

# İnşaat Mühendisliğinde

Güncel Araştırmalar ve Çözümler

Editör  
ERKAN POLAT

# **BİDGE Yayınları**

İnşaat Mühendisliğinde Güncel Araştırmalar ve Çözümler

**Editör:** Doç. Dr. Erkan POLAT

ISBN: 978-625-372-214-2

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 25.06.2024

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

[www.bidgeyayinlari.com.tr](http://www.bidgeyayinlari.com.tr) - [bidgeyayinlari@gmail.com](mailto:bidgeyayinlari@gmail.com)

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /  
Ankara



## İÇİNDEKİLER

Bazalt menşeli agregalardan elde edilen orta ve yüksek dayanımlı beton numunelerin mekanik testler ile performanslarının karşılaştırılması .....	4
Arif Hikmet ÇAKOĞLU .....	4
Fahri BİRİNCİ.....	4
Sığ Tünellerin Tahkimatında Tek Sıra ve Çift Sıra Şemsiye Süren Kullanımının Yüzey Oturmalarına Etkisi: Dudullu-Bostancı Metro Hattı Yolcu Tüneli Örneği .....	47
İnci Nur ÇAKAR.....	47
Murat Ergenekon SELÇUK.....	47
Doğalgaz kullanan binalarda dirsek sayısının emisyonlara katkısının analizi .....	79
Ahmet Karahan.....	79
Figen Balo .....	79
Jet Grout ile İyileştirilmiş Killi Zeminlerin Dinamik Davranışının Değerlendirilmesi.....	101
Furkan Veli ÖZÇELİK.....	101
Murat Ergenekon SELÇUK .....	101
Geoteknik Mühendisliğinde Geosentetiklerin Kullanım Alanları	129
Onur SARAN .....	129
Hizmet Olarak Hareketlilik ve Entegre Ulaşım Sistemleri Üzerine Bir İnceleme ve Değerlendirme .....	149
Raziye PEKER .....	149
Kadir Berkhan AKALIN .....	149
Mustafa Sinan YARDIM.....	149

# BÖLÜM I

## Bazalt Menşeli Agregalardan Elde Edilen Orta ve Yüksek Dayanımlı Beton Numunelerin Mekanik Testler İle Performanslarının Karşılaştırılması

Arif Hikmet ÇAKOĞLU<sup>1</sup>  
Fahri BİRİNCİ<sup>2</sup>

### 1.Giriş

Kayaç ve beton en çok kullanılan iki yapı malzemesidir. Kayaç, yapı malzemesi olarak iki şekilde kullanılmaktadır. Doğal taş olarak; doğal taş kullanım alanlarında, çok az miktarda doğal agrega olarak ve kırılmış elenmiş agrega olarak beton hammaddesinde kullanılır. Daha iyi özellikte (kalitede) beton elde edebilmek için doğal olarak betonu meydana getiren malzemeler üzerinde geniş çaplı araştırmalar yapılmıştır ve yapılmaya devam edilmektedir.

---

<sup>1</sup> Dr.Öğr. üyesi Arif Hikmet ÇAKOĞLU, Sinop Üniversitesi, Boyabat İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi Bölümü, Sinop/Türkiye, Orcid: 0000-0002-8055-7858, acakoglu55@gmail.com.

<sup>2</sup> Dr.Öğr.Üyesi Fahri BİRİNCİ, Ondokuzmayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Samsun/Türkiye, Orcid: 0000-0002-9689-8905, fbirinci@omu.edu.tr.

Betonda hacimce %60–75, k t lece %70-85 civarında kullanılan agregalar betonun tüm özelliklerini ve beton üretiminde kullanılan diğer malzemelerin miktarlarını, dolayısıyla betonun maliyetini de etkilemektedir. Birim maliyeti düşük olmakla birlikte beton içindeki toplam miktarının fazla olmasından dolayı çimentodan sonraki önemli maliyet bileşenini oluşturmaktadır. Agregada, kayacın kırılmasından elde edildiği için, kayacın mineralojisi ve içeriği beton yapısında önemli rol oynar. Bugüne kadar yapılan çalışmalar kayaa özelliklerinin, betonun dayanıklılığını önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur.

Beton, basıncı dayanımı yüksek olan bir malzeme olmakla birlikte aşınma ve az da olsa çekme mukavemeti gösterebilen kompozit bir yapı malzemesidir (Gökdemir A., 1997). Ieriğinde önemli bir bileşen olan agreganın etkisiyle ağır bir malzeme olan betonun hafif hale getirilebilmesine yönelik çalışmalar da bulunmaktadır (Neville A.M., 1987), (Taşdemir M.A., 1982).

Farklı kayalar birimlerinden elde edilen agregaların beton performansına etkisi  zerine Isparta yöresinde çalışma yapılmıştır (Tuncay E.B., 2014). Sonuçta agregada türleri belirgin olmakla beraber, su/imento oranı ile imalata giren imento miktarı dayanımı önemli ölçüde etkiler. Bu sınırlamalarda, agreganın kalitesi, boyutları ve granülometrik dağılımının uygunluğu da zorunlu olup, betonun hizmet ömrü boyunca durabilitesini etkilemektedir. Betonun tasarımıyla dayanımdan çok durabiliteye göre yapılması gerektiğine dair çalışmalar vardır (Taşdemir & ark., 2003). Uzun süre beklentileri karşılayabilmesi için betondaki imento miktarı yeteri kadar olmalı, içeriğindeki su/imento dengesi betonun maruz kalacağı çevresel etki için öngörülen değeri aşmamalı ve aşırı su

kullanımından sakınılmalıdır. Betonun akışkanlığını sağlamak için fazla su yerine uygun kimyasal katkı maddesi kullanılmalıdır (Özkul & Taşdemir, 2008).

Samsun İlinde farklı kayaç yapıları; Kavak formasyonu ile batısında Altınkaya baraj gölü etrafına Çağlayan formasyonu olarak ifade edilmektedir ki ağırlık olarak kalker kayaç yapısı hakimdir. Mahmurdağı formasyonunda ise bazaltik batolit, andezit kayaçların dağınık hallerde yer aldığı ifade edilmiştir (Yoldaş, 1989). Atakum/Çamlıyazı mevkiinde taş ocağı açılma sürecinde hazırlanan 2008 yılı ÇED (Çevre Etki Değerlendirme) raporunda yörenin her açıdan doğal yapı ve ekonomik vb. etmenler üzerinden incelemeler yapılmış, bazalt ocağı açılmasında mahsur görülmemiştir.

Ünye, Fatsa İlçelerine doğru bazalt, andezit kav, kireçtaşı vb. farklı kayaç yapısının Mesudiye formasyonu olarak adlandırılan bölgede yoğun olarak bulunduğu belirtilmiştir (Keskin, 1999).

Bu çalışmada, Samsun Merkez Atakum İlçesi Çamlıyazı mevkiindeki bazalt ocağı B1, Çarşamba-Ayvacak yolu üzerindeki bazalt ocağı B2 ve Ordu İli, Fatsa İlçesindeki bazalt ocağı B3 olarak tanımlanmış halde tablolarda gösterilmiştir.

## **2. Materyal ve Metot**

Su/çimento oranı, betonun teknik özelliklerine tesir eden en önemli parametredir. Bu sebepten dolayı agregadaki su içeriği ve granülometrik karışım önemlidir. Agregada ilgili elek analizleri taş ocaklarını işleten firmalar tarafından yaptırıldığından ayrıca analiz yapılmamıştır. Bununla birlikte mevcut agregada deneyleri de TS EN 933-3 yassılık indeksi tayini, TS EN 13755 su emme , TS EN ISO 17892-1 su muhtevası, TS EN ISO 17892-2 doğal kuru birim hacim

kütle, kuru birim hacim kütle, TS EN ISO 17892-4 tane büyüklüğü dağılımı, TS 1900-1 ve TS EN ISO 17892-3 özgül ağırlık tayini normlarına uygunluğu yetkili kuruluşlarca yapılmış, yaptırılmış ve onaylı halde olduğundan gerektiğinde bu değerlerden yararlanılmış ve kullanılmıştır.

Küp ve silindirik basınç dayanım deneyi (TS EN 12390, 2003) , eğilmede çekme dayanımı deneyi (TS EN 12390-5, 2002) ve (ASTM C 78, 1991), yarmada çekme dayanımı deneyi (TS EN 12390-6, 2002) standartlarına uygun olmalıdır (Baradan, 1998).

Bu çalışmada üç farklı bazalt kaya birimlerinden üretilen agregaların, üretildikleri taş ocaklarının ruhsat aşaması ve periyodik olarak yaptırdıkları agrega analizleri ile, DSİ Bölge Müdürlüğü ve Sinop Üniversitesi Boyabat Meslek Yüksekokulu, cihaz kalibrasyonları düzenli bir şekilde yapılan Beltaş Yapı Elemanları Ltd. Şti ve Cantaş Hazır Beton Ltd. Şti.nin laboratuvarlarından ve son olarak deneysel elastisite için de Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarından yararlanılmıştır. Hazırlanan dört beton sınıfı için (C30, C40, C50 ve C60) her bir agrega ve çimento miktarı, akışkanlaştırıcı katkı usulü ve oranı, su ihtiyacı vs. gibi karışım parametreleri (TS 802, 2006) ve deneme karışımlarının nihai sonuçlarına göre belirlenmiştir.

Elde edilen deneysel sonuçlara göre incelenen ocaklardan kullanılmakta olan agregaların sadece agregaya bağlı beton performansı sonuçlarına ulaşılmıştır. Betonun geçirimsizliği ile su emmesi farklı anlam ifade etmektedir, bir başka deyişle agreganın su emme oranı, betonun geçirimsizliğini de etkileyen dolayısıyla dayanımına da etki eden önemli bir özelliktir (Erdoğan, 2003).

Aşağıdaki Tablo 2 ve 3'den d3 görüldüğü gibi özellikle Fatsa ve Çarşamba/Ayvacık bazalt agregasının su emme oranları yüksektir. Çok ince malzemelerdeki kirliliğe karşı standart (TS 706 EN 12620) getirilerek sınırlamaları f10 f4 f1,5 gibi indisli değerler ile ifade edilmektedir[16].

Taş ocaklarını işleten firmalardan temin edilen mekanik ve kimyasal analiz değerleri ise Tablo 1, 2 ve 3 'de verilmiştir.

*Tablo 1. Bazalt agregasına ait bazı analiz değerleri (B1 Atakum)*

	0-4 mm	4-11.2 mm	11.2-22.4 mm
Çok ince malzeme içeriği	% 11,2 f <sub>10</sub>		0,4 f <sub>1,5</sub>
Iri agregaların yassılık indeksi	-	8(FI <sub>15</sub> )	6(FI <sub>15</sub> )
Donma çözünme etkisine direnç	-	4(MS <sub>18</sub> )	4(MS <sub>18</sub> )
Klorürler	%0,0023	%0.0023	%0.0022
Gevşek yığın yoğunluğu (Mg/m <sup>3</sup> )	1,62	1,40	1,40
Metilen mavisi	0,75	-	-
Özgül ağırlık (Mg/m <sup>3</sup> )	2,67	2,69	2,70
Su absorbe (%)	0,90	0,50	0,40
Alkali silika reaktifliği	%0,031	-	-
Los Angeles katsayısı	-	20 LA <sub>25</sub>	20 LA <sub>25</sub>
İncelik modülü (%)	3,13	6,43	7,82
Su muhtevası	2,6		
Iri agregaların donma çözülme etkisine direnci	-	Küttelece yüzde kaybı 4	-



*Tablo 2. Bazalt agregasına ait bazı analiz değerleri (B2 Ayvacık)*

	0-4 mm	4-11.2 mm	11,2-22.4 mm
Çok ince malzeme içeriği	2,1	0,4	0,1
İri agregaların yassılık indeksi	16	17, Fi <sub>20</sub>	16, Fi <sub>20</sub>
Klorürler	%0,0029	-	-
Metilen mavisi	1,7	-	-
Özgül ağırlık (Mg/m <sup>3</sup> )	2,62	2,66	2,67
Su emme (%)	2,9	2,24	2,15
Alkali silika reaktifliği	0,033	-	-
Los Angeles katsayısı	-	15 LA <sub>20</sub>	15 LA <sub>20</sub>
İncelik modülü (%)	3,46	6.82	7.81
Şekil indisi deneyi	-	22 Si <sub>40</sub>	22 Si <sub>40</sub>

*Tablo 3. Bazalt agregasına ait bazı analiz değerleri (B3 Fatsa)*

	0-4 mm	4-11.2 mm	11.2-22.4 mm
Çok ince malzeme içeriği	-	0,5	0,5
İri agregaların yassılık indeksi	-	-	20
Metilen mavisi	2,60 Kirli	-	-
Özgül ağırlık (Mg/m <sup>3</sup> )	2,65	2,66	2,67
Su absorbe (%)	2,46	1.92	1,04
Alkali silika reaktifliği	% 0,178	-	-
Los Angeles katsayısı		13,97 LA <sub>15</sub>	13,97 LA <sub>15</sub>
İncelik modülü (%)	3,24	6,3	7,73
Şekil indisi deneyi	-	9,18 SI <sub>15</sub>	19,53 SI <sub>20</sub>
Toplam kükürt muhtevası	% 1	-	-
Hafif organik kirleticiler	%0,25	%0,05	-
Mağnezyum sülfat deney raporu	-	23,80 MS <sub>25</sub>	23,80 MS <sub>25</sub>

## Bazalt Kayacı

Bazalt, yerkabuğunun derinliklerinden gelen erimiş lavların soğuyup katılaşmasıyla oluşan bir volkanik kayadır. Bazalt agreganın yanı sıra, belediyelerce şehir içi yollarda kaldırım ve bordür amaçlı da kullanılmaktadır (Kaygısız, 2010). Tablo 4’de karakteristik özellikleri verilmiştir.

*Tablo 4. Bazaltın karakteristik özellikleri*

İçeriğinde bulunan mineraller	Miktarı
SiO <sub>2</sub>	(%) 45-52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(%) 15-18
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	(%) 8-15
CaO	(%) 6-12
MgO	(%) 5-7
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	2.6-3.11
Sertlik (Mohs ölçeği)	5-7
Basınç dayanımı (Mpa)	<400
Erime noktası °C	1100-1450

## Çimento

Piyasada beton imalatında en çok tercih edilen Portland (PÇ 42.5 R) çimentosu tercih edilmiştir (Tablo 5 ve 6).

*Tablo 5. Çimentonun bazı özellikleri*

Mekanik Özellikleri	2 gün	7 gün	28 gün
Basınç dayanımı (Mpa)	23,3	35,4	47,1
Eğilme dayanımı (Mpa)	4,49	6,0	7,8
İncelik 45µm elek üstü (%)		8,98	
Litre kütlesi (g/L)		1115	
Hacim Genleşmesi (mm)		2,98	
Özgül Kütle (g/mL)		3,10	
Priz Başlangıcı (saat)		2,15	
Priz Sonu (saat)		3,12	

Tablo 6. PÇ42.5R çimentosunun içeriği

Kimyasal Bileşen	Oran (%)	Kimyasal Bileşen	Oran (%)
SiO <sub>2</sub>	19,80	Na <sub>2</sub> O	0,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,42	K <sub>2</sub> O	0,80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,40	Cl	0,0105
CaO	62,50	Tayin Edilemeyen	0,08
MgO	2,67	Toplam	100
SO <sub>3</sub>	2,58	Serbest CaO	0,51

Çalışmada imal edilen beton numuneler için karışım suyu olarak SASKİ (Samsun Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi) belediye içme suyu kullanılmıştır. İl genelindeki tüm hazır beton firmalarınca da TS EN 1084 normuna uygun olduğundan belediye suyu tercih edilmektedir.

### **Bazalt agrega**

Beton üretim aşamasında agrega dane büyüklüğünün en büyük 25 mm civarında olması gerekmekte, fazla iri agregalar ile imal edilen betonlarda homojenlik sağlanamamaktadır (Neville, 1995). Bazalt menşeli agregalardan; Ayvacık'taki ocaktan alınan bazalt kumun, Çarşamba ilçesinde %30 oranında Kavak kalker kumu ile karıştırılmakta ve bu karışım ile hazır beton tesisinde üretim yapılarak müşterilere sunulmaktadır. Yine, Fatsa İlçesi Salihli köyünde bulunan taş ocağından alınan malzeme ile bazalt kumunun hiç karıştırılmayıp tamamiyle Kavak kalker ince malzemesinin (0-0,4 mm kum) kullanıldığı ve bu malzeme karışımı ile beton üretimi yapılarak talep üzerine piyasada kullanıldığı tespit edilmiştir. Atakum/Çamlıyazı'da ise kum ve çakıl aynı ocağa aittir.

## **Akışkanlaştırıcı**

Bu çalışmada, kimyasal katkı olarak sadece Basf Master Glenium Ace 501 hiperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Kimyasal katkılara dair standardına uygun olan akışkanlaştırıcı; her 100 kg bağlayıcı (çimento vb.) için 0,8-1,5 kg aralığında kullanılması gerekmekte olup, bu çalışmada tüm beton sınıfları için % 1,3 oranında dahil edilmiştir (TS EN 934-2, 2002).

## **Hazırlık Aşaması**

Beton numune örneklerinin üretim safhasına geçmeden önce toplam 3 (üç) ocaktan alınan agregalar, üzerinde hangi ocağa ait olduğu yazılan kapalı çuvallar içinde ve yerden su ile irtibatı kesilecek şekilde Bafra İlçesindeki Beltaş Yapı Elemanları firmasının yapı malzemesi laboratuvarına getirildi. Numunelerin döküleceği kalıplar; Beltaş Ltd.Şti'ne ait 15x15x15 cm ebatlarındaki küpler, 15x30 cm boyutunda sert plastikten silindirler, 5 mm kalınlığında sacdan üretilen 10x10x40 cm ebatlarındaki metal döküm prizmalar kullanılmıştır. Kalıplara dökülen betonun sıkıştırma işlemleri için ise 60 cm uzunlukta standart çelik çubuk ile çekiç de hazır bulundurulmuştur. Tüm kalıplara beton dökülmeden önce çıkarılmasının kolay olması için yağ sürülmüştür. Beton imalatına ait tariflerin yer aldığı (TS 4834, 1986)'a göre küp ve silindir kalıp tabanlarına taban boyutunda naylon parçaları da yerleştirilerek 24 saat sonra, kompresörle hava verilip basınç etkisiyle kalıp içerisinden çıkarılması işleminde kolaylık sağlanmıştır. Kalıplardan çıkarılan numuneler 28 günlük kür süresi sonuna kadar kalması için su havuzunda bekletilmiştir. Değişik

ocaklardan getirilen agregalar kullanılarak imal edilen 28 günlük beton performansları hakkında sonuç çıkarılması amaçlanmıştır.

Beton üretiminde kullanılan malzemeler ve kalıplara dökülmüş halleri Şekil 1’de gösterilmiştir.



*Şekil 1. Kalıplara dökülmüş beton numuneler*

Beton basınç dayanımı; betonun sınıfını belirleyen ve betonun kalitesini gösteren en önemli etken olarak bilinmektedir. Resmî Gazete'nin 18 Mart 2018 tarihli (mükerrer) sayısında yayımlanan ve 2019'da yürürlüğe giren daha önceki yönetmeliklerin revize edildiği son Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (Resmi Gazete, 2018) göre, yapılacak tüm betonarme binalarda hazır beton kullanılırsa C25'ten, yerinde dökme beton kullanımı halinde ise C30/37'dan daha düşük dayanımlı beton kullanılamaz. Tablo 7'de piyasada en çok tercih edilen beton sınıfları ile bu çalışma konusu olanlar gösterilmiştir. Yüksek dayanımlı beton olarak C40 ve üzeri ile, C50 ve üzeri olarak farklı görüşler bulunmakta ise de günümüz koşullarında C50 ve üzerinin daha çok kabul edildiği ifade edilebilir. Dikkat edildiğinde C30'den itibaren küp dayanımı ile silindir dayanımı değeri arasında fark açılmaktadır.

*Tablo 7. Bu çalışmada kullanılan beton sınıfları ve basınç dayanımları (TS EN 206-1)*

Beton Sınıfı	Silindir basınç dayanımı (min), ( $f_{ck,sil}$ N/mm <sup>2</sup> )	Küp dayanımı (min), N/mm <sup>2</sup> )	basınç ( $f_{ck,küp}$ )
C30/37*	30	37	
C40/50*	40	50	
C50/60*	50	60	
C60/75*	60	75	

### **Kullanılan Agregaların Miktar Dağılımı**

Beton üretimine girecek agrega miktarları belirlenirken sözü edilen üç bazalt ocağından alınan malzemelerin fiziksel özelliklerine dair bilgiler, TS 802 standardına göre hazırlanan paket programda (A.G.P, 2015) kullanılmıştır. Tüm agrega örneklerinde; her m<sup>3</sup>'te C30/37 betonu için 300 kg, C40/50 betonu için 350 kg, C50/60 betonu için 400 kg ve C60/75 betonu için 450 kg çimento kullanılmıştır. Akışkanlaştırıcı dışında katkı maddesi kullanılmamıştır. Bazalt agregalı beton numuneler için granülometri hesabı sonunda imalata giren agrega miktarları Tablo 8, 9 ve 10'da verilmiştir.

*Tablo 8. B1 agregası ile üretilen beton numunelerdeki malzeme miktarları*

Malz. Ocağı Betonu	Su/Çimento	Agrega	Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Özgül Ağırlık
B1 C30/37	0,52	0/4 mm kum	1016,62	2,67
		4/11,2 mm çakıl	492,42	2,69
		11/22,4 mm çakıl	454,71	2,7
B1 C40/50	0,46	0/4 mm kum	968,30	2,67
		4/11,2 mm çakıl	459,08	2,69
		11/22,4 mm çakıl	479,99	2,7
B1 C50/60	0,40	0/4 mm kum	929,12	2,67
		4/11,2 mm çakıl	486,76	2,69
		11/22,4 mm çakıl	450,99	2,7
B1 C60/75	0,35	0/4 mm kum	910,92	2,67
		4/11,2 mm çakıl	477,23	2,69
		11/22,4 mm çakıl	442,16	2,7

*Tablo 9. B2 agregası ile imal edilen beton numunelerdeki malzeme miktarları*

Malz. Ocağı Betonu	Su/Çimento	Agrega	Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Özgül Ağırlık
B2 C30/37	0,52	0/4 mm kum	997,58	2,62
		4/11,2 mm çakıl	486,93	2,66
		11,2/22,4 mm çakıl	449,66	2,67
B2 C40/50	0,46	0/4 mm kum	950,17	2,62
		4/11,2 mm çakıl	453,96	2,66
		11,2/22,4 mm çakıl	474,66	2,67
B2 C50/60	0,40	0/4 mm kum	911,72	2,62
		4/11,2 mm çakıl	481,33	2,66
		11,2/22,4 mm çakıl	445,98	2,67
B2 C60/75	0,35	0/4 mm kum	893,86	2,62
		4/11,2 mm çakıl	471,91	2,66
		11,2/22,4 mm çakıl	437,24	2,67

*Tablo 10. B3 agregası ile imal edilen beton numunelerdeki malzeme miktarları*

Malz. Ocağı Betonu	Su/Çimento	Agrega	Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Özgül Ağırlık
		0/4 mm kum	1016,62	2,67
B3 C30/37	0,52	4/11.2 mm çakıl	486,93	2,66
		11.2/22.4 mm çakıl	449,66	2,67
B3 C40/50	0,46	0/4 mm kum	968,30	2,67
		4/11.2 mm çakıl	453,96	2,66
		11.2/22.4 mm çakıl	474,66	2,67
B3 C50/60	0,40	0/4 mm kum	929,12	2,67
		4/11.2 mm çakıl	481,33	2,66
		11.2/22.4 mm çakıl	445,98	2,67
B3 C60/75	0,35	0/4 mm kum	910,92	2,67
		4/11.2 mm çakıl	471,91	2,66
		11.2/22.4 mm çakıl	437,24	2,67

### **Küp Basınç Dayanımı Testi**

C30/37'dan C60/75'e kadar imal edilen örnek numuneler üzerinde deneyler yapılarak ve sonuçları tablolarda gösterilmiştir. Beton sınıfının yükselmesi ile taşıyıcı kolonlarda oluşan plastik mafsal sayısı ve maksimum plastik kesit dönmesi değerleri düşmektedir (Uçar & Seçer, 2007). 15x15x15 cm ölçülerinde ve 28 günlük üçer adet küp numunelerin basınç dayanımı deneyleri Beltaş Yapı Elem. Firmasının Bafra İlçesindeki tesislerinde bulunan akredite edilmiş cihazları ile TS EN 12390-3'e göre [9] kırılarak sonuçlar bulunmuştur. Yükleme hızı, küp numuneler için 0,6 MPa/sn olarak sabitlenmiştir.

$f_c$  ; MPa ya da (N/mm<sup>2</sup>) cinsinden basınç dayanımı,

F; N cinsinden kırılma anındaki en büyük yük,



$A_c$ ; mm<sup>2</sup> cinsinden küp numunenin basınca maruz kalan en kesit alanı

olmak üzere basınç dayanımı

$$f_c = F/A_c, \quad (1)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.



Şekil 2. Küp basınç deneyi cihazı ekran görünümü



Şekil 3 Küp numunenin basınç deneyi

## Silindir Basınç Dayanımı Testi

15x30 cm boyutlarındaki silindirik kalıplar ile; her bir C30, C40 ve C60 beton sınıfları için ilgili ocaklardan alınan malzemeler ile üçer adet örnek numune imal edilmiş ve 28 gün su dolu havuzda bırakıldıktan sonra DSİ Samsun Bölge Müdürlüğü'nün akredite ve kalibrasyonu yapılmış Malzeme Kalite Laboratuvarında kırılarak sonuçlara ulaşılmıştır. Numunelerin kırılma işleminde yükleme hızı 0,6 MPa/sn olacak şekilde ayarlanmıştır. Kırılma işlemi öncesi numunelerin ölçüleri, özgül ağırlıklarının tespit edilmesi amacıyla kontrol edilerek ve tartılmış (TS EN 12390-7,2002)'e göre kaydedilmiştir.

Basınç dayanımı hesabında (1) formülü ( $f_c = F/A_c$ ) uygulanır. Burada,

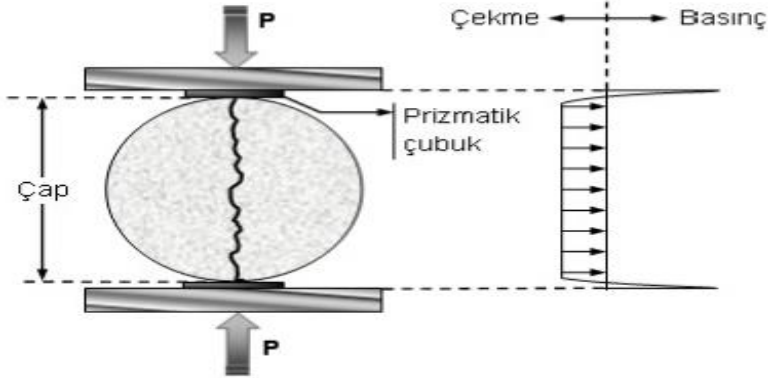
$A_c =$  mm<sup>2</sup> cinsinden silindir numunenin basınca maruz kalan en kesit alanı



*Şekil 4. Silindir numune kırılması*

## Yarmada Çekme Deneyi

15x30 cm lik silindirik numuneler DSİ Samsun Bölge Müdürlüğüne götürülerek Malzeme Laboratuvarındaki akredite ve kalibrasyonu yapılmış cihazları ile yarmada çekme deneyleri yapılmıştır.



Şekil 5. Yarmada çekme deneyi

Deneyde, 15x30 cm lik silindir beton numuneler, alttan ve üstten tablalar arasında yatay yerleştirilip dik yönde basınç yüklemesi yapılmıştır (Şekil 5). Yükleme hızı ile birlikte numune üzerine basınç yükü artırılırken yan taraflarda çekme gerilmeleri oluşur ve eksenini doğrultusunda adeta kesilerek kopar. Yükün uygulandığı noktadan uzaklaştıkça basınç gerilmeleri çekme gerilmelerine dönüşmekte ve bu durum çap boyunca sabitlenmektedir. Yarmada çekme dayanımı aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır (Kurt, 2009). P: Silindire uygulanan basınç yükü,  $L_s$ : Silindir örneğin uzunluğu, D: Silindir örneğin çapı olmak üzere

Yarmada çekme

$$\sigma = 2.P / (\pi.L_s.D) \quad (2)$$

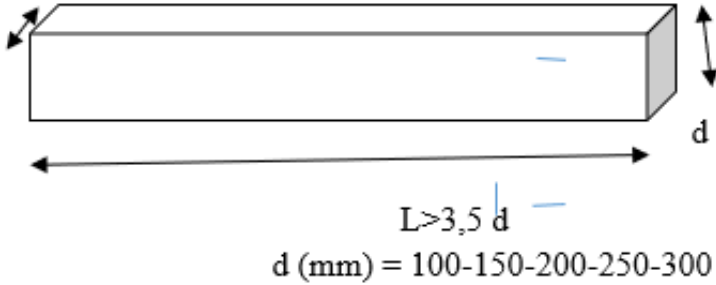
bağıntısı ile bulunur.



Şekil 6. Yarmada çekme deneyi kırılma anı

### Eğilme dayanımı

Numuneler, standartlara uygun olmak kaydıyla 10x10x40 cm boyutlarında 5 mm kalınlığında sac prizma kalıp ile üretilmiş olup, deneyler Boyabat İlçesinde bulunan MYO İnşaat Bölümü Yapı Malzemeleri Laboratuvarındaki üç noktalı test cihazı ile yapılmıştır. TS EN 12390-5 ve TS EN 12390-3 standartlarına uygun olarak l/2 noktasında 0,6 Mpa yükleme hızı ile deneye tabi tutulmuştur.



Şekil 7. Eğilme dayanımı örnek prizma numune

Eğilmede çekme dayanımı  $\sigma$  : Betonun eğilme dayanımı ( $N/mm^2$ ), F : Kırılmaya neden olan yük, (N), L : Deney numunesinin mesnetler arasındaki mesafesi, (mm), b : Deney numunesinin genişliği, (mm), d : Deney numunesinin kalınlığı, (mm) olmak üzere

Üç noktalı prizmatik numuneler için eğilme dayanım

$$\sigma = (3.FL)/(2b.d^2) \quad (3)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır (Yardımcı,2007). Prizmatik beton numunesinin yerleştirilmesi ve kırılma sonrası görüntüsü Şekil 8’de görülmektedir.



*Şekil 8. Test sonrası kırılan prizmatik numune*

### **Ultrasonik Ses Hızı Ölçümü**

Beton basınç dayanımının belirlenebilmesi için bazı hasarsız tespit yöntemleri ve bu yöntemler hakkında yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Ultrasonik ses hızı ölçümü betonun tahrip edilmeden dayanımının belirlenmesi için geliştirilen bir yöntem olup Avrupa’da 2010 yılında yürürlüğe girmiş ve Türk Standartları Enstitüsü tarafından Türkçe’ye de çevrilmiştir (Özçep & ark., 2012). Standart EN 13 791’in içerisinde formüle edilmiş

$$f_v=62.5v^2-497.5v+990 \quad (4)$$

bağıntısı var ise de bu formülün ses hızının 4800 m/sn nin altında olduğu durumlarda hatalı sonuç verdiği dair ( $v = 4 \text{ km / sn}$  değerinde  $f_v = 0 \text{ MPa}$  ve eğer  $v = 4.8 \text{ km/sn}$  değerinde ise  $f_v = 42 \text{ MPa}$ ) çalışmalar bulunmakta, bunun yerine

$$f_{ck}=2.6Vp^{1.8} \quad (5)$$

denkleminin daha gerçekçi olduğu ifade edilmektedir (Uyanık, Gülay & Tezcan, 2012). Her durumda ultrases hızının kullanıldığı beton dayanımı değerleri halen tek başına bir mukavemet belirleme yolu olarak kullanılabilir durumda değildir. Ancak oldukça iyi bir öngörü oluşturma yolu durumundadır.

Boyabat İlçesi Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü Laboratuvarında ölçüm yapılırken numune prizmanın her iki ucuna gres yağ sürüldükten sonra bir ucuna ultrases üreten bir verici prob diğer ucuna da ses dalgalarını toplayan bir alıcı yerleştirilmiştir. Alıcı prob tarafından sesin malzeme içinde bir uçtan bir uca ulaşması için geçen zaman (mikrosaniye cinsinden) belirlenmektedir.

Ultrases ses hızı ile beton kalitesi arasındaki ilişki (International Atomic Energy Agency, 2002) el kitabında aşağıdaki Tablo 11'de verilmiştir.

*Tablo 11. Ultrases ile beton kalitesi ilişkisi*

Ultrasonik ses hızı (V, km/sn)	Beton kalitesi
>4.50	Mükemmel
3,50-4,50	İyi
3,00-3,50	Şüpheli
2,00-3,00	Zayıf
>2,00	Çok zayıf

Beton kalitesinin tahribatsız araştırılabildiği bu yöntem için eğilme dayanımından elde edilen prizmatik numuneler kullanılmıştır. Ultrasonik deney (ASTM C 597, 1994)'e uygun olarak yapılmıştır. Daha sonra numunelerin yan yüzeylerine gres yağ sürülmüş geçiş süreleri mikrosaniye biriminde elde edilmiştir



şekil 9. Numunelerin tartıldığı elektronik terazi



şekil 10. Ultrases ölçüm cihazı

Ultrasonik ses dalgalarının ölçümünde kullanılan prizmatik numuneler daha sonra eğilmede çekme deneyi için kırılacağından

Şekil 9’da görülen hassas terazilerde tartılarak ağırlıkları ve özgül ağırlıkları da kaydedilmiştir

### **Elastisite Modülü**

Elastisite modülü, malzemenin basınç altında şekil değiştirmeye gösterebildiği direnç kapasitesi ile ifade edilir. Hooke Yasası’na göre ise, gerilmenin birim şekil değişikliğine oranı ( $E = \sigma / \epsilon$ ) olarak gösterilir. Young Modülü olarak da bilinir ve betonun sertliğinin bir ölçüsü olarak kabul edilir (Berktaş,1989). Elastisite modülünün bilinmesi betonda değişik sebeplerle oluşan şekil değişikliklerinin ve gerilmelerin belirlenmesinde gereklidir. Elastisite modülüne ayrıca yük altındaki elemanlarda gerilmelerin ve karmaşık yapılarda momentler ile deformasyonların belirlenmesinde ihtiyaç olabilmektedir.

Teorik elastisite modülü farklı bağıntılardan yararlanılarak belirlenenler için, deneysel elastisite modülü ise doğrudan test ile yapılan ölçümler sonucu bulunanlar için adlandırılmıştır.

### **Teorik Elastisite Modülü Hesabı**

Elastisite Modülü’nün belirlenmesine dair farklı teorik metotlar vardır. Bunlardan bazıları şunlardır. ( $W$  : Betonun özgül ağırlığı ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $E_{cj}$ : j günlük betonun elastisite modülü ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ),  $f_{cj}$ : j günlük betonun silindir basınç dayanımı ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ) olarak verilmiştir.)

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI 318-92, 1994)’e göre

$$E_{cj} = 4,73 \sqrt{f_{cj}} \quad f_c < 40 \text{ Mpa} \quad (6)$$

$$E_{cj} = 3320 \sqrt{f_{cj}} + 6900 \quad 40 < f_c < 80 \text{ Mpa} \quad (7)$$

Avrupa Beton Komitesi (CEB-FIB, 1978)’e göre



$$E_{cj} = 9500 (f_{cj} + 8)^{1/3} \quad (8)$$

Britanya Standartlar Enstitüsü (BSI, 1972)'e göre

$$E = 9100 f_{cj}^{1/3} \quad (9)$$

Türk Standartları (TS 500, 2000)'e göre ise;

$$E_{cj} = 3250 \sqrt{f_{cj}} + 14000 \quad (10)$$

### **Deneysel Elastisite Modülü**

Beton basınç dayanımının tepe noktasının %25-%40'ına ulaşmasının ardından, elastiklik özelliği önemli oranda düşer veya tamamen kaybolabilir. Betonda oluşan gerilmeye, agrega malzemelerinin ve çimentonun farklı elastisite modülüne sahip olmaları da sebep olur. Sonuç olarak beton, elastik olmayan bir davranış gösterir. Bu, kum-çakıl ile çimento arasındaki ortak çalışmanın uyumuna bağlıdır. Betonun elastik davranışa yaklaşması, çimento ile agreganın sertlik derecelerinin yakın olmasına bağlıdır (Neville, 1995).

Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarında bulunan Alfa marka cihaz ile 15x30 cm lik silindirik C30/37, C40/50 ve C60/75 silindir numunelere yapılan 3'er defa yükleme sonucunda komparatör (dial gage) ile basınç yüklemelerine karşılık gelen deformasyonlar (kısılma) belirlenmiştir (Şekil 11).

Her bir deneyde okunan yükleme-deformasyon miktarları dairesel kesit alanı ve numune boyu formülde kullanımıyla gerilme-birim şekil değiştirme sonuçları ile deneysel elastisite modülleri elde edilir. Son olarak üç değer aritmetik ortalaması deneysel elastisite modülünü vermiştir.



*Şekil 11. Elastisite modülü ölçümü*

### **3.Bulgular**

Samsun ve Ordu/Fatsa bazalt kaya birimlerinden alınan agregalar ile üretilen küp ve silindir beton numuneler için basınç dayanımları, silindir numuneler ile yarmada çekme dayanımları, prizma numuneler için eğilme dayanımları ve ultrases hız ölçümleri ile deneysel ve teorik elastisite modül hesaplamaları yapılarak sonuçlar tablolar halinde gösterilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda istatistik değerlendirmelerde bulunulmuştur.

### **Küp Basınç Dayanımı Testleri**

15x15x15 cm lik beton küpler kür havuzundan 28. günlerde çıkarılıp, Bafra İlçesinde kurulu Beltaş Yapı Elem. Ltd. Şti. nin kalibrasyonu yapılmış durumundaki laboratuvarında TS EN 12390-3 standardına uygun olarak teste tabi tutulmuşlardır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir. Her bir numunenin yoğunluğu TS EN 12390-7 standardına göre belirlenmiştir. Bazalt

kökenli taş ocağı olan Ordu İli Fatsa İlçesi Salihli Köyünden alınan agregalardan imal edilen beton örnekleri oldukça düşük kaliteli çıkmıştır (Tablo 12). Buna neden olarak söz konusu malzemenin su emme oranının ve yassılık indeksinin oldukça yüksek olması (% 2,46 ve % 20), olabileceği gibi özellikle ince agreganın çimento ile reaksiyona girmeyip çimento şerbetini üzerinden sıyrılması gibi bir görüntü ortaya çıkmıştır (Şekil 12). Bunun üzerine söz konusu bazalt malzemedeki kum yerine Kavak ilçesinden temin edilen kalker kumu kullanılarak yeniden beton imalatı yapılmıştır.



