri ile hidrojen bağları kurarak bağ yaparlar. Kum tanelerini sararak yapıyı geçirimsiz kılarlar.

## 2.3. Geopolimerler

Puzolanların, silisli veya silis-alüminli amorf yapıların oluşturduğu polimerik zincir yapılardır. Ortamdaki hidroksit yapıları ile bağlayıcılık özelliği kazanırlar. Amorf yapıdaki silika ve alümina zengini malzemelerin alkali ortamda aktivasyonu ile aluminosilikat zincir yapılar oluşur. Alkalizasyon sonucu tetrahedral poli silikat Si-O-Al-O veya silikat silokso (-Si-O-Al-O-Si-) ya da sialat sisilokso (-Si-O-Al-O-Si- O-Si-O-) mer yapısındadırlar (Davidovits, 2002).



Geopolimerlerde Genel Yapı Formülü

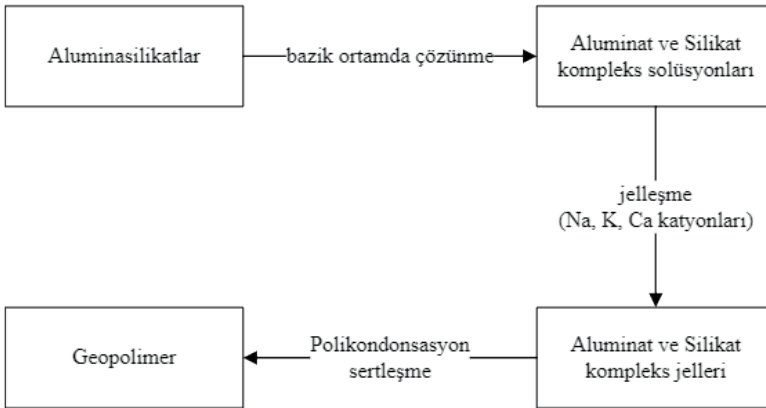
Genel yapı formülü verilen geopolimerlerde M ile belirtilen metal yapı  $K^+$   $Na^+$   $Ca^{2+}$  gibi alkali kanyonlardır. Z katsayısı Si/Al ekivalent oranı olarak ta-

nımlanır. Bu oran birden küçük olabildiği gibi 300 den de büyük olabilir.  $z < 1$  için geopolimer kırılğan yapıdadır.  $1 < z < 3$  için yine kırılğan çapraz bağlı seramik yapılar oluşur.  $z > 3$  iken iki boyutlu tabakalar halinde liner bağlarla yapışkan bir formdadır. Son olarak  $z > 15$  için ise elastik form kazanılır. (Zhang, He, & Gambrell, 2010)

Uçucu küller, yüksek fırın cürufırları, silika tozu, volkanik kül, volkanik tuf, volkanik cam, pişmiş kil diatomitler, metakaolin silis açısından zengin malzemelerdir. Ortamdaki kireç ile puzolanik reaksiyon verirler, bunun dışında alkalizasyon için NaOH veya KOH gibi kuvvetli bazlar da kullanılabilir.

### 2.3.1. Geopolimerlerin Zeminde İyileştirme Mekanizması

Geopolimerlerin bağlanma mekanizması tamimiyle alümina silika bağlanma modeli üzerine kuruludur. Amorf haldeki silika ve alümina inorganik yapıları yine topraktaki diğer koordinasyona katılabilecek inorganik moleküllerle de bağlanarak polimerik makro moleküller oluştururlar. Zaten zemin yapılarının da yine önemli bir kısmını bu silikatlar ve alüminatlar oluşturduğundan, alkilik geopolimer oluşumunda zeminin ile bağlanma kolay ve muhtemeldir (Duxson et al., 2007). Polimer ile zeminin bağlanma şekli birkaç basamakta gerçekleşir. İlk olarak alümina ve silika yapılarının çözünmesi ve poli-kondansasyonu başlar. Oluşan reaksiyon alümina ve silikanın çözgündeki konsantrasyonları oranınca peşi sıra zincirsel bağlanmalarıdır. Reaksiyonun ilerleyebilmesi için bazik ortam başlatıcıları ile mümkündür. Yüksek alkali ortamda çözünen 4 koordine silikat iyonları ile 5 veya 6 koordine alümina yapıları 4 koordinasyona indirgenerek tetrahedral geometride birleşmeye başlar. Yeni oluşan 4 koordine yapıda alkalilerden gelen köşe oksijen atomları üzerinden yapı kendini tekrarlayarak polimerik zincir yapısına bürünür. Çözelti doygunluğa ulaştıkça bir alüminosilikat jeller oluşur. Denge durumunda alümina silikatlar yeteri kadar büyüyerek çökelmeye başlar.



Şekil 10. Geopolimerizasyon Şeması



Yapıya katılan  $\text{Na}^+$   $\text{Ca}^+$   $\text{K}^+$  gibi katyonik yapıların varlığına göre oluşan geopolimerler N-A-S-H (sodyum alümina silikat hidrat jeli) veya C-S-H (kalsiyum silikat hidrat) yapıları oluşturur. Bu iki kristal örgü geopolimer yapılar birbirlerini destekleyerek bağlanmalarını arttırmırlar (Fernández-Jiménez & Palomo, 2009; Huang et al., 2021).

Zemin stabilizasyonu için çimento esaslı bir bağlayıcı kullanmak istendiğinde yapının ince taneli oluşu iyileştirmede verimliliği arttırmaktadır. Yüksek kil oranı ve sülfatlı topraklarda çimento bazlı bağlayıcıların iyileştirilmede kullanımı verimliliği düşürür. Kireçli stabilizasyonda ise yüksek kil oranlı topraklarda iyi sonuçlar alınmaktadır (Tan, Zahran, & Tan, 2020).

### 3. Zemin – Katkı Polimer İlişkisi

Zemin-Polimer ilişkisinin irdeleneceği bu bölümde literatürde bulunan konu kapsamındaki çalışmalardan örnekler sunulmaktadır. İnşaat sektöründe, zemin iyileştirme amacı ile katkı maddesi olarak kullanılan polimerlerin, zeminin taşıma gücünü arttırması, oturma, geçirimsizlik gibi değerlerini azaltması ve benzeri geoteknik özelliklerinde değişiklikler meydana getirmesi hedeflenir. Ancak yapılan çalışmalarda, polimerlerin çevre koşulları gereği farklı hedefler ile de kullanılabilirdiği görülmektedir. Örneğin, zemin iyileştirme amacı ile yapılan bir çalışmada: Kuzey Afrika’da verimliliği arttırmak adına, kuru ve yarı doymun toprakların su tutma kapasitelerinin arttırılması hedeflenmiştir. Çalışmada, bitki liflerinden düşük konsantrasyonda biyopolimerler ve sentetik plastik polimerler kullanılmıştır. Yapılan araştırmada, zemine karıştırılan polistiren, poliakrilamid; selüloz ve poliakrilamid polimerlerinin özellikleri incelenmiş, yapıları viskozite, IR spektroskopisi, X-ışını Difraktometrisi, termal analiz (TG ve DSC) ve SEM analizleri ile karakterize edilmiştir. Sonuçlar, topraktaki polimer kompozitlerin (10 mg/L Poliakrilamid ve 0,5g/L Selüloz), aynı konsantrasyonda başka herhangi bir polimer uygulamasına kıyasla, kuru zeminlerdeki su tutma kapasitesini % 60 oranında arttırabileceğini göstermiştir (Maghchiche, Haouam, & Immirzi, 2010).

Kum zeminin dayanım değerlerini arttırmak amacı ile yapılan bir çalışmada ise, polietilen glikol (PEG)/nano ve kireç karışımlarının etkileri araştırılmıştır. Elde edilen geoteknik deney sonuçları, PEG ve nano kireç katkılarının bir ajan gibi davrandığını ve kumun mekanik özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir (Zimbaro, Ercoli, Mistretta, Scaffaro, & Megna, 2020). Farklı monomer tiplerine sahip bir kaolinit ve vinil polimer karışımının araştırıldığı başka bir çalışmada ise sentezlenmiş poli(stiren-ko-bütül akrilat) ve poli(metil metakrilat-ko-bütül akrilat) dahil olmak üzere kimyasal işlem için üç polimer ve bir ticari polivinil asetat seçilmiştir. Tüm bu polimerlerin ortak özelliği, benzer camsı geçiş sıcaklığına ( $T_g$ ) sahip olmalarıdır. Hazırlanan numuneler üzerinde Atterberg limitleri, serbest basınç dayanımı, kesme kutusu, ödometre gibi geoteknik deneylerinin yanında taramalı elektron mik-

roskobu (SEM) analizi gibi bir dizi laboratuvar testi yapılmıştır. Deneysel çalışma sonuçlarına göre, zeminin mikro yapısında değişiklikler olduğu ve tüm monomer türleri ile kilin kesme mukavemeti parametrelerinde önemli artışlar meydana geldiği savunmaktadır. İlginç bir veri olarak; üç stabilizatör arasında en yüksek dayanım artışı polivinil asetat ile stabilize edilmiş numunelerden elde edilmekle birlikte, şişme parametreleri açısından en olumsuz değerler de yine bu karışımdan elde edilmiştir. Başka bir tabir ile, zemin iyileştirme açısından istenilen bir özellik olarak dayanım artışı gerçekleşmiş ancak istenilenin tam tersi şekilde zeminin şişme değerleri artmıştır. Bunun yanında, poli (metil metakrilat-ko-bütül akrilat) ile stabilize edilmiş numuneler, şişmeyi azaltmada da zeminin mukavemet özelliklerini arttırmada da iyi performans göstermiştir (Ghasemzadeh, Mehrpajouh, & Pishvaei, 2021).

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, zemin stabilizasyonunda polimer katkıların kullanımı konusuna dair bilgi verilmektedir. Konu oldukça geniş kapsamlı olmakla beraber, bu çalışmada zemin stabilizasyonu nedir, niye yapılır ve zemin stabilizasyonunda kullanılan polimerlerin genel olarak yapısı nasıldır sorularına cevap verilmeye çalışılmıştır.

İnsan nüfusundaki artış, yerleşim alanlarının belirli bölgelere yığılma eğilimde olması, yol ağlarının çok geniş bir alana yayılmış olması gibi etmenler zemin iyileştirme konusunu gün geçtikçe daha ön plana çıkarmaktadır. Zemin stabilizasyonunda geleneksel olarak çimento ve kireç gibi inşaat malzemeleri kullanılmaktadır. Ancak, yapılan araştırmalar bu malzemelerin gerek çevresel açıdan gerek maliyet açısından pek uygun özellikler taşımadığını göstermektedir. Bu sebeple, daha çevre dostu ve daha ekonomik olan polimerlerin zemin stabilizasyonunda kullanımı konusu gün geçtikçe daha ön plana çıkmaktadır. Bu açıdan, çalışmadaki bilgilerin konu ile ilgili yapılan araştırmalara katkı sunacağı umulmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Aderinola, O. S., & Nnochiri, E. S. (2017). Stabilizing Lateritic Soil Using Terrasil Solution. *Selected Scientific Papers - Journal of Civil Engineering*, 12(1), 19–28. Retrieved from <https://doi.org/10.1515/sspjce-2017-0002>
- Aksoy, H. S., & Bilgen, G. (2022). Mühendislik Alanında Teori ve Araştırmalar. In C. Özalp & N. Akçakale (Eds.), *Kohezyonsuz Zeminlerde İyileştirme Yöntemleri* (pp. 51–70). İstanbul: Serüven Yayınevi. Retrieved from [www.seruvenyayinevi.com](http://www.seruvenyayinevi.com)
- Aksoy, H. Ş., & Gör, M. (2017). High-Speed Railway Embankments Stabilization By Using a Plant Based Biopolymer. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(12), 7626–7633. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/321919319>
- ASTM Standard D2487-06. (2020). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. Retrieved 17 August 2023 from DOI: 10.1520/D2487-17
- ASTM Standart D1883-14. (2014). *Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils*. Retrieved from 10.1520/D1883-14
- Ayeldeen, M., & Kitazume, M. (2017). Using fiber and liquid polymer to improve the behaviour of cement-stabilized soft clay. *Geotextiles and Geomembranes*, 45(6), 592–602. Retrieved from <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geotextmem.2017.05.005>
- Bilgen, G. (2020a). Geri Dönüştürülmüş Beton Agregasının Düşük Plastisiteli Bir Kilin Mekanik Özelliklerine Etkisi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(3), 1714–1719. Retrieved from <https://doi.org/10.21597/jist.685938>
- Bilgen, G. (2020b). Utilization of Powdered Glass as an Additive in Clayey Soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38(3), 3163–3173. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10706-020-01215-7>
- Bilgen, G. (2020c). Utilization of powdered glass in lime-stabilized clayey soil with sea water. *Environmental Earth Sciences*, 79(19), 437. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09195-w>
- Bilgen, G. (2022). Long-term compressive strength and microstructural appraisal of seawater, lime, and waste glass powder-treated clay soils. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(9), 895. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10167-6>
- Bilgen, G., & Altuntas, O. F. (2023). Sustainable re-use of waste glass, cement and lime treated dredged material as pavement material. *Case Studies in Construction Materials*, 18. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01815>
- Bilgen, G., Kavak, A., & Faruk Çapar, Ö. (2012). Düşük Plastisiteli Bir Kilde Katkı Olarak Çelikhane Curufunun Kullanılması ve Kireç ile Etkileşimi. *Karaelmas Science and Engineering Journal*, 2(2), 30–38. Retrieved from <http://>

- Brydson, J. A. (1999). Poly(vinyl acetate) and its Derivatives. In J. A. Brydson (Ed.), *Plastics Materials* (Seventh Ed, Vol. 7, pp. 386–397). Oxford: Elsevier. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-4132-6.50077-2>
- Chen, B. (2004). Polymer-clay nanocomposites: An overview with emphasis on interaction mechanisms. *British Ceramic Transactions*, 103(6), 241–249. Retrieved from <https://doi.org/10.1179/096797804X4592>
- Davidovits, J. (2002). 30 Years of Successes and Failures in Geopolymer Applications. Market Trends and Potential Breakthroughs. In *Geopolymer 2002 Conference* (pp. 1–16). Melbourne, Australia. Retrieved from [www.geopolymer.org](http://www.geopolymer.org)
- Duxson, P., Fernández-Jiménez, A., Provis, J. L., Lukey, G. C., Palomo, A., & van Deventer, J. S. J. (2007). Geopolymer technology: the current state of the art. *Journal of Materials Science*, 42(9), 2917–2933. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10853-006-0637-z>
- Fernández-Jiménez, A., & Palomo, A. (2009). Nanostructure/microstructure of fly ash geopolymers. In *Geopolymers* (pp. 89–117). Elsevier. Retrieved from <https://doi.org/10.1533/9781845696382.1.89>
- Ghasemzadeh, H., Mehrpajouh, A., & Pishvaei, M. (2021). Laboratory analyses of Kaolinite stabilized by vinyl polymers with different monomer types. *Engineering Geology*, 280. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105938>
- Gu, B., & Doner, H. E. (1992). The Interaction of Polysaccharides with Silver Hill Illite. *Clays and Clay Minerals*, 40(2), 151–156. Retrieved from <https://doi.org/10.1346/CCMN.1992.0400203>
- Huang, J., Kogbara, R. B., Hariharan, N., Masad, E. A., & Little, D. N. (2021, October 25). A state-of-the-art review of polymers used in soil stabilization. *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124685>
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2013). *Karayolu Teknik Şartnamesi*. Retrieved from Ankara:
- Liu, J., Feng, Q., Wang, Y., Bai, Y., Wei, J., & Song, Z. (2017). The Effect of Polymer-Fiber Stabilization on the Unconfined Compressive Strength and Shear Strength of Sand. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017. Retrieved from <https://doi.org/10.1155/2017/2370763>
- Liu, J., Qi, X., Zhang, D., Feng, Q., Wang, Y., & Kanungo, D. P. (2017). Study on the Permeability Characteristics of Polyurethane Soil Stabilizer Reinforced Sand. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017. Retrieved from <https://doi.org/10.1155/2017/5240186>
- Maghchiche, A., Haouam, A., & Immirzi, B. (2010). Use of polymers and biopolymers for water retaining and soil stabilization in arid and semiarid regions. *Journal of Taibah University for Science*, 4(1), 9–16. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/s1658-3655\(12\)60022-3](https://doi.org/10.1016/s1658-3655(12)60022-3)
- Mudgil, D., Barak, S., & Khatkar, B. S. (2014). Guar gum: Processing, properties and

- food applications - A Review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(3), 409–418. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0522-x>
- Ohara, T., Sato, T., Shimizu, N., Prescher, G., Schwind, H., Weiberg, O., & Marten, K. (2003). Acrylic Acid and Derivatives. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (pp. 1–21). Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Retrieved from [https://doi.org/10.1002/14356007.a01\\_161](https://doi.org/10.1002/14356007.a01_161)
- Optima Soil. (2023). ZYCOBOND. Retrieved 12 August 2023, from <https://www.optimasoil.com/en/zycobond/>
- Osmalek, T., Froelich, A., & Tasarek, S. (2014). Application of gellan gum in pharmacy and medicine. *International Journal of Pharmaceutics*, 466(1–2), 328–340. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2014.03.038>
- Padmavathi, V., Nirmala Peter, E. C., Rao, P. N., & Padmavathi, M. (2019). Stabilization of Soil Using Terrasil, Zycobond and Cement as Admixtures. In *Sustainable Civil Infrastructures* (pp. 163–170). Springer Science and Business Media B.V. Retrieved from [https://doi.org/10.1007/978-3-030-01917-4\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01917-4_13)
- Roberts, K., Kowalewska, J., & Friberg, S. E. (1974). The influence of interactions between hydrolyzed aluminum ions and polyacrylamides on the sedimentation of kaolin suspensions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 48, 361–367. Retrieved from <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:95781430>
- Shirahatti, P. N., Kallimani, P. M., & Rajashekhar, M. S. (2016). Application of Geo-Textile and Terrasil Chemical to Reduce Permeability of Soil. *International Journal for Scientific Research & Development*, 4(6), 349–351.
- Soltani-Jigheh, H., Bagheri, M., & Amani-Ghadim, A. R. (2019). Use of hydrophilic polymeric stabilizer to improve strength and durability of fine-grained soils. *Cold Regions Science and Technology*, 157(November 2018), 187–195. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2018.10.011>
- Tan, E. H., Zahran, E. M. M., & Tan, S. J. (2020). A review of chemical stabilisation in road construction. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 943). IOP Publishing Ltd. Retrieved from <https://doi.org/10.1088/1757-899X/943/1/012005>
- Theng, B. K. G. (1982). Clay-Polymer Interactions: Summary and Perspectives. *Clays and Clay Minerals*, 30(1), 1–10. Retrieved from <https://doi.org/10.1346/CCMN.1982.0300101>
- Zhang, G., He, J., & Gambrell, R. P. (2010). Synthesis, Characterization, and Mechanical Properties of Red Mud-Based Geopolymers. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2167(1), 1–9. Retrieved from <https://doi.org/10.3141/2167-01>
- Zimbaro, M., Ercoli, L., Mistretta, M. C., Scaffaro, R., & Megna, B. (2020). Collapsible intact soil stabilisation using non-aqueous polymeric vehicle. *Engineering Geology*, 264. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105334>
- Zydex. (2017). Terrasil. Retrieved 12 August 2023, from <https://www.vantage-commerce.com/>



# ***Bölüm 6***

## **HARMONİK BİLEŞENLER İÇEREN GÜÇ SİSTEMİNDE PARALEL REZONANSIN ANALİZİ\***

*Suleyman ADAK<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Dr.Öğr.Üyesi Süleyman Adak, Mardin Artuklu Üniversitesi, MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Mardin, Turkey [suleymanadak@yahoo.com](mailto:suleymanadak@yahoo.com), ORCID:0000-0003-1436-2830

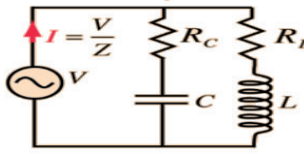
\* Enerji sistemlerinde Harmonik Distorsiyunun azaltılması Supervisor:Prof Dr.Celal Kocatepe Yıldız Üniversitesi , Graduate School of Natural and Applied Sciences

## 1 GİRİŞ

Bobin ve kondansatörden oluşan devrede bobinin yarattığı endüktans, kondansatörün yarattığı kapasitansa matematiksel olarak eşit olması durumunda rezonans oluşur. Bu durumdaki frekansa ise rezonans frekansı denir ve aşağıdaki gibi ifade edilir;. Paralel rezonans besleme frekansındaki değişikliklerden etkilenir ve iki reaktif bileşenin (kapsitif ve endüktif) birbirini iptal ettiği bir frekans noktası vardır. Devrede bir rezonans frekans noktası vardır. Rezonans frekansı,

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

Formülü ile bulunur. Güç sistemlerinde paralel rezonans devreleri, kondansatör ve bobinin birbirine paralel olarak bağlanmasıyla oluşur. Şan devredir. Şekil 4.3'te paralel kondansatör ve bobin elemanlarına ek olarak devrenin zarar görmemesi için seri olarak bir direnç bağlanmıştır.



Şekil 1 Paralel rezonans devresi

$$\omega L = \frac{1}{\omega c} \quad (2)$$

Koşulu gerçekleştiğinde paralel rezonans oluşur. Rezonans frekansında maksimum empedans oluşur.

