



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**BETONARME KONSOL İSTİNAT**  
**DUVARLARI ile GEOGRİD DONATILI**  
**İSTİNAT DUVARLARININ TEKNİK ve**  
**EKONOMİK YÖNDEN ARAŞTIRILMASI**

**Erkan YILDIRIM**

**YÜKSEK LİSANS**  
**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**EYLÜL-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Erkan YILDIRIM tarafından hazırlanan “Betonarme Konsol İstinat Duvarları ile Geogrid Donatılı İstinat Duvarlarının Teknik ve Ekonomik Yönden Araştırılması” adlı tez çalışması 04/09/2019.tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/~~oy çokluğu~~ ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Doç. Dr. Murat OLGUN

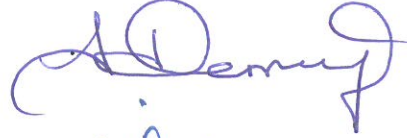
#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Atila DEMİRÖZ

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi İsa KUL

### İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK  
Lisansüstü Eğitim Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Erkan YILDIRIM

Tarih: 04-09-2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# BETONARME KONSOL İSTİNAT DUVARLARI İLE GEOGRİD DONATILI İSTİNAT DUVARLARININ TEKNİK VE EKONOMİK YÖNDEN ARAŞTIRILMASI

**Erkan YILDIRIM**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Atıla DEMİRÖZ**

**2019, 174 Sayfa**

**Jüri**

**Doç. Dr. Murat OLGUN  
Dr. Öğr. Üyesi Atıla DEMİRÖZ  
Dr. Öğr. Üyesi İsa KUL**

Geoteknik mühendisliğinde taş duvarlar yerlerini betonarme istinat duvarlara bırakmış olup günümüzde de betonarme istinat yapıları yerini donatılı istinat yapılarına bırakmıştır. Uygulamalarda betonarme duvarların görünümünün güzel olmaması sebebiyle zaman zaman taş duvarlar estetik amaçlı olarak kullanılmaktadır. Donatılı istinat duvarları betonarme istinat duvarlarına göre daha ekonomik ve inşasının hızlı olmasının yanı sıra şehir içi alt ve üst yapı geçişlerindeki estetik görünümü, taşıma kapasitesi düşük ve oturma problemleri olan zeminlerde kolayca uygulanabilmesi bu sistemin son yıllarda kullanılmasına neden olmuştur. Geogrid donatılı istinat duvarları bu konuda büyük bir üstünlük taşımakta ve sağladıkları mühendislik avantajlarının yanı sıra maliyetlerinin düşük olması nedeniyle betonarme istinat duvarlarından daha çok tercih edilmektedir.

Bu çalışmada betonarme istinat duvarı ve çeşitlerinden bahsedilmiş, daha sonra geosentetik malzemelere değinilmiştir. Son olarak donatılı istinat duvarları hakkında bilgi verilmiş ve hesap teşkilleri incelenmiştir. Çalışmanın asıl amacı 4, 6, 8 ve 10 m yüksekliğinde, 24°-26°-28°-30° içsel sürtünme açılarında ve 10-15-20-25 kN/m<sup>2</sup> sürşarj yükleri altında betonarme konsol istinat duvarı ve donatılı istinat duvarı olmak üzere ayrı ayrı 64 farklı çözümleri yapılmış ve maliyetleri hesaplanmıştır. Bu çözümler ile tam faktöriyel tasarım metodu kullanılarak varyans (ANOVA) analizleri yapılmış ve yükseklik, içsel sürtünme açısı, sürşarj yükü değişkenlerinin maliyet üzerine etkileri araştırılmıştır. Böylelikle betonarme konsol ve geogrid donatılı istinat duvarlarının farklı yükseklik, içsel sürtünme açısı ve sürşarj yükleri altındaki maliyet değişimleri incelenmiştir.

Betonarme konsol ve geogrid donatılı istinat duvarlarının analiz hesapları zordur. Yapılan analizlerin hızlı, güvenilir ve ekonomik olması için farklı boyutlarda tekrarlanan çözümler yapılması

gerekmektedir. Daha az tekrarlı çözüm, mühendislik tecrübesi gerektirse de bu durum çözümlerin hazır paket bilgisayar programları ile yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Piyasada birçok hazır paket program bulunmakla birlikte bu tez çalışmasında betonarme konsol istinat duvarlarının çözümleri için İdeCAD Statik v 10.09 ve geogrid donatılı istinat duvarlarının çözümleri için GEO5 v17-MSE Wall programları kullanılmıştır. Donatılı ve betonarme istinat duvarlarının maliyetleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Birim Fiyat Analizleri ve Karayolları Genel Müdürlüğü Şartnamesindeki poz no'lar esas alınarak yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme İstinat Duvarı, Donatılı Zemin, Geosentetikler, Maliyet Analizi, Tam Faktöriyel Tasarım Analizi



## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **A TECHNICAL AND ECONOMICAL INVESTIGATION OF REINFORCED CONCRETE CANTILEVER RETAINING WALLS AND GEOGRID REINFORCED RETAINING WALLS**

**Erkan YILDIRIM**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Civil Engineering**

**Advisor: Asst. Prof. Dr. Atila DEMİRÖZ**

**2019, 174 Pages**

**Jury**

**Assoc. Prof. Dr. Murat OLGUN**

**Asst. Prof. Dr. Atila DEMİRÖZ**

**Asst. Prof. Dr. İsa KUL**

In geotechnical engineering, stone walls were replaced by reinforced concrete retaining walls, and today reinforced concrete retaining structures were replaced by reinforced retaining structures. Due to the lack of good appearance of reinforced concrete walls in applications, sometimes stone walls are used for aesthetic purposes. Reinforced retaining walls are more economical and faster to construct than reinforced concrete retaining walls, as well as their aesthetic appearance in urban sub-and superstructure transitions, and easy use on soils with low carrying capacity and settlement problems caused this system to be used in recent years. Geogrid-reinforced retaining walls have a great advantage in this regard and are preferred over reinforced concrete retaining walls due to their engineering advantages as well as lower costs.

In this study, concrete retaining wall and its types were mentioned and then geosynthetic materials were mentioned. Finally, information was given about the retaining walls and the calculation stages were examined. The main purpose of the study is to use reinforced concrete cantilever retaining wall and reinforced retaining wall at 4, 6, 8 and 10 m height, internal friction angles of 24°-26°-28°-30° and surcharge loads of 10-15-20-25 kN/m<sup>2</sup> 64 different solutions were made and costs were calculated. With these solutions, analysis of variance (ANOVA) was performed by using full factorial design method and effects of height, internal friction angle, surcharge load variables on cost were investigated. Thus, the cost changes with the different height, internal friction angle and surcharge loads of the reinforced concrete cantilever and geogrid reinforced retaining walls were examined.

The analysis of calculations of the reinforced concrete cantilever retaining walls and geogrid reinforced retaining walls is difficult. Repetitive solutions of different dimensions are required for the analyzes to be fast, reliable and economical. Although less repetitive solutions require engineering experience, this, necessitates solutions to be made with software applications. Although there are many software applications in the market, in this thesis, IdeCAD Static v 10.09 for the solutions Of reinforced concrete cantilever retaining walls and GEO5 v17-MSE Wall software applications were used for the solutions of geogrid reinforced retaining walls. Cost calculations of reinforced concrete cantilever retaining walls and geogrid reinforced retaining walls were done based on Ministry of Environment and Urbanization Unit Price Analysis and General Directorate of Highways list of conditions pose number.

**KEY WORDS:** Reinforced Concrete Retaining Wall, Reinforced Soil, Geosynthetics, Full Factorial Design Analysis, Cost Analysis



## ÖNSÖZ

Çalışmalarında benden yardımlarını esirgemeyen, hayatım boyunca mühendislik çalışmalarını örnek alacağım saygı değer hocam Dr. Öğr. Üyesi Atila DEMİRÖZ'e sonsuz teşekkür ederim.

Bizleri yönlendiren, bilgilerini paylaşan, yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Özcan TAN'a ve Doç. Dr. Murat OLGUN hocalarıma teşekkür ederim. Tez çalışmamda yardım ve katkıda bulunan Arş. Gör. Ekrem Burak TOKA hocama desteklerinden dolayı şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarında, maddi manevi destekleriyle benim her zaman yanımda olan sevgili eşim Havva'ya, Babama, Anneme ve dünyalar tatlısı biricik kızım Beril'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Erkan YILDIRIM  
KONYA-2019



## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ .....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	10
3.1. İSTİNAT DUVARLARI .....	10
3.1.1. İstinat Duvarlarının Türleri .....	12
3.1.1.1. Kütle olmayan istinat duvarları.....	12
3.1.1.2. Kütle olan istinat duvarları .....	12
3.1.2. İstinat Duvarlarına Etki Eden Yanal Basınçlar.....	19
3.1.2.1. İstinat duvarlarına etki eden yükler .....	20
3.1.3. İstinat Duvarlarına Etkiyen Kuvvetlerin Analizi .....	21
3.1.3.1. Depremsiz durumda istinat duvarlarına etkiyen statik basınçlar .....	21
3.1.4. İstinat Duvarlarının Stabilitesi .....	31
3.1.4.1. Devrilme güvenliği .....	31
3.1.4.2. Kayma güvenliği.....	32
3.1.4.3. Zemin gerilmesi kontrolü.....	33
3.1.4.4. Toptan göçme kontrolü.....	33
3.1.5. Depremliler Durumlarda İstinat Duvarları.....	33
3.1.5.1. Yarı statik yöntem (Psödo-statik yöntem) .....	34
3.1.5.2. Mononobe-Okobe yöntemi .....	35
3.1.5.3. Seed ve Whitman yöntemi (1970) .....	37
3.1.5.4. Steedman-Zeng yöntemi (1990) .....	38
3.1.6. Depremde Meydana Gelen Deplasmanları Esas Alan Yöntemler.....	39
3.1.6.1. Richards ve Elms .....	39
3.1.6.2. Whitman ve Liao (1984).....	41
3.1.7. Hareketi Engellenmiş İstinat Duvarları .....	41
3.1.7.1. Wood yöntemi.....	42
3.1.8. Eurocode 7 ve 8 Yöntemi .....	42
3.1.9. İki parçalı Kama Göçme Mekanizması Yöntemi .....	42
3.1.10. Steven L Kramer .....	44
3.2. GEOSENTETİKLER.....	47
3.2.1. Geosentetik Tanımı ve Sınıflandırması .....	47
3.2.1.1. Geotekstilller.....	48
3.2.1.2. Geogridler .....	51
3.2.1.3. Geomembranlar .....	54
3.2.1.4. Geokompozitler .....	57
3.2.1.5. Geofoam.....	58

3.2.1.6. Geohücre .....	58
3.2.1.7. Geotüp.....	59
3.2.1.8. Geosentetik kil örtü (Şilteler=Kaplama).....	59
3.2.2. Geosentetiklerin İşlevleri ve Kullanım Alanları.....	60
3.3. GEOSENTETİK DONATILI ZEMİNLER.....	64
3.3.1. Donatılı Zemin Tanımı .....	64
3.3.2. Donatılı Zemin Tarihçesi .....	65
3.3.3. Donatılı Zemin Yapılarının Uygulama Alanları.....	66
3.3.4. Donatılı Zemin Yapılarının Uygulamada Sağladığı Avantajlar .....	67
3.3.5. Geosentetik Donatılı İstinat Yapıları .....	68
3.3.5.1. Donatı malzemesi .....	70
3.3.5.2. Dolgu malzemesi .....	71
3.3.5.3. Yüzey elemanları .....	73
3.4. GEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT DUVARLARININ TASARIMI .....	76
3.4.1. Dış Stabilite.....	77
3.4.1.1. Temel zemininin taşıma gücü tahkiki .....	78
3.4.1.2. Kayma tahkiki .....	81
3.4.1.3. Devrilme (Dönme) tahkiki .....	81
3.4.1.4. Deprem durumunda tahkik .....	82
3.4.2. İç Stabilite .....	84
3.4.2.1. Donatılı zeminlerde kritik kayma yüzeyi.....	85
3.4.2.2. Donatı boyu tahkiki .....	86
3.4.2.3. Donatı çekme kuvveti tahkiki .....	88
3.4.2.4. Donatının kopma ve sıyrılma tahkiki.....	90
3.4.2.5. Yüzey elemanı göçmeleri .....	91
3.5. TAM FAKTÖRİYEL TASARIM METODU .....	95
3.6. BETONARME KONSOL VE GEOGRİD DONATILI İSTİNAT DUVARI ANALİZLERİ.....	98
3.6.1. Hesaplamalarda Kullanılan Bilgisayar Programları .....	98
3.6.2. Hesaplamalarda Kullanılan Veriler .....	101
3.6.3. Betonarme Konsol İstinat Duvarı Hesaplama Sonuçları .....	102
3.6.4. Geogrid Donatılı İstinat Duvarı Hesaplama Sonuçları .....	104
3.6.5. Betonarme Konsol ve Geogrid Donatılı İstinat Duvarlarının Hesaplanması .....	114
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>119</b>
4.1. Betonarme Konsol ve Geogrid Donatılı İstinat Duvarlarının MINITAB v17 Programında Modellenmesi .....	119
4.2. Betonarme Konsol İstinat Duvarlarının ANOVA (varyans) Analizi Sonuçları .....	122
4.3. Geogrid Donatılı İstinat Duvarlarının ANOVA Analizi Sonuçları .....	125
4.4. Betonarme Konsol İstinat Duvarları İçin Sonuçların Yorumlanması.....	126
4.5. Geogrid Donatılı İstinat Duvarları İçin Sonuçların Yorumlanması.....	139
4.6. Betonarme Konsol ve Geogrid Donatılı İstinat Duvarlarının Maliyet Karşılaştırılması .....	152
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>166</b>
5.1. Sonuçlar .....	166
5.2. Öneriler .....	169

<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>171</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>176</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$p_a$	: Aktif toprak itkisi
$\phi$	: Zeminin içsel sürtünme açısı
$\delta$	: Zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı
$\phi_w$	: Duvar elemanları arasındaki sürtünme açısı
$k_a$	: Aktif toprak basıncı katsayısı
$\sigma'_v$	: Düşey efektif gerilme
$c$	: Kohezyon
$\beta$	: Dolgu zemin ile duvar arasındaki açı
$p_p$	: Pasif toprak itkisi
$k_p$	: Pasif toprak basıncı katsayısı
$\delta$	: Zeminin birim hacim ağırlığı
$h$	: İstinat duvarı yüksekliği
$p_0$	: Sükûnetteki toprak itkisi
$k_0$	: Sükûnetteki toprak basıncı katsayısı
$\alpha_a$	: Kritik göçme yüzeyinin yatayla yaptığı açı
$\theta$	: Coulomb kamasının düşeyle yaptığı açı
$m_d$	: İstinat duvarını deviren momentler toplamı
$m_k$	: İstinat duvarını devirmeye karşı koyan momentler toplamı
$GS$	: Güvenlik sayısı
$f_h$	: Psödo-statik yöntemle göre hesaplanan yatay deprem kuvveti
$f_v$	: Psödo-statik yöntemle göre hesaplanan düşey deprem kuvveti
$a_h$	: Psödo-statik yatay ivme
$a_v$	: Psödo-statik düşey ivme
$\psi$	: Mononobe-okobe deprem kamasının düşeyle yaptığı açı
$k_h$	: Yatay sismik katsayısı
$k_v$	: Düşey sismik katsayısı
$k_{ae}$	: Mononobe-okobe deprem itki katsayısı
$\Delta p_{dyn}$	: Mononobe-okobe yöntemine göre deprem itkisi
$p_{ae}$	: Aktif toprak ve deprem itkisi toplam kuvveti
$m_h$	: Aktif itkinin etki noktasının duvar tabanından yüksekliği
$p_e$	: Seed ve Whitman yöntemine göre etki eden sismik yatay kuvvet
$d_{perm}$	: Richards ve Elms yöntemine göre seçilen tasarım deplasmanı
$\lambda$	: İki parçalı kama yöntemine göre kamalar arasındaki açı
$a_c$	: İki parçalı kama yöntemine göre pik ivme
$p_{ir}$	: Donatı bölgesi üzerine etkiyen atalet kuvveti
$\gamma^r$	: Donatı bölgesindeki zeminin birim hacim ağırlığı
$p_{ia}$	: Potansiyel kayma yüzeyine etkiyen psödo-statik atalet kuvveti

$w_a$	: Kayma düzleminin ağırlığı
$e$	: İstinat duvarı temeline etkileyen gerilmelerin eksantritesi
$b$	: İstinat duvarı temel tabanı genişliği
$\sigma_b$	: Temel tabanında oluşan üniform gerilme
$\sigma_{max}$	: Temel tabanında oluşan maksimum gerilme
$\sigma_{min}$	: Temel tabanında oluşan minimum gerilme
$r_v$	: İstinat duvarı temeline gelen toplam düşey yük
$l$	: Donatı boyu
$f_\sigma$	: Zeminin taşıma gücü
$q$	: Sürşarj yükü
$f_d$	: Devrilme emniyet faktörü
$f_k$	: Kayma emniyet faktörü
$t_{müs}$	: Donatı için müsaade edilen maksimum çekme kuvveti
$f$	: Emniyet faktörü
$s_v$	: Donatılar arasındaki düşey mesafe
$s_h$	: Donatılar arasındaki yatay mesafe
$t_{diz}$	: Donatı dizayn çekme mukavemeti
$r_c$	: Donatı kaplama oranı
$f_g$	: Donatının uzun dönemdeki çekme mukavemeti azaltma faktörü
$a$	: Bir donatıya düşen yüzey alan
$f_{kop}$	: Donatının kopma dayanımı
$f_{sıy}$	: Donatının sıyrılma dayanımı
$l_a$	: Çalışan aktif donatı boyu
$l_e$	: Donatının efektif boyu

## Kısaltmalar

AASHTO	: Amerika Eyalet Yolları ve Ulaşım Çalışanları Kurumu
ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü
ANOVA	: Varyans Analizi
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
BBO	: Biyo Coğrafyaya Dayalı Optimizasyon Algoritması
CBO	: Çarpışan Cisimler Optimizasyonu
CSS	: Sistem Arama Algoritması
DEO	: Yunus Balığı Yankı Optimizasyonu Algoritması
DPSO	: Demokratik Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması
ECBO	: Gelişen Çarpışan Cisimler Optimizasyonu
ES	: Evrimsel Strateji Algoritması
GA	: Genetik Algoritma
HIS	: Harmony Arama Algoritması
HS	: Harmoni Algoritması

IFA	: Ateş Böceği Algoritması
NLP	: Doğal Dil Anlama Yazılımı
NSGA II	: Baskın Olmayan Sıralama Genetik Algoritması II
SUMT	: Sıralı Sınırsız Küçültme Tekniği
TLBO	: Öğretme-Öğrenme-Temelli Optimizasyon
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
VBS	: Titreşimli Parçacıklar Sistemi Optimizasyonu



## 1. GİRİŞ

İstinat duvarları ani şev değişimi olan zeminlerin göçmesini engellemek için yapılan dayanma yapılarıdır. İstinat duvarlarının günümüzde birçok uygulama alanları vardır. Kullanım alanlarının çok olması istinat duvarlarının doğru seçimi ve tasarlanması daha da önemli hale getirmektedir. İstinat duvarlarının birçok çeşidi olmakla birlikte günümüzde en çok tercih edileni betonarme konsol istinat duvarları ve özellikle son yıllarda hızla artış gösteren geogrid/metal şerit kullanılarak oluşturulan donatılı ve toprakarme istinat duvarlarıdır. Yaygın olarak kullanılan bir diğer istinat duvarı türü ise taş duvarlardır. Taş duvarların belirli bir yükseklikten sonra ekonomik ve uygulanabilir çözümler getirememesi betonarme konsol ve betonarme nervürlü istinat duvarı kullanımını yaygın hale getirmiştir. Tekstil endüstrisinin gelişmesiyle tekstil endüstrisinde dokumalı/dokumasız malzemelerin inşaat sektöründe kullanılmaya başlamasıyla birlikte geosentetik donatılı istinat duvarları hızla yaygınlaşmaya başlamıştır.

1977'de Paris'te "**Dokumaların Geoteknikte Kullanımı Uluslararası Konferans**"da geosentetiklerin geoteknik mühendisliği alanlarında kullanılması gerekliliği vurgulanmıştır. 1977'den sonra geosentetik malzemelerin kullanımı hızlı, ekonomik ve estetik çözümler getirdiği için günümüzde hızla artış göstermiş ve tercih edilir olmuştur. Geosentetik malzemeler özellikle yol inşaatlarında, zemin güçlendirmesi, su yapılarında, donatılı zemin istinat duvarı uygulamalarında (geotekstil ve geogrid), katı atık depolama sahalarında vb gibi alanlarda uygulanmaktadır. Donatılı zemin uygulamasının hızlı olması, ekonomik ve estetik çözümler sunmasından dolayı inşaat sektöründe kullanılmıştır (Vidal 1968).

Geosentetikler kullanım amaçlarına göre ayırma, güçlendirme, filtre, drenaj ve yalıtım olarak sınıflandırılabilir. Kullanımdaki bu farklılıklardan dolayı, geosentetiklerin doğru seçilmesi çok önemlidir. Bu seçimde kullanılacak malzemenin kullanım amacı, açıklık ölçüleri, ağ açıklık alanı, çekme dayanımı, malzemenin dayanıklılığı ve diğer faktörler malzeme seçiminde kullanım amacına göre dikkat edilmesi gerekli hususlardır. Dolgu içinde çekme dayanımını arttırdığı için düşey deformasyonu azaltmış ve taşıma gücü kriterini iyileştirmiştir.

Bu çalışmada geosentetik donatılı istinat yapılarının tasarımı incelenmiş, geosentetik kullanımının sağladığı avantajlar, sonuçları ve nedenleri açıklanmaya çalışılmıştır. Bu sebeple öncelikle malzeme özelliklerinden bahsedilmiş, donatılı zemin yapısını oluşturan elemanlara ve çalışma prensibine değinilmiş, daha sonra bu yapılara etkiyen statik ve dinamik yüklerin hesap yöntemleri araştırılmış, son olarak da bu yükler altında bilgisayar destekli analizler yapılmıştır.





## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

**Durukan ve Tezcan (1990)** betonarme konsol istinat duvarlarının sert zemin üzerinde ve kazıklı temel üzerinde analizlerini yaparak maliyet hesaplarını yapmışlardır. Aynı çalışmada donatılı istinat duvarlarının metal şerit, polymer şerit ve geogrid kullanarak analizleri yapılmış ve maliyetleri hesaplanmıştır. Her duvar tipi için  $h=4-20$  m yükseklik aralığında maliyet analizleri yapılmıştır. Sert zemin üzerine yapılan istinat duvarının maliyetleri geçerli birim fiyatlar üzerinden, kazıklı temel üzerine yapılan istinat duvarının maliyeti İstanbul metro projesinin 41. Ferhatpaşa viyadüğü istinat duvarı piyasa fatura fiyatları kullanılarak hesaplanmıştır. Polymer şerit kullanılarak yapılan istinat duvarının maliyeti Kınalı-Sakarya Otoyolu 1 m istinat duvarı için 1936 \$ olarak firma tekliflerinden alınmıştır. İstinat duvarının yüksekliği 6 m'yi geçtikten sonra konsol istinat duvarlarının daha maliyetli olduğu belirtilmiştir.

**Şahin (1994)** yaptığı çalışmada kütle istinat duvarlarının deprem tasarımında güvenlik sayısına etki eden faktörlerden içsel sürtünme açısı ve sismik katsayısının etkisi araştırılmıştır. Deprem hesaplamalarında Mononobe-Okabe denklemleri kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde stabilite hesaplamalarında içsel sürtünme açısı ve deprem sismik katsayısının önemli olduğu, deprem ivmesinin en az 0,2g seçilmesi gerektiği, maliyeti düşürmek için kütle istinat duvarı yerine betonarme istinat duvarlarının tercih edilmesi gerektiği, seçilecek güvenlik sayılarının betonarme duvarlarda 1,25-1,30 aralığında ve kütle istinat duvarlarında 1,25 alınmasının yeterli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Sarıbaş ve Erbatur (1996)** yaptıkları çalışmada betonarme konsol istinat duvarlarının 4 tanesi geometri değişkeni, 3 tanesi donatı değişkeni olmak üzere 7 farklı tasarım değişkeni tanımlanarak, amaç fonksiyonu olarak minimum ağırlık ve minimum maliyet olmak üzere çözümler yapılmıştır. Tasarımlar özel olarak geliştirilmiş bilgisayar programı olan RETOPT programında yapılmıştır. Duvarının yüksekliği 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5 ve 6 m olarak alınmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda tasarım değişkenleri hesaplama sonuçları tablolar halinde sunulmuştur.

**Khan ve Sikder (2004)** yaptıkları çalışmada betonarme konsol istinat duvarı, metal şerit kullanılarak oluşturulan toprakarme duvar, geotekstil donatılı istinat duvarı ve bitüm veya epoksi kaplı inşaat demiri ile ankrajı yapılmış istinat duvarlarının 2,1-3-4,2-

5,1 ve 6 m yükseklikler için ayrı ayrı maliyet analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda betonarme konsol istinat duvarlarının donatılı istinat duvarlarına göre %43-64 aralığında daha maliyetli olduğu sonucuna varılmıştır.

**Çakır ve Aytakin (2005)** 7m yüksekliğinde, betonarme konsol dayanma duvarı ile geogrid donatılı duvar tasarımı yapılarak maliyet unsurları üzerinde etkili olan parametreler dikkate alınıp maliyet karşılaştırması yapılmıştır. Analizler Aynı yüklemelere maruz, aynı dolgu ve temel zemini özelliklerine sahip olan duvar için yapılmıştır.

**Demirezen (2005)** çalışmasında sismik yüklemeler altında betonarme konsol ve geosentetik donatılı istinat duvarlarının 3-5 ve 7,6 m yükseklikler için ayrı çözülmüş ve maliyetleri karşılaştırılmıştır. Deprem hesaplamalarında Mononobe-Okabe yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde geosentetik donatılı istinat duvarlarının betonarme konsol istinat duvarlarına göre daha ekonomik olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Emir (2005)** Bu çalışma, donatılı zemin istinat duvarlarının statik ve dinamik yükleme açısından, tasarım ve analiz ilkelerinin belirlenmesi amacı ile yapılmıştır. Statik ve dinamik yükleme durumunda tasarım ilkelerinin belirlenmesinde A.B.D., Türkiye ve Fransa Karayollarının ilgili şartname ve yönetmeliklerine başvurulmuştur.

**Basudhar ve diğ., (2007)** yaptıkları çalışmada 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 m yükseklikler için Geogrid ve geotekstil donatılı istinat duvarları için maliyet analizleri yapmışlardır. Geotekstil malzemelerin (geogrid ve geotekstil) çekme dayanımı 30-60 kN/m aralığında seçilmiştir. Çalışmalar sönüm oranı %0 ve %5, sürşarj yükü  $q_s=0$  ve  $q_s=10$  kN/m için ayrı ayrı yapılmıştır. Çalışmada SUMT (sequential unconstrained minimization technique) algoritması kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde geosentetik donatılı istinat duvarlarının geleneksel istinat duvarlarına göre 3-6 m yükseklikler için %7-8, 6-10 m yükseklikler için %20-30 aralığında daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır.

**Kaveh, ve diğ., (2013)** betonarme istinat duvarlarının optimum tasarımı için maliyeti etkileyen beton, çelik, kazı ve diğer etkenlerin yanı sıra donatı tıkanıklığını engellemek için donatı sayısını da dikkate alarak bir algoritma oluşturmuşlardır. İstinat duvarı tasarımı için AASHTO 2002 ve ACI 318-08 şartnameleri dikkate alınmıştır. Deprem hesapları için Mononobe-Okabe yöntemi kullanılmıştır. İstinat duvarının en

kesitine, donatı hesapları ve malzeme farklılıklarına göre 35 farklı tasarım değişkeni kullanılmıştır. Ayrıca maliyet için donatı tıkanıklığını önlemek amacıyla donatı sayısı da dikkate alınmıştır. Hesaplamalar Meta Sezgisel algoritmalarından olan NSGA-II genetik algoritması kullanılmıştır. İstinat duvarının yüksekliği 8 m ve uzunluğu 100 m olacak şekilde hesaplar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde istinat duvarı için küçük çaplı donatılar seçilmesi beton ve donatının yekpare çalışmasını engellediği, bu sorunu aşmak için daha büyük çaplı donatılar seçerek donatı aralıklarının artırılması gerektiği bunun da maliyete önemli ölçüde eksi yönde katkı sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

**Khajehzadeh, ve diğ., (2014)** çalışmalarında hibrit adaptif yerçekimi arama algoritması ile betonarme istinat duvarlarında maliyeti ve CO<sub>2</sub> salınımını minimuma indirecek optimizasyon çalışması yapmışlardır. Maliyet için amaç fonksiyonu olarak  $C_c \times V_c + C_s \times W_s$  denklemi kullanılmıştır. Burada  $V_c$  beton hacmini,  $C_c$  beton birim maliyetini,  $W_s$  donatı alanını,  $C_s$  donatı birim maliyetini göstermektedir. CO<sub>2</sub> salınımı için amaç fonksiyonu olarak  $ec \times V_c + es \times W_s$  denklemi kullanılmıştır. Burada  $ec$  ve  $es$  sırasıyla beton ve donatının karbon emisyon oranlarını göstermektedir. Bu algoritma ile her iki fonksiyonda aynı anda dikkate alınmıştır ve diğer klasik algoritmalara göre daha verimli sonuçlar verdiği sonucu ortaya çıkmıştır.

**Kaveh ve Soleimani (2015)** yaptıkları çalışmada betonarme konsol istinat duvarlarının optimum maliyet tasarımını yapmak için çarpışan cisimler optimizasyonu ve demokratik parçacık sürü optimizasyonu algoritmalarını kullanmışlardır. Yapılan tasarımlar ACI 318-05 yönetmeliğine dayanmaktadır. Aktif basınç hesabı için Coulomb ve Rankine teorileri, deprem hesapları için Mononobe-Okabe teorileri kullanılmıştır. Yapılan sayısal bir örnekle Çarpışan Cisimler Optimizasyonu ve Demokratik Parçacık Sürü optimizasyonu algoritmaları, Harmony Arama Algoritması ve Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritması ile karşılaştırılmıştır. İstinat duvarı tasarımı için 7 adet geometri değişkeni, 4 adet donatı değişkeni ve 2 adet geri dolgu tipi tanımlanmıştır. Hesaplamalar her bir geri dolgu tipi için ve Rankine ve Coulomb teorilerine göre ayrı ayrı olmak üzere çarpışan cisimler optimizasyonu ve demokratik parçacık sürü optimizasyon algoritmaları için yapılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde dikey hızlanma katsayısının istinat duvarının tasarımı üzerine ters etki yaptığı, yatay hızlanma katsayısının tasarım üzerinde artı bir etki yaptığı sonucuna ulaşılmıştır.

**Aydoğdu (2016)** alışmasında meta-sezgisel optimizasyon yöntem ile betonarme konsol istinat duvarlarının minimum maliyeti ve CO<sub>2</sub> salınımıyla optimum tasarım parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Amaç fonksiyonu olarak minimum maliyet ve CO<sub>2</sub> salınımı tanımlanmıştır. Bunun için 13 farklı değişken tanımlanmıştır. Bunlardan 8 tanesi betonarme konsol istinat duvarının en kesitini oluşturan değişkenler olup, kalan 5 tanesi donatı detayı ile ilgili değişkenlerdir. Amerikan Beton Enstitüsü (ACI 318-14) şartnamesine göre hesaplamalar yapılmıştır. Çalışmada ek olarak farklı beton ve elik malzemeleri kullanılarak malzeme sınıflarının maliyet ve CO<sub>2</sub> salınımına etkisi araştırılmıştır. İstinat duvarı ykseklėđi 3,5 m ve 5,2 m alınarak biyo-coğrafya temelli algoritma ve sosyal örümcek algoritması kullanılarak farklı 2 algoritma için ayrı ayrı çözümler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalar ile kıyaslanmıştır. İstinat duvarı ykseklėđi 4 m için beton sınıfı C24-C27-C30 ve elik sınıfı S400 ve S500 alınarak 36 farklı CO<sub>2</sub> salınımı ve maliyet analizleri yapılmıştır. Yapılan alışmalar neticesinde düşük beton sınıfının daha az CO<sub>2</sub> salınımı ve maliyetlerin daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca yukarıda bahsedilen her iki algoritmanın da betonarme konsol istinat duvarı optimum maliyet tasarımında etkin sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır.

**Das ve diğ., (2016)** genetik algoritma (NSGA-II) ile betonarme konsol istinat duvarlarının optimum maliyet tasarımı çalışması yapmışlardır. Amaç fonksiyonu olarak beton ve donatının maliyetleri belirlenmiştir. Çalışma farklı içsel sürtünme açılarında ve 3-10 m arası yüksekliklerde yapılmıştır. NSGA-II algoritması ile yapılan hesaplamalar Microsoft Excel programı ile de yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tasarımda 8 farklı değişken kullanılmıştır. Bunlardan 5 tanesi geometri ile ilgili, kalan 3 tanesi donatı tasarımı ile ilgili değişkenlerdir. Yapılan alışmalar neticesinde NSGA-II ile yapılan hesaplamaların Microsoft Excel ile yapılan hesaplamalara göre %10,37 tasarruf sağladığı sonucuna varılmıştır.

**Sheikholeslami ve diğ., (2016)** yaptıkları çalışmada harmony arama algoritması (HS) ile geliştirilmiş Ateş Böceği Algoritmasını (IFA) kullanan karma bir algoritma olan (IFA-HS) kullanılarak betonarme istinat duvarlarının minimum maliyet optimizasyonunu yapmışlardır. Çalışmada ACI 318-05 hükümleri kullanılmıştır. 7 farklı geometri değişkeni ve 4 farklı donatı tasarım değişkeni olmak üzere toplamda 11 farklı değişken kullanılmıştır. Yapılan alışma neticesinde karma algoritmanın (IFA-HS) optimizasyon

problemlerinde kullanılabileceği, bu yöntemde dahil edilen üst sınır stratejisi ile (USB) optimizasyon problemlerinin daha az sayıda fonksiyon değerlendirmesinde bulunarak daha kaliteli sonuçlar verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

**Dağdeviren ve Kaymak (2017)** yaptıkları çalışmada yapay arı koloni algoritmasıyla betonarme istinat duvarlarının optimum maliyet tasarımını etkileyen parametreler araştırılmıştır. Sağlam zemin üzerine oturan istinat duvarlarının farklı yükseklik, içsel sürtünme açısı, sürşarj yükleri ve pasif dirençler dikkate alınarak 500 farklı çözüm yapılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde duvar yüksekliğindeki 1m artış maliyetin %31-46 arasında arttırdığı tespit edilmiştir. Sürşarj yüklerindeki 10 kPa artış, maliyeti %12,7 arttırırken içsel sürtünme açısında artış duvar maliyetini %13,4-%18,9 arası arttırdığını belirtmişlerdir. Pasif direncin maliyet üzerine etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır.

**Gandomi ve Kashani (2017)** yaptıkları çalışmada betonarme konsol istinat duvarlarının Genetik Algoritma (GA), Evrimsel Strateji Algoritması (ES) ve Biyo Coğrafyaya Dayalı Optimizasyon Algoritması (BBO) kullanılarak maliyet ve ağırlık optimizasyonu çalışması yapmışlardır. Yapılan hesaplamalar da her bir algoritma için bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tasarım için 12 farklı değişken kullanılmıştır. Bunlardan 8 tanesi geometri değişkeni, 4 tanesi donatı tasarım değişkenidir. Hesaplamalarda ACI 318-05 hükümleri esas alınmıştır ve istinat duvarı yüksekliği 3-4,5-6 m alınmıştır. Üç sayısal örnek için 9 deprem kombinasyonu oluşturulmuş ve her bir örnek 101 kez çözülmüştür. Yapılan analizler neticesinde BBO algoritmasının diğer algoritmalara göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

**Kayabekir ve diğ., (2017)** yaptıkları çalışmada statik ve deprem yükleri altındaki betonarme konsol istinat duvarlarının optimum tasarımı için meta sezgisel algoritmalarından olan ÖĞRETME-ÖĞRENME tabanlı optimizasyon (TLBO) algoritma kullanmışlardır. Amaç fonksiyonu olarak 1 m uzunluğunda bir istinat duvarının minimum maliyetidir. Tasarımda DBYBHY 2007 yönetmeliği kullanılmıştır. Tasarımda 8 değişken dikkate alınmıştır. Bunlardan 4 tanesi istinat duvarı geometrisi ile ilgili, kalan 4 tanesi donatı tasarımı ile değişkenlerdir. Tasarım değişkenleri Celep (2013) örneğine uygulanmıştır. İstinat duvarında malzeme sınıfının C25-S420 olduğu ve 2. Derece deprem bölgesinde olduğu varsayılmıştır. Bu algoritma kullanılarak yapılan maliyet analizlerinde Celep (2013)'e göre %9-13 arası ekonomik sonuçlar elde edilmiştir. Beton

malzemesinin az kullanılması CO<sub>2</sub> salınımını azaltacağından çevresel faktörlerin olumsuz etkilerinin azalacağı sonucuna varılmıştır.

**Kaveh ve Laien (2017)** yaptıkları çalışmada betonarme konsol istinat duvarlarının optimum maliyet analizi için çarpışan cisimler optimizasyonu (CBO), gelişmiş çarpışan cisimler optimizasyonu (ECBO), titreşimli parçacıklar sistemi optimizasyonu (VPS) algoritmalarını kullanmışlardır. Aktif itki için Coulomb ve Rankine teorisi, deprem hesaplamaları için Mononobe-Okabe teorisi kullanılmıştır. Ayrıca yukarıda bahsedilen algoritmaların dışında Harmony arama algoritması (HIS), yüklü sistem arama algoritması (CSS), demokratik parçacık sürü optimizasyonu algoritması (DPSO) ve yunus balığı yankı optimizasyonu algoritması (DEO) çözümler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çözüm için istinat duvarında 7 farklı geometriye bağlı değişken ve 4 farklı donatı alanı hesaplamasına yönelik değişken tanımlanmıştır. 2 farklı zemin türü için ve 11 farklı değişkene bağlı olarak çözümlenmeler, yukarıda bahsedilen algoritmalar için ayrı ayrı yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. CBO, ECBO ve VPS algoritmalarında daha iyi performans elde edildiği sonucuna varılmıştır.

**Kayhan ve Demir (2017)** çalışmalarında diferansiyel gelişim algoritması ile statik yüklerin yanında depremlili durumda betonarme konsol istinat duvarlarının optimum maliyet analizleri hesaplanmıştır. Tasarımda TS500 kriterleri ile birlikte devrilme, kayma ve zemin taşıma gücü kriterleri dikkate alınmıştır. Çalışma 5 farklı deprem bölgesi için ve 4 farklı zemin sınıfı için ayrı ayrı yapılmıştır. Tasarım değişkeni olarak istinat duvarı geometrisine bağlı 7 farklı değişken tanımlanmıştır. Ayrıca donatı hesaplamalarına bağlı olarak donatı alanı değişkenleri tanımlanmıştır ve zemin tek tabakalı ve 2 tabakalı olarak çözümleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde deprem bölgesinin değişmesi ve içsel sürtünme açısındaki değişimlerin istinat duvarının maliyeti üzerine kayda değer değişimler sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

**Kumar ve Suribabu (2017)** konsol istinat duvarlarının (betonarme) minimum ağırlık için diferansiyel evrim algoritması kullanılarak optimizasyon çalışması yapmışlardır. 7 farklı tasarım değişkeni Hint Standartlarına göre hesaplamalar yapılmıştır. Tasarımda 4 tanesi geometriye bağlı değişkenler, 3 tanesi donatı tasarımı ile ilgili değişkenlerdir. Hesaplamalarda 10 farklı kısıtlama kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde algoritma kullanılarak yapılan çözümlenme ile manuel olarak yapılan çözümlenme arasında ağırlık bakımından %15 fark olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Ukritchon ve Keawsawasvong (2017)** yaptıkları çalışmada eğimli bir yüzeyde bulunan betonarme konsol istinat duvarının optimum maliyet tasarımı çalışması yapmışlardır. Maliyet hesaplarına beton ve donatının yanı sıra kalıp malzeme ve işçiliğini de katmışlardır. Ayrıca kısıtlama olarak devrilme, kayma ve taşıma gücünün yanında toptan göçme tahkiklerini de eklemiştirler. Çalışmada 6 tanesi geometri değişkeni, 3 tanesi donatı tasarım değişkenine göre NLP SOLVE ve KNITRO adlı hazır paket programlarla hesaplamalar ayrı ayrı yapılmış ve karşılaştırılmıştır.

**Öztürk (2018)** yaptığı çalışmada amaç fonksiyonu olarak betonarme konsol istinat duvarlarının minimum maliyet ve minimum ağırlık için ayrı ayrı alınarak JAYA algoritması kullanılarak çözüm yapılmıştır. Bunun için 8 farklı değişken kullanmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde ağırlık optimizasyonu için başarı oranının maliyet optimizasyonuna göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte ağırlık optimizasyonunun başarı oranının maliyet optimizasyonuna göre daha yüksek olmasına rağmen ortalama amaç fonksiyonu sayısının daha yüksek olduğunu göstermiştir. Buradan ağırlık optimizasyonunun yakınsamasının daha yavaş olduğu ancak algoritmanın global optimuma ulaşabilmede daha başarılı olduğu sonucu çıkarılmıştır. Ağırlık ve maliyet optimizasyonları birlikte düşünülerek dikkate alındığında grafik üzerinde tutarlı pareto noktaları elde edilmiştir.

**Öztürk ve Türkeli (2019)** tabanında anahtar kesiti bulunan bir betonarme konsol istinat duvarının, JAYA algoritması kullanılarak, minimum maliyetle ya da CO<sub>2</sub> salınım tasarımlarını gerçekleştirmişlerdir. Duvar probleminde 12 tasarım değişkeni bulunmaktadır. Çalışmada optimum tasarımda; duvar arkasındaki zemin parametreleriyle sürşarj yükünün büyüklüğünün duvarın minimum maliyetine ve CO<sub>2</sub> salınım değerine olan etkiyi incelemişlerdir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. İSTİNAT DUVARLARI

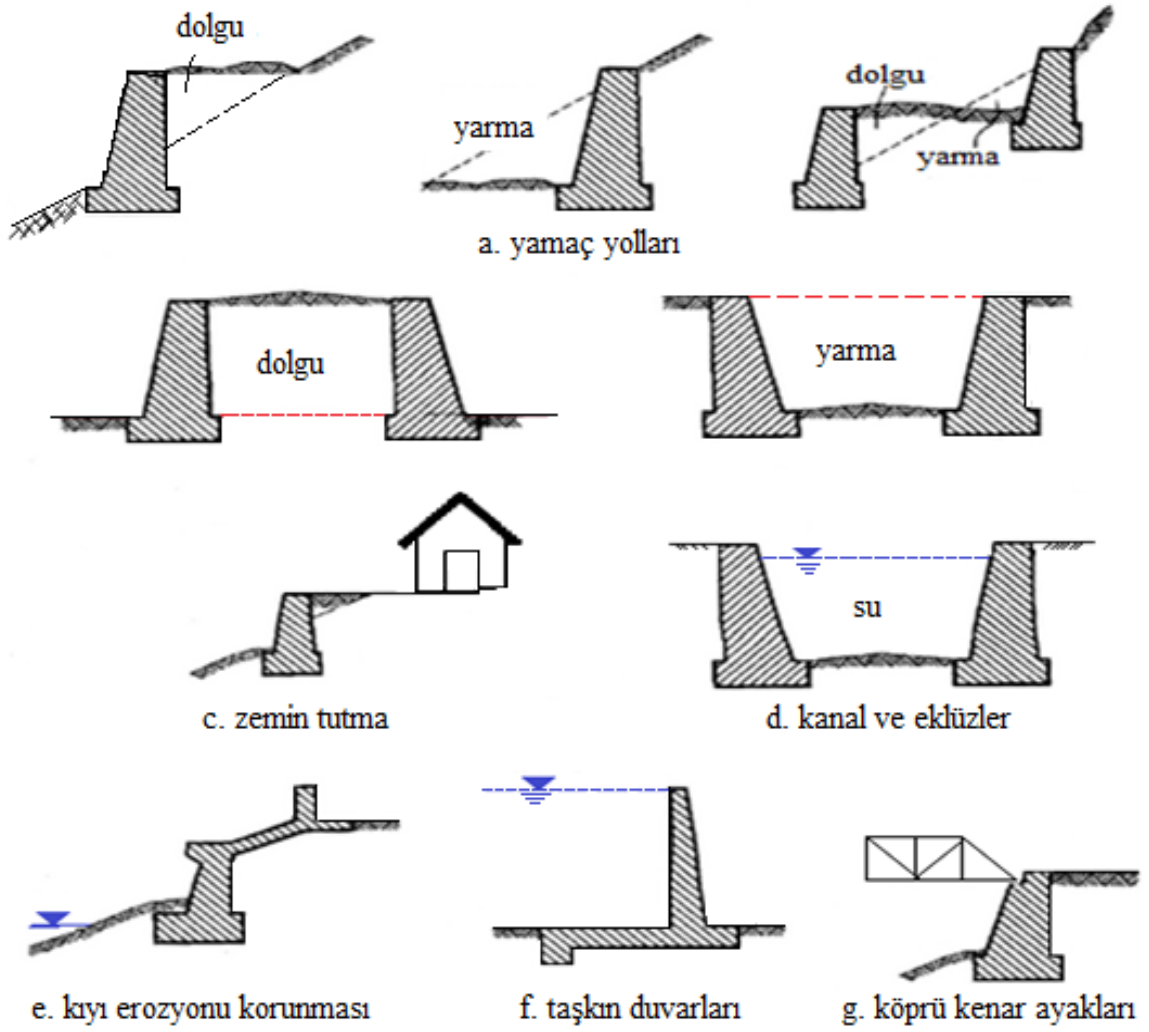
İstinat duvarları, farklı kotlardaki doğal veya dolgu zeminlerin, tabi şev açısından daha dik olarak durmasını sağlamak veya göçmesini engellemek amacıyla inşa edilen dayanma rijit yapılarıdır. (Şekil 3.1).

- Eğimli arazilerde araziden yararlanmak üzere zemini tabi şev açısından daha dik açıyla tutmak,
- Göçme ihtimali olan zeminlerin kaymasını engellemek,
- Bina bodrum duvarlarını oluşturmak,
- Kıyı erozyonu önlemek veya taşkınlardan korunması,
- Kanal ve eklüzler
- Köprülerde kenar ayak görevi yapmak,
- Derin kazılarda,
- Yol güzergahında şev düzenlemesi yapılırken kullanmak,
- Stabilize ve kömür deposu kullanmak,
- Dolgu ve yarma gerektiren yollarda,
- Yamaç yollarında,

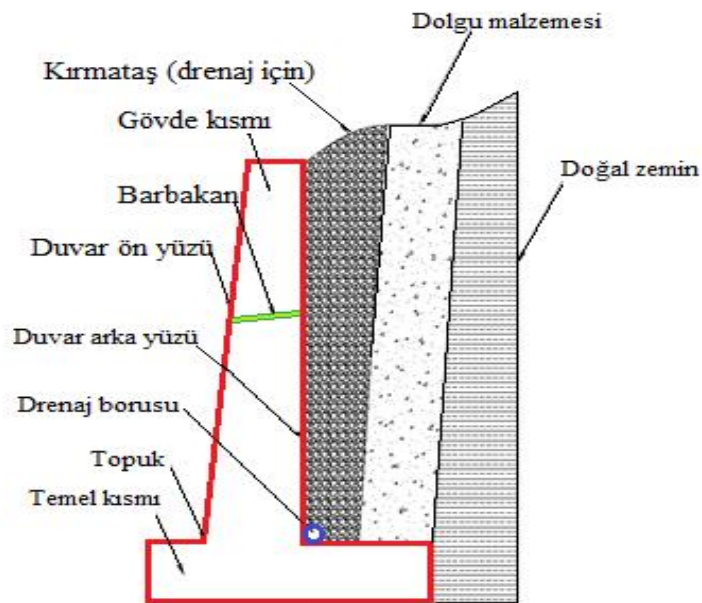
kullanılmaktadır.

İstinat duvarları, gövde ve temel kısmı olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Gövde kısmının arka bölümünde drenaj için kırmataş/stabilize dolgu ve gövde kısmı ile temel kısmının birleştiği bölgede suyun tahliye edilmesi için drenaj borusu ve barbakanalar teşkil edilir. Kırmataş/Stabilize dolgu ile doğal zemin arasında da dolgu malzemesi yer almaktadır (Şekil 3.2).





Şekil 3.1 İstinat duvarlarının çeşitli kullanımlarına örnekler (Aka, 2001).



Şekil 3.2 İstinat duvarı genel görünümü

### 3.1.1. İstinat Duvarlarının Türleri

İstinat duvarlarını kütle olmayan ve kütle olan şeklinde sınıflandırabiliriz.

#### 3.1.1.1. Kütle olmayan istinat duvarları

Bodrum duvarları, köprü giriş-çıkış ayakları ve ankrajlı duvarlar olarak dizayn edilen bu tip istinat duvarlarında yer değiştirmeye izin verilmeden oluşturmaktadır.

#### 3.1.1.2. Kütle olan istinat duvarları

Duvar gövdesi beton kütle veya beton-zemin şeklinde değişik şekillerde inşa edilen bu tip istinat duvarları kendi ağırlıkları ile stabiliteyi sağlarlar ve üstten serbest olup yer değiştirmelere müsaittir. Bu nedenle de aktif toprak basıncı kolayca oluşur. Rijit veya esnek olarak sınıflandırılabilirler.

##### 3.1.1.2.1. Esnek istinat duvarları

Zemin itkileri altında alt uçlarından dönmeyip, stabilite hesaplarında kendi ağırlıkları ihmal edilir. Bu gruba **kaya dolgu duvarlar, tel örgü duvarlar, kafes tipi ve donatılı zemin** duvarları şeklinde sıralayabiliriz.

**Kaya dolgu duvarlar:** Büyük kaya parçalarında inşa edilirler. Topuk yerinin uygunluğuna göre hareket eden şevlerin stabilitesini sağlamak için kullanılırlar.

**Gabion (tel örgü=sandık) duvarlar:** Son yıllarda kullanımı artan esnek ve geçirgenliğe sahip olan Gabion duvarlar, şev ve düşey yarmaların stabilitesini korumak için kullanılan ekonomik ve estetik çözümler getiren duvar tipleridir. Gabion duvarlar punta kaynaklı çelik tel örgüden imal edilen kutuların içine taş doldurularak imal edilirler. Genelde 1x1 m kesitli ve 2-4 m uzunluğundaki tel sepetlerin içine 250-100 mm boyutlu kaya parçaları ile doldurulur. Bu sepetler çalışma alanına kapalı olarak getirilir, yamaç yanına kolayca taşındıktan sonra açılır ve prizma biçimine getirildikten sonra içi taş doldurularak istenen konuma bırakılır. Bu boyutlarda sandıkta 0,45 dolayında bir boşluk oranı sağlanmaktadır. Bunun sonucu sandıkların sıkışabilirlik özelliklerini ve buradan kaynaklanacak sorunları göz önünde tutmak gerekir. Duvarın bazı bölümleri bu sıkışabilirlik sonucu aşağıya doğru hareket edeceğinden rijit duvarların tersine, dolgu ile duvar arasında aşağı değil, yukarı doğru bir kesme kuvveti oluşur (Önalp ve Arel, 2004).



Şekil 3.3 Gabion duvar (<http://www.gabionduvar.com>, [www.phiyapi.com](http://www.phiyapi.com))

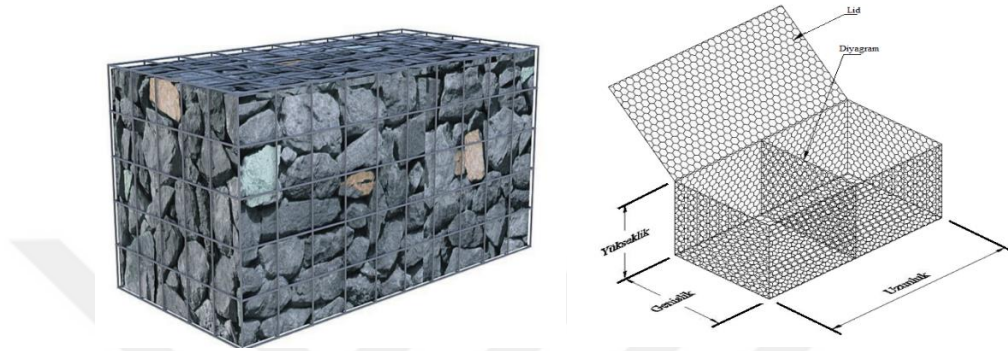
Gabion duvarlarda devrilme, tabanda kayma, sandıklar arası kayma, kaya dolgunun sıkışması ile ilgili inceleme yapmak gereklidir. En uygun değerleri elde etmek için duvar eğiminin  $\alpha=6^{\circ}-10^{\circ}$  arasında olması önerilmektedir. Gabion duvarlar; kıyı korumasında, dere yatağı ıslahında, heyelen bölgelerinde, kaya tutucu bariyer olması, erozyon riskinin yüksek olduğu alanlarda toprak kayması önlenmesi ve sel riskinin azaltılmasında, havza iyileştirmesinde, demiryolu ve karayolu uygulamalarında, istinat yapılarında, sınır tahkimatlarında, köprü ayak yaklaşımlarında etkin olarak kullanılmaktadır.