*Şekil 12. B3 bazalt kumu kullanılarak üretilen numuneler*

*Tablo 12. B3(Fatsa) bazalt kumu kullanıldığında elde edilen 28 günlük dayanımlar*

Malzeme Yeri	Kesit Alanı (cm <sup>2</sup> )	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (gr)	Birim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç day (Mpa)
B3 C30/37	225	3375	7260	2.151	566,5	25,18
B3 C40/50	225	3375	7406	2.194	384,7	17,1
B3 C40/50	225	3375	7424	2.200	318,7	14,17

Diğer bazalt menşeli ocak agregalarından imal edilen numune dayanımları Tablo 13'te verilmiştir. B2 agregalarında kalker kumu ile karışık imal edilmiştir. Atakum (B1) bazalt agregasında karışım bulunmamaktadır.

*Tablo 13. Bazalt agregasından elde edilen betonların 28 günlük küp dayanımları*

Malzeme Yeri	Kesit Alanı (cm <sup>2</sup> )	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (gr)	Birim Ağır. (gr/cm <sup>3</sup> )	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç Day (Mpa)	Ort Day. (MPa)
B1 C30/37	225	3375	8052	2,386	1275,25	56,7	50,3
			8018	2,376	1098,40	48,85	
			7995	2,369	1045,50	46,46	
B1 C40/50	225	3375	7991	2,368	1435,66	63,96	59,30
			7956	2,357	1285,20	57,12	
			7958	2,358	1278,80	56,83	
B1 C50/60	225	3375	8089	2,397	1511,97	67,23	65,55
			7974	2,363	1450,6	64,47	
			8022	2,377	1461,28	64,95	
B1 C60/75	225	3375	8128	2,408	1463,29	65,11	64,96
			8058	2,388	1444,05	64,18	
			8125	2,408	1475,80	65,59	
B2 C30/37	225	3375	8013	2,374	798,10	35,48	35,88
			7958	2,358	793,13	35,25	
			8055	2,387	830,20	36,9	
B2 C40/50	225	3375	8104	2,401	1052,66	46,80	46,504
			8090	2,397	1040,63	46,25	
			8096	2,399	1045,30	46,46	
			8058	2,38	1502,58	66,79	

B2 C50/60	225	3375	8045	2,38	1352,48	60,11	63,06
			8052	2,38	1401,25	62,28	
			8071	2,39	1658,61	73,735	
B2 C60/75	225	3375	8062	2,38	1645,05	73,11	74,07
			8098	2,39	1695,70	75,36	

*Tablo 14. 28 günlük beton küp numunelerin dayanımları (Fatsa bazalt agregası ve kalker kumu)*

Mal zem e	Kesit Alanı (cm <sup>2</sup> )	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (gr)	Birim Ağı (gr/cm <sup>3</sup> )	Kırılma Yüktü (kN)	Basınç day (MPa)	Ort Day. (MPa)
C30/37	225	3375	8050	2,385	1028,25	45,708	44,259
			8055	2,387	999,92	44,449	
			8052	2,386	958,91	42,62	
C40/50	225	3375	8052	2,386	1228,44	54,604	55,027
			8070	2,391	1226,45	54,539	
			8115	2,404	1258,68	55,94	
C50/60	225	3375	8021	2,377	1626,79	72,332	70,325
			8015	2,375	1624,38	72,224	
			7984	2,366	1494,54	66,42	
C60/75	225	3375	8175	2,422	1736,49	77,19	77,59
			8195	2,428	1781,2	79,247	
			8255	2,446	1816,65	76,344	

### **Silindir Basınç Dayanımı Deneyleri**

Bafra İlçesinde kurulu Beltaş Yapı Elemanları firmasının şantiye sahasında toplam 3 taş ocağına ait malzeme ile C30, C40 ve C60 sınıflarında imal edilen 15x30 cm lik silindir numuneler 28 gün havuzda bekletildikten sonra basınç testine tabi tutulmuşlardır. Sonuçlar aşağıdaki Tablo 15’de verilmiştir.

*Tablo 15. Silindirik beton numunlerin dayanım değerleri*

Malzeme Yeri	C30/37		C40/50		C60/75	
	Ağırlık (gr)	Dayanım (Mpa)	Ağırlık (gr)	Dayanım (Mpa)	Ağırlık (gr)	Dayanım (Mpa)
B1	12645	33,45	12695	41,1	12720	53,
	12720	35,580	12720	48	12832	96
	12698	33,75	12750	2	12762	62,
B2	12700	29,95	12785	6	12672	60,
	12755	30,48	12725	5	12800	45
	12845	32,25	12800	03	12855	05
B3	12530	44,456	12775	5	12640	25
	12600	42,575	12475	00	12565	25
	12650	40,449	12600	38	12625	55
			39			67,
						24

### Yarmada Çekme

Testler, DSİ Samsun Bölge Müdürlüğü'nün Malzeme Kontrol Laboratuvarında akredite cihazlar ile yapılmıştır. MPa cinsinden yarmada çekme dayanımları aşağıdaki Tablo 16'da verilmiştir. 15x30 cm ebatlarındaki silindirik numuneler 28 gün havuzda bekletildikten sonra doğal kuruma sonrası ertesı gün teste tabi tutulmuşlardır.

Ayrıca aşağıdaki Tablo 17'de yarmada çekme dayanımlarının, küp basınç dayanımlarına oranları gösterilmiştir. Yine bazalt menşeli agrega ile üretilen betonlardan elde edilen oranların düşüklüğü farklılık arz etmektedir.

Bu oranın özellikle bazalt menşeli agragalar ile üretilenlerde olması dikkat çekmektedir ki, bu malzemenin su emme oranı kalkere kıyasla yüksektir. Basınç dayanımı  $15 \text{ MPa} \leq f_c \leq 65 \text{ MPa}$  aralığında

olan betonlar için bu oranın % 6-12 aralığında beklenmesi gerektiği yönünde çalışma bulunmaktadır (Arioğlu, Girgin & Arioğlu, 2002)

*Tablo 16. Yarmada çekme deney sonuçları*

Malzeme Yeri	C30 /37 (Ort)	C40 /50 (Ort)	C50 /60 (Ort)	C60 /75 (Ort)
B1	2,70	3,30	3,20	4,35
B2	2,53	2,40	2,75	3,78
B3	3,0	3,62	3,80	5,05

*Tablo 17. Yarmada çekme dayanımlarının küp basınç dayanımlarına oranları*

Yarmada Çekme/Küp Dayanımı	C30/37	C40/50	C50/60	C60/75
Malzeme Yeri			0	5
1 I	2,70/5 0,3 = 0,0536	3,30/5 5,3= 0,0597	3,20/6 5,55= 0,0488	4,35/6 4,96= 0,0669
2 I	2,53/3 5,88= 0,0705	2,40/4 6,504= 0,0516	2,75/6 3,06= 0,0436	3,78/7 4,068= 0,0510
3 I	3,0/44, 26 = 0,0677	3,62/5 5,03= 0,0658	3,80/7 0,325= 0,054	5,05/7 7,59= 0,0651

### **Eğilme Dayanımı**

Hazırlanan kiriş numuneler Boyabat İlçesindeki Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü Laboratuvarında (üç noktalı) TS 12390/5 standardına uygun olarak test edilmiştir. Numuneler, 10x10x40 cm ebatlarındaki kalıplardan çıkan prizmatik betonlardır. Numuneler su havuzundan çıkarıldıktan sonra bir gün kuruması için bekletilmiştir. Yükleme hızı 0,6 N/mm<sup>2</sup> olacak şekilde ve iki mesnet arası (3d); 40 cm uzunluktaki prizmalar için 30 cm olarak

yerleştirilerek cihaz aracılığı ile orta noktadan yükleme yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 18’de verilmiştir.

*Tablo 18. Üç noktalı eğilme dayanımı ortalama değerleri*

Malzeme Yeri	C30/ 37 (MPa)	C40/ 50 (MPa)	C50/ 60 (MPa)	C60/75 (MPa) (tekrarlanan )
B1	5,09	5,76	5,78	5, 89
B2	4,73	5,02	6,12	6, 23
B3	4,97	4,66	5,38	5, 60

### **Ultrasonik Ses Hızı Ölçümü**

Ölçümler, Boyabat İlçesi Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü Laboratuvarında Alman menşeli Proceq marka cihaz ile ASTM C 597’ye göre yapılmıştır. Numunelerden elde edilen sonuçlar, betonun kalıba dökülürken iyi sıkıştırılması kolaylığı nedeniyle “oldukça iyi” çıkmış olup Tablo 20’de gösterilmiştir. Piyasada yapılan inşaatlarda bu denli yüksek ses hızlarına ulaşamaması betonun kalıplarda iyi sıkıştırılamaması, kür eksikliği ve betonların üretim yerinden döküm anına kadar geçen süre vb. etkenlere bağlıdır. Ayrıca (Whitehurst,1951)’e göre, titreşim hızı ve beton mukavemeti arasındaki ilişki tekil olmayıp, birçok etkenden (su/çimento oranı, agrega tipi ve boyutu, çimento türü ve içeriği, nem oranı) kaynaklanmaktadır.

Bu yöntemde, betonun hava içeriği ve agrega cinsi sonuçlar üzerinde etkilidir. Taze beton olması, agrega/çimento oranı sonuçları değiştirilebilir. Bu yöntemde hata payı  $\pm$  %20 dolayındadır (Malhotte & Carette, 1979). Ölçüm sonuçları Tablo 19’da verilmiştir.



*Tablo 19. Bazalt agregasından üretilen prizmatik numunelerin ultrasonik ses hızı*

Malzeme Yeri	Kesit Alanı (cm <sup>2</sup> )	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (gr) ort	Birim Ağ (gr/cm <sup>3</sup> )ort	Vp (km/s n)	Zaman (µs)	
B1				5			8
C30/37	100 cm <sup>2</sup>	4000	900	2,475	4,71	4,9	
B1				5			1
C40/50	100 cm <sup>2</sup>	4000	750	2,438	3,85	03,90	
B1				5			8
C50/60	100 cm <sup>2</sup>	4000	825	2,456	4,70	5,15	
B1				5			8
C60/75	100 cm <sup>2</sup>	4000	850	2,463	4,83	2,9	
B2				5			8
C30/37	100 cm <sup>2</sup>	4000	640	2,410	4,46	9,65	
B2				5			8
C40/50	100 cm <sup>2</sup>	4000	685	2,422	4,69	5,30	
B2				1			8
C50/60	100 cm <sup>2</sup>	4000	0195	2,549	4,77	3,80	
B2				1			8
C60/75	100 cm <sup>2</sup>	4000	0107	2,527	4,88	2,05	
B3				5			8
C30/37	100 cm <sup>2</sup>	4000	703	2,426	4,86	3,35	
B3				5			8
C40/50	100 cm <sup>2</sup>	4000	722	2,427	4,89	1,85	
B3				98			8
C50/60	100 cm <sup>2</sup>	4000	65	2,467	4,90	1,60	
B3				10			8
C60/75	100 cm <sup>2</sup>	4000	030	2,508	4,92	1,25	

### **Elastisite Modülü**

Teorik elastisite modüllerinden daha önce bahsedilerek formülleri verilmişti. Söz konusu beton numunelerin elastisite modülleri, üç bazalt ocağının malzemesinden üretilen 15x30 cm ebatlarındaki numunelerin verileri kullanılarak, daha önce bahsedilen dört yöntem ile bulunmuştur. Amerikan Beton Enstitüsü'nce ifade edilen formüldeki özgül ağırlık “w” değeri normal beton için 2,30 ton/m<sup>3</sup> olarak alınmış ise de, bu çalışmada üretilen numunelerin numunelerin birim hacim ağırlıkları fazla olduğundan ve daha doğru bir sonuca ulaşabilmek için

ağırlıklarından elde edilen birim ağırlıkların kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Üç farklı yöntemle göre hesaplanan bazı beton sınıflarına ait karşılaştırmalı elastisite modülü verileri Tablo 20’de gösterilmiştir. Dört elastisite modülü değerlerinin belirlenmesi için C30, C40 ve C60 beton silindir numuneler üretilmiştir.

*Tablo 20. Elastisite modüllerinin üç farklı yöntemle karşılaştırılması (Türkel, 2002)*

F <sub>c</sub> (Mpa)	TS 500 (Gpa)	ACI 318 (Gpa)	CEB (Gpa)
5	21,3	10,6	17,1
10	24,3	15,0	21,5
20	28,5	21,2	27,0
30	31,8	25,9	30,9
60	39,2	32,6	38,8

Teorik elastisite modülü formülleri çok sayıda bulunsa da en çok tercih edilerek yapılan hesaplamalar aşağıdaki Tablo 21, Tablo 22 ve Tablo 23’de gösterilmiştir.

*Tablo 21. Dört farklı formülle C30/37 betonu için elde edilen elastisite modülü değerleri*

	C30/37 Betonu, Elastisite Modülleri Modülleri (N/mm <sup>2</sup> )			Hesaplanan Elastisite		TS
	f <sub>cj</sub> Ort.,N/mm <sup>2</sup> )	ACI 4,73 √f <sub>cj</sub>	CEB 9500 ( f <sub>cj</sub> + 8) <sup>1/3</sup>	BSI 9100f <sub>cj</sub> <sup>1/3</sup>	500 3250 √f <sub>cj</sub> + 14000	
B1	34,260	29479.57	33090.250	29555.424	91	33022.
B2	30,893	2825528	32187.010	28553.637	98	32063.
B3	42,493	32465.66	35112.950	31755.128	66	35185.

*Tablo 22. Dört farklı formülle C40/50 betonu için elde edilen elastisite modülü sonuçları*

	C40/50 Betonu, Elastisite Modülleri		Hesaplanan Elastisite Modülleri(N/mm <sup>2</sup> )		
	f <sub>ci</sub> (Ort., N/mm <sup>2</sup> )	ACI	CEB	BSI	TS 500
		4,73 $\sqrt{f_{ci}}$	9500 ( $f_{ci} + 8)^{1/3}$	91 $100 f_{ci}^{1/3}$	3250 $\sqrt{f_{ci}}$ + 14000
B1	,51	33355.03	35347.12	32006.48	35437.69
B2	,47	32348.58	34636.89	31242.22	34674.45
B3	,72	34859.76	36500.79	33236.14	36684.91

C60/75 beton numuneler için elde edilen teorik elastisite modülü değerleri Tablo 23’de verilmiştir.

*Tablo 23. Dört farklı formülle C60/75 betonu için elde edilen elastisite Modülü sonuçları*

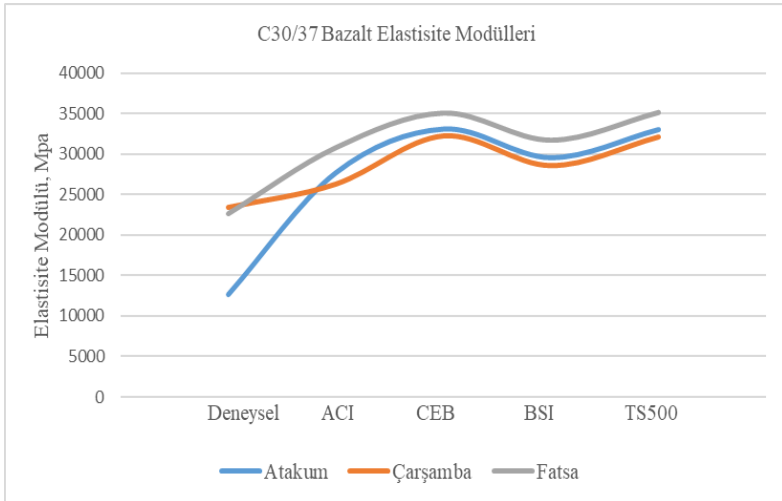
	C60/75 Betonu, Elastisite Modülleri		Hesaplanan Elastisite		
	f <sub>ci</sub> (Ort.,N/mm <sup>2</sup> )	Modülleri (N/mm <sup>2</sup> )		BSI	TS 500
		ACI	CEB		
	4,73 $\sqrt{f_{ci}}$	$f_{ci} + 8)^{1/3}$	$100 f_{ci}^{1/3}$	3250 $\sqrt{f_{ci}}$ + 14000	
B1	57,86	38800.14	38364.03	35196.01	38720.73
B2	61,58	40048.92	39074.31	35935.89	39504.32
B3	66,01	41882.36	39885.99	36777.15	40405.12

Elastisite modülü değerleri, TS 500’e ve CEB (Avrupa Beton Komitesi) formüllerine göre bulunduğunda sonuçlar yakın çıkmaktadır. Amerikan Beton Enstitüsü (ACI 318-83)’e göre ise formüldeki birim hacim ağırlığı “w” değerlerinin 2,30 ton/m<sup>3</sup> olarak değil de gerçek ölçüm değerlerinin alınmış olmasından kaynaklanmaktadır. BSI değerleri ise diğer üç formülden elde edilenlere göre daha düşük çıkmıştır.

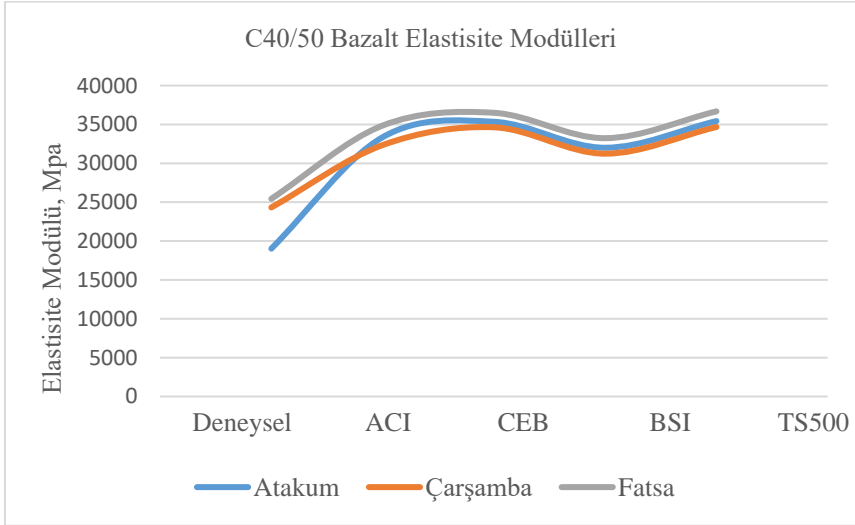
## **Deneysel Elastisite Modülü**

C30/37 ve C40/50 bazalt agregalı beton numunelerin her biri için üçer kez 12000 kg'a, C60/75 numuneler için ise yine üçer defa 15000 kg'a kadar yapılan yüklemeler sonunda elde edilen veriler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Yüklemeler sonucunda meydana gelen birim deformasyonlar, gerilme ve elastisite modülü sonuçları Grafik 1, 2 ve 3'de gösterilmiştir.

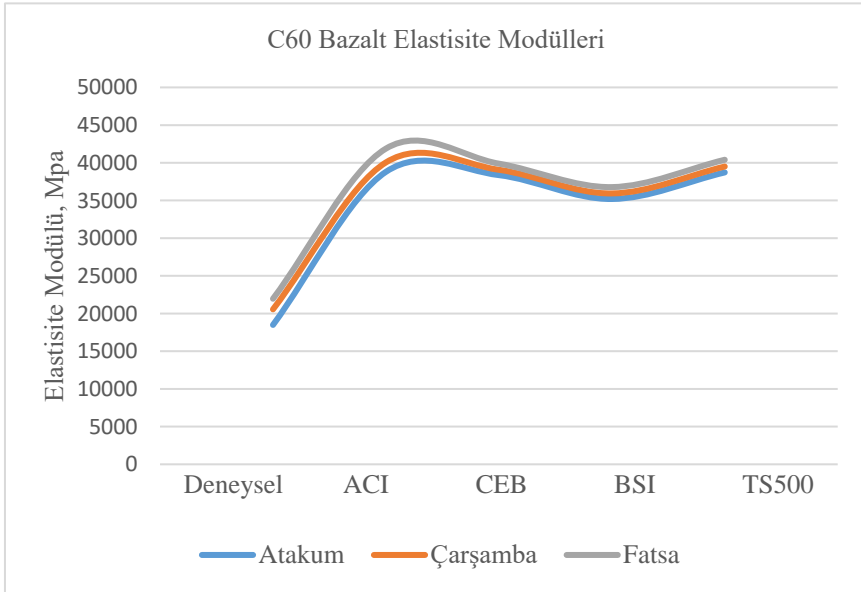
Tablo 24'den, bazalt menşeli agregalar ile üretilen aynı beton sınıfındaki numunelerin deneysel elastisite sonuçları, teorik formüller ile elde edilen elastisite modüllerinden düşük çıktığı görülmektedir. Ayrıca C60/75 betonu için elde edilen sonuçlar C30/37 ve C40/50 betonları için bulunan sonuçlardan düşük ya da yakın bulunmuştur. Nedeninin, C60/75 için, su emme kapasitesinin yüksek olduğu iri agrega kullanımı ve bu agregaların da Los Angeles (parçalanma dayanımı) değerinin yüksek olmasından kaynaklandığı yönünde değerlendirilme yapılmıştır.



*Grafik 1. Bazalt agregalı C30/37 beton numunelerin deneysel ve teorik elastisite modülleri*



*Grafik 2. Bazalt agregalı C40/50 beton numunelerinin deneysel ve teorik elastisite modülleri*



*Grafik 3. Bazalt agregalı C60/75 beton numunelerinin deneysel ve teorik elastisite modülleri*

*Tablo 24. Beton numunelerin deneysel elastisite değerleri (bazalt agregalı)*

	B3			B1			B2		
	C40/50	C60/75	C30/37	C40/50	C60/75	C30/37	C40/50	C60/75	
C30/37	33953.1	21447.6	14556.2	24252.	19643.2	22291.2	33953.1	22378.4	
19264.69	7	6	4	3	1	3	7	3	
20389.38	27162.5	21306.5	14031.5	18862.	19273.0	23435.0	24252.2	22055.0	
20672.38	3	8	6	9	6	6	6	6	
25024.5	21287.1	13443.5	18189.	19472.7	24164.5	22635.4	21908.3	21908.3	
24298.6	4252.26	2	3	2	0	0	4	4	
26235.81	23019.1	23222.7	11485.2	17870.	17473.9	25095.4	22635.4	21434.1	
ort	0	5	2	1	7	9	4	2	
22647.56	22337.6	22423.9	10954.2	17683.	17582.1	22909.6	21220.7	17957.4	
	1	8	7	9	7	6	3	0	
	21905.2	22076.1	11258.9	17264.	17493.1	22701.0	21220.7	17611.1	
	7	8	1	3	6	5	3	0	
	25438.3	21960.7	12621.6	19020.	18489.7	23432.8	24319.6	20557.4	
	2	1	2	4	1	3	3	1	

#### 4.Sonuçlar

1. Fatsa Salihli Köyünden alınan bazalt agregası ile üretilen betonların kalitesinin çok düşük olduğu görölmüş bunun üzerine bazalt kumu yerine Kavak kalker kumları kullanılarak yeniden beton imalatı yapılmıştır. C30/37'dan C60/75'a kadar tüm örneklerin TS 206'da belirtilen sınırlar dahilinde olduğunu gösteren sonuçlar elde edilmiştir. Fatsa'daki agrega üretim ve hazır beton üreticisi firma, beton imalatında bazalt kumu yerine Kavak'tan getirdiği kumu tercih etmektedir. Söz konusu bazalt kumu ise dolgu malzemesi olarak kullanılabilir.
2. Çarşamba Ayvacık'tan alınan bazalt agregası ile üretilen betonlarda TS 206 ve TS 500'e göre kısmen düşük küp dayanım ve yarmada çekme dayanımı tespit edilmiştir. Fatsa örneğinde olduğu gibi Çarşamba /Ayvacık bazalt agregası ile Kavak ilçesinden getirilen kalker kumu %30 oranında karıştırılarak kullanılması halinde yüksek dayanım elde etmek mümkündür.

3. Atakum bazalt agregası ile üretilen betonlarda kalker kumu kullanılmamıştır. Bu da, Fatsa ve Çarşamba bazalt agregasına kıyasla beton dayanımına katkısının fazla olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada beton numune üretiminde hiper akışkanlaştırıcı dışında katkı maddesi kullanılmamıştır. Beton performansına etkisi araştırılan agregalar ile sadece granülometri üzerinden C50/60'ye kadar dayanımlı beton yapılabileceği, C50/60'den daha yüksek dayanımlı beton üretmek için ise çeşitli katkılardan yararlanılması gerekeceği sonucuna varılmıştır.
4. Elastisite modülü değerleri, bu konuda bilinen dört farklı yöntem ile de tespit edilmeye çalışılmıştır. ACI 318-92 formülündeki hesaplamalarda özgül ağırlığı  $2300 \text{ kg/m}^3$  normal beton olarak kabul edilmekte ise de bu çalışmada numunelerin gerçek özgül ağırlıklarına karşılık gelen basınç dayanımları kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. TS 500, BSI (CP110) ve CEB (FIP 124/124)'e göre aynı şekilde beton sınıfına ait silindir basınç dayanımları yazılarak hesaplama yapılmıştır. TS 500 ve CEB değerleri birbirine oldukça yakın çıkarken, ACI değerlerinin de BSI sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür.
5. Teorik ve deneysel elastisite sonuçları kıyaslandığında deneysel elastisite değerleri bazalt menşeli agregalar ile üretilen betonlarda düşük çıkmıştır. Bazalt agregalı betonlarda, C60/75 sınıfı deneysel elastisite sonuçlarının C30/37 ve C40/50' dan da düşük çıkmasının, daha fazla iri agreganın imalata girmesi dolayısıyla su emme oranlarının yüksekliği ve Los Angeles (parçalanma dayanımının) yüksekliği ile alakalı olduğu düşünülmektedir.

6. Eğilme dayanımı, yarmada çekme ve deneysel elastisite sonuçlarının, haliyle yarmada çekme/küp basınç dayanımı oranlarının bazalt menşeli agregalar ile üretilenlerde düşük çıkmasına en önemli nedenler olarak, su emme oranlarının yüksek olması ve Los Angeles (parçalanma) verilerinin yüksek olması gösterilebilir.
7. 7- Fatsa ve Çarşamba/Ayvacık bazalt agregasından, ancak kalker kumu kullanıldığında iyi sonuçlar alınabilmektedir. Bölgedeki nem oranının da -ülkemizin diğer bölgelerindeki bazalt agregalı deneyler ile kıyaslandığında- etkili olduğu düşünülmektedir. Bunda en önemli neden olarak su emme oranlarının yüksek olması gösterilebilir. Ayrıca yapılan kimyasal analizlere göre her ne kadar Fatsa'da tekrar üretilen betonlarda kullanılmamış olsa da bazalt kumunun "kirli" olarak ifade edildiği sonucuna varılmıştır. Bu çalışma kapsamında yer alan Fatsa ve Çarşamba/Ayvacık örneklerinde görüldüğü gibi kalker kumu, yöredeki bazalt agregası ile birlikte kullanıldığında oldukça iyi sonuçlar alınmıştır. Bazalt agregasının beton üretiminde kalker ince malzemesi ile kullanımının tavsiye edilerek yaygın hale getirilmesi desteklenmelidir.
8. Tahribatsız bir yöntem olan ultrasonik ses hızı ölçümü tek başına beton kalitesi tespitinde kullanılması halinde yetersiz kalmaktadır. Bu yöntemin yanı sıra başka bir hasarsız yöntem olan Schmidt çekici deneyi verilerinin uyumluluk durumuna göre, betonarme taşıyıcı sistemde momentin sıfır olduğu noktalar için hasarlı bir yöntem olan karot alınması gibi hallerde kullanılabilir. Böylelikle sık kullanılan ve betona hasar verilerek



alınan karot numune sayısının azaltılması da gündeme getirilebilir. Betonarme yapının tüm taşıyıcı elemanlarından değilse de, ultrases ve Schmidt çekici vb. tahribatsız yöntem deneyleri verilerinin uyumluluk durumuna göre daha düşük sayıda karot alınmak suretiyle yapıya daha az hasar verilerek numune alınabilir. Bir başka deyişle, ultrasonik ses hızı ölçümü güvenilir bir sonuca ulaştıramasa da en azından ön fikir ya da genel kanı oluşturması bakımından, kolay uygulanabilirliği ve ekonomik olması da düşünüldüğünde dikkate alınabilir.

## Kaynaklar

[1] Gökdemir, A., (1997). Yapı malzemeleri ve beton teknolojisi. Ankara: Teknik Yayınevi,

[2] Neville, A. M. and Brooks, J. J. (1987). Concrete Technology. Addison Wesley Longman Ltd, Edinburgh Gate, Harlow, Essex CM20 2JE 290.

[3] Taşdemir, M. A. (1982). Taşıyıcı hafif betonların elastik ve elastik olmayan davranışları. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 124, İstanbul.

[4] Tuncay, E.B., (2014). Isparta yöresinde yer alan kaya birimlerinden elde edilen agregaların beton performansına etkisi. Doktora Tezi, SDÜ, Isparta

[5] Taşdemir C., Özyurt N., Ertuğrul C., ve Kara g., (2003). “Kırma kumun beton özelliklerine etkisi üzerine bir değerlendirme”. İstanbul. 3. Ulusal Kırma Taş Sempozyumu

[6] Özkul M.H., ve Taşdemir M.A. (2008). Betonarme yapıların güçlendirilmesinde beton performansının önemi ve yerinde dayanımın belirlenmesi, İTÜ

[7] Yoldaş, R.,(1989). Samsun ve dolayının (Kızılırmak-Yeşilirmak arasındaki bölge) jeolojisi ve petrol olanakları, Ankara, MTA Derl.Rap.No:8130

[8] Keskin,İ., (1999). Ünye-Fatsa-Kumru-Korgan (Ordu ili) dolayının jeolojisi. Ankara: MTA Derl.Raporu

[9] TS EN 12390-3/Nisan 2003. Deney Numunelerinde Basınç Dayanımı Tayini.

[10] TS EN 12390-5/Nisan 2002. Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini

[11]ASTM C 78, (1991). Flexural Strength of Concrete Beams Annual Book of ASTM Standarts

[12] TS EN 12390-6/Nisan 2002. Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini

[13] Baradan, B., (1998). Yapı malzemesi II. DEÜ Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir,92-106, 154-158.

[14] TS 802. (2006) Beton Karışımı Hesap Esasları.

[15] Erdoğan, Y. T. (2003). Beton. Ankara, ODTÜ Basımevi, 741

[16] TS 706 EN 12620 / Nisan 2003 “ Beton Agregaları”

[17] Kaygısız H., (2010). Kayseri yöresindeki yapıtaşlarının fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

[18] Neville, A. M. (1995). Properties of concrete. Longman Group, Burnt Mill, Harlow

[19] TS EN 934-2 Mart 2002 Kimyasal katkıları- Beton, harç ve şerbet için- Bölüm 2: Beton katkıları- Tarifler ve özellikler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme

[20] TS 4834. 1986. Beton ile ilgili terimler. TSE-Ankara

- [21] Resmi Gazete, (8 Mart 2018). 30364 Sayılı (Mükerrer).
- [22] Agregada Gradasyon Programı , 4 Eylül 2015. (Excel) İnş. Y. Müh. Yasin Engin SPSS, IBM İstatistik Programı
- [23] Uçar T., Seçer M., (2007 ) “Beton sınıfının yapı performans seviyesine etkisi”. İstanbul.,7. Ulusal Beton Kongresi
- [24] TS EN 12390-7 2002 Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini Türk Standardları Enstitüsü Ankara
- [25] Kurt, M. (2009). Kendiliğinden yerleşen hafif betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 216, Erzurum.
- [26] Yardımcı, M. Y. (2007). Çelik lifli kendiliğinden yerleşen betonların reolojik, mekanik, kırılma parametrelerinin araştırılması ve optimum tasarımı. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 405, İzmir
- [27] Özçep F., Karabulut S.,Özgüven B., Sanlı O. (2012). Tahribatsız test yöntemleri ve ultrasonik hız ölçümleri. İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü. www.jeofizik.org.tr Kasım 2012
- [28] Uyanık O. , Gülay F.G., Tezcan S., (2012). Beton dayanımının tahribatsız ultrasonik yöntemle tayini. 3 Ocak - Şubat , Hazır Beton Dergisi

[29] International Atomic Energy Agency, (2002). Guidebook On Non-Destructive Testing Of Concrete Structure, Training Course Series.

[30] ASTM C 597, (1994). Standart Test Method For Pulse Velocity Throught Concrete, Annual Book of ASTM Standarts

[31] Berktaş, İ., (1989). Betonarme 1 taşıma gücü ve kesit hesapları, İstanbul. İMO Odası

[32] ACI 318-92, Building code requirements for reinforced concrete, ACI Manual of Concrete Practice Part 3: 1994

[33] Comité Euro-International du Beton, CEB-FIP Model Code for Concrete Structures, Bull. 124/125, April 1978.

[34] British Standards Institute (BSI), Code of Practice for the Structural use of concrete, CP110, Part 1, London, 1972.

[35] TS 500, (2000). Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü. Ankara,

[36] Tunç E.T., Alyamaç K. E., (2020). Farklı Test Parametreleri için Agregaların Los Angeles Aşınma Kaybı Üzerine Etkisi, Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi 32(1), 1-10,

[37] Arıoğlu E., Girgin C., Arıoğlu N. (Ocak-Şubat 2002). Betonda çekme/basınç dayanımı oranının irdelenmesi, Hazır Beton Dergisi

[38] Whitehurst, E.A., (1951). Soniscope test concrete structures. Journal of American Concrete Institute, Proceeding, vol. 47, pp, 443-444

[39] Malhotra, V.M. and Carette, G.G., (1979). In Situ Testing for Concrete Strength, CANMET Report 79-30, 20 p.

## BÖLÜM II

### **Sığ Tünellerin Tahkimatında Tek Sıra ve Çift Sıra Şemsiye Süren Kullanımının Yüzey Oturmalarına Etkisi: Dudullu-Bostancı Metro Hattı Yolcu Tüneli Örneği**

**İnci Nur ÇAKAR<sup>1</sup>**  
**Murat Ergenekon SELÇUK<sup>2</sup>**

#### **1. GİRİŞ**

Büyük şehirlerde yaygınlaşan raylı sistem ağları ile birlikte, birçok farklı zemin koşullarında, farklı derinliklerde mekanik ya da makine kazılarıyla tüneller inşa edilmektedir. Tünelcilik faaliyetlerinin şehir içinde hızlı gelişimi ile birlikte yumuşak zeminlerde tüneller yapılmasını da ihtiyaçlar doğrultusunda beraberinde getirmiştir.

---

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, e-mail: (incicakarx@gmail.com), Orcid: 0009-0007-0877-4317

<sup>2</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, e-mail: (mselcuk@yildiz.edu.tr), Orcid: 0000-0003-1890-7965

Tünellerin en kesitlerinden bağımsız olarak, tünelin üzerinde bulunan örtü kalınlığı miktarı ve bulunduğu zemin-kayaç birimi, tünelin dayanımı ve uygulanacak olan tahkimat için avantaj ya da dezavantaj sağlayabilmektedir. Sığdan derine gidildikçe, yumuşak zemin birimlerinden sert kayalara geçişler sağlanmaktadır. Bu şekilde bakıldığında tünellerin açıldığı ortamlar yumuşak zemin birimleri, ayrılmış zayıf kayalar, az ayrılmış sert kayalar şeklinde gruplandırılabilir.

Sığ tünellerde olarak adlandırılabilen, yumuşak zemin birimlerinde yer alan tüneller için en büyük problemler zeminlerin sahip olduğu düşük dayanımlar, düşük dayanımlar neticesinde meydana gelen hızlı ve kolay deformasyonlar, yer altı suyunun dinamiği şeklinde sıralanabilir. Tünel imalatları sırasında yer altı suyundan kaynaklı olarak meydana gelebilecek olumsuzlukların önlenmesi için yer altı suyunun düzenli olarak drene edilmesi ya da galeriler yardımı ile çalışma alanından uzaklaştırılmalıdır. Yer altı suyunun oluşturabileceği problemlerin yanında tünelin açılacağı zemin biriminin hangi zemin malzemesine ait olduğu ve imalat sürecinde davranışının öngörülebilmesi için malzemenin karakteristik özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi önem arz etmektedir. Ön tasarım süreçlerinde zeminin karakteristiği ve yer altı suya ait davranışın irdelenmemesi durumunda tünel imalatı aşamalarında tünel çeperinde ve yüzeyde deformasyonlar meydana gelebilir, tünel ve üst yapılar zarar görebilir.

Üç bölümde incelenen bu çalışma kapsamında, şehir içinde yapılacak olan, killi zemin biriminde yer alan sığ bir tünel için yüzey oturmalarını sınırlandırmaya çalışırken, ön tasarımda kullanılacak



olan şemsiye sürenin tek sıra ve çift sıra uygulanması ile oturma miktarlarındaki değişim miktarı irdelenmektedir.

Çalışmanın ilk bölümünde, literatürde yapılan benzer çalışmalardan derlemeler yapılarak kullanılacak olan tünel destek elemanlarının dayanım değerleri ve analiz modeli sınırlarının belirlenmesi açıklanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, killi zemin içerisinde ilk bölümde belirlenen analiz modeli sınırlarına göre hazırlanan analiz modellerine ait ilerleme adımları ve sonuç çıktıları paylaşılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümde ise, ikinci bölümde çıktıları paylaşılan analizlere dair detaylı değerlendirmeler ve killi zemin biriminde yer alan sığ bir tünel için tek sıra ya da çift sıra şemsiye süren kullanımının tünel kemerinde ve yüzeyde beklenen oturma değerlerine etkisi kıyaslanmıştır. Yapılan kıyas ve değerlendirmelere göre öngörüler ve öneriler açıklanmıştır.