## 2 GÜÇ SİSTEM HARMONİKLERİ

Alternatif akım ve gerilimin dalga formunun şeklinin sinüsoidal olması istenir. Ancak bu her zaman mümkün değildir. Harmonikler akım ve gerilimin sinüzoidal olan dalga formunu bozan, istenmeyen, frekansı değişmiş dalga şekillerine verilen adıdır. Bir direnç sahip bir AC devresinde akım ve gerilim sinüs formundadır. Yani, direnç boyunca akan akım, gerilimle doğru orantılıdır. Direncin doğrusal bir eleman olması nedeniyle ve buna uygulanan gerilim ve akım da sinüzoidal dalga şekline sahiptir.



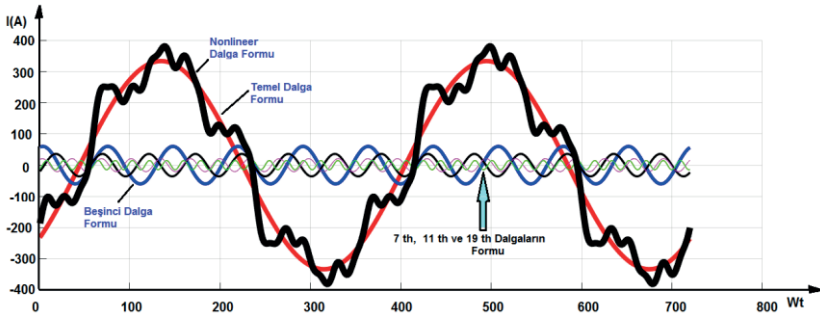
Güç elektroniği tabanlı cihazlar içlerinde kullanılan tristör diyot, gibi elemanlardan dolayı gerilim-akım karakteristiği çoğu zaman lineer değildir. Dalganın şekli ideal sinüsten farklı olabilir. Bu tip dalga şekillerine sinüzoidal olmayan dalga formuna nonlinear dalgalar da denir.

Ayrıca, doğrultucular, SCR'ler, transistör, konverterler, solid state anahtarlar gibi güç kaynağının sinüs dalga şeklini kıyan veya AC'yi DC'ye dönüştüren cihazlar da nonlinear bir karakteristiğe sahiptirler. Frekans 1 periyotaki dalga sayısı demektir. (1 saniyede oluşan döngü sayısı) Türkiye'de kullanılan frekans 50Hz'ken Amerika'da 60Hz'dir. Harmonikler, temel frekansın katları olan frekanslarda çalışan akım ve gerilimlerdir. 50Hz.'i temel frekans yani birinci harmonik olarak düşünürsek 100Hz'i (2x50Hz) ikinci harmonik, 150Hz'i (3x50Hz) üçüncü harmonik, 250Hz'i beşinci harmonik, 350Hz'i yedinci harmonik olarak adlandırabiliriz.

Bir pozitif harmonik (4, 7, 10,...) temel frekansla aynı dönüş yönündedir. Negatif bir harmonik ise (2., 5., 8,...) temel frekansla ters dönüş yönündedir. Pozitif harmonikler, iletkenlerin, güç hatlarının ve transformatörlerin aşırı ısınmasına neden oldukları için istenmemektedirler. Güç sistemindeki nonlinear karakteristikli akım formu aşağıda verildiği gibidir.

$$i(\omega t) = 333 \sin(\omega t - 45) + 60 \sin(5\omega t + 70) + 36 \sin(7\omega t - 40) + 21 \sin(11\omega t + 50) + 15 \sin(19\omega t - 70) \quad (3)$$

Bu dalga formuna ait grafik Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2 Nonlinear dalga formu ile harmonik bileşenleri

Filtrenmeleri gerekir. Diğer taraftan negatif harmonikler ise özellikle endüksiyon motorlarının gerektirdiği döner manyetik alanı zayıflatırlar ve daha az mekanik moment üretmelerine sebep olurlar. 3'ün katları şeklinde olan harmonikler ise AC 3 fazlı sistemlerde 120 derece faz farkı bulunduğu için 3. harmoniğin frekansındaki akımlar aynı fazda bulunmaktadır. 120 derece faz farkında bu akımların vektörel toplamı birbirini dengelerken aynı fazda olan akımlar arasında 0 faz farkı olur ve birbirinin üzerine eklenerek 3 kat fazla akıma sebep olurlar ve devrelerini nötr üzerinden tamamlarlar ve nötr iletkenin ısınmasına neden olurlar.

Bu sebeple 3. harmonikten dolayı nötr hattından 3 kat fazla bir akımın akmasına neden olurlar. Bu da hatta ilave kayıplara ve hatta arızalara sebep olmaktadır. Bu durum sekonderi yıldız bağlı transformatör sistemlerinde gözüktür. Transformatörün üçgen tarafında 3. dereceden harmonikler şebekeye geçmiyip sargılar içerisinde tutulurlar. Bu durum da kullanıcı tarafında bir problem oluşturmaya da hattı besleyen transformatörde için ilave ısı ve kayıplar oluşur.

#### **Harmonik bileşen oluşturan kaynaklar:**

- Kesintisiz güç kaynakları (UPS).
- Hız kontrol cihazları (Frekans konvertörleri)
- Redresör ve akü şarj cihazları (Doğrultucular)
- Bilgisayarlar
- Transformatörler (mıknatıslanma akımı nonlineer karakteriği vardır)
- Üç ve bir fazlı motorlar
- Ark fırınları
- Kaynak makineleri (içinde doğrultucular bulunmaktadır.)
- Endüksiyon ocakları
- Lineer olmayan güç elektroniği tabanlı cihazlar
- Elektronik balastlar

#### **Harmoniklerin elektrik tesislerinde zararları:**

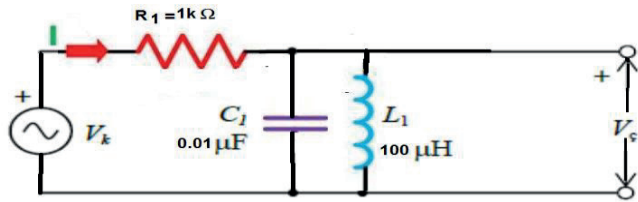
- Şebeke gerilim ve akımın dalga formunun bozulması
- Elektrik tesislerinde gerilim düşmeleri
- Yüklerde kayıpların oluşması
- Nötr akımının artması (üç ve üçün katı harmonik bileşenlerin nötrde devrelerini tamamlamaları)
- Kompanzasyon sistemlerinin aşırı reaktif yüklenmesi, kondansatörlerin güç kaybetmesi ve kondansatörün delinmesi
- Motorlarda ve kablolarda aşırı ısınma
- Motorlarda ve makinelerde vibrasyon ve mekanik stress

- Ölçme cihazlarının yanlış ölçüm yapması, arızalanması, ömürlerinin kısalması.
- Devre kesicilerin zamansız yanlış açması
- Enerji jüll kayıpları
- Cihazların izolasyonlarında bozulmalar
- Haberleşme cihazlarında parazitlerin oluşumu

Nonlineer yükler genellikle harmoniklerin bileşenler üretir birer kaynağıdır. Harmonik bileşenler, motor arızalarından aşırı yüklenmiş transformatörlere ve iletkenlere, kondansatörlerde çeşitli sorunlara neden olabilir. Harmoniklerin neden olduğu sorunların başlıcalarından biri güç faktörü (PF) üzerindeki etkisidir. Bu nedenle, gerçek güç faktörü hesabı yapılırken toplam harmonik bozulma (THD) da göz önünde bulundurulması gerekir. Düşük PF'de kalite açısından düzeltilmesi gereken en önemli problemlerden biridir. Toplam harmonik bozulma gerilim için ( $THD_v$ ) ve akımın toplam harmonik bozulması ( $THD_i$ ) değeri arttıkça PF değeri olması gereken değerden daha aşağı düşmektedir.

### 3 PARALEL REZONANS

Cebirsel bir ifade ile bobin ve kondansatörden oluşan devrede bobinin yarattığı endüktans, kondansatörün yarattığı kapasitansa matematiksel olarak eşit olması durumunda devrede rezonans oluşur. Rezonans frekansında devrede akım ve gerilim en yüksek değerini alırlar. Paralel rezonans bir kondansatörle bir bobinin paralel bağlanmasından elde edilir.



Şekil 3 Paralel rezonans devresinin prensip şeması

Bu devrede toplam empedans şu şekilde hesaplanır.

$$\frac{1}{Z_{Toplam}} = j\omega C + \frac{1}{j\omega L} + \frac{1}{R} \quad (4)$$

Bir  $f_0$  frekans değeri için reaktif terim sıfır olur ve devrenin toplam empedansı tamamen dirençsel olur. Bu durum paralel rezonans olarak adlandırılır. Reaktif terimi sıfır yapan frekans değeri hesaplanırsa rezonans frekansı (8) eşitliği ile hesaplanır.

% paralel rezonansı bulan program%

```

clc;
clear all;
close all;
r=input('Resistance(R) =');
l=input('Inductance(L) =');
c=input('Capacitance(C) =');
v=input('Voltage =');
f=5:75;
xl=2*pi*f*l;
xc=(1./(2*pi*f*c));
x=xl-xc;
bl=1./xl;
bc=1./xc;
b=bl-bc
g=1/r;
y=sqrt((g^2)+(b.^2));
i=v.*y;
%plotting the graph%
subplot(2,2,1);
plot(f,bl);
grid;
xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('BL');
subplot(2,2,2);
plot(f,bc);
grid;
xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('BC');
subplot(2,2,3);
plot(f,y);
grid;
xlabel('Frequency(Hz)');

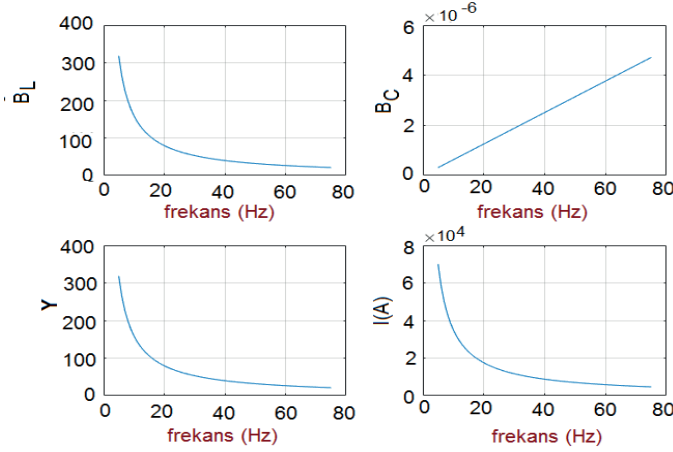
```

```

ylabel('Y');
subplot(2,2,4);
plot(f,i);
grid;
xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('I(A)');

```

Programın çalıştırılması sonucunda Şekil 4'teki eğriler elde edilir.



Şekil 4 Rezonan anında akımın, admitansın, kapasitif ve endüktif süseptans değişimi

Güç sisteminin parakek rezonansı,

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (5)$$

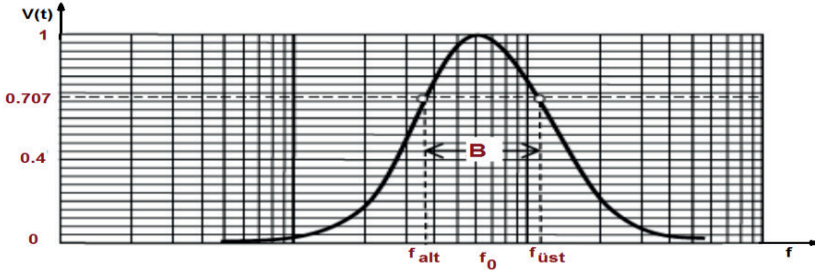
olarak bulunur. Rezonans frekansında akım ve gerilim en yüksek değerini alır ( $V_{max}$ ) frekansa Rezonans frekansının altında ve üstünde gerilimin en yüksek değerinin ( $V_{max}$ ) 0.707'sine düştüğü (gücün yarıya düştüğü) frekanslar alt kesim ve üst kesim frekansı olarak adlandırılır. Bu iki frekansın farkına rezonans devresinin frekans bant genişliği denir. Paralel rezonans devresinin frekans bant genişliği (B) ve kalite faktörü (Q) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$B = f_{üst} - f_{alt} \quad (6)$$

Kalite faktörü,

$$Q = \frac{f_0}{B} = 2\pi f_0 CR \quad (7)$$

Formülü ile hesaplanır. Rezonans devreleri, en temel fiziksel sistemlerden biri olan salınımlı sistemlerin elektrik alanında kullanılan örneklerine verilen adıdır. Güç elektroniğin etkinlik alanının olağanüstü genişlemesi ile telekomünikasyon sistemlerinde kullanılan çeşitli türden L-C filtreleri de rezonans olayından dolayı olarak yararlanan yapılar olarak önem kazanmıştır.

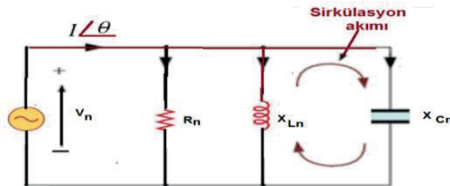


Şekil 5 Paralel rezonans devresinde gerilimin frekansa göre değişimi

Son on yıl içinde haberleşme sistemlerinde kullanılan frekansların GHz ler düzeyine yükselmiş olması ve bunun sonucu olarak gerekli olan endüktans değerlerinin nH ler mertebesine düşmesi, mobil sistemlerin gerektirdiği boyut sınırlamaları ve mikroelektronik teknolojisinde sağlanan gelişmeler bir arada, endüktansların tümdevre içinde gerçekleştirilmesi konusunu gündeme getirmiş, bunun sonucu olarak endüktanslar ve rezonans devreleri teknoloji gündeminde yeniden yer almıştır.

#### 4 HARMONİK BİLEŞEN İÇEREN DEVRELERDE PARALEL REZONANS

Harmönik bileşen içeren güç sistemlerinde paralel rezonans devresinin şeması aşağıda verildiği gibidir.



Şekil 6 n harmonik bileşen için paralel RLC devre eşdeğeri

Bir harmonik bileşendeki devrenin empedansı ve empedansın modül değeri,

$$Z_n = \frac{-jRX_LX_C}{R(nX_L - \frac{X_C}{n}) - jX_LX_C} \quad (8)$$

formülü ile bulunur. Empedansın genliği,

$$[Z_n] = \frac{RX_LX_C}{\sqrt{R(nX_L - \frac{X_C}{n})^2 + (X_LX_C)^2}} \quad (9)$$

şeklinde bulunur. Rezonans durumunda ( $n=n_1$ ) reaktans değeri,

$$X_r = n_r X_L = \frac{X_C}{n} \quad (10)$$

ile belirlenir. Bunun sonucunda rezonanstaki harmonik mertebesi,

$$n_r = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} \quad (11)$$

şeklinde bulunur. Rezonans halinde endüktans ve kondansatörün reaktansları çarpımı,

$$X_r^2 = \frac{X_C}{n} nX_L = \frac{L}{C} \quad (12)$$

olarak elde edilir. Buradan rezonanstaki endüktansın ve kondansatöre ait reaktans,

$$X_r = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (13)$$

şeklinde bulunur. Paralel rezonans esnasında devrenin empedansı,

$$Z=R \quad (14)$$

Olup sadece dirençten oluşur. Burada sonuç olarak Q kalite faktörü,

$$Q = \frac{R}{X_r} \quad (15)$$

olur. Bu devrede en önemli büyüklük kondansatör üzerinden geçen akım değeridir. Çünkü harmonik frekansı yükseldikçe reaktansın azalması nedeni ile

kondansatör üzerinden geçen akım büyür. Bunun sonucunda kondansatör aşırı yüklenir. Tek fazlı devrede kaynak gerilimi,

$$V_n < 0^0 \quad (16)$$

olması durumunda kondansatörün temel frekanstaki akımı,

$$I_{C1} = \frac{Q_{C1}}{V_n} \quad (17)$$

Olarak yazılır. Reaktif güç ( $Q_{C1}$ ) kullanılarak bulunur. Kondansatörün harmonik bileşen akımı,

$$I_{Cn} = \frac{V_{Cn}}{-jX_{Cn}} = jn \frac{V_{Cn}}{X_{C1}} \quad (18)$$

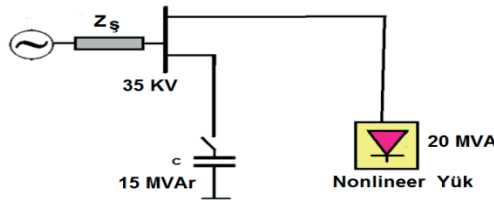
İfadesi ile bulunur.

## 5 SAYISAL UYGULAMA

Nonlineer yükleri bulunan Şekil 8'deki bir tesisin bara gerilimi 35KV tur. Bu baranın başlangıç kısa devre gücü  $S_k=300$  MVA'dır. Baraya 20MVA gücünde 6 darbeli bir konverter ile kompanzasyon amaçlı 15 MVAr lik kondansatör grubu bağlanmıştır. Harmonik bileşen akımlarının temel bileşen akımına oranları Tablo 1'de verilmiştir. Güç sistemini rezonans bakımından inceleyin. (Şebeke eşdeğer empedansında direnç ihmal edilecektir.)

### ÇÖZÜM:

Güç sisteminin prensip şeması Şekil 1'de verildiği gibidir.



Şekil 7. Güç sisteminin prensip şeması

Şebeke reaktansı,



$$X_s = \frac{1.1V_N^2}{S_K''} = \frac{11.35^2}{300} = 4.49 \Omega$$

Kompanzasyon tesisi reaktansı,

$$X_K = \frac{V_N^2}{Q_C} = \frac{35^2}{15} = 81.666 \Omega$$

$$n_r = \sqrt{\frac{X_C}{X_s}} = \sqrt{\frac{81.666}{4.49}} = 4.26$$

Şebekeden çekilen akım,

$$I_s = I = \frac{S}{\sqrt{3}V_n} = \frac{20 * 10^8}{\sqrt{3}3510^3} = 330 A$$

Kondansatöre ait temel bileşen akımı,

$$I_{C1} = \frac{Q_C}{\sqrt{3}V_N} = \frac{15 * 10^3}{\sqrt{3}35} = 247.43 A$$

Olarak bulunur.

Tablo 1 Konvertere akımının temel bileşen akımına oranı

$I_5/I_1$	%20
$I_7/I_1$	%15
$I_{11}/I_1$	%9
$I_{13}/I_1$	%6

Konverterin akım harmonik bileşenleri,

$$I_5 = 330 * 0.18 = 66 A$$

$$I_7 = 330 * 0.11 = 49.5 A$$

$$I_{11} = 330 * 0.065 = 29.7 \text{ A}$$

$$I_{13} = 330 * 0.045 = 19.8 \text{ A}$$

olarak bulunur.