Gabion duvarın %30 boşluklu yapıda olması nedeniyle barbakana ihtiyaç duymamakta ve geri planda oluşan su basıncını tahliye edebilmektedir. Gabion duvarlar ağırlık yapısı ve donatılı sistemler olarak (toprakarme mantığı doğrultusunda) iki ana prensip göre çalışmaktadır.

Ağırlık yapısı şeklinde tasarlandığında gabion duvar piramit mantığı ile tasarlanmakta ve mevcut kesitin ağırlık merkezi belirlenmektedir. Bu doğrultuda gabion duvarın stabilitesine negatif yönde etki eden deprem, yükler ve geri dolgusu kuvvetleri belirlenmektedir. Duvarın stabilitesine pozitif yönde etki eden yükler duvarın kendi ağırlığı, duvarın ön tarafında yapılacak dolgular ile karşılaştırılmaktadır. Donatılı sistemlerde gabion duvarın çalışma mantığı farklıdır. Bu tarz sistemlerde ön tarafta 0,5-1 m yüksekliğinde kutu gabionlar kullanılmakta ve sistem geogrid, geotekstil veya çelik donatı malzemeleri ile güçlendirilmektedir. Sistemin stabilitesi kullanılacak donatı malzemeleri ile sağlanmakta ve kayma yüzeyleri belirlendikten sonra donatıların kayma yüzeyleri üzerinde oluşacak kesme kuvvetlerini taşıması mantığı dayanmaktadır.

**Uygulama Yöntemi:** Kutu gabionlar altıgen şeklinde çift bükümlü örülmüş tel gözeneklerden (ağlardan) imal edilir. Dolgu malzemesinin özelliğine bağlı olarak 60, 80

ve 100 mm açıklık boyuna sahip tipleri vardır. İmalatta kullanılan tel kalınlığı 2,40-3,00 m arasında değişen ağır galvaniz kaplı yumuşak çelik telden yapılmaktadır. Bazı projelerde galvaniz kaplı çelik tel 0.50 mm kalınlığında PVC tabaka ile kaplanabilmektedir. Dayanıklı olmaları için gabionlar, köşelerinden kalın bir tel ile çerçevelenmiştir. Gabionlar çeşitli boyutlardaki kutular olarak diyaframlı veya diyaframsız olarak üretilmektedir.



Şekil 3.4 Tipik gabion kesiti

**Tasarım:** Ağırlık istinat duvarlarında olduğu gibi dış ve iç stabilite tahkiklerinin yapılması gerekmektedir. Etkili hususlardan birisi de gabionun yerleşim şeklidir. Tabana konulan ilk sıranın eğimi, üst sıralarda daralan kesitin ne şekilde oluşacağı hususudur.

Örneğin duvar dış görünümünün ön cephede düz ve toprak tarafında kademeli olması veya tam tersine toprak tarafında düz, ön cephede basamaklı olması istenebilir veya her iki taraftan da basamaklı bir geometri seçilebilir. Bu farklı geometrilerin sağlayacağı iç ve dış stabilite güvenlik sayılarının da farklı olacaktır. Dolayısı ile önce teknik olarak en ekonomik ve emniyetli geometri aranmalı, daha sonra görünüm ile ilgili tercihlere göre tasarım taşıma gücü dikkate alınarak düzenlemelidir.



Şekil 3.5 Gabion duvar uygulaması, <http://www.cinarinsaat.com.tr/project-122-gabion-wall.html>, <http://www.kiciman.com/uploads/icerikresim/6.jpg>

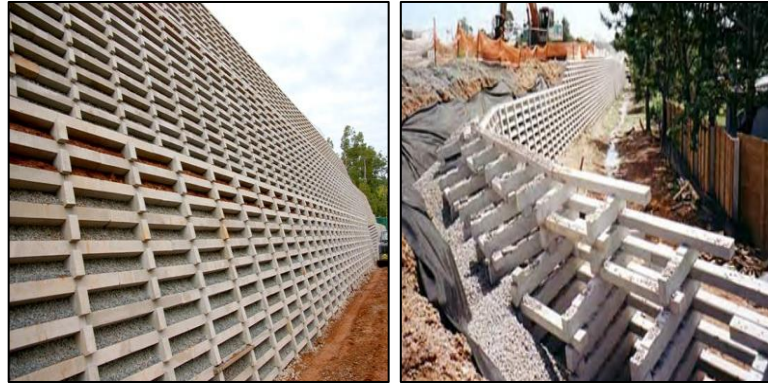


**Kafes Duvarlar:** Kafes duvarlar yanal ve düşey hareketlere karşı çok esnek olmaları nedeniyle yamaç ve şevlerin dengede tutulmasında önemli işlev yapma yeteneğine sahiptir. Başka ülkelerde beton, galvaniz sac çelik ve bazen de mimari amaçlarla ahşap elemanlardan oluşturulan bu duvarlar Türkiye'de yaygın uygulama alanı bulamamıştır.



Şekil 3.6 Kafes duvarın yapısı (<https://quadrangularisms.wordpress.com>)

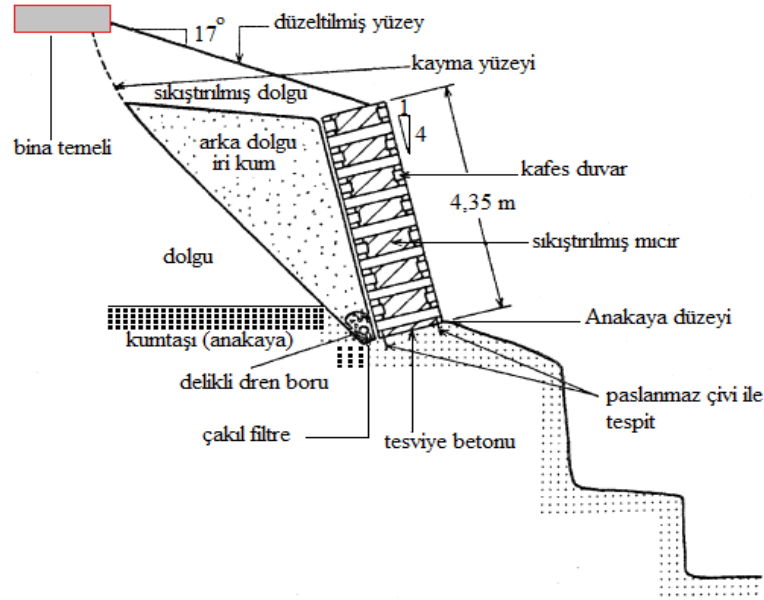
Ekonomik olması ve hızla imal edilebilmeleri nedeniyle önemli potansiyele sahiptirler. Arazide bir uzmanlık gerekmeden imal edilebilen bu tür duvarlar hücre şeklinde içine mıcır ve ocak molozu doldurulmasıyla işlev yapar. Bu duvarlar herhangi bir hasar görmeden 4 m yatay ve 70 cm düşey hareketler yapabilir.



Şekil 3.7 Kafes duvarı uygulaması (<https://quadrangularisms.wordpress.com>,  
<http://www.retainingsolutions.com.au/downloads/concretewalls.pdf>)

Kilit elemanı ve kirişlerin imalatı şantiyede kolay ve hızlı bir şekilde yapılmaktadır. İmalatta oluşturulacak tek veya çift sıra sandık hücreleri iri taşla doldurulurken arka dolgunun paralel yapılması duvarın devrilmesini önlenmektedir. Duvar yüksekliği 2 m'den az ise sağlam kaya üzerine inşa edilmesi veya duvarın altına betonarme temel yapılması gerekmektedir. Kaya dolgu geçirimli olduğundan arka dolguya yamaçtan gelen sular kolayca drene olabilmektedir. Kafes sandıktaki iri daneli

zeminin zaman içerisinde tıkanmaması önlemek için dolgu zemin ile arasına geotekstil döşenmesi önerilmektedir. Şekil 3.8'de kafes duvar kesiti gösterilmektedir. (Önalp ve Arel, 2004).

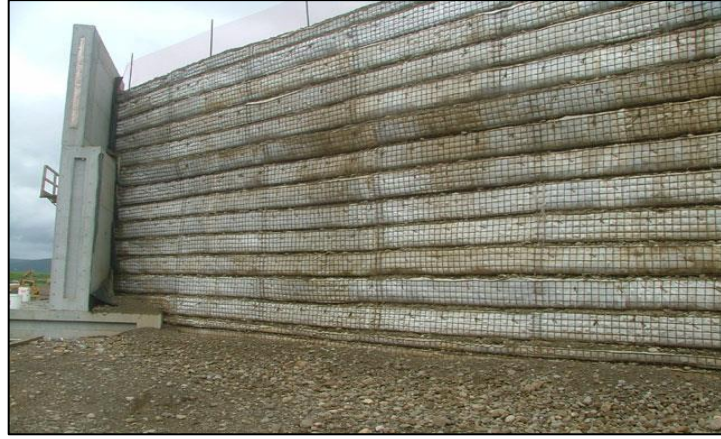


Şekil 3.8 Kafes duvarın kesiti (Önalp ve Arel, 2004).

**Toprakarme İstinat Duvarları:** Son yıllarda karayollarında uygulama alanı bulan donatılı zemin dolgu zemin içerisine yerleştirilen galvanizli çelik, alüminyum alaşımlı metal, sentetik fiber malzemeli şeritler veya geosentetik örtü malzemesi kullanarak güçlendirilmiş duvar sistemleridir. Donatılar gerekli zemin sürtünmesini sağlaması için yeterli uzunluk (yapı yüksekliğinin 0,8-1,2 katı) ve genişliğe sahip olması gerekir. Sürtünmenin elde edilebilmesi için kullanılan dolgu zeminin içsel sürtünme açısı min 25° ve %25'lik kısmı 200 no'lu elekten geçmesi gerekmektedir (Lee ve diğerleri, 1973). Mekanik şerit donatılı (Şekil 3.9) ve geotekstil örtü donatılı toprakarme şeklinde dizayn edilmektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.9 Mekanik şerit donatılı toprakarme istinat duvarı  
[http://www.linearcomposites.com/ap\\_reinforce\\_soil.htm](http://www.linearcomposites.com/ap_reinforce_soil.htm)

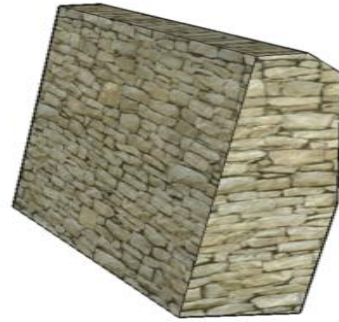


Şekil 3.10 Geotekstil örtülü donatılı toprak tipi istinat duvarı ([https://www.nysdot.gov/regional-offices/region6/project-repository/i86\\_project/constr\\_jun05.html](https://www.nysdot.gov/regional-offices/region6/project-repository/i86_project/constr_jun05.html))

### 3.1.1.2.2. Rijit istinat duvarları

Zemin itkisinden azda olsa bir miktar dönme yapabilen istinat duvarlarıdır. (ağırlık, betonarme, prefabrike ve donatılı toprakarme istinat duvarları)

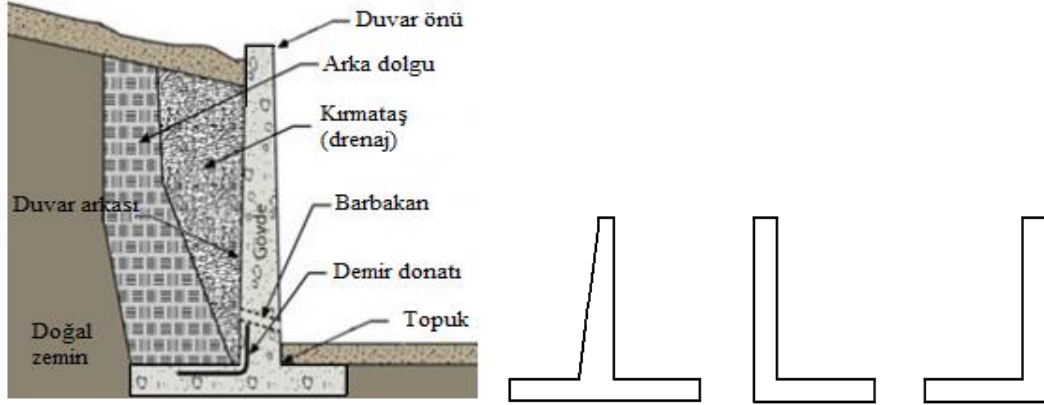
**Ağırlık (Masif) İstinat Duvarları:** Taş ve beton malzemeden imal edilen ağırlık istinat duvarları aktif ve pasif zemin basınçlarını kendi ağırlığıyla karşılamaktadırlar. (Epsiseli, 1996). Taş ve betonun çekme gerilmesi düşük olduğundan yükseklik arttıkça çekme gerilmesi olduğundan dolayı 4-5 m'den daha fazla yüksekliklerde tercih edilmez.



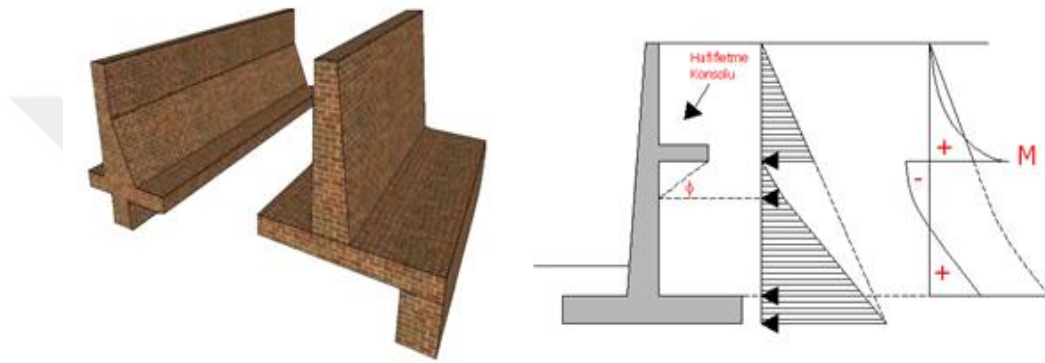
Şekil 3.11 Taş istinat duvarı ([www.movea.com.tr](http://www.movea.com.tr), [www.istinatduvari.com](http://www.istinatduvari.com))

**Betonarme İstinat Duvarları:** 7-8 m. yüksekliğe kadar ekonomik olan ve arazinin konumuna göre L veya ters L, T şeklinde betonarme olarak imal edilen istinat duvarlarıdır (Şekil 3.12). 7-8 m'den yüksek konsol istinat duvarı yapılması halinde hafifletme konsolu yapılarak gövdeye etkiyen yatay yük ve moment dağılımı azaltılabilir (Şekil 3.13).





Şekil 3.12 Betonarme konsol istinat duvarı (www.movea.com.tr)



Şekil 3.13 Hafifletme konsollu betonarme konsol istinat duvarı (www.istinatduvari.com)

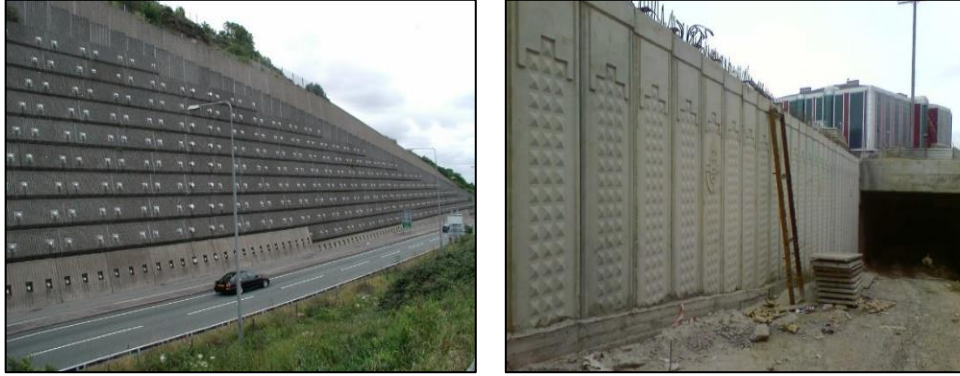
**Betonarme nervürlü istinat duvarları:** 7-8 m'den yüksek olması durumunda konsol istinat duvarı kesitleri çok büyük çıkmakta ve ekonomik olmadığı için nervürlü istinat duvarları tercih edilmektedir. Yükseklik arttıkça topuk noktasına gelen momentlerde artmaktadır. Bu momentleri karşılamak amacıyla belirli aralıklarla nervürler yapılır. (Şekil 3.14). Arazinin duruma göre nervürler istinat duvarının önüne veya arkasında teşkil edilmektedir.



Şekil 3.14 Betonarme nervürlü istinat duvarı (www.istinatduvari.com, <https://quadrangularisms.wordpress.com>).



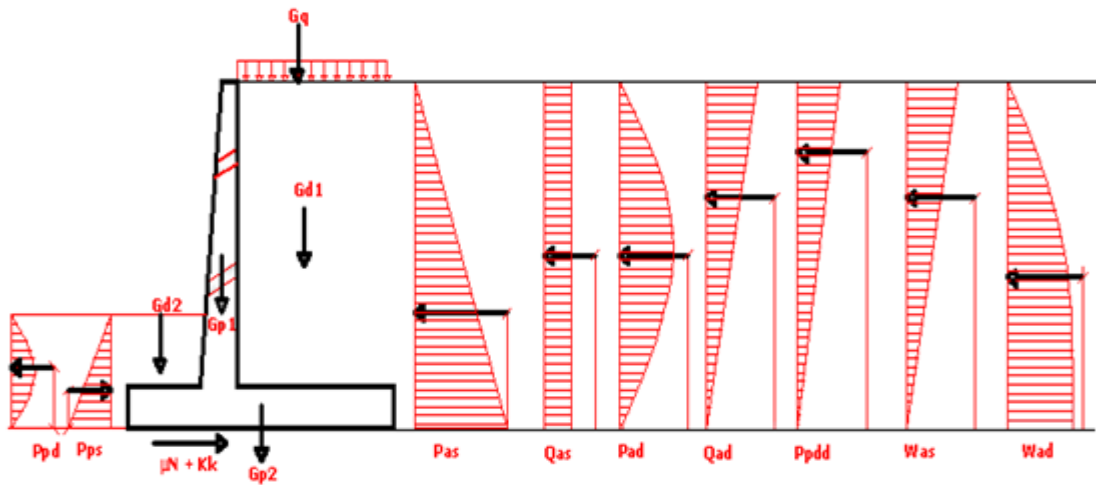
**Prefabrike İstinat Yapıları:** Önceden imal edilip yerinde montajı yapılan bu istinat duvarları kirişli kafes ve çift duvarlı kutu tip şeklindedir (Şekil 3.15). Hızlı inşası, ekonomik, duvar arkasında kazı gerekmemesi, drenajı sağlaması yönünden kullanışlıdır.



Şekil 3.15 Prefabrike elamanlardan imal edilmiş istinat duvarı (<http://archive.is/wuKjW>, [www.abas.com.tr](http://www.abas.com.tr))

### 3.1.2. İstinat Duvarlarına Etki Eden Yanal Basınçlar

İnşa edileceği yer ve amacına göre çeşitli yüklere maruz kalan istinat duvarları projelendirme aşamasında bu yüklerin en doğru biçimde belirlenmesi gerekir. Projede dikkate alınmayan yük/yükler duvarın stabilitesini olumsuz yönde etkileyebileceği gibi yine gereksiz alınan bir yük istinat duvarının ekonomik olmasını engelleyecektir. İstinat duvarına etki eden yükler; duvarın kendi ağırlığı, duvar arkasındaki aktif itki, duvar önündeki pasif etki, yeraltı suyu etkisi, deprem etkisi ve sürşarj yükleridir. Arazinin durumuna göre demiryolu, karayolu titreşim etkileri veya don tesiri etkileri de sayılabilir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 İstinat duvarına etkiyen yükler

### 3.1.2.1. İstinat duvarlarına etki eden yükler

**Duvar ağırlığı:** Duvarın ağırlığı yatay, düşey kuvvet, moment kuvvetlerine ve deprem esnasında da ek bir yatay kuvvet doğmasına neden olur. Düşey yük konsol istinat duvarlarında, duvarın ön alt köşesinde moment oluşturmaktadır. Duvar ağırlığının, temel ile zemin arasındaki sürtünme katsayısının çarpımı ile doğacak yatay kuvvet, istinat duvarını gelen yatay kuvvetlere karşı koyacaktır.

**İstinat duvarının arkasındaki yanal toprak basıncı (aktif toprak basıncı):** Duvarının arkasındaki toprak, zeminin özelliklerine bağlı olarak duvar üzerinde yatay bir yük oluşturmaktadır. Bu yüklerin hesaplanması için Rankine, Coulomb, Mononobe-Okobe ve Richards-Elms tarafından teoriler geliştirilmiştir.

**İstinat duvarının önündeki toprak basıncı (pasif toprak basıncı):** Duvar zemine doğru hareket ederse zemin duvara pasif direnç uygulamaktadır. Zeminin duvara uyguladığı bu dirence pasif toprak basıncı denir. İstinat duvarının tabanı zemine gömülü olduğundan duvarın öne doğru hareketi sırasında, temel zemine doğru hareket edeceğinden stabilite hesaplarında olumlu etki yapacak pasif basınç gerilmeleri de taban üzerinde ortaya çıkacaktır. Duvar önündeki toprağın doğal sebeplerden ötürü zamanla yok olabileceği için genellikle analizde olumlu etkisi hesaba dâhil edilmez.

**Su ve sızıntı suyu basınçları:** Rıhtım yapılarında hidrostatik ve hidrodinamik su basıncı, yeraltı suyundan kaynaklanan bir basınçta duvara etkiyebilir. Bu sebeple istinat duvarının arkasında yerüstü ve yeraltı sularının toplanması istenmez. Basınç yeraltı suyundan dolayı oluşuyorsa suyun zemin taneciklerini yüzdürme kuvveti hesaba dâhil edilmeli ve suyun duvara yaptığı kaldırma basıncıda dikkate alınmalıdır.

**Deprem tesiri:** Deprem esnasında yatay ve düşey ivmelere bağlı olarak duvara yatay kuvvet etkir. Yatay ivme, duvarda yaklaşık %10 yanal basıncın artmasına neden olabilir.

**Titreşimler:** Karayolu, demiryolu havaalanı gibi yapılarda trafik tesiriyle zeminde meydana gelen titreşimler yatay toprak basıncını arttırabilir.

**Don tesiri:** Suyun donması veya çözülmesinden dolayı zemindeki hacim değişikliği istinat duvarının devrilmesine neden olabilir. Bu nedenle istinat yapısını don derinliğinin altında yapmak ve zemin drenajı sağlanmalıdır.

**Şişme basıncı:** Duvar arkası dolgusunun şişen bir malzemeden (kil) yapılması durumunda %10-20 yanal şişme basınçlarının doğmasına neden olabilir. Dolgu malzemesinin doğru seçilmesi gerekir.

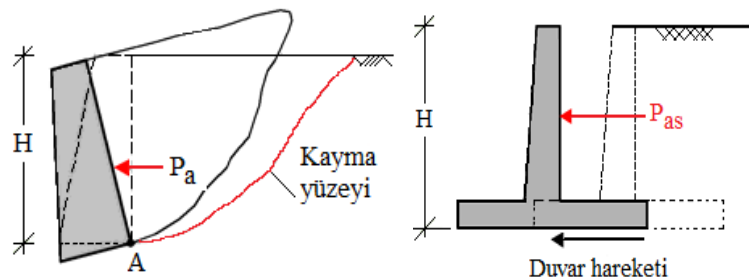
**Üst yük (sürşarj) etkisi:** Araçlarının bulunması, malzeme depolanması, bina yapılması vb. durumlarda duvar arkasındaki zeminin üzerinde, üniform, şerit ve tekil yük gibi ilave yük tesirleri oluşabilir. Bu yükler hesaplamalarda dolgu üzerindeki yerlerine göre yatay bir kuvvete dönüştürülerek hesaba dâhil edilmelidir.

### 3.1.3. İstinat Duvarlarına Etkiyen Kuvvetlerin Analizi

İstinat duvarlarına depremsiz durumda etkiyen basınçlar statik zemin basınçları, deprem etkisinde altında meydana gelen ilave basınçlar dinamik basınçlardır. Deprem durumunda istinat duvarına etkiyen toplam itki statik kuvvetler ve ek dinamik yüklerin toplamıdır.

#### 3.1.3.1. Depremsiz durumda istinat duvarlarına etkiyen statik basınçlar

Duvara etki eden statik zemin basınçları, duvar ve zeminin hareketlerinden etkilenmektedir. Duvar, toprak itkisiyle zemin dışına doğru çok az hareket ettiğinde, sükûnetteki zemin gerilmelerinde bir gerilme azalması başlayacak, bu azalma belli sınır değeri aştıktan sonra zeminin dengesi bozularak kayma yüzeyi meydana gelecektir. Kayma yüzeyi boyunca dışarı doğru hareket etmeye çalışan zemin kaması ortaya çıkacaktır. Bu durumda duvara kamanın yapmış olduğu **basınca aktif toprak basıncı** denir. Bu basıncın oluşması için duvarın çok az hareket etmesi yeterli olup duvarda dönme ve kayma hareketleri, zeminde uzama şeklinde yanal birim şekil değiştirme oluşturmaktadır. Bundan dolayı istinat duvarları genellikle minimum aktif toprak basıncına göre tasarlanmaktadır (Şekil 3.17.a-b).



a) Dönme şeklinde oluşan duvar hareketi

b) Kayma şeklinde oluşan duvar hareketi

**Şekil 3.17** Aktif toprak basıncından kaynaklanan duvar hareketleri

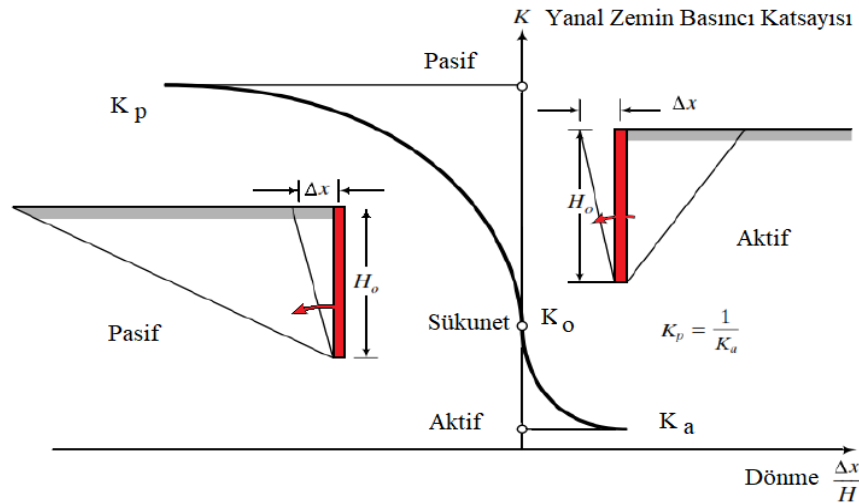
Duvar zemine doğru çok az hareket ettiğinde, sükûnetteki zemin gerilmelerinde bir artış meydana gelecek, bu artma belli sınır değeri aştıktan sonra zeminde kabarma ve devamında zeminin dengesi bozularak kayma yüzeyleri oluşmaktadır. Duvarın arkasındaki zemine doğru hareket ettiği durumda, kamanın duvara yapmış olduğu basınca **pasif toprak basıncı** denir. İstinat duvarı zemine doğru hareket ederken gelişen pasif zemin basınçları, zeminde sıkışma şeklinde yanal birim şekil değiştirmeye neden olur. Duvar hareketi yeterli düzeyde olursa, maksimum pasif toprak basınçları üzerine etkir.

Aktif ve pasif basınçların ortaya çıkması için belirli bir yer değiştirmenin aşılması gerekir. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için gerekli yer değiştirme miktarı ile duvar yüksekliği (H) arasındaki ilişki Tablo 3.1’de verilmiştir.

**Tablo 3.1** Aktif ve pasif durumun oluşması için gerekli yer değiştirme oranları (Coduto, D, P., 2005)

Zemin Tipi	Gerekli yer değiştirmeler	
	Aktif durum	Pasif durum
Sıkı kum	0,001 H	0,020 H
Gevşek kum	0,004 H	0,060 H
Sert kil	0,010 H	0,020 H
Yumuşak kil	0,020 H	0,040 H

Pasif toprak basıncının değeri ( $K_p$ ), aktif toprak basıncı değerinden daha büyüktür. Buna göre toprak basıncı katsayıları için  $K_a < K_0 < K_p$  eşitsizliği geçerlidir (Düzgün, 1989). Duvar hareketine göre aktif ve pasif basıncın oluşumu şekil 3.18’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.18** Duvar hareketine göre aktif ve pasif itki

İstinat duvarlarına etkiyen kuvvetler ve yer değiştirmeler karmaşık bir zemin yapısı etkileşimi problemi oluşturmaktadır. Tasarımda çoğunlukla yer değiştirmeler doğrudan

kullanılmaz. Genellikle, istinat duvarı üzerine etkiyen kuvvetler hesaplanır ve yer değiştirmelerin izin verilebilir sınırlarda olması şartıyla, hesaplanan kuvvetlere bir emniyet katsayısıyla karşı koyacak biçimde tasarlanır. Statik zemin basınçlarının hesaplanması ile ilgili çalışmalar, Coulomb 1776 ve Rankine 1857 tarafından yapılmıştır. Bu iki teori istinat duvarlarına etkiyen statik basınçların hesaplanmasında geçerli olan yöntemlerdir.

### 3.1.3.1.1. Rankine teorisi (1857)

Rankine Teorisi'nde plastik dengeye ulaşıldığı durumda, toprak basıncı problemi aşağıdaki kabullerle çözülmüştür.

1. Zemin homojen ve izotropdur.
2. Kayma yüzeyi düzlemsel kabul edilir.
3. Zemin yüzeyi düzlemsel kabul edilir.
4. Duvar sonsuz uzunlukta ve problem düzlemsel olarak çözülebilir.
5. Duvar aktif ve pasif gerilmelerin oluşabileceği kadar hareket eder.
6. Duvara etki eden normal ve kayma gerilmelerinden oluşan bileşke kuvvet, dolgu eğimine paralel olarak etki eder.

- 4. kabulün dışında diğer 5 kabulün gerçeğe uymadığı kabul edilmiştir. Hesaplamalarda kolaylık getirmesi açısından büyük hatalara neden olmamasından dolayı genel çözüm için kabul edilmektedir.
- Zemin homojen olsa bile izotrop değildir. İstinat duvarının arkasına yerleştirilen dolgu çoğu kez sıkıştırıldığından, anizotropluk özelliği göstermektedir. Bu anizotropluk dolgunun doğal bir özelliğidir.
- Kayma yüzeyinin düzlemsel olması birçok zemin için geçerli değildir. Çünkü kayma yüzeyi bir parabole yakındır. Zemin yüzeyinin düzlemselliği; mimari nedenlerle iki veya daha fazla kırıkla oluşturulduğundan, rankine çözümü genellikle geçersiz olmaktadır.
- Duvarla zemin arasında sürtünme olmadığı ( $\delta=0$ ) kabulü rankine teorisinin en zayıf yanıdır. Örneğin, eğik sırtlı bir beton duvarın arkasının kumla doldurulması halinde, duvar zemin arasındaki sürtünme açısı önemli değerlere ulaşmaktadır (Önalp, 1992).



Genellikle pratikte kullanılan bağıntılar 3.2’de verilmiştir. Zeminin cinsine bağlı bazı  $K_0$  değerleri tablo 3.2’de verilmiştir.

$$K_0 = (1 - \sin \phi') \text{ veya } K_0 = \nu / (1 - \nu) \quad (3.2)$$

$K_0$ : Sükûnetteki toprak basıncı katsayısı

$\phi'$  : Efektif kayma direnci açısı

$\nu$  : Zeminin poisson oranı

**Tablo 3.2** Zemin cinsine göre tipik  $K_0$  değerleri (Uzuner, 2007)

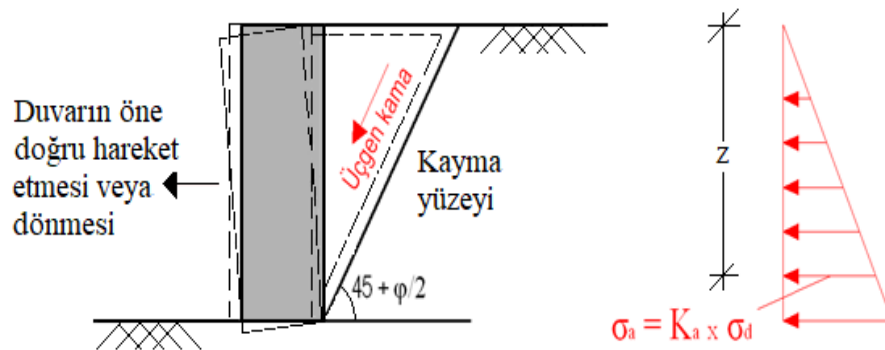
Zemin Cinsi	$K_0$
Gevşek kum	0,4
Sıkı kum	0,6
Yumuşak kil	0,6
Sert kil	0,5

**Plastik denge durumu;** Zemin ortamında plastik durum zeminin yanal deformasyona (sıkışma veya genleşme) uğraması ile oluşmaktadır.

### Kohezyonsuz Zeminlerde Rankine Teorisi

**Aktif Rankine durumu:** Zemin, yanal bir genişlemeye tabi tutulursa, istinat yapısına etki eden yanal basınçlara aktif basınç; bu duruma da aktif durum denir. Duvarın dönmesi veya öne doğru hareket ettirilmesi ile duvar arkasında aktif durum meydana gelir ve duvara aktif yanal zemin basıncı etki eder (Şekil 3.20).

Aktif yanal zemin basınç dağılışı, derinlikle doğrusal olarak artar. Rankine teorisinde, duvar arkası ile zemin arasında bir sürtünme olmadığı, duvar arka yüzünün pürüzsüz olduğu kabul edilir. Bu kabul yanal zemin basınçlarının hesaplanmasını son derece kolaylaştırırken, gerçekte bir miktar sürtünme olduğu da göz ardı edilmemelidir.



**Şekil 3.20** Kohezyonsuz zeminde dayanma duvarı arkasında aktif durum

Aktif durumda, yatay ve düşey gerilmeler arasında, aşağıdaki bağıntılar vardır.

$$\sigma_a = K_a \times \sigma_d = K_a \times \gamma_n \times Z \quad (3.3)$$

$$K_a = \tan^2 [45 - (\phi/2)] \quad (3.4)$$

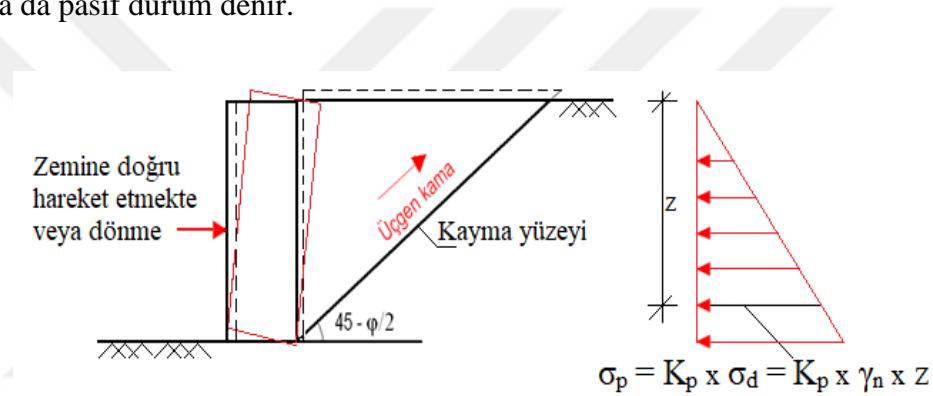
$K_a$  : Aktif zemin basınç katsayısı

$\sigma_a$  : Aktif yanal zemin basıncı

$\sigma_d$  : Düşey gerilme

$\phi$  : İçsel sürtünme açısı

**Pasif durum (pasif rankine durumu);** Zemin, arka dolguya doğru yanal bir sıkışmaya tabi tutulursa, dayanma yapılarına etki eden yanal basınçlara pasif basınç, bu duruma da pasif durum denir.



Şekil 3.21 Kohezyonsuz zeminde dayanma duvarı arkasında pasif durum

Dayanma duvarının arka dolguya doğru hareket etmesiyle veya dönmesiyle, duvar arkasında pasif durum oluşur ve duvara pasif yanal zemin basıncı etki eder. Pasif yanal zemin basınç dağılışı derinlikle doğrusal olarak artar. Pasif durumda, yatay ve düşey gerilmeler arasında, aşağıdaki bağıntılar vardır.

$$\sigma_p = K_p \times \sigma_d = K_p \times \gamma_n \times Z \quad (3.5)$$

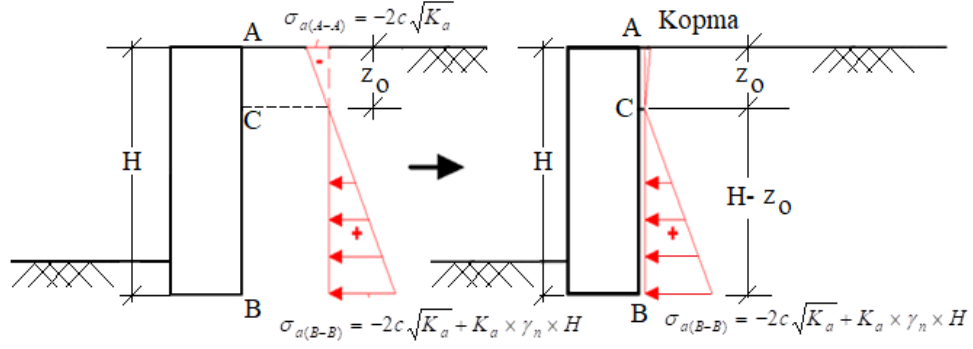
$$K_p = \tan^2 [45 + (\phi/2)] \quad (3.6)$$

$K_p$ : Pasif zemin basınç katsayısı

$\sigma_p$ : Pasif yanal zemin basıncı

Genel bir zeminde yani kohezyonlu bir zeminde ( $c \neq 0$ ,  $\phi \neq 0$ ) rankine teorisine göre, dayanma duvarına etki eden aktif yanal zemin basınç şekil 3.22’de verilmiştir.





Şekil 3.22 Kohezyonlu zeminde dayanma duvarı arkasında aktif durum

Şekil 3.22’de zeminin AC derinliğinde çekme gerilmesi (-) oluşur. Pratikte zemin çekme gerilmesi almadığı için, AC derinliği boyunca duvar arkasına yanal zemin basıncı oluşmaz.

$$\sigma_{a(A-A)} = -2c\sqrt{K_a} \quad (3.7)$$

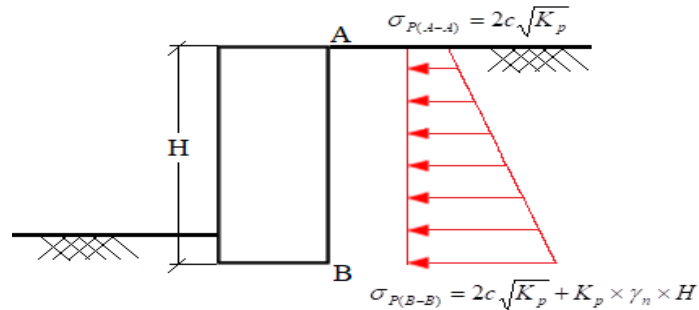
$$\sigma_{a(B-B)} = -2c\sqrt{K_a} + K_a \times \gamma_n \times H \quad (3.8)$$

$$-2c\sqrt{K_a} + K_a \times \gamma_n \times z_0 = 0 \Rightarrow z_0 = \frac{2c\sqrt{K_a}}{K_a \times \gamma_n} \quad (3.9)$$

Genel bir zeminde yani kohezyonlu bir zeminde ( $c \neq 0, \phi \neq 0$ ) rankine teorisine göre, dayanma duvarına etki eden pasif yanal zemin basıncı şekil 3.23’de gösterilmiştir.

$$\sigma_{P(A-A)} = 2c\sqrt{K_p} \quad (3.10)$$

$$\sigma_{P(B-B)} = 2c\sqrt{K_p} + K_p \times \gamma_n \times H \quad (3.11)$$



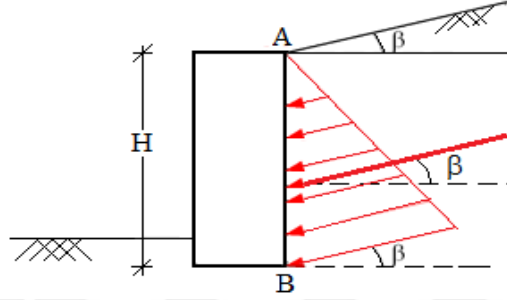
Şekil 3.23 Kohezyonlu zeminde dayanma duvarı arkasında pasif durum

Rankine Teorisi’nde tanımlanan aktif yanal zemin basıncı katsayısı  $K_a$ ’yı veren bağıntı (3.4) ve pasif yanal zemin basıncı katsayısı  $K_p$ ’yi veren bağıntı (3.6), istinat duvarının arka dolgusunun yatay olması halinde geçerlidir. Dolgunun yatayla  $\beta$  açısı

yapması durumunda  $K_a$  ve  $K_p$  aşağıdaki bağıntı (3.12 ve 3.13) hesaplanmaktadır (Şekil 3.24).

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (3.12)$$

$$K_p = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (3.13)$$



Şekil 3.24 Kohezyonlu zeminde arka dolgunun yatayla aç yapması durumu

İstinat duvarlarında, aktif basıncın oluşabilmesi için gerekli minimum kayma ve dönme miktarları tablo 3.3’de verilmektedir.

Tablo 3.3 İstinat duvarlarında aktif basınç oluşturan minimum kayma ve dönme miktarları (Tunç, 2002)

Zemin Cinsi	Kayma	Dönme
Kum	(0,001-0,002)H	0,001
Sert kil	(0,01-0,02)H	0,004
Yumuşak kil	(0,02-0,05)H	0,004

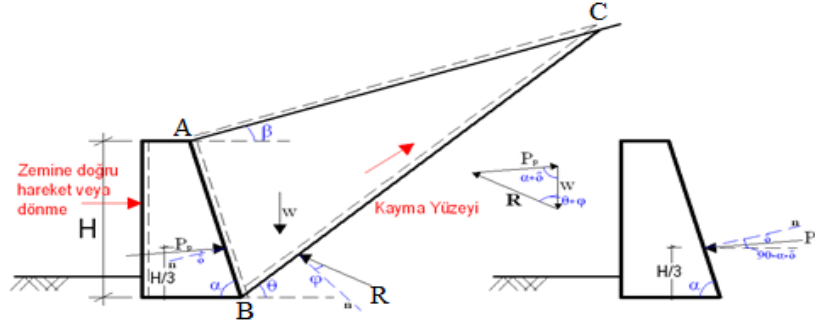
### 3.1.3.1.2. Coulomb kama teorisi

Coulomb (1776) istinat duvarına etki eden zemin basınçlarının hesaplanması üzerine yaptığı çalışması kama teorisi olarak adlandırılmıştır. Bu teoride, öne doğru veya arkaya doğru hareket eden istinat duvarının arkasındaki zemin durumu dikkate alınmıştır. Zeminde kama şeklinde kayma oluşacağı buna göre kayan zemin kütesinin dengesi, zemin ile duvar arka yüzü arasındaki sürtünmenin dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Coulomb, problemi geometrik yöntemle çözmüş, daha sonraları teorik ve grafik metotlarla yöntem bugünkü şekline getirilmiştir. Coulomb Kama Teorisi uygulamasında yapılan kabuller şunlardır;

- Zemin homojen, izotrop
- Kayma yüzeyi ve dolgu yüzeyi düzlemseldir.



Coulomb Kama Teorisi'ne göre kohezyonsuz zeminde pasif durumda, dayanma duvarı arkaya doğru hareket ederken, duvar arkasında oluşan üçgen kama yukarı doğru hareket eder (Şekil 3.26).



Şekil 3.26 Coulomb kama teorisinde kohezyonsuz zeminde pasif durum

Burada;

$$K_p = \frac{\sin^2(\alpha - \varphi)}{\sin^2 \alpha \times \sin(\alpha + \delta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \times \sin(\varphi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \times \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (3.16)$$

$$P_p = \frac{1}{2} \times \gamma \times H^2 \times K_p \quad (3.17)$$

$\alpha = 90^\circ$ ,  $\delta = 0$  ve  $\beta = 0$  için bağıntı 3.16'daki  $K_p$  değeri, bağıntı 3.6'ya Rankine pasif zemin basınç katsayısına eşit olur. Skolovski tarafından önerilen aktif ve pasif basınç katsayıları Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4 İstinat duvarlarında aktif ve pasif basınç katsayıları (Sokolovski, Tunç 2001)

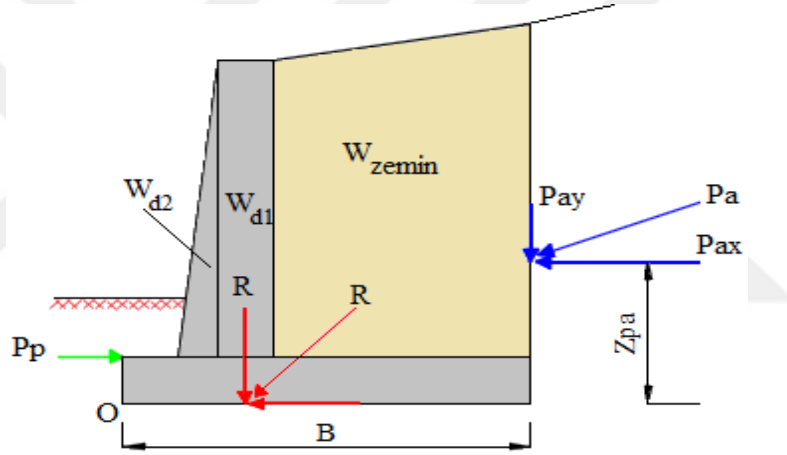
$\varphi$	$\Delta$	$\theta = 90^\circ$		$\theta = 100^\circ$		$\theta = 110^\circ$	
		Ka	Kp	Ka	Kp	Ka	Kp
10°	0°	0.70	1.42	0.72	1.31	0.73	1.18
	5°	0.67	1.56	0.70	1.43	0.70	1.29
	10°	0.65	1.66	0.68	1.52	0.70	1.35
20°	0°	0.49	2.04	0.54	1.77	0.58	1.51
	10°	0.45	2.55	0.50	2.19	0.54	1.83
	20°	0.44	3.04	0.50	2.57	0.54	2.13
30°	0°	0.33	3.00	0.40	2.39	0.46	1.90
	15°	0.31	4.62	0.37	3.62	0.43	2.79
	30°	0.30	6.55	0.38	5.03	0.45	3.80
40°	0°	0.22	4.60	0.29	3.37	0.35	2.50
	20°	0.20	9.69	0.27	6.77	0.34	4.70
	40°	0.22	18.20	0.29	12.30	0.38	8.23

### 3.1.4. İstinat Duvarlarının Stabilitesi

İstinat duvarına etkiyen kuvvetler belirlendikten sonra devrilme tahkiki, kayma tahkiki, zemin emniyet gerilmesi tahkiki ve toptan göçme tahkikleri yapılmalıdır.

#### 3.1.4.1. Devrilme güvenliği

İstinat duvarlarında belirlenen kuvvetlerden bir kısmı istinat duvarını devirmeye çalışan kuvvetler bir kısmı ise devirmeye karşı koyan kuvvetlerdir (Şekil 3.27). İstinat duvarlarının sol alt köşesi topuk noktası olarak adlandırılır ve bu noktaya (O) göre devirmeye çalışan momentler ve karşı koyan momentler tespit edilir. Devirmeye çalışan momentler toplamı  $\Sigma M_{deviren}$ , karşı koyan momentler toplamı  $\Sigma M_{karşı\ koyan}$  ve güvenlik sayısını GS olarak adlandırırsak;



Şekil 3.27 İstinat duvarlarında devrilme tahkiki

O noktasına göre moment alınır.

$$\sum M_{o,deviren} = P_{ax} \times Z_{pa} \quad (\text{Pasif ihmal edilir.})$$

$$\sum M_{o,karşı\ koyan} = W_{duvar} \times x_{duvar} + W_{zemin} \times x_{zemin} + P_{az} \times x_{pa} + P_p \times z_{pp}$$

$$\sum M_o = \sum M_{o,karşı\ koyan} - \sum M_{o,deviren}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum M_o}{R_z} \quad (\text{Bileşke kuvvetlerin etki mesafesi})$$

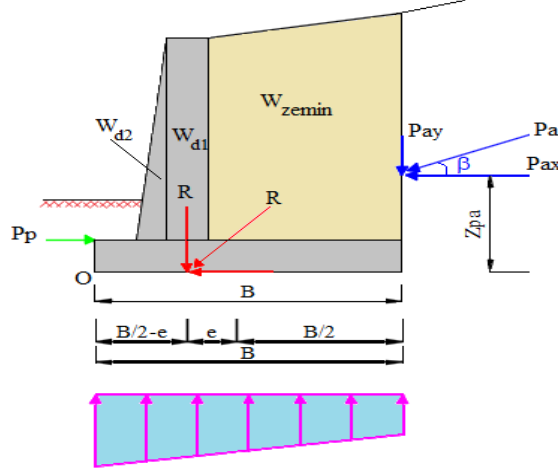
$$R_z = W_d + W_{zemin} + P_{az} \quad (\text{Bileşke düşey kuvvet})$$

$$R_x = P_{ax} - P_p \quad (\text{Bileşke yatay kuvvet})$$



### 3.1.4.3. Zemin gerilmesi kontrolü

İstinat duvarına etkiyen düşey yüklerden dolayı temel tabanında oluşan gerilmeler tespit edilir. Bu gerilmeler zemin emniyet gerilmesi ile kıyaslanır. Eğer zemin emniyet gerilmesini aşmışsa veya çekme gerilmeleri oluşmuşsa temel boyutları büyütülmelidir.



Şekil 3.29 İstinat duvarlarında taşıma gücü tahkiki

### 3.1.4.4. Toptan göçme kontrolü

İstinat duvarının arka yüzeyindeki zeminin kayma yüzeyi tespit edilmelidir. Bunun için genelde İsveç dilim metodu kullanılmaktadır. İstinat duvarı kayma yüzeyinin üzerinde kalırsa kayma istinat duvarı ile beraber olmaktadır.

### 3.1.5. Depremliler Durumlarda İstinat Duvarları

İstinat duvarlarının davranışı deprem kuvvetleri etkisinde birçok parametreye bağlıdır. Bu parametreler, duvarın hareketi ve duvara etki eden basınçlara, duvar-zemin etkileşime, duvarın altındaki ve arkasındaki zeminin davranışına, duvarın ataletine ve deprem hareketinin özelliklerine bağlı değişmektedir.

Kramer (1996), ağırlık tipi istinat duvarları üzerinde yapılan deney ve analizler sonucunda bu konudaki sonuçları aşağıdaki gibi özetlemektedir;

- Duvarın ötelenmesi ve dönme hareketinden kaynaklanan deplasmanlar yapabilmektedir. Duvarın yapacağı rölatif hareket miktarı duvarın tasarımına bağlıdır. Değişik tipteki duvarlarda ve koşullara bağlı olarak, ötelenme veya dönme hareketlerinden biri diğerinden daha fazla öneme sahip olabilmekte

veya her iki hareketin de dikkate alınması gereken koşullar istinat duvarlarının analizi sırasında tasarımcının karşısına çıkabilmektedir (Nadim ve Whitman, 1984, Siddhartan 1992).