## **2. LİTERATÜR TARAMASI ve YÖNTEM**

Yapılan tasarım ve saha çalışmalarında, tünel destek sistemlerinde geleneksel olarak tek sıra şemsiye süren uygulandığı bilinmektedir. Perveroğlu Şat vd. (2023)'de yapılan çalışmada da bahsettikleri gibi, Tan (2005), Miwa ve Ogasawara (2005) yapmış oldukları çalışmalarda 2-5m örtü kalınlığına sahip sığ tüneller için çift sıra şemsiye kemer uygulamasının değerlendirilebileceği fakat yapılacak olan analiz modellerinden elde edilen sonuçlarda yüzey oturmalarında kayda değer bir fark olmayabileceği gibi gerçek değerler ile örtüşmeyebileceğine vurgu yapılmıştır.

Perveroğlu Şat vd. (2023)'te yapmış oldukları çalışmalarında da yaklaşık 5 m örtü kalınlığı bulunan tünelin tasarım çalışmalarında

değerlendirilen çift sıra şemsiye süren tasarımının analiz sonuçları da yine literatürü destekler şekilde yüzey oturmalarında teorik olarak bir fark oluşturmamıştır. Yapılan bu çalışmada, nümerik analizlere ilave olarak uygulama esnasında aynı zemin birimi ve benzer örtü kalınlıkları için tek sıra ve çift sıra şemsiye süren uygulamasına ait gerçek oturma değerleri kıyaslandığında, çift sıra şemsiye sürenin oturma değerleri üzerinde uygulamada pozitif etkisi olduğundan bahsedilmiştir.

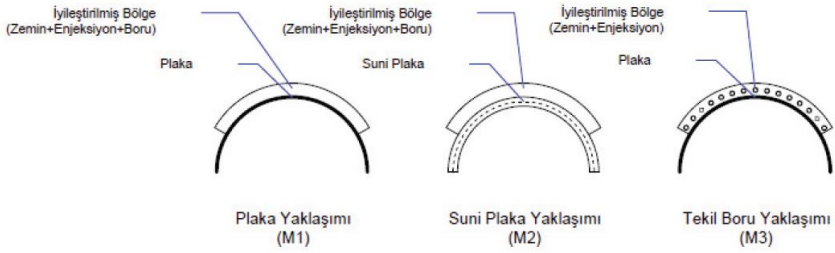
Literatürdeki bu çalışmalara ilave olarak, yapılacak olan bu çalışmada, tünel killi zemin birimleri içerisinde yer almakta olup örtü kalınlığının üzerinde aktif bir araç-yaya sirkülasyonu olup, tünelin etki alanında yoğun bir yapı stoğu mevcut olan ortamlarda, tünelin üzerinde bulunan örtü tabakasında herhangi bir iyileştirme çalışmasının yapılması mümkün olmayacağından, benzer çalışma ortamları için detaylı ön tasarım çalışmaları yapılmıştır.

Yapılacak olan analiz modellerine tanımlanacak olan zemin-kayaç birimleri ve bunlara ait dayanım parametreleri **Tablo 1**'de paylaşılmaktadır.

**Tablo 1 – Tasarım için Seçilen Geoteknik Parametreler**

Zemin Birimi	Birim Hacim Ağırlık ( $\gamma$ ) (kN/m <sup>3</sup> )	İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi'$ )	Kohezyon ( $c'$ ) (kN/m <sup>2</sup> )	Elastisite Modülü (E) (MPa)
<b>Dolgu</b>	18	27 °	5	10
<b>Çakıllı Kil</b>	20	28 °	5	15
<b>Killi Silt</b>	19	30 °	5	20
<b>Arkoz</b>	24	30 °	50	80

Tünel tahkimat elemanı olan şemsiye kemerin analiz modellerine Tan (2005)'te plaka ve tekil boru, Ağbay (2019) ve Norouzi (2020)'de plaka, Güneş (2021)'de ise suni plaka olarak yansıtılmaktadır. Şemsiye kemer uygulaması, sayısal olarak üç farklı yaklaşım ile: (i) plaka (M1), (ii) suni plaka (M2), (iii) tekil boru (M3) olarak modellenebilmektedir. (Ergincan vd. 2023) Hazırlanan analiz modellerinde, şemsiye süren ve iksa sistemlerinin modellenmesi için Norouzi (2020)'de kullanılan plaka yöntemi tercih edilmiştir.



**Şekil 1 – Şemsiye Kemerin Sayısal Modelleme Yaklaşımları**  
(Ergincan vd. 2023)

Norouzi (2020)'de de kullanılan plaka yöntemi ile tünel kemerinde iyileştirilen bölgenin elastisite modülü; zemin, enjeksiyon ve süren borularının elastisite modüllerinin, kapladıkları alana göre ağırlıklı ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Tünel kaplaması için ise yine benzer şekilde plaka yaklaşımı kullanılarak hesaplanmıştır.

Sayısal analizlerde tünel kaplaması, plaka elemanı olarak modellenmekte, püskürtme beton ve kafes iksa dayanım değerleri eşdeğer alan yöntemi ile hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalarda kullanılan eşitlikler aşağıdaki gibidir.

$$EA$$

$$= E_{eq} (h \times 1000)$$

$$EI$$

$$= E_{eq} \left( \frac{h^3 \times 1000}{12} \right)$$

$$E_{eq}$$

$$= \frac{\left( E_{\emptyset} \left( \frac{A_{\emptyset_1} + A_{\emptyset_2} + A_{\emptyset_3}}{d} \right) + E_{PB} \left( (h \times 1000) - \left( \frac{A_{\emptyset_1} + A_{\emptyset_2} + A_{\emptyset_3}}{d} \right) \right) \right)}{(h \times 1000)}$$

$$W_{plate} = (\gamma_{beton} - (0.5 \gamma_{zemin})) d_{eq} \quad (4)$$

EA	: Uzama rijitliği
EI	: Eğilme rijitliği
E <sub>eq</sub>	: Eşdeğer elastisite modülü
E <sub>∅</sub>	: İksa donatısı elastisite modülü
A <sub>∅1-2-3</sub>	: İksa donatısı çapları
d	: Kafes iksa aralığı
E <sub>PB</sub>	: Püskürtme beton elastisite modülü
h	: Püskürtme beton kalınlığı
W <sub>plate</sub>	: Tek yüzü gömülü olan plate eleman ağırlığı
γ <sub>beton</sub>	: Beton birim hacim ağırlığı
γ <sub>zemin</sub>	: Zemin birim hacim ağırlığı
d <sub>eq</sub>	: Eşdeğer destek elemanı ( <i>püskürtme beton + kafes iksa</i> ) kalınlığı

Sayısal analizlerde püskürtme beton ve kafes iksa için kullanılan parametreler

**Tablo 2'**de, yukarıda verilen eşitliklere göre hesaplanan parametreler ise **Tablo 3'**de verilmiştir.

**Tablo 2 – Püskürtme Beton ve Kafes İksa Malzeme Özellikleri**

<b>İksa Donatısı Elastisite Modülü</b>	MPa	<b>E<sub>o</sub> =</b>	20000
<b>İksa Donatısı Çap-1</b>	mm	<b>Ø<sub>1</sub> =</b>	20
<b>İksa Donatısı Çap-2</b>	mm	<b>Ø<sub>2</sub> =</b>	20
<b>İksa Donatısı Çap-3</b>	mm	<b>Ø<sub>3</sub> =</b>	26
<b>İksa Aralığı</b>	mm	<b>d =</b>	600
<b>Püskürtme Beton Elastisite Modülü</b>	MPa	<b>E<sub>PB</sub> =</b>	15000
<b>Püskürtme Beton Kalınlığı</b>	mm	<b>h =</b>	300
<b>Eşdeğer destek elemanı kalınlığı</b>	mm	<b>d<sub>eq</sub> =</b>	300

**Tablo 3 – Plaka Eleman Analiz Parametreleri**

<b>Eşdeğer Elastisite Modülü</b>	GPa	<b>E<sub>eq</sub> =</b>	16.19
<b>Uzama Rijitliği</b>	kN/m	<b>EA =</b>	4.86x10 <sup>6</sup>
<b>Eğilme Rijitliği</b>	kPa/m	<b>EI =</b>	3.64x10 <sup>4</sup>
<b>Tek Yüzü Gömülü Eleman Ağırlığı</b>	kN/m	<b>W<sub>plate</sub> =</b>	4.5

Tünel kemeri üzerinde ön tasarım çalışması yapılacak olan tek sıra ve çift sıra şemsiye süren uygulamasının eşdeğer alan yöntemine göre modül hesapları denklem (5)'e göre yapılmıştır.

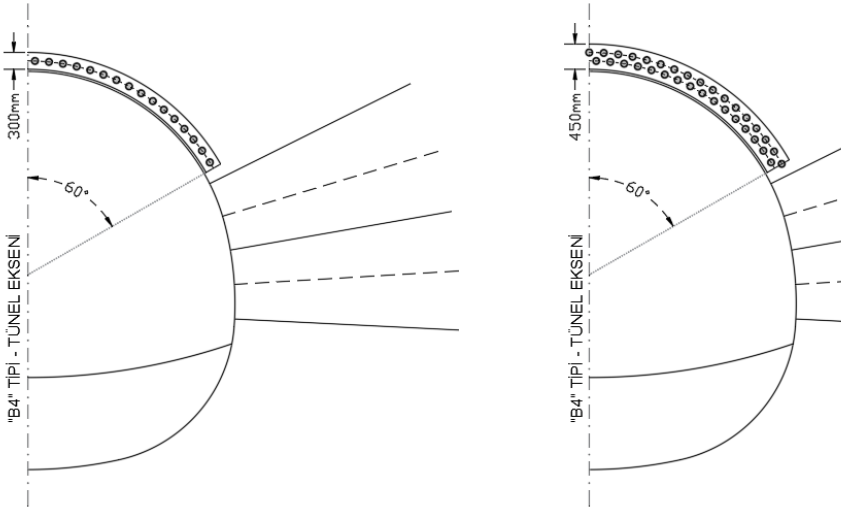
$E_{eq}$

$$= \frac{(n \times E_{\check{c}} \times A_{\check{c}}) + (n \times E_g \times (A_d - A_{\check{c}})) + (E_z \times (A - (n \times A_{\check{c}})))}{A}$$

- $E_{eq}$  : Eşdeğer elastisite modülü  
 $n$  : Tünel kemeri üzerine gelen şemsiye süren adedi  
 $E_{\check{c}}$  : Süren elastisite modülü  
 $E_g$  : Enjeksiyon elastisite modülü  
 $E_z$  : Zemin elastisite modülü

- $A_d$  : Delgi alanı  
 $A_ç$  : Süren alanı  
 $A$  : Kemer üzeri iyileştirilmiş bölge alanı

Tünel tahkimatında, kemer bölgesinde iyileştirilen zeminin kalınlığı, zeminin türüne, enjeksiyonuna bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Burada şemsiye süren için iyileştirilmiş bölge kalınlıkları seçilirken, boruların üst örtü kalınlığı da göz önüne alınarak ortalama bir değer kabulü yapılmış; tek sıra için 300mm, çift sıra için 450mm iyileştirilmiş alan kalınlığı kabulü yapılmıştır.



**Şekil 2 – Şemsiye Süren için İyileştirilmiş Zemin Kalınlıkları Şematik Gösterimi**

Sayısal analizlerde şemsiye süren için kullanılan parametreler **Tablo 4** ve **Tablo 5**'de, yukarıda verilen eşitliğe göre hesaplanan eşdeğer elastisite modülleri ise **Tablo 6**'da verilmiştir.

**Tablo 4 – Tek Sıra Şemsiye Süren için Malzeme Özellikleri**

<b>Delgi Çapı</b>	mm	<b>Ø =</b>	125
<b>Çivi Çapı</b>	mm	<b>Ø =</b>	26
<b>Enjeksiyon Elastisite Modülü</b>	MPa	<b>E =</b>	22000
<b>Çivi Elastisite Modülü</b>	MPa	<b>E =</b>	200000
<b>Kemer Üzerine Düşen Eleman Adedi</b>	adet	<b>n =</b>	16
<b>İyileştirilmiş Zemin Bölgesi</b>	m <sup>2</sup>	<b>A =</b>	1.199
<b>Zemin Birimi Elastisite Modülü</b>	MPa	<b>E =</b>	15

**Tablo 5 – Çift Sıra Şemsiye Süren için Malzeme Özellikleri**

<b>Delgi Çapı</b>	mm	<b>Ø =</b>	125
<b>Çivi Çapı</b>	mm	<b>Ø =</b>	26
<b>Enjeksiyon Elastisite Modülü</b>	MPa	<b>E =</b>	22000
<b>Çivi Elastisite Modülü</b>	MPa	<b>E =</b>	200000
<b>Kemer Üzerine Düşen Eleman Adedi</b>	adet	<b>n =</b>	32
<b>İyileştirilmiş Zemin Bölgesi</b>	m <sup>2</sup>	<b>A =</b>	1.834
<b>Zemin Birimi Elastisite Modülü</b>	MPa	<b>E =</b>	15

**Tablo 6 – Şemsiye Süren Eşdeğer Elastisite Modülleri**

<b>Tek Sıra Şemsiye Süren</b>	GPa	<b>E<sub>eq</sub> =</b>	4.88
<b>Çift Sıra Şemsiye Süren</b>	GPa	<b>E<sub>eq</sub> =</b>	6.37

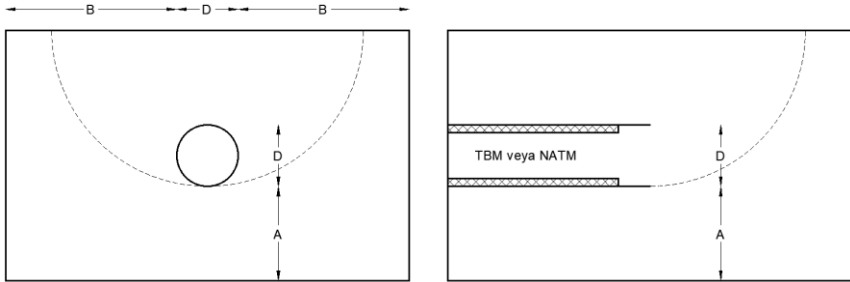
Tünel kazı adımlarında kullanılacak olan zemin çivisi, şaşırtmalı olarak 6-4 şeklinde, bir dilimde 6 zemin çivisi, bir sonraki dilimde 4 zemin çivisi olacak şekilde sıralı olarak uygulanacaktır. 2D analiz modelinde bu adımların birebir tanımlanma imkânı olmadığı ve şemsiye sürenin tasarıma dâhil edilebilmesi için

sağlanması gereken koşulların yeterliliğini kontrol amaçlı hazırlandığından sistemin elverişli durumu analiz modeli olarak hazırlanmıştır. Bu sebeple, analiz modeli içerisinde dikkate alınan tip kesitte 6 adet zemin çivisi tanımlanmıştır.

**Tablo 7 – Zemin Çivisi Malzeme Özellikleri**

Ø (mm)	E (kN/m <sup>2</sup> )	γ (kN/m <sup>3</sup> )	Uzunluk (m)	Aralık		T <sub>skin</sub> (kN/m)
				Boyuna (m)	Radyal (m)	
26 - 125	300000000	25	4	0.60	1.20	100

Analiz sınırlarının belirlenmesinde, kullanılan yazılımların ve yapılan çalışmaların neticesinde Plaxis 2D yazılımında tünel analizleri için kullanılması önerilen sınır değerler **Şekil 3**'te gösterilmektedir. Hazırlanan analiz modelinde üst örtü kalınlığı çalışma alanı ile uyumlu olacak şekilde 6m alınmış olup diğer sınır değerler tünelin etki alanını kapsamayacak şekilde düzenlenmiştir.



**Şekil 3 – Plaxis 2D Tünel Analizlerinde Dikkate Alınan Sınır Koşulları**

Alın Stabilitesi :  $A > 1/2D$  ve  $B \geq 2D$   
Yapı Kuvvetleri :  $B \geq 2D$



### 3. TASARIM ÇALIŞMALARI

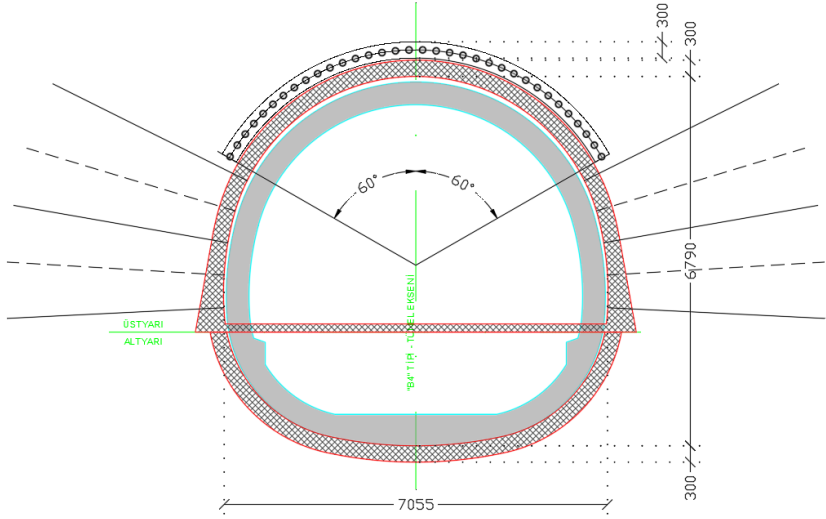
#### 3.1. Tek Sıra Şemsiye Süren

Analiz modeline tanımlanacak olan şemsiye sürenler, literatürde kabul görmüş eş değer alan yöntemi ile şemsiye sürenin rijitleştirdiği kemer bölgesi Plaxis 2D’de soil eleman olarak tanımlanmış ve analiz aşamalarından Faz-2’de belirlenmiş olan bu kısım (**Şekil 7**) rijitliği arttırılmış eş değer soil eleman olarak seçilmiştir.

Tünel kemerinde 120°’lik bir açı içerisinde şemsiye süren uygulaması yapılarak tünelin kemer bölgesi iyileştirilmiş bölge olarak tanımlanmaktadır.

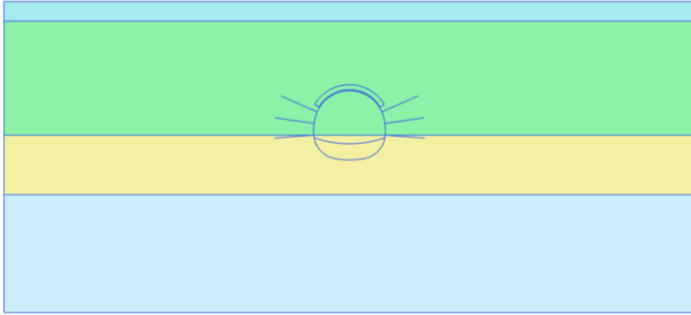
Aşağıda Plaxis programında hazırlanmış olan iki boyutlu analiz modelinin analiz aşamaları boyunca ilerlemesini gösteren adımlar şekil olarak paylaşılmıştır. Sayısal model aşamaları aşağıdaki sırada ilerletilmiştir:

- Başlangıç Fazı: Birincil Gerilmelerin Oluşturulması
- Faz-1: Sürşarj Yükünün Aktif Edilmesi
- Faz-2: Şemsiye Süren İmalatının Yapılması
- Faz-3: Üst Yarı Kazısının Yapılması
- Faz-4: Üst Yarı Destek Sisteminin Tanımlanması
- Faz-5: Zemin Çivilerinin Uygulanması
- Faz-6: Alt Yarı Kazısının Yapılması
- Faz-7: Alt Yarı Destek Sisteminin Tanımlanması

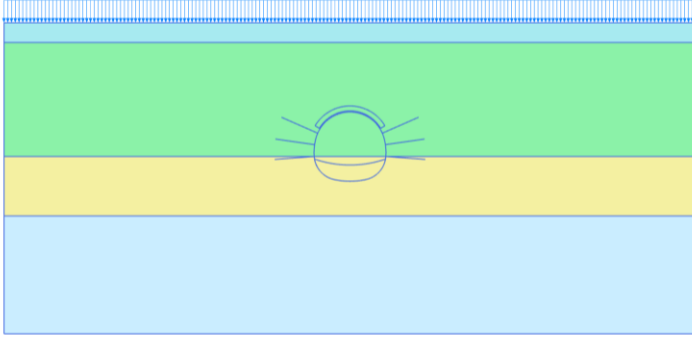


**Şekil 4 – Tek Sıra Şemsiye Süren için Tünel Enkesiti**

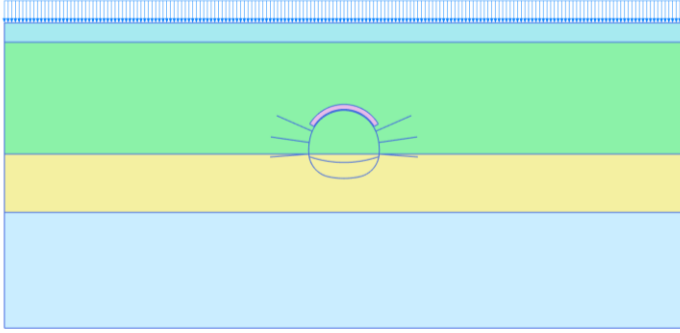
Yukarıda maddeler halinde tanımlanan ilerleme aşamalarına ait program görüntüleri aşağıda paylaşılmaktadır. Analiz modelinde çevresel yapı yükleri ve aktif trafik sirkülasyonu dikkate alınarak sürşarj yükü 20 kPa olarak kabul edilmiştir.



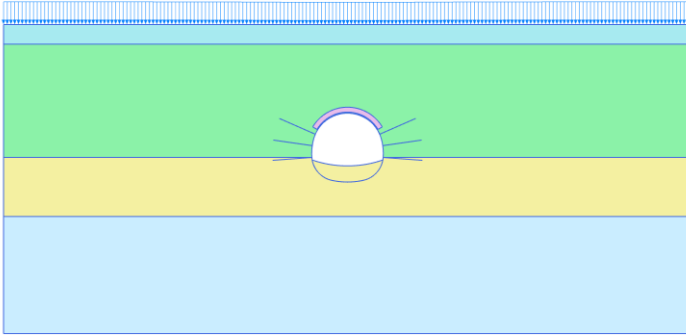
**Şekil 5 – Başlangıç Fazı: Birincil Gerilmelerin Oluşturulması**



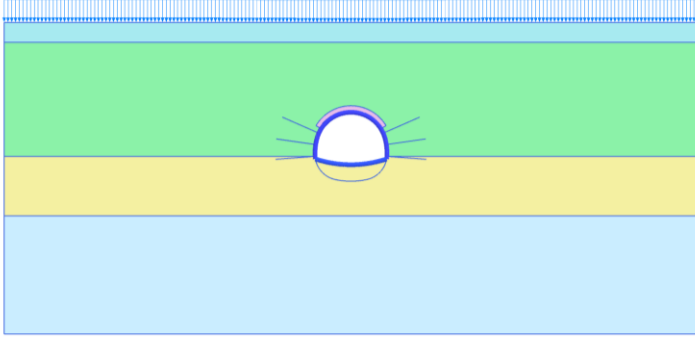
**Şekil 6 – Faz-1: Sürşarj Yükünün Aktif Edilmesi**



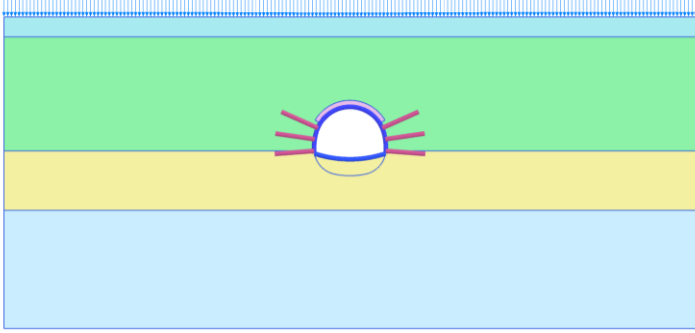
**Şekil 7 – Faz-2: Şemsiye Süren İmalatının Yapılması**



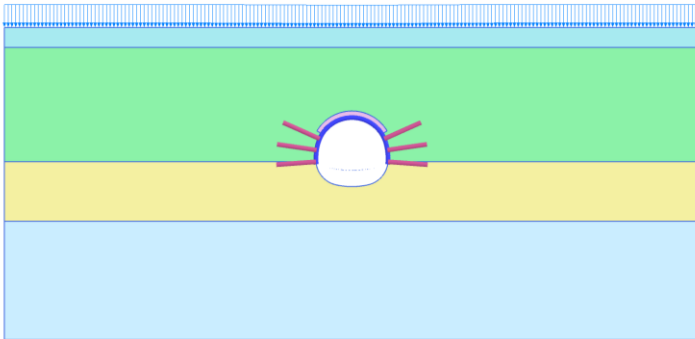
**Şekil 8 – Faz-3: Üst Yarı Kazısının Yapılması**



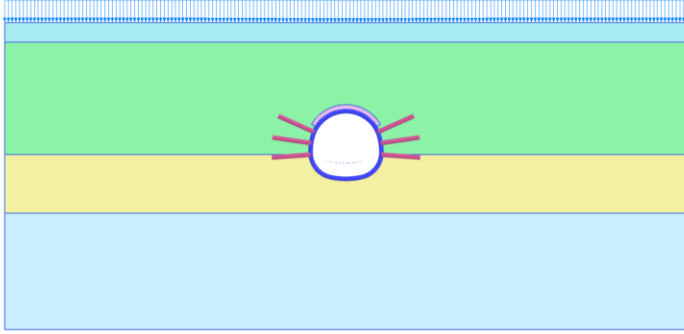
**Şekil 9 – Faz-4: Üst Yarı Destek Sisteminin Tanımlanması**



**Şekil 10 – Faz-5: Zemin Çivilerinin Uygulanması**

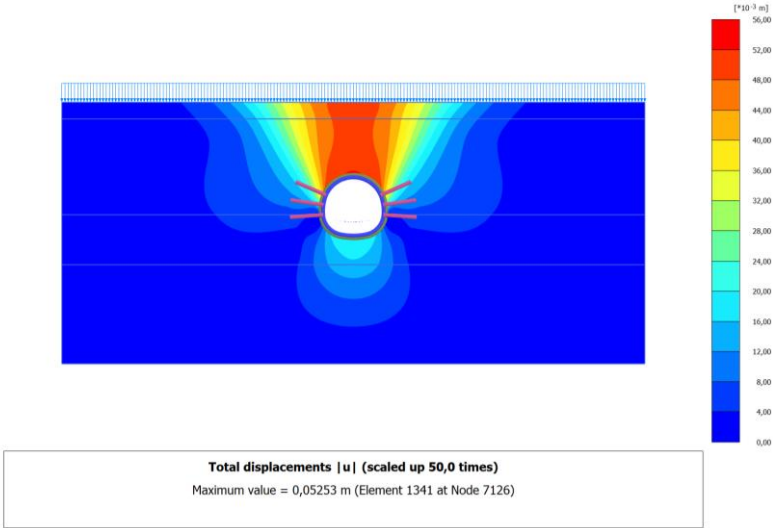


**Şekil 11 – Faz-6: Alt Yarı Kazısının Yapılması**

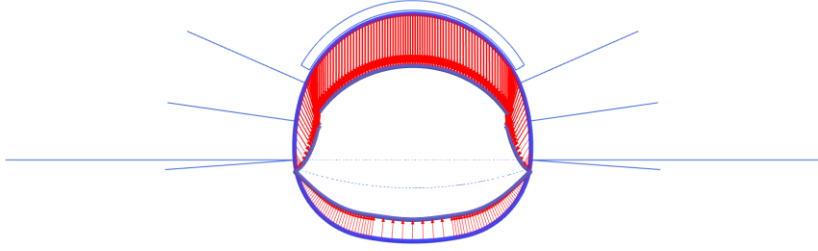


**Şekil 12 – Faz-7: Alt Yarı Destek Sisteminin Tanımlanması**

Sayısal analizler, yüzeyde ve tünel kaplamasında okunan oturmaların yaklaşık 5.4 cm mertebesinde olduğunu göstermektedir (Şekil 13, Şekil 14). Toplam deplasmanlar x ve y yönlerinde değerlendirildiğinde, tünel yatayda yaklaşık 1.7 cm kadar sıkışmaya maruz kalırken (Şekil 15) düşey yönde oluşan oturma miktarı toplam oturma miktarlarına eşit görünmektedir (Şekil 16).



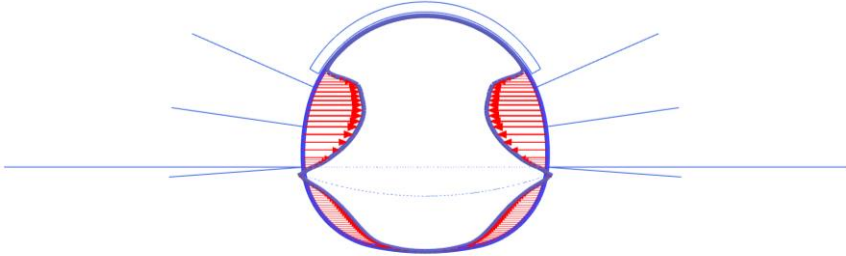
**Şekil 13 – Tek Sıra Şemsiye Süren için Tünel Kazısında Oluşan Toplam Deplasmanlar**



Total displacements  $|u|$  (scaled up 30,0 times)  
Maximum value = 0,05310 m (Element 11 at Node 6686)

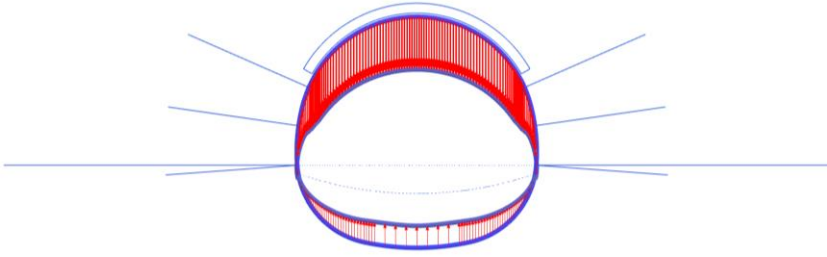
#### *Şekil 14 – Tünel Kaplamasında Oluşan Toplam Deplasmanlar*

Tek sıra şemsiye süren için yapılan tasarım çalışmasında elde edilen oturma değerleri, değerlendirildiği iş sözleşmeleri kapsamında izin verilebilir oturma değerinin yaklaşık olarak iki katı durumundadır.



Total displacements  $u_x$  (scaled up 100 times)  
Maximum value = 0,01681 m (Element 26 at Node 10120)  
Minimum value = -0,01682 m (Element 25 at Node 14520)

#### *Şekil 15 – Tünel Kaplamasında (x) Yönünde Oluşan Deplasmanlar*



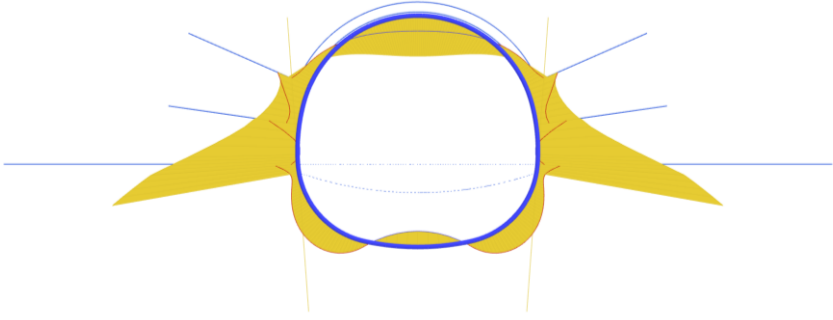
Total displacements  $u_y$  (scaled up 30,0 times)

Maximum value = 0,02274 m (Element 66 at Node 16372)

Minimum value = -0,05310 m (Element 11 at Node 6686)

### ***Şekil 16 - Tünel Kaplamasında (y) Yönünde Oluşan Deplasmanlar***

Tek sıra şemsiye süren uygulamasında, tünel kaplamasında oluşan eğilme momenti 114.7 kNm, kesme kuvveti ise 107.5 kN'dur. Bu moment ve kesme kuvveti değerleri tünel kesiti için geçici invert kısmında, birleşim bölgesinde olduğu görülmektedir (Şekil 17, Şekil 18). Bir noktada oluşan lokal bir değer olduğu için kesit hesaplarında ihmal edilebilir.

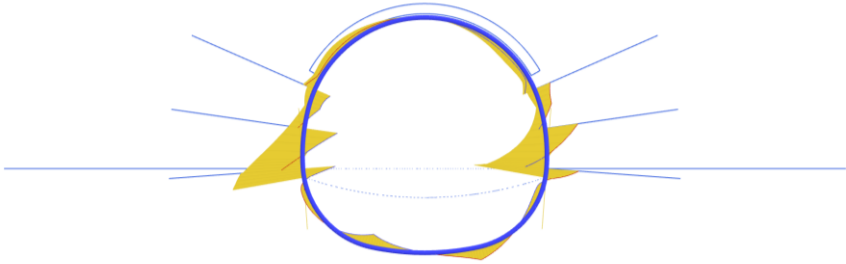


**Envelope of Bending moments M (scaled up 0,0500 times)**

Maximum value = 24,54 kN m/m (Element 11 at Node 6686)

Minimum value = -114,7 kN m/m

*Şekil 17 - Tünel Kaplamasında Oluşan Eğilme Momenti (Zarf)*



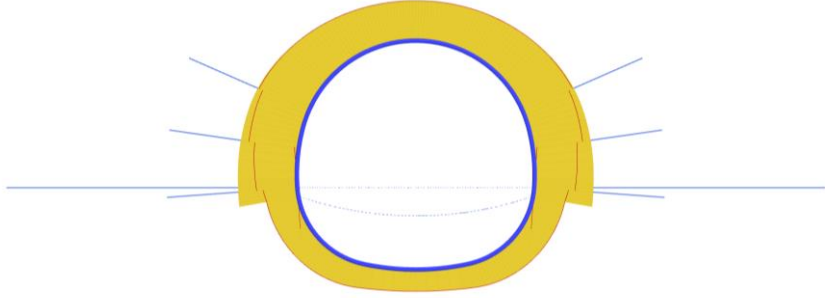
**Envelope of Shear forces Q (scaled up 0,0200 times)**

Maximum value = 107,5 kN/m (Element 33 at Node 14904)

Minimum value = -107,5 kN/m

*Şekil 18 - Tünel Kaplamasında Oluşan Kesme Kuvvetleri (Zarf)*





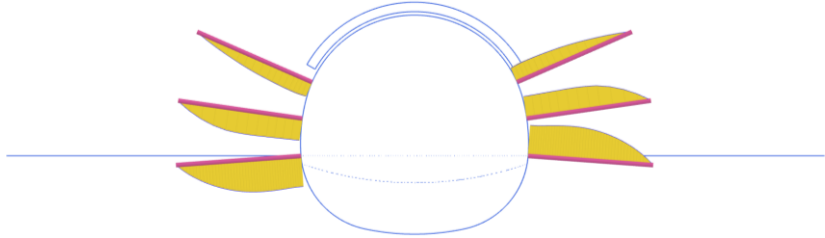
Envelope of Axial forces N (scaled up  $5,00 \cdot 10^{-3}$  times)

Maximum value = 0,000 kN/m (Element 2 at Node 13928)

Minimum value = -365,0 kN/m

**Şekil 19** - Tünel Kaplamasında Oluşan Eksenel Kuvvetler (Zarf)

Bu analiz modelinde oluşan sıkışma ve gerilmelerin etkisiyle birlikte zemin çivilerinde meydana gelen eksenel gerilme en alt sıra çivilerde 52.39 kN olarak okunmaktadır (**Şekil 20**).



Envelope of Axial forces N (scaled up 0,0200 times) per structural element

Maximum value = 52,39 kN (Element 29 at Node 27340)

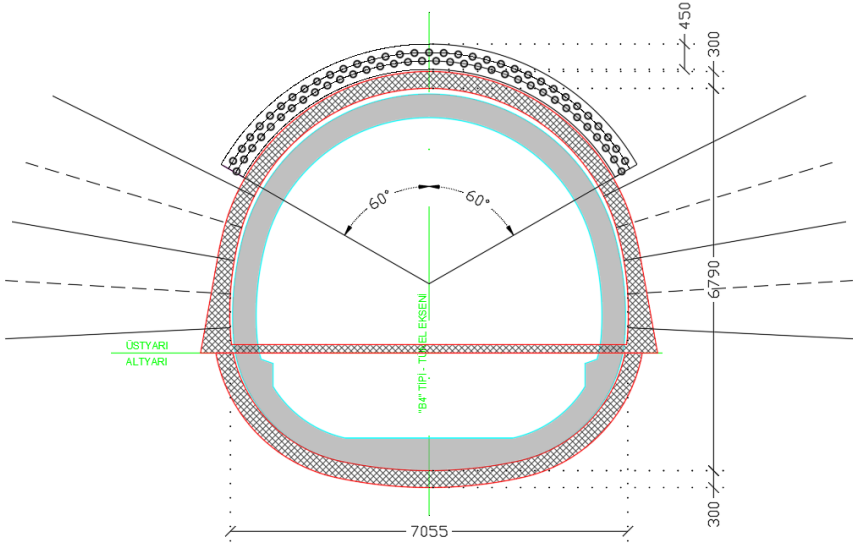
Minimum value = -1,348 kN

**Şekil 20** - Zemin Çivilerine Etki Eden Eksenel Kuvvetler (Zarf)

### 3.2. Çift Sıra Şemsiye Süren

Şemsiye sürenlerin rijitleştirdiği kemer bölgesinin elastisite modülü için yapılan ilk analizinde de kullanılan eş değer alan yöntemi ile ilerlenmiştir. Şemsiye sürenin rijitleştirdiği kemer bölgesi Plaxis 2D’de soil eleman olarak tanımlanmış ve analiz aşamalarından Faz-2’de belirlenmiş olan bu kısım (Şekil 24) rijitliği artırılmış eş değer soil eleman olarak seçilmiştir.

Tek sıra şemsiye süren analiz modelinde de olduğu gibi tünel kemerinde 120°’lik bir açı içerisinde şemsiye süren uygulaması yapılarak tünelin kemer bölgesi iyileştirilmiş bölge olarak tanımlanmaktadır. Sürşarj yükü için yapılan 20 kPa kabulü bu analizde de sürdürülmüştür.