Şekil 8. Beşinci harmonik bileşen için eşdeğer devre

Her harmonik bileşen için kondansatör akımını hesaplayalım. İlk olarak 5 th harmonik için eşdeğer devreyi kullanalım. Beşinci harmonik bileşen için şebeke reaktansı,

$$X_{S5} = 5X_S = 5 * 4.49 = 22.45 \Omega$$

Olarak bulunur. Beşinci harmonik bileşen için kondansatör reaktansı,

$$X_{C5} = \frac{X_C}{5} = \frac{81.666}{5} = 16.33 \Omega$$

Olarak bulunur. Beşinci harmonik bileşen için toplam reaktans değeri,

$$X_{T5} = \frac{j22.45(-j16.33)}{j22.45 - j16.33} = \frac{366.608}{j6.12} = -j60 \Omega$$

Şeklinde bulunur. Buradan beşinci harmonik gerilimi,

$$V_5 = 66.60 = 3960 \text{ V}$$

olur. Kondansatör 5. Harmonik akımı,

$$I_{C5} = \frac{V_5}{X_{C5}} = \frac{3960}{16.33} = 242.5 \text{ A}$$

bulunur. Benzer işlemleri diğer harmonik bileşenler için gerçekleyelim. 7 harmonik bileşen için eşdeğer devre,



Şekil 9. Yedinci harmonik bileşen için eşdeğer devre

Yedinci harmonik bileşen için şebeke reaktansı,

$$X_{S7} = 7X_S = 7.4.49 = 31.43 \Omega$$

Olarak bulur. Yedinci harmonik bileşen için kondansatör reaktansı,

$$X_{C7} = \frac{X_C}{7} = \frac{81.666}{7} = 11.66 \Omega$$

Yedinci harmonik bileşen için toplam reaktans,

$$X_{T7} = \frac{j31.43(-11.66)}{j31.43 - j11.66} = \frac{366,473}{j19.77} = -j18.53 \Omega$$

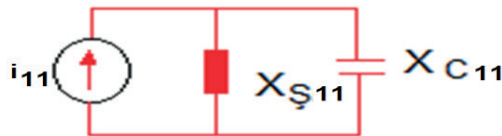
Yedinci harmonik bileşen için gerilim değeri,

$$V_7 = 49,5.18,53 = 917,24 V$$

Şeklinde bulunur. Kondansatörden akan yedinci harmonik bileşen akımı,

$$I_{C7} = \frac{V_7}{X_{C7}} = \frac{917.24}{11.66} = 78,66 A$$

Bulunur. 11. Harmonik bileşen için eşdeğer devre,



Şekil 10. Onbirinci harmonik bileşen için eşdeğer devre

Onbirinci harmonik bileşen için şebeke reaktansı,

$$X_{\zeta 11} = 11 \cdot X_{\zeta} = 11 \cdot 4,49 = 49,38 \ \Omega$$

bulunur. Onbirinci harmonik bileşen için kondansatör reaktansı,

$$X_{C11} = \frac{X_C}{11} = \frac{81,666}{11} = 7,42 \ \Omega$$

olarak bulunur. Toplam reaktans,

$$X_{T11} = \frac{j49,39 \cdot (-j)7,42}{j49,39 - j7,42} = -j8,73 \ \Omega$$

şeklinde bulunur. Onbirinci harmonik bileşen gerilimi,

$$V_{11} = 29,7,8,73 = 259,28 \ \text{V}$$

Olarak bulunur. Onbirinci harmonik bileşen için kondansatör akımı,

$$I_{C11} = \frac{V_{11}}{X_{C11}} = \frac{259,28}{7,42} = 34,94 \ \text{A}$$

Bulunur. 13 harmonik bileşen için eşdeğer devre,



Şekil 11. On üçüncü harmonik bileşen için eşdeğer devre

On üçüncü harmonik bileşen için şebeke reaktansı,

$$X_{\zeta 13} = 13 \cdot 4,49 = 58,37 \ \Omega$$

Olarak bulunur. On üçüncü harmonik bileşen için kondansatör reaktansı,

$$X_{C13} = \frac{X_C}{13} = \frac{81,666}{13} = 6,28 \ \Omega$$

On üçüncü harmonik bileşen için toplam reaktansı,

$$X_{T13} = \frac{j58.37(-j6.28)}{j58.37 - j6.28} = -j7.037 \Omega$$

Olarak bulunur. On üçüncü harmonik bileşen için gerilim değeri,

$$V_{13} = 19,8.7,037 = 139.33 V$$

Şeklinde bulunur. On üçüncü harmonik bileşen için kondansatör akımı,

$$I_{C13} = \frac{V_{13}}{X_{C13}} = \frac{139.33}{6.28} = 22,19 A$$

Tüm harmonik bileşenlerden kondansatörün toplam akımı.

$$I_{CT} = \sqrt{[I_{C1}^2] + [I_{C5}^2] + [I_{C7}^2] + [I_{C11}^2] + [I_{C13}^2]} \quad (19)$$

Sayısal karşılığını yazarsak,

$$I_{CT} = \sqrt{247.43^2 + 242.5^2 + 78.66^2 + 34.94^2 + 22.19^2} = 357,67 A$$

elde edilir. Aşırı akım oranı

$\frac{I_{C7}}{I_{C1}} = 1.45$  Görüldüğü gibi akan toplam akım temel bileşen akımının 1.45 katı olup sınır değeri aşmıştır. Bu devreyi rezonansa getirecek kompanzasyon değerleri şu şekilde bulunur.

$$Q_C = \frac{V^2}{X_C} \quad (20)$$

ve

$$n_r^2 = \frac{X_C}{X_S} \quad (21)$$

formüllerini kullanarak,

$$Q_C = \left(\frac{V}{n_r}\right)^2 \cdot \frac{1}{X_S} \quad (21)$$

Formülü devreyi rezonansa getirecek reaktif güç değeridir. Uydulamada bu güç değerlerinden kaçınmak gerekir. 5. harmonik bileşen için devreyi rezonansa getirecek reaktif güç değeri,

$$Q_{C5} = \left(\frac{35}{5}\right)^2 \cdot \frac{1}{4.49} = 10,91 \text{ MVA}r$$

7. harmonik bileşen için devreyi rezonansa getirecek reaktif güç değeri,

$$Q_{C7} = \left(\frac{35}{7}\right)^2 \cdot \frac{1}{4.49} = 5,56 \text{ MVA}r$$

11. harmonik bileşen için devreyi rezonansa getirecek reaktif güç değeri,

$$Q_{C11} = \left(\frac{35}{11}\right)^2 \cdot \frac{1}{4.49} = 2.25 \text{ MVA}r$$

13. harmonik bileşen için devreyi rezonansa getirecek reaktif güç değeri,

$$Q_{C13} = \left(\frac{35}{13}\right)^2 \cdot \frac{1}{4.49} = 1,514 \text{ MVA}r$$

Elde edilir. Kompanzasyon kademelerinin bu değerlere gelmesini önlenerek, söz konusu harmonik bileşenlerinde rezonans meydana gelmesine izin vermemek gerekir.

## 5 SONUÇ ve ÖNERİLER

Bir devrede kondansatör ve bobinden oluşuyorsa bu devreye rezonans devresi denir. Bu devre aktif durumda bobinin manyetik enerjisi periyodik olarak kondansatörün elektrik enerjisine dönüşür. Süreklilik arz eden bu durumun dönüşüm periyodu bobin ve kondansatör parametre değerleri tarafından tesbit edilir. Daha matematiksel bir ifade ile bobin ve kondansatörden oluşan devrede bobinin yarattığı endüktans, kondansatörün yarattığı kapasitansa matematiksel olarak eşit olması durumunda rezonans oluşur. Bu anki frekansa ise rezonans frekansı denir.

Paralel rezonans devre eğrisi seri rezonans devresi ile aynı olarak alt ve üst kesim frekansı ve kalite faktörü gibi parametrelerden etkilenir. Kesim frekansları ise yine direnç üzerine düşen maksimum genlik değerinin  $1/\sqrt{2}$  katı kadar olduğu noktalarındaki frekans değerleridir. Ama bu sefer maksimum gerilim genliği, rezonanstaki uzak frekansta gerilim değerinin hemen hemen sabit seyrettiği genlik olarak alınmaktadır.

Matlab/Simulink Power System Toolbox 'da benzetimi yapılan harmonikli yük bulunduran bir elektrik tesisinin güç katsayısının düzeltilmesi için devreye paralel sığaçlar eklenerek kompanzasyon yapılmasının mümkün olmadığı bir durum gösterilmiştir. 100kVAr 'lik sade sığaç grupları servis trafosunda 11. harmonikte paralel rezonans olayı meydana getirerek harmonik bozunumu arttırmış, deplasman güç katsayısı yükseltilirken gerçek güç katsayısı istenilen değere getirilememiştir. Tesislerde kullanılan gücü ölçen dijital sayaçlar aslında gerçek güç katsayısına göre ölçüm yapmaktadırlar. 100kVAr'lik sade sığaç grupları ile yapılan kompanzasyon sonucunda deplasman güç katsayısı ( $\cos\phi$ ) yaklaşık 1,00 iken gerçek güç katsayısı 0,86 ( $< 0,95$ ) cezai değerdedir, yani kompanzasyon amacına ulaşamamıştır.

Tesiste gerçek güç katsayısının düzeltilmesi için yükün 5. harmoniği baskın olduğundan 215Hz'e ayarlı reaktörlü sığaç grupları kullanıldığında harmonik bozunumda düşme meydana gelmiştir. Tesisteki paralel rezonans olayı ortadan kalkmış, gerçek ve deplasman güç faktörü arasındaki fark azalmış gerçek güç faktörü istenilen değere ( $0,99 > 0,95$ ) gelmiştir. Bu benzetim çalışmasından kısaca şu sonuçlar çıkarılabilir:

- Sade kondansatör grupları paralel rezonans riski taşımaktadır,
- Harmoniklerle gerçek güç katsayısı arasında bir ilişki vardır,
- Paralel rezonans olayı kondansatör gruplarından yüksek akımlar geçmesine sebep olur, -
- Paralel rezonans sonucu THDv 'deki artış hassas cihazlarda arızalara neden olur,
- Doğrusal olmayan yük bulunan tesisler de kompanzasyonda sade kondansatör grupları yerine reaktörlü kondansatör grupları kullanılmalıdır,
- Reaktörlü kondansatör grupları THD değerlerini azaltığı gibi paralel rezonans olayını da engellemektedir,
- İlerleyen yıllarda giderek yükseltelen gerçek güç katsayısı değerlerine sade kondansatör grupları ile yapılan kompanzasyon uygulamalarının yetersiz kalacağı gözlenmiştir.
- İlerleyen yıllarda harmonikli yüklerin bulunduğu tesislerde paralel pasif filtreler veya aktif güç filtreleri kullanmak gerekecektir.

## KAYNAKLAR

1. M. McGranaghan, "Overview of the guide for applying harmonic limits on power systems-IEEE P519A," *8th International Conference on Harmonics and Quality of Power. Proceedings (Cat. No.98EX227)*, Athens, Greece, 1998, pp. 462-469 vol.1, <https://doi.org/10.1109/ICHQP.1998.759953H>.
2. D. Detjen, J. Jacobs, R. W. De Doncker and H. . -G. Mall, "A new hybrid filter to dampen resonances and compensate harmonic currents in industrial power systems with power factor correction equipment," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 16, no. 6, pp. 821-827, Nov. 2001, <https://doi.org/10.1109/63.974380>
3. Z. Chen, F. Blaabjerg and J. K. Pedersen, "Harmonic resonance damping with a hybrid compensation system in power systems with dispersed generation," *2004 IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference (IEEE Cat. No.04CH37551)*, Aachen, Germany, 2004, pp. 3070-3076 Vol.4, <https://doi.org/10.1109/PESC.2004.1355326>
4. X. Wang and F. Blaabjerg, "Harmonic Stability in Power Electronic-Based Power Systems: Concept, Modeling, and Analysis," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 10, no. 3, pp. 2858-2870, May 2019, <https://doi.org/10.1109/TSG.2018.2812712>
5. T. -L. Lee, Y. -C. Wang, J. -C. Li and J. M. Guerrero, "Hybrid Active Filter With Variable Conductance for Harmonic Resonance Suppression in Industrial Power Systems," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 62, no. 2, pp. 746-756, Feb. 2015, <https://doi.org/10.1109/TIE.2014.2347008>
6. Z. Huang, Y. Cui and W. Xu, "Application of Modal Sensitivity for Power System Harmonic Resonance Analysis," in *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 22, no. 1, pp. 222-231, Feb. 2007, <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2006.883678>
7. M. Rastogi, N. Mohan and A. . -A. Edris, "Filtering of harmonic currents and damping of resonances in power systems with a hybrid-active filter," *Proceedings of 1995 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition - APEC'95*, Dallas, TX, USA, 1995, pp. 607-612 vol.2, <https://doi.org/10.1109/APEC.1995.469083>
8. Y. Cui and X. Wang, "Modal Frequency Sensitivity for Power System Harmonic Resonance Analysis," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 27, no. 2, pp. 1010-1017, April 2012, <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2012.2185520>
9. T. -L. Lee and S. -H. Hu, "Discrete Frequency-Tuning Active Filter to Suppress Harmonic Resonances of Closed-Loop Distribution Power Systems," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 26, no. 1, pp. 137-148, Jan. 2011, <https://doi.org/10.1109/TPEL.2010.2052833>
10. Zhenyu Huang, Wilsun Xu and V. R. Dinavahi, "A practical harmonic resonance guideline for shunt capacitor applications," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 18, no. 4, pp. 1382-1387, Oct. 2003, , <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2003.817726>
11. T. -L. Lee and S. -H. Hu, "An Active Filter With Resonant Current Control to Suppress Harmonic Resonance in a Distribution Power System," in *IEEE Journal of Emerging*



- and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 4, no. 1, pp. 198-209, March 2016, <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2015.2478149>
12. J. Dai and F. Shokoo, "Industrial and Commercial Power System Harmonic Studies: Introduction to IEEE Std. 3002.8 - 2018," *2021 IEEE/IAS 57th Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS)*, Las Vegas, NV, USA, 2021, pp. 1-11, <https://doi.org/10.1109/ICPS51807.2021.9416593>
  13. Grady, M., "Understanding Power System Harmonics, Chapter 5: Effects and Symptoms", University of Texas at Austin, June 2005
  14. R. G. Ellis, "Harmonic analysis of industrial power systems," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 32, no. 2, pp. 417-421, March-April 1996, <https://doi.org/10.1109/28.491492>
  15. D. E. Steeper and R. P. Stratford, "Reactive Compensation and Harmonic Suppression for Industrial Power Systems Using Thyristor Converters," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. IA-12, no. 3, pp. 232-254, May 1976, <https://doi.org/10.1109/TIA.1976.349418>
  16. Thanh-Nam Le, M. Pereira, K. Renz and G. Vaupel, "Active damping of resonances in power systems," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 9, no. 2, pp. 1001-1008, April 1994, <https://doi.org/10.1109/61.296284>
  17. Kocatepe, C., Uzunoglu, M., Yumurtacı, R. ve Arıkan, O., *Elektrik Tesislerinde Harmonikler*, Birsen Yayınevi, İstanbul 2003.
  18. E. J. Currence, J. E. Plizga and H. N. Nelson, "Harmonic resonance at a medium-sized industrial plant," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 31, no. 4, pp. 682-690, July-Aug. 1995, <https://doi.org/10.1109/28.395273>
  19. X. Wang, F. Blaabjerg and W. Wu, "Modeling and Analysis of Harmonic Stability in an AC Power-Electronics-Based Power System," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 29, no. 12, pp. 6421-6432, Dec. 2014, <https://doi.org/10.1109/TPEL.2014.2306432>
  20. Z. Li, H. Hu, Y. Wang, L. Tang, Z. He and S. Gao, "Probabilistic Harmonic Resonance Assessment Considering Power System Uncertainties," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 33, no. 6, pp. 2989-2998, Dec. 2018, <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2018.2846608>
  21. Z. He, H. Hu, Y. Zhang and S. Gao, "Harmonic Resonance Assessment to Traction Power-Supply System Considering Train Model in China High-Speed Railway," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 29, no. 4, pp. 1735-1743, Aug. 2014, <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2013.2284233>
  22. G. Lemieux, "Power system harmonic resonance-a documented case," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 26, no. 3, pp. 483-488, May-June 1990, <https://doi.org/10.1109/28.55959>
  23. H. Hu, Y. Shao, L. Tang, J. Ma, Z. He and S. Gao, "Overview of Harmonic and Resonance in Railway Electrification Systems," in *IEEE Transactions on Industry*

*Applications*, vol. 54, no. 5, pp. 5227-5245, Sept.-Oct. 2018, <https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2813967>

24. D. A. Gonzalez and J. C. McCall, "Design of Filters to Reduce Harmonic Distortion in Industrial Power Systems," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. IA-23, no. 3, pp. 504-511, May 1987, <https://doi.org/10.1109/TIA.1987.4504938>
25. Y. Cui and W. Xu, "Harmonic Resonance Mode Analysis Using Real Symmetrical Nodal Matrices," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 22, no. 3, pp. 1989-1990, July 2007, <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2007.899481>

# ***Bölüm 7***

## **DEVELİ - YAHYALI (KAYSERİ) BÖLGESİ SÜS TAŞLARI**

*Zeynel BAŞIBÜYÜK<sup>1</sup>*

*İlkay KAYDU AKBUDAK<sup>2</sup>*

*Gökhan EKİNCİOĞLU<sup>3</sup>*

1 KAEÜ. Müh.- Mim. Fakültesi/ Jeoloji Mühendisliği Bölümü

2 KAEÜ. Müh.- Mim. Fakültesi/ Jeoloji Mühendisliği Bölümü

3 KAEÜ. Kaman Meslek Yüksekokulu/ Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü

## 1. GİRİŞ

Silika grubu süstaşları dünyada en yaygın olarak bulunan süstaşı grubudur. Silika grubu süs taşlarının kimyasal formülü  $\text{SiO}_2$ 'dir. Bu gruptaki üyelerin farklı renklerde olmalarını sağlayan en önemli etken kimyasal içeriklerinde ana elementler olan Si ve O'ne eser miktarda farklı elementlerin (Fe, Ni, Cr, Cu vb.) eşlik etmeleridir (Götze at all, 2001, 2004; Caucia et al., 2016; Başibüyük, 2018). Farklılığı sağlayan diğer bir etkense bu üyelerin kristalin, kriptokristalin veya amorf formlarda oluşmalarından kaynaklanan çeşitlenmedir (Graetsch, H., 1994, Hatipoğlu at al., 2010). Bu nedenle silika grubu süs taşları eser element içeriklerine ve oluşum formlarına göre birbirinden farklı renk ve dokuya sahip çok sayıda ürün oluşturabilmektedir. Bu grubun üyesi olan agatlar genellikle volkanik kayalarda bulunur veya hidrotermal süreçlerde oluşurlar (Hatipoğlu at al., 2011), ya da sedimanter/diyajenetik ortamlarda oluşurlar. (Moxon, 2002; Moxon and Reed, 2006; Çalık and Arzoğulları, 2014). Bazen de metamorfik kayalarda bulunabilirler. (Moxon at al., 2006). Soluk renkli ve görsel açıdan yeterli görülmeyen agatlarda ise iyileştirme yöntemlerine başvurulur. Dolayısı ile agatlarda boyama ve ısıl işlem gibi yöntemlerle renk iyileştirmeleri yapılmaktadır (Hajalilou and Vosug, 2008; Yazdi, et. al., 2016; Başibüyük vd., 2023).

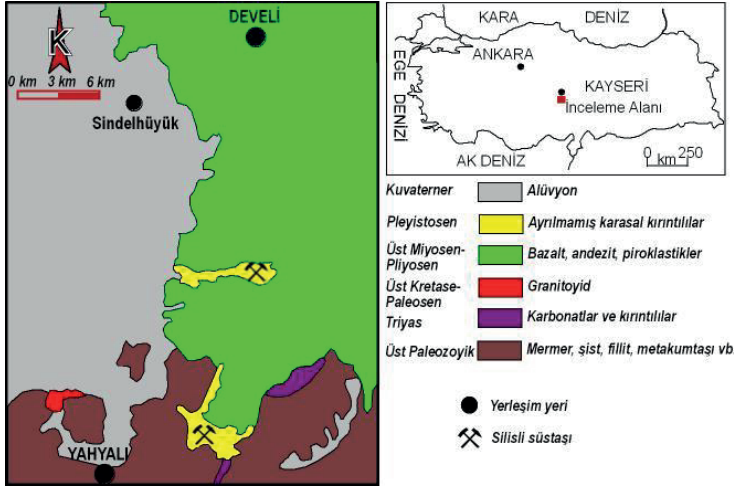
Kalsedon minerali kuvars mineralinin kriptokristalin çeşitlerinden birisidir (FrondeI, 1978; 1982). Yağimsı bir parlaklığa sahiptir. Saf kalsedon ince tabakalar halinde dizilmiş çok ince kuvars liflerinden oluşur (Flörke ve diğ., 1983; 1991; Gislason ve diğ., 1993; Graetsch, 1994). Saf kalsedonun rengi yarı şeffaf gri veya beyazdır. Grimsi mavi veya kahverengi gölgeli hatta siyahımsı olanları da vardır. Özgül ağırlığı 2.59-2.61 arasında olup, safsızlıklar sebebiyle şeritlerde farklı renk ve desenler oluşmaktadır (Hatipoğlu vd., 2010; Selim, H.,2014; Kaydu Akbudak vd., 2018a).

Süstaşı olarak çok yaygın kullanılan opaller ise (Fritsch vd., 2004; Koivula J.I. and Fryer C.W., 1984),  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  kimyasal formülüne (Gaillou vd., 2008; McOrist G.D., and Smallwood A., 1995) sahip olup ya amorf (opal-A) ya da zayıf kristalli (opal-CT) yapıda olurlar (Bartoli vd., 1990; Jones and Segnit 1971) ve değişik renklere sahiptirler (Brajkovic vd., 2007; Rossman G.R., 1994; Kaydu Akbudak vd., 2018b).

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Proje Yönetim Ofisi tarafından desteklenen bu proje kapsamında, Kayseri iline bağlı Develi ilçesindeki kalsedon ve opallerin oluşumlarının mineralojisi, petrografisi ve süstaşı olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma ile elde edilecek veriler neticesinde bölgedeki silisli süstaşı oluşumlarının dağılımları ve gemolojik özellikleri belirlenmiş; bu cevherleşmenin ekonomik olarak kullanılabilirliği ortaya konulmuştur. Aynı zamanda bu cevherleşmenin mineralojik, petrografik, jeokimyasal ve gemolojik özelliklerinin ortaya çıkarılması bölgede ileride yapılacak bilimsel çalışmalara katkılar sağlayarak bu zenginlik literatüre kazandırılmış olacaktır.

## 2. JEOLJİ

Çalışma alanı, Kayseri ilinin Develi - Yahyalı ilçeleri arasındaki bölgede yer almaktadır. Çalışma alanında en yaşlı birimi Üst Paleozoik yaşlı metamorfikler oluşturmakta; bunların üzerinde tektonik dokanakla Triyas yaşlı karbonatlar ve kırıntılardan oluşan birimler bulunmaktadır. Bu birimleri Üst Kretase-Paleosen yaşlı granitoidler ve Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı volkanikler keserek üzerlemektedir. Çalışma alanındaki en genç birimleri ise Pleyistosen yaşlı karasal kırıntılılar ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar oluşturmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (MTA,2002).

### 3. ARAZİ ÇALIŞMALARI

Kayseri ili sınırları içerisinde yer alan Develi-Yahyalı bölgesinde bulunan süstaşlarından agatlar kırmızimsı-kahverengimsi-grimsi, kalsedonlar grimsibeyaz; opal oluşumları ise sarımsıkahverengi renkte olup Pleyistosen yaşlı karasal kıvrıntılılar (Şekil 2) içerisinde detritik taneler (Şekil 3) ya da birkaç cm kalınlığında laminalar (Şekil 4) halinde gözlenmektedir.



Şekil 2. Kalsedon ve kuvars tanelerini bulunduğu Pleyistosen yaşlı karasal kıvrıntılılar (çakıltaşı).