- Maksimum yanal toprak basıncı duvarın yaptığı dönme ve ötelenme hareketlerinin dolguya doğru, minimum toprak basıncı duvarın dolgudan uzaklaşmasıyla aktif koşullarla birlikte ortaya çıkmaktadır.
- Duvar arkasındaki yanal toprak basınçlarının dağılımında meydana gelen değişimler duvarın deplasmanı ile birlikte ortaya çıkmaktadır. Belirlenen toprak basıncının uygulama noktası, deplasmana bağlı olarak aşağıya ve yukarıya doğru hareket etmektedir. En yüksek etkiye noktasına, duvar dolguya doğru hareket ettiğinde, duvar tabanından en az yüksekliğe ise dolgudan dışarı doğru hareket ettiğinde ulaşılmaktadır.
- Steedman ve Zeng (1990) dinamik toprak basıncı değerlerinin duvarın ve dolgunun depreme vereceği tepkilerden etkilendiğini ve duvar-zemin sisteminin doğal frekansına yakın değerlerde oldukça büyük artışlar gösterdiğini söylemektedir (Nadim, 1982).
- Duvara etkileyen dinamik toprak basıncının büyüklüğü ve dağılımı, duvarın yaptığı hareketin çeşidine göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin bu hareket, tabanda ötelenme, duvarın topuğunda veya tepe noktasında dönme hareketi şeklinde olabilmektedir (Sherif 1982, Sherif ve Fang, 1984).
- Deprem sarsıntısında zemin basınçlarında oluşan artış, deprem bittikten sonrada etkimeye devam etmektedir. (Whitman, 1990).

Deprem etkisinde istinat duvarlarının analizi, Kramer (1996)'da belirttiği tüm bulgular dâhilinde parametrelerin birbiriyle etkileşimi ve belirsizlikler gözönünde bulundurulduğunda, zemin, yapı ve yer ivmesine dayalı çeşitli varsayımlar içeren basitleştirilmiş model ve yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntemlerden biriside sismik basınçların öncelikli olarak tahmin edilmesi üzerine dayanırken, bir grup yöntem ise istinat duvarlarının dinamik etkiler nedeniyle yer değiştirmesine dayanmaktadır.

### **3.1.5.1. Yarı statik yöntem (Psödo-statik yöntem)**

İstinat duvarlarının sismik stabilitesi yaygın olarak kullanılan bu yöntem şev stabilitesi analizlerinde olduğu gibi depremin çevrimsel etkisi göz ardı edilerek statik bir ek kuvvet duvarın üzerine etkimektedir. Yanal toprak etkisinin, zemin kamasının



merkezinde etkiği kabul edilerek, etkiyecek yarı-statik yanal kuvvet denklem 3.18 yardımıyla hesaplanabilmektedir. Analizlerde birim uzunluk kabulüyle düzlemsel olarak çözümler elde edilmektedir.

$$P_{ae} = m \cdot a = \frac{W}{g} \cdot a = W \cdot \frac{a_{max}}{g} = k_h \times W \quad (3.18)$$

$P_{ae}$  : Deprem sırasında duvara etkiyen yanal toprak itkisini

$a$  : İvme

$a_{max}$  : Pik ivme değeri (depremde)

$W$  : Zemin kamasının ağırlığı

$k_h$  : Yatay ivme katsayısı

$m$  : Zemin kamasının kütlesi

$g$  : Yerçekim ivmesi

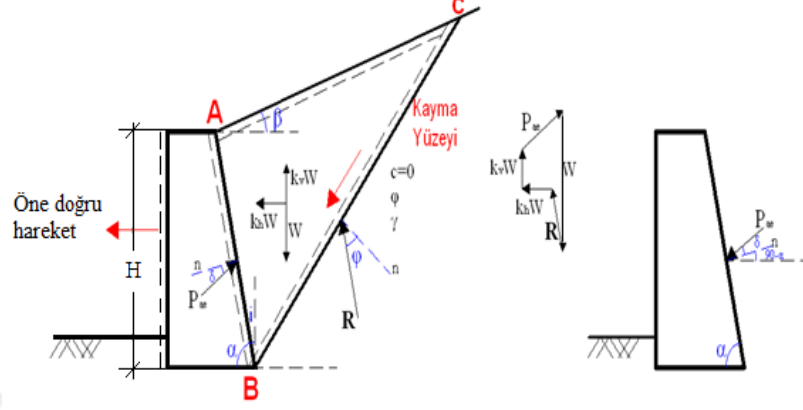
Depremler sırasında oluşabilecek atalet kuvvetlerinin sadece yatay ve düşey etkimekte ve düşey etkiler dikkate alınmamaktadır. Aktif zemin kamasına etkiyen düşey atalet kuvvetlerinin istinat duvarlarının tasarımında etkisi yoktur. Diğer bir nedende depremlerin oluşturdukları düşey ivmelerin pik değerlerinin, yatay ivmelerin pik değerlerinden daha düşük olmasıdır.

### 3.1.5.2. Mononobe-Okabe yöntemi

Okabe (1926)-Mononobe ve Matsuo (1929) tarafından ortaya atılan bu yöntemde incelenen dolgunun atalet kuvvetlerinin hesaba dâhil edilmekle birlikte psödo-statik şartlardaki statik Coulomb Kama teorisinin genişletilmiş bir şeklidir. M-O analizinde Coulomb aktif kamasına psödo-statik ivmeler ve kamanın kuvvet dengesinden zemin itkisi hesap edilmektedir (Kramer, 1996). M-O yöntemindeki kabuller;

- Homojen kuru kohezyonsuz dolgu zemin rijit bir malzemedir.
- Duvar hareket ettiği ve potansiyel kayma yüzeyi boyunca minimum aktif toprak basıncının oluşması için kayma mukavemetinin mobilize olmasına neden olmaktadır.
- Dolgu üzerinde yer alan potansiyel kayma yüzeyi topuk doğrultusunda uzanan bir düzlemdir.
- Duvarda etkilerin göz ardı edilmesi için yeterli uzunlukta olmaları gerekmektedir.

Yapılan bu kabuller göre tasarım probleminin sınırlarını belirlemekte ve kuvvetlerin dengede olmasından yararlanarak  $P_{ae}$  aktif toprak itkisi bağıntı 3.21'de hesaplanmaktadır.



Şekil 3.30 M-O yönteminde aktif kama üzerine etki eden kuvvetler ve oluşan kuvvet poligonu

$$k_h = \frac{\text{Yatay deprem ivmesi (g cinsinde)}}{\text{Yer çekimi ivmesi (g)}} \quad (3.19)$$

$$k_v = \frac{\text{Düşey deprem ivmesi (g cinsinden)}}{\text{Yer çekimi ivmesi (g)}} \quad (3.20)$$

$$P_{ae} = \frac{1}{2}(1 - k_v) \times K_{ae} \times \gamma \times H^2 \quad (3.21)$$

$$K_{ae} = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi - \theta)}{\cos \theta \times \sin^2 \alpha \times \sin(\alpha - \delta - \theta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \times \sin(\varphi - \beta - \theta)}{\sin(\alpha - \delta - \theta) \times \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (3.22)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left[ \frac{k_h}{1 - k_v} \right] \quad (3.23)$$

Burada;

$K_{ae}$  : Aktif toprak basıncı katsayısı

$\gamma$  : Dolgunun birim hacim ağırlığı

$\beta$  : Arka dolgunun yatayla yaptığı açısı

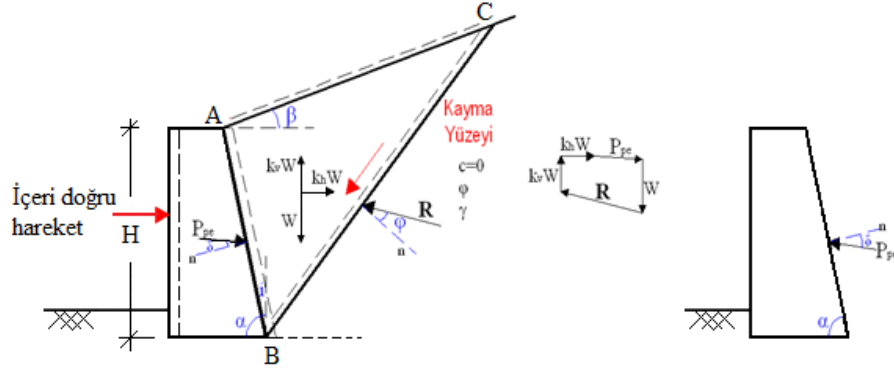
$\alpha$  : Dayanma duvarının dolgu tarafındaki yüzeyinin yatayla yaptığı açısı

$\varphi$  : Dolgunun içsel sürtünme açısı

$\delta$  : Duvar-Dolgu arasındaki sürtünme açısı

$k_h, k_v$  : Yatay ve düşey ivme katsayısı

Bu yöntemde deprem durumunda etkiyen pasif itkide benzer şekilde hesaplanabilir. Bu yöntem de toplam pasif basınç katsayısı olan  $K_{pe}$ , diğer tüm parametreler aktif durumda açıklanan değerlere karşı gelmek üzere; pasif durumda duvara etkiyen kuvvetler ve denklem 3.25’de kullanılan parametreler şekil 3.31’de gösterilmektedir.



Şekil 3.31 M-O yönteminde pasif kama üzerine etki eden kuvvetler ve oluşan kuvvet poligonu

$$K_{pe} = \frac{\sin^2(\alpha - \varphi + \theta)}{\cos \theta \times \sin^2 \alpha \times \sin(\alpha + \delta + \theta - 90) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \times \sin(\varphi + \beta - \theta)}{\sin(\alpha + \delta + \theta) \times \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (3.24)$$

$$P_{pe} = \frac{1}{2}(1 - k_v) \times K_{pe} \times \gamma \times H^2 \quad (3.25)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left[ \frac{k_h}{1 - k_v} \right] \quad (3.26)$$

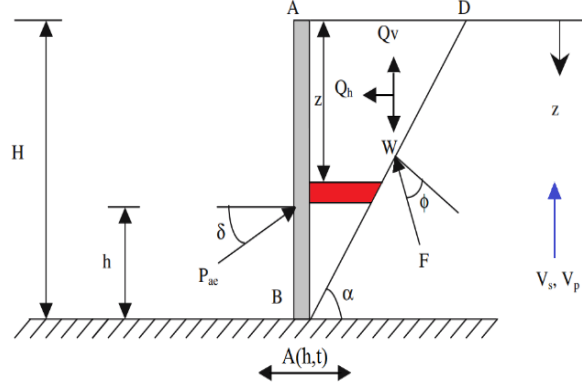
### 3.1.5.3. Seed ve Whitman yöntemi (1970)

Seed ve Whitman (1970) duvar üzerinde etki eden yatay psödo-statik kuvveti belirlemede aşağıdaki denklem (3.27’yi) geliştirmiştir. Eşitlikteki psödo-statik kuvvetin yerinin duvarın tabanı üzerinde 0.6H mesafede etki ettiği kabul edilmiştir (Day, 2004).

$$P_{AE} = \frac{3a_{\max}}{8g} H^2 \gamma \quad (3.27)$$

### 3.1.5.4. Steedman-Zeng yöntemi (1990)

Bu yöntemde sismik yükler, duvar arkası dolgusunda meydana gelen ivme amplifikasyonları ve faz farklarını yaklaşık hesaplamaktadır. Duvar tabanında bir harekete maruz kaldığı düşünülerek bağıntı 3.28 hesaplanmıştır (Şekil 3.32)



Şekil 3.32 Steedman-Zeng yöntemi için duvar geometrisi (Choudhury ve diğ, 2006)

$$a_h(z,t) = a_h \times \sin \left[ W \times \left( t - \frac{H-z}{V_s} \right) \right] \quad a_v(z,t) = a_v \times \sin \left[ W \times \left( t - \frac{H-z}{V_p} \right) \right] \quad (3.28)$$

Sismik kuvvetlerin duvarın arkasında yer alan kayma kamasında olduğu varsayılarak, kama içinde herhangi bir z derinliğindeki elemanın kütlesi,  $m(z)$  bağıntı 3.29'daki gibi bulunabilir.

$$m(z) = \frac{\gamma}{g} \frac{H-z}{\tan \alpha} dz \quad (3.29)$$

Duvara etkiyen toplam kuvvet  $Q_h(t)$  denklem 3.30 hesaplanırsa,

$$Q_h(t) = \int_0^H m(z) \times a(z,t) dz = \frac{\lambda \times \gamma \times a_h}{4\pi^2 \times g \times \tan \alpha} \left[ 2\pi \times H \times \cos \omega \xi + \lambda (\sin \omega \xi - \sin \omega t) \right] \quad (3.30)$$

Düşey yönde hareket eden kayma dalgasının dalga boyu ise

$$\lambda = \frac{2\pi V_s}{\omega} \quad (3.31)$$

$$\xi = t - \frac{H}{V_s} \quad (3.32)$$

$V_s$ : Kayma dalgası hızıdır.

Dolgu rijit olarak hareket etmesi durumunda  $Q_h$ : Atalet kuvveti

$$\lim_{V_s \rightarrow \infty} Q_{h_{\max}}(t) = \frac{\gamma \times H^2 \times a_h}{2g \times \tan \alpha} = \frac{a_h}{g} \times W = k_h \times W \quad (3.33)$$

Kama üzerine etkiyen kuvvetlerin bileşenleri gözönüne alınarak  $P_{ae(t)}$

$P_{ae(t)}$  : Duvara etkiyen toplam yük

$$P_{ae(t)} = \frac{Qh(t) \times \cos(\alpha - \phi) + W \times \sin(\alpha - \phi)}{\cos(\delta + \phi - \alpha)} \quad (3.34)$$

Bulunan dinamik yükün etkime noktası için bağıntı 3.35 önerilmektedir.

$$h = H - \frac{2\pi^2 H^2 \cos \omega \xi + 2\pi \lambda H \sin \omega \xi - \lambda^2 (\cos \omega \xi - \cos \omega t)}{2\pi H \cos \omega \xi + \pi \lambda (\sin \omega \xi - \sin \omega t)} \quad (3.35)$$

### 3.1.6. Depremde Meydana Gelen Deplasmanları Esas Alan Yöntemler

#### 3.1.6.1. Richards ve Elms

Richards ve Elms (1979) ağırlık istinat duvarlarının tasarımında izin verilebilir kalıcı yer değiştirme dikkate alınmış, istinat duvarlarının sadece ötelenme hareketi yaptığı kabul edilmiştir. Yöntemde kalıcı yer değiştirmelerin hesabı, şevlerin stabilitesinin sismik değerlendirilmesinde kullanılan Newmark'ın kayan blok analogisine benzer şekilde yapılmaktadır. Duvarın atalet kuvvetleri ve duvarın boyutları izin verilebilir yer değiştirme göre belirlenmektedir. Richards ve Elms yöntemine göre,

1. Duvar ile zemin için eşik ivme katsayısı değerleri belirlenmelidir.
2. Belirlenen bu ivme katsayısının üstünde veya bu değere eşit ivme değerlerinde duvarın deplasman yaptığı kabul edilmektedir.
3. İvme değerlerinin uniform, duvarın davranışının ise rijit plastik olduğu varsayılmaktadır.
4. Richard ve Elms,  $P_{ae}$  değerinin hesaplanmasında Mononobe-Okabe yönteminin kullanılması önerilmektedir.

5. İzin verilebilir yer değiştirme değerlerinin ( $d_{kalıcı}$ ) belirlenmesi için kayan blok analizlerini kullanarak kalıcı blok yer değiştirmesi için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$d_{kalıcı} = \frac{0,087 \times V_{max}^2 \times a_{max}^3}{a_y^4}, \quad \frac{a_y}{a_{max}} \geq 0,30 \quad (3.36)$$

Burada,

$d_{kalıcı}$  : İzin verilebilir deplasman=Kalıcı blok yer değiştirmesi (inch)

$a_y$  : Duvar-arka dolgu sisteminin yenilme ivmesidir.

$V_{mak}$  : Yer hareketinin pik hız değeri

$a_{max}$  : Pik yer ivmesi

Richards ve Elms (1979) tarafından önerilen tasarımda aşağıdaki sıra izlenerek gerekli hesaplamalar:

1. İzin verilebilir yer değiştirme seçilir (inch).
2. ATC 1978'te gösterilen sismik bölgeler için  $A_a$  ve  $A_v$  katsayıları çizelge 3.5'den seçilir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli nokta seçilen bu katsayıların Türkiye için uygulanacak olan sismik bölgeye göre seçilmesi gerekir.
3. Bağıntı 3.37'den ivme katsayısı hesaplanır.

$$k_h = A_a \left[ \frac{0.2 \times A_v^2}{A_a \times d_{perm}} \right]^{0.25} \quad (3.37)$$

4.  $k_h$  değeri için Mononobe-Okabe yöntemi kullanılarak duvar arkasındaki aktif toprak basıncı katsayısı hesaplanır.
5. Duvarın atalet kuvvetlerini ve duvara etkiyen kuvvetlerin dengesi gözönüne alınarak duvarın ağırlığı  $W$ , hesaplanır.
6. Hesaplanan duvar ağırlığına  $GS=1.5$  alınarak duvar boyutları belirlenir.

**Çizelge 3.5** Zemin türlerine göre  $A_a$  ve  $A_v$  katsayıları (ATC, 1978)

$A_a$	Haritadaki Deprem Bölgesi	$A_v$	Sismik Derecesi
0,40	7	0,40	4
0,30	6	0,30	4
0,20	5	0,20	4
0,15	4	0,15	3
0,10	3	0,10	2
0,05	2	0,05	2
0,05	1	0,05	1

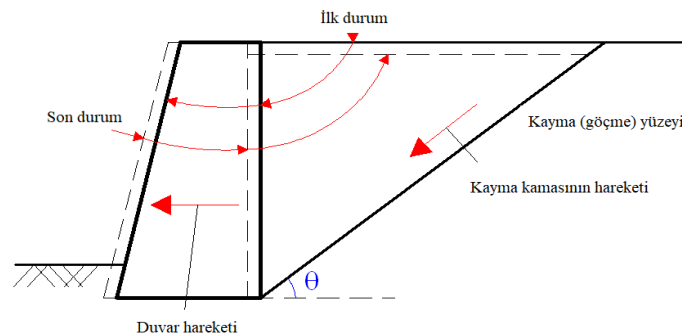
### 3.1.6.2. Whitman ve Liao (1984)

Whitman-Liao (1984), Richards-Elms (1979) modelindeki hataları istatistiksel bir bakış açısıyla incelemişlerdir. Deprem hareketinin karakteristiklerindeki belirsizlikler, istinat duvarının dalga yönüne göre sahadaki yerleşimi, dolgu ve temeldeki içsel sürtünme açıları, duvar-zemin sürtünme açısı modele dâhil edilmiştir. Bu yöntemde devrilme ve kayma etkileri dikkate alınmıştır. Devrilme mekanizmaları dikkate alındığında oluşan duvar yer değiştirmelerinin, sadece kayma etkileri göz önünde bulundurulduğunda meydana gelen yer değiştirme miktarlarından daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Dönme, düşey ivme ve dolgunun dinamik tepkisinin bileşik etkileri hesaplanmıştır. Whitman-Liao (1985) modelinde, duvarın kayması esnasında dolgunun hareketi şekil 3.33'de görülmektedir.

Whitman ve Liao (1985) Richards-Elms modelinin duvar arkasındaki ivme amplifikasyonu, düşey ivme ve dönme hareketini göz önüne alamadığını belirtmişler ve 14 adet deprem hareketini değerlendirerek ortalama kalıcı deplasman,  $d_{kalıcı}$ , için aşağıda verilen bağıntıyı önermişlerdir.

$$d_{kalıcı} = \frac{37 \times V_{\max}^2}{A} \times \exp^{-9,4 \left( \frac{N}{A} \right)} \quad (3.38)$$

- $d_{kalıcı}$  : İzin verilebilir deplasman (inch)  
 A : Pik ivme değeri  
 $V_{\max}$  : Yer hareketinin pik hız değeri  
 N : Eşik ivme değeri



Şekil 3.33 Duvarın kayması sonucunda dolgunun hareketi (Whitman ve Liao, 1984)

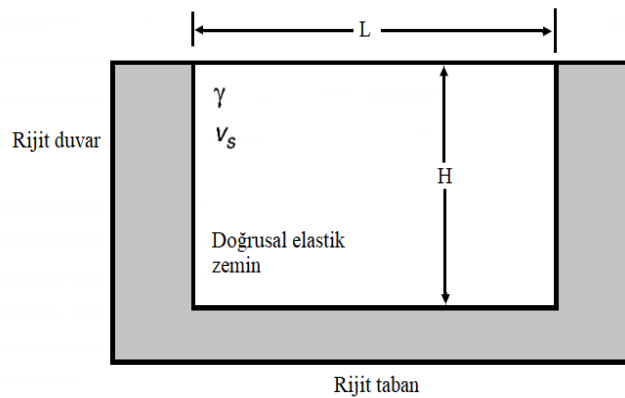
### 3.1.7. Hareketi Engellenmiş İstinat Duvarları

Kaya ve bodrum duvarları üzerine inşa edilen ağırlık duvarları yeterince hareket edemediği için minimum aktif toprak basıncı veya maksimum pasif toprak basıncı

oluşmamaktadır. Bu duvarların çatlamasını ve yenilmesini önlemek için, tasarım basınçları pik ivmeye göre hesaplanmıştır. (Whitman 1991).

### 3.1.7.1. Wood yöntemi

Rijit tabana oturtulmuş iki rijit duvar arasındaki homojen, doğrusal elastik zeminin tepkisi incelenmiştir (Şekil 3.34) İki duvarın birbirinden uzak, bir duvar üzerindeki basınçlar diğer duvar üzerindeki basınçtan fazla etkilenmeyecek şekilde dizayn edilmiştir. Wood, düşük frekanslı hareketlerde dinamik büyütmenin ihmal edilebilir olduğunu göstermiştir. (Örneğin serbest durumdaki dolgunun hâkim frekans ( $f_1=V_s/4H$ ) değerinin yarısı olduğu durumda). Bu frekans aralığında, duvarın üzerine etkileyen toprak basınçları, zeminin tümüne uygulanan üniform, sabit yatay ivme örneğindeki elastik çözümden elde edilir.



Şekil 3.34 Esnemeyen duvarlar üzerindeki basınçların Wood, (1973) analizi için duvar geometrisi ve notasyonu (Kramer, 1979)

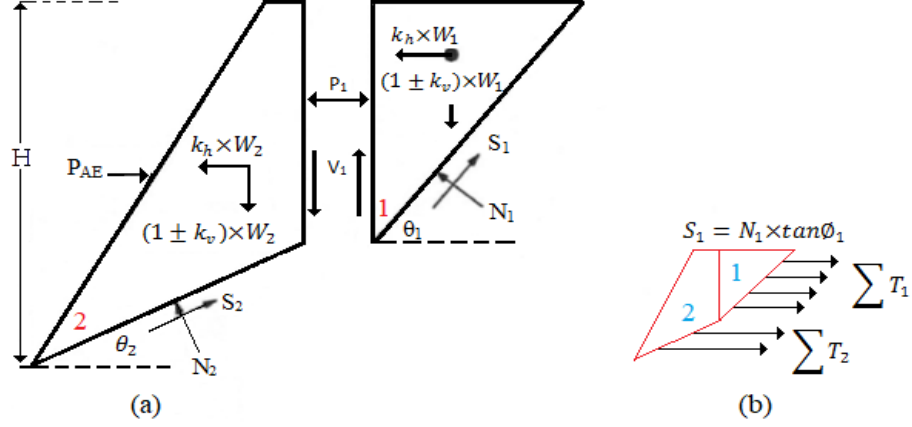
### 3.1.8. Eurocode 7 ve 8 Yöntemi

Eurocode 8, depreme dayanıklı yapıların temel zeminine ilişkin gerekli, kriterleri ve kuralları kapsar. Bu standart deprem etkisine (sismik etkiye) maruz yapılarda, farklı temel sistemlerinin tasarımlarını, zemin istinat yapılarının tasarımını ve yapı-zemin etkileşimini kapsar. Depreme dayanıklı yapıların özel tasarım gereklerini kapsamayan Eurocode 7 için tamamlayıcı niteliktedir.

### 3.1.9. İki parçalı Kama Göçme Mekanizması Yöntemi

İki parçadan oluşan bir kayma düzlemi boyunca, yatay ve düşey ivme bileşenleri tarafından oluşturulan kuvvetlerin diyagramı Şekil 3.35’de gösterilmiştir:





Şekil 3.35 İki parçalı kayma düzlemi analizi (a) kuvvet diyagramı (b) donatı kuvvetleri (Shukla, 2002)

Yukarıda gösterilen kuvvetler aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$P_1 = \frac{(1 - k_v) \times W_1 + B_1 \times A_1 \times k_v \times W_1}{\lambda \times \tan \phi_f + B_1 \times A_1} \quad (3.39)$$

$$V_1 = P_1 \times \lambda_x \times \tan \phi_f \quad (3.40)$$

$$A_1 = \frac{1}{\sin \theta_1 - (\tan \phi_f \times \cos \theta_1)} \quad (3.41)$$

$$B_1 = (\tan \phi_f \times \sin \theta_1) + \cos \theta_1 \quad (3.42)$$

Kamalar arası sürtünme ( $\lambda$ ) 0 ile 1 arası değerler alır.  $\phi_f$  ise  $\phi$ 'nin oranı olarak ifade edilir (Shukla, 2002).

$$\phi_f = \tan^{-1} \left( \frac{\tan \phi}{FS} \right) \quad (3.43)$$

Buradan  $P_{AE}$  aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$P_{AE} = P_1 + k_h \times W_2 - B_2 \times A_2 \times [(1 - k_v) \times W_2 + V_1] \quad (3.44)$$

$$A_1 = \frac{1}{\sin \theta_1 - (\tan \phi_f \times \cos \theta_1)} \quad (3.45)$$

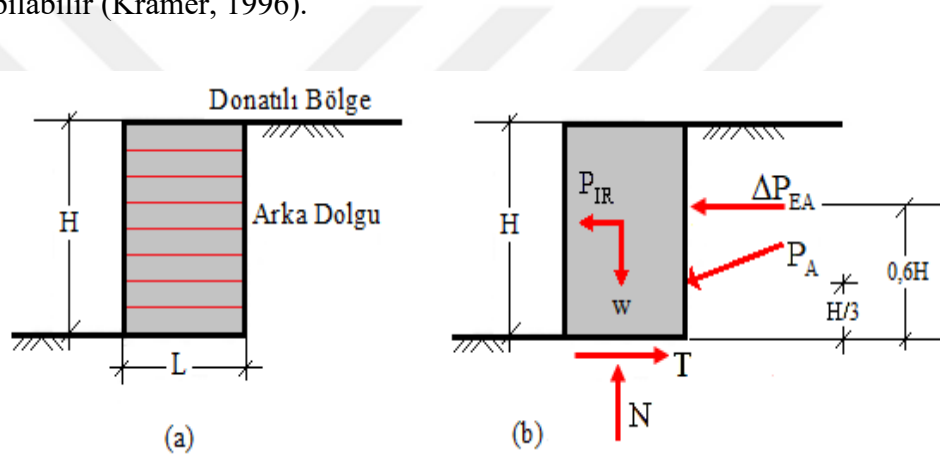
$$B_2 = (\tan \phi_f \times \cos \theta_2) - \sin \theta_2 \quad (3.46)$$

Güvenlik sayısı (GS=1) bir alınarak, en kritik yüzeydeki toplam aktif toprak basıncı aşağıdaki bağıntı 3.47 hesaplanmaktadır.

$$K_{AE} = \frac{2 \times P_{AE}}{\gamma \times H^2} \quad (3.47)$$

### 3.1.10. Steven L Kramer

Kramer (1992) tarafından önerilen alternatif sismik iç ve dış stabilite analiz yönteminde donatılı bölgeye etkiyen kuvvetin sadece kendi ağırlığı  $W$  ile statik zemin itkisi  $P_A$  olduğu varsayılır. Deprem yükü, dinamik zemin itkisi  $P_{AE}$  ve donatılı bölgedeki atalet kuvveti  $P_{IR}$  olmaktadır. Belirli bir duvar tasarımının dış stabilite analizi aşağıdaki gibi yapılabilir (Kramer, 1996).



Şekil 3.36 (a) Donatılı zemin duvarı geometrisi ve notasyon;

(b) Donatılı bölgeye etkiyen statik ve psödo-statik kuvvetler (Kramer, 1996).

Pik yatay yer ivmesi ( $a_{max}$ ) hesaplanır,

1. Donatılı bölgesinin ağırlık merkezindeki pik ivme aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır,

$$a_c = \left( 1,45 - \frac{a_{max}}{g} \right) \times a_{max} \quad (3.48)$$

2. Dinamik zemin itkisi aşağıdaki formül ile hesaplanır,

$$\Delta P_{AE} = 0,375 \times \left[ \frac{a_c \times \gamma^{(b)} \times H^2}{9} \right] \quad (3.49)$$

$\gamma^{(b)}$  : Arka dolgu zeminin birim hacim ağırlığı ( $\text{kN/m}^3$ )

3. Donatı bölgesi üzerine etkiyen atalet kuvveti hesaplanır,

$$P_{IR} = \frac{a_c \times \gamma^{(r)} \times H \times L}{9} \quad (3.50)$$

$\gamma^{(r)}$  : Donatı bölgesindeki zeminin (seçilmiş dolgu) birim hacim ağırlığı (kN/m<sup>3</sup>)

Donatılı zemine etkiyen statik kuvvetlere  $P_{AE}$  ve  $P_{IR}$ 'nin %50'sini ekleyerek kaymaya ve dönmeye karşı stabilite kontrol edilir ( $P_{IR}$ 'nin azaltılmış değerinin kullanılmasının nedeni,  $\Delta P_{AE}$  ve  $P_{IR}$ 'nin maksimum değerlerinin aynı anda gerçekleşme ihtimalinin zayıf olmasıdır). Dinamik yüklere göre tasarımda kaymaya ve dönmeye karşı emniyet katsayıları, statik yükleme için minimum kabul edilebilir emniyet katsayılarının %75'ine eşit veya büyük olmalıdır (Kramer, 1996).

**Çizelge 3.6** Statik ve dinamik durum için güvenlik sayıları

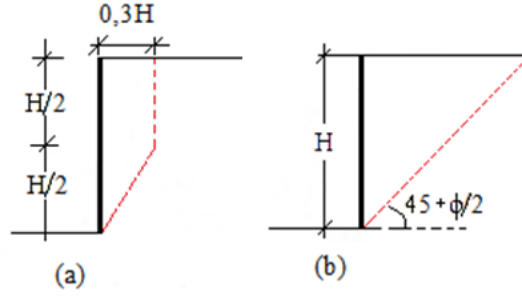
Tahkik Türü	Minimum Güvenlik Sayısı	
	Statik	Dinamik
Dış Stabilite / Kayma	1,50	1,125
Dış Stabilite / Dönme	2,00	1,500
Dış Stabilite / Taşıma Gücü	2,00	1,500
İç Stabilite / Kopma	1,75	1,750
İç Stabilite / Sıyırılma	2,00	2,000

Kramer'e göre Dinamik şartlar için iç stabilite aşağıdaki adımlar takip edilerek yapılabilir: (Kramer, 1996).

1. Potansiyel kayma yüzeyine etkiyen psödo-statik atalet kuvveti ( $P_{IA}$ ) belirlenir,

$$P_{IA} = \frac{a_c \times W_A}{g} \quad (3.51)$$

- $W_A$  : Kayma düzleminin (aktif kamanın) ağırlığı  
 $P_{IA}$  : Psödo-statik atalet kuvveti  
 $a_c$  : Donatı bölgesi ağırlık merkezindeki maksimum ivme.  
 $g$  : Yerçekimi ivmesi



**Şekil 3.37** Dinamik iç stabilite tahkikleri için kayma düzlemlerinin tanımlanması (a) uzayamaz donatı (b) uzayabilen donatı (geosentetik) (Kramer, 1996).

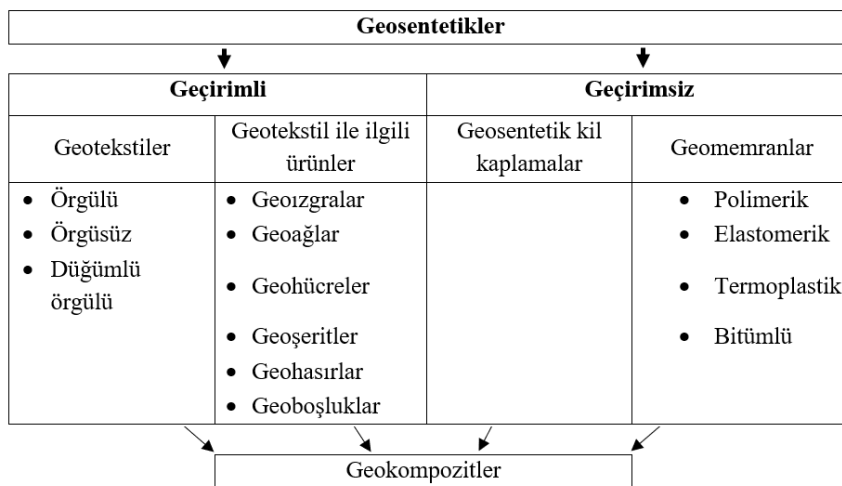
2.  $P_{TA}$  kuvveti potansiyel kayma yüzeyi dışına uzanan donatı boyları ile orantılı olarak her donatı katmanına dağıtılır.
3. Çekme kuvvetinin dinamik bileşenlerini çekme kuvvetinin statik bileşenlerine ekleyerek her donatı katmanı için toplam çekme kuvveti hesaplanır,
4. İzin verilebilir (müsaade edilen) donatı çekme dayanımının her donatı katmanındaki toplam çekme kuvvetinin en az %75'i kadar olduğu kontrol edilir,
5. Sıyırılma tahkiki yapılır, her donatı katmanının, potansiyel kayma yüzeyinin dışından itibaren gerekli boy kadar zemin içerisinde olduğundan emin olunmalıdır.

## 3.2. GEOSENTETİKLER

### 3.2.1. Geosentetik Tanımı ve Sınıflandırması

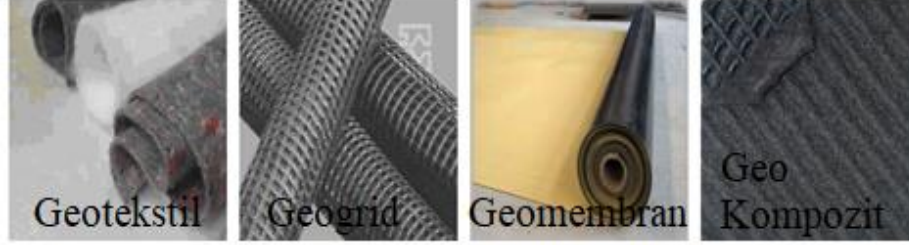
Zemin içerisinde ve diğer yapı malzemeleriyle kullanılan sentetik yüzey elemanlarının genel adıdır. Bu tanım altında, neredeyse tamamen polimer esaslı birçok geosentetik ürün çeşidi vardır. Bu ürünlerden, günümüzün geniş üretim ve tasarım olanakları sayesinde, geoteknik, çevre, hidrolik ve ulaştırma mühendisliği alanlarında kullanılmaktadır (Shukla, 2002). Geo, “zemini”, sentetik ise geosentetik üretimi için gerekli olan polimerler olmak üzere, “fiberglas, lastik, kauçuk” gibi plastik endüstrisi ürünlerini ifade etmektedir (Koerner, 1998).

Geosentetikler 1970’li yıllarda yaygın olarak kullanılmıştır. Geosentetikler ile ilgili terimler ve tanımları veren prEN ISO 10138 nolu taslak Avrupa standartına göre geosentetik tanımı, ürünün içerebileceği doğal ve sentetik polimerleri ve diğer malzemeleri kapsayacak şekilde; inşaat mühendisliği uygulamalarında zemin ve/veya diğer malzemelerle temas halinde kullanılan, en az bir bileşeni doğal veya sentetik bir polimerden imal edilmiş tabaka, şerit veya üç boyutlu bir yapı içeren ürünlerdir (Wasti, 2007). Geosentetiklerin görevleri, ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme ve yalıtım olarak sıralayabiliriz. Çok farklı türde ve işlevsellikte geosentetik malzemeler mevcuttur. EN ISO 10138, (2004) (Floss ve Brau, 2004), göre geosentetikler Şekil 3.38’de gösterilmiştir.



Şekil 3.38 Geosentetiklerin grublandırılması (prEN ISO 10138) (Floss ve Brau, 2004)

Geosentetikler ilk olarak kullanılmaya başlandığında beş veya altı çeşidi varken, günümüzde farklı işlevleri ve kullanım alanları olan değişik isim ve markalarda 600'den fazla çeşidi ile çok geniş ürün yelpazesi sunmaktadır (Şekil 3.39).



Şekil 3.39 Yaygın kullanılan geosentetik örnekleri



Şekil 3.40 Geosentetik ürünler

### 3.2.1.1. Geotekstilller

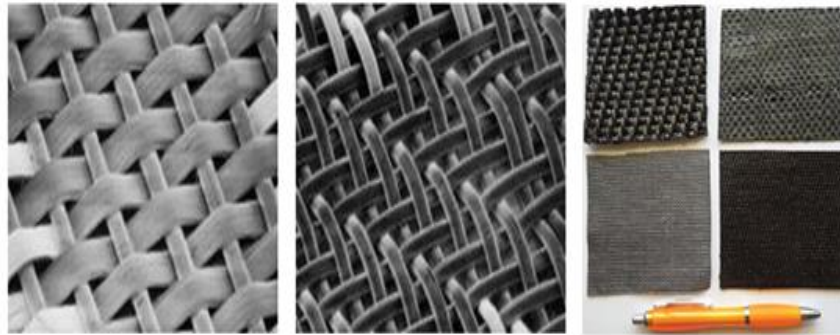
ASTM, geotekstili “bir inşaat mühendisliği projesi, yapısı veya sistemin bir parçası olarak zemin, kaya, toprak veya geoteknik mühendisliği ile ilgili herhangi bir malzeme ile birlikte kullanılan geçirimli tekstil ürünü” olarak tanımlamaktadır. Geotekstil

geçirimli tekstil ürünü, esnek ve geçirimli bir malzeme olması, çekme dayanımına sahip olması, hızlı, kolay ve ekonomik çözümler sağlaması gibi nedeniyle inşaat sektöründe ve geoteknik mühendisliğinde uygulama alanı hızla artan sentetik polimer içerikli bir malzemedir (Wasti, 1992).

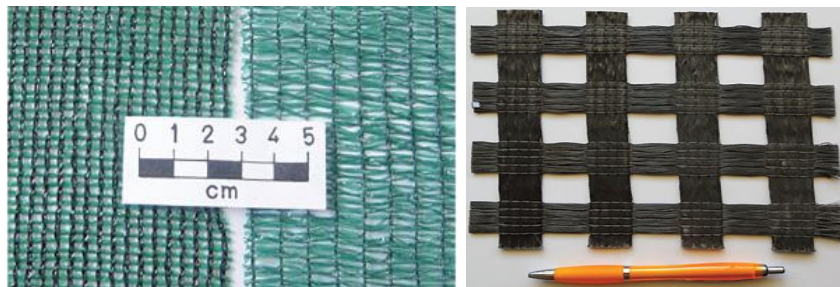
Geotekstiller polipropilen, polyester ve polietilen gibi sentetik polimerlerden oluşur. Geotekstillerin imalatında öncelikle polimer üretilir, daha sonra bu polimerden elde edilen çok ince iplikçikler (fiber) üretilir. Fiberlerin işlenmesiyle belirli uzunluktaki, dokunmaya hazır, özel incelikteki sentetik iplik de diyebileceğimiz filamentler ve fiberler kullanılarak eğirme yoluyla belirli uzunlukta ve incelikte, bükülmüş veya bükülmemiş olarak geotekstil üretiminde kullanılmak üzere iplikler üretilmiş olur (Kotan, 2008). Son yıllarda üretimi hızla artan ve kullanımı en yaygın olan geotekstiller üretim tekniğine göre örgülü (woven) ve örgüsüz (nonwoven) iki tip olarak sınıflandırılırlar.

### 3.2.1.1.1. Örgülü (dokumalı= woven) geotekstiller

Örgülü geotekstiller, polyester ve polipropilen elyaf kullanılarak çeşitli dokuma yöntemleriyle imal edilen ve genellikle zemine yük taşımak için kullanılır. Basitçe örgü sistemi, üretim yönünde uzatılan lif veya şeritler arasından, onlara dik olarak lif veya şeritlerin geçirilmesi şeklindedir (Şekil 3.41 ve 3.42).



Şekil 3.41 Örgülü geotekstil çeşitleri (Shukla, 2016)

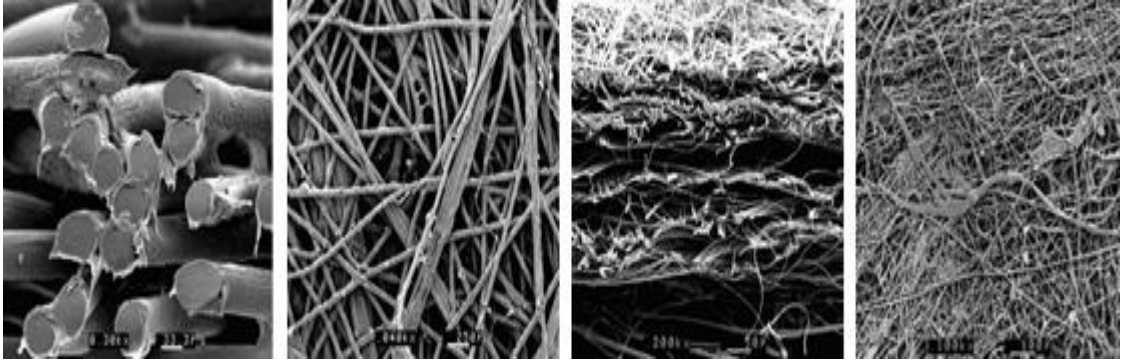


Şekil 3.42 Örme ve dikişli geotekstil (Shukla, 2016)



Örgülü geotekstillerin üretiminde fiber, filament veya iplikler kullanılır. Fiber, kesilmiş film şeritlerini de içeren, bükülebilirliğe, inceliğe sahip, yüksek boy/kalınlık oranı ile karakterize edilen malzemelerdir. Filament, belirli uzunluğa sahip fiberlerdir. İplik (yarn) belli bir uzunluğa sahip, küçük enkesitli, bükülmüş veya bükülmemiş fiber veya filamentlerin montajlanmış, geotekstil üretimine hazır hale getirilmiş hali için kullanılır (Giroud, 1986).

Örgülü geotekstilleri tek ve çok filamentli, şerit esaslı veya kesikli film gibi sınıflandırılabilir. *Tek filamentli iplikler*, tek, kalın, yuvarlak kesitli, beraberce haddelenmiş, soğutulmuş, ısı çekim yapılarak ve son işleme tabi tutularak üretilmiştir. *Çok filamentli iplikler*; çok ince ve belirli uzunluğa ipliklerdir. *Şerit ürünler*, eğrilmemiş, yassı, uzun çekilmiş şeritlerden yapılarak su geçirgenliği düşüktür. *Kesikli film tipi ürünler* ise liflendirilmiş film ipliklerden yapılıdır (Şekil 3.43).



Şekil 3.43 Isıl işlemeyle bağlanmış örgülü geotekstilin elektron mikroskobu görüntüleri

Güçlendirme, bu tip geotekstillere, yüksek çekme kuvveti sahip ve iyi bir yük dağılımı sağlayarak uzamaları azaltır. Yük taşıma kapasitesini arttırmak, alt temel tabakasını sınırlandırmak ve zemin ile alt temelin ayrılmasını sağlamak amacıyla bisiklet-yaya, şehir içi, kırsal kesim ve geçici yollar, otoyollar (hava-kara-demir), donatılı duvarlar ve drenaj sistemleri örgülü geotekstilin uygulandığı yerlerdir. Dünyada ve ülkemizde kullanılan örgülü (woven) geotekstilde gereken özellikler aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 3.7).



**Tablo 3.7** Geotekstil donatının sağlaması gereken özellikler (Güler, 2006)

Özellik	Değer
Üretim yönü	Örgülü
Min. birim alan ağırlığı (DIN-EN-965)	190 g/m <sup>2</sup>
Min. çekme mukavemeti (DIN-EN-ISO 10319)	40 kN/m
Örgü yönünde %5 deformasyon altında minimum çekme kuvveti (DIN-EN-ISO 10319)	18 kN/m
Maksimum çekme kuvveti altında çözümlü ve örgü yönünde maksimum deformasyon (DIN-EN-ISO 10319)	%22
CBR Statik Delme Deneyi (DIN-EN-ISO12236)	4 kN
Dinamik delme deneyinde maksimum delme çapı (DIN-EN-918)	12 mm
Min. permeabilite (EN ISO 11058)	1×10 <sup>-3</sup> m/s
Maksimum karakteristik açıklık büyüklüğü (EN ISO 12956)	250 mikron
500 saat sonunda çekme mukavemetinin %'si cinsinden minimum Ultra-Viole dayanımı (ASTM-D-43 55)	%80
Mikrobiyolojik degradasyona sonucunda çekme mukavemetinin %'si cinsinden minimum çekme dayanımı (EN 12225)	%80

### 3.2.1.1.2. Örgüsüz (dokumalı olmayan=nonwoven) geotekstiller

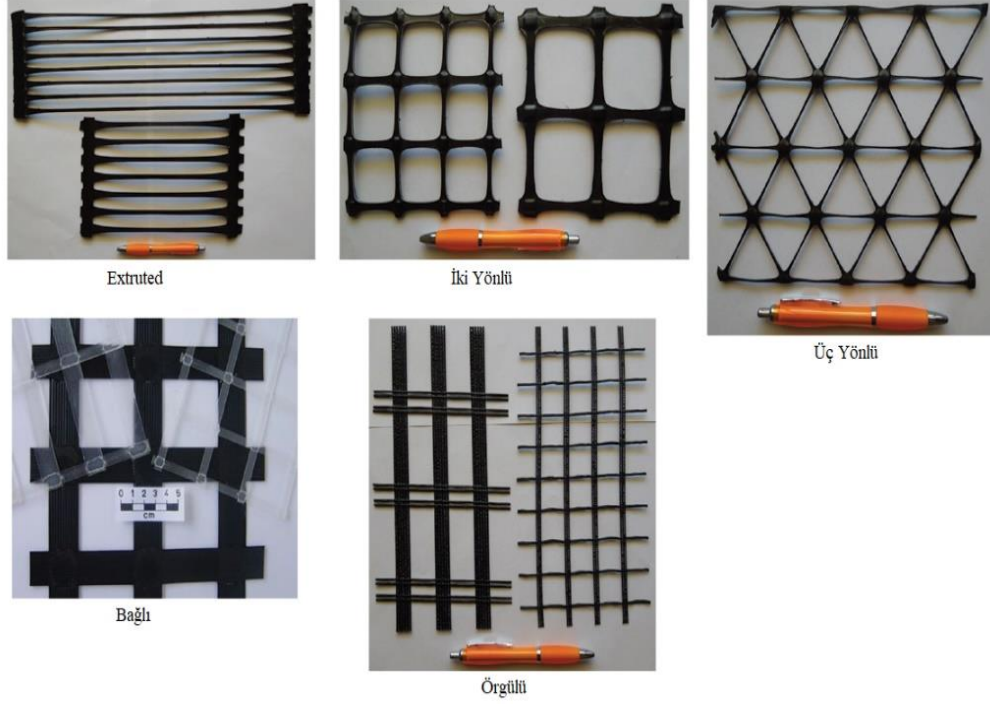
Polimer iplikçiklerin bir yönde veya düzenleme olmadan mekanik, kimyasal veya ısıl yöntemlerle birbirine bağlanmasıyla, dokuma ve dikiş yöntemleri kullanılmadan üretilmektedir. Örgüsüz geotekstiller EDANA (European Disposables And Non-wovens Association) mekanik, kimyasal veya fiziksel vasıtalarla (dokuma, örgü, tafta, dikişle tutturma ve geleneksel keçe yöntemi hariç) üretilmiş veya birbirine tutturulmuş tek yönlü veya gelişigüzel dizili elyaftan imal edilmiş tabaka, ağ veya yumak olarak tanımlanmaktadır (Dizayn, 2013)

Isı yoluyla bağlamada, iğneleme işlemlerinden geçen ve polimer iplikçiklerden oluşan ağ, fırınlanarak eritilir ve çaprazlaştıkları noktalarda liflerin sabitleştirilmeleri sağlanır Sabitleştirme işlemi malzeme dayanıklılığı artırırken, uzama ve yumuşaklığı azalmak için yapılır. Kimyasal bağlamada, lifler öncelikle akrilik banyosuna yatırılarak veya üzerlerine akrilik püskürtülerek polimerize duruma getirilir. Sonra fırınlanarak çaprazlaştıkları noktalarda bağ oluşumu sağlanır. Bu yöntem malzemeye önemli bir dayanım kazandırmakla beraber az uzama sağlamaktadır.

### 3.2.1.2. Geogridler

Geogridler, yüksek yoğunluklu polietilen ve polyester iplikçiklerden, dışında bir koruyucu tabaka ile kaplanmış olarak imal edilen zemin donatı malzemeleridir. Yüksek çekme mukavemetine sahip iplikçiklerin dikdörtgen oluşturacak şekilde birleştirilmesiyle veya delikleri açılmış geosentetik malzemenin iki doğrultuda çekilmesi ile üretilmektedir

(Özkol, 2006). Geogridler kullanım amaçlarına göre tek yönlü veya çift yönlü olarak imal edilirler (Şekil 3.44).



Şekil 3.44 Tipik geogridler (Shukla, 2016)

Tek yönlü geogridler, dikdörtgen göz açıklıklıdır. Tek doğrultuda fazla yük taşıyan, donatılı duvar imalatlarında kullanılmaktadır. Zemin iyileştirmesi ve yol inşaatı uygulamalarında kullanılan çift yönlü geogridler, kare veya dikdörtgen göz açıklıklı ve her iki yönde de aynı taşıma kapasitesine sahiptir.

Geogrid uygulandığı yerde üzerine serilen dolgu veya granüler malzeme ile kenetlenme prensibine göre çalışır. Bundan dolayı geogridlerde açıklık olarak adlandırılan, zeminin içinden geçtiği genişlik, enine ve boyuna olan şeritler arasındaki mesafeler ve zemine bağlanmasını da sağlayan şeritlerin mukavemetleri ve bu şeritlerin bağlanma yerlerinin dayanımları da önemlidir. Geogrid üzerine serilen zemin daneleri, üstten gelen basınç nedeniyle açıklıklardan geçmeye çalışırken geogridin yüksek mukavemetli şeritlerine sürtünen ve kenetlenen dolgu, donatılı bir yüzey oluşturmaktadır. Böylece kenetlenme mekanizması işlemiş olur. Bu kenetlenme mekanizması sayesinde geogridler, zemin tabakalarının bir bütün olarak çalışmasını ve yüklerin çok daha fazlasını taşıyabilmektedir (Şekil 3.45). Geogridler sayesinde, zemin emniyet gerilmelerini arttırmak ve oluşacak oturmaları üniform şekilde minimum düzeye indirmek mümkündür.



Şekil 3.45 Geogridlerin kenetlenme mekanizmasının işleyişine örnekler

Geogridler, arazilerin son derece önemli olduğu günümüz koşullarında, geoteknik mühendisliğin karşılaştığı sorunlara doğru teşhisler neticesinde hızlı, ekonomik, estetik ve kolay çözümler sunabilmektedir. Tren yollarında balastın altında, kaplamasız yollarda agrega altında, dolguların (sürşarj ve geçici) altında, geotekstil-geomembran arasında, kaplamalı yollarda asfalt donatısı, karstik bölgede, köprü kenar ayaklarında gabion oluşumunda ve birçok alanda kullanım alanı bulunmaktadır.



Şekil 3.46 Geogridlerin çeşitli görünümleri

Mevcut zemin, üzerine yapılacak yapıdan gelen yükler altında emniyeti aşıyorsa, gelen yükleri taşımak için yeterli kabiliyete sahip değilse, temel güçlendirmeleri için ve zayıf zemin iyileştirmeleri için, basınç dayanımı yüksek olan mevcut zeminle çekme dayanımı yüksek geogridin birlikte kullanılmasıyla istenilen taşıma gücü sağlanabilir. Ayrıca yol dolgularında, şev yenilmelerinde, kazık başlık platformlarında ve donatılı duvarlarda da geogridleri kullanmak ekonomiklik ve zaman tasarrufu sağlanmaktadır. Günümüzde artık çok yaygın olarak kullanılan geogrid donatılarının sağlaması gereken özellikler aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 3.8).