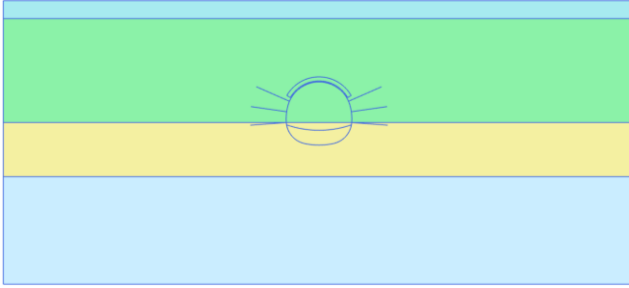
**Şekil 21 – Çift Sıra Şemsiye Süren için Tünel Enkesiti**

Aşağıda Plaxis programında hazırlanmış olan iki boyutlu analiz modelinin analiz aşamaları boyunca ilerlemesini gösteren

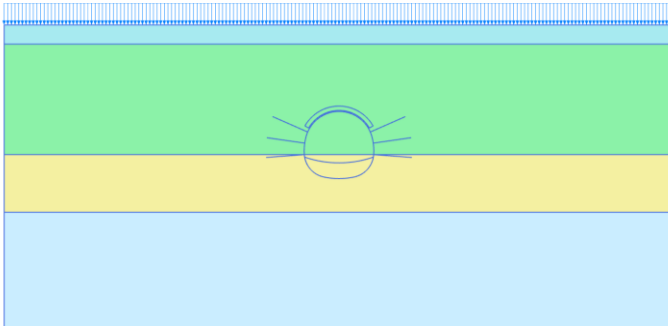
adımlar şekil olarak paylaşılmıştır. Sayısal model aşamaları aşağıdaki sırada ilerletilmiştir:

- Başlangıç Fazı: Birincil Gerilmelerin Oluşturulması
- Faz-1: Sürşarj Yükünün Aktif Edilmesi
- Faz-2: Şemsiye Süren İmalatının Yapılması
- Faz-3: Üst Yarı Kazısının Yapılması
- Faz-4: Üst Yarı Destek Sisteminin Tanımlanması
- Faz-5: Zemin Çivilerinin Uygulanması
- Faz-6: Alt Yarı Kazısının Yapılması
- Faz-7: Alt Yarı Destek Sisteminin Tanımlanması

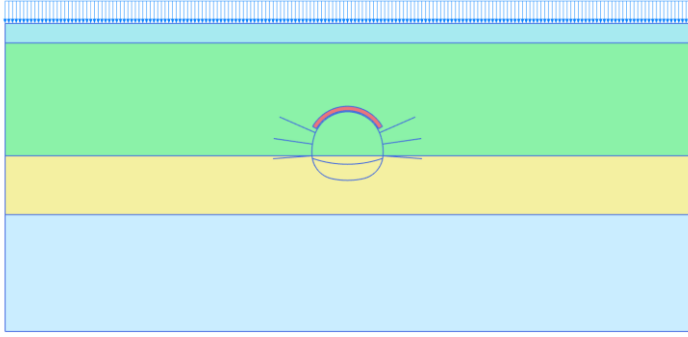
Yukarıda maddeler halinde tanımlanan ilerleme aşam ait program görüntüleri aşağıda paylaşılmaktadır.



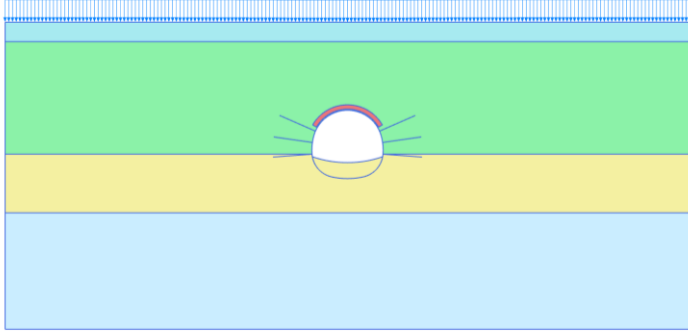
**Şekil 22** – Başlangıç Fazı: Birincil Gerilmelerin Oluşturulması



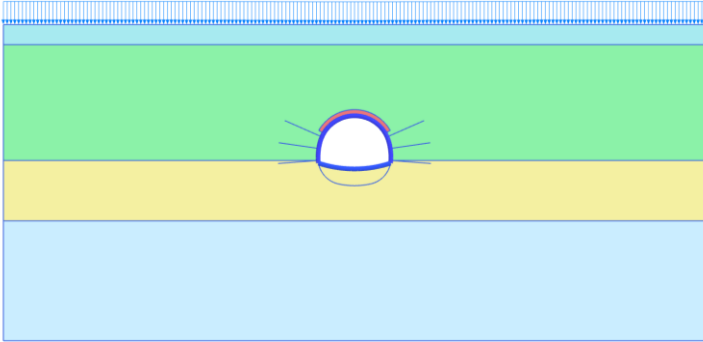
**Şekil 23** – Faz 1: Sürşarj Yükünün Aktif Edilmesi



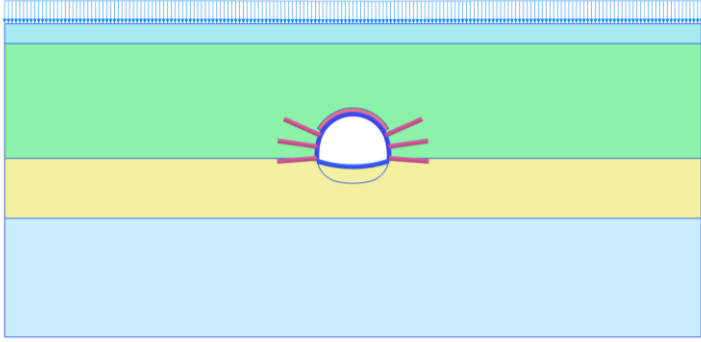
**Şekil 24 – Faz 2: Şemsiye Süren İmalatının Yapılması**



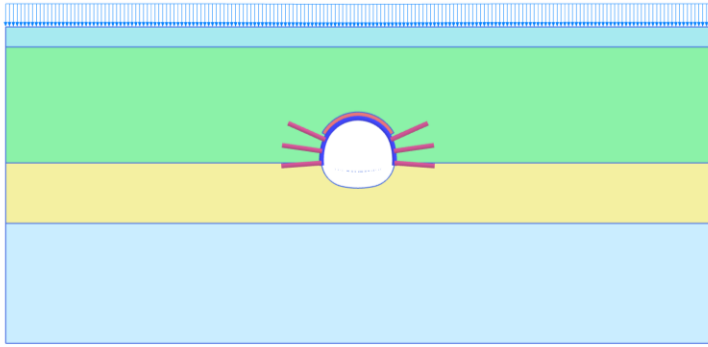
**Şekil 25 - Faz-3: Üst Yarı Kazısının Yapılması**



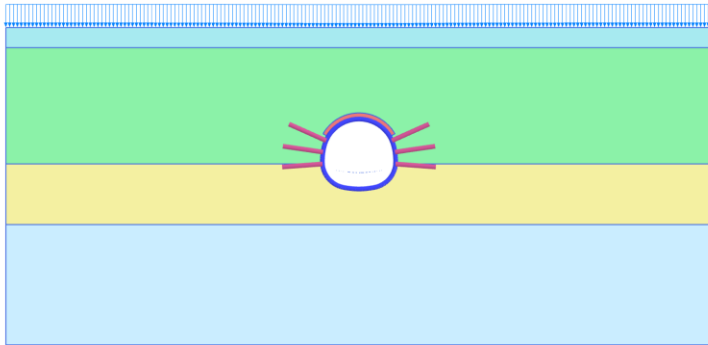
**Şekil 26 - Faz-4: Üst Yarı Destek Sisteminin Tanımlanması**



**Şekil 27 - Faz-5: Zemin Çivilerinin Uygulanması**

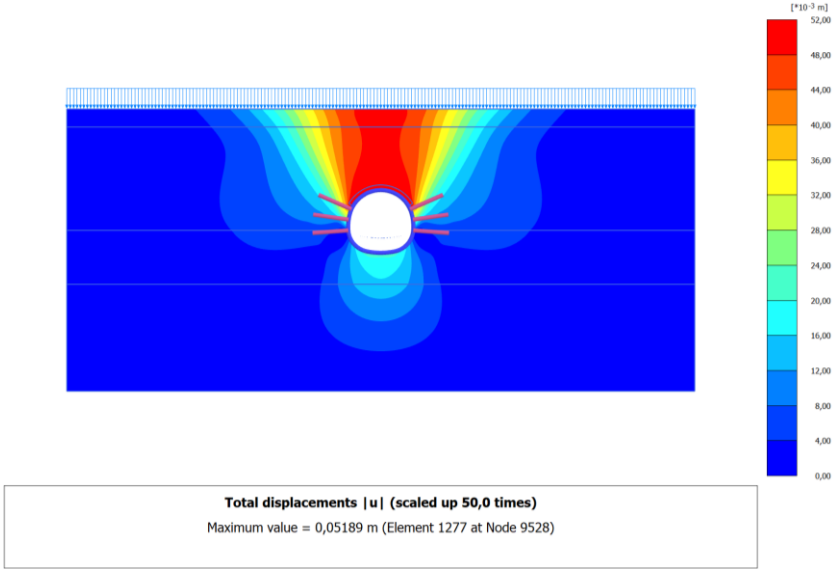


**Şekil 28 - Faz-6: Alt Yarı Kazısının Yapılması**

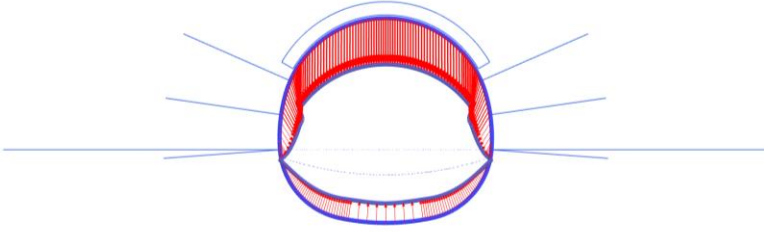


**Şekil 29 - Faz-7: Alt Yarı Destek Sisteminin Tanımlanması**

Sayısal analizler, yüzeyde ve tünel kaplamasında okunan oturmaların yaklaşık 5.2 cm mertebesinde olduğunu göstermektedir (Şekil 30, Şekil 31). Toplam deplasmanlar x ve y yönlerinde değerlendirildiğinde, tünel yatayda yaklaşık 1.7 cm kadar sıkışmaya maruz kalırken (Şekil 32) düşey yönde oluşan oturma miktarı toplam oturma miktarlarına eşit görünmektedir (Şekil 33).

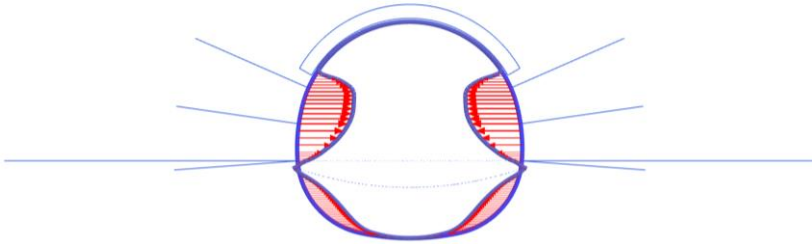


*Şekil 30 - Çift Sıra Şemsiye Süren için Tünel Kazısında Oluşan Toplam Deplasmanlar*



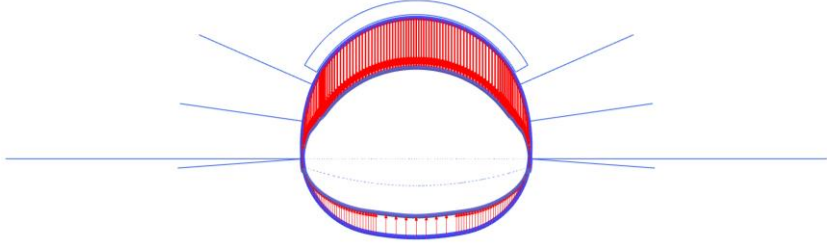
**Total displacements  $|u|$  (scaled up 30,0 times)**  
Maximum value = 0,05250 m (Element 10 at Node 8650)

*Şekil 31 - Tünel Kaplamasında Oluşan Toplam Deplasmanlar*



**Total displacements  $u_x$  (scaled up 100 times)**  
Maximum value = 0,01679 m (Element 24 at Node 8256)  
Minimum value = -0,01681 m (Element 23 at Node 13622)

*Şekil 32 - Tünel Kaplamasında (x) Yönünde Oluşan Deplasmanlar*



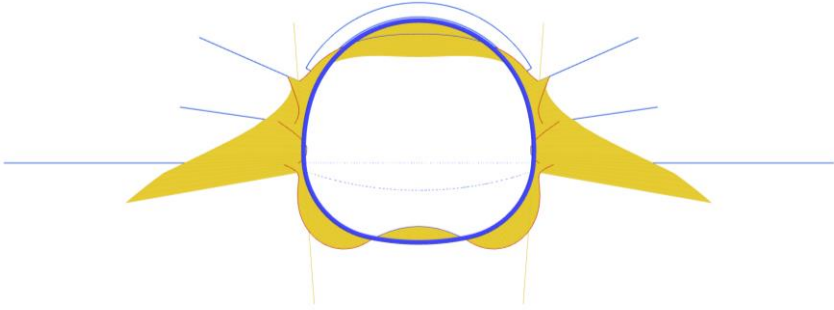
Total displacements  $u_y$  (scaled up 30,0 times)  
Maximum value = 0,02277 m (Element 64 at Node 15534)  
Minimum value = -0,05250 m (Element 10 at Node 8650)

**Şekil 33 - Tünel Kaplamasında (y) Yönünde Oluşan Deplasmanlar**

Çift sıra şemsiye süren ile yapılan analizler neticesinde ortaya çıkan oturma miktarları da değerlendirildiği iş sözleşmeleri kapsamında izin verilebilir oturma değerinin yaklaşık olarak iki katı durumundadır.

Çift sıra şemsiye süren uygulamasında da tek sıra şemsiye süren uygulamasına benzer şekilde, tünel kaplamasında oluşan eğilme momenti 114.7 kNm, kesme kuvveti ise 108.0 kN'dur. Bu moment ve kesme kuvveti değerlerinin tünel kesitinin birleşim bölgesinde olduğu görülmektedir (Şekil 34, Şekil 35). Bir noktada oluşan lokal bir değer olduğu için kesit hesaplarında ihmal edilebilir.



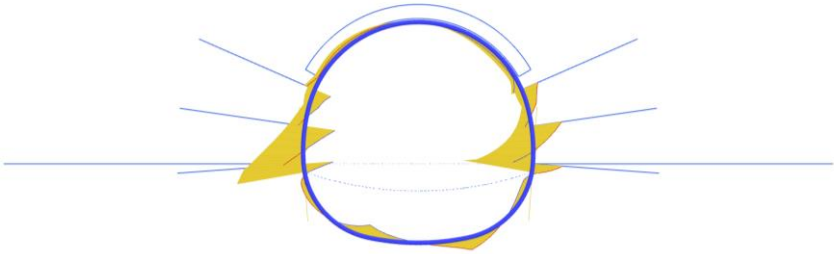


**Envelope of Bending moments M (scaled up 0,0500 times)**

Maximum value = 22,85 kN m/m (Element 10 at Node 8650)

Minimum value = -114,7 kN m/m

**Şekil 34 - Tünel Kaplamasında Oluşan Eğilme Momenti (Zarf)**

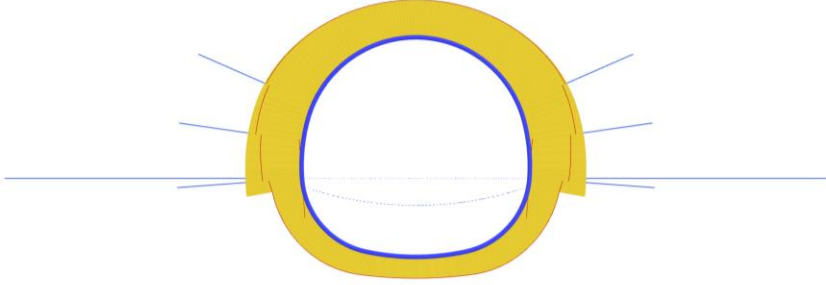


**Envelope of Shear forces Q (scaled up 0,0200 times)**

Maximum value = 107,9 kN/m (Element 31 at Node 13992)

Minimum value = -108,0 kN/m

**Şekil 35 - Tünel Kaplamasında Oluşan Kesme Kuvvetleri (Zarf)**



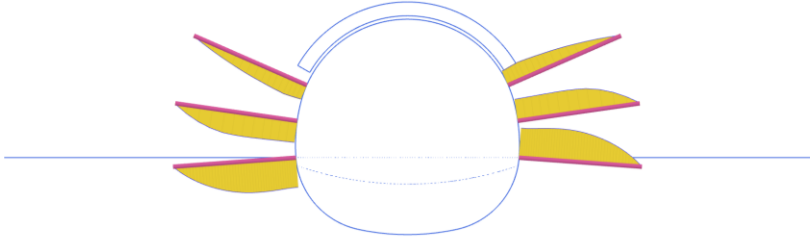
Envelope of Axial forces N (scaled up  $5,00 \cdot 10^{-3}$  times)

Maximum value = 0,000 kN/m (Element 2 at Node 13477)

Minimum value = -363,6 kN/m

**Şekil 36 - Tünel Kaplamasında Oluşan Eksenel Kuvvetler (Zarf)**

Çift sıra şemsiye süren analiz modelinde zemin çivilerinde meydana gelen eksenel gerilme en alt sıra çivilerde 52.39 kN olarak okunmaktadır (**Şekil 37**).



Envelope of Axial forces N (scaled up 0,0200 times) per structural element

Maximum value = 51,69 kN (Element 29 at Node 26644)

Minimum value = -1,347 kN

**Şekil 37 - Zemin Çivilerine Etki Eden Eksenel Kuvvetler (Zarf)**

#### 4. DEĞERLENDİRME

Killi zemin birimde yer alan sığ bir tünel için şemsiye süren uygulaması tek sıra ve çift sıra olarak uygulanmış, uygulama sonucunda genel olarak deformasyon ve iç kuvvet değerleri kıyaslanmıştır. Yapılan analiz modellerinden elde edilen yüzey oturmaları, tünel konverjans değerleri, destek elemanlarında oluşan iç kuvvetleri özet olarak **Tablo 8**'da gösterilmiştir.

*Tablo 8 - Analiz Sonuçları*

	<b>Tek Sıra Şemsiye Süren</b>	<b>Çift Sıra Şemsiye Süren</b>
<b>Toplam Yüzey Deplasmanları</b>	5.253 cm	5.189 cm
<b>Tünel Konverjansı</b>	5.310 cm	5.250 cm
<b>“x” Yönünde Oluşan Deplasmanlar</b>	1.682 cm	1.681 cm
<b>“y” Yönünde Oluşan Deplasmanlar</b>	5.310 cm	5.250 cm
<b>Tünel Kaplaması Eğilme Momenti</b>	114.7 kNm	114.7 kNm
<b>Tünel Kaplaması Kesme Kuvveti</b>	107.5 kN	108.0 kN
<b>Tünel Kaplaması Eksenel Kuvveti</b>	365.0 kN	363.6 kN
<b>Zemin Çivileri Eksenel Gerilmesi</b>	52.39 kN	51.69 kN

Analiz sonuçlarının paylaşıldığı **Tablo 8**'da da görüleceği üzere, Tan (2005), Miwa ve Ogasawara (2005) yapmış oldukları çalışmalarda sığ tüneller için çift sıra şemsiye kemer uygulamasının değerlendirilebileceği fakat yapılacak olan analiz modellerinden elde edilen sonuçlarda yüzey oturmalarında kayda değer bir fark olmayabileceğine vurgu yapılmış ve yapılan çalışmalar ile benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Sığ tüneller için yapılan çalışmalarda olduğu gibi tek sıra yerine çift sıra şemsiye süren uygulanması deformasyon

değerlerinde teorik olarak kayda değer bir etkiye neden olmamış, deplasman değerlerinde milimetrik değerlerde küçük değişiklikler okunmuştur.

Ön tasarım çalışmaları yürütülen tünel için iş sözleşmeleri kapsamında izin verilebilir maksimum deformasyon miktarı 3 cm'dir ve elde edilen sonuçlar ile tünel tahkimatının tek sıra ya da çift sıra şemsiye süren ile yapılması analizler neticesinde teorik olarak mümkün görünmemektedir.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, Dudullu Bostancı Metro Hattı Kayışdağı İstasyonun yolcu tüneli olarak ön tasarımı yürütülen tünelin killi zemin birimleri içerisinde yer alması, üzerinde bulunan örtü yükü itibariyle sığ bir tünel olması, tünelin yapılması planlanan konum için aktif trafik yükü ve etki alanında yapı stoğunun bulunmasından dolayı yüzey oturmalarının detaylı olarak incelenmesi, iş şartnamelerince izin verilebilir oturma sınır değerleri içerisinde kalacak bir tasarım yapılması amaçlanmıştır.

Yapılan sayısal analizlerde, şemsiye sürenin tünel kemerinde denk geldiği bölgenin elastisite modülü eşdeğer alan yöntemi ile belirlenmiş, analiz modellerine ayrı ayrı yansıtılmıştır. Şemsiye süren haricinde, tahkimat sisteminde bir değişiklik yapılmamış ve şemsiye sürenlere ait seçimlerin yüzey oturmalarına etkisi irdelenmiştir. İki boyutlu analizlerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde (**Tablo 8**), tek sıra şemsiye süren yerine çift sıra şemsiye süren uygulanması, killi zemin biriminde yer alan sığ bir tünel için yüzey oturmalarına pozitif bir etki sağlamamıştır.

## KAYNAKÇA

Ağbay, E. (2019). *Assessment of twin tunnel induced ground deformation by empirical and numerical analyses (Eurasia tunnel: Natm part, Istanbul, Turkey)* [PhD, Middle East Technical University, Ankara, Turkey]. [open.metu.edu.tr](http://open.metu.edu.tr).

<https://open.metu.edu.tr/handle/11511/28033>

Çeçen, E. E., & İncecik, M. (2011). Metro Tünellerinde Uygulanan Şemsiye-Kemer Yönteminin Sayısal Analizi. *İTÜDERGİSİ*, 7(4).

[http://itudergi.itu.edu.tr/index.php/itudergisi\\_d/article/view/301](http://itudergi.itu.edu.tr/index.php/itudergisi_d/article/view/301)

Ergincan, H. E., Özüdoğru, T. Y., & Yıldırım, İ. Z. (2023). Şemsiye Kemer Uygulamasındaki Sayısal Modelleme Yaklaşımlarının Karşılaştırılması. *5. Uluslararası Yeraltı Kazıları Sempozyumu*, 140–151. <https://doi.org/10.1061/9780784485347.015>

Güneş, A. (2021). *Numerical assessment of tunnel advancement in problematic soil conditions: A case study* [MSc, Middle East Technical University, Ankara, Turkey]. [open.metu.edu.tr](http://open.metu.edu.tr). <https://open.metu.edu.tr/handle/11511/89604>

Hounyevou Klotoé, C., & Bourgeois, E. (2019). Three dimensional finite element analysis of the influence of the umbrella arch on the settlements induced by shallow tunneling. *Computers and Geotechnics*, 110, 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2019.02.017>

Miwa, M., & Ogasawara, M. (2005). Tunnelling through an embankment using all ground fasten method. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20(2), 121–127. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2003.12.001>

Morovatdar, A., Palassi, M., & Ashtiani, R. S. (2020). Effect of pipe characteristics in umbrella arch method on controlling tunneling-induced settlements in soft grounds. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 12(5), 984–1000. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2020.05.001>

Norouzi, H. (2020). The Effect of Loading Type on the Amount of Effect of Loading on the Surface Settlement During Forepoling Tunnel Excavation in Different Geotechnical Conditions. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 10(1), 55–60. <https://doi.org/10.2478/jaes-2020-0009>

Perveroğlu Şat, T., Túrkođlu, A., & Şahin, H. İ. (2023). Aynı Jeolojik Formasyona Sahip NATM İmalatlarında Tek ve Çift Sıra Boru Kemer Uygulamasının Yüzey Oturmalarına Etkisi; Çekmeköy-Sultanbeyli Metro Örneği.

Tan, W. L. (2005). *Numerical analysis for shallow tunnels in weak ground supported by umbrella arch method* [MSc, Nanyang Technological University, Singapore]. CrossRef.

## BÖLÜM III

### Doğalgaz kullanan binalarda dirsek sayısının emisyonlara katkısının analizi

**Ahmet Karahan<sup>1</sup>**  
**Figen Balo<sup>2</sup>**

#### 1. Giriş

Binalarda enerji verimliliği bir binanın işletilme aşamasında enerjinin akılcı kullanımı ile ilgili yapılabilecek tüm alternatif yöntemleri araştırarak olabildiğince daha az enerji kaynağı tüketecek şekilde düzenlemeye odaklanmaktadır [1, 2]. Bu anlamda enerjinin olabildiğince israf edilmeden kullanılması, bina için erken tasarım aşamalarında veya daha sonraki işletme aşamalarında maliyetlerin düşürülmesi ile birlikte daha az yakıt tüketimi ve daha az çevre kirletici yayma için gerekli adımların atılmasının sağlanabilmesi ile

---

<sup>1</sup> Öğretim Görevlisi, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Yeşilyurt Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 0000-0002-3954-8685

<sup>2</sup> Prof.Dr., Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Met.ve Malz Bölümü, 0000-0001-5886-730

mümkündür. Bir binanın sistemsel olarak tasarımı düşünülduğünde binanın işleyişinde gerekli mekanizmalar üzerine birçok araştırma mevcuttur. Son yıllarda ortaya çıkan ısı depolama, buz depolama, güneş enerjisi sistemleri, ısı pompaları, trijenerasyon sistemi, chiller, kazan sistemleri, baca sistemleri vb. bina ömrü boyunca enerji tüketimi ve maliyeti optimize etmek için farklı farklı iyileştirmelerle kullanıma sunulmaktadır [3-5].

Bu sistemler de ana hedef pik yükün sistem için elzem olan belli oranları belirlenerek bütün sene boyunca optimal verimlilikte çalıştırılmasıdır. Optimizasyon işlemi için hedef binanın kullanım cinsine ve binadan beklenen özel amaçlara göre işletim parametrelerini ana yükleri karşılayacak şekilde seçmektir.

Bu parametreler tasarımlarda kullanılırken binanın ısıtılmasında da enerji verimliliği konusunda aşağıdaki istenen şartlar bazı genel hedefler göz ardı edilmeden değerlendirilmelidir. Bu temel ilkelerden birkaçı aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Uygun termal depolama
- Mevcut ısıtma sisteminin enerji verimliliğini desteklemek
- Sistemlerde kurum, pislik, ve kireç birikmelerini sıkça kontrol etmek ve temizlenmesini sağlamak
- Isının geri kazanımı için sistemleri geliştirmek.
- Yükleri olabildiğince azaltılmak
- Baca gazının sıcaklığının azaltılması, yanmanın kontrolü, ve yakma havasının ön ısıtmaya tabi tutulması



- Yoğuşmalı yüksek verimli, şekilde tasarlanmış mekanik tesisatlar (kazan, modülasyonlu brülör, baca sistemi) [6-8].

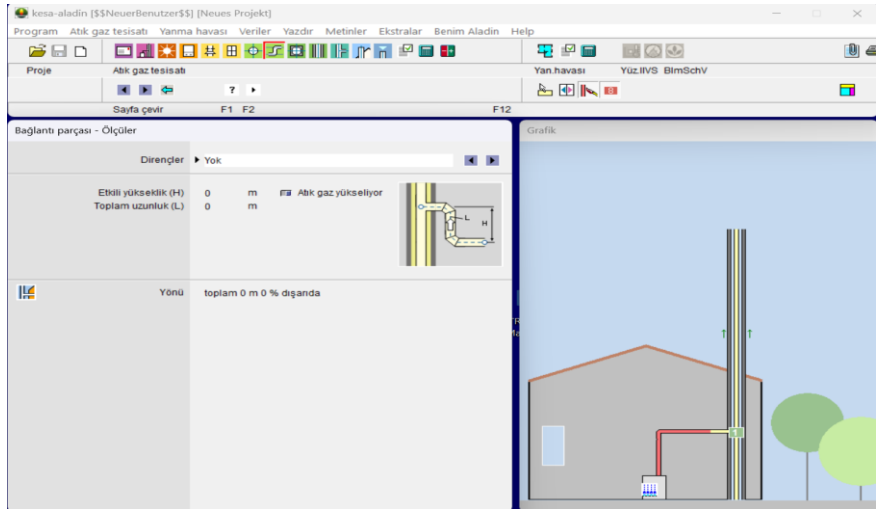
Baca sistemleri enerji verimliliği açısından dikkate alınması gereken mekanizmalardır. Bacalar, arıtma ve filtreleme sistemleriyle birlikte projelendirilmektedir. Fanlar, baca sistemlerinin duman akışını kontrol etmesi amacıyla sisteme eklenen mekanizmalardır. İzleme ve kontrol sistemleri, daha sistematik çalışmanın sağlanarak verimliliği artırmak için önemlidir. Bacanın desteklenmesi, sağlam bir mekanizma yapısı elde etmek bakımından etkilidir. Patlama ve yangını önlemek için eklenen sistemlerde zorunludur. Standartlar dahilinde baca sistemlerinin kullanımı ve tasarımı, çevre düzenlemeleri ve yerel havanın kalitesi için düzenlemeler dikkate alınarak belirlenmektedir [9].

Isıtma cihazlarına ait sistemlerin önemli bir parçası olan baca ve atık gaz mekanizmaları, teknik ve bilimsel temellere göre belirlenmiş standartlara göre inşa edilmelidir. Maksimum oranda enerji tasarrufunu elde edebilecek şekilde tasarlanan, eşyayı, doğayı ve insanı minimum düzeyde olumsuz etkileyecek, insan estetiğini, sağlığını, ve güvenliğini göz önüne alarak, optimal mekanizmalar tasarlayıp uygulamak önemlidir. Doğal gaz kullanımı son yıllarda çok fazla artmıştır. Enerji kaynağı özelliklerine göre projelendirilen baca sistemlerinde de teknolojik gelişmeler dikkate alınarak gelişen son standartlara göre düzenlemeler yapılması gerekmektedir. Atık baca gazlarının bölgesel iklim şartlarına göre güvenli tahliye edilmesi için bu konuda insan ve çevre sağlığı için gerekli tüm önlemler alınmak zorundadır [10].

Doğal gaz sistemine sahip bir ısıtma cihazı için profesyonel ve doğru şekilde yapılmayan baca sistemleri ciddi zehirlenmelere neden olabilecek büyük potansiyele sahiptir. Bu nedenle baca sistemi doğru malzemeyle ve ısıtma cihazından atmosfere kadar dirsek elemanlarını doğru sayıda yerleştirerek tasarlanmalıdır. Alandan yönlendirilen duman gazlarının sorunsuz olarak kayıpsız şekilde atmosfere atılmasını sağlayan tüm elemanların güvenli şekilde sisteme dahil edilmesi önemlidir.

Baca tasarımlarında kullanılan simülasyon programları doğru malzeme ve ekipmanlarla sistemlerin tasarlanmasında hem kısa zamanda hem de kullanıcı kaynaklı hesaplama hatalarını en aza indirebilecek şekilde projelendirilmesi açısından oldukça önemlidir.

### Görsel 1. KesaAladin simülasyon programının ara yüzü



KesaAladin simülasyon programı, EN13384-2 baca standardına göre hesaplama yöntemlerini kullanabilen bacaların tasarlanmasına yönelik endüstriyel standartlarda bir yazılımdır. Mevcut bir ısıtma cihazına baca kurarken veya yeni bir baca

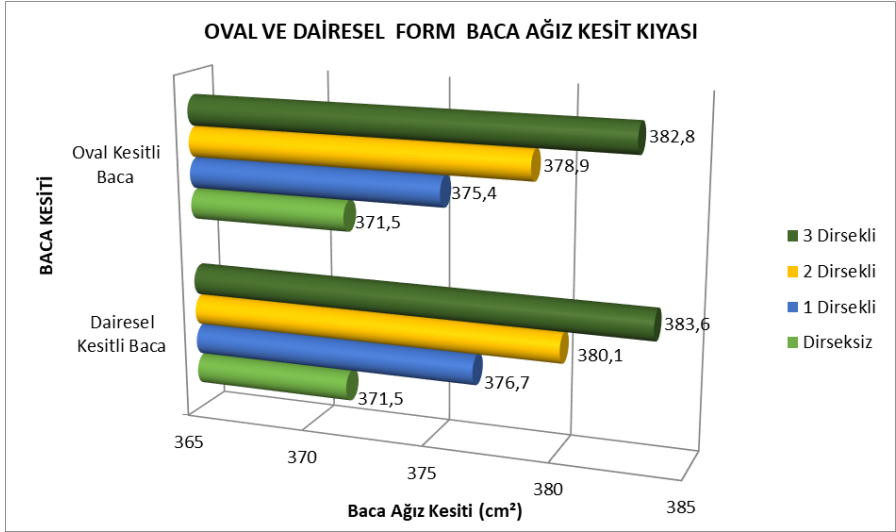
tasarlarken (örneğin çift duvarlı sistem), bacadan ve ısıtma cihazından maksimum performans ve güvenliği sağlamak için tesisatçıların ve geliştiricilerin doğru bilgilere erişmesi önemlidir. Isıtma kazanlarına bağlı baca sistemi için gerekli tüm veriler KesaAladin simülasyon programına yüklenmiştir. KesaAladin simülasyon programının ara yüzü Görsel 1’de sunulmuştur.

Bu çalışmada, 225 000 kcal/h kapasiteye sahip bir doğal gaz kazanı için Gümüşhane ili iklim şartlarında

paslanmaz çelik malzeme kullanılarak dairesel ve oval tipte tasarlanan baca sisteminin dirseksiz, bir direkli, iki dirsekli ve üç dirsekli olması durumunda çevreye salınan emisyon miktarı KesaAladin simülasyon programı kullanılarak araştırılmıştır.

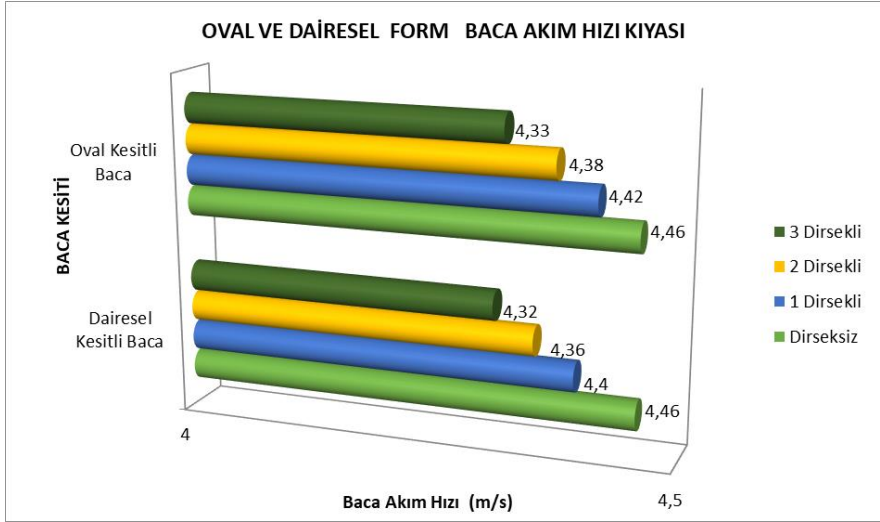
## **2. Analiz sonuçları ve değerlendirmeler**

Bu çalışmada Gümüşhane ili iklim şartları için derece-gün bölgelerine göre belirlenen dış oram sıcaklık değerleri, iç ortamı bir kont alanı olduğu için konfor şartları, enerji kaynağı olarak doğal gaz seçeneği, projelendirmede dirseksiz, bir dirsekli, iki dirsekli ve üç dirsekli baca yapısı vb. diğer tüm parametrelerle birlikte KesaAladin simülasyon programına girdi olarak işlenmiştir. KesaAladin simülasyon programında tasarlanan her senaryo için yapılan analizlere ait raporlar alındıktan sonra rher rapordaki bilgiler önce tablolara sonra grafiklere aktarılarak değerlendirmeleri aşağıda verilmiştir.



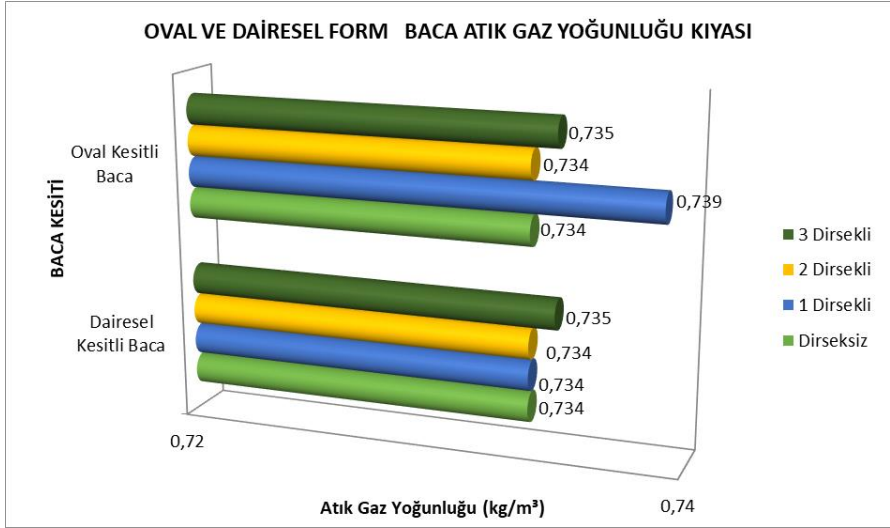
*Şekil 1. Dairesel ve oval kesitli formda baca ağız kesit karşılaştırması*

Dairesel ve oval kesitli formda baca ağız kesiti karşılaştırması Şekil 1’de verilmiştir. En küçük baca ağız kesiti çapı, hem oval hem de dairesel formda baca kesitli sistem için, dirseksiz tasarım ile 371.5 cm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. En büyük baca ağız kesiti çapı, dairesel formda baca kesitli sistem için, 3 dirsek kullanıldığında 383.6 cm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Oval formda baca kesitli sistem için ise yine 3 dirsek kullanıldığında 382.8 cm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir.