**Şekil 3.** Kalsedon ve kuvars tanelerinin içerisinde bulunduğu Pleyistosen yaşlı karasal kırıntılılar.



**Şekil 4.** Pleyistosen yaşlı karasal kırıntılıların içerisinde tabakalanmayla uyumlu birkaç cm kalınlığındaki kahverengi renkli kalsedon.

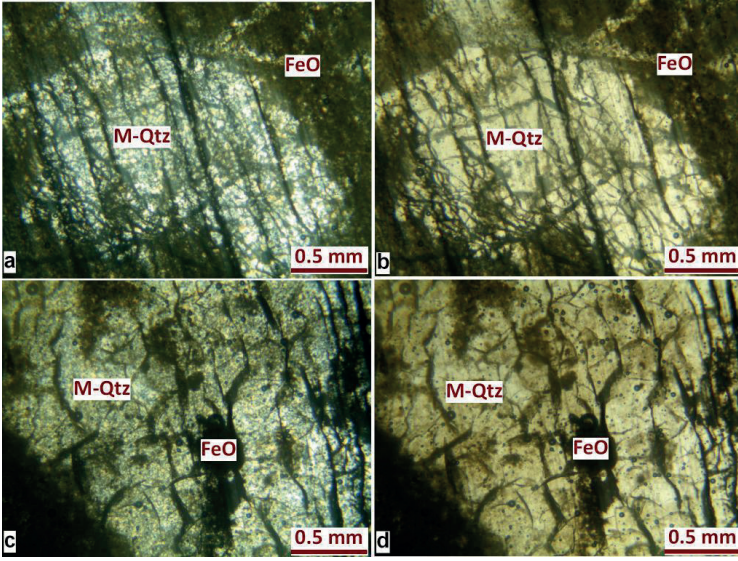
## **4. MİNERALOJİ-PETROGRAFİ İNCELEMELERİ**

### **4.1. Optik Mikroskop İncelemeleri**

İnceleme alanından alınan agat ve kalsedon örneklerinin mineral birlikteliklerini ve dokusal ilişkilerini belirlemek ve isimlendirmek amacıyla ince kesitler hazırlanmıştır. Hazırlanan ince kesitlerde alttan aydınlatmalı polarizan mikroskopta petrografik incelemeler yapılmıştır.

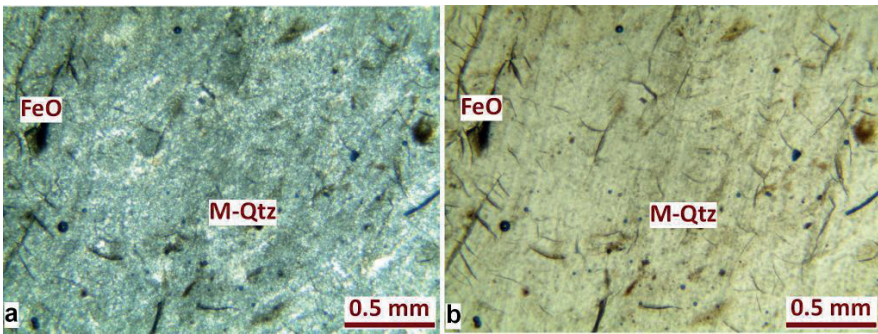
İnceleme alanından alınan KD-7 örneğinden (Agat) hazırlanan ince kesitte, mikro kristalli kuvars mineralleri ile demir oksit birlikteliği tespit edilmiştir (Şekil 5).





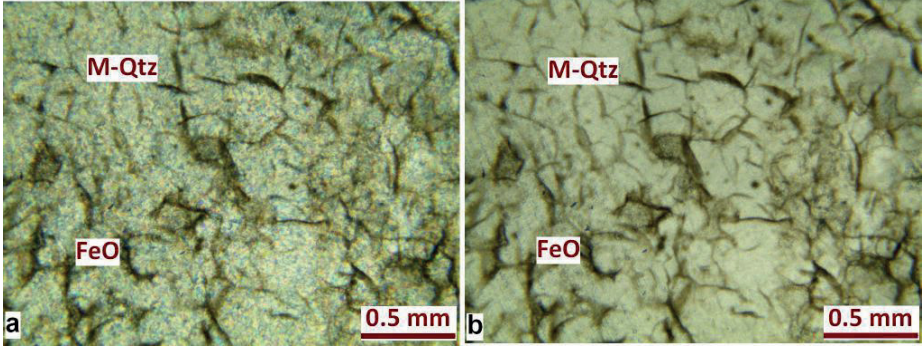
**Şekil 5.** KD-7 Agat örneğinden hazırlanan ince kesitte mikro kristalli kuvars (M-Qtz) ve demir oksit (FeO) mineralleri (a, c: +N, b, d: //N)

İnceleme alanından alınan KD-15 örneğinden (Kalsedon) hazırlanan ince kesitte, mikro kristalli kuvars mineralleri ile demir oksit birlikteliği tespit edilmiştir (Şekil 6).



**Şekil 6.** İnceleme alanından alınan KD 15 örneğinden hazırlanan ince kesitte mikro kristalli kuvars (M-Qtz) ve demir oksit (FeO) mineralleri (a: +N, b: //N)

İnceleme alanından alınan KD-18 örneğinden (Kalsedon) hazırlanan ince kesitte, mikro kristalli kuvars mineralleri ile demir oksit birlikteliği tespit edilmiştir. Örneğin kırmızımsı rengi demir oksit yoğunluğundan kaynaklanmaktadır (Şekil 7).

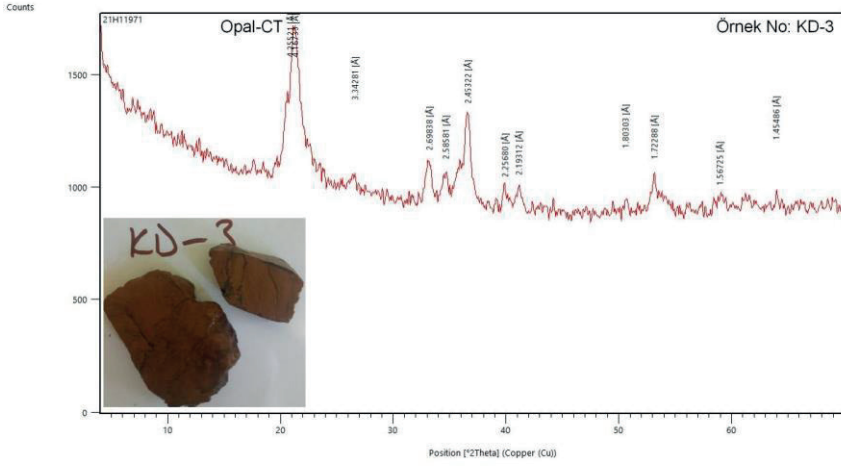


**Şekil 7.** İnceleme alanından alınan KD 18 örneğinden hazırlanan ince kesitte mikro kristalli kuvars (M-Qtz) ve demir oksit (FeO) mineralleri (a: +N, b: //N)

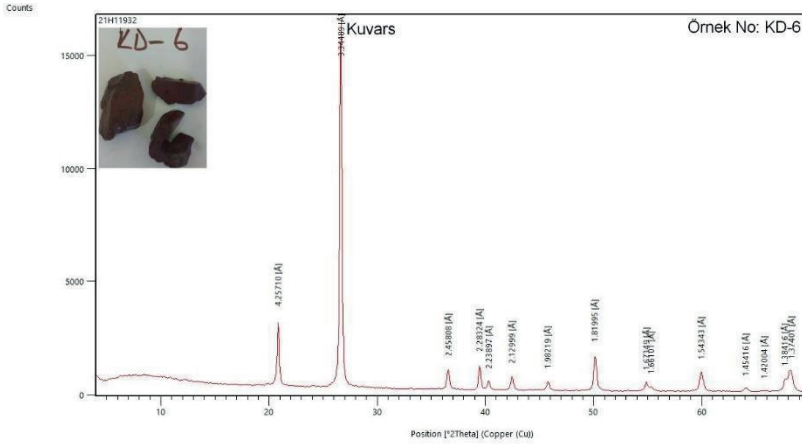
#### 4.2. XRD İncelemeleri

İnceleme alanından alınan KD-3 (Opal), KD-6 (Agat), KD-7 (Agat), KD-12 (Agat), KD-15 (Kalsedon) ve KD-18 (Kalsedon) numaralı örneklerin mineral birlikteliklerini belirlemek amacıyla Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nde (MTA) XRD analizleri yapılmıştır.

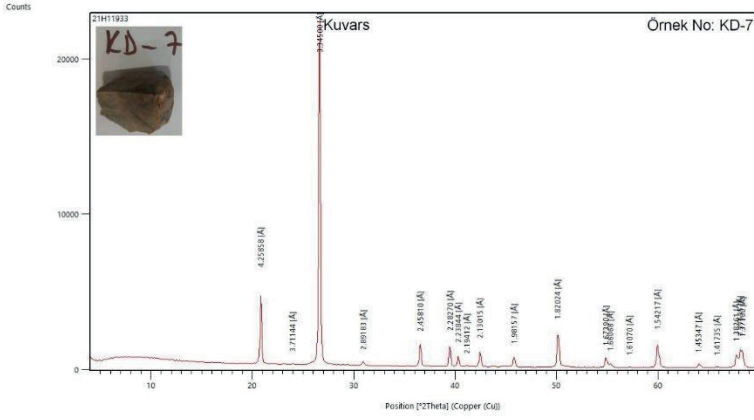
İnceleme alanından alınan KD-3 (Opal) no'lu örneğin XRD difraktogramlarında Opal-CT varlığı belirlenmiştir (Şekil 4.7). İnceleme alanından alınan KD-6 (Agat), KD-7 (Agat), KD-12 (Agat), KD-15 (Kalsedon) ve KD-18 (Kalsedon) no'lu örneklerin XRD difraktogramlarında ise kuvars mineralleri tespit edilmiştir (Şekil 8 - 13).



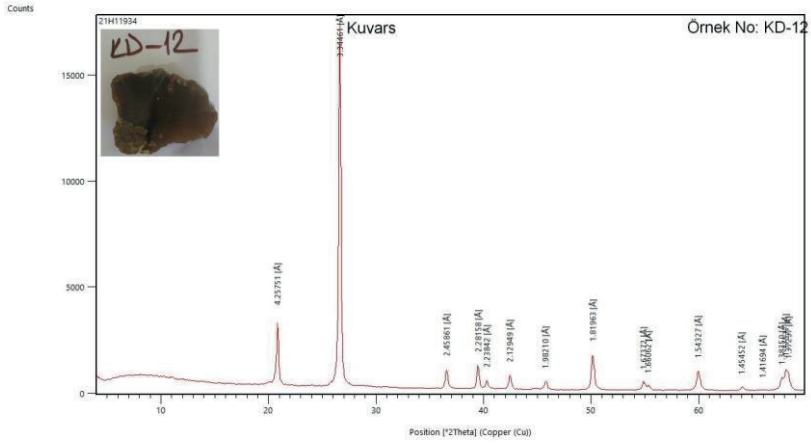
Şekil 8. KD-3 (Opal) nolu örneğin XRD difraktogramı.



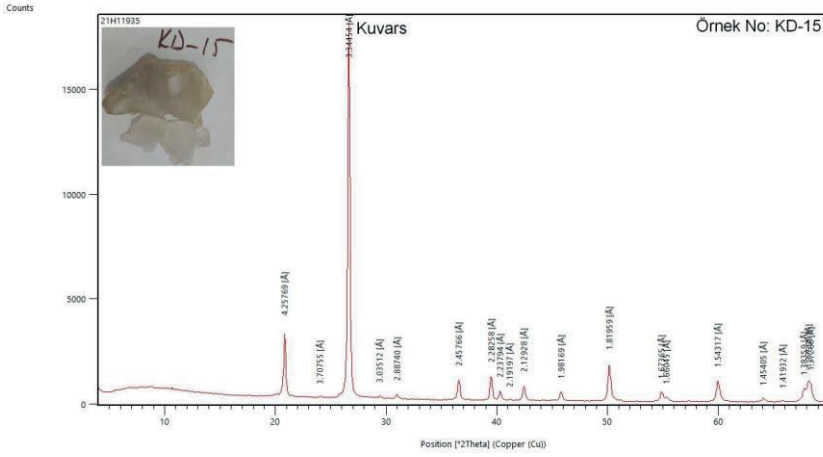
Şekil 9. KD-6 (Agat) nolu örneğin XRD difraktogramı .



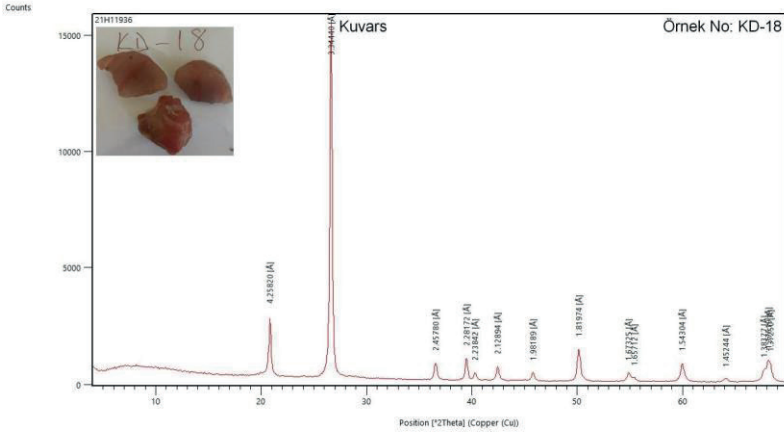
Şekil 10. KD-7 (Agat) nolu örneğin XRD difraktogramı.



Şekil 11. KD-12 (Agat) nolu örneğin XRD difraktogramı.



**Şekil 12.** KD-15 (Kalsedon) nolu örneğin XRD difraktogramı.



**Şekil 13.** KD-18 (Kalsedon) nolu örneğin XRD difraktogramı.

### 4.3. Jeokimya İncelemeleri

İnceleme alanından alınan KD-3 (Opal), KD-6 (Agat), KD-7 (Agat), KD-12 (Agat), KD-15 (Kalsedon) ve KD-18 (Kalsedon) no'lu örneklerin iz element

miktarlarını belirlemek amacıyla Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nde (MTA) ICP-MS analizleri yapılmıştır (Tablo 1).

KD-3 (Opal) örneğinde yapılan ICP-MS analizi sonucunda 275.7 ppm vanadyum, 86 ppm çinko, 69.5 ppm nikel, 44.3 ppm kobalt, 34.8 ppm kurşun, 31.7 ppm arsenik, 14.5 ppm bakır, 10.3 ppm Germanyum, 9.0 ppm krom, 7.6 ppm galyum ve 6.8 ppm molibden, tespit edilmiştir. KD-6 (Agat) örneğinde yapılan ICP-MS analizi sonucuna göre 265.7 ppm bakır, 253.9 ppm kobalt, 65.3 ppm nikel, 55.6 ppm krom, 28.4 ppm kurşun, 24 ppm çinko, 3.3 ppm arsenik, 11 ppm vanadyum, 9.5 ppm molibden, 8.4 ppm Germanyum, 3.7 ppm bizmut ve 2.7 ppm galyum bulunmaktadır. KD-7 (Agat) örneğinde yapılan ICP-MS analizi sonucunda 41.1 ppm krom, 31.6 ppm kobalt, 28.4 ppm bakır, 13.1 ppm nikel, 8.3 ppm Germanyum, 8.1 ppm molibden, 6.8 ppm arsenik, 5 ppm kurşun, 4.8 ppm bizmut, 4 ppm vanadyum ve 1.6 ppm galyum varlığı belirlenmiştir. KD-12 (Agat) örneğinde yapılan ICP-MS analizi sonucunda 6.5 ppm arsenik, 2.5 ppm bizmut, 1.1 ppm vanadyum, 46.3 ppm krom, 1.5 ppm kobalt, 9.6 ppm nikel, 13.6 ppm bakır, 8.7 ppm Germanyum, 7 ppm molibden, 6.7 ppm kurşun ve 1.4 ppm galyum tespit edilmiştir. KD-15 (Kalsedon) örneğinde yapılan ICP-MS analizi sonucunda 68.8 ppm krom, 8.6 ppm Germanyum, 8.1 ppm bakır, 8 ppm molibden, 6.6 ppm arsenik, 6.2 ppm kurşun, 4.1 ppm vanadyum, 2.5 ppm bizmut ve 1.1 ppm galyum tespit edilmiştir. KD-18 (Kalsedon) örneğinde yapılan ICP-MS analizi sonucunda 44.3 ppm krom, 14.3 ppm bakır, 8.4 ppm Germanyum, 6.7 ppm molibden, 4.6 ppm arsenik, 4.4 ppm bizmut, 4.1 ppm kurşun, 2 ppm galyum, 1 ppm vanadyum ve 1 ppm kobalt, tespit edilmiştir.

**Tablo 1:** İnceleme alanından alınan KD-3 (Opal), KD-6 (Agat), KD-7 (Agat), KD-12 (Agat), KD-15 (Kalsedon) ve KD-18 (Kalsedon) nolu örneklerin yapılan ICP-MS analizine göre iz element miktarları.

Element	KD-3 (Opal) (ppm)	KD-6 (Agat) (ppm)	KD-7 (Agat) (ppm)	KD-12 (Agat) (ppm)	KD-15 (Kalsedon) (ppm)	KD-18 (Kalsedon) (ppm)
As	31.7	3.3	6.8	6.5	6.6	4.6
Be	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Bi	0.3	3.7	4.8	2.5	2.5	4.4
Cd	1.0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
V	275.7	11	4	1.1	4.1	1
Cr	9.0	55.6	41.1	46.3	68.8	44.3
Co	44.3	253.9	31.6	1.5	0.4	1
Ni	69.5	65.3	13.1	9.6	<0.1	0.5
Cu	14.5	265.7	28.4	13.6	8.1	14.3
Zn	86	24	<10	<10	<10	<10
Sn	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ga	7.6	2.7	1.6	1.4	1.1	2
Ge	10.3	8.4	8.3	8.7	8.6	8.4
Hf	0.3	0.6	0.6	<0.1	<0.1	<0.1
In	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Mo	6.8	9.5	8.1	7	8	6.7
Sb	1.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Tl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Pb	34.8	28.4	5	6.7	6.2	4.1
Th	<2	<2	<2	<2	<2	<2
U	<2	<2	<2	<2	<2	<2

#### 4.4. Süstaşı Çalışmaları

İnceleme alanındaki yüzey incelemelerinde agat, kalsedon ve opallerin içerisinde bulunduğu Pleyistosen yaşlı karasal kırıntılılar yaklaşık 10 km<sup>2</sup>lik alanda gözlenmektedir. İnceleme alanındaki kalsedonlar şeffaf, camsı parlaklıkta, grimsi beyaz-kırmızimsı beyaz renkli; opaller amorf yapıda

mumsu ve yağimsi parlaklıkta, sarımsı kahverengimsi renklerde; agatlar ise bantlı yapıda, mumsu -yağimsi parlaklıkta, grimsi, kahverengimsi ve kıvımsı renklidirler.

İnceleme alanından alınan agat, kalsedon ve opal örneklerine süstaşı kesim teknikleri uygulanmıştır. Öncelikle büyük kesme makinesinde kaba malzemeden dilimler alınarak, farklı şekillerde markalanmıştır. Küçük kesme makinesinde kenar traşlamaları yapılmış ve kabaşon makinesinde kavisler verilmiştir. Son olarak zımparalama ve cilalama işlemlerinden geçirilerek kabaşon taşlar hazırlanmıştır. Elde edilen işlenmiş süstaşları, kolye, yüzük, küpe, bileklik, broş gibi takılarda kullanılabilir oldukları belirlenmiştir (Şekil 14).



**Şekil 14.** İnceleme sahasından alınan işlenmiş silisli süstaşı örnekleri.

## 5. SONUÇLAR

Çalışmanın konusunu oluşturan silisli süstaşları (agat, kalsedon ve opal), Kayseri iline bağlı Develi-Yahyalı civarında Pleyistosen yaşlı ayrılmamış



karasal kırıntılılar içerisinde detritik taneler ya da birkaç cm kalınlığında tabakalar halinde gözlenmektedir. Kalsedonlar şeffaf, camsı parlaklıkta, grimsi beyaz-kırmızımsı beyaz renkli; opaller amorf yapıda mumsu ve yağımsı parlaklıkta, sarımsı kahverengimsi renklerde; agatlar ise bantlı yapıda, mumsu-yağımsı parlaklıkta, grimsi, kahverengimsi ve kızılımsı renklidirler.

Agat (KD-7) ve kalsedon örneklerinden (KD-15, KD-18) hazırlanan ince kesitlerde mikro kristalli kuvarslar ve demir oksit birlikteliği belirlenmiştir.