**Tablo 3.8** Geogrid donatının sağlaması gereken özellikler (Güler, 2006)

Özellik	Değer
Minimum çekme dayanımı, her iki doğrultuda (EN ISO 10319)	40 kN/m
Kopmadaki minimum uzama, her iki doğrultuda (EN ISO 10319)	%10
Atmosfer koşullarında degradasyona sonucunda çekme mukavemetinin %'si cinsinden minimum çekme dayanımı (EN 12224)	%85
Asit ve Alkali (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Ca(OH) <sub>2</sub> ) ortamlarda çekme mukavemetinin %'si cinsinden minimum çekme dayanımı (EN 14030)	%99
Mikrobiyolojik degradasyona sonucunda çekme mukavemetinin %'si cinsinden minimum çekme dayanımı (EN 12225)	%95
Hidrolyz sonucunda çekme mukavemetinin %'si cinsinden minimum çekme dayanımı (EN 12447)	%99

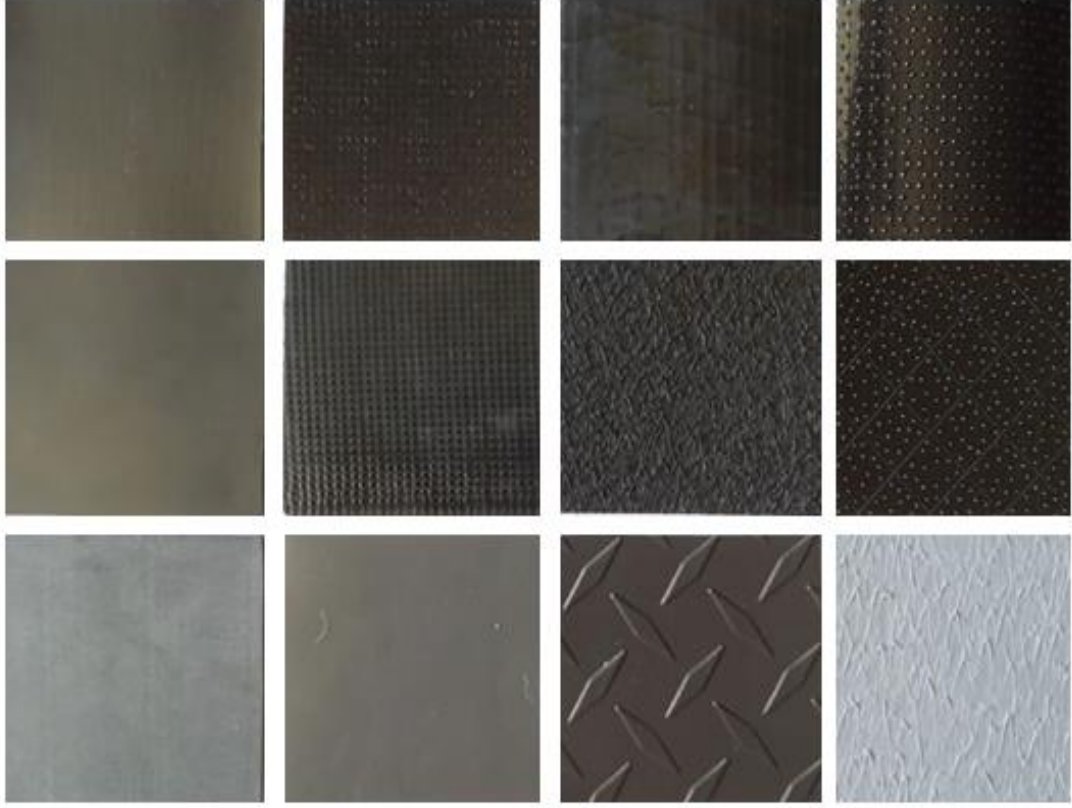
### 3.2.1.3. Geomembranlar

Geomembranlar ASTM'de "geoteknik mühendisliği ile ilgili insan yapısı bir proje, yapı ve sistemde sıvı akımını kontrol altına alabilecek kadar düşük geçirgenlikte asfalt, polimer ve bunların karışımı sonucunda meydana gelen sürekli membran tipi kaplama ve izole bariyeri" olarak tanımlanmaktadır (Wasti, 1992)

Geomembranlar, çeşitli polimer hammaddeler kullanılarak üretilen, yüksek uzama ve çekme mukavemeti değerlerine sahip, her iki yönde de sürekli ve geniş yüzey alanı olabilen, çevre şartlarına ve kimyasallara dayanıklılık gösteren plastik geçirimsiz yüzey örtüleridir (Şekil 3.47). Yalıtım amaçlı kullanılan bu malzemeler bir projenin uzun süreli olarak yalıtımını sağlayacakları için her türlü çevre şartları ve zorlanmalar altında özelliklerini kaybetmemeleri için yüksek polietilen hammaddesinden üretilirler.

Geomembranları fiziksel yapıları ve kullanım alanlarındaki çeşitlilik sebebiyle PVC (plastik) esaslı, LDPE (düşük yoğunluklu polietilen) ve HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) esaslı olmak üzere üç çeşittir. PVC geomembranların malzemesi yumuşak olduğu için girintili-çıkıntılı detaylarda kolay çözümler sunmaktadır. Polietilen malzemeler, özgül ağırlığı, hammadde fiyatı, üretimi şekline dolaylı maliyeti yüksektir. (Şekil 3.48.a). Daha ekonomik olan HDPE geomembran, basınca, darbeye, kimyasallara ve yüke karşı dayanıklıdır. Sert bir malzeme olduğu için düz alanlarda uygulanabilir, dönüşlerin ve kıvrımların bulunduğu detaylara uygun değildir. Bu kısımlarda potluk ve detay sıkıntıları meydana gelir. Kaynak detayları sağlıklı yapılmadığı zaman imalatın kalitesi düşük olabilmektedir (Şekil 3.48.c).

LDPE geomembran, PVC geomembrana göre yumuşak, HDPE geomembran kadar sert değildir. UV uzun ömürlü, orta yumuşaklıkta, ekonomik, dayanıklı, aşırı girinti çıkıntı olmadığından uygulamalarda detay problemi yoktur (Şekil 3.48.b).



Şekil 3.47 Tipik geomembran çeşitleri (Shukla, 2016).



Şekil 3.48 Geomembran çeşitleri

Geomembranlar, ek yerlerinde birbirinin üstüne 10 cm kadar bindirilerek birbirine paralel olacak şekilde makine ile çift dikişli kaynak işlemi ile birleştirilirler. Bu kaynak işlemi, geomembranın cinsine ve üretim şekline bağlı olarak sıcak füzyon kaynağı veya yapıştırma şeklinde yapılır (Şekil 3.49). Geomembranların üstünlüğü dikişe bağlı olup arazide yapılan uygulamalarda dikişlerin denetlenmesi ve kaynağın yeteri sağlamlıkta olup olmadığı kontrol edilmelidir.





Şekil 3.49 Geomembranın ısıl işlem ve yapıştırma ile birleşimi (www.pvcgeomembranyalitimi.com)

Kaynak işleminden sonra birbirine paralel çift kaynaklı ek yerlerinde bulunan, iki kaynak arasındaki test kanallarına basınçlı hava verilerek kaçak olup olmadığı kontrol edilir (Şekil 3.50). Ayrıca geomembranlar zarar gördüğünde delinen veya yırtılan bölgelerine aynı malzemeden yama yapılarak onarımı sağlanır.



Şekil 3.50 Geomembran birleşimlerinin basınçlı hava ile test edilmesi

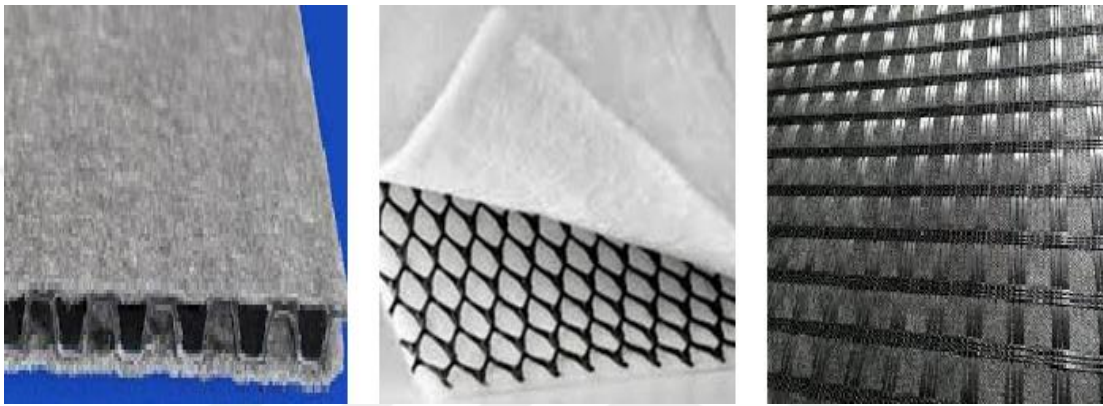
Geomembranlar, inşaat ve diğer mühendislik alanlarında, sıvı atıklar ve su kanalları için kaplama malzemesi olarak, tüneller, kaya dolgu barajlarda geçirimsizliği sağlamak için, şişen ve dona hassas zeminlerin kontrolünde, asfalt üst kaplamaların altında sızdırmazlığı sağlayan tabaka olarak kullanılmaktadır. Geomembranların sağlanması gereken özellikler aşağıdaki tablo 3.9’da verilmiştir.

Tablo 3.9 Geomembranın sağlanması gereken özellikler (Güler, 2006)

Yapılan deneyler	İstenen fiziksel özellikler
Genel görünüm (DIN 16726)	Boşluklar, lekeler ve çatlaklar olmayacak
Çekme mukavemeti (ASTM D 638)	Minimum 15 N/mm <sup>2</sup>
Kopmada uzama (DIN 16726)	Minimum %200
Soğukta bükülme (ASTM D 746)	Çatlama yok
Su emme oranı (DIN 16726)	Maksimum %0,1
Sertlik (DIN 16726)	Minimum 48 shore
Yırtılma dayanımı (DIN 53363)	Minimum 100 N/mm <sup>2</sup>
Kaynak mukavemeti (ASTM D 746)	Yırtılma kaynak kenarından olmalı
Statik basınç altında davranış (DIN 16726)	4 bar, 12 h, Su geçirimsiz
Delinme (DIN 54307)	500 gr ağırlığında bir kütle 300 mm yükseklikten bırakıldığında delinme olmayacak

### 3.2.1.4. Geokompozitler

İnşaat sektöründe gün geçtikçe artan ihtiyaçların karşılanması yeni projeler ve yeni ürünler geliştirilmektedir. Sektördeki bu gelişmelere bağlı olarak kullanılan geosentetik çeşitlerinin artması ve değişik çözüm önerileri geliştirilmiştir. Geokompozitler değişik çözüm önerilerinin sonucunda ihtiyaçların karşılanması için kullanılmaktadır. Geokompozitler, iki ya da daha fazla geosentetik malzemenin bir araya getirilerek beraber kullanılması ile oluşturulur (Şekil 3.51).



Şekil 3.51 Geokompozit

Geosentetik malzemelerin çeşitli birleşimlerinden oluşan geokompozitler birden fazla fonksiyonu yerine getirerek, geosentetik malzemenin tek başına kullanımından daha etkin çözümler sunabilmektedir. Geokompozitler ayırma, güçlendirme, filtrasyon ve drenaj işlemleri göz önünde bulundurularak kullanılmaktadır (Koerner, 2014).

**Geotekstil-Geonet Kompozitler:** Geotekstil, geonetin altında veya üstünde kullanıldığı zaman ayırma ve filtrasyon özellikleri sağlanmaktadır. Donma ve tuzlanma görülen bölgelerde yatay olarak yerleştirildiğinde sızan suyu kapiler bölgeden drene etmektedir. Su geokompozitin içine nüfus ettiği zaman geonetin açıklarında su yatay olarak hareket edeceğinden zarar vereceği yerden uzaklaştırılmış olmaktadır. **Geotekstil-Geomembran Kompozitler:** Geotekstillere, geomembranın bir veya iki yüzüne yapıştırılarak, geotekstillerin patlama, yırtılma, çekme dayanımları ve arayüz sürtünme açıları artışı olmaktadır (Koerner, 2014). **Geomembran-Geogrid Kompozitler:** Yüksek yoğunluklu polietilen imal edilen geomembran ve geogrid birlikte kullanılırsa yüksek dayanım sağlanmaktadır. **Geotekstil- Geogrid Kompozitler:** geotekstil, geogrid ile birlikte kullanılırsa yüksek dayanım elde edilmektedir.

### 3.2.1.5. Geoforam

Hafif yol dolgusu olarak bilinen geoforam, EPS (genleştirilmiş polistiren), veya XPS (sıkıştırılmış polistrin) malzemesinden üretilmiştir. Geoforamlar, yumuşak ve zayıf zeminlerin üzerine oturan yol dolgularının konsolidasyon oturmalarını engellemede, istinat yapılarında yanal ve dinamik yüklerin azaltılmasında, don derinliği yüksek olan yerlerde temel derinliğinin azaltılmasında, zemin şişmesinden dolayı üst yapıda oluşacak hasarların azaltılmasında kullanılmaktadır.

Geoforam polimerik (plastik) veya camsı köpük esaslı malzeme olup ülkemizde kullanımı çok yaygın değildir. Geoforam kullanımı gevşek zemin üzerine yapılacak üst yapılar için taş kolon, jetgrout, enjeksiyon vs gibi zemin iyileştirme metotlarına alternatif bir yöntemdir. Bu ürün geosentetik malzemelerle birlikte geokompozit oluşturularak kullanılmaktadır. (Horvath, 1996).



şekil 3.52 Geoforam ( <http://www.epsindustry.org/other-applications/geoforam> )

### 3.2.1.6. Geohücre

Karayolu ve demiryolu şevlerinde, gölet kanal kıyı şevlerinde, eğimli yüzeylerde toprak tutma ve çimlendirmede, erozyon önleme ve bitkilendirme kullanılan geohücre altıgen veya üç boyutlu bal peteği şeklinde üretilen geosentetiklerdir.





Şekil 3.53 Geohücre <http://www.artusa.com.tr>

### 3.2.1.7. Geotüp

Geotekstil rulalarının bir araya getirilip dikilerek oluşturulan kapsül elemanlardır. Gözenekli bir yapısı olan bu tüpler, suya doymun bir malzeme veya sulu çamur doldurulduğunda tüp içerisindeki katı malzeme tutulmakta ve su geotekstilin gözeneklerinden dışarı süzülür. İlk uygulamalarda deniz ve bataklık diplerinde yer alan malzemelerin boşaltılması ve derinliğin artırılması için (dip taraması) çıkarılan sulu çamur ile doldurulup suyu tutmak için sedde teşkil edilmiştir (Şekil 3.54) Geotüp, kıyı koruma yapısı, deniz içi platform uygulaması, dere yataklarında meydana gelen oyulmaların kapatılması, arıtma çamuru susuzlaştırma projelerinde rahatlıkla kullanılabilir.



Şekil 3.54 Geotüp ve dip taraması ile elde edilen sulu çamur

### 3.2.1.8. Geosentetik kil örtü (Şilteler=Kaplama)

1988 yılında ABD’de kullanılan geosentetik kil örtüler, geçirimsizliği sağlayan kompozit malzemelerdir. Üst ve alt katmanları birbirine iğnelenmiş örgüsüz geotekstil ve geomembran veya örgülü ve örgüsüz geotekstillerin arasına sızdırmazlığı sağlayan

bentonit kilden oluşmaktadır. Genelde üst tabaka örgüsüz geotekstilden alt tabaka ise örgülü geotekstilden teşkil edilir. Ancak bazı durumlarda altta ve üstte her iki tabakada da örgüsüz geotekstil kullanılabilir. Orta tabakada bulunan bentonit malzemesi nem aldığı anda yüksek genişleme özelliğine sahip olup, genişleme esnasında malzeme üzerine uygulanacak baskı kuvveti ile istenilen geçirimsizlik değerine ulaşır. Geosentik kil kaplamaların kullanım alanları:

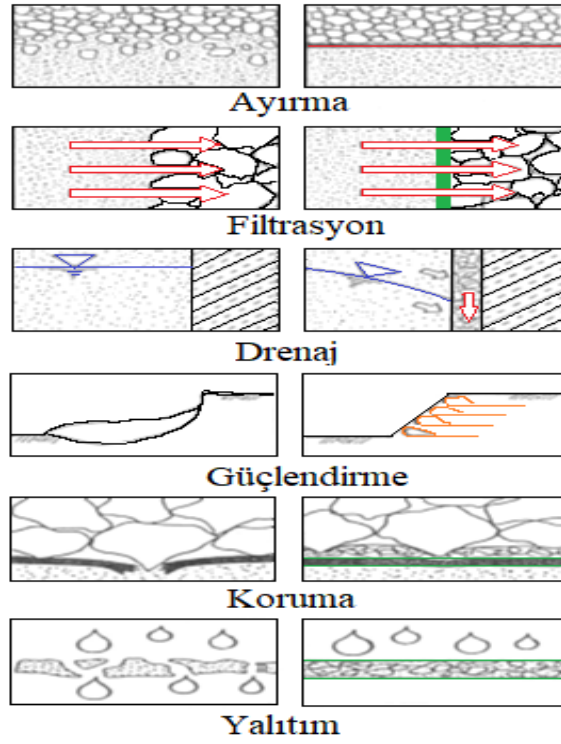
- Katı atık depolama sahaları
- Dolgularda, geomembranın altında ilk ve ikinci kaplama tabakası
- Yeraltı depolarında ikinci kaplama tabakası olarak
- HES projelerinde kanal izolasyonları
- Su havuzlarında geomembranın altında kompozit kaplama olarak
- Yangın söndürme göletleri, suni göletler, bina izolasyonları



Şekil 3.55 Geosentetik kil kaplama (<http://www.npd.com.tr/hizmetlerimiz/gclgeosentetik-kil-ortu/>)

### 3.2.2. Geosentetiklerin İşlevleri ve Kullanım Alanları

Mühendislikte geniş kullanım alanı bulunan geosentetikler zemin ile beraber kullanıldıklarında *ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme, koruma* ve *yalıtım* gibi fonksiyonların en az bir tanesini gerçekleştirirler (Şekil 3.55). Geosentetik çeşitlerinin her birini ayrı ayrı bu altı işlevlerden en az birini yerine getirdiği için farklı isimlerle ayrılmıştır (Tablo 3.10, 3.11 ve 3.12).



Şekil 3.56 Geosentetiklerin fonksiyonları (Aksoy,1993)

Tablo 3.10 Geosentetik tipleri ve fonksiyonları (Wasti, 1992)

Geosentetik Tipi	Ayrma	Güçlendirme	Filtrasyon	Drenaj	Yalıtım	Koruma
Geotekstil	√	√	√	√		√
Geogrid		√				
Geomembran					√	√
Geokompozit	√	√	√	√	√	√

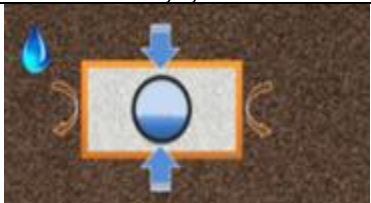
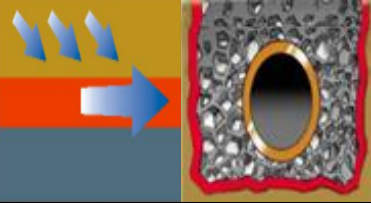
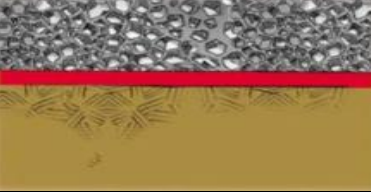

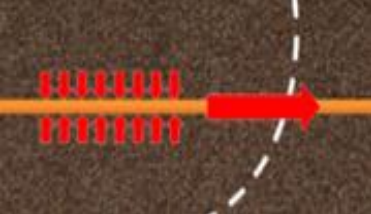


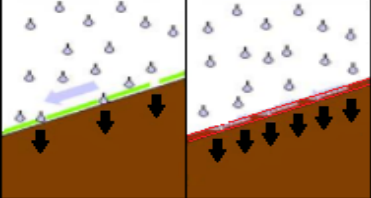
**Tablo 3.11** Geosentetik uygulama alanları ve işlevleri (Wasti, 1992)

UYGULAMA ALANI		İŞLEV					
		AYIRMA	FİLTREASYON	DRENAJ	GÜÇLENDİRME	KORUMA	YALITIM
Kaplamasız yollar		●	○	○	○		
Kaplmalı yol, uçuş pisti (Yapım safhası)		●	○	○	○		
Yol dolguları altında drenaj şiltesi		●	○	○	○		
Spor sahaları		●	○	○			
Kapilarite şilteleri		●	○				
Asfalt / beton takviye tabakası (Kaplmalı yol, uçuş pisti)	Geotekstil				○		●
	Geozgara				●		○
Demiryolları	Geotekstil	●	●	○	○		
	Kum şilte + Geotekstil	●					
	Geozgara				●		
Drenaj sistemleri ve problemleri	Kafa ve drenaj hendekleri						
	Toprak barajlar						
	İstinat duvarı arkası drenajı	○	●	○			
	Bina çevre / basınçlı su drenajı						
	Perfore drenaj borusunun sarılması						
Prefabrik bant dren kılıfı							
Şev yüzeyi (Erozyon) koruması		○	●	○			
Nehir, göl, deniz kıyı koruması		○	●	○			
Oyulma problemi (Köprü ayakların)		○	●	○			
Donatılı zemin duvarlar, donatılı dik şevler, dolgu genişletilmesi, şev ıslahı					●		
Donatılı dolgular					●		
Kazıklı sistemle taşınan dolgular					●		
Esnek kalıp			●	○	○		
Geomembran altında				●		●	

● Esas işlev

○ İkincil işlev

**Tablo 3.12** Fonksiyonlarına göre geosentetikler (Demiröz, 2008, Karagül 2006,)

Fonksiyon	Çeşit	Tanım
Filtre		<b>Geokompozit/Geotekstil</b> Suyun geçişi sağlanırken ince malzemenin diğerinin gözeneklerini tıkamaması veya yıkanma olayının oluşmaması için
Drenaj		<b>Geokompozit/Geonet/Geomembran</b> Kompozit olarak imalatı yapılan drenaj geosentetikleri fazla suyun düzlem içerisinde akmasına izin verir. Yapıyı suyun olumsuz etkilerinden korurlar.
Ayırma (Seperasyon)		<b>Geokompozit/Geotekstil</b> İki farklı zemin yapısını birbirinden ayırarak granüler zeminlerin ince daneli zeminler nedeniyle kirlenerek işlevlerini yitirmelerini engeller.
Koruma/Yalıtım		<b>Örgüsüz Geotekstil/Geokompozit/Geonet</b> Suyun geçişine engel olarak üzerinde bulunduğu katmanı neme ve suya karşı koruyan geosentetiklerdir. Özellikle membran veya geosentetik kil örtü yapısında olurlar. Zarar görmemeleri için koruma geosentetikleri ile birlikte kullanılırlar.
Donatılı duvar/ Güçlendirme		<b>Örgülü Geotekstil/Tek Yönlü Geogrid</b> Sistemin taşıma kapasitesini önemli oranda arttırlar.
Zemin iyileştirme		<b>Geotekstil/Çift Yönlü Geogrid</b> İyileştirme yapılacak bölgenin yük taşıma kapasitesini artırır. Geotekstilin yüksek çekme mukavemetli ve iyi drenaj özelliklerine sahip olması gerekir. Geotekstil ile zemin arasında yüksek sürtünme sağlayacak özellikte olmalıdır.
Asfalt/Beton donatısı		<b>Çift Yönlü Geogrid</b> Pist, Apron ve taksit güzergâhlarında karayollarında vb. kullanılır.
Erozyon kontrolü ve yüzey stabilize		<b>Geomat/Geohücre/Biomat/Bionet</b> Eğimli yüzeylerde toprağın yağmur, rüzgâr gibi doğal etkenlerle kaybedilmesini engelleyerek suyun yüzeyden akışına izin verirler.

### 3.3. GEOSENTETİK DONATILI ZEMİNLER

#### 3.3.1. Donatılı Zemin Tanımı

Geoteknik mühendisliği alanında en açık örneği kolay, hızlı, ekonomik ve pratik çözümler sunan geosentetik donatılı zeminlerdir. 1966 yılında H. Vidal tarafından donatılı zemin kavramı ortaya atılmıştır. Uygulamanın kolay ve süresinin kısa olması, oturma ve taşıma gücü problemlerinin diğer istinat duvar türlerine göre daha az olması, deprem performansının yüksek olması ve ekonomik olmasından dolayı günümüzde geleneksel istinat duvarlarına göre kendini kabul ettirmiş bir yöntem olmuştur. Donatılı zemin uygulaması Türkiye’de ilk olarak İstanbul Altunizadede uygulanmış ve daha sonra bu uygulama giderek yaygınlaşmıştır.

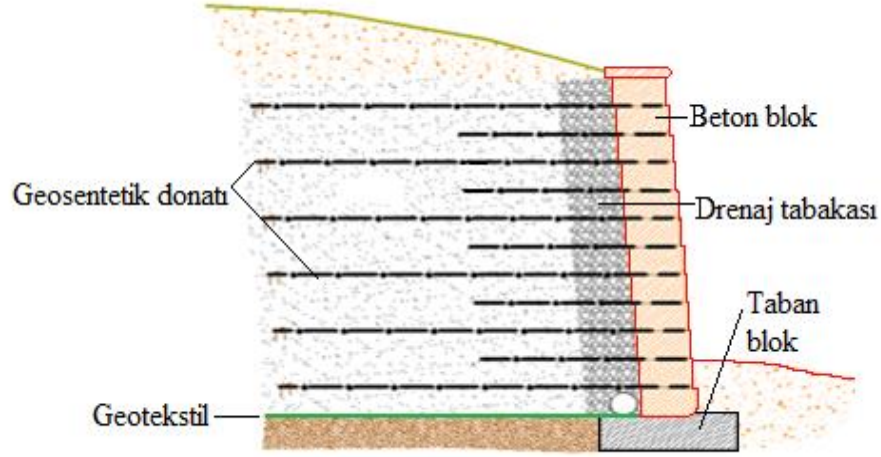
Donatılı zemin duvarların işletme yükleri altındaki davranışı karmaşıktır. Depremlerle durumlarda hesaplamaları (FHWA, 1996, AASHTO, 1988 ve NCMA, 1998) yöntemlerine göre yapılmaktadır. Duvar arkasındaki dinamik itki pseudo-statik yaklaşımla elde edilmekte ve Coulomb-Mononobe Okabe yöntemine dayanmaktadır. Donatılı zeminin sismik tasarımı Japonya’da 1960’ların sonlarında başlamış olup donatılı zemin duvarların PWRI tarafından tanıtılmasından hemen sonra ilk çalışmalar başlamıştır. Bu çalışmalardan sonra Terre Armee (Toprakarme) esasları, H. Vidal tarafından 1978’de yayınlanmıştır. 1980’lerden sonra yumuşak zeminler üzerinde yer alan geosentetik donatılı seddeler ve şevler araştırılmış ve sıvılaşmaya karşı etkinlikleri de olumlu bulunmuştur. (Sakaguchi, 1996).

Zemin; uygun yoğunluk ve su muhtevasında sıkışma ve kaymaya karşı direnci olan ancak çekme gerilmesini karşılamayan sadece basınç gerilmelerini taşıyan bir malzemedir. Uzun araştırmalar sonucunda sadece basınca çalışan zeminlerin, çekme gerilmelerini karşılayacak donatı elemanı yerleştirilerek hem donatı hem de zeminin statik ve dinamik yükler altında yük taşıma kapasitesini artıracak kompozit bir yapı ortaya çıkarılmıştır. Bu kompozit yapıya “donatılı zemin” denir. Donatılı zemin, zeminin mukavemetini arttırmak amacıyla içine çekmeye dayanıklı ve zeminle arasında yeterli sürtünmeye sahip polimer malzemelerden üretilmiş geotekstiller veya metal şeritler yerleştirilerek elde edilen kompozit bir yapı olarak tanımlanabilmektedir (Kesim, 1996).

Donatılı olarak tasarlanan zemin, çekme gerilmelerine dayanabilen ve zeminle sürtünme ve adezyon yoluyla etkileşen bir malzeme ile güçlendirilmiş zemindir.



Dayanma yapılarının geosentetik donatılı olarak tasarlanması ve yapılandırılması özellikle son yıllarda geoteknik mühendisliği alanlarında geniş uygulama alanı olan bir tasarım yöntemidir. Yeni gelişmelerle birlikte gabion duvar vs. gibi yeni uygulamalar hızla yaygınlaşmaya başlamış ve klasik dayanma yapılarına ciddi bir alternatif olma durumuna gelmiştir (Tunç, 2002).



Şekil 3.57 Tipik bir donatılı zemin istinat duvarı en kesiti

### 3.3.2. Donatılı Zemin Tarihçesi

Donatılı zemin kavramı, yeni olmayıp gerçekte ana prensipleri itibarı ile bitki ve ağaç kökleri ile muhtelif hayvan ve kuşların doğada uygulamakta oldukları bir yöntem olarak tanıtılabilir. Çamur veya kar içinde hareket imkânı bulamayan bir aracı, tedarik edilen ağaç dallarının anılan ortamlarda donatı olarak kullanılması ile harekete geçirebilmek ancak bu yöntemle mümkün olmaktadır. Donatılı zemin duvarların ilk uygulaması, 1900'lü yıllarda Londra'da Thames Nehrinde uzunluğu 1,5 km kadar, yüksekliği 2 m ve 9 m uzunluğundaki meşe kökenli ahşap kirişlerle yapılmış bir uygulamadır. Brest'te (1930) Fransız uzmanların yaptığı bir merdiven duvarda ankraj elemanlar ve seçme taş dolgu kullanılmıştır.

Ön yüz elemanları betonarme veya prefabrik olup 1,5 ve 0,8 m ebatlarındadır. 1988'de İngiltere'de uygulanan bir yöntem de donatıların düşey hareketinin engellenmediği ve bu nedenle oturmaların bir problem oluşturmayacağı önyüz elemanlarının oluşturulması uygulanmıştır.

Donatılı zeminin Türkçe' de kullanılan diğer ismi “Toprakarme” olup, yöntem Fransız Mühendis H. Vidal tarafından 1960'larda bulunmuş ve o günden bugüne zemin içine yerleştirilen çok çeşitli donatılar yardımı ile zemine özünde sahip olmadığı bir çekme kuvveti (gerilmesi) taşıyabilme imkânını sağlamıştır.

Sistem öncelikle dayanma yapılarında Fransa, ABD, Japonya ve İngiltere'de uygulanmıştır. Dünyada ise halen 60 kadar ülkede çok sayıda uygulama örneğinin 10 milyon metrekareyi aşan imalat tutarı ile uygulandığı tahmin edilmektedir. Köprü kenar ayakları, deniz ve nehir duvarları, zayıf zemin üzerine inşa edilen yapılarda, barajlarda, endüstri yapılarında, dolgu ve yarmalarda istinat perdesi olarak, hava alanlarında, temel takviyesi, şevlerde stabiliteyi sağlamak amacıyla donatılı zemin kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda klasik betonarme duvarların dayanamayacağı nitelikteki toplam ve farklı oturumların tolere edilebildiği görülmüştür (Jones, 1988).

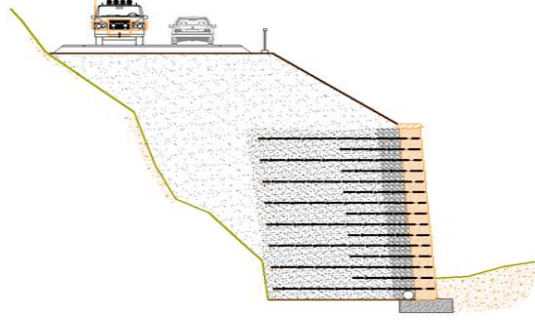
Bu nedenle de donatılı zemin sistemi sismik problemleri olan ülkelerde de standart bir yöntem olarak hızla kabul edilmiştir. Depreme karşı gösterdiği esnek sismik tepki bu tür uygulamaların tercihine neden olmaktadır (Eskişar ve diğ., 2005).

Donatılı zemin tekniğinin diğer bir avantajı olağan sistemlerle yapımı mümkün olmayan çok yüksek duvarların yapımında büyük başarı sağlamasıdır. TAG (Tarsus Adana Gaziantep) otoyolunda yaklaşık 30 m yüksekliğindeki donatılı zemin istinat duvarı başarıyla uygulanmıştır. 40 m yüksekliğindeki duvarların yapımında da bu yöntemin kullanıldığı ancak bu yüksek duvarlarda estetik nedenlerle duvarın tek parça yapılması yerine kademeli olması tercih edilmektedir.

### **3.3.3. Donatılı Zemin Yapılarının Uygulama Alanları**

Donatılı zemin yapılarının en yaygın olarak kullanıldığı alanlar, yeni dolguların inşasında, kazı yapılacak alanda güvenliğin sağlanmasında karayollarındaki istinat yapıları ve köprü yan ayakları olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle temel zemininin deformasyon yapmaya müsait olması durumlarında donatılı zemin yapıları betonarme yapılara oranla daha esnek olduğu için ekonomik çözümler sunmaktadır (Tezcan ve Buket, 1999).





Şekil 3.58 Donatılı zemin ile teşkil edilmiş dolgu uygulaması en kesiti

### 3.3.4. Donatılı Zemin Yapılarının Uygulamada Sağladığı Avantajlar

Donatılı zemin uygulamalarının giderek artmasının nedenleri arasında, donatılı zemin uygulamasının çok çeşitli işlerde kullanılabilmesi, maliyetinin ucuzluğu (%20~50 tasarruf), yapımının kolaylığı ve sürenin kısalığı, zemin oturmalarına uyum sağlayabilmesi hususları ön plana çıkmaktadır. Donatılı zemin yapılarında imalat sırasındaki örselenmeler, yük ve zemin sıcaklığı altında dayanımında azalmalar dezavantaj olmaktadır. Sağladığı avantajlar ise;

- **Kompozitlik;** Zemin ve donatılar arasındaki gerilme aktarımını yapmaktadır.
- **Esneklik;** Klasik istinat duvarlarına göre daha fazla deplasmana izin vermektedir. Zayıf zeminlerde uygulanabilme avantajı sağlamaktadır.
- **İnşa üstünlükleri;** Dolgu inşasında özel ekipmanlara ihtiyaç duyulmamakla birlikte birçok elemanın prefabrik olması nedeniyle uygulamada kolaylıklar sağlamaktadır.
- **Dinamik yüklere karşı dayanım;** Donatılı zemin yapılarının pek çoğunun maruz kaldıkları yüksek deprem ivmelerinden çok daha az ivmelere göre tasarlanmış olup deformasyon ve mukavemet bakımından üstün performans göstermeleri açısından önemlidir.
- **Ekonomik üstünlükler;** Donatılı zemin yapıları alt ve üst geçişlerin sınırlı olduğu yerlerde yapılan dolgularda en ekonomik çözümler sunmaktadır. Yapı hacminin büyük bir bölümünü kaplayan zemin ucuz bir malzeme olduğundan maliyeti diğer yapılara oranla daha ucuzdur. Özellikle derin temel sistemine gereksinim duyulan rijit istinat yapılarının kullanılacağı yerlerde donatılı zemin yapısının kullanılması önemli maliyet avantajı sağlamaktadır. Donatılı zemin yapılarının esnekliğinden dolayı fazla farklı oturma ve yatay

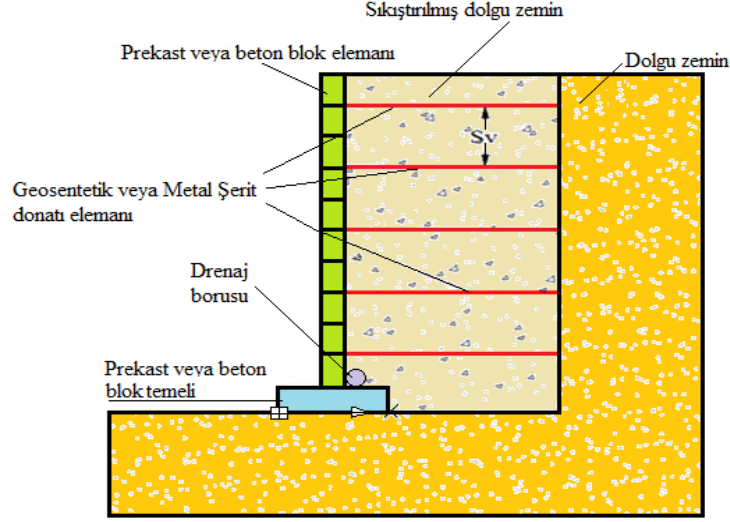
deformasyonu tölere edebilmektedir. Bu nedenle toptan göçmeye karşı stabilite sağlayacak pahalı derin temel sistemleri gerekmemektedir.

- **Mimari üstünlükler;** Yüzey elemanlarının ikincil bir yapısal rol üstlenmesinden dolayı bu sistemin kullanımının yarattığı esneklik geleneksel istinat duvarlara oranla daha asimetrik çözümler geliştirilebilmesine olanak sağlamaktadır.

### 3.3.5. Geosentetik Donatılı İstinat Yapıları

Donatılı zemin geoduvarlar üzerinde bulunan sürşarj yüklerini ve deprem kuvvetlerini geosentetikler (geogrid veya geotekstil) veya metal şerit donatılar vasıtasıyla dolgu ve donatı arasında oluşan sürtünmenin etkisiyle çekme gerilmelerinin taşınmasıdır. Bu tip yapılarda ilk olarak uygulama yapılacak olan yer tasarımın gerektirdiği miktar kadar kazılır. Daha sonra ilk blok malzemesinin yerleştirilmesi için temel yapılır ve ilk blok malzemesi yerleştirilir. Yerleştirilen ilk blok malzemesine kadar belirlenen uygun dolgu malzemesi ile dolgu yapılır ve sıkıştırılır. Sıkıştırma işlemi silindirler vasıtasıyla ve uygun su muhtevasında yapılır. Metal şerit veya geosentetik malzeme tasarımda belirtilen uzunlukta dolgu malzemesinin üzerine serilir ve blok malzemesine mesnetlenir. Mesnetleme işlemi bohçalama şeklinde olabileceği gibi blok üzerine çivi, metal elaman vb gibi yardımcı elemanlarla da yapılabilir. Daha sonra donatının düşey  $S_v$  mesafesi kadar blok malzemesi yerleştirilir ve tekrar bu blok malzemesi seviyesine kadar dolgu yapılır ve sıkıştırılır. Tekrar donatı projesine uygun uzunlukta serilir ve blok malzemesine mesnetlenir. Bu işlem geoduvar yüksekliği boyunca tekrarlanır ve uygulama tamamlanmış olur. Donatı malzemesi blok ucuna mesnetlenirken diğer uçta boşta kalır (Şekil 3.59).

Donatılı zemin tasarımı iki temel prensibe dayanmaktadır. Bunlar iç stabilite analizleri ve dış stabilite analizleridir. Dış stabilite analizlerinde devrilme, kayma, taşıma gücü ve toptan göçme analizleri yapılır. Bu analizler yapılırken donatı dikkate alınarak her bir donatı seviyesi için ayrı ayrı yapılır. İç stabilite analizlerinde her bir donatı için çekme gerilmesi tahkiki, sıyırılma tahkiki ve toptan göçme tahkikleri yapılır.



Şekil 3.59 Donatılı zemin genel görünümü

#### Avantajları;

- Esnek mimari alternatifler üretilebilir.
- Ön cephe elemanlarına çeşitli şekil, renk ve doku verilebilir olmaları.
- Deprem yükleri altında istinat duvarlarına göre daha stabil olmaları.
- Temele daha az düşey yük aktarmaları (taşınma gücü yetersiz zemin tabakalarında).
- Ekonomiktir ve bakım, sıva, boya vs gerektirmez.
- Teraslama yapılarak yeşillendirmek mümkündür (yaşayan istinat duvarı)
- Esnek yapısı sayesinde temelde meydana gelen oturmalardan etkilenmez.

#### Dezavantajları;

- Donatı elemanı olarak kullanılan metal şeritlerin paslanması neticesinde çekme dayanımının düşmesi.
- Donatı elemanı olarak kullanılan geosentetiklerde dolgu malzemesinin sıkıştırılması sırasında oluşan ezilme gerilmelerinden dolayı donatılarda kopmaların oluşması.
- Donatılı istinat duvarlarının arkasındaki dolgu zeminde kazı yapılamaması.
- Aşırı yük ve zeminde sıcaklığın fazla olması durumunda donatı (geogrid, geotekstil) dayanımlarının azalması.

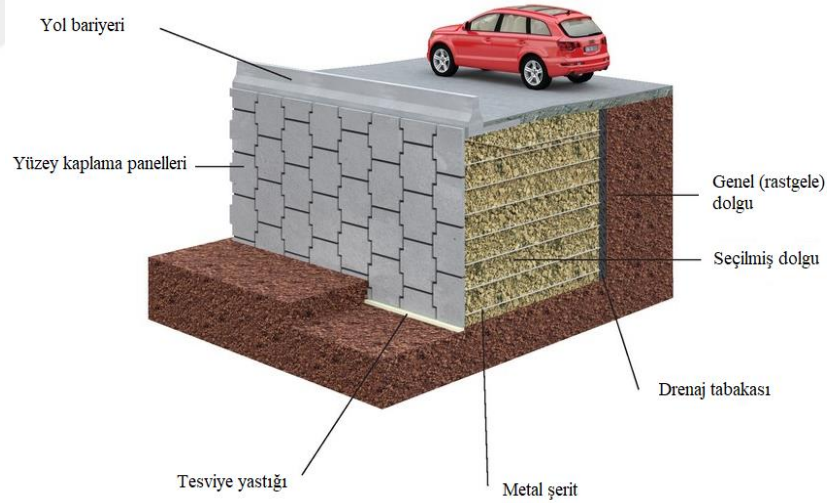
Donatılı zemin istinat duvarı sistemleri genel olarak dolgu malzemesi, donatı malzemesi ve yüzey elemanı olmak üzere 3 kısımdan oluşmaktadır.

### 3.3.5.1. Donatı malzemesi

İlk donatılı zemin duvar uygulamasında donatı olarak levha, metal şerit vb. malzemelerin kullanıldığı görülmüştür (Vidal, 1968, FHWA, 2009). Uygulama duvar yüzeyine yerleştirilen kaplama panelleri arkasında granülür dolgu malzemesi içerisine yerleştirilen metal çubuklara tutturulmuştur. Zemin ile metal şeritler arasındaki sürtünme kuvvetleri ile zemine gelen yanal zemin basınçlarını azaltmak hedeflenmiştir (Şekil 3.60 ve 3.61) (FHWA, 2009)



**Şekil 3.60** Kenya'da inşa halinde olan modüler bir beton blok duvar sistemi (<https://constructionreviewonline.com/2015/08/mechanically-stabilised-earth/>)



**Şekil 3.61** Metal donatılı zemin istinat duvarını oluşturan bileşenler (<https://constructionreviewonline.com/2015/08/mechanically-stabilised-earth/>)

İnşaat malzemelerinde teknolojinin hızlı gelişmesiyle metal şeritler yerini geosentetik donatılı istinat yapılarının çalışma prensibine en uygun olarak geosentetik ürünlerden geogrid, örgülü ve örgüsüz geotekstil kullanılmıştır. Geosentetik malzemelerin donatı malzemesi olarak tercih edilmesinin nedeni metal çubuklara göre zeminle uyum içerisinde, korozyona uğramaması ve çekme gerilmelerini almasıdır. En

çok kullanılan donatı malzemesi geogriddir. Geogrid kullanımının getirdiği avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- Duvar yüzeyindeki prekast elemana bağlantısı daha kolaydır.
- Bodkin yardımıyla birbirlerine kolay ve etkin bir şekilde eklenebilirler.
- Şerit donatılar gibi teker teker yerleştirilmeden rulolar halinde kolayca serilebilir.
- Geogridler rahatlıkla istenilen boyda kesilebilirler, kesim yerlerinde özel bir işlem gerektirmez.
- Hafif oldukları için taşınmaları daha kolaydır.
- Farklı cins ve kalitede üretildikleri için birbirlerinden kolaylıkla ayırt edilebilirler.
- Ultra-Viole ışınlarına karşı mukavemetleri oldukları için özel kapalı depo alanları gerektirmemektedir.

### 3.3.5.2. Dolgu malzemesi

Duvar arkasındaki dolgu malzemesi iri daneli kohezyonsuz zemin tercih edilmelidir. Sıvılaşma görülen bölgelerde sıvılaşma olmaması için dolgu zemin granüler yapıda olmalı %50'sinin tane çapı  $D_{50} > 10$  mm ve %10'unun tane çapı  $D_{10} > 1$  mm'den büyük olmalıdır (Yıldız, 2015).

Geri dolgu için GW, GP, SW veya SP tipi zeminler seçilmelidir. Islak halde don etkisine hassas olan kumlu-killi ve killi kumlar (GC, GM, SC veya SM) zeminlerin geri dolguda kullanılması için mutlaka kuru kalmalarının sağlanması gerekir. Bu zeminlerde ıslakken düzgün bir sıkıştırma sağlanamaz. Siltler ve killi siltler (CL, MH, ML veya OL) zeminler geri dolguda kullanılırsa donma ve şişme özelliği göstereceğinden duvarda deplasmanlar artmaktadır. Dolgu malzemesinin seçimi, tasarım ve uygulamada kullanımın sisteminin başarılı bir şekilde çalışması için önemlidir. Drenaja izin veren ve %95 sıklığında  $\pm 2$  optimum su muhtevasında sıkıştırılmalıdır.

Dolgu malzemesinin içinde ince daneli malzeme oranına dikkat edilmelidir. Bu nedenle su akışıyla ince taneli malzemelerin erozyonunun önlenmesi açısından önemlidir. Geçirimliliğinin  $k > 10^{-3}$  cm/dk olmalıdır. Çakıllı zeminler yüksek geçirimlilik ve dayanım özelliklerine rağmen özellikle köşeli taneler içeriyorsa imalat sırasında zımbalama yaratabileceğinden dolayı göreceli olarak tercih edilmektedir. Geçirimli bir arka dolgu malzemesi için gerekli dayanım parametreleri drenajlı kesme deneyiyle (ASTM-D 3080) belirlenmelidir. Geotekstil zımbalama direnci yüksek ise SP-SW veya GP-GW

kullanılmaktadır. Dolgu malzemesi tabakalar halinde yerleştirilip sonra sıkıştırılacağı ve suyun dış kuvvetlerine, (yağmur gibi) maruz kalacağı için tasarımda doygun birim hacim ağırlığının kullanılması tavsiye edilmektedir. Hem donatı dolgu malzemesi hem de arka dolgu malzemesi donatının dış stabilitesinde etkilidir ve özellikleri iyi belirlenmelidir. Arka dolgu ve donatı dolgu malzemelerinin erozyonunu engellemek için benzer dane boyu dağılıma sahip olmaları önemlidir. Eğer bu sağlanamazsa, ara yüzeyde bir geotekstil filtre veya zemin filtresi imal edilmelidir. Kullanılacak dolgunun özellikleri donatının geotekstil veya geogrid olmasına bağlı olarak farklılıklar gösterir (Tablo 3.13 ve 3.14).

**Tablo 3.13** Geogrid donatılı dolgu malzemesinin granülometri dağılımı

Elek no ve çap	Geçen yüzde (%)
100 mm	75-100
No.4	20-100
No.40	0-60
No.200	0-35

**Tablo 3.14** Geotekstil donatılı dolgu malzemesinin granülometri dağılımı

Elek no ve çap	Geçen yüzde (%)
50 mm	75-100
20 mm	50-100
No.4	20-95
No.40	0-85
No.200	0-50

Uygulamada kohezyonsuz dolgu veya kohezyonlu-sürtünmeli dolgu yapılabilir. Kohezyonsuz zeminlerde birim hacim ağırlık, derecelenme, üniformluk katsayısı, pH değeri, klorür iyonu, su muhtevası, içsel sürtünme açısı ve dolgu ile donatı arasındaki sürtünme katsayısı belli olmalıdır. Kohezyonlu-Sürtünmeli dolguda kohezyonsuz zeminlere ilaveten likit limit, plastisite indisi, kayma mukavemeti ve konsolidasyon parametreleri, donatı ve dolgu arasındaki adhezyon katsayısı belirlenmelidir.

**Tablo 3.15** Kohezyonsuz ve kohezyonlu-sürtünmeli dolgunun granülometri dağılımı (Jones,1988)

Elek no ve çap	Geçen yüzde (%)	
	Kohezyonsuz Dolgu	Kohezyonlu - Sürtünmeli Dolgu
125 mm	100	100
90 mm	85-100	85-100
10 mm	25-100	25-100
0.600 mm	10-65	11-100
0.063 mm	0-10	11-100
0.002 mm	0-10	0-10

Dolguda kullanılacak malzemenin içerisinde; nebati toprak, ağaç, çalı, kök, organik maddeler, kömür, bataklık veya suya doygun killi marn, molozlar, su ile ufalanarak oturmaları neden olacak malzeme, karlı, buzlu ve don zemin, ağırlıkça %20'den fazla jips bulunmamalıdır. Dolgu malzemesi değerleri tablo 3.16'de verilen şartları da sağlamalıdır.

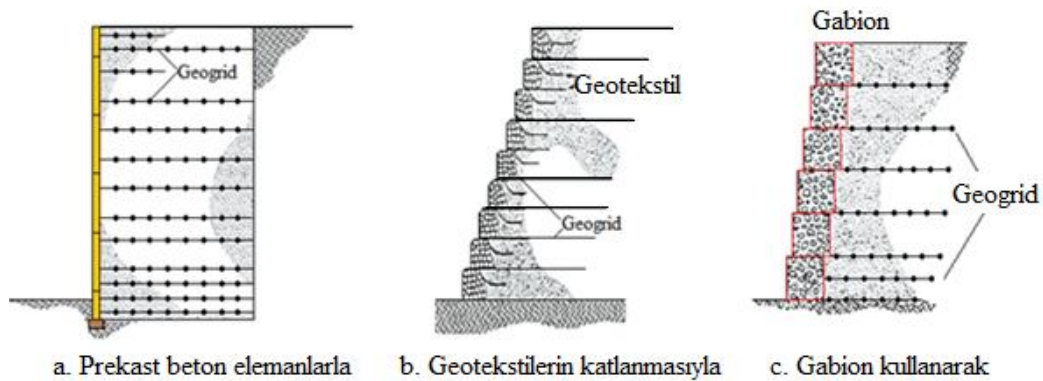
**Tablo 3.16** Dolgu malzemesi özellikleri (TS 1900, AASHTO T-89)

Özellik	Değer
Likit limit (%) ( $W_L$ )	$\leq 45$
Plastisite indeksi (%) (PI)	$\leq 20$
Maksimum kuru birim ağırlık (Standart Proktor)	$\geq 17 \text{ kN/m}^3$

TS 7994'e göre granülür dolgunun ağırlıkça %10'unu geçmeyen ince taneli malzeme içermelidir (TS 7994, 1990). Uygulamada genellikle ülkemizde kohezyonsuz dolgu tercih edilmişse, toplam gerilme analizine göre içsel sürtünme açısının en az  $25^\circ$ , efektif gerilme analizine göre en az  $20^\circ$  olması istenmektedir.

### 3.3.5.3. Yüzey elemanları

Ön cephe elemanları için standart olmasına gerek yoktur. Bu elemanların görevi; ön cepheden toprağın dökülerek zamanla dolgunun boşalmasını engellenmek, yani dik yüzeydeki toprak erozyonunu engellemek, arka dolgunun drenajı için alan sağlamak, ön cephede estetik bir görüntü oluşturmaktır. Prefabrike beton paneller, basit modüler blok elemanlar, metal yüzey elemanları, kaynaklı tel hasır elemanı, püskürtme beton veya sıva tipi elemanlar, gabionlar ve geosentetik donatıların katlanması ile ön yüzey oluşturulabilir (Şekil 3.62) (Shukla, 2002).



**Şekil 3.62** Farklı yüzey elemanı kullanılarak oluşturulan donatılı istinat duvar kesitleri (Shukla, 2002)

Kullanılacak ön cephe elemanlarının ağırlık, boyutları ve diğer mekanik özellikleri tasarımda göz önüne alınmak şartı ile bir önem taşımamaktadır. Ancak kullanılacak bu ön cephe elemanlarının duvar ömrü boyunca atmosfer şartlarına maruz kalacakları göz önünde tutulursa bu elemanların durabilite özelliklerinin büyük önem taşıdığı görülmektedir. Bu nedenle de geosentetik donatılı istinat duvarlarında kullanılacak ön cephe elemanlarının durabilitesinin mutlaka irdelenmesi gereklidir (Güler, 2006).

Geoduvarlarda ön cephe elemanı olarak yaygın şekilde beton bloklar kullanılmaktadır. (Şekil 3.63.a ve 3.63.b). Parçacıkların ağırlığı 10-50 kg, yükseklikleri üretici firmaya göre değişkenlik gösterip 100-250 mm arasındadır. Açığıtaki yüzey uzunluğu 200-500 mm arasında değişmektedir.