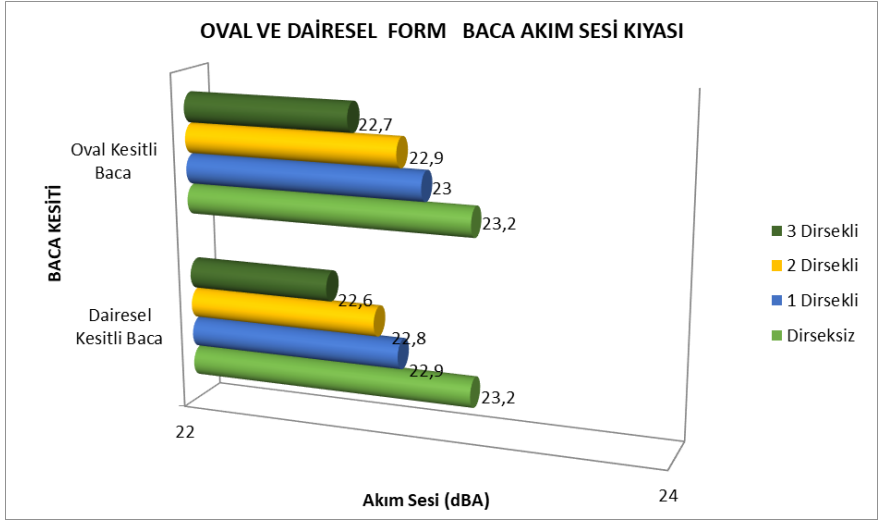
*Şekil 2. Dairesel ve oval kesitli formda baca akım hızı karşılaştırması*

Dairesel ve oval kesitli formda baca akım hızının karşılaştırması Şekil 2’de sunulmuştur. En yüksek baca akım hızı, hem dairesel hem de oval formda baca kesitli sistemler için dirsek kullanılmadığında 4.46 m/s olarak belirlenmiştir. En düşük baca akım hızı oval formda baca kesitli sistem için 3 dirsek kullanıldığında 4.33 m/s ve dairesel formda baca kesitli sistem için 3 dirsek kullanıldığında 4.32 m/s olarak tespit edilmiştir.



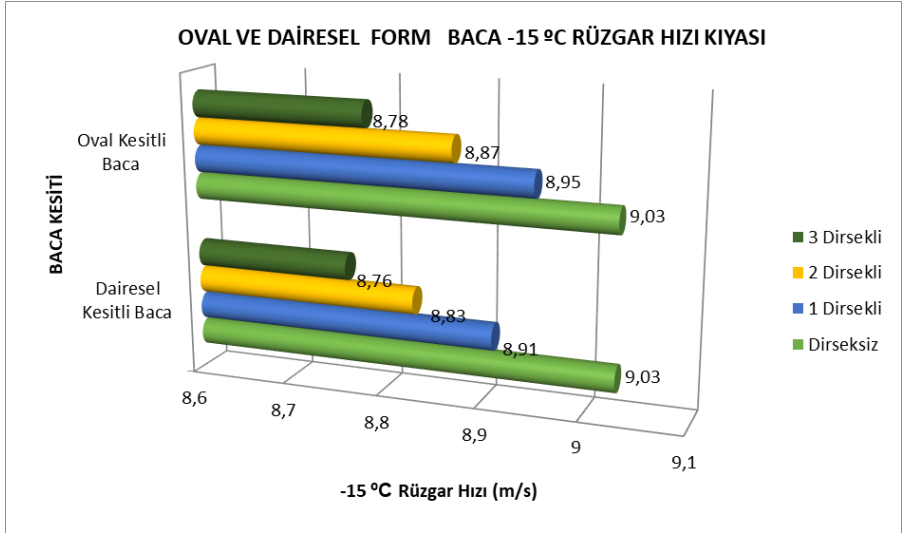
**Şekil 3.** Dairesel ve oval kesitli formda baca atık gaz yoğunluğu karşılaştırması

Dairesel ve oval kesitli formda baca atık gaz yoğunluğu karşılaştırması Şekil 3’de sunulmuştur. En yüksek baca atık gaz yoğunluğu değeri, oval formda baca kesitli sistem için 1 dirsek kullanıldığında  $0.739 \text{ kg/m}^3$  olarak tespit edilmiştir. En düşük baca atık gaz yoğunluğu değeri, hem oval formda baca kesitli sistemi için 2 dirsek veya dirseksiz kullanıldığında hem de dairesel formda baca kesitli sistemi için 1 dirsek, 2 dirsek veya dirseksiz kullanıldığında aynı değerde ( $0.734 \text{ kg/m}^3$  olarak) bulunmuştur.



**Şekil 4.** Dairesel ve oval kesitli formda baca akım sesi karşılaştırması

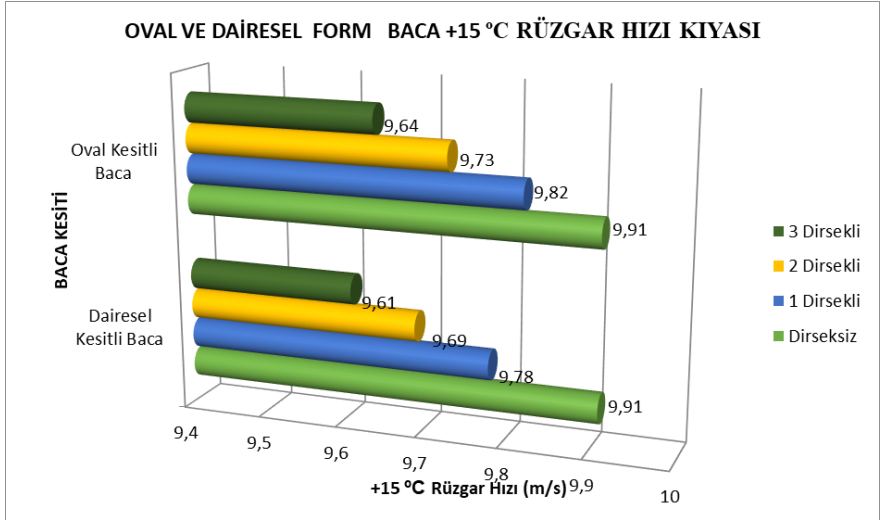
Dairesel ve oval kesitli formda baca akım sesi karşılaştırması Şekil 4’de detaylandırılmıştır. En düşük baca akım sesi, dairesel formda baca kesitli sistem kullanıldığında 3 dirsekli tasarım için 22.6 dBA ve oval formda baca kesitli sistem için 3 dirsek kullanıldığında 22.7 dBA olarak tespit edilmiştir. En yüksek baca akım sesi, hem dairesel hem de oval kesitli formda dirsek kullanılmadığında 23.2 dBA olarak elde edilmiştir.



*Şekil 5. Dairesel ve oval kesitli formda baca -15°C rüzgar hızı karşılaştırması*

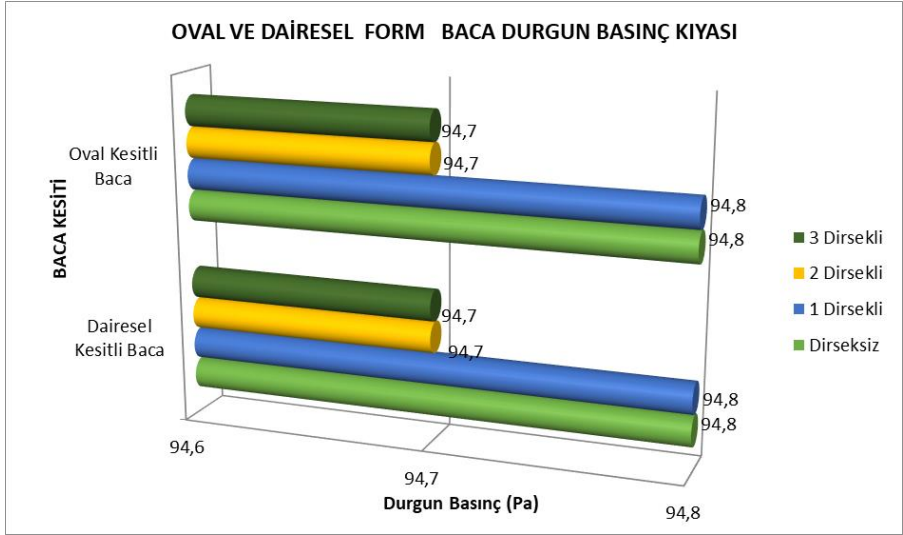
Dairesel ve oval kesitli formda baca -15°C rüzgar hızı karşılaştırması Şekil 5’da verilmiştir. Hem dairesel hem de oval formda baca kesitli sistemde -15°C’de en yüksek rüzgar hızı değeri dirsek kullanılmadığında 9.03 m/s olarak rapor edilmiştir. En düşük rüzgar hızı değeri dairesel formda baca kesitli sistemde -15°C’de 3 dirsek kullanıldığında 8.76 m/s olarak ile belirlenmiştir. Oval formda baca kesitli sistemlerde -15°C’de en düşük rüzgar hızı değeri 3 dirsekli tasarım ile 8.78 m/s olarak bulunmuştur.





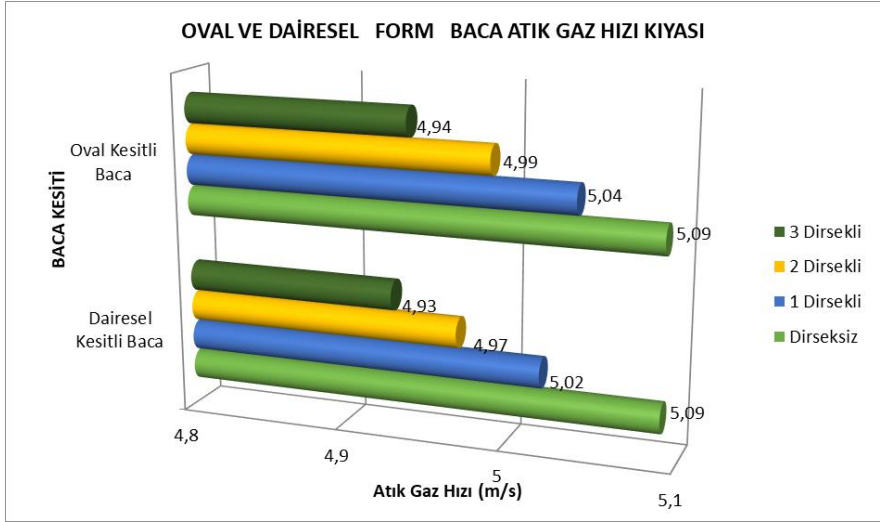
*Şekil 6. Dairesel ve oval kesitli formda baca +15°C rüzgar hızı karşılaştırması*

Dairesel ve oval kesitli formda baca +15°C rüzgar hızı karşılaştırması Şekil 6’da verilmiştir. Oval ve dairesele baca kesitli sistemlerin her iki formunda da dirseksiz ve 1 dirsekli tasarım için +15°C’de en yüksek rüzgar hızı değeri 9.91 m/s olarak bulunmuştur. Oval formda baca kesitli sistemde +15°C’de en düşük rüzgar hızı 3 dirsek kullanıldığında 9.64 m/s olarak elde edilmiştir. Dairesel formda baca kesitli sistemde +15°C’de en düşük rüzgar hızı değeri 3 dirsekli tasarım kullanıldığında 9.61 m/s olarak tespit edilmiştir.



***Şekil 7. Dairesel ve oval kesitli formda baca durgun basınç karşılaştırması***

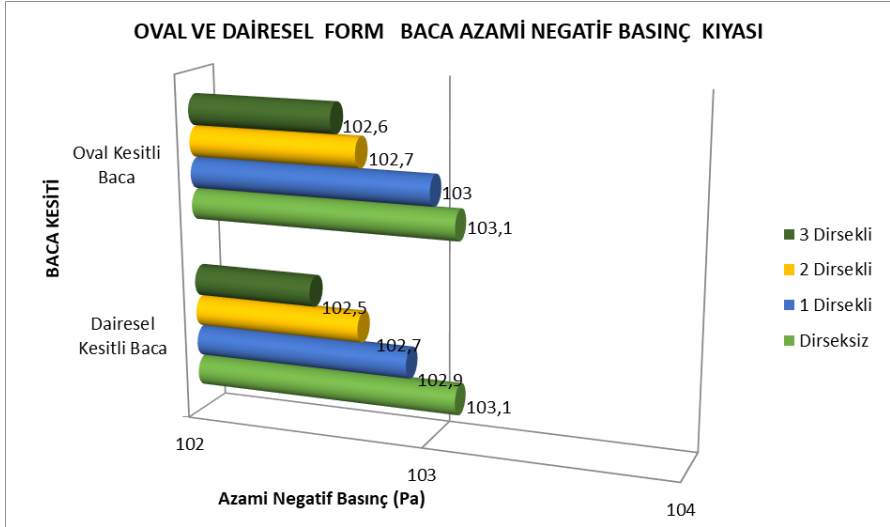
Dairesel ve oval kesitli formda bacalar için durgun basınç karşılaştırması Şekil 7’de sunulmuştur. Hem dairesel hem de oval formda baca kesitli sistemde dirseksiz ve 1 dirsekli tasarımda en yüksek durgun basınç değeri 94.8 Pa olarak analiz edilmiştir. Hem dairesel hem de oval formda baca kesitli sistemde 2 dirsekli ve 3 dirsekli tasarımda en düşük durgun basınç değeri 94.7 Pa olarak belirlenmiştir.



*Şekil 8. Dairesel ve oval kesitli formda baca atık gaz hızı karşılaştırması*

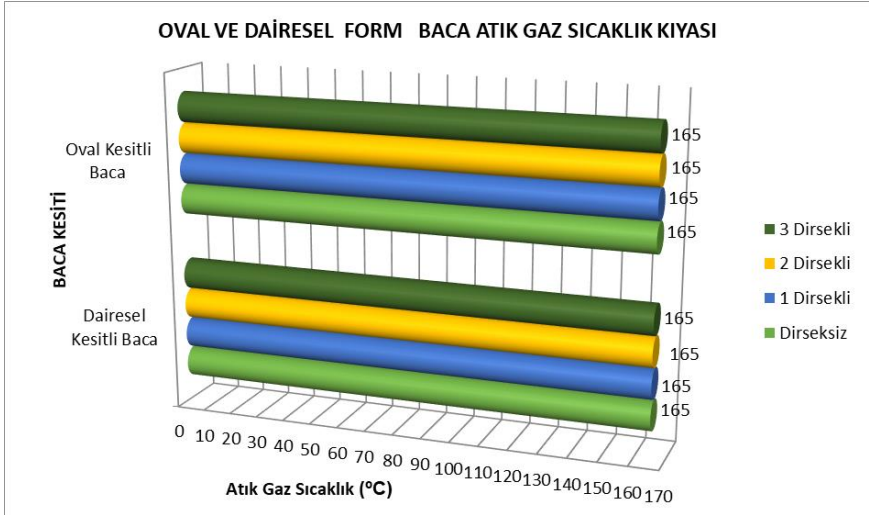
Dairesel ve oval kesitli formda baca atık gaz hızı karşılaştırması Şekil 8’da detaylandırılmıştır. Hem oval formda baca kesitli sistemde hem de daireSEL formda baca kesitli sistemde en yüksek baca atık gaz hızı 5.09 m/s olarak belirlenmiştir. Bu değerler tasarım dirseksiz yapıldığı durumda bulunmuştur. Oval kesitli formda baca sistemi için, 1 dirsekli, 2 dirsekli ve 3 dirsekli durumda baca atık gaz hızları sırasıyla 5.04 m/s, 4.99 m/s, ve 4.94 m/s olarak tespit edilmiştir. En düşük baca atık gaz hızı 3 dirsekli durumda oval kesitli formda 4.94 m/s olarak belirlenmiştir.

Bir dirsekli tasarlanmış sistem her iki baca formunda da en yüksek baca atık gaz hızı 5.15 m/s olarak tespit edilmiştir.



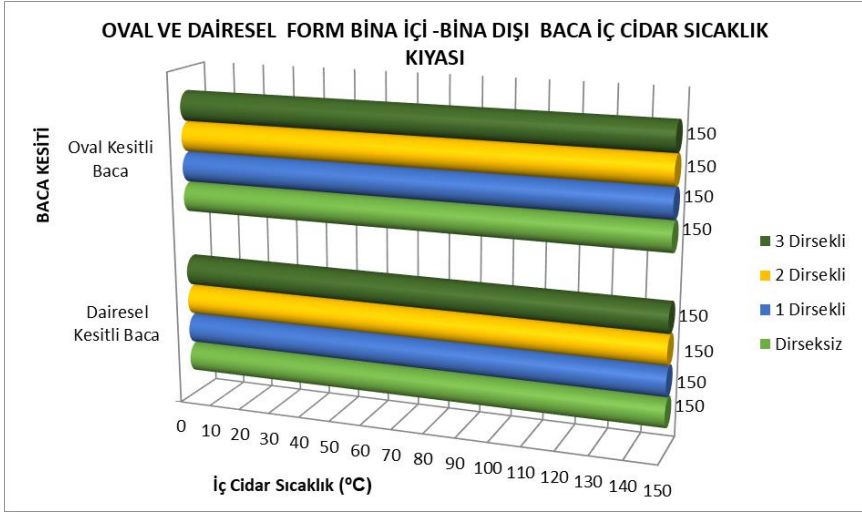
*Şekil 9. Dairesel ve oval kesitli formda baca azami negatif basınç karşılaştırması*

Dairesel ve oval kesitli formda bacalar için azami negatif basınç karşılaştırması Şekil 9’de sunulmuştur. En yüksek baca azami negatif basınç değeri, hem oval hem de dairesele formda baca kesitli sistemde dirseksiz tasarımda 103.1 Pa olarak analiz edilmiştir. En düşük baca azami negatif basınç değeri, dairesele formda baca kesitli sistemde 3 dirsek kullanıldığında 102.5 Pa ve oval formda baca kesitli sistemde 102.6 Pa olarak analiz edilmiştir.



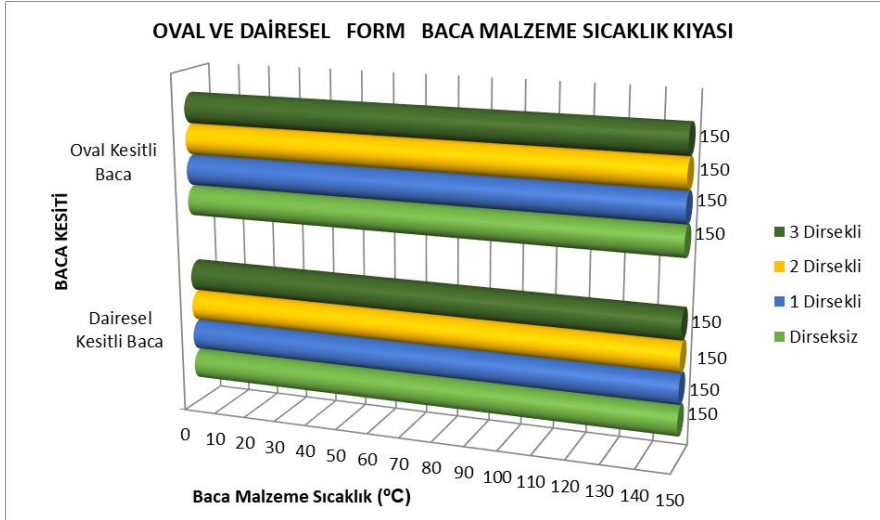
*Şekil 10. Dairesel ve oval kesitli formda baca atık gaz sıcaklık karşılaştırması*

Dairesel ve oval kesitli formda baca atık gaz sıcaklık karşılaştırması Şekil 10’de verilmiştir. Hem oval kesitli hem de dairesel formda baca kesitli sistemlerde dirseksiz ve tüm dirsek sayıları için 165<sup>0</sup>C olarak analiz edilmiştir.



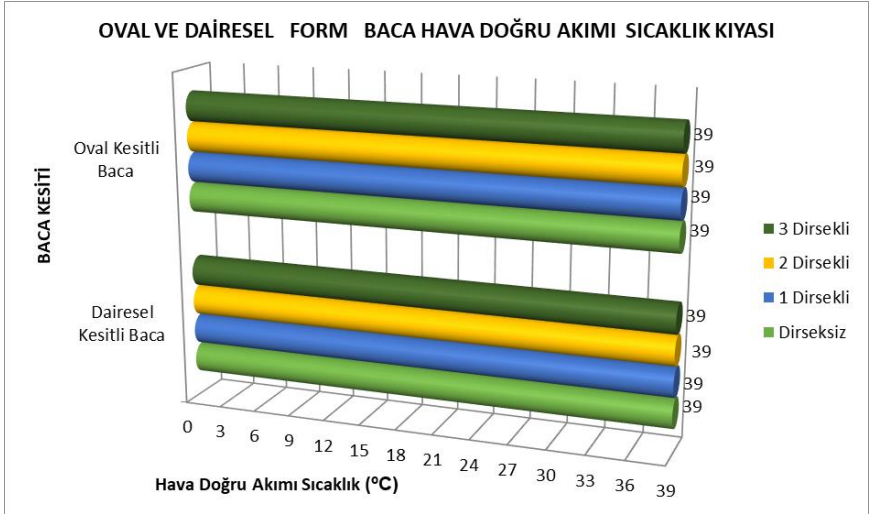
*Şekil 11. Dairesel ve oval kesitli formda bina içi-bina dışı bacanın iç cidar sıcaklık karşılaştırması*

Dairesel ve oval kesitli formda bina içi-bina dışı bacanın iç cidar sıcaklık karşılaştırması Şekil 11’de gösterilmiştir. Hem oval kesitli hem de daireSEL formda baca kesitli sistemlerde dirseksiz ve tüm dirsek sayıları için 150 °C olarak analiz edilmiştir.



*Şekil 12. Dairesel ve oval kesitli formda baca malzemesi sıcaklık karşılaştırması*

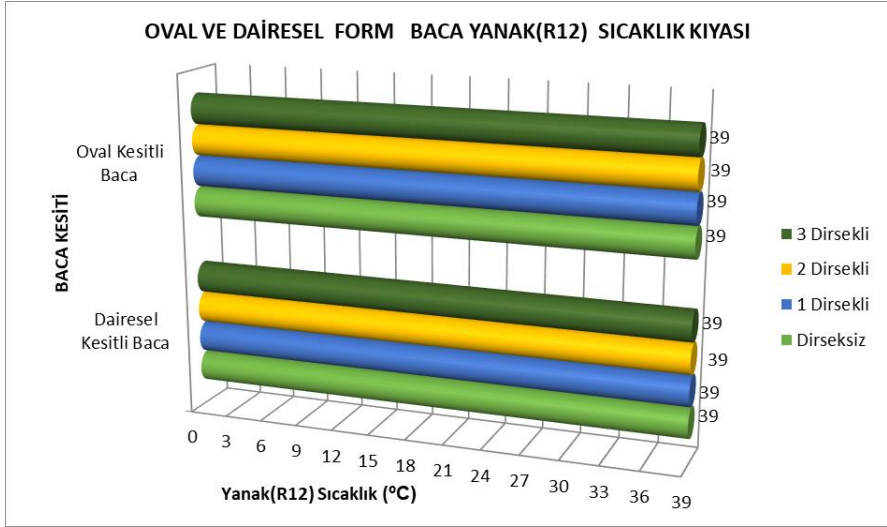
Dairesel ve oval kesitli formda baca malzemesi sıcaklık karşılaştırması Şekil 12’de sunulmuştur. Hem oval kesitli hem de dairesel formda baca kesitli sistemlerde dirseksiz ve tüm dirsek sayıları için 150<sup>0</sup>C olarak analiz edilmiştir.



*Şekil 13. Dairesel ve oval kesitli formda baca hava doğru akımı sıcaklık karşılaştırması*

Dairesel ve oval kesitli formda baca hava doğru akımı sıcaklık karşılaştırması Şekil 13’da verilmiştir. Hem oval kesitli hem de dairesel formda baca kesitli sistemlerde dirseksiz ve tüm dirsek sayıları için 39<sup>0</sup>C olarak analiz edilmiştir.





*Şekil 14. Dairesel ve oval kesitli formda baca yanak (R12) sıcaklık karşılaştırması.*

Dairesel ve oval kesitli formda baca yanak (R12) sıcaklık karşılaştırması Şekil 14’de gösterilmiştir. Hem oval formda baca kesitli sistemde hem de dairesel formda baca kesitli sistemde dirseksiz ve tüm dirsek sayıları için en düşük ve en yüksek baca yanak (R12) sıcaklık değerleri 39<sup>0</sup>C olarak analiz edilmiştir.

#### **4. Sonuç**

Zamanımızın yüzde 90'ından fazlası binalarda, yani ofiste veya evde geçmektedir. Binalarda (konut ve ticari) kullanılan enerji, bir ülkenin toplam enerji tüketiminin önemli bir yüzdesini oluşturmaktadır. Bu yüzde, büyük ölçüde elektrifikasyon derecesine, kentleşme düzeyine, kişi başına düşen inşaat alanı miktarına, hakim iklimin yanı sıra enerji verimliliğini teşvik etmeye yönelik ulusal ve yerel politikalara bağlıdır. Birçok ülkede binalar, ulaşım ve sanayiden daha fazla enerji tüketmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı

(IEA) istatistikleri, küresel olarak inşaat sektörünün yüzde 42 ile diğer tüm sektörlerden daha fazla elektrik tüketiminden sorumlu olduğunu tahmin etmektedir. Bu nedenle enerji verimliliğine katkıda bulunabilecek erken tasarım aşamalarında yapılabilecek düzenlemelerle enerji tasarrufuna önemli ölçüde katkı yapılabilmesi mümkündür.

Bu çalışmada, bir konutun ısıtma cihazına bağlı baca sisteminde kayıp alanlarında yapılabilecek ufak düzenlemelerle enerji verimliliğine ve çevresel korumaya hangi ölçüde katkı sağlanabileceğini belirlemek amacıyla baca dirsek sayısı ve baca formundaki değişikliklerin etkisini araştıran örnek bir çalışma yapılmıştır. Analizlerin değerlendirilmesiyle, en düşük baca atık gaz yoğunluğu değeri, hem dairesel formda baca kesitli sistemi için 1 dirsek, 2 dirsek veya dirseksiz kullanıldığında hem de oval formda baca kesitli sistemi için 2 dirsek veya dirseksiz kullanıldığında aynı değerde olmak üzere  $0.734 \text{ kg/m}^3$  olarak bulunmuştur. Tasarruf değerinin oval formda baca kesitli sistem için 1 dirsek kullanıldığında en yüksek baca atık gaz yoğunluğu değerine göre %0.675 daha az olduğu belirlenmiştir.

## **TEŞEKKÜR**

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi MF.24.38 no'lu proje tarafından desteklenmiştir.

## **Kaynaklar**

[1] Ehrhardt-Martinez et. al. 2011.Changing Habits, Lifestyles and Choices: The Behaviors that Drive Feedback-Induced Energy Savings. eceee Summer Study 2011.

[2] European Commission 2013. Energy performance certificates in buildings and their impact on transaction prices and rents in selected EU countries. Report by Bio Intelligence Service, European Commission 2014a. Energy Efficiency and its contribution to energy security and the 2030 Framework for climate and energy policy. COM(2014) 520.

[3] European Commission 2012. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC.

[4] Zdzislaw, P. (2019). Failure of a steel boiler chimney caused by corrosion of the structural shell plate. ICSF 2019 MATEC Web of Conferences 284,09007. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928>.

[5] Terhan, M., Çomaklı, K. (2015). “Baca Gazı Atık Isısı ile Kazan Yakma Havaasının Ön Isıtılmasının Fizibilitesi,” Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 668, s. 56-63.

[6] Tanrıver, K., Çavuşoğlu, İ., Ay, M., Kurt M. (2019). Biyogaz Yakıtlı Gaz Motorlu Kojenerasyon Sistemlerinde Egzoz Boru Tasarım İyileştirilmesi ile Verimlilik Artırımı. İCAR Congress 2020 Uluslararası Akademik Araştırmalar Kongresi, 11-18-19 Şubat 2020 ISBN: 978-605-7736-81-9, Bolu.

[7] MEGEP, (2006). Tesisat Teknolojisi ve İklimlendirme. Bacalar ve Yanma Isısı. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ders Notları

[8] İlbaş, M., Karyeyen, S ve Çilingir, K. (2016). Ön Karışimsız ve Ön Karışımlı Metan Alevlerinin Baca Yanma Parametrelerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Politeknik Dergisi, 2016; 19.

[9] Chandra, K., Kain, V., Dey. G. K. (2011). Accelerated Corrosion of a Boiler Chimney: Causes and Preventive Steps. J Fail. Anal. and Preven. (2011) 11:466–472.

[10] Aksoy, B.A., Solmaz, Ö ve Aksoy Y. (2018). Baca gazlarının ekserji analizi ve yapay sinir ağları ile modellenmesi. Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 24(4), 610-615, 2018.

## BÖLÜM IV

### Jet Grout ile İyileştirilmiş Killi Zeminlerin Dinamik Davranışının Değerlendirilmesi

**Furkan Veli ÖZÇELİK<sup>1</sup>**  
**Murat Ergenokon SELÇUK<sup>2</sup>**

#### 1. GİRİŞ

Dünya çapında uluslararası ticaretin artışı ile beraber özellikle liman şehirlerindeki taşıma gücü ve oturma problemi olan arazilerde yapılaşma zorunlu hale gelmiştir. Bu tip arazilerde yapılaşma öncesi zaman ve finansal açıdan en uygun olan zemin iyileştirme yönteminin uygulanması gerekmektedir. Jet grouting yöntemi teknolojinin de gelişmesiyle zaman ve finansal açıdan en uygun olan zemin iyileştirme yöntemlerinden biri haline gelmiştir.

İlk olarak Miki ve Nakanishi (Yakamodo kardeşler) tarafından 1970’li yıllarda zemin iyileştirme amacıyla kullanılmaya

---

<sup>1</sup> MSc Student, Yıldız Technical University, Civil Engineering Department, Orcid: 0000-0002-1989-6957

<sup>2</sup> Asst. Prof. Dr., Yıldız Technical University, Civil Engineering Department, Orcid: 0000-0003-1890-7965

başlanan bu yöntem, zemin içerisine yüksek basınçta enjekte edilen su-çimento karışımının zeminle yoğrulma, parçalanma ve nüfuz etme mekanizmaları ile zemin içerisinde rijit bir kolon oluşturulması prensibine dayanmaktadır (Croce & Madoni, 2014).

Literatürde jet grout yöntemi ile zemin içerisinde oluşturulan yüksek modüllü kolonlar vasıtasıyla zeminde meydana gelen parametre değişimleri ve bu değişimlerden kaynaklı zeminin dinamik davranışını inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. (Akin, Akkaya, Akin, Özvan, & Ak, 2019) yaptıkları çalışmada, kumlu ve killi zeminlerde jetgrout sonrası sıkıştırma bölgesindeki zemin özelliklerinin değişimi, kurulan jet-grout kolon sıraları boyunca birkaç inşaat sahasında gerçekleştirilen standart penetrasyon testleri (SPT) ve çok kanallı yüzey dalgaları analizi (MASW) ile incelenmiştir. Yerinde yapılan bu testler, hem kumlu hem de killi zeminlerin iyileşme performansını detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır. Jetleme basıncının uygulandığı zeminlerde, kumlu tabakaların killi çökellere göre daha fazla iyileşme göstermesi, bu yöntemin zemin türüne göre farklılık gösterebileceğini işaret etmektedir. Sonlu eleman analizleri, jetleme basıncının zeminin mekanik özelliklerini nasıl değiştirdiğini ve iyileştirdiğini somut bir şekilde ortaya koymaktadır.

(Tonyalı, Horoz, & Çağlar, 2015) Samsun'da ele aldıkları bir konut sahası iyileştirme projesinde ıslah sonrası zemin parametrelerinde meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Proje kapsamında 15 m uzunluğunda, 80 cm çaplı jet grout kolonları 2,2 m aralıklarla imal edilmiştir. Arazide iyileştirme öncesi ve sonrasında sismik ölçümler yapıp meydana gelen değişimler karşılaştırılmıştır. Zemin içerisine yüksek basınçlı enjeksiyon

verilerek oluşturulan yüksek modüllü kolonlar sayesinde zeminin mühendislik parametrelerinin, sınıfının arttığı belirtilmiştir.

(Toraman, 2021) Sakarya'daki bir sahada farklı boylarda ve alan değiştirme oranlarında jet grout yöntemi ile zemin iyileştirme yapılma durumları modelleyerek dinamik hareketler esnasında zemin tabakalarının davranışını bir boyutlu – doğrusal olmayan yer tepki analizleri ile parametrik olarak incelemiştir. Çalışma sonunda, jet grout yöntemi ile zemin ıslahının belli periyot değerlerine kadar spektral zemin büyütmelemlerini ve maksimum spektral ivmeleri yükselttiğini, bu periyot değerinden sonra ise bu değerleri azalttığını saptamıştır.

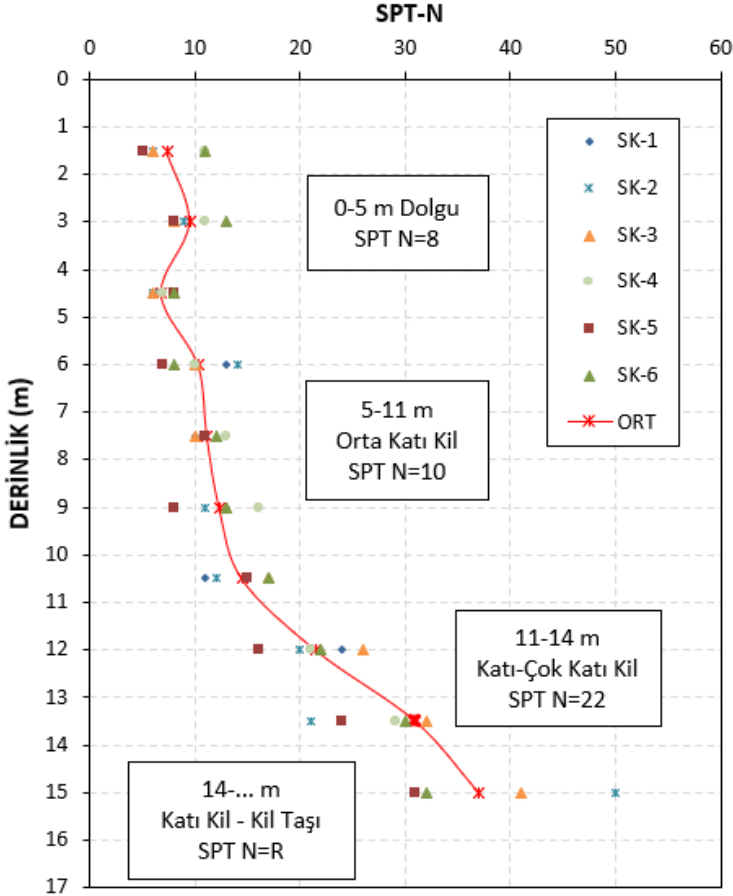
Bu çalışmada ise, Bursa İli, Gemlik İlçesinde yapılması planlanan 2 adet depo yapısı alanında jet grout ile zemin iyileştirme yapılması durumunda, iyileştirilen zemin tabakalarındaki parametre değişimlerinin tespit edilmesi ve bu değişimlerin dinamik yükler altında zemin davranışına olan etkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

## **2. PROJE BİLGİLERİ VE ZEMİN KOŞULLARI**

Bu çalışmaya konu olan uygulama alanı, Bursa ili, Gemlik ilçesinde bir parselde yer almaktadır. Bu sahada genişliği (B) 28 m, uzunluğu (L) 80 m olacak şekilde 2 adet tek katlı depo binası yapılması planlanmaktadır.

Sahadaki mevcut zemin koşullarını belirlemek amacıyla toplam 390 m boyunda 26 adet sondaj çalışması yapılmıştır. Yapılan sondajlar esnasında standart penetrasyon deneyi (SPT) yapılmıştır. Sahada yapılan sondaj verileri incelendiğinde homojen tabaklanma olduğu gözlenmiş olup yapılan sondajlardan 6 adeti seçilerek sahaya

ait SPTN-derinlik ilişkisi Şekil 1’de gösterilmiştir. Sondaj çalışmalarından alınan numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmıştır.



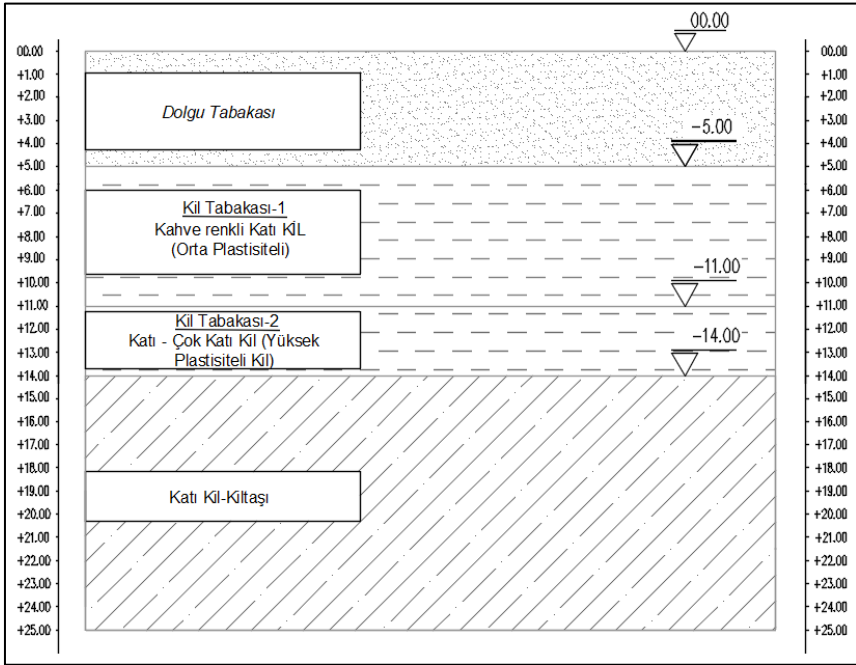
Şekil 1. Proje Sahası SPT N – Derinlik İlişkisi

Sahaya ait sondaj verileri, laboratuvar deney verileri ve güncel literatürdeki korelasyonlar kullanılarak idealize zemin profili ve zemin parametreleri belirlenmiştir. Şekil 2’de proje sahası için



belirlenen idealize zemin profili gösterilmiştir. İdealize zemin profiline göre;

- 0.00 m - 5.00 m Dolgu,
- 5.00 m - 11.00 m Katı Kil (Orta Plastisiteli, CM),
- 11.00 m -14.00 m Katı - Çok Katı Kil (Yüksek Plastisiteli, CH),
- 14.00 - ... Çok Katı Kil – Kil Taşı zemin birimleri yer almaktadır.