İnceleme alanından alınan KD-3 (Opal) no'lu örneğin XRD difraktogramlarında Opal-CT varlığı belirlenirken; KD-6 (Agat), KD-7 (Agat), KD-12 (Agat), KD-15 (Kalsedon) ve KD-18 (Kalsedon) no'lu örneklerin XRD difraktogramlarında ise kuvars mineralleri tespit edilmiştir

İnceleme alanından alınan örneklerde yapılan ICP-MS analizi sonuçlarına göre; KD-3 (Opal) örneğinde 275.7 ppm vanadyum, 86 ppm çinko, 69.5 ppm nikel, 44.3 ppm kobalt, 34.8 ppm kurşun, 31.7 ppm arsenik, 14.5 ppm bakır, 10.3 ppm Germanyum, 9.0 ppm krom, 7.6 ppm galyum ve 6.8 ppm molibden, tespit edilmiştir. KD-6 (Agat) örneğinde 265.7 ppm bakır, 253.9 ppm kobalt, 65.3 ppm nikel, 55.6 ppm krom, 28.4 ppm kurşun, 24 ppm çinko, 3.3 ppm arsenik, 11 ppm vanadyum, 9.5 ppm molibden, 8.4 ppm Germanyum, 3.7 ppm bizmut ve 2.7 ppm galyum bulunmaktadır. KD-7 (Agat) örneğinde 41.1 ppm krom, 31.6 ppm kobalt, 28.4 ppm bakır, 13.1 ppm nikel, 8.3 ppm Germanyum, 8.1 ppm molibden, 6.8 ppm arsenik, 5 ppm kurşun, 4.8 ppm bizmut, 4 ppm vanadyum ve 1.6 ppm galyum varlığı belirlenmiştir. KD-12 (Agat) örneğinde 6.5 ppm arsenik, 2.5 ppm bizmut, 1.1 ppm vanadyum, 46.3 ppm krom, 1.5 ppm kobalt, 9.6 ppm nikel, 13.6 ppm bakır, 8.7 ppm Germanyum, 7 ppm molibden, 6.7 ppm kurşun ve 1.4 ppm galyum tespit edilmiştir. KD-15 (Kalsedon) örneğinde 68.8 ppm krom, 8.6 ppm Germanyum, 8.1 ppm bakır, 8 ppm molibden, 6.6 ppm arsenik, 6.2 ppm kurşun, 4.1 ppm vanadyum, 2.5 ppm bizmut ve 1.1 ppm galyum varlığı belirlenmiştir. KD-18 (Kalsedon) örneğinde 44.3 ppm krom, 14.3 ppm bakır, 8.4 ppm Germanyum, 6.7 ppm molibden, 4.6 ppm arsenik, 4.4 ppm bizmut,

4.1 ppm kurşun, 2 ppm galyum, 1 ppm vanadyum ve 1 ppm kobalt, tespit edilmiştir.

Ayrıca araziden alınan agat, kalsedon ve opal örneklerine uygulanan süstaşı kesim tarzları ile süstaşı olarak kullanılabilirleri belirlenmiştir.

## **TEŞEKKÜR**

Bu çalışma Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen MMF.A4.21.011 no'lu proje kapsamında yapılmıştır. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde maddi destek sağlayan Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz

## KAYNAKLAR

- Bartoli F., Bittencourt Rosa D., Doirisse M., Meyer R., Philippy R., Samama J.C., (1990). Role of aluminium in the structure of Brazilian opals. *European Journal of Mineralogy* 2, 611-619
- Başbüyük, Z. 2018. Mineralogical, geochemical, and gemological characteristics of silicic gemstone in Aydıncık (Yozgat – Turkey). *Arabian Journal of Geosciences* 11(12), DOI: 10.1007/s12517-018-3615-2.
- Başbüyük, Z., Gürbüz, M., & Kaydu Akbudak, İ. (2023). Surprise eggs, the miracle of nature: almus agates (Tokat-Türkiye). *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 39 (1); 5-22 s.
- Brajkovic A., Rolandi V., Vignola P., Grizzetti R., (2007). Blue and pink opals from Acari, Peru - their optical, structural and spectroscopic features. *The Australian Gemmologist* 23, 3-15
- Caucia, F., Marinoni, L., Ghisoli, C. and Leone, A. 2016. Gemological, physical and chemical properties of prase opals from Hanety Hill (Tanzania). *Periodico di Mineralogia* 85, pp. 41–50, DOI:10.2451/2016PM601.
- Çalık, A. and Arzoğulları, U. 2014. Occurrence of dendritic agate from Dereyalak village (Eskişehir) – NW of Turkey and its relationship to sepiolite nodules in the region. *Journal of African Earth Sciences* 97, pp. 99–108, DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2014.04.028.
- Flörke, O. W., Graetsch, H., Röller, K., Martin, B., Wirth, R., (1991). Nomenclature of micro-and non-crystalline silica minerals. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, 163, 19-42.
- Flörke, O. W., Graetsch, H., Miehe, G. (1983). Crystalstructure and Microstructure of Chalcedony, *Fortschritte der Mineralogie*, 61/1, 62 - 63.
- Fritsch E., Gaillou E., Ostroumov M., Rondeau B., Devouard B., Barreau A. (2004). Relationship between nanostructure and optical absorption in fibrous pink opals from Mexico and Peru. *European Journal of Mineralogy* 16, 743-752.
- FrondeL, C., (1978). Characters of quartz fibers, *American Mineralogist*, 63, 17-27.
- FrondeL, C., (1982). Structural hydroxyl in chalcedony (type B quartz), *American Mineralogist*, 67, 1248-1257
- Gaillou E., Delaunay A., Rondeau B., Bouhnik Le Coz M., Fritsch E., Cornen G. and Monnier C., (2008). The geochemistry of gem opals as evidence of their origin. *Ore Geology Reviews*, 34, 127-133

- Gislason, S.R., Heaney, P.J., Veblen, D.R., Livi, K.J.T., (1993). The difference between the solubility of quartz and chalcedony: the cause? *Chemical Geology*, 107, 363-366.
- Götze, J., Tichomirowa, M., Fuchs, H., Pilot, J. and Sharp, Z.D. 2001. Geochemistry of agates: a trace element and stable isotope study. *Chemical Geology* 175(3-4), pp. 523-541.
- Götze, J., Plötze, M., Graupner, T., Hallbauer, D.K. and Bray, C.J. 2004. Trace element incorporation into quartz: a combined study by ICP-MS, electron spin resonance, cathodoluminescence, capillary ion analysis, and gas chromatography. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 68(18), pp. 3741-3759, DOI: 10.1016/j.gca.2004.01.003.
- Graetsch, H. 1994. Structural characteristics of opaline and microcrystalline silica minerals. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 29, pp. 209-232.
- Hajalilou, B. and Vosug, K.B. 2008. Geological and gemological properties in Miyaneh Agates (East Azerbaijan Province). *Peyke Noor Journal Science* 1(4), pp. 20-38.
- Hatipoğlu, M., Babalık, H. and Chamberlain, S.C. 2010. Gemstone Deposits in Turkey. *Rocks & Minerals* 85(2), pp. 124-133, DOI: 10.1080/10511970903455868.
- Hatipoğlu, M., Ajò, D. and Kırıkçoğlu, M.S. 2011. Cathodoluminescence (CL) features of the Anatolian agates, hydrothermally deposited in different volcanic hosts from Turkey. *Journal of Luminescence* 131(6), pp. 1131-1139, DOI: 10.1016/j.jlumin.2011.02.013.
- Jones J.B. and Segnit E.R., (1971) . The Nature Of Opal I. Nomenclature And Constituent Phases, *Journal of the Geological Society of Australia*, 18, 1, 57-68
- Kaydu Akbudak, İ., Başibüyük, Z., & Gürbüz, M. (2018a). Yozgat "Aydıncık" kalsedon-ametist oluşumlarının mineralojisi-petrografisi ve ekonomikliğinin incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 9(1), 313-324.
- Kaydu Akbudak, İ., Başibüyük, Z., Gürbüz, M., Önal, A. Ö., & İşler, F. (2018b). Yamadağ volkanitleri (Arguvan-Malatya) içerisinde silisli süstaşı oluşumları mineralojik, jeokimyasal, gemolojik özellikleri ve ekonomik önemleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(1), 211-219.
- Koivula J.I. and Fryer C.W., (1984). Green opal from East Africa. *Gems & Gemology* 20, 226-227.

- McOrist G.D., Smallwood A., (1995). Trace elements in colored opals using neutron activation analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 198, 499-510
- Moxon, T. 2002. Agate: a study of ageing. *European Journal of Mineralogy* 14(6), pp. 1109–1118, DOI: 10.1127/0935-1221/2002/0014-1109.
- Moxon, T. and Reed, S.J.B. 2006. Agate and chalcedony from igneous and sedimentary hosts aged from 13 to 3480 Ma a cathodoluminescence study. *Mineralogical Magazine* 70(5), pp. 485–498, DOI: 10.1180/0026461067050347.
- Moxon, T., Nelson, D.R. and Zhang, M. 2006. Agate recrystallisation: evidence from samples found in Archaean and Proterozoic host rocks , Western Australia. *Australian Journal of Earth Sciences* 53(2), 235, pp. 235–248, DOI: 10.1080/08120090500499255.
- MTA, (2002). 1/500.000 Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara
- Rossmann G.R., (1994). Colored varieties of the silica minerals. In P.J. Heaney, C.T. Prewitt,, G.V. Gibbs, Eds., *Silica Physical Behavior, Geochemistry and Materials Applications*. Mineralogical Society of America, *Reviews in Mineralogy* 29, 433-467
- Selim, H., (2014). Türkiye'nin Değerli Ve Yarı Değerli Mücevher Taşları, İstanbul, 102s.
- Yazdi, M., Lotfi, R., Masoudi, F. and Pak, N.M. 2016. Chemical treatment effects of blue, yellow and green colors with heating methods on agates of Cheshme Shoor area, Qom, Iran (Mavi, Sarı ve Yeşil Renklerin Cheshme Shoor Bölgesi Agateslerine Isıtma Yöntemleriyle Kimyasal Arıtım Etkileri, Qom, İran). *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering* 4(3), 210–217 (in Turkish).



# ***Bölüm 3***

## **DEMONTAJ HATTI PROBLEMLERİNDE İŞ BOZULMASININ AÇILAN İSTASYON SAYISINA ETKİSİ\***

*Halime SOMTÜRK<sup>1</sup>*

*Mehmet Duran TOKSAR<sup>2</sup>*

\* Bu makale Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Programında 2018 yılında başlamış ve devam etmekte olan, “Öğrenme Ve Bozulma Etkileri Altında Demontaj Hattı Dengeleme Problemi” başlıklı tezden üretilmiştir.

1 Arş Gör., Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, halime.somturk@gop.edu.tr, Orcid ID:0000-0001-7329-495X

2 Prof. Dr., Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, dtoksari@erciyes.edu.tr, Orcid ID:0000-0001-9577-1956

## 1. GİRİŞ

Üretimde sürdürülebilirlik açısından son kullanma tarihi geçmiş ürünlerin veya atık malzemelerin çevresel etkisinin en aza indirilmesi önemli bir konudur. Üretim teknolojilerinin ve otomasyonun hızla gelişmesiyle ortaya çıkan endüstriyel atıklar çevreye büyük zararlar vermektedir. Bu yüzden ömrü tükenen ürünlerin uygun şekilde dönüştürülmesi büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla, kullanılmış veya ömrü tükenmiş ürünlerin geri dönüştürülmesi ve yeniden üretilmesi için sökme sistemleri geliştirilmiştir. Bir söküm hattındaki her iş istasyonunun verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak için, sökme görevlerinin iş istasyonlarına makul şekilde atanması gerekmektedir. Böylece, demontaj hattı dengeleme (DHD) problemlerinin incelenmesi gündeme gelmiştir (Qin et al., 2023).

DHD problemleri başlangıçta, sökme görevlerinin belirli amaç fonksiyonlarına dayalı olarak belirli kısıtlarla bir hattaki bireysel iş istasyonlarına tahsis edilmesi olarak tanımlanmıştır. DHD problemi Güngör ve Gupta (2001) tarafından önerilen tipik bir optimizasyon problemidir. DHD problemlerinde amaç, sökme işlemlerini uygun bir şekilde organize etmek, demontaj iş istasyonlarının kaynaklarını ayarlamak ve işlerin akışını sorunsuz bir şekilde sağlamaktır. McGovern ve Gupta (2007), karmaşık ve deterministik olmayan bir polinom problemi üzerine çalışmışlardır. DHD problemlerini etkili bir şekilde çözebilmek için farklı yöntemler araştırılmıştır.

Klasik DHD modellerinde optimizasyon hedefleri çoğunlukla şu şekildedir: 1) İş istasyonu sayısının en aza indirilmesi (Altekin, 2017; Askiner Güngör & Gupta, 2001; Liu & Wang, 2017; Xiao, Wang, Yu, & Nie, 2017); 2) İş istasyonlarının boşa kalma sürelerinin en aza indirilmesi (Aşkiner Güngör & Gupta, 2002; Liu & Wang, 2017); 3) Tehlike endeksinin en aza indirilmesi (Ren et al., 2018; Xiao et al., 2017); 4) Talep miktarı yüksek parçanın önce sökülmesi (Kalaycı & Gupta, 2014; Ren et al., 2018; Xiao et al., 2017). 5) Söküm yönü değişikliği sayısının en aza indirilmesi (Aşkiner Güngör & Gupta, 2002). 6) Sökme karı ve sökme verimliliği (Duta, Caciula, & Patric, 2016; Kalaycılar, Azizoğlu, & Yeralan, 2016; Ren et al., 2017). 7) Karbon tasarrufu (Cui et al., 2023). Optimizasyon hedefleri, sayısına göre DHD problemleri, tek amaçlı veya çok amaçlı olacak şekilde iki sınıfa ayrılmaktadır. DHD problemlerinde görev başarısızlığı (Askiner Güngör & Gupta, 2001), takım değişikliği (Saif, Guan, Liu, Zhang, & Wang, 2014), görevler arasındaki sıraya bağlı ilişki (K. Wang, Li, Gao, Li, & Sutherland, 2022) vb. gibi birçok



faktör optimal çözümleri etkileyebilir. DHD problemlerinin çözüm yöntemi açısından, küçük ölçekli ürünlerde optimal değerleri elde etmek için doğrusal programlama (Igarashi, Yamada, Gupta, Inoue, & Itsubo, 2016), doğrusal olmayan programlama (Bentaha, Battaia, Dolgui, & Hu, 2015), karma tamsayılı programlama (Yin, Zhang, Zhang, Wu, & Liang, 2022) ve stokastik programlama (Bentaha, Dolgui, Battaia, Riggs, & Hu, 2018) gibi matematiksel programlama yöntemleri kullanılabilir (Yin et al., 2023).

DHD problemleri, ürünlerin sökülme seviyelerine göre temel olarak tamamen sökme (McGovern & Gupta, 2006; Ren et al., 2020; Zhu, Zhang, & Wang, 2018) ve kısmi sökme (J. B. Wang & Xia, 2005; K. Wang, Li, & Gao, 2019; Yin, Zhang, & Jiang, 2021) olarak sınıflandırılabilir. Ömrü tükenmiş üründen sökülen parça sayısı parçaya uygulanan sökme şekline göre değişir. Tamamen sökme, ömrü tükenmiş ürünün tüm parçalarının ayrılması gerektiği anlamına gelirken, kısmi sökmede ise, parçaların seçici olarak çıkarılmasını belirtmektedir. Örneğin, Zhu ve ark. (2018), tamamen sökme işlemi gerçekleştirerek yirmi beş görev içeren bir atık buzdolabı kasasının sökme planlarını inceledi; yani yirmi beş bileşenin tamamı demonte edildi. Öte yandan Yin ve ark. (2021), kısmi sökme modunda kırk yedi bileşen içeren atık bir dizüstü bilgisayar kasasının demontajı üzeri çalışmışlardır. Ömrü tükenmiş bir dizüstü bilgisayardaki kırk iki parçanın sökülmesiyle tehlikeli bileşenlerin başarılı bir şekilde çıkarılabileceğini gösterdi (Liang, Zhang, Yin, Zhang, & Wu, 2023).

Demontaj hatları, hat yerleşimine göre farklılık gösterebilmektedir. Düz yerleşim DHD literatüründe en çok çalışılan düzenlerden biridir (Aşkıner Güngör & Gupta, 2002; Yin et al., 2022; Zhou & Bian, 2022). DHD literatüründe, iki taraflı, U şekilli ve paralel demontaj hatları içeren sistemler çalışılmıştır. Zhang vd. (2022) parça özelliklerini dikkate alarak iki taraflı düzeni modellemiş ve optimize etmiştir. Li ve Janardhanan (2021), karı maksimuma çıkarmak için U şeklindeki düzeni araştırdı. Ayrıca geri dönüşüm işletmelerinin paralel yerleşim tercihi arttıkça paralel yerleşim çalışmaları da giderek daha popüler hale gelmektedir. Örneğin, Zhu vd., (2020) ve Liang vd. (2023a;2023b) son yıllarda paralel yerleşim üzerine çalışmalar yapmıştır.

DHD problemlerinin çözümünde işler istasyonlara atanırken görevler arasındaki öncelik ilişkileri dikkate alınmalıdır. Demonte edilecek ürünlerin bazı parçalarının sökülebilmesi için kendisinden önce sökülmesi gereken bağlı olduğu parçalar bulunabilmektedir. Bu yüzden, işler istasyonlara atanırken,

öncelik ilişkileri bir problem için kısıt getirmektedir ve bu da DHD problemlerini zorlaştırmaktadır. Küçük boyutlu DHD problemleri optimizasyon metodları ile çözülebilirken büyük boyutlu problemlerde optimum sonuca veya optimuma en yakın sonuca ulaşabilmek için metasezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları; Genetik algoritmalar (McGovern & Gupta, 2007), yapay arı kolonisi algoritması (Liu & Wang, 2017), sinekkuşu algoritması (Yin et al., 2021), ateşböceği algoritması (Zhu et al., 2018), hibrit sürüş algoritması (Yin et al., 2022), balina optimizasyon algoritması (Zhang et al., 2022), çiçek tozlaşması algoritması (K. Wang et al., 2019)'dır.

Bu çalışmada, ürünlerin tamamen demonte edildiği, düz bir demontaj hattı için iş bozulması etkisi altında açılacak istasyon sayısı minimizasyonu çalışılmıştır. İş bozulması etkisi çözelgeleme literatüründe sıklıkla çalışılmış bir olgudur. Bir işin işlenmesi geciktiğinde, işlem süresinin uzaması bozulma olarak adlandırılmaktadır (H. Wang, Huang, & Wang, 2019). İş bozulmasına örnek olarak, haddehaneye girmeyi beklerken külçenin sıcaklığı düşebilmektedir ve işlenebilmesi için tekrar ısıtılması gerekebilecektir. Kötüleşen koşullar altında eylem yapılması gereken diğer ortamlar, örneğin: kötüleşen hava koşullarında veya artan karanlıkta bir nesnenin aranması, kötüleşen sağlık koşulları altında tıbbi prosedürlerin gerçekleştirilmesi, kötüleşen mekanik koşullar makinelerin veya araçların onarımında genellikle işlem sürelerinin uzamasına sebep olur (Mosheiov, 1994). Burada ki işin işlem zamanının gecikmesi bozulma olarak tanımlanmaktadır.

Bu çalışmanın katkısını şu şekilde özetleyebiliriz;

DHD problemlerinde işlem sürelerinin süreç boyunca belirli bozulmalardan etkilendiği ve süreç içerisinde değişiklik gösterebileceği tartışılmıştır. İş bozulması etkisi altında DHD problemleri çözülmüş ve açılan istasyon sayısındaki değişiklik incelenmiştir. DHD problemleri için iş bozulması etkisini içeren matematiksel model oluşturulmuştur ve Lingo.11 ile küçük boyutlu problem için sonuç elde edilmiştir. Daha büyük boyutlu DHD problemleri için ise Parçacık Sürüş Optimizasyonu metasezgisel yaklaşımı ile C# kodu oluşturulmuştur ve sonuçlar elde edilmiştir. İş bozulması etkisinin, problemin amaç fonksiyonu üzerindeki etkisi matematiksel veri ve grafiklerle tartışılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

DHD problemleri, iş istasyonlarının çevrim kısıtını ve işler arasındaki öncelik ilişkilerini karşılarken, çeşitli sökme hedeflerine ulaşmak için sökme görevlerini bir dizi iş istasyonuna en uygun şekilde atama süreci olan karmaşık bir optimizasyon problemidir. Bu çalışmada, iş bozulması etkisi altındaki DHD problemleri, çevrim kısıtını ve öncelik ilişkileri kısıtlarını sağlayacak şekilde amaç fonksiyonu olan minimum istasyon sayısını bulmak amaçlanmıştır.

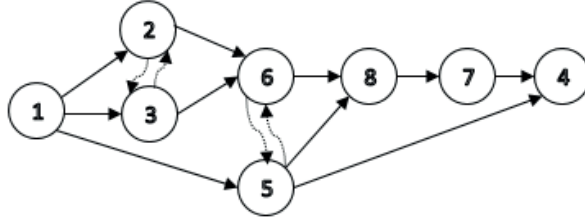
İş bozulması etkisi çizelgeleme modeline Moshiev (1991) tarafından şu şekilde eklenmiştir;

$$P_{ir} = p_{ir} + \alpha t_i \quad (1)$$

$p_{ir}$ , işin gerçek işlem süresi ve  $t_i$  i işinin işleme başlama zamanını göstermektedir.  $P_{ir}$ , i işinin yeni güncel işlem süresi iken  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 1$ ) iş bozulması parametresidir (Denklem 1). İş bozulması fonksiyonu klasik DHD problemi modeline (Güngör & Gupta, 2002) entegre edilmiştir. İş bozulması etkisi altında DHD problemlerinde iş bozulması oranı için 0.1, 0.15 ve 0.2 olmak üzere 3 farklı bozulma oranı kullanılmıştır ve bozulma oranı değiştiğinde amaç fonksiyonu üzerindeki etkisi irdelenmiştir.