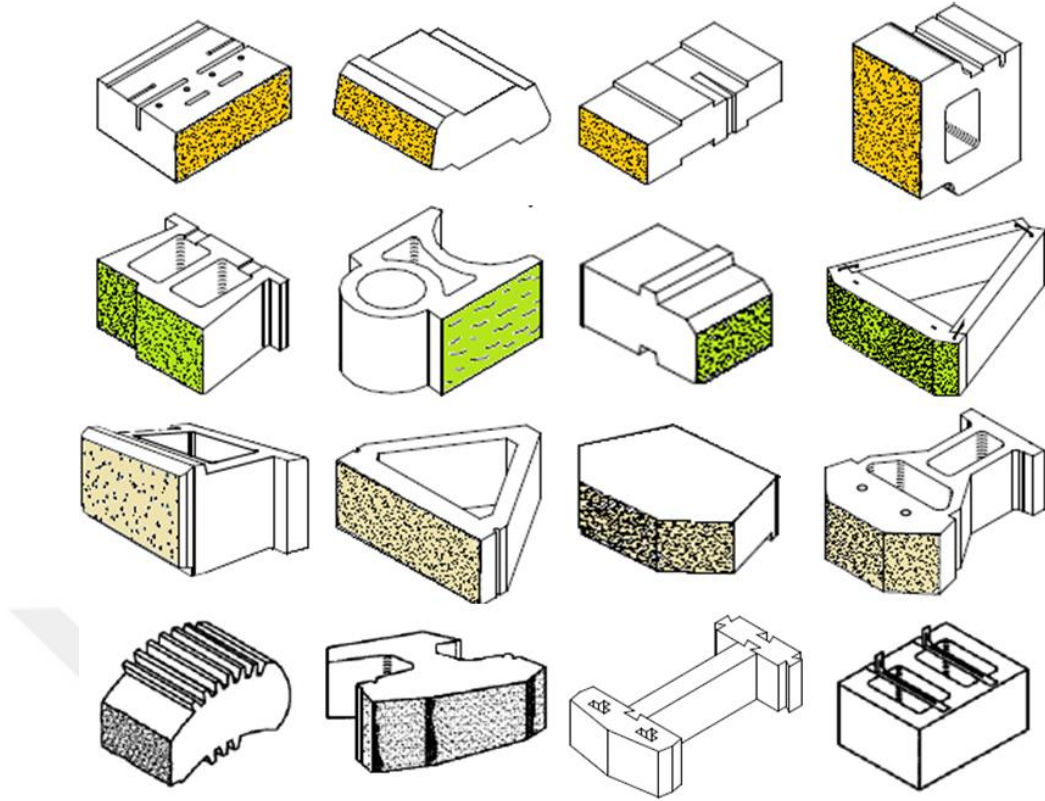
Düşey komşu bloklar birbirine kilitleme veya kenetleme pinleri ile bağlanmaktadır. Kenetleme pini ve kilitler tasarım seçeneklerini en üst yüzeye çıkarır, kurulum sürecini iyileştirir ve istinat duvarlarının yapısal bütünlüğünü artırır. Dikey ya da geriye düşen bir yerleştirme yapılmasına izin vererek, kilitleme pimleri sadece doğru blok yerleşimine izin vermekle birlikte aynı zamanda geosentetik tekstiller ile olan etkileşimi de geliştirir. Pimler hava koşullarına dayanıklıdır (Şekil 3.63.b).

Basit modüler blok elemanları dolgu ve yarma istinat duvarlarında, peyzaj amaçlı duvarlarda, şev stabilizasyonu amacıyla kullanılır. Yüksek duvarlarda diğer yapım sistemlerine göre daha ekonomiktir. Günde 200 m<sup>2</sup> düzeyinde istinat duvarı inşası hızlı bir şekilde inşa edilebilmektedir. Blokların dekoratif özelliği nedeniyle estetik yüzeyli donatılı istinat duvarları oluşturulur. Ön cephe elemanlarında sağlaması gereken özellikleri aşağıda Tablo 3.17’de verilmiştir.

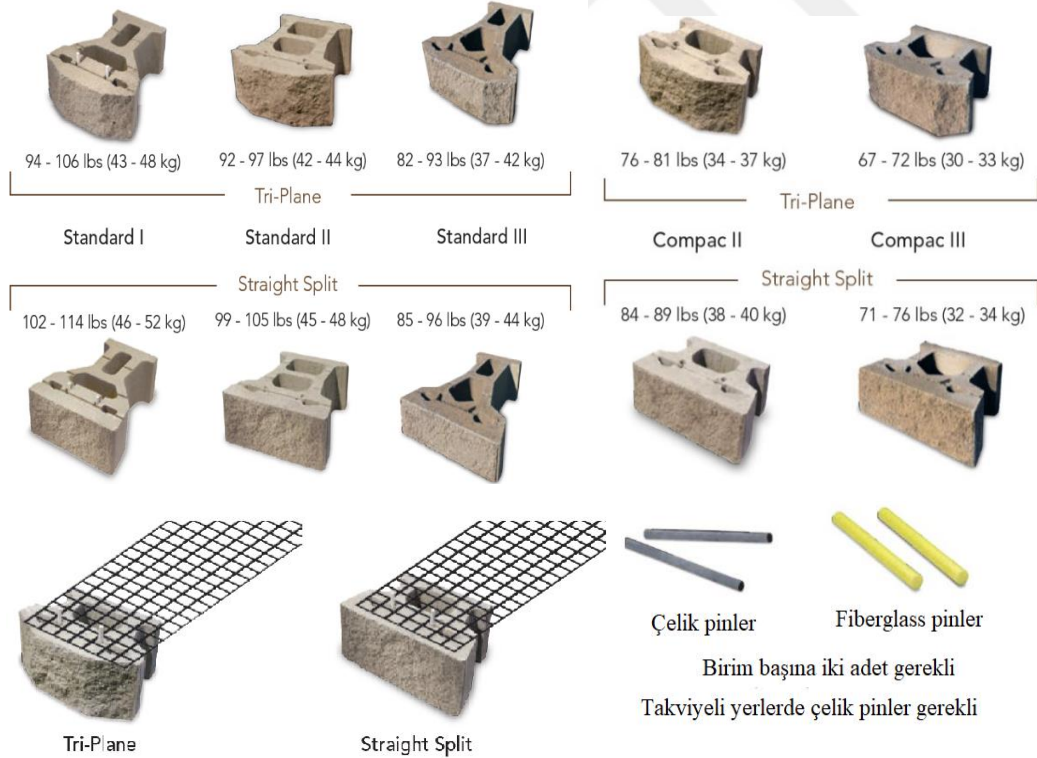
**Tablo 3.17** Blok ön cephe elemanlarının özellikleri

Özellik	Değer
Blok yapımında kullanılan beton sınıfı	C30
Bloğun minimum basınç dayanımı (net alan)	16 Mpa
Su emme (ağırlıkça)	% 6 - % 8
Bloklar arası minimum sürtünme direnci, $C_f$ (bağlayıcı kullanmaksızın)	0,5





Şekil 3.63.a Ön cephe elemanı olarak kullanılan farklı tiplerde beton blok çeşitleri (FHWA, 2009)

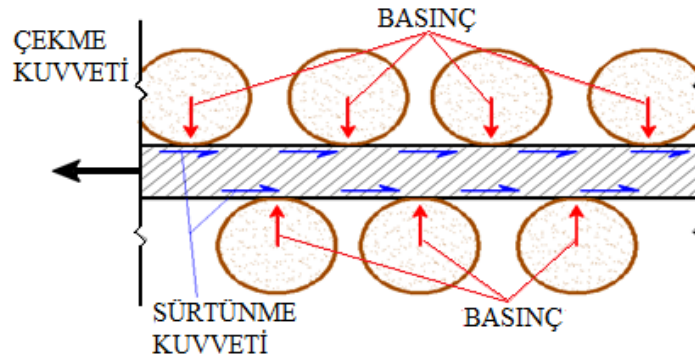


Şekil 3.63.b Ön cephe elemanı olarak kullanılan farklı tiplerde beton blok çeşitleri

(<http://keystonewalls.com>)

### 3.4. GEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT DUVARLARININ TASARIMI

Zeminin sıkışmaya ve kaymaya karşı bir dereceye kadar direnci vardır. Ancak çekme gerilmesini karşılama özelliği yoktur. Zeminin, çekme gerilmelerini karşılamak için yeterli miktarda donatı elemanı yerleştirilerek hem donatı hem de zeminin yük taşıma özellikleri birleştirilmiş ve kompozit bir yapı ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu ortaya çıkan ve hızla gelişen kompozit yapıya da donatılı zemin denir. Donatılı zemin etkileşimini anlamak için ilk olarak zeminin donatılara yük aktarımının anlaşılması gerekir. Donatılı zemin teorisindeki en küçük boyuttaki tüm etkileşimler şekil 3.64'deki yük aktarımı prensibinin sonucu meydana gelir. Zemin danelerinin donatı üzerine oluşturduğu düşey ve yatay yükler, donatılar içinde çekme gerilmelerinin oluşmasına sebep olur.



Şekil 3.64 Zemin ve donatı arasındaki sürtünmesel gerilim aktarımı (FHWA, 2009)

Ön yüzey eğimi  $70^{\circ}$ ~ $90^{\circ}$  arasında olan zemin duvarları donatılı istinat duvarları olarak incelenebilir.  $70^{\circ}$ 'den daha düşük ön yüzey eğimine sahip donatılı yapılar şev stabilite analiz yöntemlerine göre analiz edilirler. Stabilite analizleri iç ve dış stabilite olarak iki kısımda incelenmelidir.

Donatılı zemin kütlelerini üniform bir malzeme olarak kabul ederek bu kütlelerin stabilitesinin incelenmesi olmak üzere dış stabilite tahkikleri ve zeminin içine yerleştirilen donatıların zemin tarafından iletilen kuvvetleri kopmadan ve sıyrılmadan taşıyıp taşıyamayacaklarını kontrol etmek üzere duvarın iç stabilitesidir. Geosentetik donatılı istinat duvarının geometrik görünümü ve yükleme karakterleri şekil 3.65'de gösterilmiştir.





$$\lambda = \phi_b \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\beta}{\phi_b} \right) \left( \frac{L}{H} - 0.2 \right) \right] \quad (3.52)$$

çekmede uzama yapan geosentetik çeşitlerinde  $\lambda = \beta$  alınmalıdır.

Burada;

$\beta$ : Duvar üstü dolgunun yatayla yaptığı açı

$\phi_b$ : Dolgu zeminin içsel sürtünme açısı

Duvar arkasındaki dolgudan kaynaklanan aktif basınç  $K_a$ ;

$$K_a = \left( \frac{\frac{\sin(\theta - \phi_b)}{\sin \theta}}{\sqrt{\sin(\theta + \lambda) + \sqrt{\sin(\phi_b + \lambda) \sin(\phi_b - \beta) / \sin(\theta - \beta)}}} \right)^2 \quad (3.53)$$

$\theta$  : Donatılı zeminde duvar bölgesinin yatayla yaptığı açı.

$H'$  : Yanal itkinin etkidiği yükseklik.

$$H' = H + L \tan \beta \quad (3.54)$$

olmak üzere yanal itkiler  $P_a$

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma_b (H')^2 \quad (3.55)$$

Donatılı zemine etki eden kuvvetlerin bileşkesinin etki noktası, eksantirisite mesafesi,

$$e = \left( \frac{M_d - M_r}{R_v} \right) - \frac{L}{2} = \frac{\Sigma \text{Devirici Momentler}}{\Sigma \text{Karsi Koyan Momentler}} \leq \frac{L}{6} \quad (3.56)$$

Ayrıca bağıntı 6.3'de istenenler yerine yazılırsa e aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$e = \frac{P_A (\cos \lambda) H' / 3 - P_A (\sin \lambda) L / 2 - W_1 (2L / 3 - L / 2)}{\gamma H L + W_1 + P_A \sin \lambda} \quad (3.57)$$

Meyerhof 'a göre eşdeğer üniform düşey gerilme yani temeldeki eşit yayılı basınç,

$$\sigma_v = \frac{\gamma_r HL + W_1 + P_A \sin \lambda}{L - 2e} \quad (3.58)$$

şeklindedir.

Hesaplanan düşey gerilme değeri, zemin emniyet gerilmesinden küçük olmalı ve güvenlik sayısı minimum iki olmalıdır.

$$\sigma_v = \frac{R_v}{L - 2e} \quad (3.59)$$

Temelde oluşan minimum ve maksimum gerilmeler klasik istinat duvarlarında olduğu gibi aşağıdaki şekilde hesaplanır.

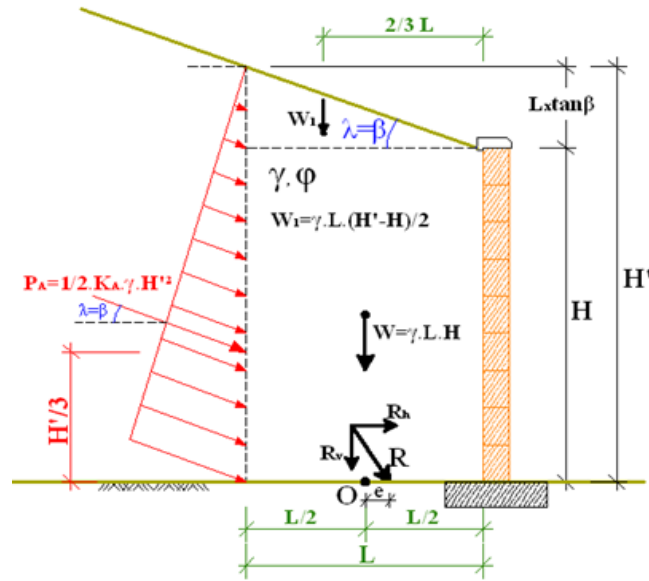
$$\sigma_{\min, \max} = \frac{R_v}{L} \left( 1 \mp \frac{6e}{L} \right) \quad (3.60)$$

$$\sigma_v = \frac{q_a}{GS_{bc}} \geq 2 - 3 \quad (3.61)$$

Burada

$q_a$ , temel zeminin azami taşıma gücü.

$GS_{bc}$ : Taşıma gücüne göre güvenlik sayısı



Şekil 3.68 Donatılı zemin istinat duvarlarının arka dolgusunun eğimli olması hali

### 3.4.1.2. Kayma tahkiki

Dolgu zemin ile donatı arasında oluşacak kayma direnci, donatılı zemin kitlesinin yatay kaymasına engel olmalıdır. Sürşarj etkisi ile birlikte yanal itki miktarı  $P_A$  aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$P_a = K_a \left( \frac{1}{2} \gamma_b H^2 + qH \right) \quad (3.62)$$

toplam yanal itki miktarına bağlı olan kayma kuvveti  $P_s$ ;

$$P_s = P_a \cos \lambda \quad (3.63)$$

kaymaya karşı koyan kuvvet  $P_R$ ;

$$P_R = (W + W_1 + P_A \sin \lambda) \times \tan \phi \quad (3.64)$$

olarak hesaplanabilir.

Minimum güvenlik katsayısı 1,5 olmak üzere donatılı zemin istinat duvarının bir kütle halinde kaymasının önüne geçmek için bağıntı 3.65 sağlanmalıdır.

$$GS_s = \frac{\text{Kaymaya Karşı Koyan Kuvvetler}}{\text{Kayma Kuvveti}} \geq 1,5 \quad (3.65)$$

$$GS_s = \frac{P_R + cL}{P_s} \geq 1,5 \quad (3.66)$$

Zemin donatısı için geosentetik malzeme kullanılacaksa kaymaya karşı koyan kuvvet  $P_R$ 'de  $\tan \delta$ , şerit kullanılacaksa  $\tan \phi$  kullanılmalıdır. Burada  $\delta$ , zemin ile donatı arasındaki yüzey sürtünme açısıdır. Donatılı istinat duvarının tabanında oluşan en düşük  $\tan \phi$  değeri veya en üst tabakada oluşan  $\tan \delta$  değeri kullanılmasının sebebi emniyetli tarafta kalabilmek içindir. Eğer  $\delta$  bilinmiyorsa  $2/3 \tan \phi$  olarak alınabilir.

### 3.4.1.3. Devrilme (Dönme) tahkiki

Şekil 3.67'de görüldüğü gibi temel tabanında oluşan gerilmelerden  $\sigma_{\min} \geq 0$  ise devrilme yoktur. Ama olumsuz drenaj şartlarından dolayı değişebilen dolgu ve zeminin yoğunluğu, sürşarj yükündeki olabilecek değişimler gibi etkilerden dolayı emniyetli

tarafıta kalabilmek için  $\sigma_{\min} > 0,75 \text{ kg/cm}^2$  şartının aranması önerilmektedir. Şekil 3.68'deki duvarın topuğuna göre momentler alındığında karşı koyan momentler  $M_R$ ;

$$M_R = W_1 \times \frac{2}{3} L + W \times \frac{L}{2} + (P_A \sin \lambda) \times L \quad (3.67)$$

ve devirici momentler  $M_D$ ;

$$M_D = \frac{1}{3} (P_A \cos \lambda) \times H' \quad (3.68)$$

şeklinde hesaplanır.

Minimum güvenlik katsayısı 2 olmak üzere topuğa göre alınan momentlere göre devrilme emniyet faktörü aşağıdaki şartı sağlamalı ve bağıntı 3.69 deki gibi formülize edilmelidir.

$$GS_o = \frac{\text{Devrilmeye Karşı Koyan Kuvvetlerin Momenti}}{\text{Devirici Kuvvetlerin Momenti}} \geq 2 \text{ ise}$$

$$GS_o = \frac{M_R}{M_D} \geq 2 \quad (3.69)$$

Devrilmeye karşı koyan kuvvetlerin momenti istinat duvarının genişliğine (L) ve devirici momentler ise istinat duvarının yüksekliğine (H) bağlı olduğu görülecektir. Bundan dolayı donatılı zemin istinat duvarının genişliği ve yüksekliği duvarın stabilitesindeki en önemli parametrelerdendir.

#### 3.4.1.4. Deprem durumunda tahkik

Deprem esnasında normal istinat duvarlarına etki eden statik kuvvetlerin yanı sıra dinamik kuvvetlerde etki etmektedir. Bu sistem donatılı zemin istinat duvarları içinde geçerlidir. Bu yanal dinamik itkileri ( $P_{ae}$ ) Mononobe-Okabe Yöntemi ile hesaplanabilir. Önceki şekillere bakarak donatılı zemin kütlelerine M dersek, donatılı istinat duvarının maruz kaldığı, ağırlık merkezine uygulanan yatay atalet kuvvetine de  $P_{IR}$  dersek,

$$P_{IR} = M \times a_m \quad (3.70)$$



formülü ile hesaplanır. Burada  $a_m$  donatılı zemin istinat duvarında dinamik etkiden dolayı oluşan maksimum ivmedir.

Donatılı zemin istinat duvarlarında sismik dış stabilite hesabının aşamaları aşağıdaki gibidir.

1. Yatay yer ivmesi için pik değer seçilmeli,  $\alpha_0 \times g$

$\alpha_0$ : Maksimum yer ivmesi sabiti

2. Maksimum yatay ivme belirlenmeli,

$$\alpha_m = (1,45 - \alpha_0) \alpha_0 \quad (3.71)$$

$\alpha_m$ : duvarın ağırlık merkezindeki maksimum ivme sabiti

3. Yatay atalet kuvveti  $P_{IR}$  ve sismik kuvvet  $P_{ae}$  hesaplanması gerekir.

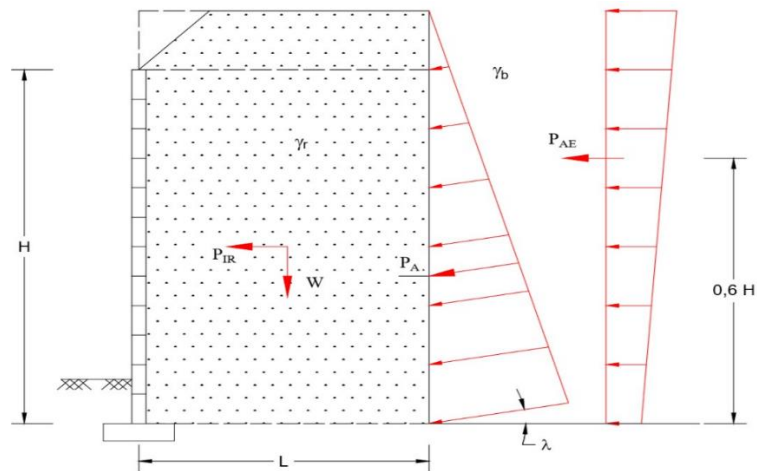
$$P_{IR} = 0,5 \alpha_m \gamma H L \quad (3.72)$$

$$P_{AE} = 0,375 \alpha_m \gamma H^2 \quad (3.73)$$

Burada

$P_{IR}$  ağırlık merkezine ve  $P_{AE}$  yerden  $0,6H$  m. yükseklikten etki eder.

4. Bu bulunan yatay atalet kuvveti  $P_{IR}$  ve sismik kuvvet  $P_{ae}$ , statik kuvvetlere eklenerek ilgili güvenlik faktörlerinin hesabı yapılmalıdır.



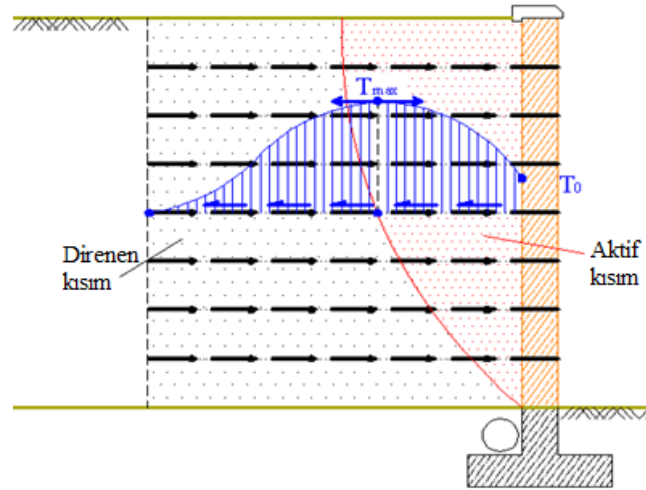
Şekil 3.69 Donatılı zemin duvarında sismik etkilere göre dış stabilitesi

Yapılan araştırmalar sonucunda, Mononobe-Okabe Yönteminin kullanması durumunda klasik istinat duvarlarında gereksiz büyük kesitlerin seçilmesine neden olmaktadır. Fakat istinat duvarlarına deprem esnasında büyük yüklerin etkimeği belirlenmiştir. Bu bilgilere dayanarak önemli bir deprem bölgesi olan Japonya da araştırmacılar istinat duvarlarında deprem etkisinin göz önüne alınmasından vazgeçildiğini belirtmişlerdir. Klasik istinat duvarlarında bu karar alınırsa, donatılı zemin istinat duvarları klasik istinat duvarlarına göre çok daha esnek ve deprem yüklerini çok daha iyi şekilde sönümleyebildikleri için bu kararın donatılı zemin istinat duvarlarında da geçerliliği olabilir (Güler, 1996).

### 3.4.2. İç Stabilite

İçsel stabilite analizleri sırasında donatılı zemin bloğunda bulunan yüksek aderanslı ve galvanizli çelik şeritler aktif bölgedeki dolgunun ataletiyle oluşan statik ve dinamik kuvvetlere dayanacak şekilde tasarlanmalıdır. Donatılı zemin duvarında, donatıların uzamasına dayanan iki değişik kayma koşulu vardır. Maksimum çekme kuvvetinin yeri donatılı zemini iki bölgeye ayırmaktadır. Şekil 3.70’de görüldüğü gibi ön yüzeyle maksimum çekme kuvvetleri çizgisi arasındaki aktif bölge

Maksimum çekme kuvvetleri arkasındaki direnç (direnen) bölgelerdir (Şekil 3.70).



Şekil 3.70 Donatıdaki çekme kuvvetlerinin ve mak. çekme kuvveti çizgisinin görünümü (FHWA, 2009)

Tahrik yapılırken iç stabilite göçmesi iki farklı şekilde meydana gelir.

1. Donatıda oluşabilecek çekme gerilmesi arttıkça donatı aşırı uzamakta ya da kopmaktadır. Bu göçme durumuna *uzama veya kopma göçmesi* denir.

2. Donatıdaki çekme gerilmesi donatının içinden sıyrılmasını engelleyen sıyrılma direncinden büyük ise zeminde kesme kuvvetlerin artmaktadır. Donatılı zemin yapısının hareket etmesine ve yenilmesine (göçmesine) neden olur. Bu göçme durumuna *sıyrılma göçmesi* denir (FHWA, 2009).

Donatılı zemin duvarlarında boyutlandırma ve tasarım yapılırken iç stabilitenin sağlanması için (göçmenin önlenmesi) seçilen donatının, zemin tarafından aktarılan çekme gerilmelerini, kayma kuvvetlerini kopmadan taşıyabilmesi ve donatıların zeminden sıyrılmayacak bir birleşime sahip olması gerekir. Diğer yandan, geotekstil donatı kullanılması durumunda donatı ile zemin arasındaki sürtünme yetersiz ise herhangi bir donatı yüzeyinde içsel kaymalar olması muhtemeldir (Emir, 2005). İç stabilite tahkiki yapılırken hesap adımları;

- Sismik ve dinamik yükler altında iç stabilitenin değerlendirilmesi
- Yüzey elemanının ve arka dolgunun seçilmesi
- Donatı tipinin seçilmesi (uzayabilen veya uzamayan)
- Yüzey elemanı ile uyum sağlayacak donatı aralığının seçilmesi
- Kayma güvenliğine karşı gerekli donatı uzunluğunun hesaplanması
- Duvar yüzeyinde oluşan gerilmelere karşı yüzey elemanın tasarımı.
- Her donatıda maksimum çekme kuvvetinin hesaplanması
- Her donatı seviyesindeki kopma direncinin hesaplanması

gerekmektedir.

#### 3.4.2.1. Donatılı zeminlerde kritik kayma yüzeyi

En kritik kayma yüzeyi her donatı kademesindeki maksimum çekme kuvvetleri çizgisinin olduğu yerle çakıştığı göz önüne alınırsa çizginin yeri ve şekli deneme ile tahmin edilebilmektedir. Maksimum çekme kuvvetleri ( $T_{mak}$ ) çizgisi uzamayan donatılarda ikili doğrusal, uzayan donatılarda lineer olmaktadır. Her iki durumda da donatılı zemin duvarın topuk noktasından geçtiği farz edilebilir (Şekil 3.71).

Göçme olduğu zaman donatılarda uzama ve deformasyon olmaktadır. Bu durumda donatıdaki çekme kuvvetinde artış gözlenmekte ve donatılar dönmektedir. Geosentetik donatılar (geotekstil ve geogrid) çelik metal şerit gibi uzamamaz. Bu nedenle geosentetik donatılarda uzama ve dönme davranışına dikkat etmek gerekir.



Dış ve iç stabilite analiz sonuçlarına göre donatı uzunlukları ve ara mesafeleri kullanılacak donatının dayanımına göre değiştirilmeli veya seçilen donatı boyutlarına ve uyumuna göre uygun olan donatı mukavemeti ve bunu sağlayan donatı tipleri seçilmelidir. Donatılar arası düşey mesafe başlangıç değeri için ise dolgu tabakası sıkıştırma kalınlığı olarak 20-30 cm arasında seçilebilir. Bu mesafe 60 cm'yi aşarsa duvar yüzeyi deformasyonlarını önlemek için uzunlukları 90-120 cm arasında ara donatılar yerleştirilmelidir (Güler vd., 1996).

Donatı boyu, dolgu genişliğine (L) bağlı olup genellikle dolgu yüksekliğine (H) eşit veya minimum %80'i (0.8H) kadar olmalıdır. Eğer donatı boyunun dolgu yüksekliğinden daha kısa olması durumu varsa, sistemin daha özel uygulamalara ve tahkiklere ihtiyacı vardır. Mesela; donatı uçlarının dolgu arkasındaki zemine ankre edilmesi, bohçalama vb. uygulamalar yapılabilir.

Minimum donatı boyu aşağıdaki bağıntı ile belirlenir.

$$L_{\min} = L_a + L_e \quad (3.74)$$

$$L_{\min} = \frac{T_{\text{müs}} \cdot f}{\gamma H \tan \delta} \quad (3.75)$$

Burada;

L: Toplam donatı boyu

$L_a$ : Donatının aktif bölgede kalan kısmının boyu (Şekil 3.71)

$L_e$ : Donatının direnen bölgede kalan kısmının boyu (etkili boyu) (Şekil 3.71).

$T_{\text{müs}}$ : Donatı için müsaade edilen maksimum çekme kuvveti,

f: Emniyet faktörü

$\delta$ : Zeminle donatı arasındaki sürtünme açısı ( $=2/3 \tan \phi$ )

$$L_e = \frac{S_v \cdot \sigma_v \cdot F_{\text{siy}}}{2 \cdot \gamma \cdot z \cdot \phi_c \cdot \tan \phi \cdot R_c} \quad (3.76)$$

Duvar yüzeyi düşey, arka dolgu yatay ve donatı uzayabilen donatı kullanılıyorsa,

$$L_a = (H - z) \tan(45 - \phi / 2) \quad (3.77)$$

Uzayamaz donatı kullanılıyorsa duvarın taban ile H/2 seviyesi arasında kalan kısmı için,

$$L_a = 0,6(H - z) \quad (3.78)$$

Uzayamaz donatı kullanılıyorsa duvarın taban ile H/2 seviyesinin üst kısmı için,

$$L_a = 0,3H \quad (3.79)$$

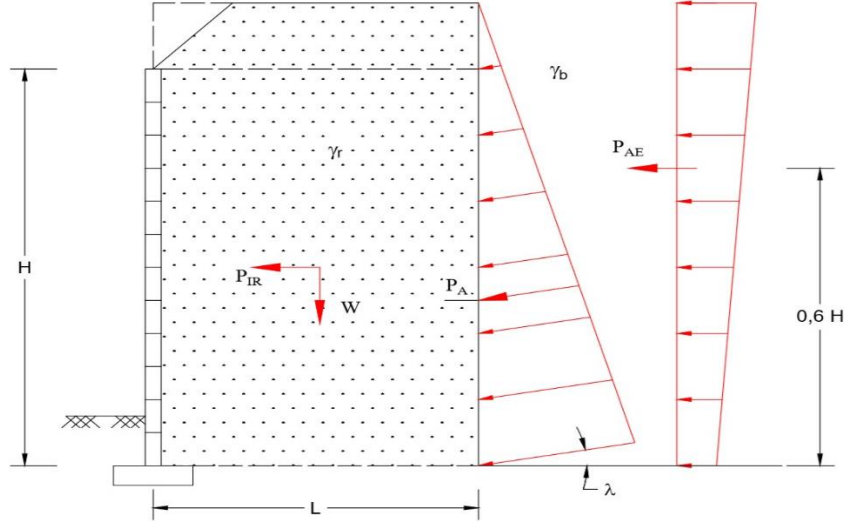
olarak hesaplanabilir.

Donatı boyunun hesabında kullanılan  $f$  ve  $\delta$  değerleri, üretici firma tavsiyelerine veya varsa şartnamelere uygun olmalıdır. En önemlisi duvarın inşası yapılırken her donatı seviyesi için en uzun donatı boyunun kullanılması gerekmektedir. Ancak iç stabilitenin sağlanması isteniyorsa kademeli olarak donatı boyunun değiştirilmesi uygun olacağı da göz önüne alınmalıdır (FHWA, 2009)

Dış ve iç stabilize analiz sonuçlarına göre donatı uzunlukları ve ara mesafeleri kullanılacak donatının dayanımına göre değiştirilmeli veya seçilen donatı boyutlarına ve uyumuna göre uygun olan donatı mukavemeti ve bunu sağlayan donatı tipleri seçilmelidir. Donatılar arası düşey mesafe başlangıç değeri için ise dolgu tabakası sıkıştırma kalınlığı olarak 20-30 cm arasında seçilebilir. Bu mesafe 60 cm'yi aşarsa duvar yüzeyi deformasyonlarını önlemek için uzunlukları 90-120 cm arasında ara donatılar yerleştirilmelidir (Güler vd., 1996).

### 3.4.2.3 Donatı çekme kuvveti tahkiki

Çekme kuvveti tahkiki için deneme-yanılma metodu uygulanır. Bunun için değişik donatı aralığı ( $\Delta H$ ) seçilip belirli yüksekliklerde ( $H_i$ ) çekme kuvvetleri ( $T_i$ ) aşağıdaki gibi hesaplanır (Şekil 3.72)



Şekil 3.72 Donatılarda oluşan çekme gerilmeleri

$$T_i = \frac{1}{2} K_A \gamma \Delta H^2 + K_A q \Delta H \quad (3.80)$$

$$q = \gamma \times H_i \quad (3.81)$$

Belirli (i) derinlikteki donatıda duvarın 1 metresi için çekme kuvveti bulunur.

$$T_i = \frac{1}{2} K_A \gamma \Delta H^2 + K_A \gamma H_i \Delta H = K_A \gamma \Delta H \left( \frac{\Delta H}{2} + H_i \right) \quad (3.82)$$

Dikkat edilmesi gereken alt tabakalardaki donatılarda oluşan çekme kuvvetleri, üst tabakalara doğru çıkıldıkça azalmaktadır.

Yatay gerilmelerden dolayı donatıda oluşan çekme kuvveti donatının çekme dayanımı ile karşılanacağından donatıdaki çekme gerilmeleri, donatının çekme mukavemetinden küçük olmalıdır.

Donatılar arası düşey mesafe  $S_v$

$$S_v = \frac{T_{müs}}{0,65 K_A (1,5q + \gamma H)} \quad (3.83)$$

Burada;

$T_{müs}$ : Donatı için müsaade edilen maksimum çekme kuvveti, ton/m

$q$ : Sürşarj yükü, ton/m<sup>2</sup> (varsa)

$\gamma$ : Dolgu yoğunluğu, ton/m<sup>3</sup>

$H$ : Dolgu yüksekliği, m

$S_v$  mesafesi aşağıdaki verilen şartı mutlaka sağlamalıdır.

$$S_v \leq \frac{T_{dizayn} R_c}{K_A (q + \gamma H) F_{sıyırılma}} = \frac{T_{dizayn} R_c}{\sigma_h F_{sıyırılma}} \quad (3.84)$$

Burada

$T_{dizayn}$ : Donatının dizayn çekme dayanımı

$R_c$ : Kaplama sayısı: Donatı yüzey alanının zemin yüzeyine oranıdır.

$F_{sıyırılma}$ : Donatının sıyırılma emniyet faktörüdür.

Donatılar arası düşey mesafe ( $S_v$ ) belirlendikten sonra farklı dolgu yüksekliklerindeki çekme kuvveti ( $T_i$ ) hesaplanır.

$$Max T_i \leq \frac{T_{müs}}{F_s} \leq \frac{T_{nih} R_c}{F_G F_s} \quad (3.85)$$

Burada,

$F_s$ : Emniyet faktörü (0,86-0,92)

$F_G$ : Donatının çeşitli nedenlerden dolayı kalınlığındaki ve mukavemetindeki azalma faktörüdür.

#### 3.4.2.4. Donatının kopma ve sıyırılma tahkiki

Donatılı zemin istinat duvarlarında donatı olarak kullanılan *donatının kopması* alt kısımlarda daha kritik iken, *donatının sıyırılması* işlemi de üst kısımlarda daha kritiktir. Donatılara etkiyen çekme gerilmelerinin derinlikle artmasından dolayı donatı kopması alt tabakalarda daha kritiktir. Ayrıca donatının üzerine etkiyen düşey basınç gerilmeleri de derinlikle artmasından dolayı üst tabakalarda daha az düşey basınç olacağından dolayı donatı sıyırılması üst tabakalarda daha kritik olacaktır. Dolayısıyla donatı kopma tahkiki kopma bölgesindeki donatılarda, sıyırılma tahkiki de sıyırılma bölgesinde yapılmalıdır. Donatının kopma güvenliği aşağıdaki bağıntılarda verilmiştir.

$$F_{kop} = \frac{\text{Donatının Müsade Edilen Çekme Mukavemeti}}{\text{Yatay Gerilme}} \geq 1,5 \quad (3.86)$$

$$F_{kop} = \frac{T_{nih} b d}{A K_A \sigma_v} = \frac{T_{nih}}{K_A \sigma_v} \quad \text{veya} \quad F_{kop} = \frac{T_{nih} b d}{K_A \sigma_v S_v S_h} \quad (3.87)$$



Burada;

$S_v$ : Donatının düşey aralığı

$S_h$ : Donatının yatay aralığı

$A$ : Bir donatıya düşen yüzey alan ( $b \times d$ )

$T_{nih}$ : Donatı kopma mukavemeti ( $=T_k / (b \times d)$ )

$\sigma_v$ : Düşey gerilme ( $H_i$  yüksekliğindeki düşey gerilme  $= \gamma H$ )

$b, d$ : Donatının genişliği ve kalınlığı

Donatı ile zemin arasındaki adezyonun yetersizliğinden dolayı donatının zeminden sıyrılarak stabilite problemi oluşturmaması gerekmektedir.

Donatının sıyrılma güvenliği

$$F_{sıyrılma} = \frac{z' \text{ seviyesindeki zeminin mevcut kayma direnci}}{z' \text{ seviyesindeki kaydırma kuvveti}} \quad (3.88)$$

$$F_{sıyrılma} = \frac{2bL_a\sigma_v \tan \delta}{(bxd)K_A\sigma_v} = \frac{2L_a \tan \delta}{d K_A} \quad \text{veya} \quad F_{siy} = \frac{2bL_a \tan \delta}{K_A S_v S_h} \quad (3.89)$$

Burada;

$\delta$ : Zeminle donatı arasındaki sürtünme açısı ( $=2/3 \tan \phi$ )

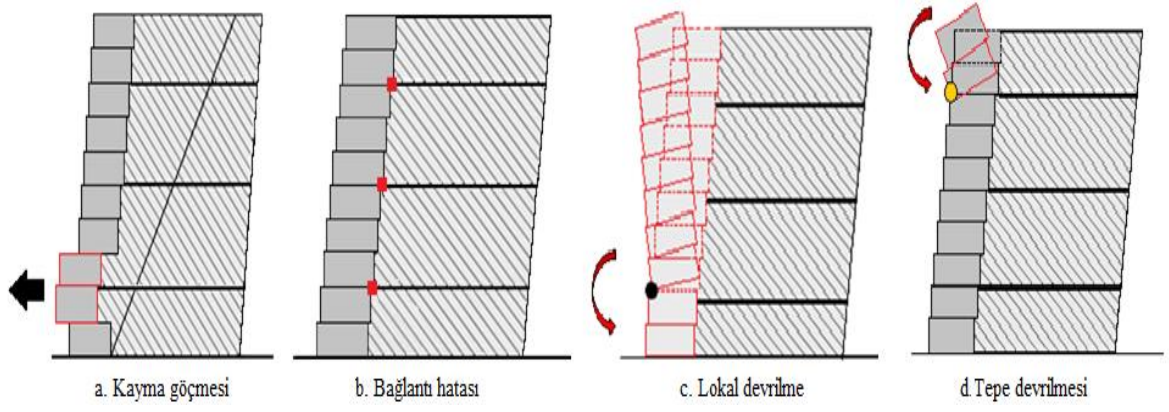
$L_a$ : Çalışan (aktif) donatı boyu

$L_e$ : Donatının efektif boyu (direnç boyu)

Kopmada ve sıyrılmada güvenlik faktörünün  $\geq 1,5-2$  önerilmektedir. Eşitliklerdeki şartların sağlanmadığı durumlarda donatı boyları ve donatılar arası düşey mesafe değerleri değiştirilerek tasarım değerlerine ulaşılmalıdır.

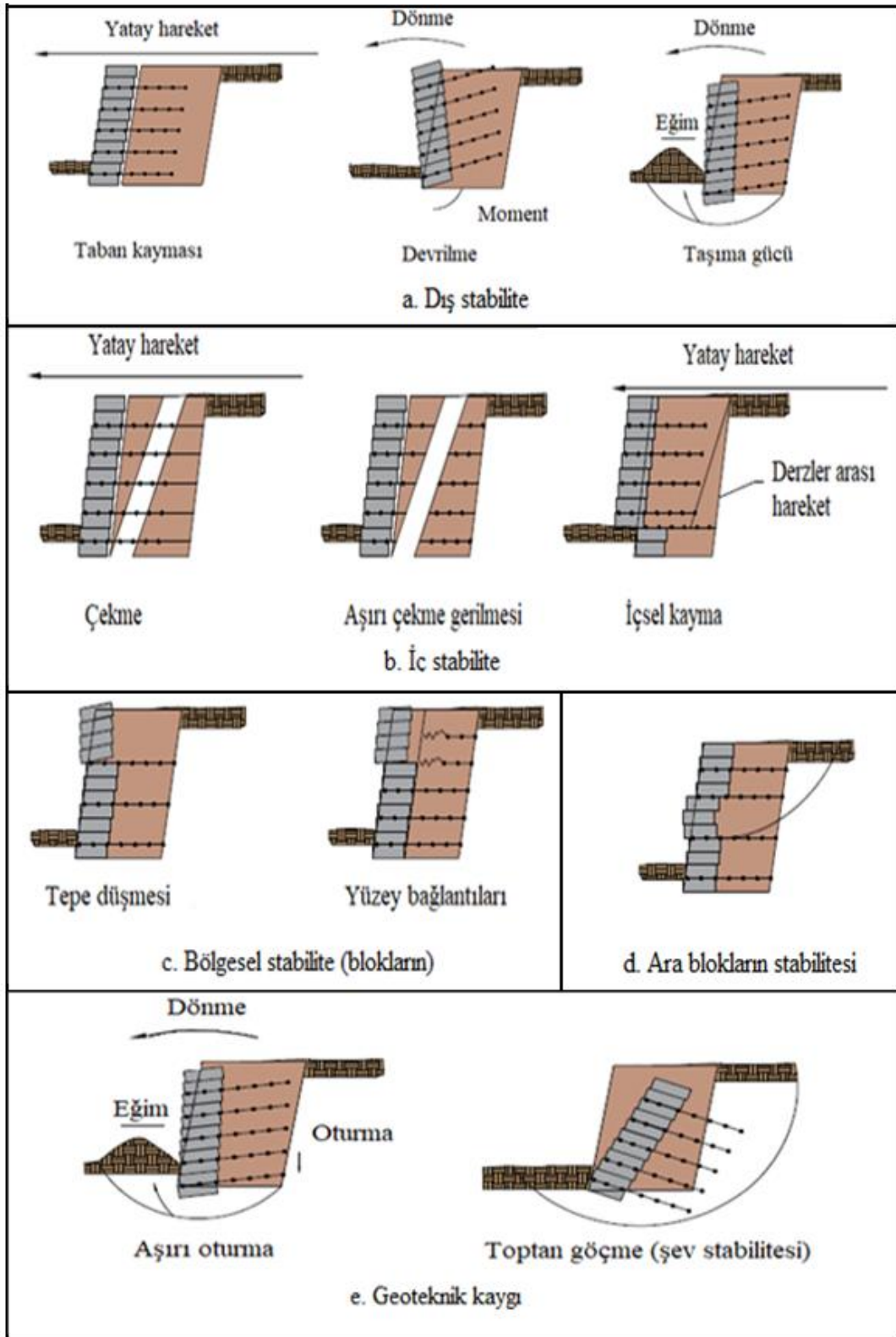
### 3.4.2.5. Yüzey elemanı göçmeleri

Donatılı zemin duvarlarında yüzey elemanları doğru dizayn edilmezse, donatı ile yüzey elemanı birleşimleri yetersiz ise Şekil 3.73 ve 3.74'de görülen göçmeler oluşmaktadır (Emir, 2005). Donatılı zemin uygulama aşamaları Şekil 3.75'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.73 Donatılı zemin istinat duvarlarında oluşabilecek yüzey elemanı göçmeleri

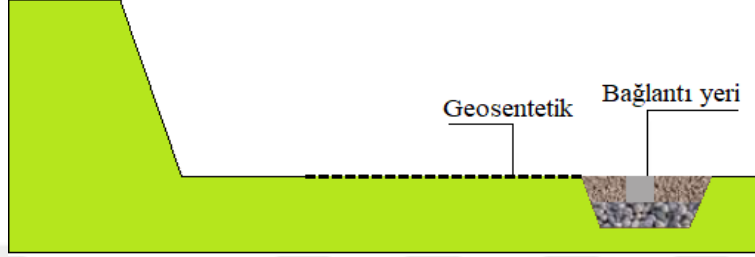




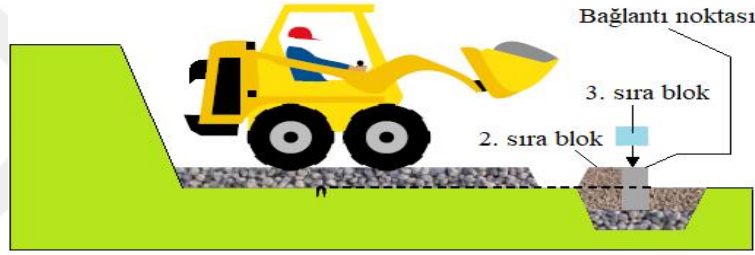
Şekil 3.74 Donatılı zemin istinat duvarlarında oluşabilecek yüzey elemanı göçmeleri



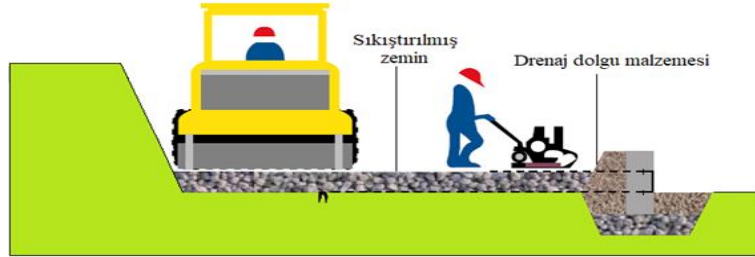
- a. Hendeğin kazısı yapıldıktan sonra hendeğin dibinde stabilize malzeme (çakıl) ile sıkıştırılarak temel oluşturulur ve çakıl tabakası üzerine ilk sıra bloklar dizilir. Blokların iç tarafına drenaj borusu yerleştirilerek granüler malzeme ile doldurulur.



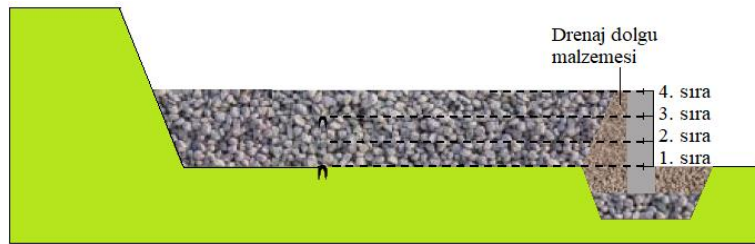
- b. İlk sıraya genellikle tek yönlü geogrid, duvar yüzeyine dik bir şekilde yatay olarak serilir. Geogridin ucu bloğun üzerine mesnetlenir.



- c. Birinci sıra geogrid yerleştirildikten sonra üzerine ikinci sıra bloklar yerleştirilir. 0,50 m genişliğinde drenaj dolgusu yapılır. Dolgu silindir ile uygun yöntemle sıkıştırılır.



- d. Donatıların üst dolgusu yapıldıktan sonra sıkıştırılır. Sıkıştırma Standart Proktor değerinin yaklaşık %95 olması istenir. Blok çevresindeki sıkıştırma 1 m'ye kadar el kompaktörü ile yapılmalıdır.



- e. Tasarıma uygun olacak şekilde ana ve ara geogridler konularak aynı işlemler 2, 3 ve 4 sıralar için tekrarlanır.

Şekil 3.75 Donatılı zemin istinat duvarları uygulama aşamaları

### 3.5. TAM FAKTÖRİYEL TASARIM METODU

Bir deneyde birden çok faktörün belirli bir seviyede bağımsız değişkenlerin birbirleri ile etkileşimlerinin oluşturduğu tüm kombinasyonları inceleyen, bağımsız değişkenlere bağlı olarak bağımlı değişkende optimizasyon analizleri yapan metottur. Örneğin A ve B faktörleri 2 ve 3 düzeye sahip olsun. Bu düzeyler (a1, a2, a3) ve (b1, b2) sembolleri ile gösterilirse;

$$a_1b_1 \quad a_1b_2 \quad a_2b_1$$

$$a_2b_2 \quad a_3b_1 \quad a_3b_2$$

Olarak ifade edilen  $3 \times 2 = 6$  deneme vardır. Bu tasarım  $3 \times 2$  faktöriyel tasarım olarak adlandırılır.  $2^k$  faktöriyel tasarımda 2 düzey sayısını k faktör sayısını göstermektedir. Faktörlerin düzeyleri düşük ve yüksek olarak (0,1), (-1,1) veya (-, +) sembolleri ile ifade edilir. A ve B faktörlerinin a ve b düzeyinin olduğu  $a \times b$  faktöriyel tasarım için matematik model denklem (1.1)'de verilmiştir.

$$y_{ij} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon \quad (3.88)$$

$$i=1,2,3,\dots,a; j=1,2,3,\dots,b;$$

Burada;

$y_{ij}$ : A faktörünün i-inci, B faktörünün j-inci gözlem değeri

$\mu$ : Genel ortalama

$A_i$ : A faktörünün i-inci düzeydeki etki değeri

$B_j$ : B faktörünün j-inci düzeydeki etki değeri

$AB_{ij}$ : A ve B faktörlerinin etkileşim etkisini

$\varepsilon$ : Rassal hata bileşenini

göstermektedir.

A, B ve C faktörlerinin a,b ve c düzeyinin olduğu  $a \times b \times c$  faktöriyel tasarım için matematik model denklem (7.2)'de verilmiştir.

$$y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \varepsilon_{l(ijk)} \quad (3.89)$$

$$\begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, c \\ l = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

Burada;

$y_{ij}$ : A faktörünün i-inci, B faktörünün j-inci, C faktörünün k-ıncı gözlem değeri

$\mu$ : Genel ortalama

$A_i$ : A faktörünün i-inci düzeydeki etki değeri

$B_j$ : B faktörünün j-inci düzeydeki etki değeri

$C_k$ : C faktörünün k-ıncı düzeydeki etki değeri

$AB_{ij}$ : A ve B faktörlerinin etkileşim etkisini

$AC_{ik}$ : A ve C faktörlerinin etkileşim etkisini

$BC_{jk}$ : B ve C faktörlerinin etkileşim etkisini

$ABC_{ijk}$ : A, B ve C faktörlerinin etkileşim etkisini

$\varepsilon$ : Rassal hata bileşeni

göstermektedir.

A, B ve C faktörlerinin a, b ve c düzeyinin olduğu faktöriyel tasarım için kareler toplamı;

$$KT_{GENEL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y^2}{a.b.c.n} \quad (3.90)$$

$$KT_A = \frac{1}{b.c.n} \sum_{i=1}^a y_i^2 - \frac{y^2}{a.b.c.n} \quad (3.91)$$

$$KT_B = \frac{1}{a.c.n} \sum_{j=1}^b y_j^2 - \frac{y^2}{a.b.c.n} \quad (3.92)$$

$$KT_C = \frac{1}{a.b.n} \sum_{k=1}^c y_k^2 - \frac{y^2}{a.b.c.n} \quad (3.93)$$

$$KT_{AB} = \frac{1}{c.n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - \frac{y^2}{a.b.c.n} - KT_A - KT_B \quad (3.94)$$

$$KT_{AC} = \frac{1}{b.n} \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c y_{ik}^2 - \frac{y^2}{a.b.c.n} - KT_A - KT_C \quad (3.95)$$

$$KT_{BC} = \frac{1}{a.n} \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c y_{jk}^2 - \frac{y^2}{a.b.c.n} - KT_B - KT_C \quad (3.96)$$

$$KT_{ABC} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c y_{ijk}^2 - \frac{y^2}{abcn} - KT_A - KT_B - KT_C - KT_{AB} - KT_{AC} - KT_{BC} \quad (3.97)$$

$$KT_{HATA} = KT_{GENEL} - KT_A - KT_B - KT_C - KT_{AB} - KT_{AC} - KT_{BC} - KT_{ABC} \quad (3.98)$$

Üç faktörlü sabit etkili düzen için varyans analizi sonuçları Tablo 3.17'de verilmiştir (Erbaş ve Olmuş 2006; Montgomery, 2001).