*Şekil 2. Proje Sahası İdealize Zemin Profili*

## 2. ZEMİN İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

Yapılan zemin etüt çalışmaları ve statik proje verilerine göre sahada yapılması planlanan yapının temellerinin dolgu birime

oturtulacağı tespit edilmiştir. (TBDY, 2018) önerisi ile temel altındaki dolgu birim için temel tasarım dayanımı (**qt**) **120 kPa** olarak hesaplanmıştır. Yapılması planlanan yapının statik verilerine göre faktörlü yükleme koşullarında (1.4G+1.6Q) temelde maksimum 200 kPa gerilme oluşması beklenmektedir. Bu kapsamda, mevcut zemin temel tasarım dayanımı faktörlü koşullarda oluşması muhtemel gerilme değerlerinden düşük olduğu için zemin iyileştirme yapılarak temel taşıma gücünün artırılması gerektiği anlaşılmıştır.

Ayrıca, temel altındaki zemin tabakalarından en fazla oturma gerçekleşmesi öngörülen dolgu, katı kil ve katı - çok katı kil tabakalarında eşitlik 2.1 (Bowles, 1982) kullanılarak elastik (ani) oturma hesabı yapılmıştır. Arazide iyileştirme yapılmadığı durumda ( $\delta_i$ ) **10.55 cm** mertebelerinde ani oturma gerçekleşebileceği hesaplanmıştır.

$$\delta_i = \int_0^L \epsilon dL = \frac{\Delta q L}{E_s}$$

Bu eşitlikte;

$\Delta q$  : Zemin tabakasındaki gerilme artışı,

L : Oturma hesaplanacak tabaka derinliği

$E_s$  : Temel altındaki tabakaların ortalama elastisite modülü,

Yapılan bu hesaplamalar kapsamında sahada taşıma gücü ve oturma problemlerinin görülebileceği anlaşılmıştır. Bu kapsamda arazide yapı inşasına başlamadan önce bu problemleri bertaraf etmek amacıyla jet grout yöntemi ile zemin iyileştirme uygulaması yapılmıştır.

## 2.1 Zemin İyileştirme Yöntemi ve Tasarımı

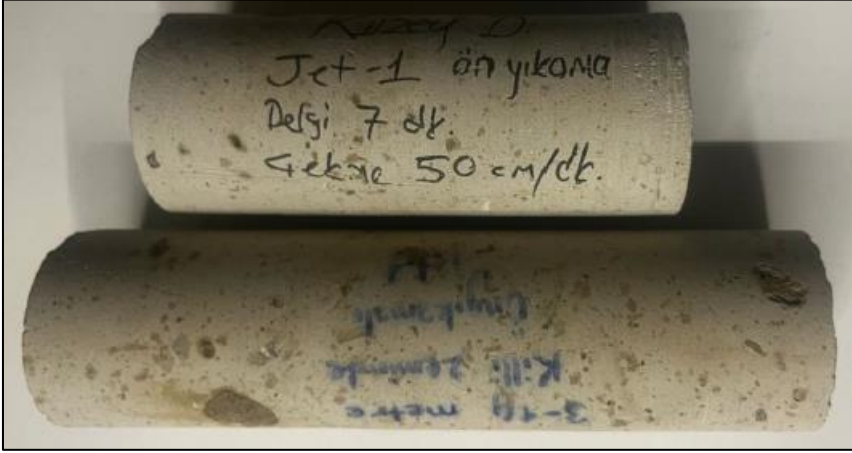
Tasarımda ilk olarak jet grout kolonlarının, SPT N değerlerinin 30'un üzerine çıktığı Katı Kil - Kiltası birimde sağlıklı bir şekilde oluşamayacağı öngörülüp kolon boylarının bu bölüme soketlenecek şekilde 14 m olmasına karar verilmiştir. Devamında, tasarımda kullanılacak jet grout kolonu serbest basınç mukavemeti ( $\sigma_{jg}$ ) ortalama minimum 3.0 MPa kabulü yapıp bu değer baz alınarak zemin iyileştirme hesaplamaları yapılmıştır. Bu kapsamda L=14.0 m boyunda, D=80 cm çapındaki jet grout kolonlarının s=1.7 m ara ile teşkil edilmesine karar verilmiştir. Tasarımda kullanılan jet grout kolonu ortalama minimum serbest basınç mukavemeti ( $\sigma_{jg}=3$  MPa) değeri imalatlar sonrasında saha deneyleri ile doğrulanacaktır.

**Tablo 1.** Proje Sahasında Uygulanan Jet Grout Parametreleri

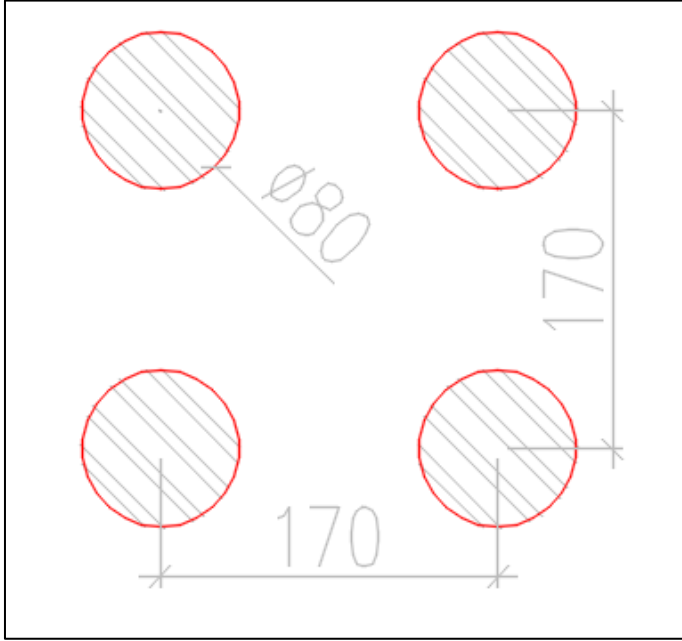
Parametre	Değer
Jet Yöntemi	Ön Yıkama + Jet-1*
Ön Yıkama Basıncı, (bar)	300
Ön Yıkama Delgi Hızı, (m/dak)	2
Jet Enjeksiyon Basıncı, (bar)	450
Nozül Çapı (mm)	2x2.4
Tij Rotasyon Hızı, (rpm)	30
Çekme Süresi (cm/dak)	55
Gerçekleşen Jet Grout Çapı, (cm)	80
Karelaj Aralığı (s) (m)	1.7
Alan Değiştirme Oranı ( $a_r$ ) (%)**	17.40

\* Jet-1 (tek akışkanlı), jet grout yönteminde su ve çimentodan oluşan sıvı karışım monitor üzerinde yer alan bir veya daha fazla nozülden yüksek basınçla zemine enjekte edilir (Croce & Madoni, 2014).

\*\* (Birim hücredeki jet grout kolonu alanı / birim hücre alanı)  
x100



**Şekil 3.** Ön Yıkama + Jet-1 Yöntemi ile Oluşturulan Jet Grout Numuneleri



**Şekil 4.** Proje Sahası Jet Grout Karelajı Plan Görünümü

(Garassino, 1997) jet grout kolonlarının aksel kapasite hesabının kazık elemanlarına benzer şekilde yapılabileceğini belirtmiştir. Buna göre, jet grout kolonu nihai aksel kapasitesi eşitlik 2.1’de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$Q_u = Q_s + Q_b$$

Eşitlik 2.1’de  $Q_u$ =nihai kapasiteyi,  $Q_s$ =sürtünme kapasitesini ve  $Q_b$ =uç kapasiteyi temsil etmektedir.

$$Q_s = \pi D \int_{l_1}^{l_2} \alpha c_u dz \quad (2.2)$$

$$Q_b = 9c_u A_{jg} \quad (2.3)$$

Yukarıda yer alan eşitlik 2.2 ve 2.3'te;  $A_{jg}$  = Jet grout kolonu kesit alanı,  $D$  = Jet grout kolonu ortalama çapı,  $\alpha$  = Adhezyon faktörü,  $c_u$  = Zeminin drenajsız kayma mukavemetidir.

Yukarıda bahsedilen yöntemle göre jet grout kolunu nihai kapasitesi ( $Q_u$ ) 66 ton olarak hesaplanmıştır.

### **3. ZEMİN İYİLEŞTİRME SONRASI KALİTE KONTROL DENEYLERİ**

Jet grout yöntemi ile zemin iyileştirme yapılan çalışmalarda genellikle oluşturulan taşıyıcı kolonun (jet grout kolonu) kalite kontrolüne yönelik testler yapılarak tasarım kontrol edilip sonlandırılır. Bu deneylerden başlıcaları, kolonlardan karot numunesi alımı, süreklilik testi ve eksenel yükleme deneyidir (Toğrol, 1998). Diğer yandan, zemin iyileştirme çalışmasından sonra iyileştirmenin üst yapı üzerindeki etkisinin incelenmesi ve zeminin, zemin içerisinde oluşturulan yüksek modüllü elemanlarla birlikte değerlendirilmesi önemlidir. Bu, alanın bütünsel performansının belirlenmesiyle mümkündür. İyileştirilen zemin tabakalarının bütünsel olarak performansını test etmek amacıyla son dönemlerde, maliyet ve zaman açısından en uygun yöntem olarak jeofizik tekniklerin kullanılması yaygınlaşmaktadır (Kocaman, 2008).

Bu çalışmada jet grout kolonlarının imalat sonrası kalite deneyleri yapılmış olup, ayrıca sahanın genel davranışının belirlenmesi için ıslah sonrası jeofizik ölçümler (Sismik karşıt kuyu testi ve MASW testi) yapılmıştır.

### 3.1 Karot Numunesi Alımı ve Serbest Basınç Mukavemeti Deneyi

Serbest basınç mukavemeti deneyi ile jet grout kolonları tasarımında kabul edilen serbest basınç mukavemeti değerlerinin sağlanıp sağlanmadığına dair kontrol yapılmaktadır. Serbest basınç mukavemeti değeri jet grout kolonlarının dayanım parametrelerini belirlerken kullanılan parametredir. Sahanın değişik bölgelerinde imalatı tamamlanan jet grout kolonlarından karotiyer numuneler alınıp numuneler üzerinde tek eksenli serbest basınç mukavemeti deneyleri gerçekleştirilmiştir.

*Tablo 2. Jet Grout Kolonlarından Alınan Numunelerin Serbest Basınç Dayanımları*

Numune Adı	Numune Tipi	Serbest Basınç Dayanımı, (MPa)	Numune Adı	Numune Tipi	Serbest Basınç Dayanımı, (MPa)
1	Karot	4.43	6	Karot	12.36
2	Karot	6.54	7	Karot	4.65
3	Karot	3.99	8	Karot	3.97
4	Karot	3.81	9	Karot	4.11
5	Karot	4.28	10	Karot	7.15

Deney sonuçlarına göre jet grout kolonu karot numunelerinin ortalama serbest basınç değeri  $\sigma_{jg\_ort.}=5.53$  MPa olarak bulunmuştur. Bu değer in proje tasarımında jet grout malzemesi için kabul edilen ortalama serbest basınç mukavemeti  $\sigma_{jg.}=3.00$  MPa değerinden yüksek olduğu yapılan deneylerle anlaşılmıştır.

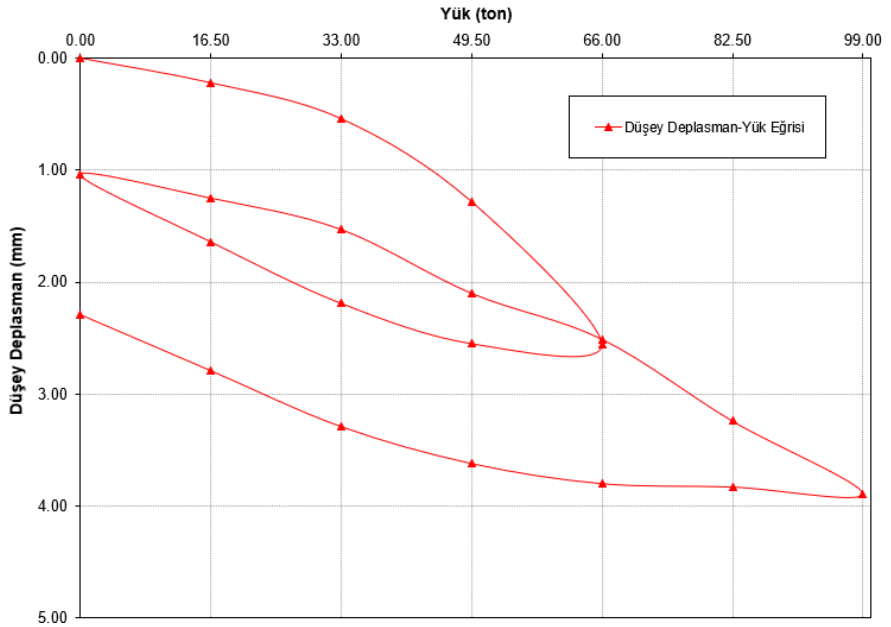
### 3.2 Eksenel Yükleme Deneyi

Proje sahasında imal edilen jet grout kolonlarının tasarımda belirlenen servis yükünü güvenli şekilde sağlayıp sağlamadığını

kontrol etmek amacıyla 2 adet kolonda ASTM D-1143 standardına uygun olarak çift döngülü yapılmıştır. Yüklemeler sonucunda jet grout kolonlarında meydana gelen kalıcı deplasmanlar Tablo 4'te gösterilmiştir.

**Tablo 3. Proje Sahasında Yapılan Eksenel Yükleme Deneyi Sonuçları**

Test No	Servis Yüğü (ton)	Maksimum Yüğü (ton)	Toplam Oturma Miktarı (mm)	Kalıcı Oturma Miktarı (mm)
1	66	99	3.89	2.29
2	66	99	9.58	7.18



**Şekil 5. 1 No'lu Yükleme Deneyi Düsey Deplasman – Yüğü İlişkisi**





*Şekil 6. Yükleme Deneyi Düzenegi*

Yapılan eksenel yükleme deney sonuçları değerlendirildiğinde maksimum kalıcı deplasman değeri Test 2’de 7.18 mm gözlenmiş olup test kolonunda herhangi bir süreksiz davranış görülmemiştir.

### **3.3 Süreklilik Deneyi**

Proje sahasında imal edilen jet grout kolonlarının sürekli bir şekilde imal edildiğini kontrol etmek amacıyla sahadan seçilen 20 adet kolonda ASTM D5882-16 standardına uygun kazık süreklilik testi yapılmıştır. Yapılan süreklilik test sonuçlarına göre imal edilen kolonların boylarının 14.00-14.30 cm arasında değiştiği gözlenmiştir. Tasarımda L=14.00 m olan jet grout kolonu boylarının test sonuçları ile uygun olduğu görülmüştür.



*Şekil 7. Süreklilik Testi Uygulanışı*

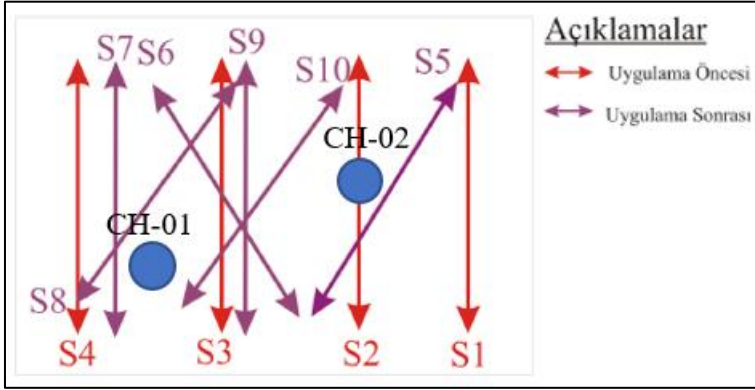
Böylelikle jet grout kolonları yapısal eleman olarak dikkate alındığında sahada beklenen taşıma gücü ve oturma problemlerine karşı yeterli mukavemette oldukları görülmüştür.

### **3.4 Sismik Testler ile Zemin İyileştirmenin Değerlendirilmesi**

Zemin iyileştirme sonrasında zeminde oluşturulan rijit elemanlarla birlikte zeminin bütünsel olarak değerlendirmeye alınıp iyileştirme derecesinin üst yapı davranışına etkisi incelenmelidir (Bildik & Savaşeri, 2019). TBDY 2018 EK 16D.4'te saha için seçilen zemin iyileştirme yönteminin uygulamasını aletsel gözlemlerle izlenerek iyileştirilmemiş duruma göre sağlanan iyileşme derecesinin kontrol edilmesi önerilmektedir. Jeofizik deneyler, geoteknik testlerin desteklenmesi ve elde edilen sonuçların teyidi amacı ile zaman ve maliyet açısından da uygun olduklarından dolayı karşımıza çıkmaktadırlar. Bu çalışmada zemin iyileştirme

öncesi ve sonrasındaki sismik hızların değişimini ölçmek amacıyla ASTM standartlarına uygun Park ve diğ. (1999) tarafından ortaya atılan Yüzey dalgalarının çok kanallı analizi (MASW) ve Sismik Karşıt Kuyu Testi (Cross-hole Seismic) deneyleri yapılmıştır.

Şekil 7’de gösterildiği üzere arazide iyileştirme öncesi 4 serim, iyileştirme sonrası 6 serim MASW deneyi ve iki farklı bölgede de sismik karşıt kuyu testi yapılmıştır.

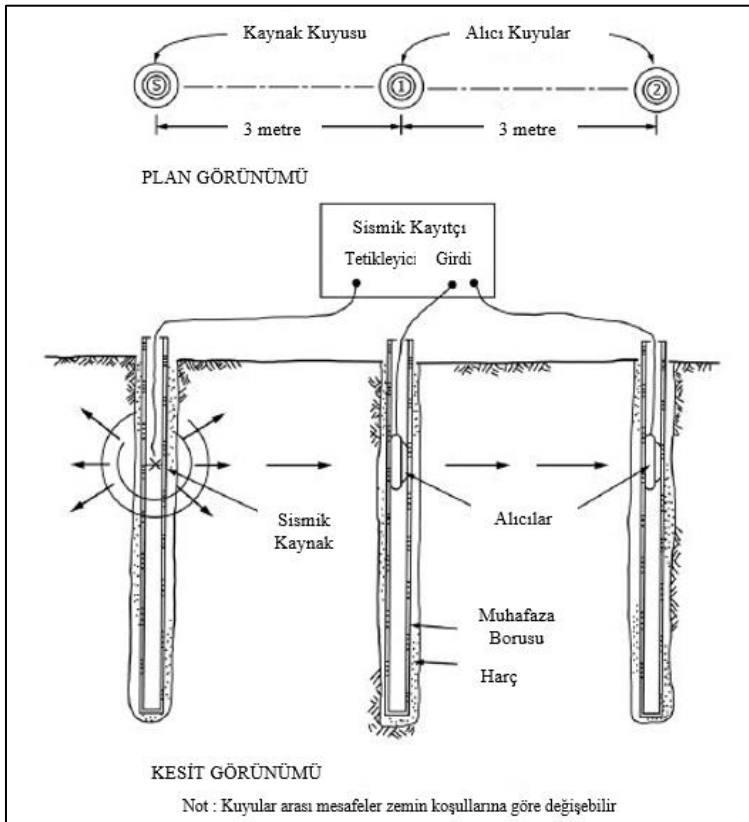


Şekil 8. Jeofizik testler plan görünümü

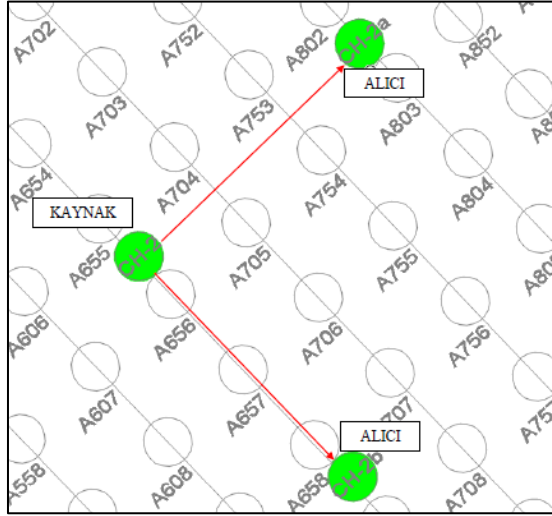
MASW deneylerinde WZG 24 model sismik kayıtçı, 4.5 hertz dikey jeofonlar, serim kabloları ve sismik kaynak olarak da 8 kg’lık balyoz kullanılmıştır. Jeofon aralıkları 2.0 m olacak şekilde kurulup 9 atış yapılarak 24 kanallı kayıtlar alınmıştır. Bu deneyde arazi ölçümleri ile eş zamanlı bir şekilde veri kontrol edilip dijital olarak kaydedilmektedir. Kaydedilen verilerin ters çözüm teknikleriyle yer altı sismik hız-derinlik kesitleri elde edilmiştir.

Sismik karşıt kuyu testi, sismik kayıt cihazı, sondaj jeofonları ve sondaj kaynakları kullanılarak gerçekleştirilir. Testin uygulama kurulumu tipik plan ve kesit görünümü Şekil 8’de sunulmuştur.

Sismik karşıt kuyu testinde kaynak kuyusunda oluşturulan yapay dalgaların yatay olarak aynı seviyede konumlandırılmış alıcılar tarafından alınması için geçen süre kaydedilmektedir. Şekil 8’de görüldüğü üzere bu yöntemin en belirgin özelliği kaynak ve alıcıların aynı seviyede olmasıdır (İyisan, 1994). Sismik karşıt kuyu testinde kaynak ve alıcıların aynı seviyede oluşu ve MASW deneyine göre daha küçük bir alanda ölçüm yapıldığından dolayı elde edilen sonuçların daha güvenilir olduğu söylenebilir.

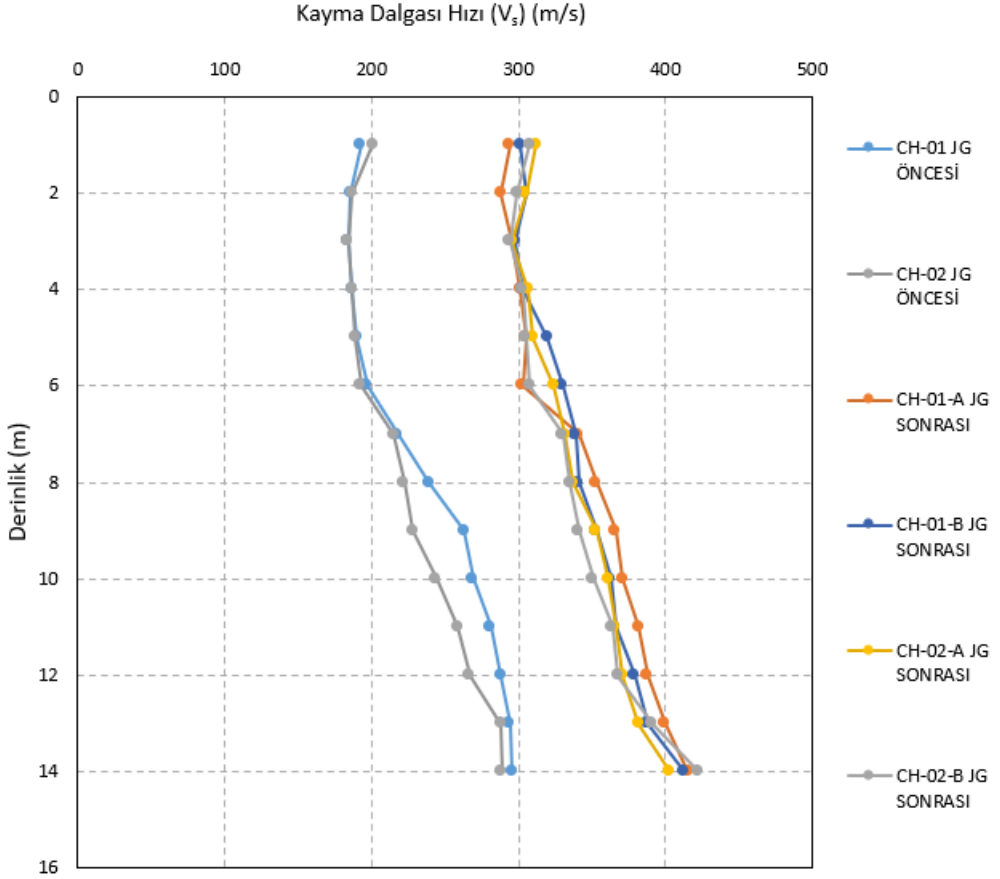


Şekil 9. Sismik karşıt kuyu testi tipik plan ve kesit görünümü (D4428/D4428M)



Şekil 10. Proje sahası sismik karşıt kuyu (CH-2) alanı plan görünümü

Jetleme sırasında yüksek basınçla zemine enjekte edilen harç, zemin tanelerini iterek zemin kütlesi içinde bir yer değiştirmeye neden olur. Böylece, oluşturulan zemin-çimento karışımı kolonlar arasında sıkıştırılmış bir bölge (basınç bölgesi) oluşur. Proje sahasında sismik karşıt kuyu testi için 1 adet kaynak, 2 adet alıcı olmak üzere toplam 3 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Bu alıcı sondaj kuyularından bir tanesi jet grout kolonlarının ekseninde diğeri ise jet grout kolonları arasında kalan basınç bölgesinde açılmıştır. Böylelikle, basınç bölgesindeki zemin kütlesinin de iyileşme derecesi belirlenmek istenmiştir. Sismik karşıt kuyu test sonuçları Şekil 10'da sunulmuştur.

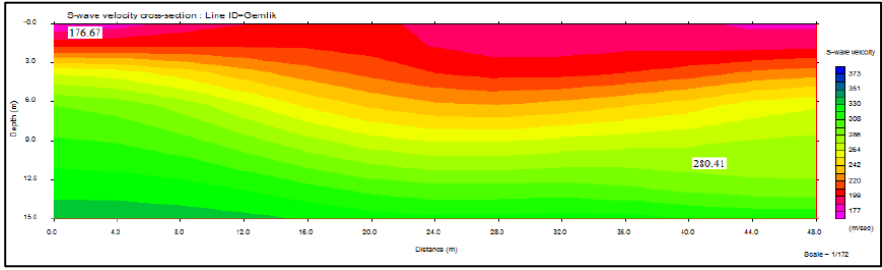


*Şekil 11. Sismik karşıt kuyu testi sonuçları*

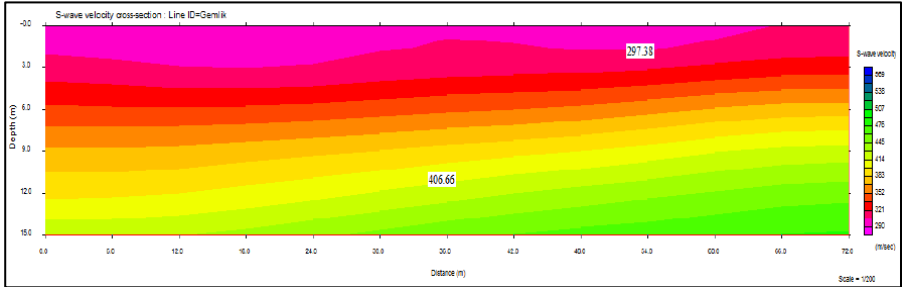
Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde iyileştirme öncesinde zemin tabakalarındaki kayma dalgası ( $V_s$ ) hızları 6.0 m derinliğe kadar 180-200 m/s mertebesinde iken, iyileştirme sonrasında bu değer 300 m/s mertebesine yükselmiştir. 6.0-14.0 m derinliklerinde ise iyileştirme öncesinde 200-290 m/s mertebesinde olan  $V_s$  hızı değerleri, iyileştirme sonrasında 320-420 m/s mertebelerine yükselmiştir. Özetle, sismik karşıt kuyu test

sonuçlarına göre proje sahasında yapılan iyileştirme sonrasında zemin tabakaları kayma dalgası hızı değerlerinin yaklaşık %50 oranında arttığı söylenebilmektedir.

Sismik karşıt kuyu testi ile daha spesifik bir alanda elde edilen ölçüm sonuçlarının, sahayı daha genel tarayan sismik MASW deneyi sonuçları ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Şekil 11 ve Şekil 12’de sırasıyla sahada iyileştirme öncesinde (S1) ve sonrasında (S6) yapılan sismik ölçüm sonuçları verilmiştir. Yapılan diğer MASW ölçümü sonuçları da bu değerlerle uyumlu çıkmıştır.



**Şekil 11.** Serim 1 (S1, iyileştirilmemiş durum) MASW analizi sonucu



**Şekil 12.** Serim 6 (S6, iyileştirilmiş durum) MASW analizi sonucu

## 4. SAYISAL ANALİZLER

Çalışma kapsamında zemin iyileştirme öncesi ve sonrası için bir boyutlu doğrusal olmayan yer tepki analizleri yapılmıştır. 1 boyutlu yer tepki analizler Deepsoil v7 bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır (Hashash, 2024). Deepsoil v7 programı doğrusal olmayan analiz yöntemini zaman tanım alanında gerçekleştirebilmektedir.

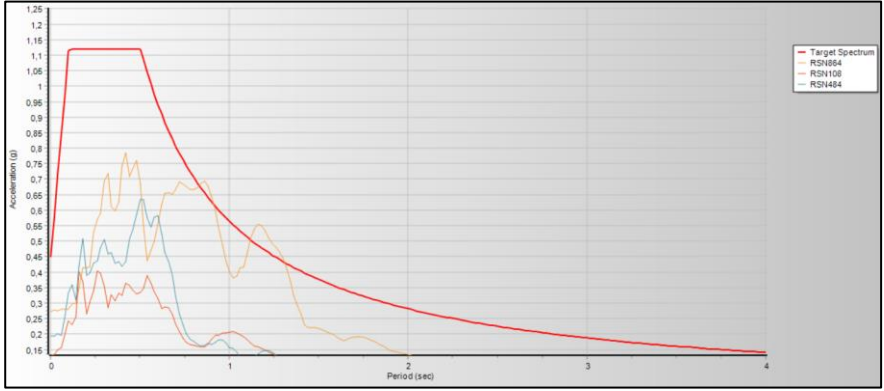
### 4.1 Seçilen Deprem Kayıtları

Sayısal analizlerde kuvvetli yer hareketi genellikle modele bir ivme-zaman kaydı olarak uygulanır. Kuvvetli yer hareketinin zemin tabakasının doğrusal olmayan sismik tepkisi üzerindeki etkisini araştırmak için, kaydedilen üç farklı deprem analizlere etkilmiştir. Bu deprem verileri sahaya özel deprem verisi kriterlerine uygun bir şekilde PEER (Pasific Earthquake Engineering Research) adlı komitenin hazırladığı yer hareketi veri tabanından alınmıştır. Sonrasında Sismomatch programı kullanılarak seçilen deprem kayıtları proje sahası için Türkiye Deprem Tehlike Haritasından elde edilen spektruma göre ölçeklendirilmiştir.

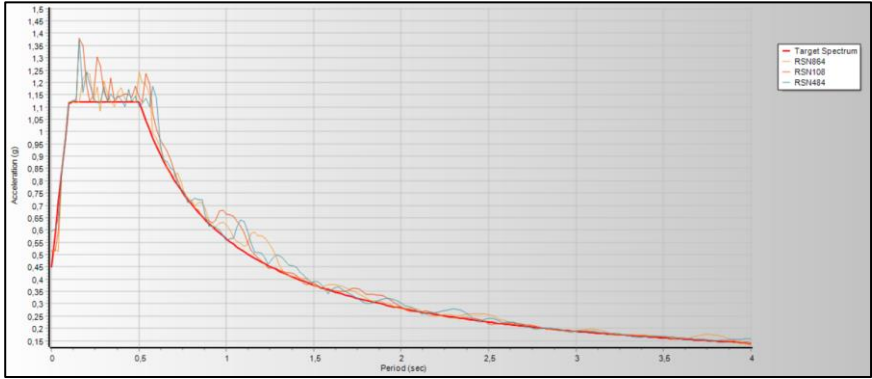
**Tablo 4. PEER veri tabanından seçilen deprem kayıtları**

Deprem	Yıl	RS N	Büyük lük	Fay Tipi	Vs3 0 (m/s )	D5 -75 (s)	D5 -95 (s)	Rjb (km )	Rru P (km )
Landers	199 2	864	7.8	Doğrul tu atımlı	379. 2	21. 7	27. 1	11. 3	11. 3
Northridg e-01	199 4	108 3	6.7	Ters	402. 2	6.8	15. 9	12. 4	13. 3
Chuetsu- oki	200 7	484 3	6.8	Ters	640. 1	7.2	19. 9	18. 2	25. 3





*Şekil 13. Deprem kayıtlarının hedef spektruma göre ölçeklendirilmemiş periyot-ivme grafiği*



*Şekil 14. Deprem kayıtlarının hedef spektruma göre ölçeklendirilmiş periyot-ivme grafiği*

## 4.2 Yer Tepki Analizleri

1 boyutlu doğrusal olmayan yer tepki analizleri için zemin tabakalarının dinamik davranışının modellendiği iskelet eğrisi için bünye modelleri seçilmektedir. Bu çalışmada basınca bağlı bir bünye modeli olan Modified Kondner Zelasko (MKZ) modeli seçilmiştir. Bu bünye modelinde zemin özellikleri olarak tabaka kalınlığı, birim hacim ağırlık ve kayma dalgası hızı parametreleri girilmektedir.

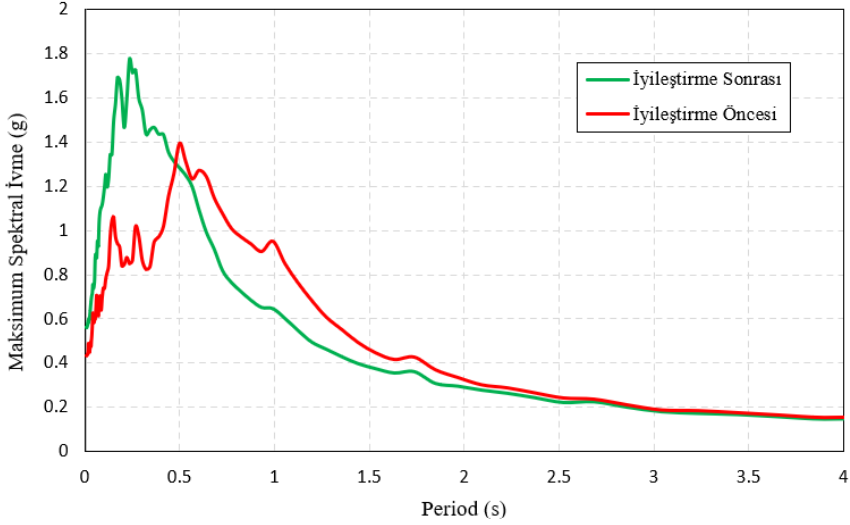
Zemin tabakalarının dinamik yüklenme durumlarında davranışlarını belirleyen artım azalım eğrileri kum veya kil zeminler için ayrı ayrı seçilebilmektedir. Bu çalışmadaki zemin tabakaları kil olduğundan dolayı Vucetic ve Dobry (1991) artım ve azalım eğrileri seçilip zemin tabakalarına ait plastisite indisi değerleri girilmiştir. İdealize zemin profilinden görüldüğü üzere bu roje sahasında 14.0 m derinlikten sonra ana kaya birimi gelmektedir. Deepsoil bilgisayar programında ana kaya birimi için elastic half space seçimi yapıp kaya biriminin kayma dalgası hızı ve birim hacim ağırlığı değerleri girilmiştir.

Proje sahası zemin ıslahı öncesi durum için zemin tabakalarına ait sahaya özel doğrusal olmayan yer tepki analizleri kapsamında kullanılan mühendislik parametreleri özetlenmiştir. Jet grout ile zemin ıslahı sonrasında sahada yapılan sismik karşıt kuyu ve MASW analizi sonuçlarına göre zemin tabakalarının kayma dalgası hızı (Vs) değerleri %50 oranında artırılıp programa girdi olarak girilmiştir.

**Tablo 1.** *Proje sahası zemin ıslahı öncesi durum için yer tepki analizlerinde kullanılan mühendislik parametreleri*

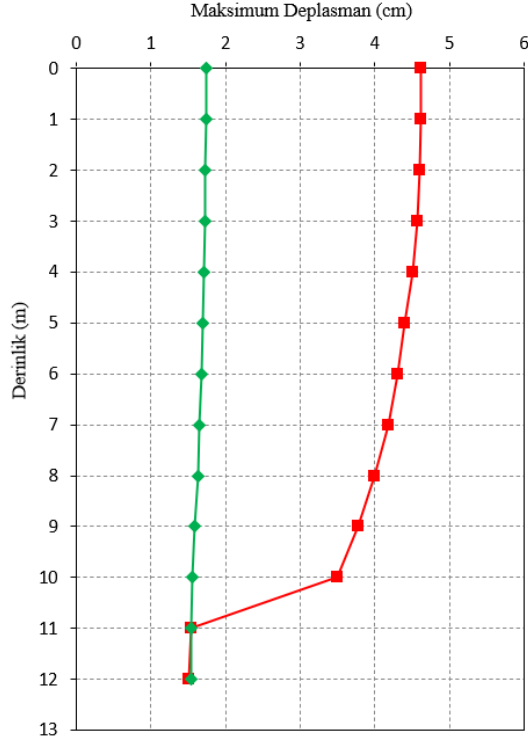
Parametre	Dolgu	Kil-1	Kil-2	Kiltaşı (Bedrock)
<b>Birim hacim ağırlık (<math>\gamma</math>)</b>	19	19.5	19.5	22
<b>Kayma dalgası hızı (Vs)</b>	180	200	250	760
<b>Plastisite indisi (PI)</b>	20	25	25	-

Tablo 4’te bilgileri verilen 3 deprem kaydı kullanılarak zemin ıslahı öncesi ve sonrası için 1 boyutlu doğrusal olmayan yer tepki analizleri yapıp elde edilen yüzey tepki spektrumları ve deplasman-derinlik grafikleri değerlerini ortalamaları karşılaştırılmıştır.