**Tablo 1. 8** görevden oluşan DHD probleminin görev tanımları

Görev no	Görev Tanımı	İşlem süresi(sn)
1	PC'nin üst kapağının çıkarılması (TC)	10
2	Sabit sürücünün çıkarılması	14
3	Arka düzlemin çıkarılması (BP)	12
4	PCI kartların çıkarılması (PCI)	18
5	PCI kartların çıkarılması (PCI)	23
6	İki RAM modülünün çıkarılması (RAM)	16
7	Güç ünitesinin (PU) çıkarılması	20
8	Anakartın çıkarılması (MB)	36



**Şekil 1.8** görevden oluşan ürünün işler arasındaki öncelik ilişkisi

DHD literatürünün en basit ve yaygın örneği olan 8 görevden (Güngör & Gupta, 2001) oluşan DHD probleminin görev tanımları Tablo 1’de, işler arasındaki öncelik ilişkileri ise Şekil 1’de görülmektedir. Problemden istasyonların çevrim süresi 40 olarak ele alınmaktadır. Şekil 1’deki öncelik ilişkileri doğrultusunda, 1 nolu parça, 2 ve 3 nolu parçadan önce çıkarılmalıdır, aynı şekilde 5 nolu parçada 8 ve 4 nolu parçalardan önce sökülmelidir.

DHD probleminin matematiksel modeli oluşturulurken; her işin yalnızca bir istasyona atanması, istasyonda yalnızca bir sıraya atanması, istasyonların iş tamamlama sürelerinin çevrim zamanını aşmaması, ürünlerin tamamen demonte edilmesi, öncelik ilişkilerinin sağlanması varsayımları dikkate alınmıştır. Modelde kullanılan notasyonlar Tablo 2’de görülmektedir.

**Tablo 2.** Notasyon Listesi

Notasyonlar
$I, k \in N$ görev kümesi
$(i, k) \in SP$ etkileşimli görevler kümesi
$j \in M$ istasyon kümesi
$r \in N$ görevin istasyondaki konumu
$\alpha$ : bozulma indeksi,
$K$ : büyük bir sayı,
$ct$ : her istasyonun çevrim süresi,
$y_{ij}$ : $i$ görevi $j$ istasyonuna atanırsa, 1; Aksi takdirde 0,
$z_j$ : $j$ istasyonu açıksa, 1; Aksi takdirde 0,
$x_{ijr}$ : $i$ görevi $j$ istasyonunda $r$ pozisyonuna atanırsa, 1; Aksi takdirde 0,
$b_{jr}$ : $j$ istasyonunda $r$ . sıraya atama yapıldıysa, 1; Aksi takdirde 0,
$t_{jr}$ : $j$ istasyonundaki $r$ . sıradaki görevin işlem süresi,
$c_{jr}$ : $j$ istasyonundaki $r$ . sıradaki görevin tamamlanma zamanı,

Matematiksel Model:

$$f = \text{Min} \sum_{j=1}^n z_j \quad (2)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} = 1 \quad \text{for } \forall i \in n \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} \leq z_j \times ct \quad \text{for } \forall i \in n \quad (4)$$

$$\sum_{r=1}^n c_{jr} \times x_{ajr} \times b_{jr} - \sum_{R=1}^n c_{jR} \times x_{kjr} \times b_{jR} \leq 0 \quad \text{for } \{a, k\} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ijr} \leq 1 \quad \text{for } \forall j \in M, r \in N \quad (6)$$

$$\sum_{r=1}^n x_{ijr} = y_{ij} \quad \text{for } \forall j \in M, i \in N \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n \left( (g_i + \alpha \times c_{j(r-1)} \times b_{jr}) \times x_{ijr} \right) = t_{jr} \quad \text{for } \forall j \in M, r \in N \text{ and } r \neq 1 \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n g_i \times x_{ijr} \times b_{jr} = t_{jr} \quad \text{for } \forall i \in N, r = 1 \quad (9)$$

$$c_{jr} = c_{j(r-1)} + t_{jr} \quad \text{for } \forall j \in M, r \in N \text{ and } r \neq 1 \quad (10)$$

$$M \quad t_{jr} \times b_{jr} \leq t_{j(r-1)} \times b_{j(r-1)} \times M \quad \text{for } \forall j \in M, r \in N \text{ and } r \neq 1 \quad (11)$$

$$M \quad c_{jr} \times b_{jr} \leq c_{j(r-1)} \times b_{j(r-1)} \times M \quad \text{for } \forall j \in M, r \in N \text{ and } r \neq 1 \quad (12)$$

$$c_{jr} = t_{jr} \quad \text{for } \forall j \in M \text{ and } r = 1 \quad (13)$$

$$x_{Ij(r-1)} \leq \sum_{i=1}^n x_{ijr} \quad (I \neq i), (I = 1, \dots, N) \quad (14)$$

$$x_{ijr}, y_{ij}, b_{jr}, z_j \in \{0, 1\} \quad (15)$$

Denklem(2)'de açılan istasyon sayısı minimizasyonu amaçlanmaktadır. Kısıt (3) ve (7)'de her işin bir yalnızca bir istasyonda bir sıraya atanmasını sağlamaktadır. Kısıt (4), istasyonların her birinin iş tamamlama süresi çevrim zamanını aşmamasını sağlamaktadır. Kısıt(5), istasyonlara atama yaparken işler arasındaki öncelik ilişkilerine uyulmasını sağlamaktadır. Kısıt (6), bir işin istasyonda yalnızca bir pozisyona atamasını yapmaktadır. Kısıt(8), ilk sıradan farklı bir sıraya atanan işlerin iş bozulması etkisi altında işlem sürelerini hesaplamaktadır. Kısıt(9), istasyonda ilk sıraya atanmış olan işin işlem süresini hesaplamaktadır. Kısıt(10), istasyonların iş tamamlama zamanlarını hesaplamaktadır. Kısıt(11), her hangi bir j istasyonuna atanmış işlerin işlem süreleri arasındaki ilişkiyi sağlamaktadır. Kısıt(12,13), herhangi bir istasyonda

ardışık sıralara atanmış işlerin işlem tamamlama süreleri arasındaki ilişkiyi sağlamaktadır. Kısıt(14), herhangi bir istasyonda her bir pozisyona yalnızca bir işin atanabilmesini sağlamaktadır. Kısıt(15) ise ikili değişkenleri tamamlamaktadır.

8 görevli DHD probleminin çözümünde Lingo.11 optimizasyon programı kullanılmıştır ve bozulma etkisi düşünülmediği durumda, literatürde bulunan amaç fonksiyonu değeri 4 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuca göre; sırasıyla 1 nolu istasyona 5-1 nolu işler, 2 nolu istasyona, 2-4-3 nolu işler, 3 nolu istasyona; 7-6 nolu işler, ve son olarak 4 nolu istasyona 8 nolu iş atanmıştır. İstasyonların iş tamamlama süreleri sırasıyla 39-40-36 ve 36 olarak hesaplanmıştır, ve istasyonların iş tamamlama süreleri çevrim süresinden kısa sürelerdir. DHD problemi için bozulma oranları 0.1, 0.15 ve 0.2 olarak hesaplandığında 5 istasyon açılması gerekmektedir. Bozulma oranı 0.1 iken işlerin istasyonlara atanma durumu, işlem süreleri ve istasyonların iş tamamlama süreleri Tablo 3'te görülmektedir. İstasyonlarda işlem tamamlanma zamanları sırasıyla; 39.58, 35.8, 20, 36 ve 23 olarak hesaplanmıştır, tüm istasyonlarda çevrim süresi kısıtı sağlanmıştır.

**Tablo 3.** Bozulma Oranı 0.1 iken işlerin işlem sürelerinin hesaplanması

İşlerin atandığı istasyon ve sırası	İşin işle süresinin hesaplanması	İşin tamamlanma zamanı
(1,1,1)	14	14
(2,1,2)	$10+0.1*14=11.4$	$14+11.4=25.4$
(3,1,3)	$12+0.1*25.4=14.54$	<b>39.58</b>
(4,2,1)	18	18
(6,2,2)	$16+0.1*18=17.8$	<b>35.8</b>
(7,3,1)	20	<b>20</b>
(8,4,1)	36	<b>36</b>
(5,5,1)	23	<b>23</b>

### 2.1. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO)

PSO, Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından geliştirilen ve kuş sürüsü, balık sürüsü gibi sürü teorisine dayanan bir evrimsel algoritmadır. Popülasyonu değerlendirmek için uygunluk değerlerine sahip olan popülasyon tabanlı bir optimizasyon aracıdır. Optimal çözüme ulaşabilmek için popülasyonu günceller. Diğer metasezgisel yaklaşımlar gibi optimum

noktaya ulaşmayı garanti etmez, ancak optimum veya optimuma en yakın değeri bulmaya çalışmaktadır. PSO çözümü daha hızlı bulduğu ve daha az parametre gerektirdiği için diğer algoritmalara göre üstünlüğü vardır (Cakar & Koker, 2015).

PSO, problem için farklı çözüm alternatifi üretmekte olan parçacık adı verilen çözüm adaylarından oluşmaktadır. Parçacıkların oluşturduğu yapıya ise sürü denilmektedir. Sürüdeki tüm parçacıklar çözüm uzayında rastgele değerler olarak uygun çözüm aramaktadırlar. Her parçacığın konum ( $x$ ) ve hız ( $v$ ) vektörü olmak üzere iki vektörel bileşeni vardır. Konum vektörü parçacığın konum bilgisini tutarken hız vektörü parçacığın yer değiştirme miktarını ve yönünü kaydetmektedir. Her iterasyonda konum ve hız vektörleri güncellenmektedir. Bir parçacığın yeni hız değeri, önceki iterasyondaki hızı, sürünün genel deneyimi ve rastgelelik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$v_i^{k+1} = w * v_i^k + c_1 * \text{rand1}(pbest_i^k - x_i^k) + c_2 * \text{rand2}(gbest^k - x_i^k) \quad (16)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (17)$$

Burada,  $x_i^k$  ve  $v_i^k$  i parçacığının k. iterasyondaki konum ve hızını göstermektedir.  $c_1$  kendi kendine öğrenme faktörü iken,  $c_2$  sosyal öğrenme faktörüdür.  $c_1$  ve  $c_2$  değerleri sabittir ve 2 kabul edilmiştir (Garg, 2016; Kennedy & Eberhart, 1995).  $w$  atalet ağırlık değeridir.  $pbest_i^k$ , i parçacığının k. iterasyona kadar elde ettiği en iyi değer iken,  $gbest^k$  ise k. iterasyona kadar tüm sürüde bulunan en iyi değerdir.

$$w = w_{\max} - ((w_{\max} - w_{\min}) / \text{iterasyon sayısı}) * \text{mevcut iterasyon} \quad (18)$$

$0.4 < w < 0.9$  aralığında bir değerdir ( $w_{\min} = 0.4$  &  $w_{\max} = 0.9$ ).

PSO uygulama adımları şu şekilde özetlenebilmektedir: Parçacıkların başlangıç konumları ise rastgele oluşturulur. Başlangıçta parçacıklar herhangi bir hıza sahip değildirler. Dolayısıyla  $v_0 = 0$  alınır. Başlangıç popülasyonu için uygunluk değerleri hesaplanır. Böylece ilk ( $pbest_i^k$ ) ve ( $gbest^k$ ) bulunmuş olur. Daha sonra, popülasyonun hızları ve konumları hesaplanır. Parçacıklar konum vektörü ( $x_i^k$ ) değerlerine göre küçükten büyüğe doğru sıralanır (Cakar & Koker, 2015). Ardından sürüdeki bütün parçacıkların uygunluk değerleri hesaplanır. Uygunluk değeri, bu çalışma için açılan istasyon sayısı olan amaç fonksiyonu değeridir. Her iterasyonda, tüm

parçacıkların önceki iterasyonun en iyisi ( $pbest_i^k$ ) ile karşılaştırılır, yeni parçacığın değeri daha iyi ise yer değiştirilir. Daha sonra, evrensel en iyi değerle ( $gbest^k$ ) karşılaştırılır, yeni parçacığın değeri daha iyi ise evrensel en iyi olarak atanır. Parçacığın hız ve konum değerleri güncellenir. Durdurma kriteri sağlanana kadar bu aşamalar tekrar edilir.

Bu çalışmada iş bozulması etkisi altında DHD problemlerinde optimum veya optimuma en yakın sonuçlar elde etmek için kullanılan PSO metasezgisel yaklaşımının algoritması, C# yazılım dili kullanılarak kodlanmıştır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, iş bozulması etkisi dikkate alındığı durumda DHD problemlerinde açılan istasyon sayısı değerlerindeki değişim üzerine çalışılmıştır. Klasik DHD problemlerinde, işlerin işlem süreleri süreç boyunca sabit kabul edilmektedir. Ancak, işlerin işlemlerinin başlaması çeşitli sebeplerden ertelenebilmekte ve gecikebilmektedir, bu olgu iş bozulması olarak adlandırılmaktadır. Bu bölümde, iş bozulma etkisinin açılan istasyon sayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. İş bozulma etkisini daha net görebilmek için 3 farklı bozulma oranı için sonuçlar elde edilmiştir. Bozulma oranları 0.1, 0.15 ve 0.2 olarak kabul edilmiştir

#### 3.1. Hücresel Telefon Demontajı Örneği Üzerinde İş Bozulmasının Etkisi

Bu aşamada DHD literatüründe en sık kullanılan hücresel telefon demontajı örneğini, iş bozulması etkisi altında incelenmiştir. 25 görevden oluşan örnek problemin görev tanımları ve öncelik ilişkileri Tablo 4' te görülmektedir. Çevrim süresi 18'dir. Problemin baz hali için amaç fonksiyonu değeri 9'dur (Duta et al., 2016; Edis, 2021; Li, Çil, Mete, & Kucukkoc, 2020). PSO algoritması ile de bu çalışmada iş bozulması etkisi düşünülmediği durum için açılan istasyon sayısı 500 iterasyon sonucunda 9 olarak bulunmuştur.

Bozulma oranları 0.1, 0.15 ve 0.2 olarak kullanıldığında 25 görevden oluşan DHD problemi için açılan istasyon sayısı değeri 10 olarak bulunmuştur. İş bozulması dikkate alınmadığında 9 istasyon yeterli olurken, iş bozulması hesaba katıldığında açılan istasyon sayısında artış görülmektedir. Bozulma oranı 0.1 iken 2 nolu istasyona 12-24-11-20-3 nolu işler sırasıyla atanmıştır. Bu işlerin gerçek işlem süreleri sırasıyla 2-2-2-5-3 iken bozulma etkisi hesaba katıldığında işlem süreleri sırasıyla 2-2.2-2.4-5.7-4.2 olacak



şekilde değişmiştir. 24 nolu işin işlem süresi 2 birim zaman iken bozulma etkisi ile 2.2 birim zamana çıkmıştır. İş daha ileri bir sıraya arandığında ise kendisinden önceki tüm gecikmelerden etkilenmektedir. 3 nolu işin gerçek işlem süresi 3 birim zaman iken istasyonda 5. sıraya atandığında yeni işlem süresi 4.2 birim zaman olarak gerçekleşmiştir. 3 nolu işin işlem süresinde %40 oranında bir artış gözlemlenmektedir. Bozulma oranı 0.2 olduğu durumda da 8 nolu istasyona sırasıyla 13-15-11-2-22 nolu işler atanmıştır. Bu işlerin işlem süreleri sırasıyla 2-2-2-2-5 iken,  $bo=0.2$  olan bozulma etkisi altında işlem süreleri sırasıyla 2-2.4-2.88-3.46-7.15 olarak gerçekleşmektedir. Gerçek işlem süresi 2 birim zaman olan 11 nolu iş istasyonda 3. Sıraya atandığında işlem süresi %44 oranında artarak 2.88 olarak gerçekleşmektedir. İşlem süresi 5 birim zaman olan 22 nolu iş aynı istasyonda 5. Sıraya atandığında ise gerçekleşen işlem süresi 2.15 birim zaman fazla olmuştur. Bozulma oranları 0.1, 0.15 ve 0.2 olduğunda bu DHD problemi için amaç fonksiyonu değeri değişmemiş, ihtiyaç duyulan istasyon sayısı aynı kalmıştır. Ancak işlerin işlem süreleri bozulma oranı arttıkça artış göstermektedir. Bu yüzden bozulma oranını 0.1 birim daha artırarak  $bo=0.3$  için de sonuç elde edilmiştir.

Bozulma oranını 0.3 olarak hesapladığımız zaman ise açılan istasyon sayısı 11 olarak bulunmuştur.

**Tablo 4.** 25-parçalı hücreli telefon DHD probleminin görev tanımları, işlem süreleri ve öncelik ilişkileri

Görev	Parça ismi	İşlem süresi	Öncelik ilişkisi
1	Antenna	3	
2	Battery	2	
3	Antenna guide	3	1,2
4	Bolt(Type 1) A	10	
5	Bolt(Type 1) B	10	
6	Bolt(Type 2) 1	15	2
7	Bolt(Type 2) 2	15	2
8	Bolt(Type 2) 3	15	2
9	Bolt(Type 2) 4	15	3
10	Clip	2	4,5
11	Rubber seal	2	10
12	Speaker	2	11

13	White cable	2	6,7,8,9
14	Red/blue cable	2	6,7,8,9
15	Orange cable	2	6,7,8,9
16	Metal top	2	6,7,8,9
17	Front cover	2	13,14
18	Back cover	3	15
19	Curciut board	18	13,14,16,18
20	Plastic screen	5	17
21	Keyboard	1	17
22	LCD	5	21
23	Sub-keyboard	15	16,21
24	Internal IC Board	2	19,23
25	Microphone	2	21

**Tablo 5.** 25 görevden oluşan iş bozulması etkisi altında DHD problemi için farklı bozulma oranları ile açılan istasyon sayısı

Bozulma Oranı	İstasyona İşlerin Atanma Sırası	İşlem Süreleri	İş Tamamlama Süresi	Açılan İstasyon Sayısı
Bozulma oranı=0	20-13-11-3-18-14	5-2-2-3-3-2	17	
	6-10	15-2	17	
	17-9	2-15	17	
	4-12-16-1-21	10-2-2-3-1	18	
	24-23	2-15	17	9
	19	18	18	
	5-22-15	10-5-2	17	
	25-7	2-15	17	
	8-2	15-2	18	
Bozulma oranı: 0.1	7-21	15-2.5	17.5	
	12-24-11-20-3	2-2.2-2.4-5.7-4.2	16.5	
	6	15	15	
	19	18	18	
	18-13-4	3-2.3-10.5	15.8	
	23	15	15	10
	12-17-2-10-1	5-2.5-2.8-3-4.3	17.6	
	8	15	15	
	14-25-15-5	2-2.2-2.4-10.7	17.3	
	16-9	2-15.2	17.2	
Bozulma oranı=0.15	10-16-18-25-20	2-2.3-3.6-3.2-6.7	17.8	
	19	18	18	
	3-2-4	3-2.5-10.9	16.3	
	25-7	2-15.3	17.3	
	9	15	15	
	12-23	2-15.3	17.3	10
	21-6	1-15.15	16.1	
	14-13-1-22	2-2.3-3.6-6.2	14.1	
	17-8	2-15.3	17.3	
	24-11-5	2-2.3-10.7	15	
Bozulma oranı=0.2	1-20-16-18	3-5.6-3.72-5.46	17.78	
	14-4-3	2-10.4-5.48	17.88	
	8	15	15	
	21-5-17	1-10.2-4.24	15.44	
	12-23	2-15.4	17.4	
	19	18	18	10
	24-7	2-15.4	17.4	
	13-15-11-2-22	2-2.4-2.88-3.46-7.15	17.88	
	10-9	2-15.4	17.4	
	25-6	2-15.4	17.4	
Bozulma oranı: 0.3	19	18	18	
	14-4-21	2-10.6-4.8	17.4	
	7	15	15	
	9	15	15	
	17-23	2-15.6	17.6	
	5-14	10-5	15	11
	16-8	2-15.6	17.6	
	10-2-24-22	2-2.6-3.4-7.4	15.4	
	3-25-1-12	3-2.9-4.8-5.2	15.9	
	15-6	2-15.6	17.6	
	13-18-20	2-3.6-6.7	12.3	

### 3.2. Farklı Boyutlardaki DHD Problemlerinin İş Bozulması Etkisi Altında Sonuçlarının Karşılaştırılması

DHD literatüründeki farklı boyutlardaki problemler (Scholl, 1995) için iş bozulması etkisi altında açılan istasyon sayıları hesaplanmıştır. Problemlerin

baz halleri için literatürdeki amaç fonksiyonu değerleri elde edilmiştir. Algoritma, küçük boyutlu problemler için 500 iterasyonda optimum sonucu elde edebilirken, büyük boyutlu problemlerde 5000 iterasyon ve daha fazla çalışması gerekmiştir. Bozulma oranları 0.1, 0.15 ve 0.2 olarak kullanılmıştır. İş bozulması etkisi altında DHD problemleri için elde edilen sonuçlar Tablo 6'da görüldüğü gibidir.