**Tablo 3.17** Varyans Analiz Sonuç Tablosu

Değişkenlik Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması (Varyans)	Test İstatistikleri (F)
A	$KT_A$	a-1	$KO_A$	$KO_A / KO_{HATA}$
B	$KT_B$	b-1	$KO_B$	$KO_B / KO_{HATA}$
C	$KT_C$	c-1	$KO_C$	$KO_C / KO_{HATA}$
AB	$KT_{AB}$	(a-1)(b-1)	$KO_{AB}$	$KO_{AB} / KO_{HATA}$
AC	$KT_{AC}$	(a-1)(c-1)	$KO_{AC}$	$KO_{AC} / KO_{HATA}$
BC	$KT_{BC}$	(b-1)(c-1)	$KO_{BC}$	$KO_{BC} / KO_{HATA}$
ABC	$KT_{ABC}$	(a-1)(b-1)(c-1)	$KO_{ABC}$	$KO_{ABC} / KO_{HATA}$
HATA	$KT_{HATA}$	abc(n-1)	$KO_{HATA}$	-
TOPLAM	$KT_{GENEL}$	abcn-1	-	-

Ana kütle parametreleri hakkında bir varsayımın belirli bir anlamlılık düzeyinde ( $\alpha=1$ -güven düzeyi) geçerliliğinin örnek istatistiklerinden hareketle araştırılmasına Hipotez testleri adı verilmektedir. Hipotez testlerinin yapılmasında; hipotezlerin yazılması, anlamlılık düzeyinin belirlenmesi, örnek değerlerinden hareketle F değerinin belirlenmesi ve karar alınması aşamaları izlenmektedir (Orhunbilge, 2000).

Bu hipotezlerin test edilmesi için varyans analizi yapılmakta ve F değerleri hesaplanmaktadır. F istatistiği F örnekleme dağılımının bir terimidir ve iki parametrelili bir dağılım olan F dağılımı R.A. Fisher tarafından hesaplandığı için soyadının baş harfi ile gösterilmektedir (Çömlekçi, 2005).

Tam faktöriyel analiz metodu ile oluşturulan modeli anlamlandırmak için varyans analizi ile bağımlı değişkene bağlı her bir bağımsız değişken için F ve P değerleri hesaplanır. F istatistiği denilen bu yöntem ile, hesaplanan P değerleri sıfıra ne kadar yakınsa bağımsız değişken, bağımlı değişken için o kadar anlamlı demektir. P değeri büyüdükçe bağımsız değişken, bağımlı değişken için anlamlı değildir demektir. Başka bir ifade ile bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken ile aralarında bir bağ yoktur şeklinde bir hipotez kurulur ve P değeri ne kadar büyükse kurduğumuz bu hipotez doğru demektir. Eğer P değeri ne kadar küçük ise kurduğumuz bu hipotez yanlış demektir ve reddedilir. Genellikle P değerinin 0,05'ten küçük olması istenir. Daha sonra her bir bağımsız değişken için varyans artış faktörü VIF (Variance Inflation Factor) değerleri hesaplanır. Bu değer bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığını belirlemek için kullanılır. Eğer bu değer 1 veya 1'e yakınsa bağımsız değişkenler arasında doğrusal

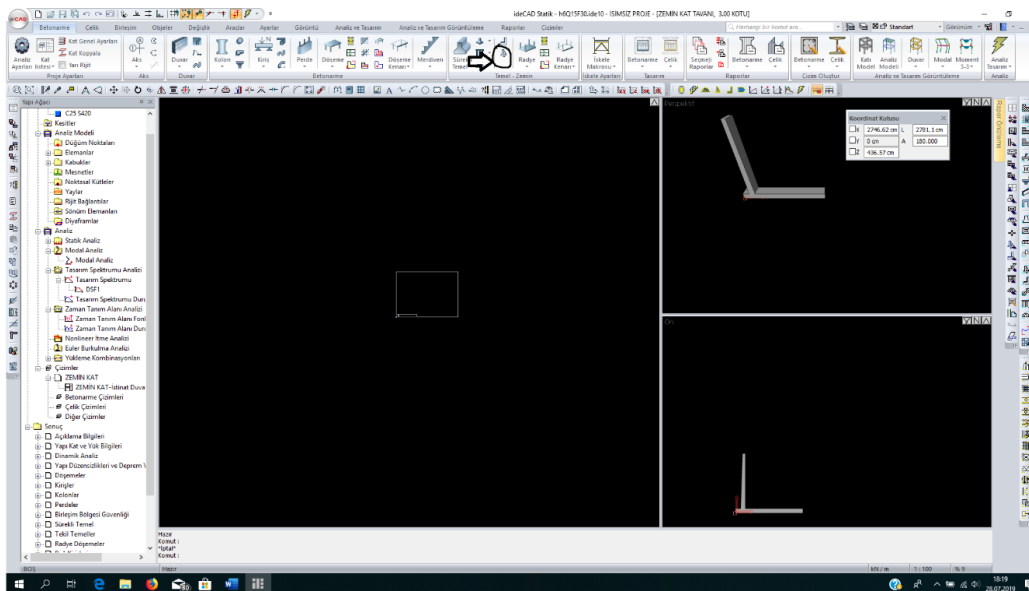
bir ilişki var demektir. Son olarak “Çoklu Açıklayıcılık Katsayısı” ( $R^2$ ) değeri hesaplanır. Bu katsayı ile bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişken için ne kadar anlamlı olduğu sonucu belirlenir. Bu değer 1’e yakın olması istenir. Çünkü bu değer 1’e ne kadar yakınsa, kurduğumuz hipotez o kadar anlamlı demektir. Eğer bu değer küçük ise, bağımlı değişkene bağlı başka bağımsız değişkenlerinde hipoteze dahil edilmesi gerektiği sonucu çıkmaktadır.

### 3.6. BETONARME KONSOL VE GEOGRİD DONATILI İSTİNAT DUVARI ANALİZLERİ

İstinat duvarı analizleri depremsiz durum için yapılmıştır. Yer altı su seviyesinin olmadığı varsayılmıştır. Analizlerde her iki istinat duvarı için de devrilme, kayma ve toptan göçme katsayısı 1,5 olarak alınmıştır. Geogrid donatılı istinat duvarlarında çekme dayanımı katsayısı, emniyet faktörü 1,5 ve uzun dönem dayanım sayısı 1,5 olmak üzere  $1,5 \times 1,5 = 2,25$  olarak alınmıştır. Kopma ve sıyırılma faktörleri 1,5 alınmıştır. Hesaplamalarda bu katsayıları sağlayan optimum kesit değerleri seçilmiştir.

#### 3.6.1. Hesaplamalarda Kullanılan Bilgisayar Programları

Betonarme konsol istinat duvarlarının çözümünde İdeCAD v10.09 programı kullanılmıştır. Programın başlangıç ara yüzü Şekil 3.76’da gösterildiği gibidir.

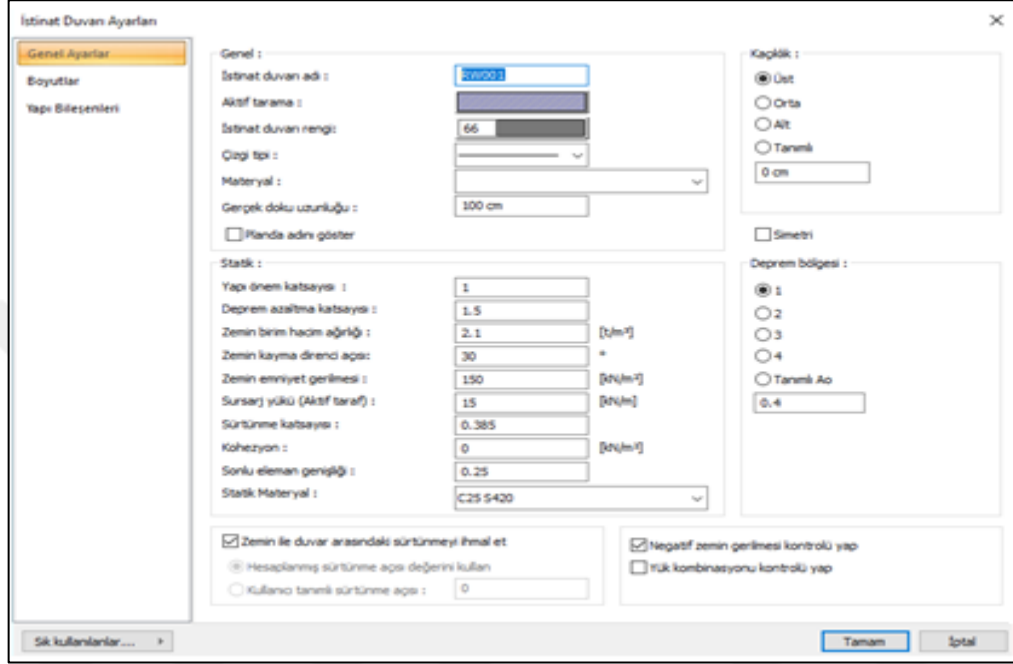


Şekil 3.76 İdeCAD v10.09 programı arayüzü

Şekil 3.76’da ok işareti ile gösterilen İstinat duvarı ikonuna tıklandığı zaman şekilde görülen boş siyah ekrana istenilen yönde ve uzunlukta fare ile istinat duvarı çizimi

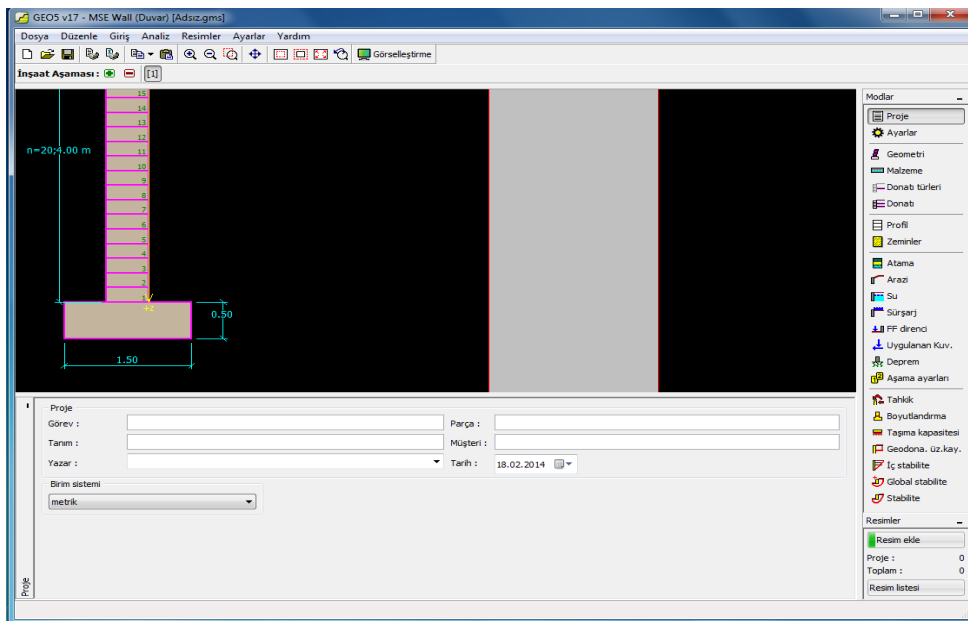


yapılır. Çizilen istinat duvarının 3 boyutlu şekli ile kesiti sağ taraftaki şekillerden takip edilir. Çizilen şekil seçilip sağ tuş ile özellikler tıklandığı zaman Şekil 3.77’deki menü karşımıza çıkar. Bu ara yüzden istinat duvarı ile ilgili tüm ayarlar yapılabilmektedir. Çözüm yapıldıktan sonra Şekil 7.1’deki ara yüzden “Analiz ve Tasarım” sekmesinden istinat duvarı ile ilgili sonuçlar takip edilir.



Şekil 3.77 İdeCAD v10.09 istinat duvarı ayarları

Donatılı istinat duvarı çözümlerinde Geo5 v17 programı kullanılmıştır. Programın ara yüzü Şekil 3.78’de gösterilmiştir.

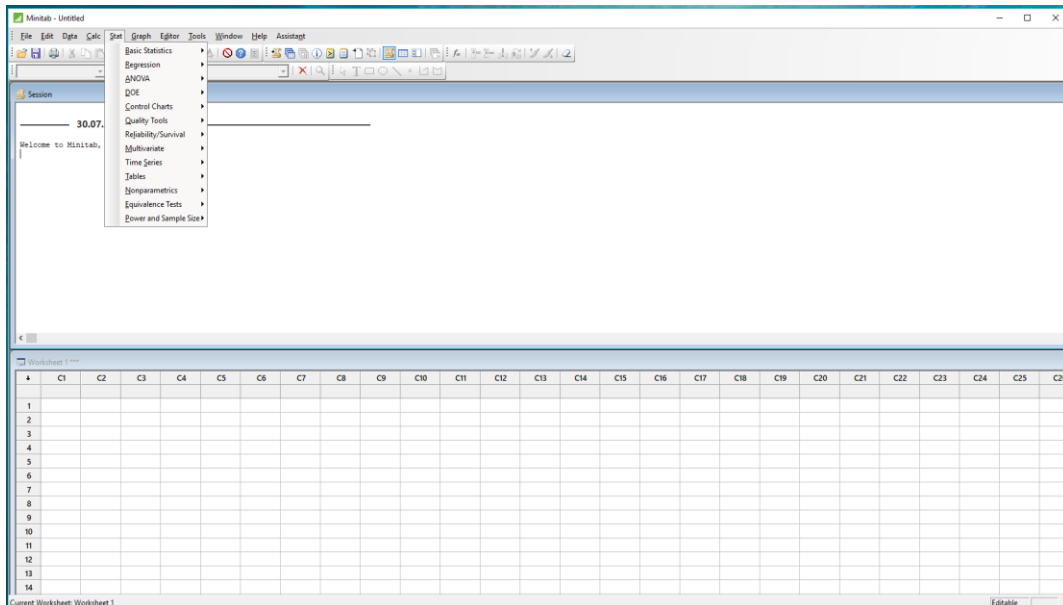


Şekil 3.78 GEOS v17-MSE Wall programı arayüzü

Programın sağ tarafında çeşitli sekmeler bulunmaktadır. “Proje” sekmesi ile çalışılan projeye isim verilebilir, projede çalışan kişilerin isimleri yazılabilir. “Ayarlar” sekmesi ile proje hangi yönetmeliğe göre çözülecekse o yönetmelik seçilebilir ve çeşitli katsayılar değiştirilebilir. “Geometri” sekmesi ile yapının yüksekliği, blok sayısı, temel genişliği ve yüksekliği, arazinin şekli ve blokların eksantritesi girilebilir. “Malzeme” sekmesindeki ayarlar ile de blok malzemesinin özellikleri girilir. “Donatı Türleri” sekmesinden yapıda kullanılacak olan geosentetik malzemeler ve bunların özellikleri tanımlanır.

“Donatı” sekmesi ile  $S_v$  aralıklarına göre tanımlanan geosentetik donatı malzemeleri ataması yapılır. Zemindeki kot ve farklı zemin tabakası tanımlamaları “Profil” sekmesinden yapılır. Zemin özellikleri ise “Zeminler” tanımlamasından yapılır. “Atama” sekmesi ile tanımlanan zemin ve zemin tabakaları ataması yapılır. Yeraltı suyu, sürşarj yükü, pasif basınç ve deprem ayarları sırasıyla “Su”, “Sürşarj”, “FF direnci”, ve “Deprem” sekmelerinden yapılır. Yapı çözüm sonuçları “Tahkik”, “Boyutlandırma”, “Taşıma kapasitesi”, “Geo dona.üz.kay.”, “İç stabilite”, “Global stabilite” ve “Stabilite” sekmelerinden takip edilir.

Minitab v17 programı istatistik analiz programıdır. Betonarme konsol ve donatılı istinat duvarlarının istatistiksel analizleri bu programda yapılmıştır. Programın başlangıç ara yüzü Şekil 3.79’deki gibidir.



Şekil 3.79 Minitab v17 programı arayüzü

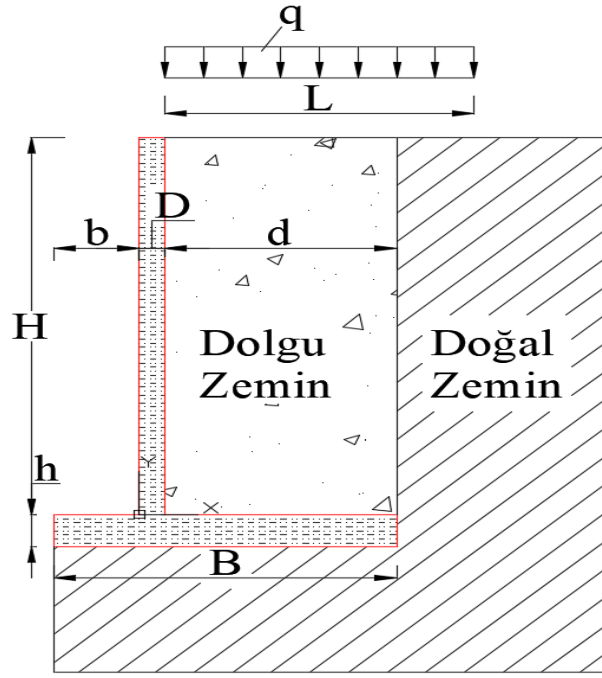
Şekil 3.79’ da program ara yüzünün alt tarafında bulunan hücelere tam faktöriyel analiz metodu ile belirlediğimiz tasarım modeline göre bağımlı ve bağımsız değişken değerleri girilir. Programla ilgili istatistiksel analizlerin bulunduğu menü “Stat” menüsüdür. Bu menü içerisinde “Regresion” tıklanırsa buradan regresion analizi ile ilgili ayarlar gelir. Analiz sonuçları Şekil 3.79’daki program ara yüzünün hüceler kısmının üstünde bulunan bölümde takip edilir.

### 3.6.2. Hesaplamalarda Kullanılan Veriler

Bu bölümde donatılı zemin istinat duvarları ile betonarme konsol istinat duvarları  $H=4-6-8-10$  m, içsel sürtünme açısı  $\phi=24-26-28-30$  ve sürşarj yükü  $q=10-15-20-25$  kN/m<sup>2</sup> için ayrı ayrı çözülmüş ve maliyetleri hesaplanmıştır. Donatılı zemin istinat duvarları GEO5 v17-MSE Wall programı ile betonarme konsol istinat duvarlarının çözümleri İdeCAD Betonarme v10.09 programı ile yapılmıştır. İstinat duvarının uzunluğu 1 m olarak alınmıştır.

Maliyet hesapları yapılırken Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve Karayolları Genel Müdürlüğü pozlarından yararlanılmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile Karayolları Genel Müdürlüğünde bulunmayan pozlar için piyasa fiyatları ile özel pozlar oluşturulmuştur. Maliyet bağımlı değişken yükseklik, içsel sürtünme açısı ve sürşarj yükü bağımsız değişken olmak üzere bu değişkenler arasındaki regresyon denklemi ve istatistik analizleri Minitab v17 programı ile yapılmıştır. Şekil 3.80’ de görüldüğü gibi dolgu zemin, doğal zemin ve taban zemini olmak üzere 3 farklı tipte zemin seçilmiştir. Bu zeminlere ait geoteknik özellikler Tablo 3.18’de gösterilmiştir.

İstinat yapılarının çözümleri depresiz duruma göre hesaplanmıştır. Hesaplamalarda yer altı suyunun olmadığı varsayılmıştır. Donatılı istinat duvarı çözümlerinde beton blok malzemesi Terra Blok malzemesi, geogrid malzemesi olarak ForTex tek yönlü geogrid malzemesi seçilmiştir.



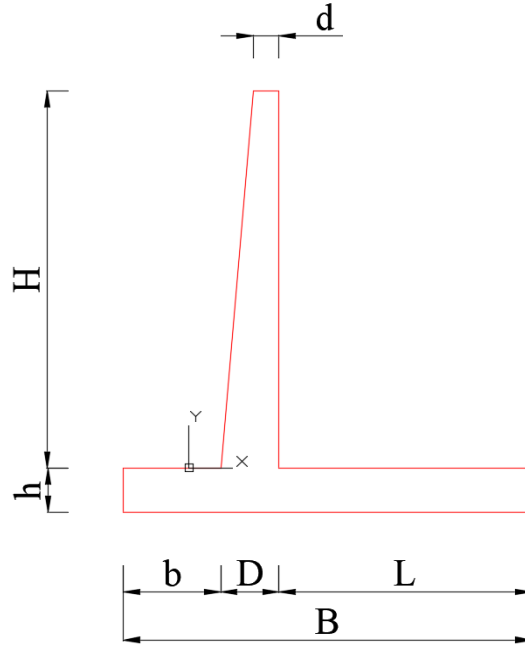
Şekil 3.80 İstinat duvarının genel görünümü

Tablo 3.18 Hesaplamalarda kullanılan zemin geoteknik değerleri

	Doğal Zemin	Dolgu Zemin
Birim Hacim Ağırlığı $\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	19	21
İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi^\circ$ )	24-26-28-30	24-26-28-30
Duvar Sürtünme Açısı ( $\delta^\circ=2/3\phi$ )	16-17,33-18,66-20	16-17,33-18,66-20
Kohezyon Değeri c (kN/m <sup>2</sup> )	0	0
Zemin Emniyet Gerilmesi $\sigma_{em}$ (kN/m <sup>2</sup> )	150	-

### 3.6.3. Betonarme Konsol İstinat Duvarı Hesaplama Sonuçları

Betonarme konsol istinat duvarı çözümleri İdeCAD v10.09 programında yapılmıştır. Hesaplamalar şekil 3.81’de gösterilen h, b, D, d, L ve B boyutları için yapılmıştır. Bu değerlere bağlı olarak maliyeti belirleyen faktörler olan demir, beton, kalıp, kazı ve dolgu metrajları hesaplanmıştır. Betonarme konsol istinat duvarı hesaplanan boyutları Tablo 3.19’da verilmiştir. Betonarme konsol istinat duvarı belirlenirken devrilme, kayma, zemin taşıma gücü ve toptan göçme tahkiklerini optimum sağlayan değerler bulununcaya kadar değerler değiştirilmiştir. Tablo 3.19 değerleri devrilme, kayma, taşıma gücü ve toptan göçme tahkiklerini sağlayan minimum boyutlardır.



Şekil 3.81 Betonarme konsol istinat duvarı kesiti

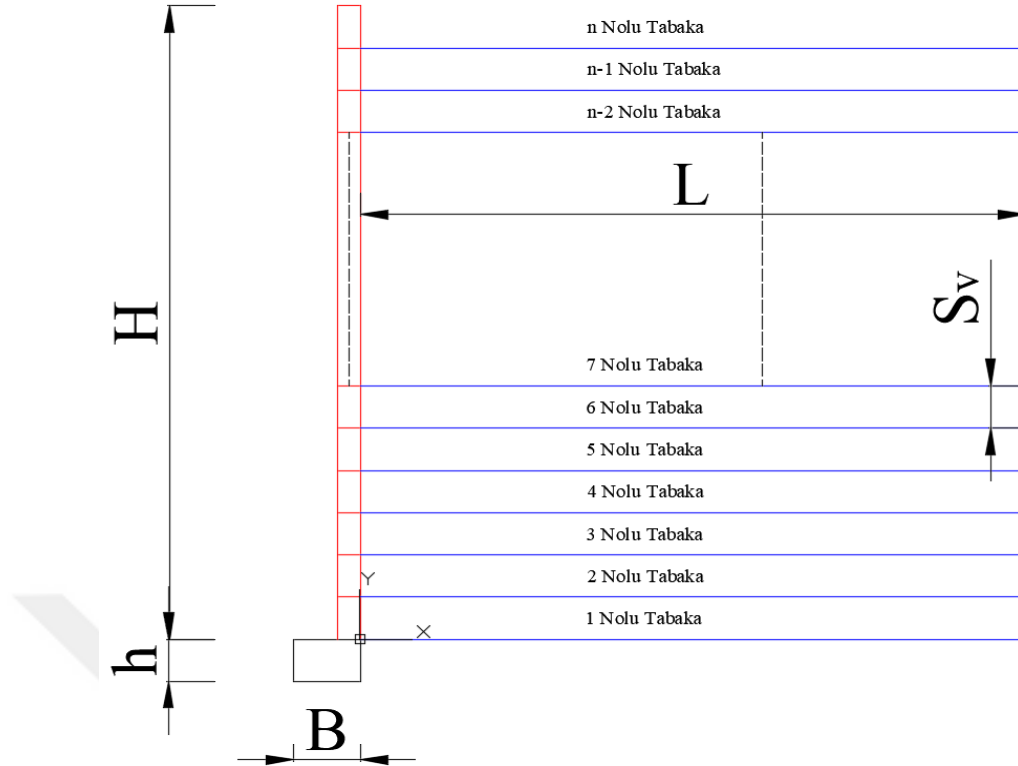
Tablo 3.19 Betonarme konsol istinat duvarı boyutları

H (m)	q (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	h (cm)	d (cm)	b (cm)	D (cm)	L (cm)
4	10	24	40	20	40	31	682
4	10	26	40	20	40	29	585
4	10	28	40	20	40	27	500
4	10	30	40	20	40	26	427
4	15	24	40	20	40	33	717
4	15	26	40	20	40	31	615
4	15	28	40	20	40	29	526
4	15	30	40	20	40	28	448
4	20	24	40	20	40	35	750
4	20	26	40	20	40	33	640
4	20	28	40	20	40	31	550
4	20	30	40	20	40	29	470
4	25	24	40	20	40	37	780
4	25	26	40	20	40	35	667
4	25	28	40	20	40	33	575
4	25	30	40	20	40	31	490
6	10	24	50	28	60	55	970
6	10	26	50	28	50	52	830
6	10	28	50	28	50	49	710
6	10	30	50	28	55	46	608
6	15	24	50	28	50	59	1005
6	15	26	50	28	50	57	860
6	15	28	50	28	60	52	735
6	15	30	50	28	60	48	628
6	20	24	50	28	52	62	1040
6	20	26	50	28	56	58	890
6	20	28	50	28	61	54	760
6	20	30	50	28	66	51	648
6	25	24	50	28	60	66	1070
6	25	26	50	28	63	61	915
6	25	28	50	28	67	57	785
6	25	30	50	28	71	53	670

H (m)	q (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	h (cm)	d (cm)	b (cm)	D (cm)	L (cm)
8	10	24	67	37	150	89	1255
8	10	26	67	37	145	83	1070
8	10	28	67	37	141	77	915
8	10	30	67	37	140	72	780
8	15	24	67	37	156	94	1285
8	15	26	67	37	152	87	1100
8	15	28	67	37	148	81	940
8	15	30	67	37	147	75	800
8	20	24	70	37	170	100	1320
8	20	26	67	37	160	92	1125
8	20	28	67	37	155	86	965
8	20	30	67	37	153	80	820
8	25	24	75	37	184	102	1360
8	25	26	71	37	172	95	1157
8	25	28	68	37	163	90	985
8	25	30	67	37	160	82	840
10	10	224	115	47	310	132	1560
10	10	26	107	46	285	122	1320
10	10	28	100	46	262	114	1100
10	10	30	96	46	247	108	950
10	15	24	121	47	328	137	1595
10	15	26	112	47	300	127	1350
10	15	28	105	47	275	123	1150
10	15	30	99	46	257	111	985
10	20	24	127	48	350	143	1630
10	20	26	116	47	310	133	1385
10	20	28	108	47	285	124	1172
10	20	30	104	46	270	114	995
10	25	24	132	48	365	148	1670
10	25	26	121	47	325	138	1415
10	25	28	115	47	300	128	1200
10	25	30	107	47	280	119	1017

### 3.6.4. Geogrid Donatılı İstinat Duvarı Hesaplama Sonuçları

Donatılı istinat duvarı çözümleri Geo5-v17 programında yapılmıştır. Şekil 3.82’de gösterilen tabaka uzunlukları L, tabakalarda kullanılan geogridler, temel boyutları B ve h değerleri hesaplanmıştır. Geogrid donatılı istinat duvarlarının çözümleri Tablo 3.20-3.21-3.22-3.23-3.24’de verilmiştir. Geogrid donatılı istinat duvarlarında dış stabilitenin yanında iç stabilite hesapları da yapılmıştır. Minimum donatı uzunlu  $0,7 \times H$  olarak alınmıştır. Donatı malzemesi olarak İstanbul Teknik firmasının ForTex marka geogridleri kullanılmıştır. Geogrid malzemesinin ilk değeri ana eksendeki çekme dayanımını, diğer değer ise tali yöndeki çekme dayanımını göstermektedir. Örneğin ForTex 40/20 geogrid donatı malzemesinin ana eksendeki çekme dayanımı 40 kN/m, tali yöndeki çekme dayanımı 20 kN/m’dir.



Şekil 3.82 Geogrid donatılı istinat duvarı kesiti

Tablo 3.20 Geo5 v17 ile hesaplanan donatılı istinat duvarı sonuçları ( $q=10 \text{ kN/m}^2$ )

		İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi$ )							
		24°		26°		28°		30°	
H (m)	Tabaka No	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)
4	1	ForTex40/20	2.8	ForTex40/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	2	ForTex40/20	2.8	ForTex40/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	3	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	4	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	5	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	6	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	7	ForTex20/20	2.8	ForTex20/20	2.8	ForTex20/20	2.8	ForTex20/20	2.8
4	8	ForTex20/20	3.7	ForTex20/20	3.2	ForTex20/20	2.8	ForTex20/20	2.8
4	9	ForTex20/20	3.7	ForTex20/20	3.2	ForTex20/20	2.8	ForTex20/20	2.8
4	10	ForTex20/20	3.7	ForTex20/20	3.2	ForTex20/20	3.0	ForTex20/20	2.8
6	1	ForTex60/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2
6	2	ForTex60/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2
6	3	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2
6	4	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex40/20	4.2
6	5	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex40/20	4.2	ForTex40/20	4.2
6	6	ForTex55/20	4.2	ForTex40/20	4.2	ForTex40/20	4.2	ForTex35/20	4.2
6	7	ForTex40/20	4.2	ForTex40/20	4.2	ForTex40/20	4.2	ForTex35/20	4.2

q=10 kN/m <sup>2</sup>		İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi$ )							
		24°		26°		28°		30°	
H (m)	Tabaka No	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)
6	8	ForTex40/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2
6	9	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2
6	10	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2
6	11	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex20/20	4.2	ForTex20/20	4.2
6	12	ForTex20/20	5.2	ForTex20/20	4.8	ForTex20/20	4.2	ForTex20/20	4.2
6	13	ForTex20/20	5.2	ForTex20/20	4.8	ForTex20/20	4.2	ForTex20/20	4.2
6	14	ForTex20/20	5.2	ForTex20/20	4.8	ForTex20/20	4.5	ForTex20/20	4.2
6	15	ForTex20/20	5.2	ForTex20/20	4.8	ForTex20/20	4.5	ForTex20/20	4.2
8	1	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex60/20	5.6
8	2	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex60/20	5.6
8	3	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex60/20	5.6
8	4	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex60/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	5	ForTex80/30	5.6	ForTex60/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	6	ForTex80/30	5.6	ForTex60/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	7	ForTex60/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	8	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	9	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex40/20	5.6
8	10	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex40/20	5.6	ForTex40/20	5.6
8	11	ForTex55/20	5.6	ForTex40/20	5.6	ForTex40/20	5.6	ForTex35/20	5.6
8	12	ForTex55/20	5.6	ForTex40/20	5.6	ForTex35/20	5.6	ForTex35/20	5.6
8	13	ForTex40/20	6.5	ForTex35/20	5.6	ForTex35/20	5.6	ForTex35/20	5.6
8	14	ForTex35/20	7.0	ForTex35/20	5.6	ForTex35/20	5.6	ForTex35/20	5.6
8	15	ForTex35/20	7.0	ForTex35/20	5.6	ForTex35/20	5.6	ForTex35/20	5.6
8	16	ForTex35/20	6.5	ForTex35/20	6.2	ForTex20/20	5.6	ForTex20/20	5.6
8	17	ForTex20/20	6.5	ForTex20/20	6.2	ForTex20/20	5.6	ForTex20/20	5.6
8	18	ForTex20/20	6.5	ForTex20/20	6.2	ForTex20/20	5.6	ForTex20/20	5.6
8	19	ForTex20/20	6.5	ForTex20/20	6.2	ForTex20/20	5.6	ForTex20/20	5.6
8	20	ForTex20/20	6.5	ForTex20/20	6.2	ForTex20/20	5.6	ForTex20/20	5.6
10	1	ForTex100/30	7.0	ForTex100/30	7.0	ForTex80/30	7.0	ForTex80/30	7.0
10	2	ForTex100/30	7.0	ForTex100/30	7.0	ForTex80/30	7.0	ForTex80/30	7.0
10	3	ForTex100/30	7.0	ForTex100/30	7.0	ForTex80/30	7.0	ForTex80/30	7.0
10	4	ForTex100/30	7.0	ForTex80/30	7.0	ForTex80/30	7.0	ForTex80/30	7.0
10	5	ForTex100/30	7.0	ForTex80/30	7.0	ForTex80/30	7.0	ForTex80/30	7.0
10	6	ForTex80/30	7.0	ForTex80/30	7.0	ForTex80/30	7.0	ForTex80/30	7.0
10	7	ForTex80/30	7.0	ForTex80/30	7.0	ForTex80/30	7.0	ForTex60/20	7.0
10	8	ForTex80/30	7.0	ForTex80/30	7.0	ForTex80/30	7.0	ForTex60/20	7.0
10	9	ForTex80/30	7.0	ForTex80/30	7.0	ForTex60/20	7.0	ForTex55/20	7.0
10	10	ForTex80/30	7.0	ForTex60/20	7.0	ForTex55/20	7.0	ForTex55/20	7.0
10	11	ForTex80/30	8.0	ForTex60/20	7.0	ForTex55/20	7.0	ForTex55/20	7.0



q=10 kN/m <sup>2</sup>		İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi$ )							
		24°		26°		28°		30°	
H (m)	Tabaka No	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)
10	12	ForTex60/20	8.0	ForTex55/20	7.0	ForTex55/20	7.0	ForTex55/20	7.0
10	13	ForTex55/20	8.0	ForTex55/20	7.0	ForTex55/20	7.0	ForTex55/20	7.0
10	14	ForTex55/20	8.0	ForTex55/20	7.0	ForTex55/20	7.0	ForTex40/20	7.0
10	15	ForTex55/20	8.0	ForTex55/20	7.0	ForTex40/20	7.0	ForTex40/20	7.0
10	16	ForTex55/20	8.0	ForTex40/20	7.0	ForTex40/20	7.0	ForTex35/20	7.0
10	17	ForTex40/20	8.0	ForTex40/20	7.0	ForTex35/20	7.0	ForTex35/20	7.0
10	18	ForTex35/20	8.0	ForTex35/20	7.0	ForTex35/20	7.0	ForTex35/20	7.0
10	19	ForTex35/20	8.0	ForTex35/20	7.7	ForTex35/20	7.0	ForTex35/20	7.0
10	20	ForTex35/20	8.0	ForTex35/20	7.7	ForTex35/20	7.0	ForTex35/20	7.0
10	21	ForTex35/20	7.4	ForTex35/20	7.7	ForTex20/20	7.0	ForTex20/20	7.0
10	22	ForTex20/20	7.4	ForTex20/20	7.7	ForTex20/20	7.0	ForTex20/20	7.0
10	23	ForTex20/20	7.4	ForTex20/20	7.7	ForTex20/20	7.0	ForTex20/20	7.0
10	24	ForTex20/20	7.4	ForTex20/20	7.0	ForTex20/20	7.0	ForTex20/20	7.0
10	25	ForTex20/20	7.4	ForTex20/20	7.0	ForTex20/20	7.0	ForTex20/20	7.0

**Tablo 3.21** Geo5 v17 ile hesaplanan donatılı istinat duvarı sonuçları (q=15 kN/m<sup>2</sup>)

q=15 kN/m <sup>2</sup>		İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi$ )							
		24°		26°		28°		30°	
H	Tabaka No	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)
4	1	ForTex55/20	2.8	ForTex40/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	2	ForTex55/20	2.8	ForTex40/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	3	ForTex40/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	4	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	5	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	6	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex20/20	2.8
4	7	ForTex35/20	3.6	ForTex35/20	2.8	ForTex20/20	2.8	ForTex20/20	2.8
4	8	ForTex20/20	3.6	ForTex20/20	3.25	ForTex20/20	2.8	ForTex20/20	2.8
4	9	ForTex20/20	3.6	ForTex20/20	3.25	ForTex20/20	2.8	ForTex20/20	2.8
4	10	ForTex20/20	3.8	ForTex20/20	3.5	ForTex20/20	3.2	ForTex20/20	3
6	1	ForTex60/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2
6	2	ForTex60/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2
6	3	ForTex60/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2
6	4	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2
6	5	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex40/20	4.2
6	6	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex40/20	4.2	ForTex35/20	4.2
6	7	ForTex55/20	4.2	ForTex40/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2

q=15 kN/m <sup>2</sup>		İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi$ )							
		24°		26°		28°		30°	
H	Tabaka No	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)
6	8	ForTex40/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2
6	9	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2
6	10	ForTex35/20	5.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2
6	11	ForTex35/20	5.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex20/20	4.2
6	12	ForTex35/20	5.2	ForTex35/20	4.8	ForTex20/20	4.2	ForTex20/20	4.2
6	13	ForTex20/20	5.2	ForTex20/20	4.8	ForTex20/20	4.2	ForTex20/20	4.2
6	14	ForTex20/20	5.2	ForTex20/20	4.8	ForTex20/20	4.2	ForTex20/20	4.2
6	15	ForTex20/20	5.2	ForTex20/20	4.8	ForTex20/20	4.5	ForTex20/20	4.2
8	1	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6
8	2	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6
8	3	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex60/20	5.6
8	4	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex60/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	5	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex60/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	6	ForTex80/30	5.6	ForTex60/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	7	ForTex60/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	8	ForTex60/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	9	ForTex55/20	6.5	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	10	ForTex55/20	6.5	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex40/20	5.6
8	11	ForTex55/20	6.5	ForTex55/20	5.6	ForTex40/20	5.6	ForTex35/20	5.6
8	12	ForTex55/20	6.5	ForTex55/20	5.6	ForTex35/20	5.6	ForTex35/20	5.6
8	13	ForTex40/20	6.5	ForTex40/20	5.6	ForTex35/20	5.6	ForTex35/20	5.6
8	14	ForTex35/20	6.5	ForTex35/20	6.2	ForTex35/20	5.6	ForTex35/20	5.6
8	15	ForTex35/20	6.5	ForTex35/20	6.2	ForTex35/20	5.6	ForTex35/20	5.6
8	16	ForTex35/20	6.5	ForTex35/20	6.2	ForTex35/20	5.6	ForTex20/20	5.6
8	17	ForTex35/20	6.5	ForTex35/20	6.2	ForTex20/20	5.6	ForTex20/20	5.6
8	18	ForTex20/20	6.5	ForTex20/20	6.2	ForTex20/20	5.6	ForTex20/20	5.6
8	19	ForTex20/20	6.5	ForTex20/20	6.2	ForTex20/20	5.6	ForTex20/20	5.6
8	20	ForTex20/20	6.5	ForTex20/20	6.2	ForTex20/20	5.6	ForTex20/20	5.6
10	1	ForTex100/30	7.0	ForTex100/30	7.0	ForTex100/30	7.0	ForTex80/30	7.0
10	2	ForTex100/30	7.0	ForTex100/30	7.0	ForTex100/30	7.0	ForTex80/30	7.0
10	3	ForTex100/30	7.0	ForTex100/30	7.0	ForTex80/30	7.0	ForTex80/30	7.0
10	4	ForTex100/30	7.0	ForTex100/30	7.2	ForTex80/30	7.0	ForTex80/30	7.0
10	5	ForTex100/30	7.0	ForTex80/30	7.2	ForTex80/30	7.0	ForTex80/30	7.0
10	6	ForTex100/30	7.0	ForTex80/30	7.2	ForTex80/30	7.0	ForTex80/30	7.0
10	7	ForTex80/30	7.7	ForTex80/30	7.2	ForTex80/30	7.0	ForTex80/30	7.0
10	8	ForTex80/30	7.7	ForTex80/30	7.2	ForTex80/30	7.0	ForTex60/20	7.0
10	9	ForTex80/30	7.7	ForTex80/30	7.2	ForTex60/20	7.0	ForTex55/20	7.0
10	10	ForTex80/30	7.7	ForTex80/30	7.2	ForTex60/20	7.0	ForTex55/20	7.0
10	11	ForTex80/30	7.7	ForTex60/20	7.2	ForTex55/20	7.0	ForTex55/20	7.0

q=15 kN/m <sup>2</sup>		İçsel Sürtünme Açısı (φ)							
		24°		26°		28°		30°	
H	Tabaka No	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)
10	12	ForTex60/20	7.7	ForTex55/20	7.2	ForTex55/20	7.0	ForTex55/20	7.0
10	13	ForTex60/20	7.7	ForTex55/20	7.2	ForTex55/20	7.0	ForTex55/20	7.0
10	14	ForTex55/20	7.7	ForTex55/20	7.2	ForTex55/20	7.0	ForTex55/20	7.0
10	15	ForTex55/20	7.7	ForTex55/20	7.2	ForTex55/20	7.0	ForTex40/20	7.0
10	16	ForTex55/20	7.7	ForTex55/20	7.2	ForTex40/20	7.0	ForTex35/20	7.0
10	17	ForTex55/20	7.7	ForTex40/20	7.2	ForTex35/20	7.0	ForTex35/20	7.0
10	18	ForTex40/20	7.7	ForTex35/20	7.2	ForTex35/20	7.0	ForTex35/20	7.0
10	19	ForTex35/20	7.7	ForTex35/20	7.2	ForTex35/20	7.0	ForTex35/20	7.0
10	20	ForTex35/20	7.7	ForTex35/20	7.2	ForTex35/20	7.0	ForTex35/20	7.0
10	21	ForTex35/20	7.7	ForTex35/20	7.2	ForTex35/20	7.0	ForTex20/20	7.0
10	22	ForTex35/20	7.7	ForTex35/20	7.2	ForTex20/20	7.0	ForTex20/20	7.0
10	23	ForTex20/20	7.7	ForTex20/20	7.2	ForTex20/20	7.0	ForTex20/20	7.0
10	24	ForTex20/20	7.7	ForTex20/20	7.2	ForTex20/20	7.0	ForTex20/20	7.0
10	25	ForTex20/20	7.7	ForTex20/20	7.2	ForTex20/20	7.0	ForTex20/20	7.0

**Tablo 3.22** Geo5 v17 ile hesaplanan donatılı istinat duvarı sonuçları (q=20 kN/m<sup>2</sup>)

q=20 kN/m <sup>2</sup>		İçsel Sürtünme Açısı (φ)							
		24°		26°		28°		30°	
H (m)	Tabaka No	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)
4	1	ForTex55/20	2.8	ForTex40/20	2.8	ForTex40/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	2	ForTex55/20	2.8	ForTex40/20	2.8	ForTex40/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	3	ForTex40/20	2.8	ForTex40/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	4	ForTex40/20	2.8	ForTex40/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	5	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	6	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	7	ForTex35/20	3.6	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex20/20	2.8
4	8	ForTex35/20	3.6	ForTex20/20	3.4	ForTex20/20	3	ForTex20/20	2.8
4	9	ForTex20/20	3.6	ForTex20/20	3.4	ForTex20/20	3	ForTex20/20	2.8
4	10	ForTex20/20	4.1	ForTex20/20	3.8	ForTex20/20	3.5	ForTex20/20	3.2
6	1	ForTex80/30	4.2	ForTex60/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2
6	2	ForTex80/30	4.2	ForTex60/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2
6	3	ForTex60/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2
6	4	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2
6	5	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex40/20	4.2
6	6	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex40/20	4.2	ForTex40/20	4.2
6	7	ForTex55/20	4.2	ForTex40/20	4.2	ForTex40/20	4.2	ForTex35/20	4.2

q=20 kN/m <sup>2</sup>		İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi$ )							
		24°		26°		28°		30°	
H (m)	Tabaka No	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)
6	8	ForTex40/20	4.2	ForTex40/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2
6	9	ForTex40/20	4.2	ForTex40/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2
6	10	ForTex35/20	5.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2
6	11	ForTex35/20	5.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2
6	12	ForTex35/20	5.2	ForTex35/20	5.0	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2
6	13	ForTex35/20	5.2	ForTex20/20	5.0	ForTex20/20	4.2	ForTex20/20	4.2
6	14	ForTex20/20	5.4	ForTex20/20	5.0	ForTex20/20	4.2	ForTex20/20	4.2
6	15	ForTex20/20	5.4	ForTex20/20	5.0	ForTex20/20	4.7	ForTex20/20	4.3
8	1	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6
8	2	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6
8	3	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex60/20	5.6
8	4	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex60/20	5.6
8	5	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex60/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	6	ForTex80/30	5.6	ForTex60/20	5.6	ForTex60/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	7	ForTex80/30	5.6	ForTex60/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	8	ForTex60/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	9	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	10	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex40/20	5.6
8	11	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex40/20	5.6	ForTex40/20	5.6
8	12	ForTex55/20	7.0	ForTex40/20	5.6	ForTex40/20	5.6	ForTex35/20	5.6
8	13	ForTex40/20	7.0	ForTex40/20	5.6	ForTex35/20	5.6	ForTex35/20	5.6
8	14	ForTex40/20	7.0	ForTex35/20	6.3	ForTex35/20	5.6	ForTex35/20	5.6
8	15	ForTex35/20	7.0	ForTex35/20	6.3	ForTex35/20	5.6	ForTex35/20	5.6
8	16	ForTex35/20	7.0	ForTex35/20	6.3	ForTex35/20	5.6	ForTex35/20	5.6
8	17	ForTex35/20	7.0	ForTex35/20	6.3	ForTex35/20	5.6	ForTex20/20	5.6
8	18	ForTex35/20	7.0	ForTex20/20	6.3	ForTex20/20	5.6	ForTex20/20	5.6
8	19	ForTex20/20	7.0	ForTex20/20	6.3	ForTex20/20	5.6	ForTex20/20	5.6
8	20	ForTex20/20	7	ForTex20/20	6.3	ForTex20/20	5.9	ForTex20/20	5.6
10	1	ForTex100/30	7	ForTex100/30	7	ForTex100/30	7	ForTex80/30	7
10	2	ForTex100/30	7	ForTex100/30	7	ForTex100/30	7	ForTex80/30	7
10	3	ForTex100/30	7	ForTex100/30	7	ForTex100/30	7	ForTex80/30	7
10	4	ForTex100/30	7	ForTex100/30	7	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7
10	5	ForTex100/30	7	ForTex100/30	7	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7
10	6	ForTex100/30	7	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7
10	7	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7
10	8	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7	ForTex60/20	7
10	9	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7	ForTex60/20	7
10	10	ForTex80/30	8	ForTex80/30	7.5	ForTex60/20	7	ForTex55/20	7
10	11	ForTex80/30	8	ForTex60/20	7.5	ForTex60/20	7	ForTex55/20	7

q=20 kN/m <sup>2</sup>		İçsel Sürtünme Açısı (φ)							
		24°		26°		28°		30°	
H (m)	Tabaka No	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)
10	12	ForTex80/30	8	ForTex60/20	7.5	ForTex55/20	7	ForTex55/20	7
10	13	ForTex60/20	8	ForTex55/20	7.5	ForTex55/20	7	ForTex55/20	7
10	14	ForTex55/20	8	ForTex55/20	7.5	ForTex55/20	7	ForTex55/20	7
10	15	ForTex55/20	8	ForTex55/20	7.5	ForTex55/20	7	ForTex40/20	7
10	16	ForTex55/20	8	ForTex55/20	7.5	ForTex40/20	7	ForTex40/20	7
10	17	ForTex55/20	8	ForTex40/20	7.5	ForTex40/20	7	ForTex35/20	7
10	18	ForTex40/20	8	ForTex40/20	7.5	ForTex35/20	7	ForTex35/20	7
10	19	ForTex40/20	8	ForTex35/20	7.5	ForTex35/20	7	ForTex35/20	7
10	20	ForTex35/20	8	ForTex35/20	7.5	ForTex35/20	7	ForTex35/20	7
10	21	ForTex35/20	8	ForTex35/20	7.5	ForTex35/20	7	ForTex35/20	7
10	22	ForTex35/20	8	ForTex35/20	7.5	ForTex35/20	7	ForTex20/20	7
10	23	ForTex35/20	8	ForTex20/20	7.5	ForTex20/20	7	ForTex20/20	7
10	24	ForTex20/20	8	ForTex20/20	7.5	ForTex20/20	7	ForTex20/20	7
10	25	ForTex20/20	8	ForTex20/20	7.5	ForTex20/20	7.1	ForTex20/20	7

**Tablo 3.23** Geo5 v17 ile hesaplanan donatılı istinat duvarı sonuçları (q=25 kN/m<sup>2</sup>)

q=25 kN/m <sup>2</sup>		İçsel Sürtünme Açısı							
		24°		26°		28°		30°	
H (m)	Tabaka No	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)
4	1	ForTex55/20	2.8	ForTex55/20	2.8	ForTex40/20	2.8	ForTex40/20	2.8
4	2	ForTex55/20	2.8	ForTex55/20	2.8	ForTex40/20	2.8	ForTex40/20	2.8
4	3	ForTex55/20	2.8	ForTex40/20	2.8	ForTex40/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	4	ForTex40/20	2.8	ForTex40/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	5	ForTex40/20	2.8	ForTex40/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	6	ForTex35/20	3.6	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8	ForTex35/20	2.8
4	7	ForTex35/20	3.6	ForTex35/20	3.2	ForTex35/20	3	ForTex35/20	2.8
4	8	ForTex35/20	3.6	ForTex35/20	3.2	ForTex20/20	3	ForTex20/20	2.8
4	9	ForTex35/20	3.6	ForTex35/20	3.2	ForTex20/20	3	ForTex20/20	2.8
4	10	ForTex35/20	4.5	ForTex35/20	4.1	ForTex20/20	3.7	ForTex20/20	3.4
6	1	ForTex80/30	4.2	ForTex60/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2
6	2	ForTex80/30	4.2	ForTex60/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2
6	3	ForTex80/30	4.2	ForTex60/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2
6	4	ForTex60/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2
6	5	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2
6	6	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex40/20	4.2	ForTex40/20	4.2
6	7	ForTex55/20	4.2	ForTex55/20	4.2	ForTex40/20	4.2	ForTex40/20	4.2
6	8	ForTex55/20	4.2	ForTex40/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2

q=25 kN/m <sup>2</sup>		İçsel Sürtünme Açısı							
		24°		26°		28°		30°	
H (m)	Tabaka No	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)
6	9	ForTex40/20	4.2	ForTex40/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2
6	10	ForTex40/20	5.8	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2
6	11	ForTex35/20	5.8	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2
6	12	ForTex35/20	5.8	ForTex35/20	5.3	ForTex35/20	4.2	ForTex35/20	4.2
6	13	ForTex35/20	5.8	ForTex35/20	5.3	ForTex20/20	4.2	ForTex20/20	4.2
6	14	ForTex35/20	5.8	ForTex35/20	5.3	ForTex20/20	4.2	ForTex20/20	4.2
6	15	ForTex35/20	5.8	ForTex35/20	5.3	ForTex20/20	4.7	ForTex20/20	4.5
8	1	ForTex100/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6
8	2	ForTex100/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6
8	3	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6
8	4	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex60/20	5.6
8	5	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex60/20	5.6
8	6	ForTex80/30	5.6	ForTex80/30	5.6	ForTex60/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	7	ForTex80/30	5.6	ForTex60/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	8	ForTex80/30	5.6	ForTex60/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	9	ForTex60/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	10	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6
8	11	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex55/20	5.6	ForTex40/20	5.6
8	12	ForTex55/20	7.1	ForTex55/20	5.6	ForTex40/20	5.6	ForTex40/20	5.6
8	13	ForTex55/20	7.1	ForTex40/20	5.6	ForTex40/20	5.6	ForTex35/20	5.6
8	14	ForTex40/20	7.1	ForTex35/20	5.6	ForTex35/20	5.6	ForTex35/20	5.6
8	15	ForTex35/20	7.1	ForTex35/20	6.6	ForTex35/20	5.6	ForTex35/20	5.6
8	16	ForTex35/20	7.1	ForTex35/20	6.6	ForTex35/20	5.6	ForTex35/20	5.6
8	17	ForTex35/20	7.1	ForTex35/20	6.6	ForTex35/20	5.6	ForTex35/20	5.6
8	18	ForTex35/20	7.1	ForTex35/20	6.6	ForTex20/20	5.6	ForTex20/20	5.6
8	19	ForTex35/20	7.1	ForTex35/20	6.6	ForTex20/20	6.1	ForTex20/20	5.6
8	20	ForTex35/20	7.1	ForTex35/20	6.6	ForTex20/20	6.1	ForTex20/20	5.7
10	1	ForTex110/30	7	ForTex100/30	7	ForTex100/30	7	ForTex80/30	7
10	2	ForTex110/30	7	ForTex100/30	7	ForTex100/30	7	ForTex80/30	7
10	3	ForTex100/30	7	ForTex100/30	7	ForTex100/30	7	ForTex80/30	7
10	4	ForTex100/30	7	ForTex100/30	7	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7
10	5	ForTex100/30	7	ForTex100/30	7	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7
10	6	ForTex100/30	7	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7
10	7	ForTex100/30	7	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7
10	8	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7
10	9	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7	ForTex60/20	7
10	10	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7	ForTex60/20	7
10	11	ForTex80/30	7	ForTex80/30	7	ForTex60/20	7	ForTex55/20	7
10	12	ForTex80/30	7	ForTex60/20	7	ForTex55/20	7	ForTex55/20	7

q=25 kN/m <sup>2</sup>		İçsel Sürtünme Açısı							
		24°		26°		28°		30°	
H (m)	Tabaka No	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)	Malzeme (kN/m)	L (m)
10	13	ForTex80/30	8.4	ForTex60/20	7	ForTex55/20	7	ForTex55/20	7
10	14	ForTex60/20	8.4	ForTex55/20	7	ForTex55/20	7	ForTex55/20	7
10	15	ForTex55/20	8.4	ForTex55/20	7.8	ForTex55/20	7	ForTex55/20	7
10	16	ForTex55/20	8.4	ForTex55/20	7.8	ForTex55/20	7	ForTex40/20	7
10	17	ForTex55/20	8.4	ForTex55/20	7.8	ForTex40/20	7	ForTex40/20	7
10	18	ForTex55/20	8.4	ForTex40/20	7.8	ForTex40/20	7	ForTex35/20	7
10	19	ForTex40/20	8.4	ForTex35/20	7.8	ForTex35/20	7	ForTex35/20	7
10	20	ForTex35/20	8.4	ForTex35/20	7.8	ForTex35/20	7	ForTex35/20	7
10	21	ForTex35/20	8.4	ForTex35/20	7.8	ForTex35/20	7	ForTex35/20	7
10	22	ForTex35/20	8.4	ForTex35/20	7.8	ForTex35/20	7	ForTex35/20	7
10	23	ForTex35/20	8.4	ForTex35/20	7.8	ForTex20/20	7	ForTex20/20	7
10	24	ForTex35/20	8.4	ForTex35/20	7.8	ForTex20/20	7.3	ForTex20/20	7
10	25	ForTex35/20	8.4	ForTex35/20	7.8	ForTex20/20	7.3	ForTex20/20	7

**Tablo 3.24** Geo5 v17 ile hesaplanan donatılı istinat duvarı temel boyutları

H (m)		q (kN/m <sup>2</sup> )		İçsel Sürtünme Açısı (φ)							
				24°		26°		28°		30°	
		B (cm)	h (cm)	B (cm)	h (cm)	B (cm)	h (cm)	B (cm)	h (cm)		
4	10	60	40	60	40	60	40	60	40		
4	15	60	40	60	40	60	40	60	40		
4	20	60	40	60	40	60	40	60	40		
4	25	60	40	60	40	60	40	60	40		
6	10	60	40	60	40	60	40	60	40		
6	15	60	40	60	40	60	40	60	40		
6	20	60	40	60	40	60	40	60	40		
6	25	60	40	60	40	60	40	60	40		
8	10	80	40	80	40	80	40	80	40		
8	15	80	40	80	40	80	40	80	40		
8	20	90	40	90	40	90	40	90	40		
8	25	90	40	90	40	90	40	90	40		
10	10	120	40	120	40	120	40	120	40		
10	15	120	40	120	40	120	40	120	40		
10	20	120	40	120	40	120	40	120	40		
10	25	120	40	120	40	120	40	120	40		

### 3.6.5. Betonarme Konsol ve Geogrid Donatılı İstinat Duvarlarının Maliyetlerinin Hesaplanması

Boyutları ve kesitleri yukarıdaki tablolarda verilen betonarme konsol ve geogrid donatılı istinat duvarlarının malzeme metrajları çıkarılmıştır. Maliyet analizleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve Karayolları Genel Müdürlüğü birim fiyatları esas alınarak yapılmıştır. Analizlerde özel pozlar ve pozlara ait fiyatlar piyasadan alınarak oluşturulmuştur.