**Şekil 15.** İyileştirme öncesi ve sonrası yüzey tepki spektrumları

Şekil 15’te görüldüğü üzere zemin iyileştirme sonrasında maksimum spektral ivme değerlerinin düşük periyot değerleri için arttığı, belli bir periyot değerinden sonra ise zemin ıslahı öncesi durumdan daha düşük değerlere düştüğü gözlenmiştir. Bu sonuç, zemin iyileştirmesi yapıldığında zemin profilinin kayma dalgası hızının arttığını, bunun da doğal periyotları azalttığını göstermektedir. Bu durum, zemin iyileştirme yapılarak deprem ivmelerinin ortalama baskın periyodu aralığı daraltılabilir şeklinde yorumlanabilir.



**Şekil 16.** İyileştirme öncesi ve sonrası maksimum deplasman – derinlik ilişkisi

Şekil 16’da görüldüğü üzere dinamik kuvvetler etkisinde zemin ıslahı öncesi duruma göre yüzeyde görülen deplasman önemli oranda azalmıştır. Burada, jet grout ile zemin iyileştirmesi yapıldığı durumda yüzeyde meydana gelen deplasmanların azaltılabileceği görülmüştür.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Türkiye, Bursa İli, Gemlik ilçesinde bir arazide inşa edilmesi planlanan depo yapısı sahası ele alınmıştır. Arazide, taşıma gücü ve oturma problemlerine karşı zemin iyileştirme çalışması yapılması öngörülmüştür. Sahada L=14.0 m

boyunda, D=80 cm çapında jet grout kolonları ile % 17.4 alan değiştirme oranı sağlanacak şekilde zemin iyileştirme çalışması yapılıp bazı kalite kontrol deneyleri yapılmıştır.

Çalışma kapsamında jet grout kolonlarının yapısal durumunu kontrol etmek amacıyla serbest basınç mukavemeti, eksenel yükleme ve kazık bütünlük testleri yapılmıştır. Eksenel yükleme deneylerinde maksimum deplasman değeri Test 2’de 7.18 mm gözlenmiş olup test kolonlarında herhangi bir süreksiz davranış görülmemiştir.

Proje sahasındaki zemin tabakalarının bütünsel iyileşme derecesini ve genel davranışını belirlemek amacıyla yapılan sismik karşıt kuyu testi ve MASW sonuçları baz alınarak sahaya özel 1 boyutlu doğrusal olmayan yer tepki analizleri yapılmıştır. Yer tepki analizleri için PEER veri tabanından sahaya uygun 3 deprem kaydı kullanılarak DeepSoil v7 programı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Jet grout yöntemi ile  $a_r=17.4\%$  oranında iyileştirilmiş sahada jeofizik test sonuçlarına göre %50 oranında kayma dalgası hızı ( $V_s$ ) artışı olduğu grlmştir.
- Sahada, hem sismik karşıt kuyu hem MASW testi ile elde edilen sonuçların uyumlu olması göz önünde bulundurulduğunda sismik hız değerlerine göre sahanın yerel zemin sınıfının bir st sınıfa yükseltildiği söylenebilir.
- Yer tepki analizlerinde zemin iyileştirme öncesi ve sonrası kıyaslandığında yaklaşık 0.4 saniye periyoduna kadar iyileştirilmiş maksimum spektral ivmeleri iyileştirilmemiş duruma göre daha büyük

olmasına karşın 0.4 saniye periyodundan sonra daha küçüktür. Burada, zemin tabakalarının kayma dalgası hızı artışı ile doğal periyotlarının azaldığı görülmüştür.

- Jet grout ile zemin iyileştirme çalışması sonrasında yüzeyde meydana gelen deplasmanların azaldığı gözlenmiştir.

## KAYNAKÇA

Akin, M., Akkaya, İ., Akin, M. K., Özvan, A., & Ak, Y. (2019). Impact of Jet-Grouting Pressure on the Strength and Deformation Characteristics of Sandy and Clayey Soils in the Compression Zone. *Journal of Civil Engineering*, 3340-3352.

Bildik, S., & Savaşeri, K. (2019). The Evaluation of the Performance of Improved Soils Experimentally and Numerically. 8. *Uluslararası Geoteknik Sempozyumu*, (s. 55-568). İstanbul.

Bowles, J. (1982). *Foundation Analysis and Design*. McGraw-Hill Book Co.

Croce, P. F., & Madoni, G. (2014). *Jet grouting: technology, design and control*. Crc Press.

D1143, A. (2020). Standard Test Methods for Deep Foundation Elements Under Static Axial Compressive Load. *Code*.

D4428/D4428M. (2014). Standard Test Methods for Crosshole Seismic Testing. *Code*.

D5282-16, A. (2016). Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations.

Garassino, A. (1997). Design Procedures for Jet Grouting. *Seminar On Jet Grouting*. Singapore.

Hashash, Y. M. (2024). Nonlinear and Equivalent Linear Seismic Site Response of One-Dimensional Soil Columns. *Manual*.

İyisan, R. (1994). Geoteknik Özelliklerin Belirlenmesinde Sismik ve Penetrasyon Deneylerinin Karşılaştırılması. *Tez*. İstanbul.

Kocaman, M. (2008). Zemin Etütlerinde Jeofizik Yöntemlerin Kullanılması ve Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar. *Tez*. Sakarya, Türkiye.

Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*, (s. 800-808).

TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. İstanbul.

Toğrol, E. (1998). Jet Grout Kolonlarının Yapımında Kalite Denetimi. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi*, (s. 393-402). İstanbul.

Tonyalı, İ., Horoz, Ç., & Çağlar, S. (2015). Evaluation of Soil Parameters Exchange After Soil Improvement With Jet Groting Technique. *6. Geoteknik Sempozyumu*. Adana.

Toraman, A. (2021). Jet Grout Yöntemi ile İyileştirilmiş Zeminin Bir Boyutlu Dinamik Davranışının Sayısal Analizlerle İncelenmesi. *Tez*. İstanbul.



## BÖLÜM V

### Geoteknik Mühendisliğinde Geosentetiklerin Kullanım Alanları

**Onur SARAN<sup>1</sup>**

#### **Giriş**

Geosentetik kelimesi, inşaat mühendisliğinde zemin-kaya ile ilişkili olan geo önekinden ve imalatta yer alan malzemelerin çoğunlukla ham petrolden elde edilen insan yapımı ürünler (polimerler) olması nedeniyle sentetik son ekinden oluşur. Geosentetikler; geotekstil, geomembran, geogrid, geonet, geocell, geofoam, geosentetik kil kaplama ve geokompozit gibi geniş bir ürün yelpazesini kapsayan genel bir isimdir (Park & ark., 2013). Geosentetik disiplini, adını yıllar önce almıştır ancak temelleri çok daha eskiye dayanır. Geotekstil ve geosentetik terimleri, Dr. J.P. Giroud'un bu kelimeleri 1977'de Paris'teki bir mühendislik

---

<sup>1</sup> Arş. Gör. Dr. Onur SARAN, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Van/Türkiye, Orcid: 0000-0002-9503-5438, onursaran@yyu.edu.tr

konferansında ufuk açıcı bir makale ve sunumda kullanmasına kadar icat edilmemiştir (Kelsey, 2014). Ancak, bu terimler öne sürülmeden önce bile çeşitli alanlarda geosentetikler kullanılıyordu. Bunun klasik bir örneği, 1860'ların başında Hollanda'da yürütülen Delta Works gıda koruma projesinde geotekstillerin kullanılmasıdır. Son 60 yılda geotekstillerin geoteknik mühendisliğinde yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir (Wu & ark., 2020). Geosentetikler, altyapı ve çevre koruma projelerinde pek çok soruna etkili, ekonomik ve çevre dostu çözümler sunar. Geosentetiklerin genellikle toplam proje maliyetinin çok küçük bir yüzdesini oluşturduğunu vurgulamak önemlidir. Günümüzde geosentetikler; taş, tuğla, beton, alçı, bitümlü malzemeler, çelik, cam ve ahşap gibi en çok kullanılan inşaat malzemeleri listesinde yer almaktadır. Aslında geosentetikler, inşaat mühendisliği projelerinde dayanıklılığı artırmak için idealdir çünkü son derece çeşitlidir ve birçok saha koşuluna adapte edilebilirler. Geosentetik uygulamaları öncelikle inşaat mühendisliği alanında yaygın olsa da madencilik ve ziraat mühendisliği gibi diğer alanlarda da kullanılmaktadır. [https://www.geosentetiklerdernegi.org.tr/documents/Geosentetiklerin\\_Islevleri.pdf](https://www.geosentetiklerdernegi.org.tr/documents/Geosentetiklerin_Islevleri.pdf)

- İnşaat mühendisliği sektöründe geosentetiklerin çok yaygın bir şekilde kullanılmasının birçok nedeni vardır. Bunlardan en önemlileri şunlardır:
- Fabrika koşullarında kalite kontrolü altında üretilirler,
- Hızlıca monte edilebilirler,
- Zemin veya diğer inşaat malzemeleri kullanılarak karmaşık tasarımların yerine geçerler,

- Birçok durumda kullanımları yasal düzenlemelerle zorunlu hale getirilir,
- Şimdiye kadar mümkün olmayan tasarım ve uygulamaları mümkün kılarlar,
- Aktif olarak pazarlanmakta ve yaygın olarak satılmaktadırlar,
- Ekonomik açıdan diğer inşaat malzemeleri ile rekabet edecek maliyetlere sahiptirler,
- Karbon ayak izleri geleneksel yöntemlere göre daha iyidir (Koerner, 2012).

ASTM D4439 standardına göre, geosentetikler, zemin, kaya veya diğer geoteknik mühendislik malzemeleriyle birlikte kullanılan, polimerik malzemeden üretilmiş, düzlemsel bir ürün olarak tanımlanmaktadır. EN ISO 10318-1 standardına göre ise geosentetik “bileşenlerinden en az biri sentetik veya doğal polimerden yapılmış, levha, şerit veya üç boyutlu yapı formundaki bir ürünü tanımlayan genel bir terimdir, Geoteknik ve inşaat mühendisliği uygulamalarında zemin ve/veya diğer malzemelerle temas halinde kullanılır”. Kısacası, her iki tanım da geosentetiklerin polimerik malzemeler olduğunu ve geoteknik mühendisliği uygulamalarında kullanıldığını belirtmektedir..

Polimerik malzemelerin iki ana türü termoplastik (örneğin polietilen veya polipropilen) ve termosettir (örneğin nitril ve bütül). Geosentetiklerin neredeyse tamamı termoplastik malzemelerden oluşur. Bazen geomembranlarda kullanılan etilen propilen dien terpolimer dışında, geosentetik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan termoset bileşenler bulunmamaktadır (Koerner, 2012).

Geosentetik üretiminde kullanılan polimerler yaygın kullanılan kısaltmaları ile birlikte Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1:** Geosentetik üretiminde yaygın kullanılan polimerler

Polimer tipi		Kısaltma
Polipropilen		PP
Polyester (polietilen tereftalat)		PET
Polietilen	Düşük yoğunluklu polietilen	LPDE
	Orta yoğunluklu polietilen	MDPE
	Yüksek yoğunluklu polietilen	HDPE
Polivinil klorür		PVC
Poliamit		PA
polistiren		PS

Genel olarak, geosentetiklerde kullanılan en yaygın polimerik malzemeler polipropilen (PP), polietilen (PE), polivinil klorür (PVC) ve polyesterdir (polietilen tereftalat—PET). Ancak poliamid ve polistiren de kullanılan diğer polimerik malzemelerdir. Polietilen ve polipropilen topluca poliolefler veya basitçe olefler olarak adlandırılır. Polipropilen, geotekstil üretiminde en çok kullanılan polimerdir. Polietilen, geomembran üretiminde yaygın olarak kullanılan düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), orta yoğunluklu polietilen (MDPE) ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) formlarında bulunur (Tablo 1). LDPE, işlenmesi kolay ve iyi fiziksel özelliklere sahiptir; HDPE ise daha sert ve kimyasallara karşı dayanıklıdır. Polyester, yüksek mukavemeti ve sürünmeye karşı direnci nedeniyle giderek daha fazla geogrid üretiminde

kullanılmaktadır. Kimyasal olarak dayanıklıdır ve ultraviyole ışığa karşı dirençlidir, ancak yüksek pH'lı ortamlarda bu kimyasal dayanıklılığı azalmaktadır.

Poli(vinil klorür) (PVC), kimya endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ve en değerli ürünlerden biri olan bir polimerdir. Dünya genelinde üretilen PVC'nin %50'den fazlası, bina ve inşaat sektöründe dış cephe kaplamaları, boru tesisatı vb. gibi alanlarda kullanılmaktadır. PVC, plastikleştiricilerin eklenmesiyle daha esnek ve yumuşak hale getirilebilen bir sert plastiktir. Geomembran üretiminde, genellikle %25 ile %35 arasında değişen oranlarda plastikleştirici katkı maddeleri kullanılır. Poliamid (PA), doğal veya sentetik olarak elde edilebilen monomerler içeren bir polimerdir; örneğin, naylon. Polistiren (PS), petrol türevi olan monomer stirenin polimerleşmesiyle elde edilen bir polimerdir. PS'nin geosentetiklerde en yaygın kullanımı, genellikle %5 PS ve %95 hava karışımından oluşan genişletilmiş PS'dir (Koerner, 2012).

### **Geosentetiklerin Türleri**

Geosentetiklerin birçok türü vardır. En yaygın olarak bulunabilen geosentetikler; geotekstil, geomembran, geogrid, geonet, geocell, geoföam, geomat, geosentetik kil astarlar ve geokompozitlerdir.

### **Geotekstilller**

Geotekstilller en yaygın olarak kullanılan geosentetik türüdür (Şekil 2.1).



*Şekil 2.1. Yol inşaatında geotekstil kullanımı*

EN ISO 10318-1 standardı, geotekstilleri "zemin ve/veya diğer malzemelerle temas eden, dokunmamış, örülmüş veya dokunmuş olabilen, düzlemsel, geçirgen, polimerik (sentetik veya doğal) tekstil malzemeleri" olarak tanımlar. ASTM D4439, geotekstillerin "yalnızca tekstillerden oluşan geçirgen bir geosentetik" olduğunu ve "geotekstillerin geoteknik mühendisliği uygulamalarında ayırma, filtreleme, drenaj, takviye ve koruma dahil olmak üzere çeşitli işlevleri yerine getirdiğini" belirtmektedir. Geomembran ve geogridler genellikle sızdırmazlık (geçirimsizlik) sağlamak için kullanılırken geotekstillerin birçok işlevinin olması en önemli avantajlarından biridir. Bu nedenle geotekstiller ileri mühendislik projelerinin bazılarında kullanılmaktadır.

Geotekstil elyaflarının üretiminde ana polimer genellikle polipropilendir (%95 civarı), fakat bazen polyester, polietilen veya poliamid de kullanılmaktadır.

## 2.2. Geomembran

Geomembranlar; mühendislik uygulamalarında sıklıkla kullanılan esnek ve dayanıklı malzemelerdir. Bu malzemeler, özellikle sızdırmazlık gerektiren çeşitli yapılar için ideal bir çözüm sunarlar. Genellikle polietilen, polipropilen, PVC veya kauçuktan üretilirler ve su geçirmezlik özellikleriyle tanınırlar.

Geomembran; sentetik membranlar, polimerik membranlar, plastik astarlar, esnek membran astarlar, geçirimsiz membranlar, geçirimsiz levhalar gibi terimlerin yerine kullanılan genel bir addır. Geomembranlar bir ya da daha fazla sentetik tabakadan oluşan geçirimsiz bir geosentetik malzemedir (ASTM D4439). Ayrıca, düşük geçirgenliğe sahip geosentetik malzeme olarak tanımlanır ve inşaat sürecinde sıvı akışını azaltmak veya önlemek amacıyla kullanılır. Literatürde genellikle bariyer ve astar terimleri ile sık kullanılmaktadır. "Bariyer" terimi, geomembranın bir zemin kütlesi içinde kullanıldığı durumlar için kullanılırken, "astar" terimi genellikle geomembranın bir arayüz veya yüzey kaplaması olarak kullanıldığı durumlar için kullanılmaktadır (Shukla, 2016).

Geomembranlar, sulama kanalları, drenaj sistemleri, göletler, sulama havuzları, sulama kanalları, rüzgar enerjisi tesisleri, güneş enerjisi tesisleri, atık depolama alanları ve çöp depolama sahaları gibi çeşitli uygulama alanlarında kullanılır (Şekil 2.2).



*Şekil 2.2. Geomembran uygulaması*

### **2.3. Geogrid**

Geogridler açık ızgara benzeri görünüme sahip geosentetik malzemelerdir. Boyuna ve enine elemanları arasında eşit şekilde dağılmış bir dizi açıklığa sahiptirler (Şekil 2.3).

Geogridler, geosentetik pazarında hızla büyüyen bir malzemeyi ifade etmektedir. Çoğunlukla polipropilen, yüksek yoğunluklu polietilen ve polyester polimerlerden üretilmektedir. Geogridlerin en temel fonksiyonu, yüksek çekme mukavemetinden



dolayı zemin güçlendirmesinde takviye malzemesi olarak kullanılmasıdır. Bu nedenle geogridler, inşaat mühendisliğinde birçok alanda (istinat duvarları ve barajların gövde kısımlarının güçlendirilmesi, yol inşaatlarında güçlendirme ve şev stabilizasyonu) problemlili zemin koşullarında kullanılmaktadır. Ayrıca, bu malzeme bazı durumlarda, granüler malzemenin yumuşak bir alt zemine karışmasını engellemek için ayırıcı bir tabaka olarak kullanılmaktadır.

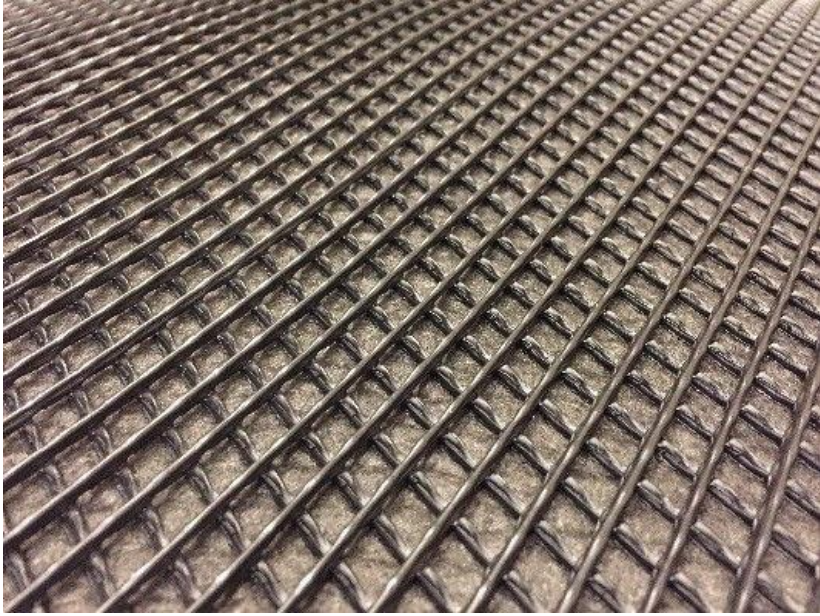


*Şekil 2.3. Yol inşaatında geogrid kullanımı*

#### **2.4. Geonet**

Geonetler, genellikle zemin stabilizasyonu, erozyon kontrolü ve drenaj sistemlerinde kullanılan bir tür geotekstildir. Özellikle alüminyum, HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) veya PVC

(polivinil klorür) gibi malzemelerden yapılmış olan geonetler, gözenekli bir yapıya sahiptir ve suyun serbestçe akmasını sağlarlar (Şekil 2.4). Bu özellikleri sayesinde, suyun drenajını artırırken zemin stabilizasyonunu sağlayarak erozyonu önlerler. Geospacers olarak da adlandırılan geonetler, görünüşte geogridlere benzer olsalar da, sıvıların veya gazların düzlem içindeki drenajını sağlama işlevinde farklılık gösterirler.



*Şekil 2.4. Geonetlerin görünümü*

## **2.5. Geocell**

EN ISO 10318-1 standardına göre, geocell "birbirine bağlı geosentetik şeritlerden yapılmış üç boyutlu, geçirgen, polimerik (sentetik veya doğal) petek veya benzer hücresel yapı" olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.5). Geocell'ler genellikle yüksek yoğunluklu polietilen, polyester veya başka bir polimerik malzeme

kullanılarak üretilir. Kurulum aşamasında, genişletildiğinde birbirine bağlı şeritler esnek, üç boyutlu bir hücresel yapının duvarlarını oluşturur. Genellikle 50 ila 100 mm genişliğindeki hücreler, uygulamaya bağlı olarak çakıl, kum veya ince zeminle doldurulabilir, böylece geçirgen veya geçirimsiz bir yapı oluşturulabilir.

Genellikle zemin stabilizasyonu, erozyon kontrolü, taşkın koruma ve peyzaj düzenlemelerinde kullanılan bir geosentetik malzemedir.



*Şekil 2.5. Geocell kullanımı*

## **2.6. Geofoam**

Geofoam, genellikle inşaat ve altyapı projelerinde hafif dolgu malzemesi (görünür yoğunluk  $10-30 \text{ kg/m}^3$ ) olarak kullanılan bir tür genişletilmiş polistiren köpüktür (Şekil 2.6). Polistiren

granülleri, buharlaştırıcı bir araç kullanılarak genişletilir ve sıkıştırılarak istenilen yoğunluğa ve boyuta getirilir. Sonuç olarak, hafif, sıkıştırılabilir ve stabil bir malzeme elde edilir. Bu  zellikleri sayesinde, birçok inşaat ve altyapı projesinde tercih edilen bir malzeme haline gelmiştir.

Geofoam, geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Bunlar arasında yolların ve köprülerin alt dolgusu, havaalanları, demiryolu hatları, spor sahaları, yeşil çatılar, duvar dolguları, yeraltı yapıları ve peyzaj düzenlemeleri yer alır. Yüksek mukavemetli ve düşük yoğunluğu sayesinde, ekonomik ve evre dostu bir seçenek sunmaktadır.



*Şekil 2.6. Geofoamların dolgu malzemesi olarak kullanımı*

## **2.7. Geomat**

Geomatlar, genellikle erozyon kontrolü ve bitki örtüsünün gelişimini teşvik etmek için kullanılan geotekstil malzemelerdir (Şekil 2.7).



*Şekil 2.7. Geomat kullanımı*

Özellikle düzgün bir şekilde yerleştirildiklerinde, zemin erozyonunu azaltır, suyun drenajını artırır ve bitki örtüsünün gelişimine yardımcı olurlar. Geomatlar, genellikle polimerik malzemelerden yapılmıştır ve farklı şekil, boyut ve yapıya sahip olabilirler. Esnek, dayanıklı ve çevre dostu yapıları sayesinde, birçok inşaat ve çevre projelerinde tercih edilen bir malzeme haline gelmiştir.

## **2.8. Geosentetik kil astarlar**

Geosentetik kil astarlar, geoteknik mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir malzeme türüdür. Bu astarlar genellikle su geçirgenliğinin kontrolü, erozyon kontrolü, zemin iyileştirme ve çevresel koruma gibi çeşitli amaçlarla kullanılır (Şekil 2.8).



***Şekil 2.8. Geosentetik kil astar***

İşlevlerine ve özelliklerine bağlı olarak farklı tiplerde mevcuttur, ancak genel olarak, doğal killerin yerine kullanılmak üzere sentetik malzemelerden üretilirler. Geosentetiklerin 1990'lardan bu yana, polimer ve doğal zemin malzemelerinin ilginç bir şekilde yan yana gelmesi nedeniyle geosentetik kil astar yaygın bir popülerlik kazanmıştır (Kong & ark., 2017). Geosentetik kil astarların, sıkıştırılmış kil kaplamalar ve geomembranlara göre bazı avantajları vardır. Yüksek mekanik özellikler, basit ve hızlı bir şekilde montaj ve düşük hidrolik iletkenlik sağlaması en önemli avantajlarındadır. Geosentetik kil astarların ortalama kalınlığı yaklaşık 7 mm'dir. Bu malzeme, kilin iki veya daha fazla geotekstil tabakası arasına kapsüllenmesi veya kilin bir geomembranın bir tarafına bağlanmasıyla üretilen, fabrikada üretilmiş ince tabakaların rulolarıdır (Kong & ark., 2017). Geosentetik kil astarlar sahada üst

üste bindirilerek birleştirilen paneller halinde üretilmektedir. Bentonit; düşük geçirgenliği, şişme kapasitesi ve göreceli bolluğu nedeniyle geosentetik kil kaplamaların tercih edilen kil bileşenidir

### **Geosentetiklerin kullanım alanları**

Geosentetikler, işlevleri bakımından temel olarak hidrolik ve mekanik olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Mekanik işlevler temel olarak ayırma, güçlendirme ve korumadır. Hidrolik işlevler ise drenaj, filtreleme ve sıvı(gaz) bariyerini içermektedir. Ayrıca son yıllarda yüzey erozyon kontrolü için de kullanılmaktadır. Bazı durumlarda geosentetikler bu iki işlevde yerine getirmek için kullanılır (Burhan & Soyaslan, 2016; Wu & ark., 2020; Tanasă & ark., 2022).

#### **3.1.Ayırma**

Geosentetiklerin ayırma fonksiyonu, bir zeminin farklı katmanlarını veya bileşenlerini birbirinden ayırmak ve istenmeyen karışımları engellemek amacıyla kullanılan bir özelliktir. Bu fonksiyon, geoteknik mühendisliği uygulamalarında zemin stabilizasyonu, erozyon kontrolü, su geçirgenliği kontrolü ve diğer birçok alanda önemli bir rol oynar.

Örneğin, bir yol yapımı senaryosunda, geosentetik bir ayırıcı tabaka kullanılabilir. Yol tabanı için hazırlanan doğal zemin, genellikle farklı türde malzemelerin bir karışımından oluşur. Ancak, bu karışımda bazı bileşenlerin farklı yoğunluklarda olduğu ve zamanla yolda deformasyona neden olabilecek şekilde yer değiştirebileceği düşünülür. İşte bu noktada, geosentetik bir ayırıcı tabaka kullanmak, farklı zemin katmanlarını birbirinden ayırarak istenmeyen karışımları engellemeye yardımcı olur. Bu, yolun daha

uzun ömürlü olmasına ve bakım gereksinimlerinin azalmasına yardımcı olabilir. Ayırma fonksiyonu ayrıca su geçirgenliği kontrolünde de önemlidir. Örneğin, bir baraj inşaatında veya toprak dolgu duvar projesinde, farklı zemin katmanlarının birbirine karışması ve suyun istenmeyen yollarla sızması istenmez. Bu durumda, geosentetik bir ayırıcı tabaka kullanarak farklı katmanların suyun serbest akışını engellemesi sağlanabilir. Geosentetiklerin ayırma fonksiyonu, yalnızca zeminler arasındaki fiziksel ayrımı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda zeminler arasında geçişkenliği azaltır ve zeminin stabilitesini artırır. Bu da, yapıların temel dayanıklılığını artırabilir ve geoteknik mühendislik projelerinin daha güvenli ve uzun ömürlü olmasına yardımcı olabilir.

### **3.2.Güçlendirme**

Güçlendirme işlevi, “zemin veya diğer inşaat malzemelerinin mekanik özelliklerini iyileştirmek için bir geosentetik malzemenin gerilme-gerinim davranışının kullanılması” olarak tanımlanır. Geosentetik, zemin kütlelerinde bir güçlendirme elemanı olarak (donatı görevi görerek) veya zeminle birlikte, donatısız zemin üzerinde gelişmiş dayanıma ve deformasyon özelliklerine sahip bir kompozit oluşturmak için kullanılır. Örneğin; geotekstiller ve geogridler dikey veya dikeye yakın şev yüzeylerinin oluşturulmasında zemine çekme dayanımı kazandırmak için kullanılırlar. Donatı, çok yumuşak zeminler üzerinde dolgu yapılmasına ve donatısız zeminlere göre dolgu kenarına daha dik açılarda eğim verilebilmesine olanak sağlar. Geosentetikler, (genellikle geogridler) yük taşıyan granüler tabakaların (yollar ve demiryolları) veya arazi dolgu kaplama sistemi uygulamalarının



altında meydana gelen boşluklar arasında köprü kurmak için de kullanılmaktadırlar.

### **3.3.Koruma**

Koruma fonksiyonu, geosentetik malzeme kullanılarak belirli bir elemana veya malzemeye verilen yerel hasarın önlenmesi veya sınırlandırılmasıdır veya bölgesel gerilim azaltma veya dağıtma katmanı olarak geosentetik malzemenin kullanılmasıdır. Koruma işlevinde, iki malzeme arasına yerleştirilen bir geosentetik, örneğin bir geotekstil, korunacak malzemeye iletilen gerilimleri hafifletir veya dağıtarak hasara karşı koruma sağlar. Bazı durumlarda, geoteknik yapının zarar görmesini engellemek için (lokalize gerilim azaltma katmanı olarak) geosentetik bir katmana ihtiyaç duyulabilmektedir.

### **3.4.Drenaj**

Geosentetik malzemelerin drenaj fonksiyonu, suyun etkin bir şekilde zeminin içinden veya üzerinden uzaklaştırılmasını sağlayarak zeminin stabilizasyonunu ve yapıların dayanıklılığını artıran önemli bir özelliktir. Bu drenaj fonksiyonu, jeoteknik mühendislik uygulamalarında, özellikle de sulak alanların kurulması, karayolu ve demiryolu yapılarının inşası, temel drenajı ve çevresel mühendislik projelerinde yaygın olarak kullanılır.

Geosentetikler, kendi düzlemleri boyunca sıvı veya gazın istenilen yere doğru taşınmasını sağlar. Bu iletim sürecinde, sıvı veya gaz geosentetiklerin içinde toplanır ve kendi düzleminde aktarılır. Geosentetikler, zeminden çok daha geçirgendir. Özellikle gözenekli olduklarında ve yeterli eğim sağlandığında, kendi düzlemlerinde su akışı sağlanabilir. Bu nedenle, tüneller, dikey

drenaj sistemleri, rezervuar kaplamaları, temel duvarları gibi suyun tahliye edilmesi gereken inşaatlarda kullanılmaları faydalıdır. Drenaj amaçlı kullanılacak geosentetikler, kendi düzlemlerinde yüksek geçirgenlik, basınca karşı yüksek dayanıklılık ve iyi filtreleme özelliklerine sahip olmalıdır.

### **3.5.Filtrasyon**

Geosentetikler, filtrasyon çözümlerinde etkili bir rol oynarlar. Filtrasyon, bir malzemenin içinden suyun geçirilmesi işlemidir ve bu süreçte katı parçacıkların veya diğer kirleticilerin tutulması amaçlanır. Geosentetikler, suyun geçişini sağlarken ince taneli parçacıkların tutulmasına yardımcı olan bir filtre tabakası oluşturarak bu işlevi gerçekleştirirler. Özellikle altyapı projeleri, tarım sulama sistemleri, atık su arıtma tesisleri ve çevresel iyileştirme projeleri gibi alanlarda geosentetiklerin filtrasyon uygulamaları büyük önem taşımaktadır.

## Kaynaklar

Burhan, V., & Soyaslan, İ. İ. (2016). Jeotekstillerin uygulama alanları ve fonksiyonları. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7, 70-77.

ISO 10318-1:2015(en). Geosynthetics—Part 1: Terms and Definitions. Available online: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:10318:-1:ed-1:v1:en>.

Geocell-Geohücre, (20/05/2024 tarihinde <https://www.iysteknik.com/geohucre-geocell> adresinden ulaşılmıştır).

Geomat, (20/05/2024 tarihinde <https://www.geoart.com.tr/urunler/geomat> adresinden ulaşılmıştır).

Geoplas Geosynthetics, (18/05/2024 tarihinde <https://www.geoplas.com.tr/tr/urunler/geotekstilller> adresinden ulaşılmıştır).

Kelsey, C. (2014). A brief history of geotextiles: a 40-year update. *Land Water*, 2014, 8-13.

Koerner, R. M. (2012). Designing with geosynthetics-Vol. 1 (Vol. 1). Xlibris Corporation.

Kong, D. J., Wu, H. N., Chai, J. C., & Arulrajah, A. (2017). State-of-the-art review of geosynthetic clay liners. *Sustainability*, 9(11), 2110.

Park, J. B., Park, H. S., & Kim, D. (2013). Geosynthetic reinforcement of sand-mat layer above soft ground. *Materials*, 6(11), 5314-5334.

Shukla, S. K. (2017). An introduction to geosynthetic engineering. CRC Press.

Standard, A. S. T. M. D4439-18, 2018," Standard Terminology for Geosynthetics," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, DOI: 10.1520/D4439-18.

Tanasă, F., Nechifor, M., Ignat, M. E., & Teacă, C. A. (2022). Geotextiles—a versatile tool for environmental sensitive applications in geotechnical engineering. *Textiles*, 2(2), 189-208.

Uluslararası Geosentetikler Derneği (IGS), *Geosentetiklerin İşlevleri*.(18/05/2024 tarihinde [https://www.geosentetiklerdernegi.org.tr/documents/Geosentetiklerin\\_Islevleri.pdf](https://www.geosentetiklerdernegi.org.tr/documents/Geosentetiklerin_Islevleri.pdf) adresinden ulaşılmıştır).

Yee, T. W. (2016). Geotextile Applications in Ground Improvement Works. *In 19th Southeast Asian Geotechnical Conference & 2nd AGSSEA Conference (19SEAGC & 2AGSSEA) Young Geotechnical Engineers Conference*, Kuala Lumpur (pp. 23-32).

Wu, H., Yao, C., Li, C., Miao, M., Zhong, Y., Lu, Y., & Liu, T. (2020). Review of application and innovation of geotextiles in geotechnical engineering. *Materials*, 13(7), 1774.

## BÖLÜM VI

### Hizmet Olarak Hareketlilik ve Entegre Ulaşım Sistemleri Üzerine Bir İnceleme ve Değerlendirme

**Raziye PEKER<sup>1</sup>**  
**Kadir Berkhan AKALIN<sup>2</sup>**  
**Mustafa Sinan YARDIM<sup>3</sup>**

#### Giriş

Kent nüfusu arttıkça ve şehirler daha sıkışık hale geldikçe sürdürülebilir ulaşım çözümlerine olan ihtiyaç artmaktadır. Bu durum, kent içi ulaştırma sistemindeki sınırlı park yerleri, trafik sıkışıklığı, kişisel araçlara bağımlılık ve çevresel kaygılar da eklendiğinde, verimli hareket etmeyi engellemektedir. Çözüm

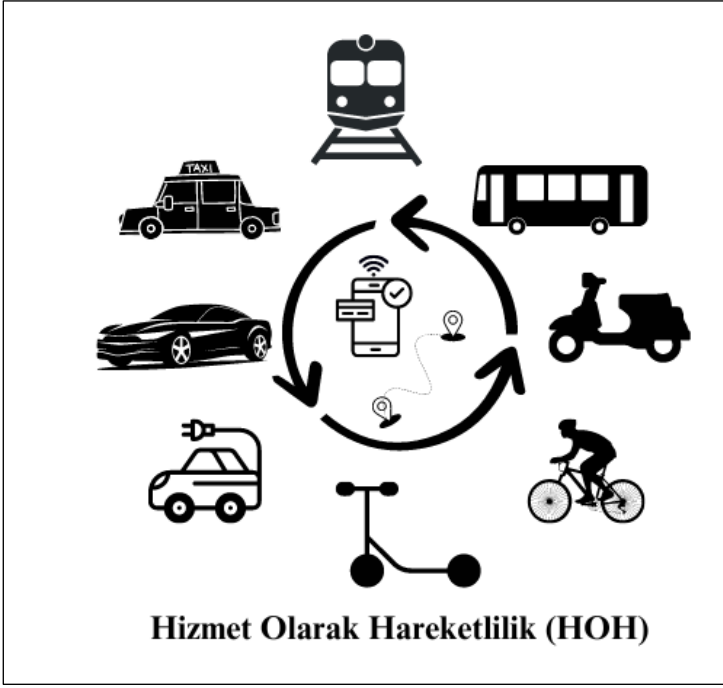
---

<sup>1</sup> Doktora Öğrencisi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Ulaştırma Programı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, Orcid: 0000-0003-1104-6197, raziye.peker@std.yildiz.edu.tr

<sup>2</sup> Arş. Gör. Dr., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, Orcid: 0000-0001-6720-5498, kbakalin@ogu.edu.tr

<sup>3</sup> Dr. Öğr. Üyesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, Orcid: 0000-0003-0799-9294, yardim@yildiz.edu.tr

arayışları içinde, kentsel alanlarda ulaştırma talebinin yönetilmesi gerektiği düşüncesi, son çeyrek asırda, sürdürülebilir bir anlayış olarak gündeme gelmiştir. Çeşitli destek sistemleri ve araçlar yardımıyla, talebin ulaştırma sisteminin amaçlarına uygun bir şekilde yönetilmesi, gelişen teknolojilerle beraber kolaylaşmaya ve yaygınlaşmaya başlamıştır. Hizmet Olarak Hareketlilik (HOH) ise, bu zorlukların üstesinden gelmek için dönüştürücü bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Türkçeye HOH olarak çevrilen “Mobility as a Service” (MaaS) kavramı, modern ulaşım sistemlerine entegre bir yaklaşım sunarak verimliliği arttırmayı ve kullanıcı deneyimini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. HOH, kesintisiz ve entegre bir yaklaşım sunarak; toplu taşıma, bisiklet paylaşımı, araç kiralama, taksi hizmetleri ve daha fazlasını tek bir dijital platformda birleştirerek, kullanıcıların çeşitli ulaşım seçeneklerine kolayca erişebilmesini sağlayan kapıdan kapıya ulaşımı hedefleyen sistemlerdir. HOH kavramının temelinde, ulaşım türlerinin entegrasyonu ve kullanıcıların tek bir uygulama üzerinden seyahatlerini planlayabilmeleri, rezervasyon yapabilmeleri ve ödeme işlemlerini gerçekleştirebilmeleri yer almaktadır (Şekil 1) (Kamargianni & ark., 2015; Litman, 2021).