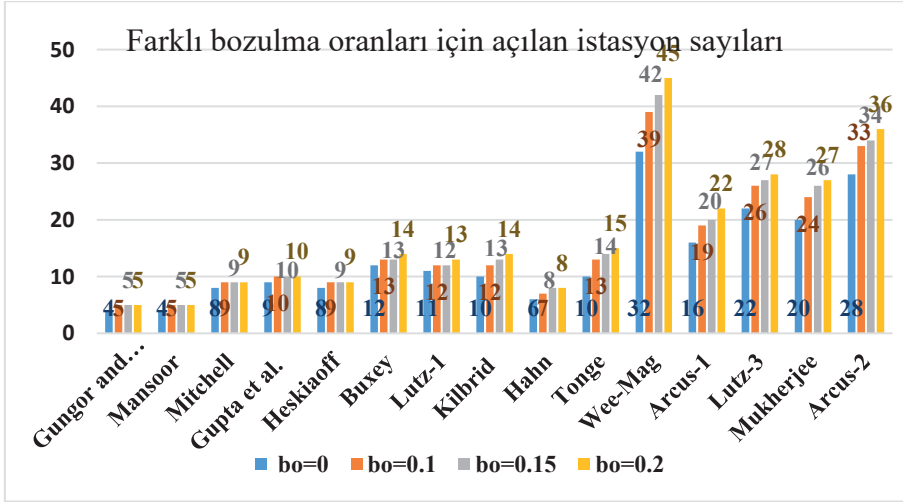
**Tablo 6.** Farklı bozulma oranları için iş bozulması etkisi altında DHD problemleri için açılan istasyon sayıları

Yazar	n	C	*Optimum				
			Sonuç	bo=0	bo=0.1	bo=0.15	bo=0.2
Gungor and Gupta	8	40	4	4	5	5	5
Mansoor	11	48	4	4	5	5	5
Mitchell	21	15	8	8	9	9	9
Gupta et al.	25	18	9	9	10	10	10
Heskiaoff	28	138	8	8	9	9	9
Buxey	29	30	12	12	13	13	14
Lutz-1	32	1414	11	11	12	12	13
Kilbrid	45	56	10	10	12	13	14
Hahn	53	2806	6	6	7	8	8
Tonge	70	364	10	10	13	14	15
Wee-Mag	75	49	32	32	39	42	45
Arcus-1	83	5048	16	16	19	20	22
Lutz-3	89	79	22	22	26	27	28
Mukherjee	94	222	20	20	24	26	27
Arcus-2	111	5785	27	28	33	34	36

**bo**=bozulma oranı

İş bozulması etkisi dikkate alındığında tüm problemlerde açılan istasyon sayılarında artış görülmektedir. Görev sayısı 30'un altında olan DHD problemlerinde bozulma oranının üç değeri içinde amaç fonksiyonu değeri aynı bulunmuştur. Ancak, ürünün görev sayısı arttığı zaman bozulma oranı arttıkça açılan istasyon sayısı değeri de artış göstermektedir. 11 görevden oluşan DHD problemi için bozulma etkisi düşünülmediği durumda 4 istasyon açılması yeterli iken, bozulma etkisi dikkate alındığında tüm bozulma oranları için 5 istasyon açılması gerekmektedir. 70 görevden oluşan DHD problemi için bozulma etkisi dikkate alınmadığı durumda 10 istasyon açılması yeterli iken, bozulma oranı 0.1 kabul edildiğinde 13, bozulma oranı 0.15 kabul edildiğinde 14 ve bozulma oranı 0.2 kabul edildiğinde ise 15 istasyon açılması gerekli bulunmuştur. Dolayısıyla bozulma oranlarındaki artışla birlikte, amaç

fonksiyonu değerinde artış göstermektedir. Benzer şekilde; 111 görevden oluşan DHD problemi için bozulma etkisi düşünülmediği durumda 28 istasyon gerekli iken, bozulma oranları sırasıyla 0.1, 0.15, 0.2 olduğunda, açılacak istasyon sayısı değerleri sırasıyla 33,34 ve 36 olarak bulunmuştur (Bkz. Tablo 6). Tablo 7’de de görüldüğü üzere bozulma oranları arttıkça istasyon sayıları da sırasıyla yüzde 17.9, 21.4 ve 28.6 artış olmuştur.



**Şekil 2.** Farklı bozulma oranları için açılan istasyon sayıları

Bozulma oranı arttıkça özellikle görev sayısı 30’dan fazla olan DHD problemlerinde açılan istasyon sayısı değeri artış göstermektedir (Şekil 2). Tonge’nin veri seti için bozulma etkisi dikkate alınmadığı durumda 10 istasyon açılması gerekirken, bozulma oranı 0.1 olduğunda amaç fonksiyonu değerinde %30 artış olarak 13 istasyon, bozulma oranı 0.2 iken ise %50 artış olarak 15 istasyon açılması gerekmektedir (Tablo 7). Tablo 7’de görüldüğü gibi DHD problemlerinde bozulma oranı etkisi ile açılan istasyon sayılarındaki artış oranları dikkat çekici büyüklüktedir. İş bozulması demontaj hatlarının verimliliğini etkilemektedir. Demontaj hatları kurulurken iş bozulması etkisinin dikkate alınması durumunda daha doğru çizelgelenmiş bir hat oluşumunu sağlayacağı öngörülmektedir.

Tablo 7. İş bozulması oranları etkisi ile DHD problemlerinde açılan istasyon sayısı değişimi (%)

Yazar	bo=0.1	bo=0.15	bo=0.2
Gungor and Gupta	25	25	25
Mansoor	25	25	25
Mitchell	12,5	12,5	12,5
Gupta et al.	11,1	11,1	11,1
Heskiaoff	12,5	12,5	12,5
Buxey	8,3	8,3	16,7
Lutz-1	9,1	9,1	18,2
Kilbrid	20	30	40
Hahn	16,7	33,3	33,3
Tonge	30	40	50
Wee-Mag	21,9	31,3	40,6
Arcus-1	18,8	25,0	37,5
Lutz-3	18,2	22,7	27,3
Mukherjee	20	30	35
Arcus-2	17,9	21,4	28,6

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada DHD problemlerinde iş bozulmasının amaç fonksiyonu olan açılan istasyon sayısı üzerindeki etkisi çalışılmıştır. İşlerin, işleme başlama zamanları bazı etkenlerden veya sebeplerden dolayı gecikebilir. Literatürde, bu şekilde işlerin işleme başlama zamanını erteleyici etki eden her türlü durum iş bozulması olarak bilinmektedir. DHD literatüründe, iş bozulmasının etkisinin düşünüldüğü bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, bozulma oranı olarak 0.1, 0.15 ve 0.2 değerleri kullanılmıştır. İş bozulması etkisi altında DHD problemi için matematiksel model oluşturulmuştur. Küçük boyutlu DHD probleminin çözümünde Lingo.11 optimizasyon programı kullanılmıştır. Ayrıca PSO metasezgisel algoritması daha büyük boyutlu problemlerin çözümü için kullanılmıştır. İş bozulması etkisi altında çalışılan tüm DHD problemlerinde, işlerin işlem sürelerinin artmasından kaynaklı olarak amaç fonksiyonu değerinde artış görülmüştür. Ancak, görev sayısı 30'un üzerinde olan DHD problemlerinde, bozulma oranı

artıkça açılması gereken istasyon sayısı da artış göstermektedir. İş bozulması etkisi, demontaj hatlarının kurulum aşamasında dikkate alınması gereken bir durumdur. Gelecek çalışmalarda, iş bozulmasının farklı amaç fonksiyonları üzerindeki etkileri çalışılabilir.

## KAYNAKÇA

- Altekin, F. T. (2017). A comparison of piecewise linear programming formulations for stochastic disassembly line balancing. *International Journal of Production Research*, 55(24), 7412–7434. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1351639>
- Bentaha, M. L., Battaïa, O., Dolgui, A., & Hu, S. J. (2015). Second order conic approximation for disassembly line design with joint probabilistic constraints. *European Journal of Operational Research*, 247(3), 957–967. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.06.019>
- Bentaha, M. L., Dolgui, A., Battaïa, O., Riggs, R. J., & Hu, J. (2018). Profit-oriented partial disassembly line design: dealing with hazardous parts and task processing times uncertainty. *International Journal of Production Research*, 56(24), 7220–7242. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1418987>
- Cakar, T., & Koker, R. (2015). Solving Single Machine Total Weighted Tardiness Problem with Unequal Release Date Using Neurohybrid Particle Swarm Optimization Approach. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2015, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2015/838925>
- Cui, X., Guo, X., Zhou, M. C., Wang, J., Qin, S., & Qi, L. (2023). Discrete Whale Optimization Algorithm for Disassembly Line Balancing With Carbon Emission Constraint. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 8(5), 3055–3061. <https://doi.org/10.1109/LRA.2023.3241752>
- Duta, L., Caciula, I., & Patic, P. C. (2016). Column generation approach for disassembly line balancing. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 916–920. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.892>
- Edis, E. B. (2021). Constraint programming approaches to disassembly line balancing problem with sequencing decisions. *Computers and Operations Research*, 126, 105111. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.105111>
- Garg, H. (2016). A hybrid PSO-GA algorithm for constrained optimization problems. *Applied Mathematics and Computation*, 274, 292–305. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2015.11.001>
- Güngör, Askiner, & Gupta, S. M. (2001). A solution approach to the disassembly line balancing problem in the presence of task failures. *International Journal of Production Research*, 39(7), 1427–1467. <https://doi.org/10.1080/00207540110052157>
- Güngör, Aşkiner, & Gupta, S. M. (2002). Disassembly line in product recovery. *International Journal of Production Research*, 40(11), 2569–2589. <https://doi.org/10.1080/00207540210135622>



- Igarashi, K., Yamada, T., Gupta, S. M., Inoue, M., & Itsubo, N. (2016). Disassembly system modeling and design with parts selection for cost, recycling and CO2 saving rates using multi criteria optimization. *Journal of Manufacturing Systems*, 38, 151–164. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.11.002>
- Kalayci, C. B., & Gupta, S. M. (2014). A Tabu Search Algorithm For Balancing A Sequence-Dependent Disassembly Line. *Production Planning and Control*, 25(2), 149–160. <https://doi.org/10.1080/09537287.2013.782949>
- Kalaycılar, E. G., Azizoglu, M., & Yeralan, S. (2016). A disassembly line balancing problem with fixed number of workstations. *European Journal of Operational Research*, 249(2), 592–604. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.09.004>
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization. In *Proceedings of ICNN'95-International Conference on Neural Networks.IEEE*, 1942–1948. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-17922-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-17922-8_4)
- Li, Z., Çil, Z. A., Mete, S., & Kucukkoc, I. (2020). A fast branch, bound and remember algorithm for disassembly line balancing problem. *International Journal of Production Research*, 58(11), 3220–3234. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1630774>
- Li, Z., & Janardhanan, M. N. (2021). Modelling and solving profit-oriented U-shaped partial disassembly line balancing problem. *Expert Systems with Applications*, 183(October 2019), 115431. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115431>
- Liang, W., Zhang, Z., Yin, T., Zhang, Y., & Wu, T. (2023). Modelling and optimisation of energy consumption and profit-oriented multi-parallel partial disassembly line balancing problem. *International Journal of Production Economics*, 262(May), 108928. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.108928>
- Liang, W., Zhang, Z., Zhang, Y., Xu, P., & Yin, T. (2023). Improved Social Spider Algorithm For Partial Disassembly Line Balancing Problem Considering The Energy Consumption Involved In Tool Switching. *International Journal of Production Research*, 61(7), 2250–2266. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2069059>
- Liu, J., & Wang, S. (2017). Balancing disassembly line in product recovery to promote the coordinated development of economy and environment. *Sustainability (Switzerland)*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/su9020309>
- McGovern, S. M., & Gupta, S. M. (2007). Combinatorial Optimization Analysis Of The Unary NP-Complete Disassembly Line Balancing Problem. *International Journal of Production Research*, 45(18–19), 4485–4511. <https://doi.org/10.1080/00207540701476281>
- McGovern, S. M., & Gupta, S. M. (2006). Ant Colony Optimization For Disassembly

- Sequencing With Multiple Objectives. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 30(5–6), 481–496. <https://doi.org/10.1007/s00170-005-0037-6>
- McGovern, S. M., & Gupta, S. M. (2007). A balancing method and genetic algorithm for disassembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 179(3), 692–708. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.03.055>
- Mosheiov, G. (1991). V-shaped policies for scheduling deteriorating jobs. *Operations Research*, 39(6), 979–991. <https://doi.org/10.1287/opre.39.6.979>
- Mosheiov, G. (1994). Scheduling jobs under simple linear deterioration. *Computers & Operations Research*, 21(6), 653–659. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(94\)90080-9](https://doi.org/10.1016/0305-0548(94)90080-9)
- Qin, S., Li, J., Wang, J., Guo, X., Liu, S., & Qi, L. (2023). A Salp Swarm Algorithm for Parallel Disassembly Line Balancing Considering Workers With Government Benefits. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, PP, 1–10. <https://doi.org/10.1109/TCSS.2023.3238965>
- Ren, Y., Meng, L., Zhang, C., Zhao, F., Saif, U., Huang, A., ... Sutherland, J. W. (2020). An Efficient Metaheuristics For A Sequence-Dependent Disassembly Planning. *Journal of Cleaner Production*, 245, 118644. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118644>
- Ren, Y., Yu, D., Zhang, C., Tian, G., Meng, L., & Zhou, X. (2017). An improved gravitational search algorithm for profit-oriented partial disassembly line balancing problem. *International Journal of Production Research*, 55(24), 7302–7316. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1341066>
- Ren, Y., Zhang, C., Zhao, F., Tian, G., Lin, W., Meng, L., & Li, H. (2018). Disassembly line balancing problem using interdependent weights-based multi-criteria decision making and 2-Optimal algorithm. *Journal of Cleaner Production*, 174, 1475–1486. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.308>
- Saif, U., Guan, Z., Liu, W., Zhang, C., & Wang, B. (2014). Pareto based artificial bee colony algorithm for multi objective single model assembly line balancing with uncertain task times. *Computers and Industrial Engineering*, 76(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.07.009>
- Scholl, A. (1995). Data of assembly line balancing problems. *Schriften Zur Quantitativen Betriebswirtschaftslehre*, Vol. 93, pp. 1–28.
- Wang, H., Huang, M., & Wang, J. (2019). An Effective Metaheuristic Algorithm For Flowshop Scheduling With Deteriorating Jobs. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30(7), 2733–2742. <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1425-8>

- Wang, J. B., & Xia, Z. Q. (2005). Flow-shop scheduling with a learning effect. *Journal of the Operational Research Society*, 56(11), 1325–1330. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601856>
- Wang, K., Li, X., & Gao, L. (2019). A Multi-Objective Discrete Flower Pollination Algorithm For Stochastic Two-Sided Partial Disassembly Line Balancing Problem. *Computers and Industrial Engineering*, 130(March), 634–649. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.03.017>
- Wang, K., Li, X., Gao, L., Li, P., & Sutherland, J. W. (2022). A Discrete Artificial Bee Colony Algorithm for Multiobjective Disassembly Line Balancing of End-of-Life Products. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 52(8), 7415–7426. <https://doi.org/10.1109/TCYB.2020.3042896>
- Xiao, S., Wang, Y., Yu, H., & Nie, S. (2017). An entropy-based adaptive hybrid particle swarm optimization for disassembly line balancing problems. *Entropy*, 19(11). <https://doi.org/10.3390/e19110596>
- Yin, T., Zhang, Z., & Jiang, J. (2021). A Pareto-discrete hummingbird algorithm for partial sequence-dependent disassembly line balancing problem considering tool requirements. *Journal of Manufacturing Systems*, 60(June), 406–428. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.07.005>
- Yin, T., Zhang, Z., Wu, T., Zeng, Y., Zhang, Y., & Liu, J. (2023). Multimanned partial disassembly line balancing optimization considering end-of-life states of products and skill differences of workers. *Journal of Manufacturing Systems*, 66(July 2022), 107–126. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.12.002>
- Yin, T., Zhang, Z., Zhang, Y., Wu, T., & Liang, W. (2022). Mixed-integer programming model and hybrid driving algorithm for multi-product partial disassembly line balancing problem with multi-robot workstations. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 73(August 2021), 102251. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102251>
- Zhang, Y., Zhang, Z., Guan, C., & Xu, P. (2022). Improved whale optimisation algorithm for two-sided disassembly line balancing problems considering part characteristic indexes. *International Journal of Production Research*, 60(8), 2553–2571. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1897178>
- Zhou, B., & Bian, J. (2022). Multi-mechanism-based modified bi-objective Harris Hawks optimization for sustainable robotic disassembly line balancing problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 116(September), 105479. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105479>
- Zhu, L., Zhang, Z., & Guan, C. (2020). Multi-objective partial parallel disassembly line balancing problem using hybrid group neighbourhood search algorithm.

*Journal of Manufacturing Systems*, 56(July), 252–269.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.013>

Zhu, L., Zhang, Z., & Wang, Y. (2018). A Pareto firefly algorithm for multi-objective disassembly line balancing problems with hazard evaluation. *International Journal of Production Research*, 56(24), 7354–7374.  
<https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1471238>

# ***Bölüm 9***

## **GEMLİK İLÇESİ İÇİN SAHAYA ÖZEL DEPREM TEHLİKE ANALİZİ**

*Evren SEYREK<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Doç.Dr., Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Geoteknik ABD, evren.seyrek@dpu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4373-6723.

## 1. GİRİŞ

Depreme dayanıklı yapı tasarımı için senaryo yer hareketinin belirlenmesi en önemli aşamalardan biridir. Yer hareketi karakteristiklerini belirlemek için sismik tehlike analizleri gerçekleştirilir. Sismik tehlike analizi yapıların deprem güvenliğinin değerlendirilmesinde ve depreme dayanıklı yapı tasarımında önemli işlemlerden biridir. Mühendislik yapılarına gelen sismik kuvvetler bu analizlerden hesaplanan maksimum yer ivmesi ve tepki spektrumu değerlerine bağlıdır. Bu parametreleri belirlemek için mevcut jeolojik, geoteknik ve tektonik veriler ile birleştirilerek kapsamlı analizler gerçekleştirilir

Bu çalışmada Bursa İli Gemlik İlçesi için olasılıksal yöntem kullanılarak sahaya özgü deprem tehlike analizleri gerçekleştirilmiş ve davranış spektrumları oluşturulmuştur. Proje sahası için sahaya özgü sismik tehlike analizinde aşağıdaki işlem adımları uygulanmıştır.

- Proje sahası için sismik tehlikeyi oluşturan çalışma alanı kapsamındaki sismotektonik verilerin derlenmesi
- Derlenen sismotektonik verilerin ışığında sismik kaynak karakterizasyonunun belirlenmesi
- Sismik kaynak bölgesini doğru temsil edecek uygun azalım ilişkilerinin belirlenmesi
- Proje sahası en büyük yer ivmesi, 0.2 saniye ve 1.0 saniyelik periyoda karşılık gelen spektral ivme değerlerinin belirlenmesi
- Farklı tasarım seviyeleri için davranış spektrumlarının oluşturulması.

## 2. PROJE SAHASININ KONUMU VE JEOLJİSİ

İlçe yüzölçümü 413 km<sup>2</sup> olup, kuzeyde Armutlu ve Çınarcık, doğuda Orhangazi, güneydoğuda Yenişehir, güneyde Kestel, Gürsu, Osmangazi ve batıda Mudanya ile çevrilidir. İnceleme alanına ait yer buldur Şekil 1'de verilmektedir.



**Şekil 1.** İnceleme alanı yer bulduru

İnceleme alanı ve çevresine ait jeolojik bilgiler aşağıda özetlenmektedir.

#### *PALEOZOYİK*

**İzmit Metamorfik Topluluğu (Pzş-Pzmr):** Bu topluluk düşük dereceli metamorfizma geçirmiş olan kırıntılı, volkanik ve karbonat kayalardan oluşmaktadır. İzmit metamorfik topluluğu içinde Gemlik'in kuzeyinde mostra vermektedir. Açık yeşil, koyu yeşil, grimsi yeşil renklerdedir. Nadiren sert, cilalı düzlemler mevcuttur. Birim çatlaklı olduğundan kolay parçalanmakta ve ayrışmaktadır. Birim, çalışma alanının temelini oluşturmaktadır.

#### *SENOZOYİK*

**Gemlik Grubu:** Genç (1986) tarafından, Eosen istifi Gemlik Grubu adı altında toplanmıştır. Çalışma alanının orta ve doğu kesimlerinde genellikle doğu-batı yönünde mostra verir. Kuzeyde Gemlik-İzmit hattıyla sınırlıdır. Grup 4 formasyondan oluşmaktadır.

**Çanakpınar Bazaltı (Tç) :** Birim koyu kırmızı, kahve, gri, mor, siyah renkli, sert, köşeli kırılmalıdır. Birimde akma yapıları iyi gelişmemiştir. İnceleme alanında geniş yayılım gösteren birim, Dürdane Formasyonu tarafından uyumlu örtülmektedir. Birimin kalınlığı 200 m. olarak tahmin edilmektedir.

**Katırlı Formasyonu (Tka) :** Kirli sarı, sarımsı yeşil, açık yeşil renkli kiltası-marn-kumtaşı-çamurtaşı ardalılarından oluşmaktadır. Kumtaşı çeşitli kalınlıklarda ve düzgün tabakalıdır. İnce lamine siyah şeyl, ince tabakalı dolomit ve kalın tabakalı jipsler, jipsli yeşilimsi tüfler mevcuttur.

Kurbandağı Formasyonu (Tku) : Birim kirli sarı, yeşil, kahve, gri renkli konglomera, kumtaşı, kiltası, silttaşı, aglomera, volkanik tuf araldanmasından oluşmaktadır. Kırılmış tanelerin rengi gri-siyahtır. Gemlik civarında karbonatlı kumtaşı, kireçtaşı seviyeleri ince-orta ve düzgün tabakalanmalıdır. Tabakalanma gayet bariz olup, tabaka kalınlıkları 1-10 cm. arasında değişmektedir. Tabakalar genellikle güneye eğimlidir. Killi seviyeler genellikle volkanik elemanlarla karışmıştır. Gençali Köyü kuzeyinde, Umurbey'de, Kurban Dağları'nda yüzeylenmektedir.