Nakliye faktörü geogrid ve beton blok malzemesi için önem arz etmektedir. Bu malzemelerin üretimi genellikle İstanbul ve civarındadır. Bu nedenle geogrid ve beton blok (keystone) malzemelerinin fiyatları değişkenlik göstermektedir. Maliyet analizlerinde kullanılan diğer malzemeler Türkiye'nin her yerinde bulunduğu için nakliye faktörü önem arz etmemektedir. Bu nedenle de maliyet hesaplarında nakliye dikkate alınmamıştır.

Çalışmada betonarme konsol istinat duvarı  $H=6$  m,  $\phi=24^\circ$ ,  $q=15$  kN/m<sup>2</sup> ve geogrid donatılı istinat duvarı  $H=8$  m,  $\phi=26^\circ$ ,  $q=20$  kN/m<sup>2</sup> değişkenlerine göre maliyet analizleri yapılmış ve bu analizlere ait veriler Tablo 3.25 ve Tablo 3.26'da verilmiştir. Tam faktöriyel tasarımına göre hazırlanmış olan  $H=4, 6, 8, 10$  (m),  $\phi=24^\circ, 26^\circ, 28^\circ, 30^\circ$  ve  $q=10, 15, 20, 25$  (kN/m<sup>2</sup>) maliyet hesapları yapılmış Tablo 3.27'de verilmiştir.



**Tablo 3.25** B.K. istinat duvarı için H=6 m,  $\phi=24^\circ$  ve  $q=15$  kN/m<sup>2</sup> değişkenlerine göre maliyet analizi

No	Poz No	Yapılan İş	Birim	Miktar	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)
1	15.120.1001	Makine ile yumuşak ve sert toprak kazılması (Serbest kazı)	m <sup>3</sup>	5.57	4.73	26.35
2	15.125.1004	Makine ile tuvenan kum çakıl temin edilerek, makine ile serme, sulama, sıkıştırma yapılması	m <sup>3</sup>	60.3	19.18	1,156.55
3	15.180.1003	Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması	m <sup>2</sup>	13.01	57.48	747.81
4	15.160.1003	Ø 8- Ø 12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	ton	0.0328	4,029.78	132.18
5	15.160.1004	Ø 14- Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması.	ton	1.065	3,965.28	4,223.02
6	15.160.1005	Ø 28 mm'den büyük nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması.	ton	0	3,916.65	0.00
7	Y.16.050/14	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 25/30 basınç dayanım sınıfında beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m <sup>3</sup>	8.18	220.11	1,800.50
<b>TOPLAM FİYAT</b>						<b>8,086.41 TL</b>

B.K: Betonarme Konsol

**Tablo 3.26** G.D. istinat duvarı için H=6 m,  $\phi=24^\circ$  ve  $q=15$  kN/m<sup>2</sup> değişkenlerine göre maliyet analizi

No	Poz No	Yapılan İş	Birim	Miktar	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)
1	15.120.1001	Makine ile yumuşak ve sert toprak kazılması (Serbest kazı)	m <sup>3</sup>	33.52	4.73	158.55
2	15.125.1004	Makine ile tuvenan kum çakıl temin edilerek, makine ile serme, sulama, sıkıştırma yapılması	m <sup>3</sup>	33.28	19.18	638.31
3	15.180.1003	Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması	m <sup>2</sup>	0.8	57.48	45.98
4	15.160.1003	Ø 8- Ø 12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	ton	0.0057	4,029.78	22.97
5	15.160.1004	Ø 14- Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması.	ton	0.0072	3,965.28	28.55
6	15.150.1005	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 20/25 basınç dayanım sınıfında beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m <sup>3</sup>	0.24	220.11	52.83
7	Özel Poz 1	Terra Blok Malzemesi	Adet	75	5.00	375.00
8	Özel Poz 2	ForTex GG 20/20 Temini	m <sup>2</sup>	15.6	15.17	236.65
9	Özel Poz 3	ForTex GG 35/20 Temini	m <sup>2</sup>	19.8	20.94	414.61
10	Özel Poz 4	ForTex GG 40/20 Temini	m <sup>2</sup>	4.2	21.26	89.29
11	Özel Poz 5	ForTex GG 55/20 Temini	m <sup>2</sup>	16.8	23.24	390.43
12	Özel Poz 6	ForTex GG 60/20 Temini	m <sup>2</sup>	12.6	23.80	299.88
13	Özel Poz 7	ForTex GG 80/30 Temini	m <sup>2</sup>	0	29.19	0.00
16	KGM/17.203/K	Geogrid Malz. İşçiliği ve Döşenmesi	m <sup>2</sup>	0	33.76	0.00
<b>TOPLAM FİYAT</b>						<b>3,211.22 TL</b>

G.D: Geogrid donatı

**Tablo 3.27** Betonarme konsol ve geogrid donatılı istinat duvarlarının maliyetleri

H (m)	q (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi^\circ$	Maliyet (TL)	
			Betonarme	Donatılı
4	10	24	3,561.69 ₺	1,559.02 ₺
4	10	26	3,137.53 ₺	1,473.70 ₺
4	10	28	3,006.95 ₺	1,412.90 ₺
4	10	30	2,751.61 ₺	1,408.54 ₺
4	15	24	3,699.82 ₺	1,617.56 ₺
4	15	26	3,377.64 ₺	1,530.14 ₺
4	15	28	3,128.68 ₺	1,454.46 ₺
4	15	30	2,798.70 ₺	1,412.90 ₺
4	20	24	3,960.80 ₺	1,677.33 ₺
4	20	26	3,595.24 ₺	1,587.74 ₺
4	20	28	3,306.08 ₺	1,519.23 ₺
4	20	30	2,968.55 ₺	1,454.46 ₺
4	25	24	4,211.72 ₺	1,803.38 ₺
4	25	26	3,803.99 ₺	1,689.56 ₺
4	25	28	3,424.16 ₺	1,551.05 ₺
4	25	30	3,118.24 ₺	1,497.81 ₺
H (m)	q (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi^\circ$	Maliyet (TL)	
			Betonarme	Donatılı
6	10	24	7,592.48 ₺	3,142.97 ₺
6	10	26	6,828.70 ₺	3,004.92 ₺
6	10	28	6,110.24 ₺	2,887.20 ₺
6	10	30	5,470.25 ₺	2,817.20 ₺
6	15	24	8,086.41 ₺	3,211.22 ₺
6	15	26	7,030.75 ₺	3,040.93 ₺
6	15	28	6,292.96 ₺	2,911.86 ₺
6	15	30	5,861.24 ₺	2,825.52 ₺
6	20	24	8,771.38 ₺	3,327.17 ₺
6	20	26	7,672.19 ₺	3,114.27 ₺
6	20	28	6,825.00 ₺	2,972.41 ₺
6	20	30	6,039.94 ₺	2,892.82 ₺
6	25	24	8,990.54 ₺	3,595.61 ₺
6	25	26	8,182.82 ₺	3,292.01 ₺
6	25	28	7,200.96 ₺	3,032.30 ₺
6	25	30	6,400.42 ₺	2,937.44 ₺

H (m)	q (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi^\circ$	Maliyet (TL)	
			Betonarme	Donatılı
8	10	24	13,525.55 ₺	5,617.72 ₺
8	10	26	11,845.82 ₺	5,232.80 ₺
8	10	28	10,766.35 ₺	4,961.75 ₺
8	10	30	9,614.53 ₺	4,855.18 ₺
8	15	24	13,829.46 ₺	5,637.93 ₺
8	15	26	12,531.37 ₺	5,342.94 ₺
8	15	28	11,145.61 ₺	5,008.28 ₺
8	15	30	9,894.66 ₺	4,926.64 ₺
8	20	24	14,438.85 ₺	5,856.25 ₺
8	20	26	12,862.98 ₺	5,394.52 ₺
8	20	28	11,473.03 ₺	5,151.50 ₺
8	20	30	10,433.50 ₺	4,972.87 ₺
8	25	24	15,106.03 ₺	6,080.79 ₺
8	25	26	13,721.37 ₺	5,638.57 ₺
8	25	28	11,930.84 ₺	5,250.00 ₺
8	25	30	10,890.66 ₺	5,073.65 ₺

H (m)	q (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi^\circ$	Maliyet (TL)	
			Betonarme	Donatılı
10	10	24	22,264.46 ₺	8,753.16 ₺
10	10	26	19,580.22 ₺	8,267.43 ₺
10	10	28	17,416.83 ₺	7,806.88 ₺
10	10	30	15,638.23 ₺	7,711.40 ₺
10	15	24	23,345.33 ₺	8,822.84 ₺
10	15	26	20,188.45 ₺	8,311.91 ₺
10	15	28	17,795.23 ₺	7,929.03 ₺
10	15	30	16,315.48 ₺	7,762.99 ₺
10	20	24	24,389.66 ₺	9,050.75 ₺
10	20	26	21,020.00 ₺	8,436.74 ₺
10	20	28	18,542.76 ₺	8,072.35 ₺
10	20	30	16,781.63 ₺	7,809.54 ₺
10	25	24	25,554.05 ₺	9,417.70 ₺
10	25	26	21,971.30 ₺	8,791.13 ₺
10	25	28	19,296.88 ₺	8,186.82 ₺
10	25	30	17,285.69 ₺	7,907.68 ₺

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. Betonarme Konsol ve Geogrid Donatılı İstinat Duvarlarının MINITAB v17 Programında Modellenmesi

Bağımlı değişken maliyet, bağımsız değişkenler yükseklik, içsel sürtünme açısı ve sürsarj yükü olmak üzere hesaplanan maliyet değerleri ve tam faktöriyel tasarım metodu ile oluşturulan model Minitab v17 programında tanımlanmıştır. Betonarme konsol istinat duvarı modeli Tablo 4.1’de ve geogrid donatılı istinat duvarı modeli Tablo 4.2’de verilmiştir.

**Tablo 4.1** B.K.İ. duvarlarının tam faktöriyel tasarım metoduna göre Minitab programında modellenmesi

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Yükseklik H (m)	İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi^\circ$ )	Sürsarj Yükü q (kN/m <sup>2</sup> )	Maliyet (TL)
1	1	1	1	4	24	10	3561.69
17	2	1	1	6	24	10	7592.48
32	3	1	1	6	30	25	6400.42
52	4	1	1	10	24	25	25554.05
45	5	1	1	8	30	10	9614.53
59	6	1	1	10	28	20	18542.76
37	7	1	1	8	26	10	11845.82
63	8	1	1	10	30	20	16781.63
34	9	1	1	8	24	15	13829.46
61	10	1	1	10	30	10	15638.23
3	11	1	1	4	24	20	3960.8
30	12	1	1	6	30	15	5861.24
20	13	1	1	6	24	25	8990.54
9	14	1	1	4	28	10	3006.95
18	15	1	1	6	24	15	8086.41
46	16	1	1	8	30	15	9894.66
24	17	1	1	6	26	25	8182.82
22	18	1	1	6	26	15	7030.75
47	19	1	1	8	30	20	10433.5
10	20	1	1	4	28	15	3128.68
64	21	1	1	10	30	25	17285.69
41	22	1	1	8	28	10	10766.35
51	23	1	1	10	24	20	24389.66
58	24	1	1	10	28	15	17795.23
11	25	1	1	4	28	20	3306.08
15	26	1	1	4	30	20	2968.55
43	27	1	1	8	28	20	11473.03
39	28	1	1	8	26	20	12862.98
54	29	1	1	10	26	15	20188.45
16	30	1	1	4	30	25	2798.7
49	31	1	1	10	24	10	22264.46
36	32	1	1	8	24	25	15106.03
48	33	1	1	8	30	25	10890.66

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Yükseklik H (m)	İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi^\circ$ )	Sürsarj Yüğü q (kN/m <sup>2</sup> )	Maliyet (TL)
53	34	1	1	10	26	10	19580.22
7	35	1	1	4	26	20	3595.24
8	36	1	1	4	26	25	3803.99
2	37	1	1	4	24	15	3699.82
33	38	1	1	8	24	10	13525.55
26	39	1	1	6	28	15	6292.96
56	40	1	1	10	26	25	21971.3
29	41	1	1	6	30	10	5470.25
23	42	1	1	6	26	20	7672.19
28	43	1	1	6	28	25	7200.96
40	44	1	1	8	26	25	13721.37
14	45	1	1	4	30	15	2798.70
50	46	1	1	10	24	15	23345.33
38	47	1	1	8	26	15	12531.37
6	48	1	1	4	26	15	3377.64
31	49	1	1	6	30	20	6039.94
60	50	1	1	10	28	25	19296.88
12	51	1	1	4	28	25	3128.68
25	52	1	1	6	28	10	6110.24
42	53	1	1	8	28	15	11145.61
62	54	1	1	10	30	15	16315.48
19	55	1	1	6	24	20	8771.38
44	56	1	1	8	28	25	11930.84
27	57	1	1	6	28	20	6825
4	58	1	1	4	24	25	4211.72
57	59	1	1	10	28	10	17416.83
13	60	1	1	4	30	10	2751.61
55	61	1	1	10	26	20	21020
35	62	1	1	8	24	20	14438.85
21	63	1	1	6	26	10	6828.7
5	64	1	1	4	26	10	3137.53

**Tablo 4.2** G. D. İ duvarlarının tam faktöriyel tasarım metoduna göre Minitab programında modellenmesi

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Yükseklik H (m)	İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi^\circ$ )	Sürsarj Yüğü q (kN/m <sup>2</sup> )	Maliyet (TL)
1	1	1	1	4	24	10	1559.02
17	2	1	1	6	24	10	3142.97
32	3	1	1	6	30	25	2937.44
52	4	1	1	10	24	25	9417.70
45	5	1	1	8	30	10	4855.18
59	6	1	1	10	28	20	8072.35
37	7	1	1	8	26	10	5232.8
63	8	1	1	10	30	20	7809.54
34	9	1	1	8	24	15	5637.93
61	10	1	1	10	30	10	7711.4
3	11	1	1	4	24	20	1677.33
30	12	1	1	6	30	15	2825.52
20	13	1	1	6	24	25	3595.61
9	14	1	1	4	28	10	1412.9
18	15	1	1	6	24	15	3211.22
46	16	1	1	8	30	15	4926.64
24	17	1	1	6	26	25	3292.01
22	18	1	1	6	26	15	3040.93
47	19	1	1	8	30	20	4972.87
10	20	1	1	4	28	15	1454.46
64	21	1	1	10	30	25	7907.68
41	22	1	1	8	28	10	4961.75
51	23	1	1	10	24	20	9050.75
58	24	1	1	10	28	15	7929.03
11	25	1	1	4	28	20	1519.23
15	26	1	1	4	30	20	1454.46
43	27	1	1	8	28	20	5151.5
39	28	1	1	8	26	20	5394.52
54	29	1	1	10	26	15	8311.91
16	30	1	1	4	30	25	1497.81
49	31	1	1	10	24	10	8753.16
36	32	1	1	8	24	25	6080.79
48	33	1	1	8	30	25	5073.65
53	34	1	1	10	26	10	8267.43
7	35	1	1	4	26	20	1587.74
8	36	1	1	4	26	25	1689.56
2	37	1	1	4	24	15	1617.56
33	38	1	1	8	24	10	5617.72
26	39	1	1	6	28	15	2911.86
56	40	1	1	10	26	25	8791.13
29	41	1	1	6	30	10	2817.2
23	42	1	1	6	26	20	3114.27
28	43	1	1	6	28	25	3032.3
40	44	1	1	8	26	25	5638.57
14	45	1	1	4	30	15	1412.9
50	46	1	1	10	24	15	8822.84
38	47	1	1	8	26	15	5342.94
6	48	1	1	4	26	15	1530.14

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Yükseklik H (m)	İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi^\circ$ )	Sürsarj Yüğü q (kN/m <sup>2</sup> )	Maliyet (TL)
31	49	1	1	6	30	20	2892.82
60	50	1	1	10	28	25	8186.82
12	51	1	1	4	28	25	1551.05
25	52	1	1	6	28	10	2887.2
42	53	1	1	8	28	15	5008.28
62	54	1	1	10	30	15	7762.99
19	55	1	1	6	24	20	3327.17
44	56	1	1	8	28	25	5250
27	57	1	1	6	28	20	2972.41
4	58	1	1	4	24	25	1803.38
57	59	1	1	10	28	10	7806.88
13	60	1	1	4	30	10	1408.54
55	61	1	1	10	26	20	8436.74
35	62	1	1	8	24	20	5856.25
21	63	1	1	6	26	10	3004.92
5	64	1	1	4	26	10	1473.7

#### 4.2. Betonarme Konsol İstinat Duvarlarının ANOVA (varyans) Analizi Sonuçları

Betonarme konsol istinat duvarları için varyans analizi sonuçları Tablo 4.3'te verilmiştir.

**Tablo 4.3** Betonarme konsol istinat duvarlarının varyans analiz sonuçları

Kaynak	SD	Ardışık KT	Katkı	Düzeltilmiş KT	Düzeltilmiş KO	F-Değeri	P-Değeri
Regresyon Modeli	3	2521033390	%95.39	2521033390	840344463	413.84	0.000
Yükseklik	1	2382219463	%90.14	2382219463	2382219463	1173.16	0.000
İçsel Sürtünme Açısı	1	122681613	%4.64	122681613	122681613	60.42	0.000
Sürsarj Yüğü	1	16132314	%0.61	16132314	16132314	7.94	0.007
Hata	60	121835786	%4.61	121835786	2030596		
Toplam	63	2642869176	%100.00				

Modeldeki ilişkinin anlamlı olup olmadığını belirlemek ve modeli değerlendirmek amacıyla P anlamlılık düzeyi hesaplanmıştır. P katsayısının sıfıra eşit veya yakın olduğu durumlarda terim ile yanıt arasında bir ilişki olduğu anlamına gelir. Genellikle 0.05 anlamlılık düzeyi ( $\alpha$ ) fiili bir ilişki olmadığında, bir ilişkinin var olduğu sonucuna varılma riskinin %5 olduğunu gösterir.

*P değeri  $\leq \alpha$  İlişki istatistiksel olarak anlamlıdır.* P-değeri anlamlılık seviyesinden küçük veya eşit ise, yanıt değişkeni ile terim arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna varılmaktadır.



$P$  değeri  $> \alpha$  ilişki istatistiksel olarak anlamlı değildir. Eğer  $p$  değeri anlamlılık seviyesinden büyük ise, yanıt değişkeni ile terim arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmadığı sonucuna varılmaktadır.

Tablo 4.3'ten maliyet bağımlı değişkeninde en büyük etkinin %90,14 ile yükseklik bağımsız değişkeni olduğu, içsel sürtünme açısının %4,64 ve sürşarj yükünün %0,61 ile etkilerinin çok daha az olduğu görülmektedir. Değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığı varyans artış faktörüne (VIF) bakılarak değerlendirilir. Eğer değişkenler için bu değer 1 veya 1'e yakınsa doğrusal bir bağlantı var demektir. Her bir bağımsız değişken için VIF değerleri Tablo 4.4'te verilmiştir.

**Tablo 4.4** Betonarme konsol istinat duvarları değişkenlerinin varyans artış faktörü değerleri

Değişken	VIF değeri
Yükseklik	1
İçsel Sürtünme Açısı	1
Sürşarj Yükü	1

Tablo 4.4'ten görüleceği üzere yükseklik, içsel sürtünme açısı ve sürşarj yükü bağımsız değişkenleri ile maliyet arasında doğrusal (lineer) bir bağlantı vardır. Betonarme konsol istinat duvarı için çoklu Regresyon (açıklayıcılık) katsayısı ( $R^2$ ) Tablo 4.5'te verilmiştir.

**Tablo 4.5** Betonarme konsol istinat duvarları için çoklu açıklayıcılık katsayısı ( $R^2$ ) değerleri

Regresyonun Standart Hatası	$R^2$	Düzeltilmiş $R^2$	Tahmin Edilen $R^2$
1424.99	%95.39	%95.16	%94.63

Modelin anlamlılık düzeyinin belirlenmesinde regresyon katsayısı değeri kullanılır. Regresyon katsayısı model tarafından hesaplanan değişimin toplam değişime oranı ile hesaplanmaktadır.  $R^2$  katsayısı 0 ile 1 arasında değişmektedir.  $R^2$  değeri 1'e yaklaştıkça bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin iyi olduğunu gösterir.  $R^2$  değeri ANOVA modeli tarafından saptanan değişkenlik oranıdır. Düzeltilmiş  $R^2$  ise modeldeki faktör sayılarının etkisini inceleyen istatistiksel bir değerdir. Regresyon katsayısı  $R^2$  toplam değişimin ne kadarlık kısmının model tarafından açıklandığını söyler. Gözlenen ve model sonucu bulunan değerler arasındaki ilişkinin iyi olmasının yani  $R^2$  değerinin yüksek olması istenir. Düzeltilmiş  $R^2$  değerinin de yüksek olması bu savı destekler. Faktör sayılarının çok olduğu karmaşık deneylerde faktör sayısının azaltılması ya da arttırılması gerektiği konusunda fikir verir (Noori, 2019, Montgomery, 2005).

Tablo 4.5'teki değerler kurduğumuz modelin ne kadar anlamlı olduğunu gösteren değerlerdir. Tablo 4.5'teki değerler, kurduğumuz modelin %95,16 anlamlı olduğunu göstermektedir. Eğer bu değer çok daha küçük çıksaydı, maliyet için modelde başka değişkenlerinde olması gerektiği sonucu çıkacaktı. Maliyet ile sürşarj yükü, yükseklik ve içsel sürtünme açısı arasındaki bağintı denklemin (4.1)'de verilmiştir.

$$M \text{ (TL)} = 6641 + 2728,4 \times H \text{ (m)} - 619,2 \times \phi + 89,8 \times q \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (4.1)$$

Burada;

M : Maliyet (TL)

H : İstinat duvarının yüksekliği (m)

$\phi$  : İçsel sürtünme açısı

q : Sürşarj yükü (kN/m<sup>2</sup>)

Denklemin (8.1)'den istenilen değişkenler girilerek maliyet hesaplamak mümkündür. Örneğin H=7 m,  $\phi=25^\circ$  ve q=18 kN/m<sup>2</sup> değişkenleri için maliyet

$$M = 6641 + 2728,4 \times 7 - 619,2 \times 25 + 89,8 \times 18$$

$$M = 11869,20 \text{ TL}$$

olarak hesaplanmıştır.

### 4.3. Geogrid Donatılı İstinat Duvarlarının ANOVA Analizi Sonuçları

Geogrid donatılı istinat duvarları için varyans analizi sonuçları Tablo 4.6'da verilmiştir.

**Tablo 4.6** Geogrid donatılı istinat duvarlarının varyans analiz sonuçları

Kaynak	SD	Ardışık KT	Katkı	Düzeltilmiş KT	Düzeltilmiş KO	F-Değeri	P-Değeri
Regresyon Modeli	3	412642918	%97.50	412642918	137547639	778.76	0.000
Yükseklik	1	407617027	%96.31	407617027	407617027	2307.83	0.000
İçsel Sürtünme Açısı	1	4221787	%1.00	4221787	1162741	23.90	0.000
Sürsarj Yüğü	1	804104	%0.19	804104	804104	4.55	0.037
Hata	60	10597391	%2.50	10597391	176623		
Toplam	63	423240309	%100.00				

Tablo 4.6'dan görüleceği üzere yükseklik faktörünün katkısı %96,31'dir. Yükseklik, içsel sürtünme açısı ve sürsarj yükü değişkenleri için varyans artış faktörleri (VIF) Tablo 4.7'de verilmiştir. Tablo 4.7'den görüleceği üzere değişkenler ile maliyet arasında doğrusal (lineer) bir ilişki vardır.

**Tablo 4.7** Geogrid donatılı istinat duvarları değişkenlerinin varyans artış faktörü değerleri

Değişken	VIF Değeri
Yükseklik	1
İçsel Sürtünme Açısı	1
Sürsarj Yüğü	1

Geogrid donatılı istinat duvarlarının çoklu açıklayıcılık katsayısı ( $R^2$ ) değerleri Tablo 4.8'de verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere kurduğumuz model %97,37 anlamlıdır.

**Tablo 4.8** Geogrid donatılı istinat duvarları için çoklu açıklayıcılık katsayısı ( $R^2$ ) değerleri

Regresyonun Standart Hatası	$R^2$	Düzeltilmiş $R^2$	Tahmin Edilen $R^2$
420.266	%97.50	%97.37	%97.13

Maliyet, içsel sürtünme açısı ve sürsarj yükü arasındaki bağıntı denklem (4.2)'de verilmiştir.

$$M \text{ (TL)} = -592 + 1128,6 \times H \text{ (m)} - 114,9 \times \phi + 20,05 \times q \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (4.2)$$

Burada;

M : Maliyet (TL)

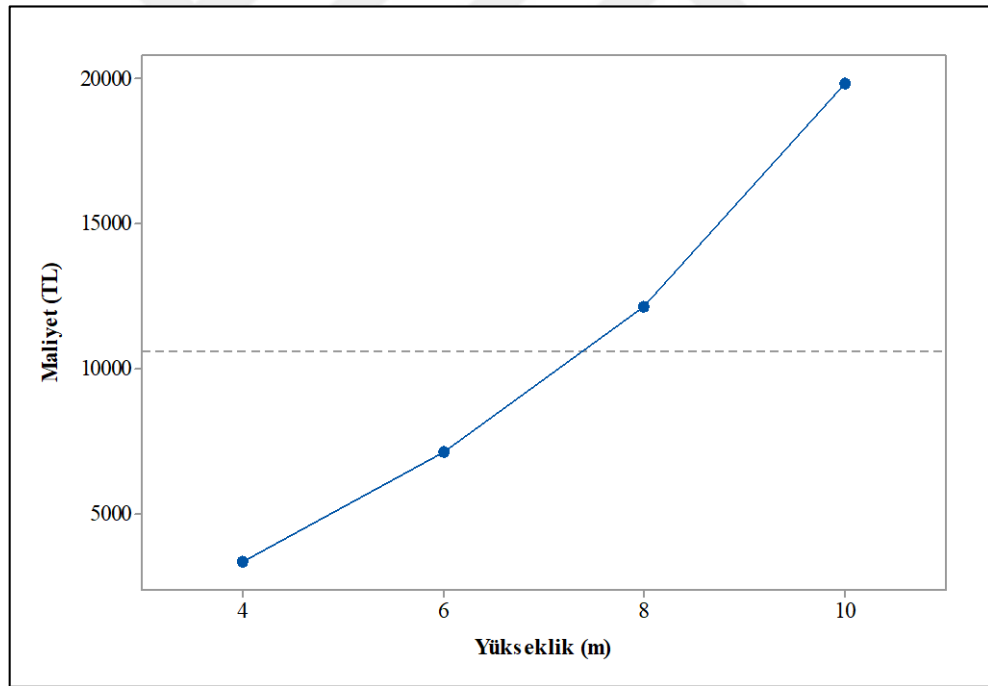
H : İstinat duvarının yüksekliği (m)

$\phi$  : İçsel sürtünme açısı

q : Sürşarj yükü (kN/m<sup>2</sup>)

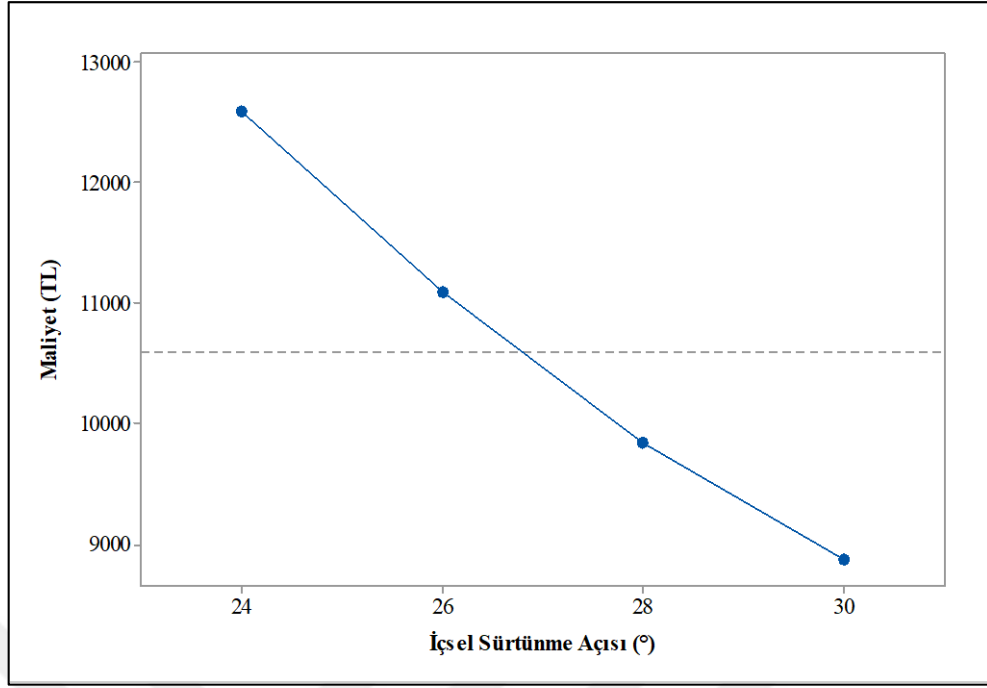
R<sup>2</sup> ve düzeltilmiş R<sup>2</sup> değerleri arasında %20' den fazla fark varsa, oluşturduğumuz model anlamlı değildir demektir. Her iki istinat duvarı için R<sup>2</sup> ve düzeltilmiş R<sup>2</sup> değerleri birbirine çok yakındır.

#### 4.4. Betonarme Konsol İstinat Duvarları İçin Sonuçların Yorumlanması



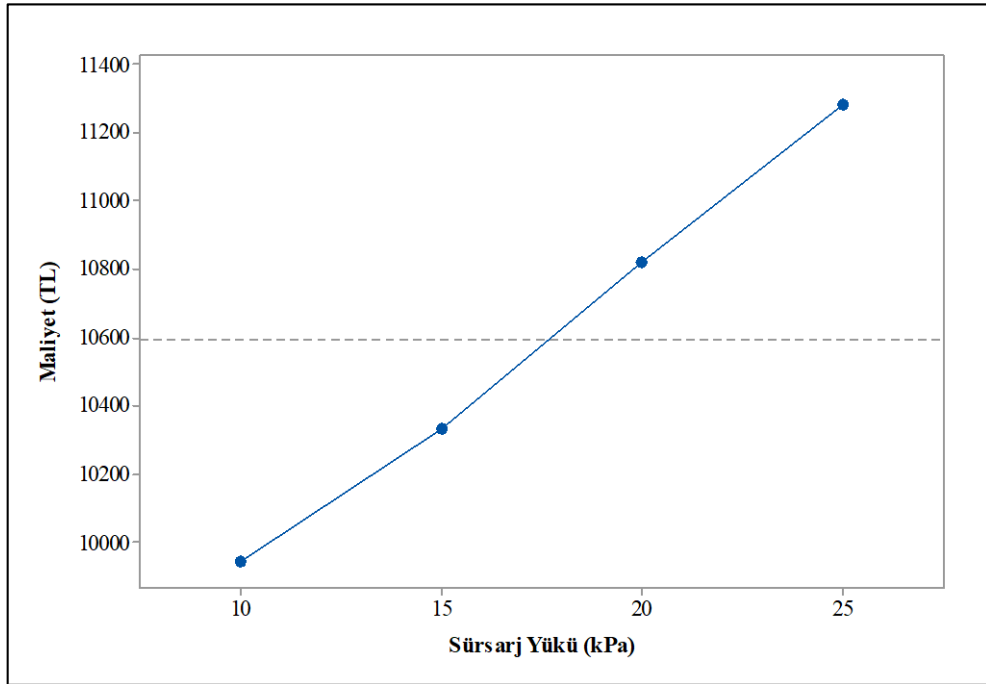
Şekil 4.1 B. K. istinat duvarları maliyet ile yükseklik arasındaki ilişki

Şekil 4.1'de görüldüğü üzere yükseklik arttıkça maliyetin arttığı görülmüştür. Grafikten yüksekliğin artması ile birlikte eğiminin de arttığı gözlenmiştir. Buradan betonarme konsol istinat duvarının yüksekliği arttıkça maliyet artış hızı da artmaktadır.



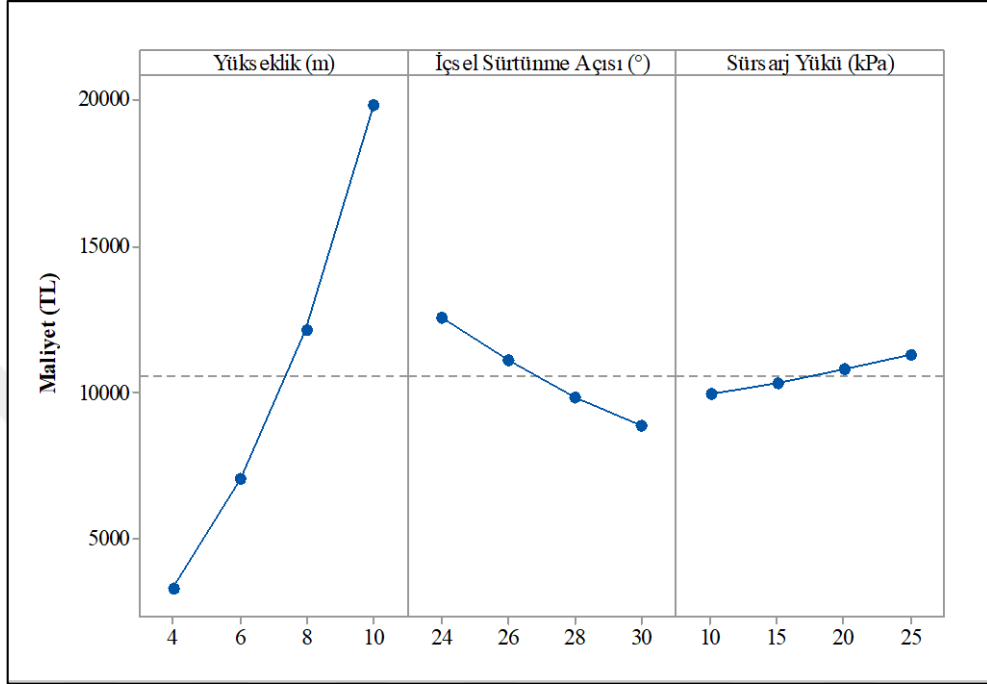
Şekil 4.2 B. K. istinat duvarları maliyet ile içsel sürtünme açısı arasındaki ilişki

Şekil 4.2’de görüldüğü üzere içsel sürtünme açısı arttıkça maliyetin azaldığı görülmüştür. Grafikten içsel sürtünme açısı artması ile birlikte eğiminin de azaldığı gözlenmiştir. Sonuç olarak betonarme konsol istinat duvarının içsel sürtünme açısı arttıkça maliyetin azalma hızı da azalmaktadır.



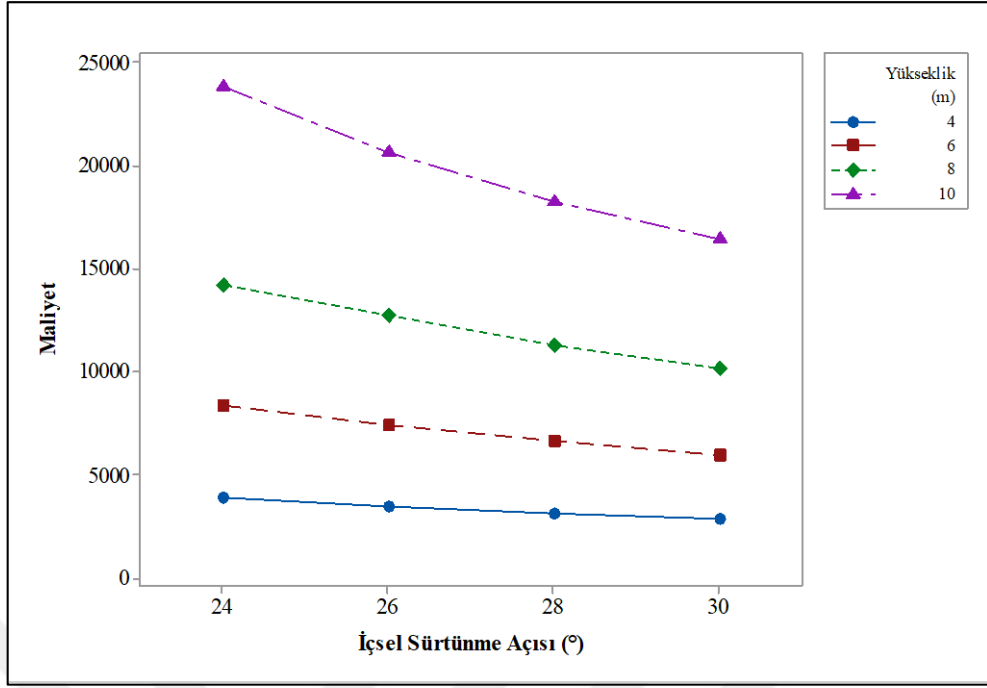
Şekil 4.3 B. K. istinat duvarları maliyet ile sürşarj yükü arasındaki ilişki

Şekil 4.3’de görüldüğü üzere sürşarj yükü arttıkça maliyetin arttığı görülmüştür. Grafikten sürşarj yükünün artması ile birlikte eğiminin de arttığı gözlenmiştir. Buradan betonarme konsol istinat duvarının sürşarj yükleri arttıkça maliyet artış hızı da artmaktadır.

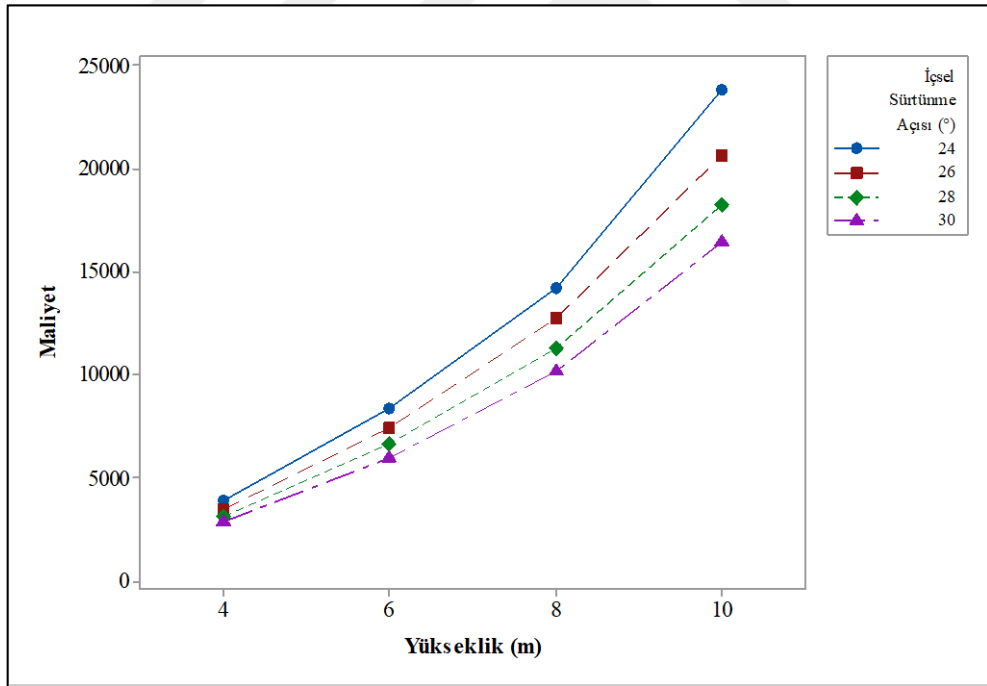


Şekil 4.4 B. K. istinat duvarları maliyet ile yükseklik, içsel sürtünme açısı ve sürşarj yükü arasındaki ilişki

Şekil 4.4’deki grafik incelendiğinde, kesikli çizgi ile gösterilen ortalama maliyeti belirtmektedir. Maliyet ile yükseklik, içsel sürtünme açısı ve sürşarj yükü arasında doğrusal bir ilişki olduğu (VIF) değerleri hesaplanarak belirlenmişti. Grafikten de anlaşılacağı üzere maliyet ile yükseklik arasındaki eğim, içsel sürtünme açısı ve sürşarj yüküne göre çok fazladır. Bu grafikten, yükseklikteki birim artışlar maliyeti içsel sürtünme açısı ve sürşarj yüküne göre çok daha fazla değiştirmektedir. İçsel sürtünme açısı ile sürşarj yükünün maliyet ile arasındaki eğim birbirlerine yakın olmasına karşın içsel sürtünme açısının eğimi daha fazladır. Buradan içsel sürtünme açısındaki birim miktardaki değişim sürşarj yüküne göre maliyeti daha fazla değiştirmektedir. Grafik incelendiğinde yükseklik ile sürşarj yükünün eğim yönü yukarı doğru, içsel sürtünme açısının eğim yönü aşağı doğrudur. Buradan şu sonuca ulaşabiliriz, yükseklik ve sürşarj yükü arttıkça maliyet artmakta, içsel sürtünme açısı arttıkça maliyet azalmaktadır.

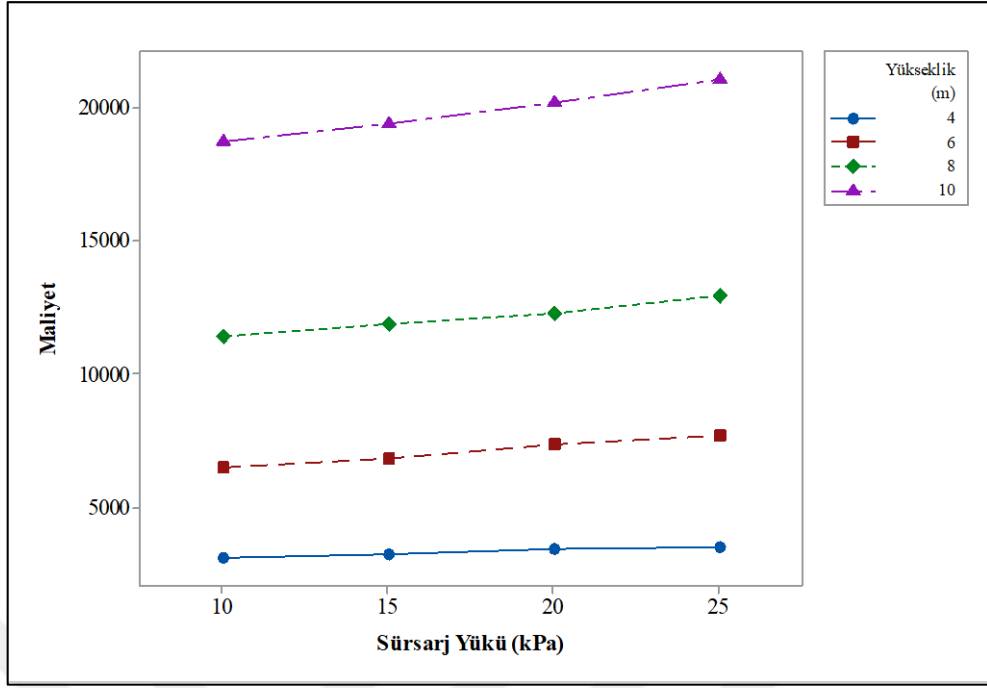


Şekil 4.5 İçsel sürtünme açısı, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim

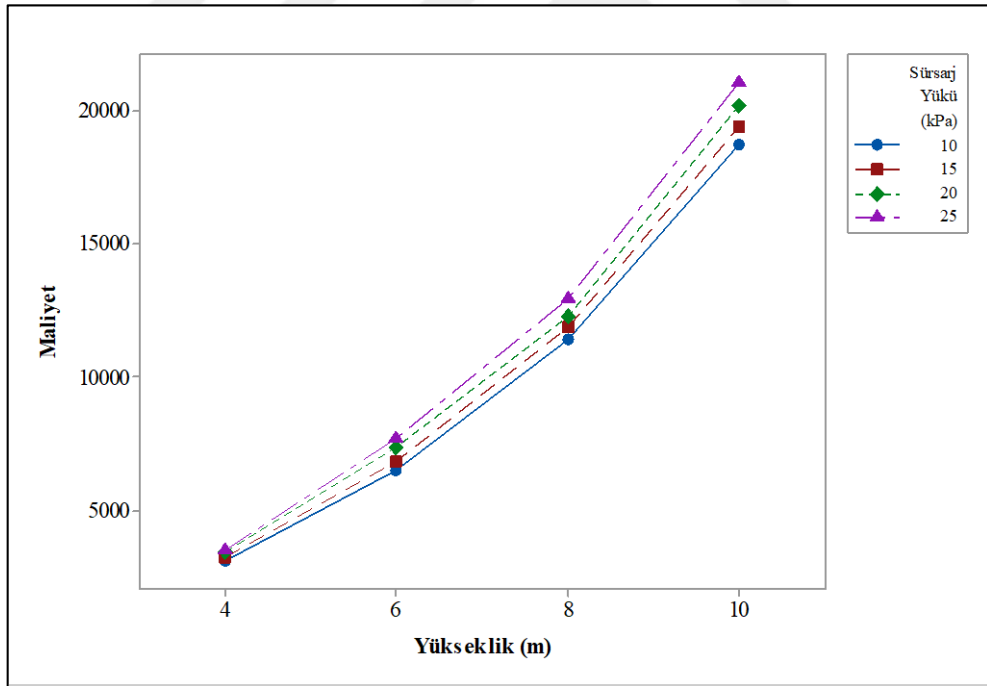


Şekil 4.6 Yükseklik, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da görüldüğü üzere istinat duvarında yüksekliğin artması ile birlikte içsel sürtünme açısının maliyeti değiştirme etkisi de artmaktadır. Betonarme konsol istinat duvarlarında yüksekliğin artması ile birlikte içsel sürtünme açısının maliyeti azaltma hızı da artmaktadır.



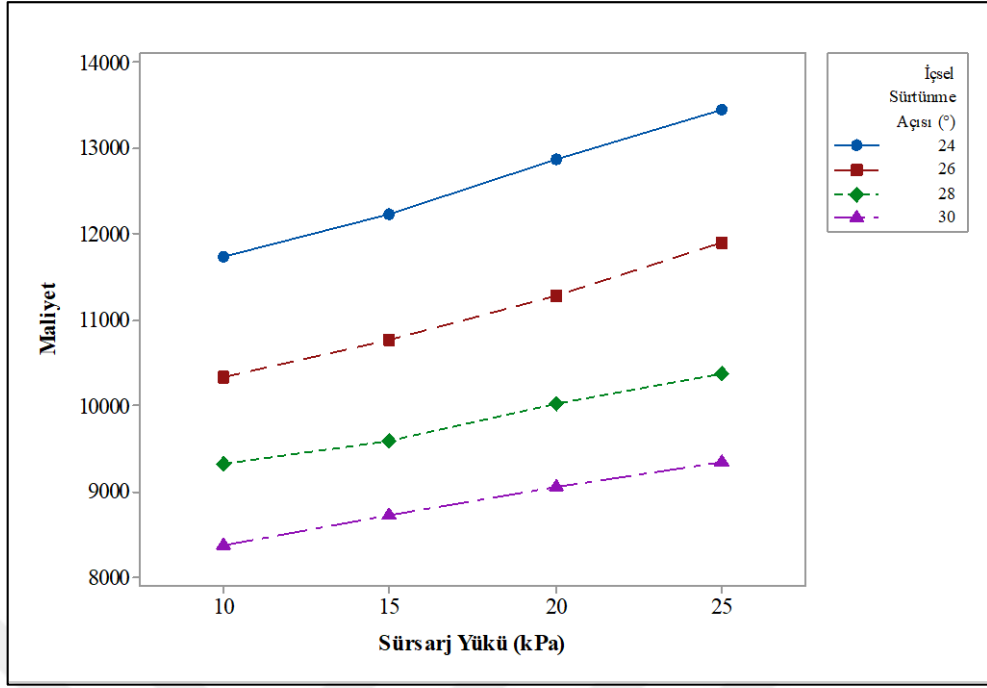
Şekil 4.7 Sürşarj yükü, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim



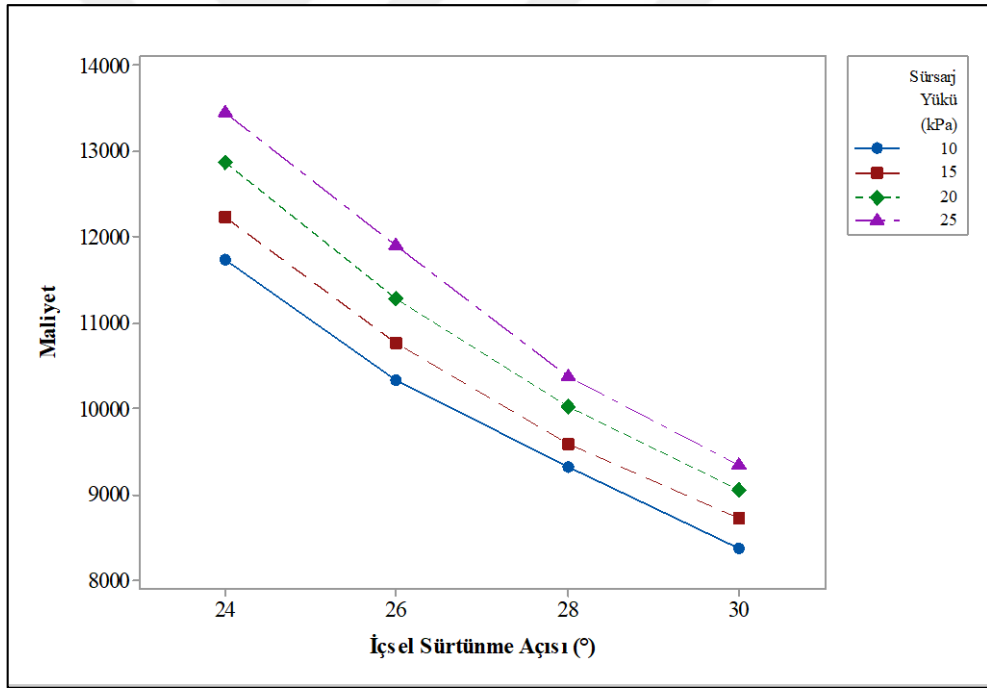
Şekil 4.8 Yükseklik, sürşarj yükü ve maliyet arasındaki değişim

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'te görüldüğü üzere istinat duvarında yüksekliğin artması ile birlikte sürşarj yükünün maliyeti değiştirme etkisi de artmaktadır. Betonarme konsol istinat duvarlarında yüksekliğin artması ile birlikte sürşarj yükünün maliyeti arttırma hızı da artmaktadır.