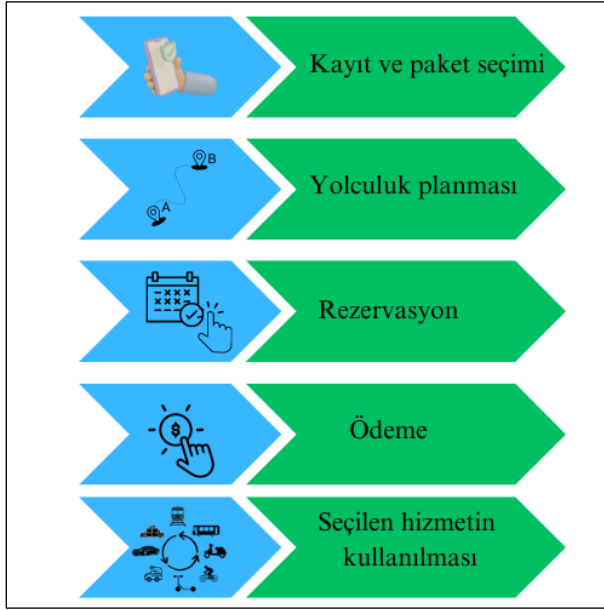
*Şekil 1: Hizmet olarak hareketlilik (HOH) şeması*

Sonuç olarak, HOH platformları, halk otobüsleri, bisiklet paylaşım programları, araç paylaşım hizmetleri ve elektrikli skuter gibi mikro mobilite çözümleri dahil olmak üzere çeşitli ulaşım seçeneklerini bir araya getirmektedir (Litman, 2022; Litman, 2024). Kullanıcılar, tek bir uygulama üzerinden gerçek zamanlı yolculuk planlama, rezervasyon ve ödeme yapabilmektedir. Bu entegre yaklaşım, kullanıcılara daha hızlı ve esnek ulaşım seçenekleri sunarken, kentler için daha az trafik sıkışıklığı ve azaltılmış çevresel etkilerin ortaya çıkması anlamına gelmektedir. Bu çalışmada, HOH kavramının verimliliği ve hizmet kullanımını arttırmak için, güçlü entegre toplu taşıma sistemlerinin nasıl oluşturulduğu, dünya ve Türkiye'den uygulamalar üzerinden incelenerek değerlendirilecektir.

Araştırmanın amacı, HOH sisteminin uygulanabilirliğini, hareketliliğin verimliliğini arttırmak ve hizmet kullanımını kolaylaştırmak için güçlü entegre toplu taşıma sistemlerinin nasıl oluşturulduğunu incelemektir. Çalışma kapsamında, HOH hizmet hareketliliği kavramının gelişiminde gerekli olan toplu taşıma araçlarının kullanımının artmasına yönelik entegre sistemlerin oluşturulması için gerekli bileşenler belirlenecektir. Bu bağlamda, literatür ve dünyada önemli entegre ulaşım sistemlerine sahip kentlerin incelenmesiyle, güçlü ulaşım sistem özellikleri tespit edilecek ve Türkiye ulaşım sistemi uygulamalarıyla karşılaştırılacaktır.

Tipik bir HOH uygulamasının yapısı; kayıt ve paket seçimi (telekomünikasyon veya medya hizmet paketlerine benzer), yolculuk planlaması, rezervasyon, katılım ve ödeme (AUS, 2020; Kamargianni & ark., 2015) adımlarından oluşmaktadır (Şekil 2). Kayıt ve temel paket ödemesi bir kez yapılırken, paket seçimi zaman içinde kullanıcının ihtiyaçlarına daha iyi uyacak şekilde güncellenebilir (Matyas & Kamargianni, 2017; 2019).





*Şekil 2: Tipik bir HOH uygulamasının yapısı*

HOH platformlarının temel özellikleri arasında araç kullanımının optimize edilmesi, hizmet sağlayıcılar için verimli veri yönetimi ve kullanıcılar için etkinlik önerileri gibi kişiselleştirilmiş hizmetler yer almaktadır (Woodcock & ark., 2023). Başarılı HOH uygulaması, kentsel altyapının oturmuşluğu ( bir nevi olgunluk düzeyi), kullanıcıların ödeme istekliliği ve yerel düzenlemeler gibi faktörleri göz önünde bulundurarak kentin belirli özelliklerine uyum sağlamayı gerektirir (Ho, 2022). Pilot denemeler, HOH'un hem bireysel hem de kent düzeyinde önemli faydalar sağlayabileceğini, verimliliği, sağlığı ve çevresel faktörleri artırabileceğini göstermiştir. Genel olarak HOH, toplumsal ve ticari hedeflerle uyumlu, entegre, kullanıcı dostu bir çözüm sunarak yolcu taşımacılığı sektörünü etkin ve verimli kullanmayı amaçlamaktadır.

## **Literatür Araştırması**








Trafik sıkışıklığı, hava kirliliği ve araç bağımlılığı dünya çapında şehirleri rahatsız eden başlıca sorunlardır. Buna karşılık HOH, ulaşım alışkanlıklarımızda umut verici bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Yapılan çalışmaların, HOH'un herkes için erişilebilirlik sağlayarak daha sürdürülebilir ve eşitlikçi bir ulaşım sistemi yaratma potansiyelini araştırdığı gözlenmektedir. Çevresel etki ve verimsiz ulaşım ağlarına ilişkin endişeler, ulaştır yönetimlerini yenilikçi çözümler aramaya yönlendirmiştir. Buna karşılık, HOH daha sürdürülebilir ve eşitlikçi bir ulaşım ortamını teşvik eden umut verici bir cevap olarak öne çıkmaktadır (Arias-Molinares & García Palomares, 2020; Oğuztimur & ark., 2021; Talih & Tektaş, 2022).

Araştırmalar, HOH'un benimsenmesi ve karbon salımlarının azaltılmasında çok türlü (multimodal) seçeneklerin ve uygun hizmet tasarımının önemini vurgulamakta ve toplu taşımayı bu tür sistemlerin kilit bir bileşeni olarak öne çıkarmaktadır (Mitropoulos & ark., 2023; Caballini & ark., 2022). Ulaşım sistemlerinin başarılı entegrasyonu konusunda, Londra'nın Oyster kartı ve Helsinki'nin Whim uygulaması , HOH potansiyelini ortaya koyan iyi örnekler arasındadır (Ceccato & ark., 2023; Lopes & ark., 2023). Türkiye'de Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (UAB), akıllı ulaşım altyapısını geliştirmek amacıyla, ülke genelindeki tüm ulaşım araçlarında kullanılacak bir ulusal e-ödeme sistemi üzerinde çalıştığı Türkiye Kart ve Takas Merkezi'nin kurulması çalışmaları HOH sistemini destekleyen girişimler olsa da geliştirilmesi gerekmektedir (Oğuztimur & ark., 2021). Benzer şekilde, İstanbulkart mobil uygulaması, toplu taşıma entegrasyonuna yönelik bir adımı temsil

etse de, HOH'un faydalarını tam olarak hayata geçirmek için daha fazla geliştirilmesi gerekmektedir (Oğuztimur & ark., 2021; Teixeira & ark., 2023). Akıllı ulaşım mimarisiyle HOH sisteminin entegre çalışması projeleri de ülkemizde hizmet olarak hareketliliğin gelişmesi ve yaygınlaşmasına yönelik yapılan çalışmalardandır (Dilek, Talih, & Ceylan 2023). Ayrıca, COVID-19 salgını gibi yıkıcı olaylar sırasında bisiklet paylaşım sistemleri üzerine yapılan çalışmalar, bisiklet paylaşımının toplu taşıma ile entegre edilmesinin, özellikle çalışanlar ve kırılgan grupta yer alan mahalleler için sistem direncini ve sürdürülebilirliğini arttırabileceğini göstermektedir. Kullanıcı özelliklerini, dijital becerileri ve paylaşımlı ulaşımı kullanma niyetlerini anlama konusu, entegre ulaşım sistemleri içinde farklı kullanıcı gruplarına cazip seçenekler sunmayı amaçlayan sağlayıcılar için çok önemlidir.

HOH, kullanıcılar için özellikle ulaşım seçeneklerini ve genel mobilite deneyimlerini geliştirmede önemli faydalar sunmaktadır. HOH, çeşitli ulaşım türlerini tek bir platforma entegre ederek kesintisiz seyahat hizmetleri sunar (Hasselwander & ark., 2023). Bu model, toplu taşıma sistemlerine erişimi arttırmakta, iş ve eğitim için eşit fırsatlar sağlayarak sosyal eşitliği teşvik etmektedir (Ding & ark., 2023). Ayrıca HOH platformları öğrencilere toplu taşıma, paylaşımlı bisikletler, e-bisikletler ve e-skuterler de dahil olmak üzere indirimli paket hizmetler sunarak, farklı seyahat ihtiyaçlarını karşılamaya imkan tanımaktadır (Chen, Fu, & Chen 2023). Böylece HOH sistemi kullanılarak üniversite öğrencileri, yetişkin ve yaşlılar da dahil olmak üzere her kesimden kullanıcının ulaşım tercihleri ve gereksinimleriyle uyumlu, sürdürülebilir ve verimli bir ulaşım çerçevesi oluşturulabilmekte; nihayetinde

bunların hareketlilik deneyimleri geliştirebilmektedir. Bu sistemler kullanıcılar arasında farklı tercihlere hitap edilebilmekte; otomobil kullanmayan kullanıcılar uygun maliyetli olduğunda, iş yolculukları için alternatif seçeneklere daha açıkken, otomobil kullanıcıları hız ve esnekliğe maliyetten daha fazla öncelik verebilmektedir (Gandia & ark., 2019). Mümkün olduğunca sürdürülebilir ve çevre dostu ulaşım türlerine yönelmek trafik sıkışıklığını ve karbon salımını azaltacağından, çevre ve insan sağlığı açısından da fayda sağlayacaktır (Tripy, 2024). Örneğin yürüme ile e- bisiklet, e- skuter gibi mikro mobilite araçları trafik sıkışıklığına maliyeti neredeyse yokken, toplu taşımının kilometre başına yaklaşık 1 \$, özel araçla yolculuğun 11 \$'a kadar maliyeti olduğu bildirilmektedir (Şekil 3) (Tripy, 2024). Maliyetler arasındaki bu büyük farklar, sürdürülebilir türlere yönelimlerin nedenlerini açıklamaktadır.

	 <b>Trafik sıkışıklığı</b> \$/km Zaman gecikmesinin topluma maliyeti	 <b>Kamu Sağlığı</b> \$/km Faaliyetin, kazaların ve hava kirliliğinin etkileri	 <b>CO2 emisyonu</b> \$/km gCo2eq/km
 <b>Yürüyüş</b>	0 \$/km	151 \$/km	0 gCo2eq/km
 <b>e- skuter e- bisiklet</b>	0 \$/km	88 \$/km	20 gCo2eq/km
 <b>Toplu taşıma</b>	-1 \$/km	-1,24 \$/km	71 gCo2eq/km
 <b>Özel araç</b>	-11 \$/km	-12,2 \$/km	166 gCo2eq/km

Şekil 3: Farklı ulaşım türlerinin çevresel etkileri (Tripy, 2024)

## HOH Uygulama Örnekleri

Dünya çapında kabul görmüş ve başarı kazanmış HOH uygulamaları artmaya devam etmektedir. Örneğin, İsveç'in Göteborg kenti UbiGo adlı başarılı bir HOH konseptini uygulamaya koyarak özel araç kullanımını azaltmış ve toplu taşıma ve aktif türlerin kullanımını arttırmıştır (Gandia & ark., 2021; Talih & Tektaş, 2022). Benzer şekilde, Finlandiya'nın Helsinki kenti, özünde kaliteli toplu taşıma hizmetleri bulunan rekabetçi bir HOH platformu sunmasıyla tanınmaktadır (Ding & ark., 2022). Polonya'da Tri-City bölgesi, ani aksaklıkları gidermeyi ve şehir içi seyahati optimize etmeyi amaçlayan uygulamalar aracılığıyla kentsel ulaşım verimliliğini ve entegrasyonunu arttırmak için HOH'un potansiyelini araştırmıştır (Sakulyeva, 2018). Bu örnekler gelişmiş ülkelerdeki başarılı HOH uygulamalarını sergilerken, Çin'de HOH'un yaygınlaştırılması, yüksek otomobil sahipliği oranları nedeniyle çok önemlidir ve özel otomobilleri HOH ekosistemine entegre etmek için özel yaklaşımlara duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır (Strömberg, Karlsson & Sochor, 2018). Kendine özgü kentsel hareketlilik zorlukları olan Türkiye için, uygun HOH stratejilerini uyarlamak ve uygulamak için başarılı küresel örneklerden faydalanılabilir. Bu konuda Türkiye'de HOH'a geçiş konusunda UAB, konuyla ilgili eğitim, çalıştaylar düzenleyerek konunun paydaşlarıyla fikir alışverişinde bulunmakta ve HOH politikalarının yaygınlaşmasına yönelik "Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi" gibi politikalar geliştirmektedir (AUS, 2020; UAB 2023). Bunun yanında, Ulusal Akıllı ulaşım sistemlerinin mimarisin yeni teknolojiler ve HOH ile uyumlu planlanması, uygulamalarının

kabulünü ve yaygınlaşmasını destekleyecektir (Dilek, Talih, & Ceylan 2023).

### **Karşılaştırma ve Değerlendirme**

HOH'un başarılı uygulamaları dünyanın çeşitli şehirlerinde gözlemlenmiştir ve kentsel hareketlilikte köklü değişiklikler yaratma potansiyellerini ortaya çıkarmışlardır. Örneğin, HOH'un Göteborg ve Helsinki gibi şehirlerde uygulanması, 42 paydaşla yapılan mülakatların sonucunda, farklı ulaşım türlerini akıllı telefonlar aracılığıyla erişilebilen tek bir platformda entegre etmenin, kişiselleştirilmiş ve sürdürülebilir hareketlilik çözümleri sunmada etkin olduğu saptanmıştır (Lopez, Monzon & Lopez 2023). Diğer çalışmalar da farklı şehirlerdeki HOH projelerinin başarısını desteklemede; ulaşım akışı, bilgi akışı ve bilgi işlem akışı altyapısı dahil olmak üzere kentsel altyapının önemini vurgulamıştır (Qiao, Huang & Yeh 2022). Ayrıca, Riga'da yürütülen araştırmalar, ortak ulaşım ve mikro mobilite araçlarını teşvik ederek karbon salımını azaltmada HOH'un rolünü vurgulamış, böylece şehirlerin karbon sıfır hedeflerine katkıda bulunmuştur (Gulbe & 2023). Bu örnekler, kentsel ulaşım sistemlerinin daha verimli, sürdürülebilir ve kullanıcı odaklı modellere doğru yeniden şekillendirilmesinde HOH'un öneminin altını çizmektedir.

### ***Avantajlar***

Sürdürülebilir ulaşım için HOH'un aşağıdaki gibi çeşitli faydaları bulunmaktadır:

- Azaltılmış trafik sıkışıklığı ve karbon salımına katkı sağlama:

HOH, toplu taşıma, araç paylaşımı ve bisiklet gibi paylaşılan mikro mobilite seçeneklerine geçişi teşvik ederek özel otomobillere

olan bağımlılığı önemli ölçüde azaltabilir. Bu da yollarda daha az araç olmasını temin ederek trafik sıklığı ve hava kirliliğinin azaltılmasında fayda sağlayabilir.

- Toplu taşıma kullanımında artış:

HOH, toplu taşıma sistemleriyle sorunsuz bir şekilde entegre olarak kullanıcıların otobüslere, trenlere ve metrolara erişmesini ve bu türlerin kullanımını kolaylaştırır. Böylece daha verimli ve sürdürülebilir bir ulaşım ağının oluşturulması amacıyla, ulaşım türleri arasındaki geçiş (türel kayma) teşvik edilebilir.

- Erişilebilirlik ve eşitlik:

HOH, çeşitli iş birlikleri ve sübvansiyonlar sunularak; verimli, ekonomik, güvenilir ve güvenli yolculukların yapılmasını sağlayabilir.

### ***Dezavantajlar***

Faydalarının yanında HOH sisteminin bazı dezavantajları ve eksikliklerinden de bahsedilmektedir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Veri gizliliği:

HOH uygulamaları, kişiselleştirilmiş öneriler sunmak ve yolculukları optimize etmek için kullanıcı verilerini toplar. Kullanıcılara ait verilerin güvenliğini sağlamak için veri gizliliği önlemleri almak çok önemlidir.

- Sosyal eşitlik ve kapsayıcılık:

Herkesin akıllı telefonlara veya etkin internet bağlantılarına erişimi olmayabilir. HOH çözümlerinin kapsayıcı olması ve mobil uygulamaları kullanamayanlar için hizmetlere erişmenin alternatif yollarını sunması gerekir.

- Entegrasyon ve iş birliği:

Başarılı HOH uygulaması, kamu ve özel ulaşım sağlayıcıları arasında iş birliğini gerektirir. Sorunsuz bir kullanıcı deneyimi için biletleme sistemlerinin standartlaştırılması ve sorunsuz veri alışverişinin sağlanması gereklidir.

HOH uygulamasının verimli ve etkin kullanılabilmesi için bölgesel faydalar ve zorluklar dikkate alınmalıdır. Günümüz teknolojileri ve başarılı örnekler gelecekte ulaşım alışkanlıklarının HOH sistemleriyle entegre edilmesinin gerekli olduğunu göstermektedir. Altyapı, ulaşım politikaları ve teknolojinin etkin kullanılmasıyla kapıdan kapıya entegre ulaşım sistemlerini ortak bir platform üzerinden verimli kullanmak mümkün olabilir. Sonuç olarak, HOH'un başarısı için, konunun sadece teknoloji tarafı değil, belki de daha fazla olmak üzere; kurumsal yeniden yapılanma, düzenleyici ulaşım reformları, inovasyon, çevre bilinci, kültürel geçiş ve kamusal alanın değerlendirilmesi gibi hususların da dikkate alınmasına ihtiyaç vardır (Lopez, Monzon & Lopez 2023).

### **HOH Uygulamasına Geçişte Kısa Orta ve Uzun Vadeli Politikalar**

Pek çok ulaştırma çözümlerinde olduğu gibi, HOH konu da doğası gereği meseleye farklı süreçlerde bakmayı gerektirir. Uygulamaya yönelik politika önerileri bu bağlamda kısa, orta ve uzun vadeli olmak durumundadır.

HOH'a geçişte, kısa vadeli politikalar HOH uygulamalarını kentlerin belirli özelliklerine uyarlamaya ve geleneksel mobilite politikalarına sahip şehirlerdeki direnci dikkate almaya odaklanmalıdır (Caballini & ark., 2022). Örneğin ülkemizde UAB kısa vadede HOH politikalarını gerçekleştirmek için pilot uygulama olarak hayata geçirilecek projede, kullanıcıların çeşitli ulaşım modlarını entegre eden ve konfor, süre ve maliyet gibi faktörleri göz



önünde bulundurarak alternatifler sunan bir hareketlilik platformu oluşturulmasını planlamıştır (UAB, 2024).

Orta vadeli politikalar, karbon salımlarını azaltmayı ve Paris Anlaşması hedefleriyle uyum sağlamayı amaçlayan bölgesel politikaların küresel olarak yaygınlaştırılmasını içerebilir. Bunlar; enerji, ulaşım, binalar, sanayi ve arazi kullanımı alanlarında düzenleyici tedbirler olabilir (Kriegler & ark., 2018).

Uzun vadeli politikalar, paydaşları çevresel etkilerden sorumlu tutmak için şirketlerin tabi oldukları yasaların değiştirilmesini, daha temiz teknolojilere yatırımın teşvik edilmesini ve sürdürülebilir kalkınma için paydaşların çıkarlarının dengelenmesini içermelidir (Van, 2013). Buna ek olarak, geçiş yönetimi gibi dönüştürücü bir yaklaşım, sürdürülebilir kalkınma süreçlerinde sosyal öğrenme, duruma uygun yerleştirme ve sosyal yeniliği vurgulayan uzun vadeli politika tasarımı için kullanılabilir (Simmons & ark., 2011).

Bu kısa, orta ve uzun vadeli stratejileri birleştirerek, HOH'a başarılı bir geçişi kolaylaştırmak ve kentsel ulaşım sistemlerinde sürdürülebilirliği ve verimliliği teşvik etmek için kapsamlı bir çerçeve oluşturulabilir. HOH sayesinde kullanıcıların ulaşım sistemine kolayca erişebilmesi hedeflenmektedir. Ancak, kolay erişilebilir ve güçlü ulaşım ağları oluşturulmazsa HOH'un etkin kullanılması mümkün gözükmemektedir. Bahsedilen kısa, orta ve uzun vadeli politikalarla altyapı hizmetleri iyileştirilerek HOH desteklenmelidir. Örneğin artan trafik sıklığı, iyileştirilmiş bisiklet altyapısı ve yüksek sürüş maliyetleri otomobil kullanıcılarını alternatif ulaşım türleri aramaya yönlendirir. HOH ile farklı ulaşım

türlerinin tek bir platformda olması ancak destekleyici altyapı politikaları ile çözülebilir (Fink, 2019).

## **Sonuçlar ve Tartışma**

Sonuç olarak HOH kavramı, çeşitli ulaşım türlerini tek ve kesintisiz bir dijital platforma entegre ederek kentsel ulaşım dönüşürücü bir yaklaşım sunmaktadır. Bu entegre yaklaşım sadece kentsel hareketliliğin verimliliğini ve kullanıcı deneyimini arttırmakla kalmamakta; aynı zamanda trafik sıkışıklığı, sınırlı park alanları ve çevresel kaygılar gibi kritik konuları da ele almaktadır.

HOH'un başarılı bir şekilde uygulanması, sistemin farklı şehirlerin kendine has özelliklerine uyarlanabilirliği, destekleyici politika çerçeveleri ve kullanıcıların yeni hareketlilik çözümlerini benimseme istekleri gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Kısa vadeli politikalar, HOH uygulamalarını belirli kentsel bağlamlara uyarlamaya ve geleneksel mobilite politikalarına sahip şehirlerdeki direncin üstesinden gelmeye odaklanmalıdır. Orta vadeli stratejiler, Paris Anlaşması hedefleriyle uyumlu olacak şekilde karbon salımını azaltmaya yönelik düzenleyici tedbirlerin küresel olarak yaygınlaştırılmasını amaçlamalıdır. Uzun vadeli politikalar, paydaşları çevresel etkilerden sorumlu tutmak ve daha temiz teknolojilere yatırımı teşvik etmek için yasaları değiştirmeyi içermelidir.

Londra'nın Oyster kartı ve Helsinki'nin Whim uygulaması gibi pilot çalışmalar ve mevcut uygulamalar, HOH'un kentsel ulaşım sistemlerini iyileştirme potansiyelini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, özellikle ülkemizde HOH'un faydalarını tam olarak hayata geçirmek için daha fazla çaba sarf edilmesi gerekmektedir. HOH,

kullanıcı özelliklerini anlayarak ve özel mobilite seçenekleri sunarak sosyal eşitliği teşvik edebilir, temel hizmetlere erişimi arttırabilir ve nihayetinde daha sürdürülebilir ve verimli kentsel ulaşım sistemlerine katkıda bulunabilir.

Araştırmalar, HOH'un benimsenmesinde çok türlü ulaşım seçeneklerinin ve iyi tasarlanmış hizmetlerin önemi ile toplu taşımanın kilit bir bileşen olarak rolünü vurgulamaktadır. Ayrıca, bisiklet paylaşım sistemleri gibi paylaşımlı mikro mobilite seçeneklerinin entegrasyonu, kentsel ulaşımın sürdürülebilirliğini ve erişebilirliği arttırabilir.

Özetle HOH hem toplumsal hem de ticari hedeflerle uyumlu, kapsamlı ve kullanıcı dostu bir çözüm sunarak kentsel hareketlilikte devrim yaratmak için önemli bir fırsat sunmaktadır. Politika yapıcılar, teknoloji sağlayıcılar ve kullanıcılar arasında iş birliğine dayalı bir yaklaşımı teşvik ederek, şehirler daha sürdürülebilir ve verimli bir ulaşım altyapısına sahip olabilir. Böylece sadece ulaşım ihtiyaçlarını karşılayanların değil bütün kent sakinlerinin yaşam kalitesini arttıran yaklaşımların hayata geçirilmesi sağlanabilir.

## **Öneriler**

Bu çalışmada elde edilen çıkarımlara dayanarak, kentlerde HOH uygulanmasını ve etkisini arttırmak için aşağıdaki öneriler sıralanabilir:

### ***Politika ve Düzenleyici Destek***

- Kısa vadeli politikalar:

Yerel hareketlilik modellerini dikkate alan ve hareketlilik politikalarının kendine özgü zorluklarını ele alan şehre özel HOH uygulamaları geliştirilmesi gerekmektedir. Destekleyici düzenleyici

çerçevesel oluşturmak için ulaşım planlamacıları, belediyeler, STK'lar ve politika yapımcılar dahil olmak üzere ilgili bütün paydaşlarla iş birliği yapılması gerekmektedir.

- Orta Vadeli stratejiler:

Paris Anlaşması hedefleriyle uyumlu karbon salımı azaltımını destekleyen uygulamaların ve düzenleyici tedbirlerin küresel olarak yaygınlaştırılması teşvik edilmelidir. Etkin HOH uygulaması için bilgi ve kaynakların paylaşılması amacıyla bölgelerarası iş birliklerinin yapılması gerekmektedir.

- Uzun vadeli politikalar:

Paydaşların çevresel etkilerden sorumlu olmasını sağlamak ve temiz teknolojilere yapılan yatırımları teşvik etmek için şirketlerin tabi olduğu yasalarda değişikliğe gidilmelidir. Paydaşların çıkarlarını dengeleyerek ve çevre dostu mobilite çözümlerine öncelik vererek sürdürülebilir kalkınma teşvik edilmelidir.

### ***Altyapı Geliştirme***

HOH'un temelini oluşturan sağlam ve erişilebilir toplu taşıma ağlarının geliştirilmesine yatırım yapılmalıdır. Kesintisiz çok türlü ulaşım desteklemek için bisiklet yolları, yaya yolları ve ortak hareketlilik merkezleri gibi alternatif ulaşım türlerine yönelik altyapıyı geliştirecek adımlar atılmalıdır.

HOH platformları aracılığıyla kullanıcılara yolculuk planlama, rezervasyon ve ödeme için doğru bilgi sağlamak üzere gerçek zamanlı veri sistemlerinin entegrasyonu sağlanmalıdır. Bunun için, yüksek hızlı bağlantıyı ve HOH hizmetlerine güvenilir

erişimi desteklemek için dijital altyapının iyileştirilmesi gerekmektedir.

### ***Kullanıcı Odaklı Tasarım***

HOH platformlarını kullanıcı deneyimine güçlü bir şekilde odaklanarak geliştirilmesi gerekmektedir. Bu platformlarda zorunlu yolculuk yapanlar (öğrenciler, işe gidip gelenler), turistler ve yaşlılar dahil olmak üzere farklı kullanıcı gruplarının çeşitli ihtiyaçlarını karşılayan özellikler bulunmalıdır. Sürdürülebilir ulaşım seçeneklerinin benimsenmesini teşvik etmek için kişiselleştirilmiş hareketlilik paketleri ve teşvikler sunulabilir.

HOH uygulamalarının işlevselliğini ve kullanılabilirliğini sürekli olarak iyileştirmek için düzenli kullanıcı geri bildirim anketleri ve odak grupları oluşturulabilir. Kullanıcı davranışlarını ve tercihlerini anlamak için veri analitiğini kullanarak daha hedefli ve etkili hizmet teklifleri sunulabilir.

### ***Kamu Farkındalığı ve Eğitim***

Vatandaşları HOH'un faydaları konusunda eğitmek ve özel araç sahipliğinden paylaşımlı mobilite çözümlerine geçişi teşvik etmek için kamuoyu bilinçlendirme kampanyaları başlatılmalıdır. Günlük işe gidip gelme ve diğer seyahat ihtiyaçları için HOH kullanmanın çevresel, ekonomik ve sosyal avantajlarının vurgulanması gerekmektedir.

Dijital teknolojilere aşina olmayan kullanıcılar için eğitim ve destek sağlayarak HOH platformlarının dijital okuryazarlığı sınırlı olanlar da dahil olmak üzere nüfusun tüm kesimleri için erişilebilir

olmasını sağlanmalıdır. Bu özellikle engelli ve yaşlıların hizmetten faydalanması için gereklidir.

### ***İşbirliği ve Ortaklıklar***

HOH'un başarılı bir şekilde yaygınlaştırılması için uzmanlık, kaynak ve inovasyondan yararlanmak üzere kamu, özel sektör ve STK arasındaki işbirlikleri teşvik edilebilir. Bu özellikle, entegre ve verimli hareketlilik ekosistemleri oluşturmak için yararlıdır.

HOH girişimlerinin planlanması ve uygulanmasında kullanıcıların ulaşım alışkanlıkları önemlidir. HOH çözümlerinin kendi ihtiyaçları ve tercihleri ile uyumlu olmasını sağlamak için, yerel paydaşlar ve topluluklar, karar alma süreçlerine dahil edilmelidir.

### ***Sürekli Değerlendirme ve Adaptasyon***

HOH sistemlerinin performansını ve etkisini değerlendirmek için sürekli izleme ve değerlendirme mekanizmaları uygulanmalıdır. Başarıyı ölçmek ve iyileştirme alanlarını belirlemek için kullanıcı memnuniyeti, türel değişim oranı, karbon salımı azaltımı ve maliyet etkinliği gibi temel performans göstergeleri kullanılıp, gerekli iyileştirmeler yapılabilir.

Ulaşım sektöründeki gelişmekte olan teknolojilere ve güncel eğilimlere (trendlere) uyum sağlanması da önemli bir husustur. Nitekim, kullanıcı deneyimini ve operasyonel verimliliği arttıran yeni özellikleri, hizmetleri ve yenilikleri dahil etmek için HOH platformlarını düzenli olarak güncellenmelidir.

Şehirler bu önerileri benimseyerek sürdürülebilir kentsel mobilitayı teşvik eden, trafik sıklığını azaltan ve kent

sakinlerinin genel yaşam kalitesini arttıran HOH sistemlerini etkin bir şekilde uygulayabilir. İşbirlikçi ve uyarlanabilir bir yaklaşım, HOH'un kentsel nüfusun değişen ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde gelişmesini ve daha sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunmasını sağlayacaktır.

## Kaynakça

Alyavina, E., Nikitas, A., & Njoya, E. T. (2022). Mobility as a service (MaaS): A thematic map of challenges and opportunities. *Research in Transportation Business & Management*, 43, 100783.

Athanasopoulou, A., Deijkers, T., Ozkan, B., & Turetken, O. (2022). MaaS platform features: An exploration of their relationship and importance from supply and demand perspective. *Journal of Urban Mobility*, 2, 100028.

AUS (2020). Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı (15.06.2024 tarihinde [https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/akilli-ulasim-sistemler-  
aus/aus-sep-kitap-web-1k.pdf](https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/akilli-ulasim-sistemler-<br/>aus/aus-sep-kitap-web-1k.pdf) adresinden ulaşılmıştır).

Caballini, C., Corazza, M. V., Costa, V., Delponte, I., & Olivari, E. (2022). Assessing the feasibility of MaaS: a contribution from three italian case studies. *Sustainability*, 14(24), 16743.

Fink C., (2019). Mobility as a Service Technology Will Not Solve the Country's Transportation Problems. (<https://www.planetizen.com/news/2019/11/107289-mobility-service-technology-will-not-solve-countrys-transportation-problems> erişim: 15.06.2024).

Ceccato, R., Baldassa, A., Orsini, F., Rossi, R., & Gastaldi, M. (2023). MaaS Adoption and Sustainability for Systematic Trips: Estimation of Environmental Impacts in a Medium-Sized City. *Sustainability*, 15(11), 8690.

Chen, C. F., Fu, C., & Chen, Y. C. (2023). Exploring tourist preference for Mobility-as-a-Service (MaaS)—A latent class choice



approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 174, 103750.

Dilek, E., Talih, Ö., & Ceylan, H. (2023). Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Mimarisinin Yaygınlaştırılması: Türkiye Önerisi. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 6(2), 353-392.

Ding, Z., Liu, J., Yuan, Z., Liu, J., Zhang, P., Chen, Y., & Han, X. (2022). An exploratory study of MaaS in Shandong. *Advances in Economics and Management Research*, 1(3), 233-233.

Ding, X., Qi, Q., Jian, S., & Yang, H. (2023). Mechanism design for Mobility-as-a-Service platform considering travelers' strategic behavior and multidimensional requirements. *Transportation Research Part B: Methodological*, 173, 1-30.

Gandia, R. M., Oliveira, J., Antonialli, F., Sugano, J. Y., Nicolaï, I., & Oliveira, I. C. (2019). Consumer Predisposition and Behavior Towards Mobility-As-A-Service Among University Students in a Developing Country. *WIT Transactions on The Built Environment*, 186, 163-174.

Gandia, R. M., Antonialli, F., Oliveira, J. R., Sugano, J. Y., Nicolaï, I., & Oliveira, I. R. C. (2021). Willingness to use MaaS in a developing country. *International journal of transport development and integration*, 5(1), 57-68.

Gulbe, M., & Barisa, A. (2023). Mobility as Service: How Changing Travel use Habits will Affect the Transition of Cities to Climate Neutrality. In *CONNECT. International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies* (p. 126).

Hasselwander, M., Nieland, S., Dematera-Contreras, K., & Goletz, M. (2023). MaaS for the masses: Potential transit accessibility gains and required policies under mobility-as-a-service. *Multimodal Transportation*, 2(3), 100086.

Heikkilä, S. (2014). *Mobility as a service-a proposal for action for the public administration, case helsinki* (Master's thesis).

Hietanen, S. (2014). Mobility as a Service. *the new transport model*, 12(2), 2-4.

Ho, C. Q. (2022). Can MaaS change users' travel behaviour to deliver commercial and societal outcomes?. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 165, 76-97.

Kamargianni, M., Weibo, L., Schäfer, A., Vavlas, N., Matyas, V., Grainger, C., Butler, P., Loizou, M., Matyas, M., Li, W., 2015. Feasibility study for MaaS as a concept in London. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3808.1124>.

Kriegler, E., Bertram, C., Kuramochi, T., Jakob, M., Pehl, M., Stevanović, M., ... & Edenhofer, O. (2018). Short term policies to keep the door open for Paris climate goals. *Environmental Research Letters*, 13(7), 074022.

Lopes, A. S., Orozco-Fontalvo, M., Moura, F., & Vale, D. (2023). Mobility as a service and socio-territorial inequalities. *Journal of Transport and Land Use*, 16(1), 215-240.

Lopez-Carreiro, I., Monzon, A., & Lopez, E. (2023). MaaS Implications in the Smart City: A Multi-Stakeholder Approach. *Sustainability*, 15(14), 10832.

Litman, T. (2024). Rural multimodal planning. Why and how to improve travel options in small towns and rural communities.

Litman, T. (2021). *New mobilities: Smart planning for emerging transportation technologies*. Island Press.

Litman, T. (2022). THE NEW MOBILITIES. Victoria Transport Policy Institute.

Matyas, M., & Kamargianni, M. (2017, June). A stated preference experiments for mobility-as-a-service plans. In *2017 5th IEEE International conference on models and technologies for intelligent transportation systems (MT-ITS)* (pp. 738-743). IEEE.

Matyas, M., & Kamargianni, M. (2019). The potential of mobility as a service bundles as a mobility management tool. *Transportation*, *46*(5), 1951-1968.

Mitropoulos, L., Kortsari, A., Mizaras, V., & Ayfantopoulou, G. (2023). Mobility as a Service (MaaS) Planning and Implementation: Challenges and Lessons Learned. *Future Transportation*, *3*(2), 498-518.

Oğuztimur, S., Şahin, B., Dağ, A., & Tünay, S. (2021). Maas–Hizmet Olarak Hareketlilik Dünya Kentleri ve İstanbul Örneklerinin Karşılaştırmalı İncelemesi. *KAPU Trakya Mimarlık ve Tasarım Dergisi*, *1*(1), 45-60.

Qiao, S., Huang, G., & Yeh, A. G. O. (2022). Mobility as a Service and urban infrastructure: From concept to practice. *Transactions in Urban Data, Science, and Technology*, *1*(1-2), 16-36.

Sakulyeva, T. N. (2018). MaaS system and its problems. *E-Management*, 1 (2), 30-37.

Simmons, B., Ghanbari, H., Litoiu, M., & Iszlai, G. (2011, October). Managing a saas application in the cloud using paas policy sets and a strategy-tree. In *2011 7th International Conference on Network and Service Management* (pp. 1-5). IEEE.

Strömberg, H., Karlsson, I. M., & Sochor, J. (2018). Inviting travelers to the smorgasbord of sustainable urban transport: evidence from a MaaS field trial. *Transportation*, 45(6), 1655-1670.

Talih, Ö., & Tektaş, N. (2022). Bir Hizmet Olarak Hareketlilik-MaaS Perspektifi ve Türkiye Analizi. *Journal of Transportation and Logistics*, 7(2), 431-463.

Teixeira, J. F., Silva, C., & Moura e Sá, F. (2023). Potential of bike sharing during disruptive public health crises: A review of COVID-19 impacts. *Transportation Research Record*, 03611981231160537.

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (UAB 2023). İkinci Yüzyıla Yön Veren Akıllı Teknolojiler, 40. Ulusal Bilişim Kurultayı'nda Konuşuldu. (19.06.2024 tarihinde <https://hgm.uab.gov.tr/haberler/ikinci-yuzyila-yon-veren-akilli-teknolojiler-40-ulusal-bilisim-kurultayi-nda-konusuldu> adresinden ulaşılmıştır).

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (UAB 2024). Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Projelerimiz. (19.06.2024 tarihinde <https://hgm.uab.gov.tr/projelerimiz> adresinden ulaşılmıştır).

Tripy (2024). Neden her yolculuk önemlidir? (15.06.2024 tarihinde <https://tripy.mobi/surdurebilirlik/> adresinden ulaşılmıştır).

Van den Bergh, J. C. (2013). Policies to enhance economic feasibility of a sustainable energy transition. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(7), 2436-2437.

Woodcock, A., Spundflasch, S., Rudolph, F., Glensor, K., Fadden-Hopper, K., & Miller-Crolla, K. (2023). Local Authorities' Perspectives on MaaS Implementation. In *Capacity Building in Local Authorities for Sustainable Transport Planning* (pp. 181-192). Singapore: Springer Nature Singapore.