#### *KUVATERNER*

Alüvyon (Qal) : Çalışma alanında en genç birim, geniş yayılım gösteren, tutturulmamış çakıl, kum silt ve kilden oluşan alüvyondur. Ovanın deniz kenarında alüvyon daha kalın, doğu kısımlarında daha incedir. Gemlik Ovası'nda alüvyon iri malzemelidir. Denize doğru malzeme inceler. Tabanda Paleozoyik şistler bulunur. Kalınlık 115 m. civarındadır.

### **3. PROJE SAHASI TEKTONİK VE SİSMOLOJİK VERİLER**

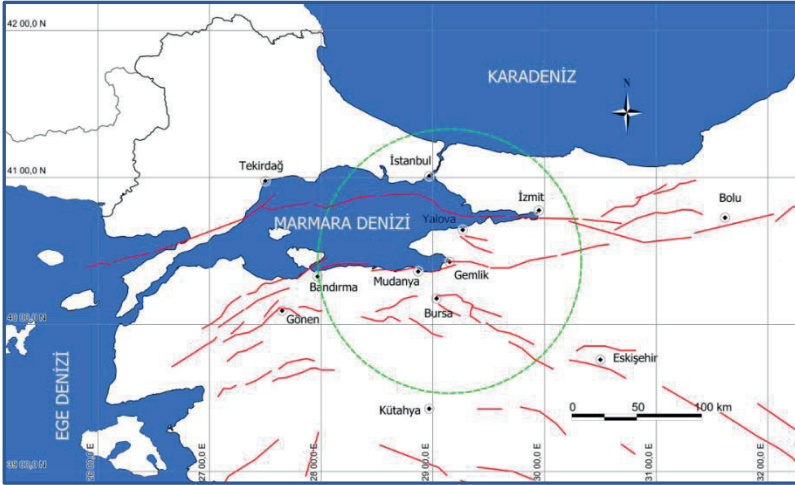
Proje sahası merkez olmak üzere 100 km çaplı bir daire düşünüldüğünde, söz konusu tektonik yapılar içerisinde gerek deprem aktivitesi yönünden gerekse proje sahasına olan mesafe açısından en önemli tektonik yapının Kuzey Anadolu Fay Zonu segmentleri olduğu anlaşılmaktadır. Kuzey Anadolu Fay Zonu dünyanın en iyi bilinen doğrultu atımlı fayıdır (Bozkurt, 2001). Yaklaşık 1500 km uzunluğu olan Kuzey Anadolu fayının genişliği birkaç yüz metreden 40 km'ye kadar değişmektedir.

Proje sahası, özellikle KAF'nın alt segmentlerinden olan Gemlik fayı ve Gençali Faylarının yakın kaynak etkisi altındadır (Şekil 2). Bu fay sistemlerinin dışında güneydoğusundan geçen Bursa, İnegöl, Eskişehir, Kütahya ve Simav faylarının da etkisi altına girmektedir. Ancak bu fayların proje sahasından olan uzaklıkları orta ve uzak mesafe olarak değerlendirilmiştir. Etkili tüm fay sistemleri Şekil 2'de sunulmaktadır.

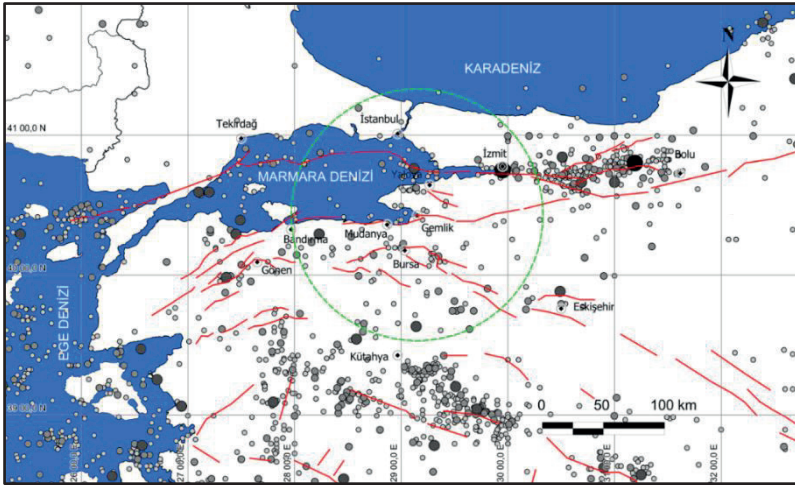
Güncel deprem verilerinin değerlendirilmesi sismik tehlike analizi çalışmalarının ana unsurunu oluşturmaktadır. Bu veriler; sismik kaynak zonlarının konumunun, en büyük deprem büyüklüğünün, kaynak zonuna ait yinelenme ilişkilerinin ve arka plan sismisitesinin belirlenmesinde önem taşır. Bu çalışmada esas olarak Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi kayıtlarından elde edilen büyüklüğü 4.0'dan büyük olan deprem verileri esas



alınmıştır (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo>). Depremlerin dış merkez dağılımları Şekil 3'de sunulmaktadır.



Şekil 2. Proje Sahasını Çevreleyen Fay Sistemleri



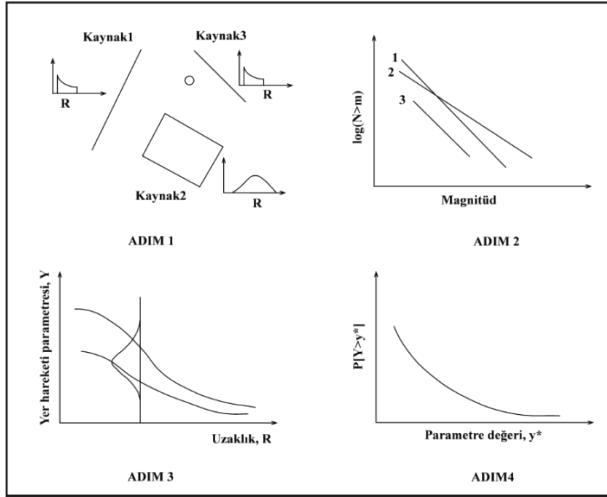
Şekil 3. İnceleme alanı ve çevresinde oluşan depremlerin dış merkez dağılımları

Proje sahası merkez olmak üzere 100 km yarıçaplı etki alanı içerisinde kalan depremler incelendiğinde önemli can ve mal kayıplarının yaşandığı 1964 Balıkesir Manyas depremi ( $M_w=6.2$ ), 1963 Çınarcık depremi ( $M_w=6.2$ ) ve

1999 Gölçük Kocaeli depreminin ( $M_w=7.4$ ) inceleme alanı içerisinde yer aldığı görülmektedir.

#### 4. PROJE SAHASI OLASILIKSAL DEPREM TEHLİKE ANALİZİ

İlk kez Cornell (1968) tarafından önerilen olasılıksal veya probabilistik sismik tehlike analizi olarak da ifade edilen bu yöntemin deterministik yöntemle kıyasla en önemli farklılığı tüm belirsizlikleri ihtiva etmesidir. Bu yöntemin genel akış şeması Şekil 4’de verilmektedir. Şekil 4’den de görüleceği gibi, olasılıksal yaklaşım; dört ayrı aşamadan oluşmaktadır.



Şekil 4. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi Aşamaları (Kramer, 1996)

##### 4.1. Sismik Kaynak Karakterizasyonu ve Deprem Oluşum Modeli

Bu çalışma kapsamında dikkate alan sismik kaynak bölgelemesi Şekil 5’de verilmektedir. Proje sahası merkez olmak üzere 100 km yarıçaplı etki dairesi düşünüldüğünde, proje sahası ve çevresinin dört farklı kaynak zonu etkisi altında olduğu görülmektedir. Bunlar; KAF’ın kuzey ve güney kolları ile Eskişehir ve Kütahya Fay zonlarıdır (Zon1, Zon 2, Zon 3 ve Zon 4). Proje sahasını en çok etkileyeceği düşünülen Gemlik Fayı ve Gençali Fayı “2” numaralı kaynak zonu içerisinde yer almaktadır. Olasılıksal sismik tehlike analizleri çizgisel ve alansal kaynak esasında gerçekleştirilmiştir.



Olasılıksal sismik tehlike analizinde yaygın bir şekilde kullanılan Poisson modelinde depremlerin gerek yer gerekse zaman açısından birbirlerinden bağımsız bir şekilde meydana geldikleri kabul edilmektedir. Bu çalışma kapsamında da Poisson modeli için öncü ve artçı depremlerin hassas bir çalışma sonrasında ayıklandığı özellikle belirtilmelidir.

#### 4.2. Tekrarlanma İlişkisi

Tekrarlama yasası en basit şekli ile deprem büyüklüklerinin belirli bir zaman aralığındaki dağılımını tanımlamaktadır. Gutenberg ve Richter (1944) farklı büyüklükteki deprem verilerini dikkate almış ve bu verileri farklı deprem büyüklüklerini aşan deprem sayısına göre yeniden düzenleyerek deprem büyüklükleri ile frekans arasındaki ilişkiyi önermişlerdir (Eşitlik 1).

$$\log \lambda_m = a - bM \quad (1)$$

Bu çalışma kapsamında yukarıda ifade edilen denkleme ait parametreler en küçük kareler yöntemine göre belirlenmiştir. Elde edilen Gutenberg-Richter parametreleri Tablo 2’de verilmektedir. Sismik tehlike hesapları için deprem büyüklüğüne ait olasılık yoğunluk fonksiyonları belirlenirken çift sınırlı üstel yoğunluk modeli kullanılmıştır.

**Tablo 2.** Sismik Tehlike Parametreleri

Zon Numarası	Gutenberg-Richter Parametreleri	
	a	b
<b>Zon 1</b>	3.667	0.765
<b>Zon 2</b>	3.785	0.866
<b>Zon 3</b>	2.191	0.640
<b>Zon 4</b>	2.252	0.683

### 4.3. Azalım İlişkisi

Deprem tehlike analizi sonuçları üzerinde etkili diğer bir konu ise azalım ilişkisinin seçimidir. Azalım ilişkisi, azalım denklemi veya yer yer hareketi tahmin denklemi farklı isimlerle anılan pek çok sayıda gerçekleştirilmiş çalışma literatürde dikkati çekmektedir (Douglas 2020).

Ülkemizde bu tarz çalışmaların sayısının özellikle 2000’li yıllardan sonra arttığı görülmektedir (Gülkan ve Kalkan 2002; Kalkan ve Gülkan 2004; Özbey, vd. 2004; Ulusay, vd. 2004; Akkar ve Çağnan 2010; Kale vd. 2015 ). Bunun en önemli sebebi 1999 yılında ülkemizde yaşanan Kocaeli ve Bolu depremleri ve bunlara ait kayıt sayısının sahip olduğumuz kuvvetli yer hareketi veri tabanını genişletmesidir.

Bu çalışma kapsamında ise Türkiye’nin kuzeyi için farklı çalışmalarda kullanılmış Ambraseys (1995), Boore vd. (1997), Kalkan ve Gülkan (2004) azalım denklemleri en büyük yer ivmesi tahmini için seçilmiştir. Spektral ivme tahmini için ise Boore vd. (1997), Kalkan ve Gülkan (2004) azalım ilişkileri kullanılmıştır.

### 4.4. Deprem Tehlike Analizi Sonuçları

Olasılıksal sismik tehlikesi tanımlanırken farklı yer hareketi seviyeleri dikkate alınmaktadır. Dikkate alınacak yer hareketi seviyesi yapı tipi ve riski ile son derece ilişkilidir. Söz konusu proje sahası için yer hareketi seviyesi 50 yılda %10 ve 50 yılda %2 aşılma olasılığı için tanımlanmış değerler olarak dikkate alınmaktadır. Bu değerler sırasıyla 475 ve 2475 yıllık tekerrür sürelerine karşılık gelmektedir.

Proje sahasında her tanımlanmış kaynak zonu için proje sahasında hesap üretilmiştir. Farklı azalım denklemleri esasında maksimum yer ivmesi ve spektral ivme değerleri belirlenmiştir. Proje sahası için dört farklı kaynak zonu dikkate alınarak gerçekleştirilen olasılıksal sismik tehlike analizi sonuçları aşağıdaki tabloda özetlenmektedir. PGA en büyük yer ivmesini gösterir iken, Ss-0.2s ve Ss-1.0s değerleri sırasıyla 0.2 saniye ve 1.0 saniyedeki spektral ivme değerleridir. Tablodaki ivme değerlerinin kullanılan azalım denklemlerinin ortalaması olduğu ve NEHRP (2009) ‘da ifade edilen B/C referans ortamı için elde edildikleri belirtilmelidir.

**Tablo 3.** Sismik Tehlike Analiz Sonuçları

	50 yılda %10 aşılma olasılığı (475 yıl)	50 yılda %2 aşılma olasılığı (2475 yıl)
PGA (g)	0.88	1.22
S <sub>s</sub> -0.2s (g)	1.73	2.48
S <sub>1</sub> -1.0 s (g)	0.81	1.27

### 5. SAHAYA ÖZEL DAVRANIŞ SPEKTRUMUNUN BELİRLENMESİ

Maksimum yer ivmesi dağılımı yapıların maruz kalacağı yükleri tahmin etmek için yeterli veriyi sağlamamaktadır. Çeşitli yapı salınım periyodlarına karşılık gelen spektral ivme değerlerinin elde edilmesi son derece önemlidir. Bu veriler yapının hasar görme veya deformasyona uğrama riskinin tahmininde kullanılan girdilerden biridir. Başka bir deyişle, her yapı için tahmini ilk salınım periyodu bilindiği takdirde yapının maruz kalacağı kuvvetler tahmin edilebilir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı için davranış spektrumunun belirlenmesi gerekmektedir. Spektrumun belirlenmesinde kullanılan parametreler sahaya özgü sismik tehlike hesapları ile belirlenmiş Spektral ivme değerleri ile zemin tipi ile ilişkilendirilmiş faktörlerdir.

Proje sahası için davranış spektrumu oluşturulur iken genel esasları NEHRP (2009) ve IBC (2006) 'da önerilen işlem adımları takip edilmiştir.

FEMA için hazırlanan NEHRP (2009), tasarım davranış spektral ivme değerlerini elde edebilmek için farklı geoteknik özelliklere sahip bölgeler için spektral ivme ( $S_s$  ve  $S_1$ ) değerlerinde yerel arazi koşullarını dikkate alacak şekilde bir düzeltme yapılmasını önermektedir. Bu düzeltme ise sismik arazi katsayıları olarak adlandırılan  $F_a$  ve  $F_v$  katsayıları kullanılarak yapılmaktadır. Böylece, arazi zemin sınıflarına göre düzeltilmiş, kısa periyotlar ve 1 sn'lik periyotlarda öngörülen maksimum spektral ivme ( $S_{MS}$  ve  $S_{M1}$ ) değerleri aşağıdaki eşitlikler ile belirlenmektedir.

$$S_{MS} = S_s \times F_a \quad (2)$$

$$S_{M1} = S_1 \times F_v \quad (3)$$

Proje sahasının geoteknik koşullarının NEHRP (2009)'a göre zemin grubu B olarak kabul edilmiş ve sismik arazi katsayıları ( $F_a$  ve  $F_v$ ) 1 olarak hesaplarda dikkate alınmıştır.

Analizlerde kullanılacak olan davranış spektrumunun oluşturulmasında aşağıda verilen eşitlikler kullanılmıştır. Uzun periyod bölgesine geçiş periyodu  $T_L=12$  s alınmıştır.

$$S_a(T) = 0.4S_{MS} + 0.6 \frac{S_{MS}}{T_0} T \quad T_0 \leq T \quad (4)$$

$$S_a(T) = S_{MS} \quad T_0 \leq T \leq T_S \quad (5)$$

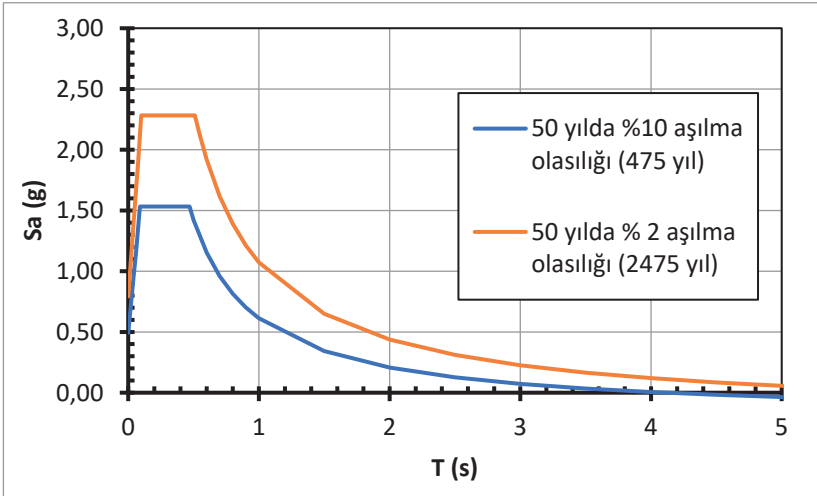
$$S_a(T) = \frac{S_{M1}}{T} \quad T_S \leq T \leq T_L \quad (6)$$

$$S_a(T) = \frac{S_{M1}}{T_2} T_L \quad T_L \leq T \quad (7)$$

$$T_S = \frac{S_{M1}}{S_{MS}} \quad (8)$$

$$T_0 = 0.2T_S \quad (9)$$

Gemlik ilçesi için iki ayrı yer hareketi seviyesine ait davranış spektrumu Şekil 6'da sunulmaktadır.



Şekil 6. Proje sahası için dikkate alınacak tasarım spektrumu

## 6. SONUÇLAR

Bursa ili Gemlik ilçesi için dört farklı kaynak zonu etkisi altında Sahaya Özgü Sismik Tehlike Analizi gerçekleştirilmiş ve tasarıma esas sismik parametreler elde edilmiştir. Çalışma sonrasında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır.

- Proje sahası Gemlik fayı ve Gençali fayları nedeni ile yakın kaynak etkisi altındadır.
- Olasılıksal sismik tehlike analiz sonuçları 50 yılda %10 ve 50 yılda %2 aşılma olasılığına sahip iki ayrı deprem seviyesi için belirlenmiştir.
- -50 yılda %10 aşılma olasılığı için en büyük yer ivmesi 0.88g olarak belirlenmiştir. Aynı deprem seviyesi için kısa periyod (0.2s) spektral ivme ve uzun periyod (1.0s) spektral ivme değeri sırasıyla 1.73g ve 0.81g olarak belirlenmiştir.
- -50 yılda %2 aşılma olasılığı için en büyük yer ivmesi 1.22g olarak belirlenmiştir. Aynı deprem seviyesi için kısa periyod (0.2s) spektral ivme ve uzun periyod (1.0s) spektral ivme değeri sırasıyla 2.48g ve 1.27g olarak belirlenmiştir.



## KAYNAKÇA

- Akkar S. & Çağnan Z. (2010). A local ground-motion predictive model for Turkey, and its comparison with other regional and global ground-motion models, *Bulletin Of the Seismological Society of America*, 100(6), 2978-2995.
- Ambraseys, N.N., (1995). The prediction of earthquake peak ground acceleration in Europe, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 24, 467-490.
- Boore, D.M., Joyner, W.B. and Fumal, T.E., (1997). Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from Western North American earthquakes: A summary of recent work, *Seis. Res. Let.*, 68, 128-153.
- Bozkurt, E., (2001). Neotectonics of Turkey-a synthesis, *Geodinamica Acta*, 14, 3-30.
- Cornell, C.A., (1968). Engineering seismic risk analysis, *Bull. Seis. Soc. Am.*, 58, 1583-1606.
- Genç, Ş., (1986). Uludağ-İznik Gölü arasının jeolojisi. MTA Rap. No: 7853 (Yayımlanmamış).
- Gutenberg B. and Richter, C.F., (1944). Frequency of earthquakes in California, *Bull. Seismol.Soc. Am.*, 34, 185-188.
- Gülkan, P. and Kalkan, E., (2002). Attenuation modeling of recent earthquakes in Turkey, *Journal of Seismology*, 6, No. 3, 397-409.
- IBC, (2006). International Building Code, International Code Council, U.S.A.
- Kalkan, E. and Gülkan, P., (2004). Site-dependent spectra derived from ground motion records in Turkey, *Earthquake Spectra*, Vol. 20, No. 4, 1111-1138.
- Kale, Ö. v.d. (2015). A ground-motion predictive model for Iran and Turkey for horizontal PGA, PGV, and 5% damped response spectrum: investigation of possible regional effects, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105(2A), 963-980.
- Kramer, S.L., (1996). *Geotechnical earthquake engineering*, Prentice Hall, New Jersey, 653 p.
- NEHRP, (2009). Recommended provisions for new buildings and other structures, prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- Özbey, C., Sari, A., Manuel, L., Erdik, M. and Fahjan, Y., (2004). An empirical attenuation relationship for Northwestern Turkey ground motion using a random effects approach, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 115-125.

- Ulusay, R., Tuncay, E., Sönmez, H. and Gökçeoğlu, C., (2004). An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey, *Engineering Geology*, 74, 265-291.
- Wells, D.L. and Coppersmith, K.J., (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 84, No. 4, 974-1002.