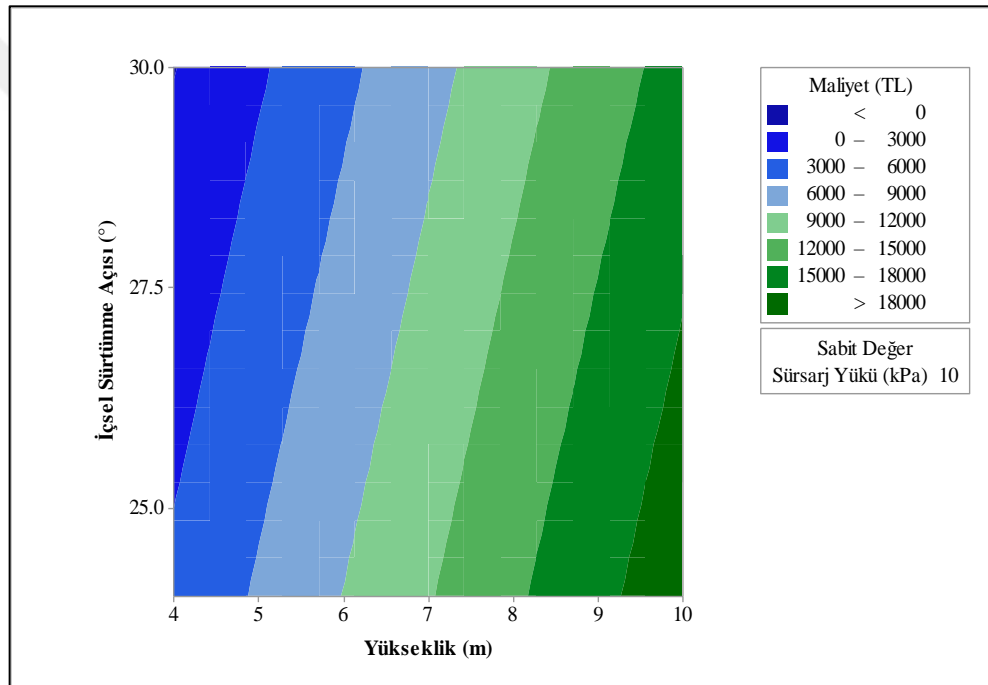
Şekil 4.9 Sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim



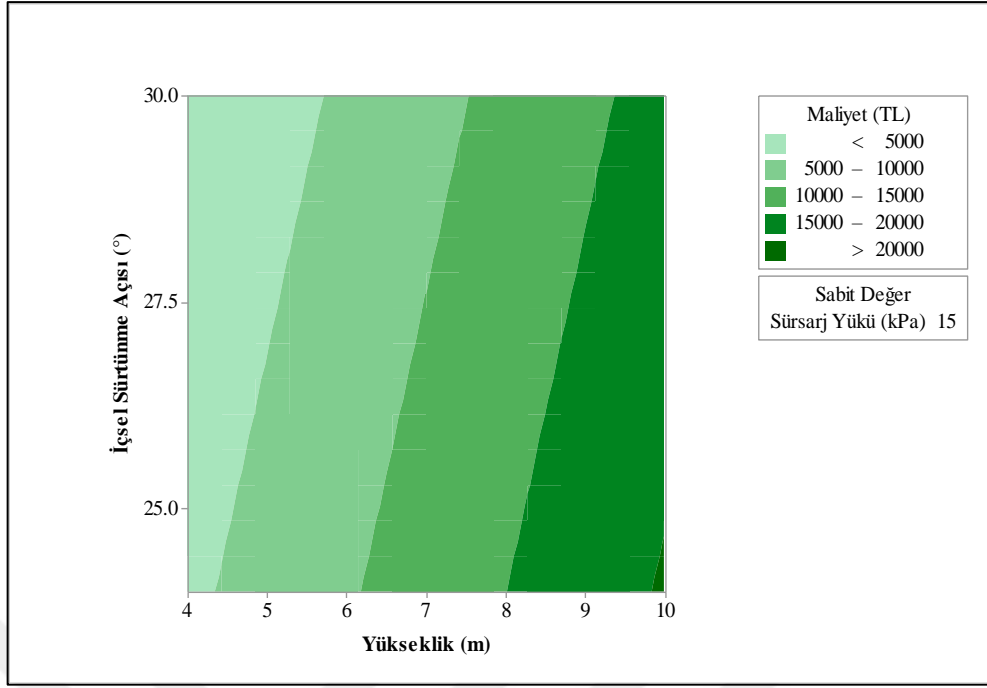
Şekil 4.10 İçsel sürtünme açısı, sürşarj yükü ve maliyet arasındaki değişim

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da görüldüğü üzere istinat duvarında sürşarj yükünün artması ile birlikte maliyet artmakta, içsel sürtünme açısı arttıkça maliyet azalmaktadır. Her iki grafikten görüldüğü gibi eğimler birbirine çok yakındır. Betonarme konsol istinat duvarlarında sürşarj yükünün artması ile birlikte içsel sürtünme açısının maliyeti değiştirme hızını etkilemediği görülmüştür.

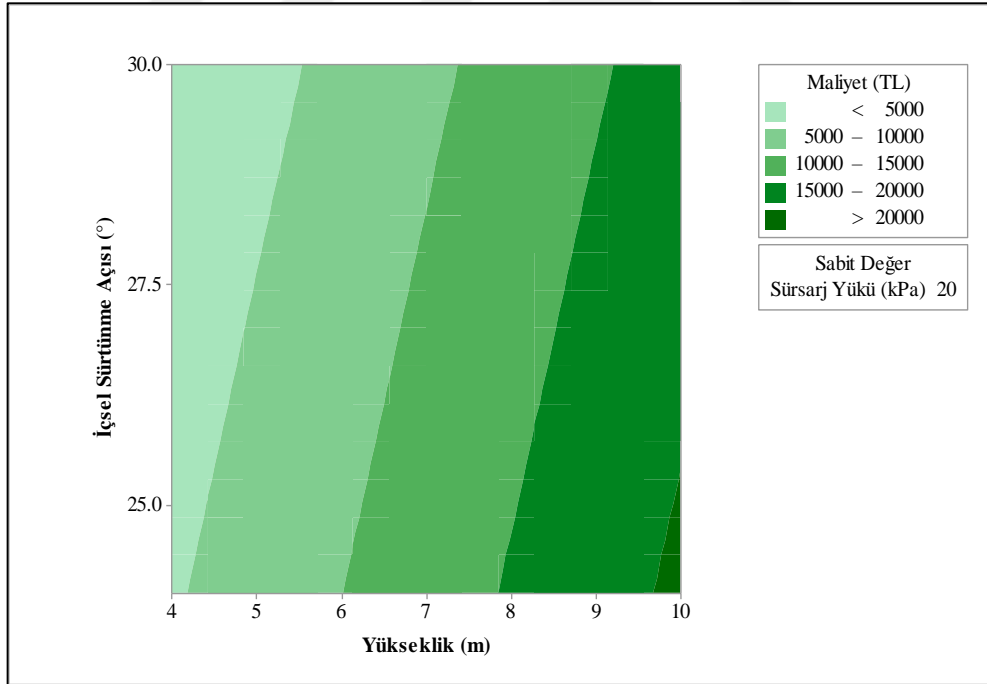
Şekil 4.11’de sürşarj yükü  $q=10$  kPa için yükseklik ve içsel sürtünme açısı arasındaki kontur grafiği gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde yükseklik arttıkça maliyetin arttığı, buna karşılık içsel sürtünme açısı arttıkça maliyetin azaldığı gözlemlenmektedir. Sürşarj yükü arttıkça mavi ile boyalı olan kısımların kaybolduğu, yeşil ile boyalı olan kısımların daha da koyulaştığı yani maliyetin arttığı gözlemlenmektedir (Şekil 4.11-4.12-4.13-4.14). Kontur grafiklerinden renklendirme dilimleri aralıklarının sürşarj yükü arttıkça genişlediği, koyu yeşil dilimleri aralıklarının arttığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç bize sürşarj yükü arttıkça maliyetin hızlı bir değişim göstermediğini ayrıca sürşarj yükünün istinat duvarı yüksekliğinin arttıkça etkisini artırdığı, içsel sürtünme açısı arttıkça etkisini azalttığını göstermektedir.



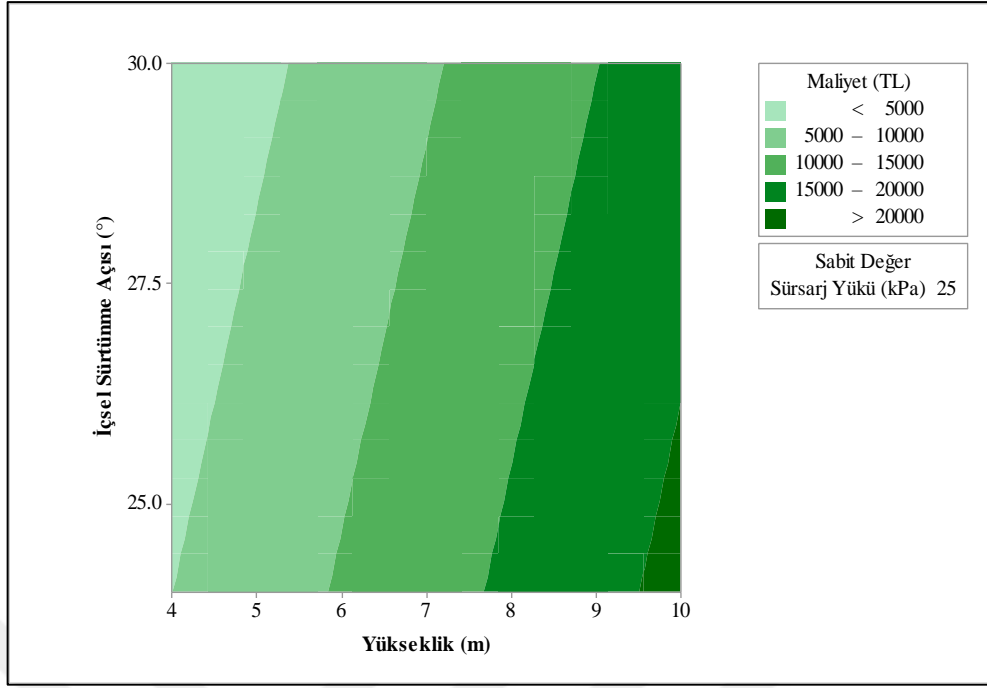
Şekil 4.11  $q=10$  kPa için içsel sürtünme açısı, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim



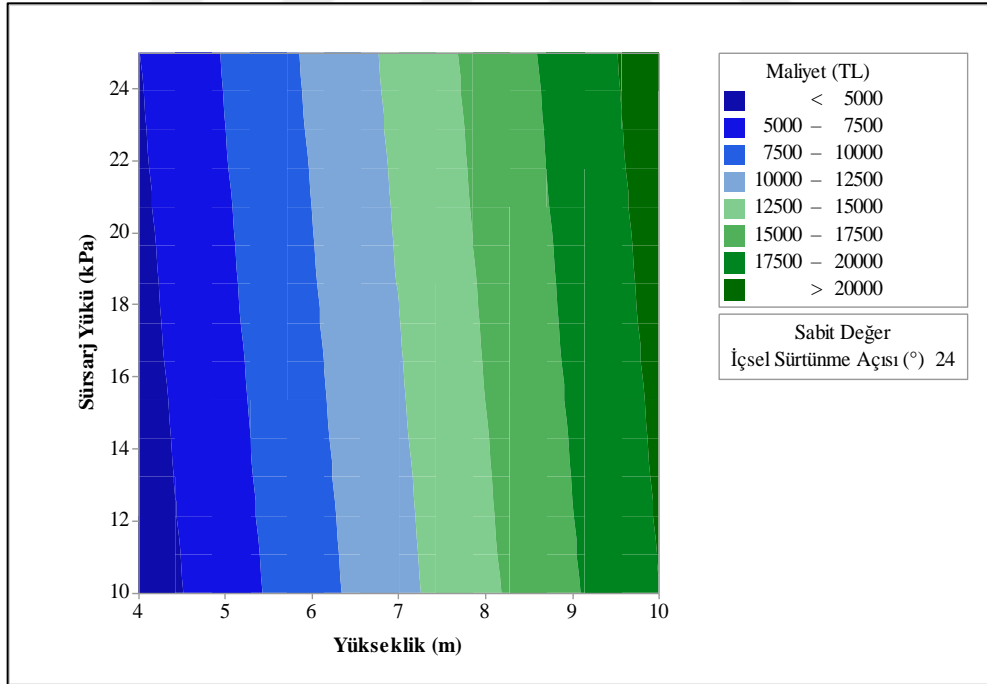
Şekil 4.12 q=15 kPa için içsel sürtünme açısı, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim



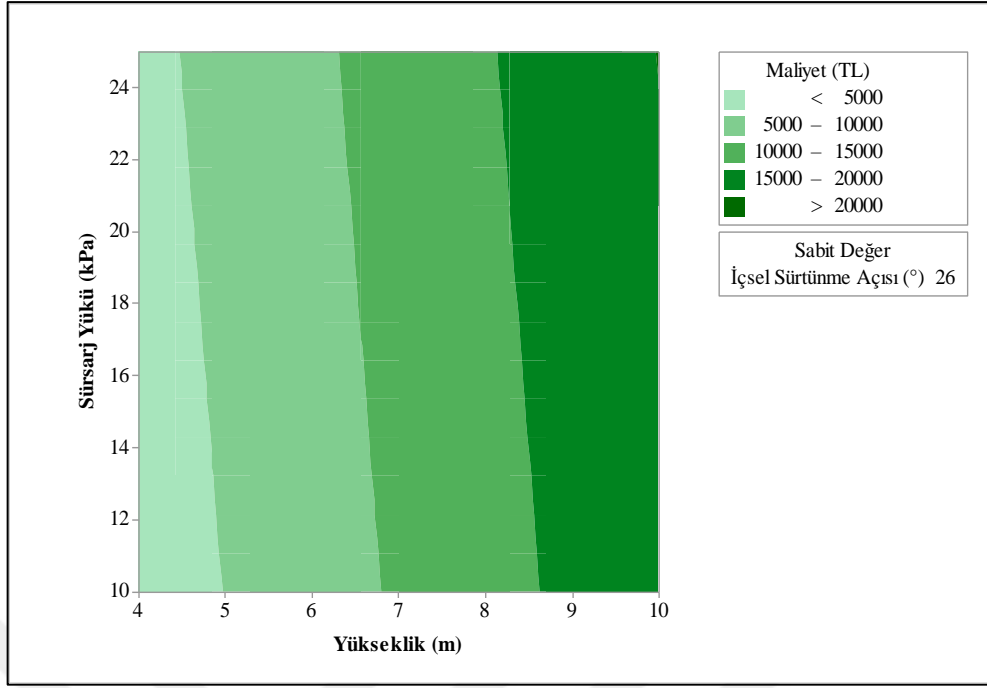
Şekil 4.13 q=20 kPa için içsel sürtünme açısı, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim



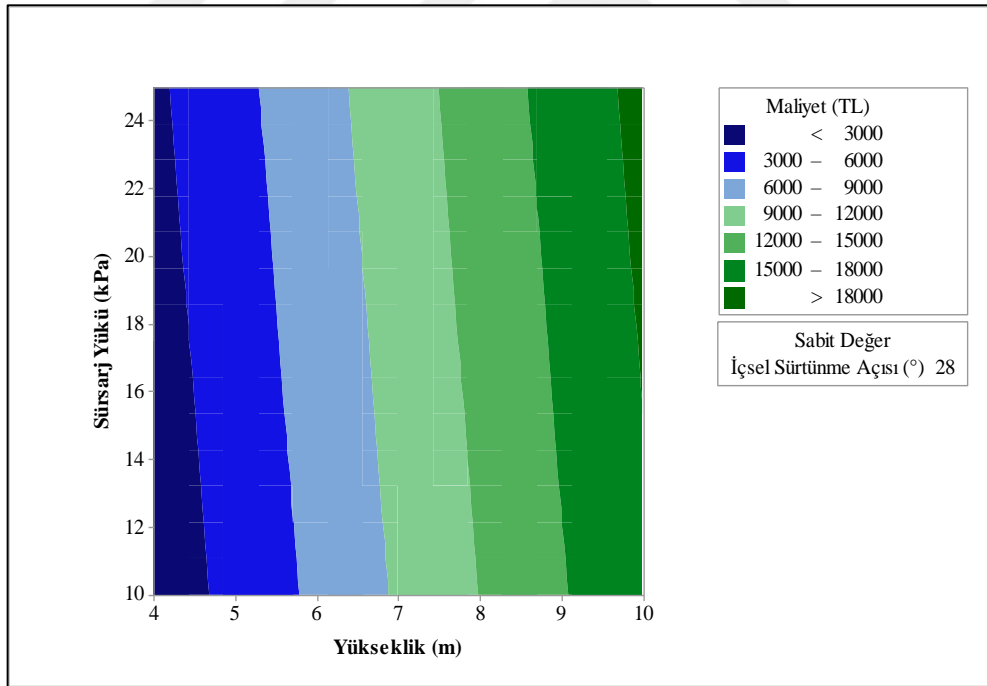
Şekil 4.14  $q=25$  kPa için içsel sürtünme açısı, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim



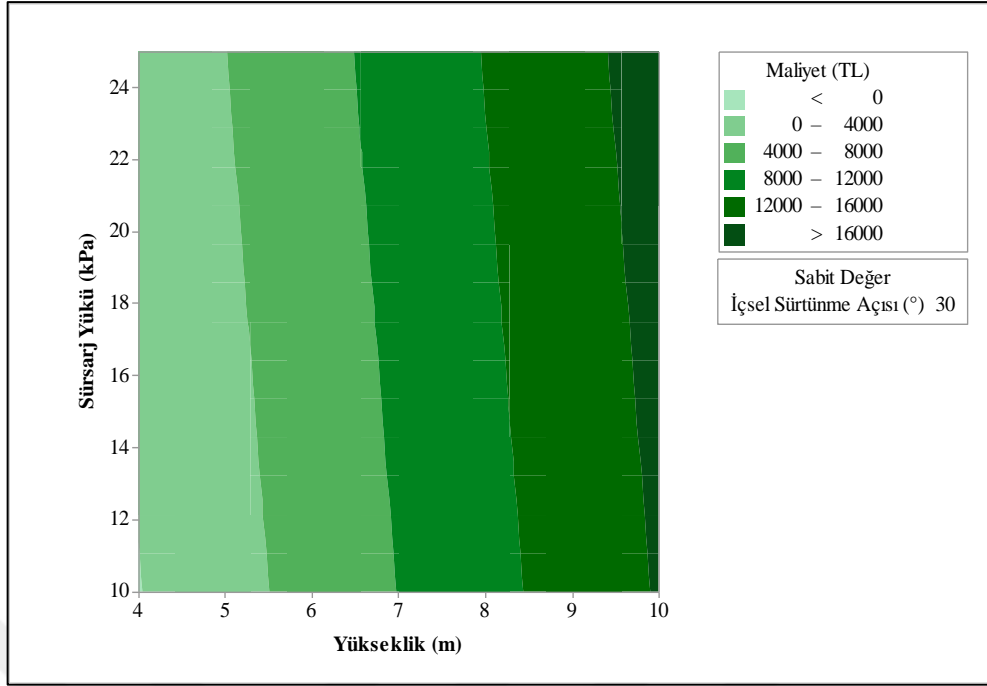
Şekil 4.15  $\phi=24$  için sürsarj yükü, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim



Şekil 4.16  $\phi=26$  için sürşarj yükü, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim

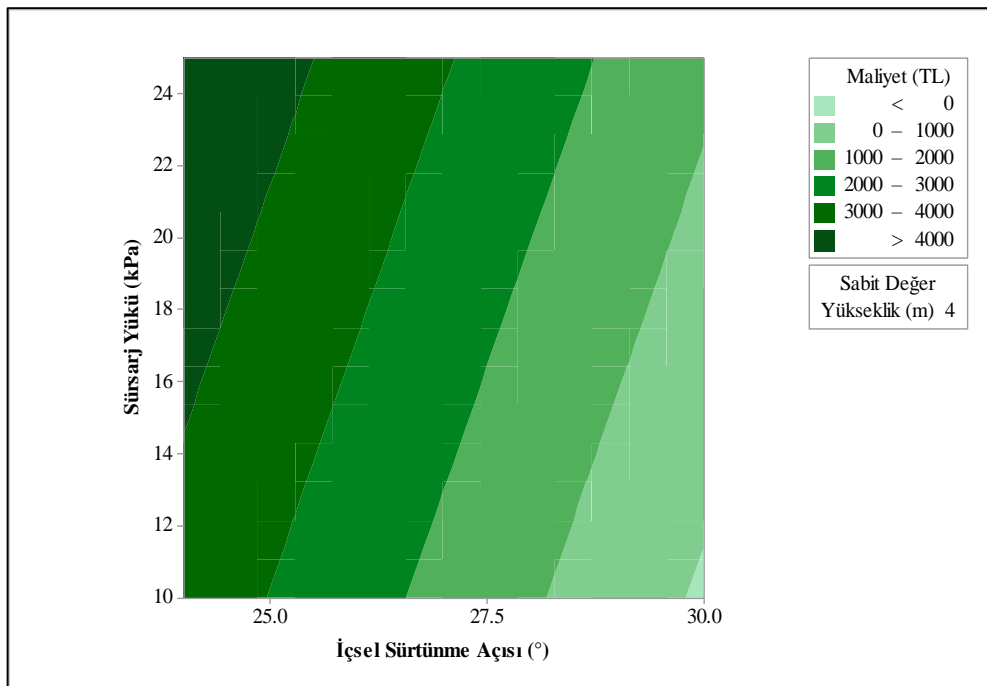


Şekil 4.17  $\phi=28$  için sürşarj yükü, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim

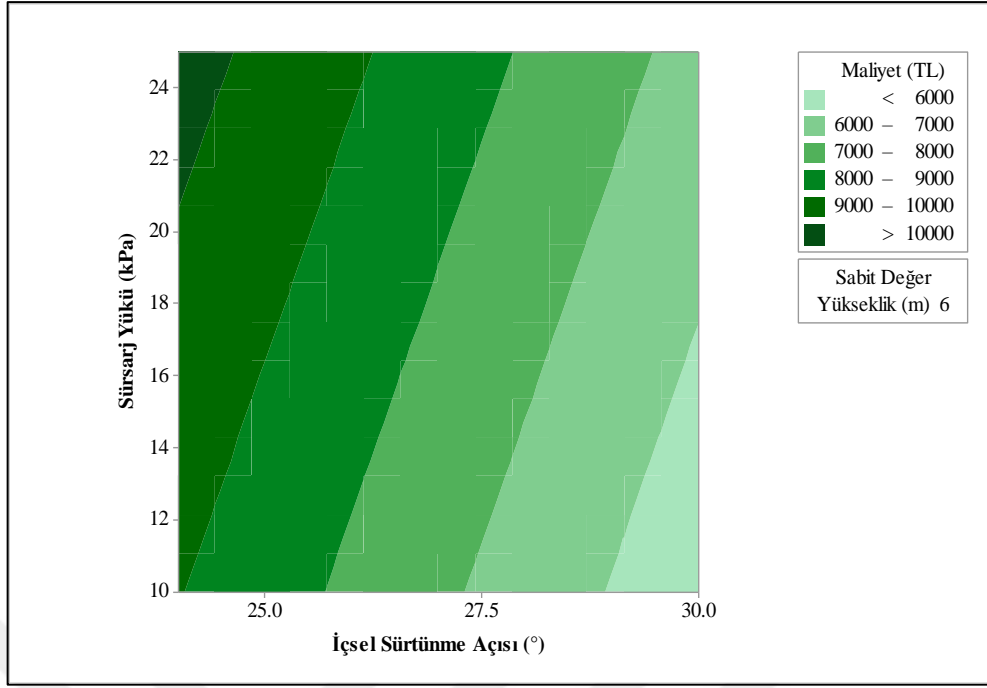


Şekil 4.18  $\phi=30$  için sürşarj yükü, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim

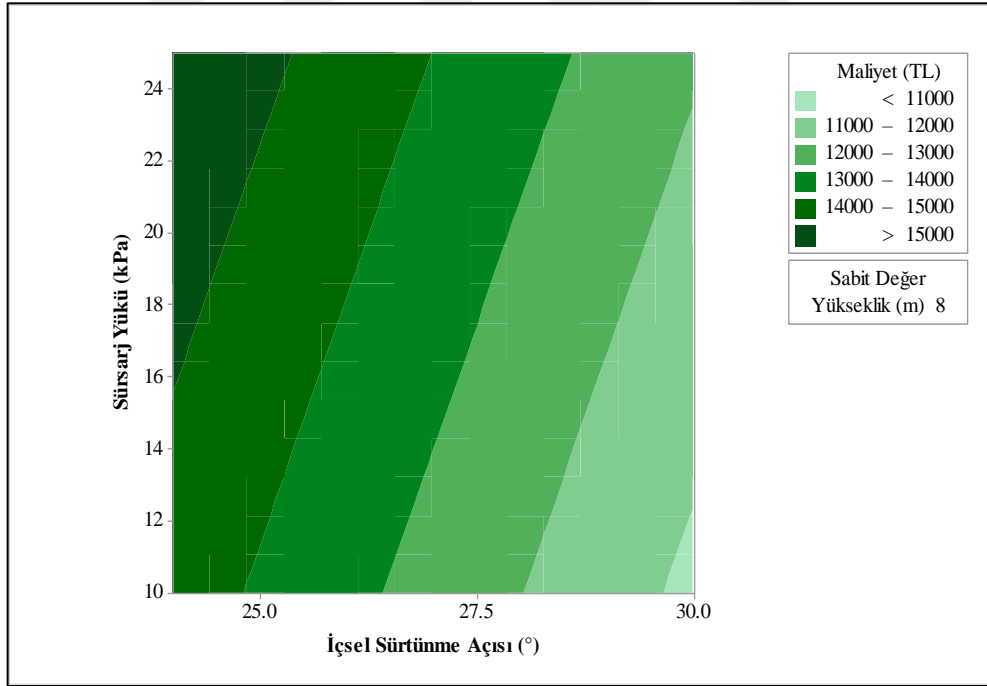
İçsel sürtünme açısı sabit iken sürşarj yükü, yükseklik ve maliyet arasındaki değişimler Şekil 4.15-4.16-4.17-4.18'de verilmiştir. Kontur grafiklerinden gözlemlenen sonuçlara göre içsel sürtünme açısı arttıkça maliyetin azaldığı, içsel sürtünme açısı arttıkça yükseklik ve sürşarj yükünün maliyeti artırma hızının yavaşladığı belirlenmiştir.



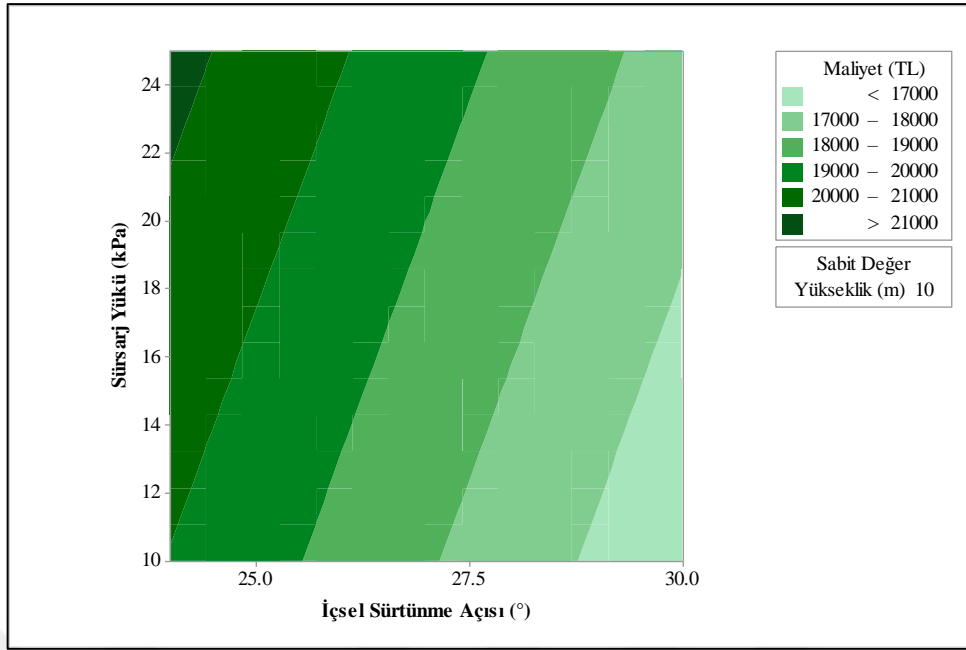
Şekil 4.19 H=4 m için sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim



Şekil 4.20 H=6 m için sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim



Şekil 4.21 H=8 m için sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim

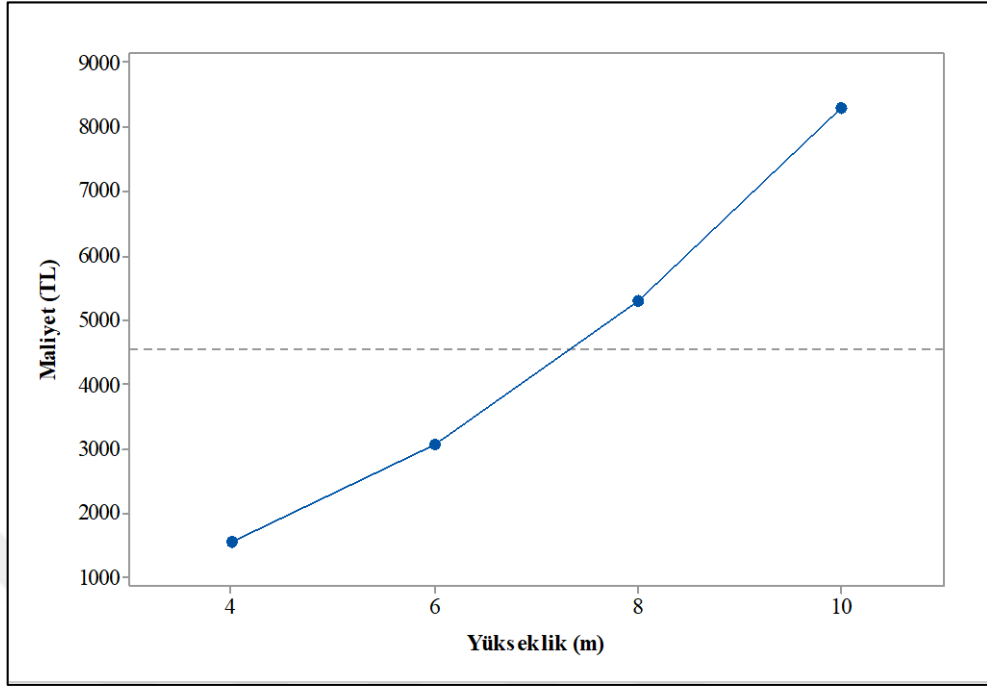


Şekil 4.22 H=10 m için sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim

Yükseklik sabit iken sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişimler Şekil 4.19-4.20-4.21-4.22’de verilmiştir. Kontur grafiklerinden gözlemlenen sonuçlara göre yükseklik arttıkça maliyetin arttığı, yine yükseklik arttıkça içsel sürtünme açısı ve sürşarj yükünün maliyeti azaltma ve arttırma hızının arttığı belirlenmiştir. Başka bir ifadeyle yüksekliği az olan istinat duvarlarının içsel sürtünme açısının maliyeti azaltma etkisi, yüksekliği fazla olan istinat duvarların içsel sürtünme açısının maliyeti azaltma etkisi daha azdır. Yine yükseklik arttıkça sürşarj yükünün maliyeti arttırma etkisi de artmaktadır.

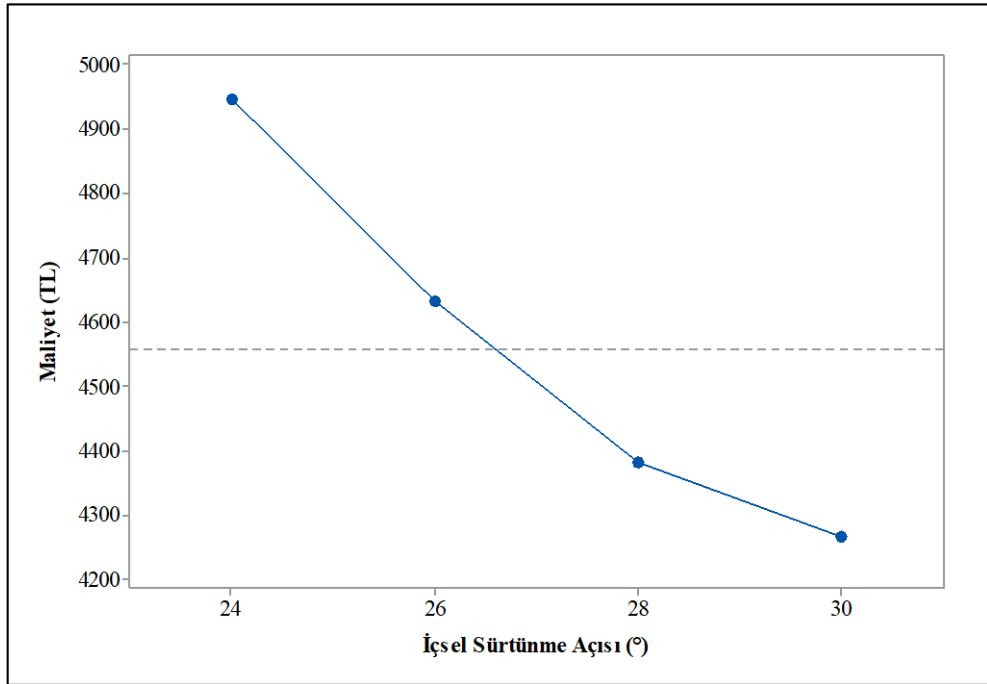


#### 4.5. Geogrid Donatılı İstinat Duvarları İçin Sonuçların Yorumlanması



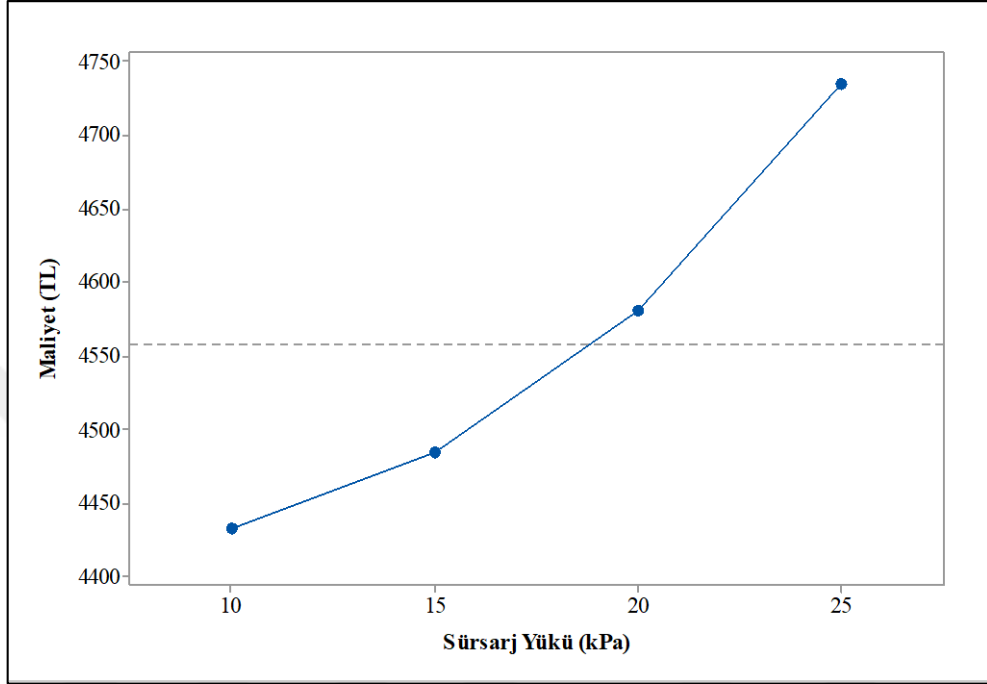
Şekil 4.23 G. D. istinat duvarları maliyet ile yükseklik arasındaki ilişki

Şekil 4.23’de görüldüğü üzere yükseklik arttıkça maliyetin arttığı görülmüştür. Grafikten yüksekliğin artması ile eğiminin de arttığı gözlenmiştir. Sonuç olarak geogrid donatılı istinat duvarının yüksekliği arttıkça maliyetin artma hızı da artmaktadır.



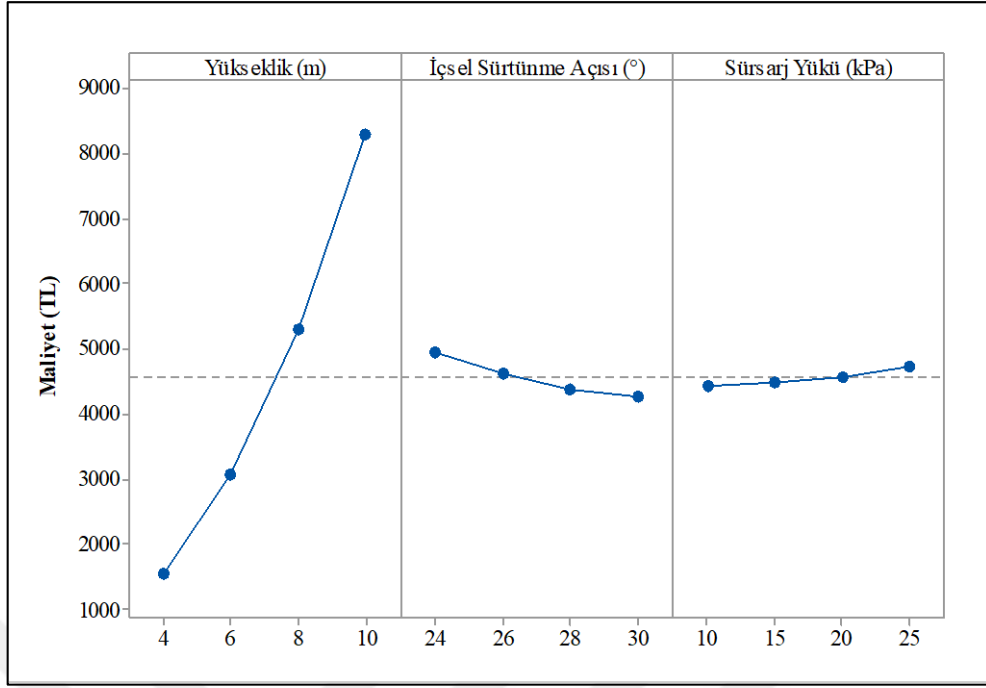
Şekil 4.24 G. D. istinat duvarları maliyet ile içsel sürtünme açısı arasındaki ilişki

Şekil 4.24’de görüldüğü üzere içsel sürtünme açısı arttıkça maliyetin azaldığı görülmüştür. Grafikten içsel sürtünme açısının artması ile eğrinin daha yatay hale geldiği gözlenmiştir. Sonuç olarak geogrid donatılı istinat duvarının içsel sürtünme açısı arttıkça maliyetin değişim hızı da azalmaktadır.



Şekil 4.25 G. D. istinat duvarları maliyet ile sürşarj yükü arasındaki ilişki

Şekil 4.25’de görüldüğü üzere sürşarj yükü arttıkça maliyetin arttığı görülmüştür. Grafikten sürşarj yükünün artması ile eğiminin de arttığı gözlenmiştir. Sonuç olarak geogrid donatılı istinat duvarının sürşarj yükü arttıkça maliyetin artma eğilimi de artmaktadır.



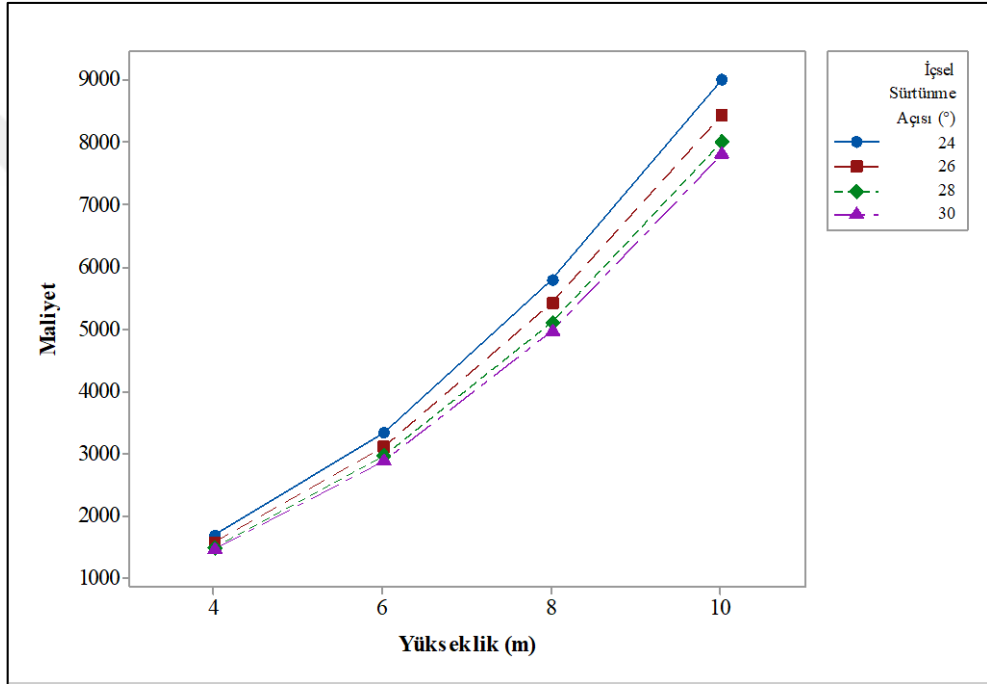
Şekil 4.26 G. D. İst. Duvarları maliyet ile yükseklik, içsel sürtünme açısı ve sürşarj yükü arasındaki ilişki

Şekil 4.26 incelendiğinde betonarme konsol istinat duvarlarında olduğu gibi yükseklik ile maliyet değişimi eğrisinin ortalamadan sapma miktarı, içsel sürtünme açısı ve sürşarj yükü maliyet değişimi eğrisinden daha fazladır. Dolayısıyla yükseklik faktörünün maliyet üzerindeki etkisi, sürşarj yükü ve içsel sürtünme açısına göre çok daha fazladır. İçsel sürtünme açısı ve sürşarj yükünün ortalamadan sapma miktarları karşılaştırıldığında ise içsel sürtünme açısının eğiminin daha fazla olduğu görülmektedir. Bundan dolayı içsel sürtünme açısının maliyete etkisi sürşarj yükünden daha fazladır. Yine Şekil 4.26'teki grafiğe göre yükseklik ve sürşarj yükünün maliyet değişimi yukarı yönde, içsel sürtünme açısının maliyet değişimi aşağı yöndedir. Bunun anlamı yükseklik ve sürşarj yükü arttıkça maliyet artmakta, içsel sürtünme açısı arttıkça maliyet azalmaktadır.

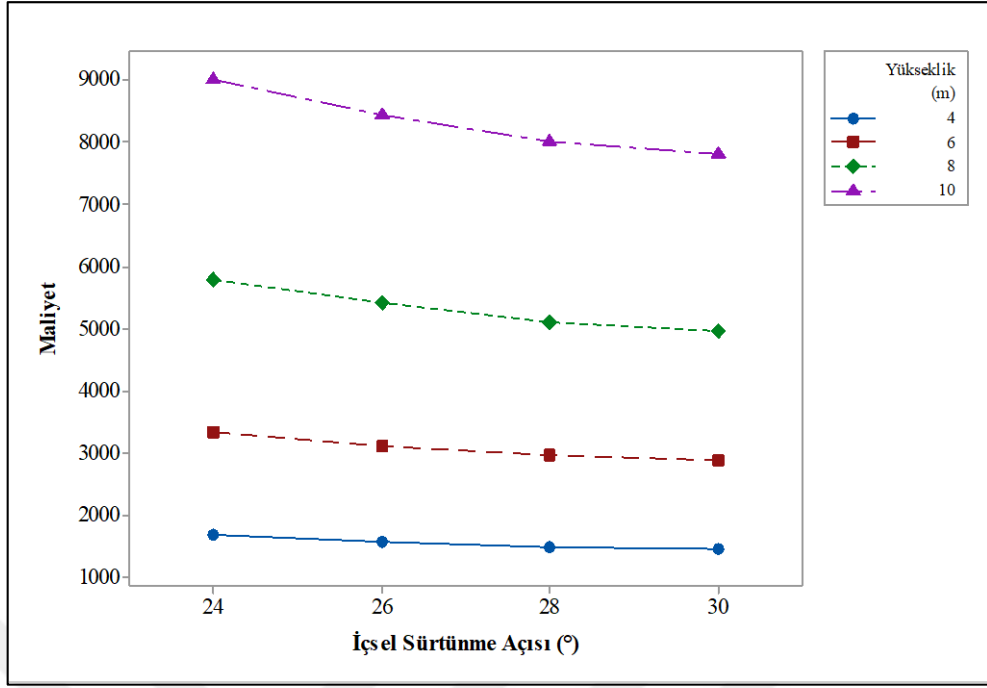
Yükseklik ile maliyet grafiğine göre, yükseklik arttıkça değişim eğrisinin eğimi artmaktadır. Buna göre yükseklik arttıkça maliyetin artma hızı da artmaktadır. Bu grafik bize maliyet için en önemli faktörün yükseklik faktörü olduğunu göstermektedir. İçsel sürtünme açısı ile maliyet arasındaki değişim incelendiğinde değişim eğrisinin 28° den sonra daha yatay olduğu görülmektedir. Bunun sebebi içsel sürtünme açısının 28° olduğu durumlarda geogrid donatı uzunlukları  $0,7 \times H$  minimum boyutlarda kesitlerin sağladığı, dolayısıyla daha büyük içsel sürtünme açılarında da minimum boyutlarda donatı uzunluğu kullanılacak olmasıdır. Dolayısıyla kesitler büyüse dahi donatı uzunluklarının

boyları aynı kalmakta, bu durumun da maliyeti çok fazla etkilemediği ortaya çıkmaktadır. Şekil 4.26'daki grafikten sürşarj yükünün maliyeti etkilemede en az etkili faktör olduğu görülmektedir.

Şekil 4.4 ve Şekil 4.26'daki grafiklerden yükseklik faktörünün maliyet ile değişim eğrilerinin betonarme konsol ve geogrid donatılı istinat duvarları ile karşılaştırıldığında, betonarme konsol istinat duvarı eğiminin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu grafikler bize yükseklik faktörünün betonarme konsol istinat duvarlarında daha etkili olduğunu göstermektedir.

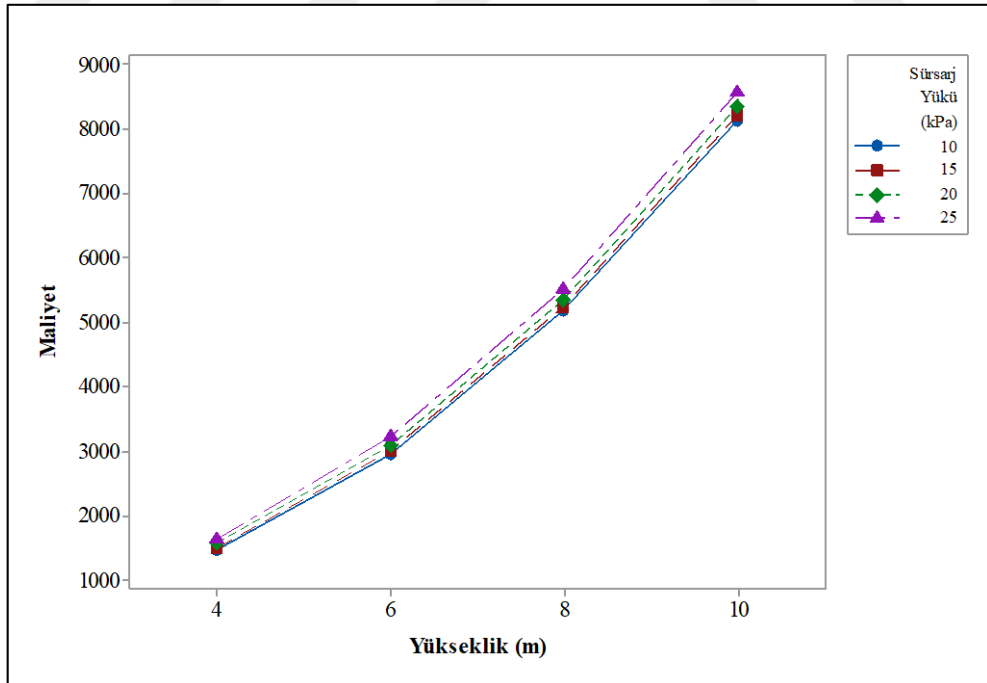


Şekil 4.27 Yükseklik, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim

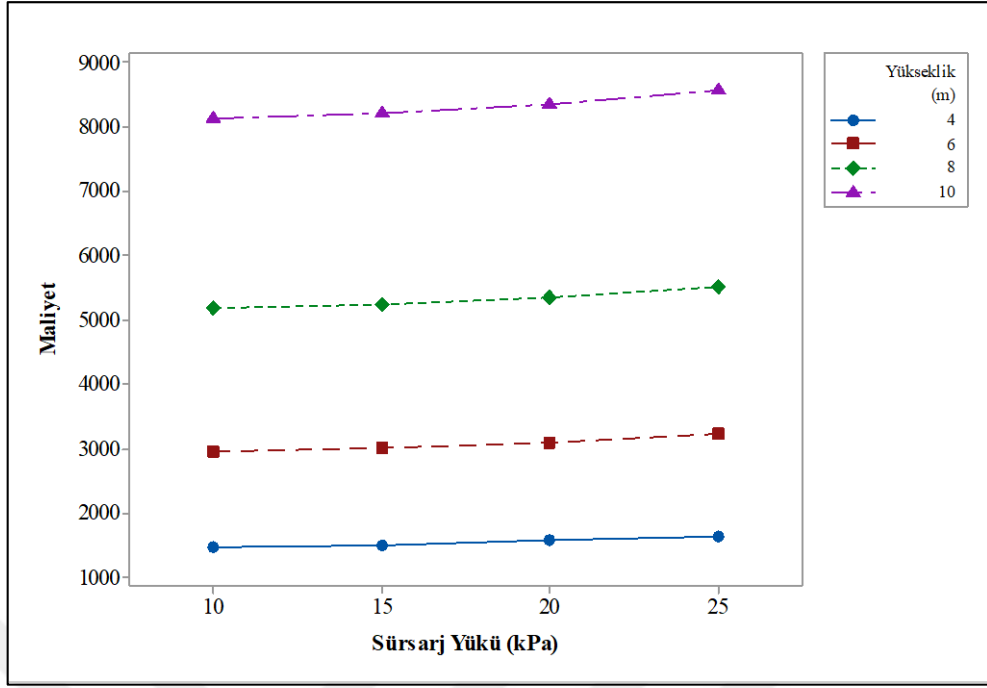


Şekil 4.28 İçsel sürtünme açısı, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim

Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'deki grafikler birlikte incelendiğinde içsel sürtünme açısı arttıkça yükseklik ile maliyet arasındaki değişim hızı azalmaktadır. Sonuç olarak yükseklik arttıkça içsel sürtünme açısının maliyeti değiştirme etkisi artmaktadır.

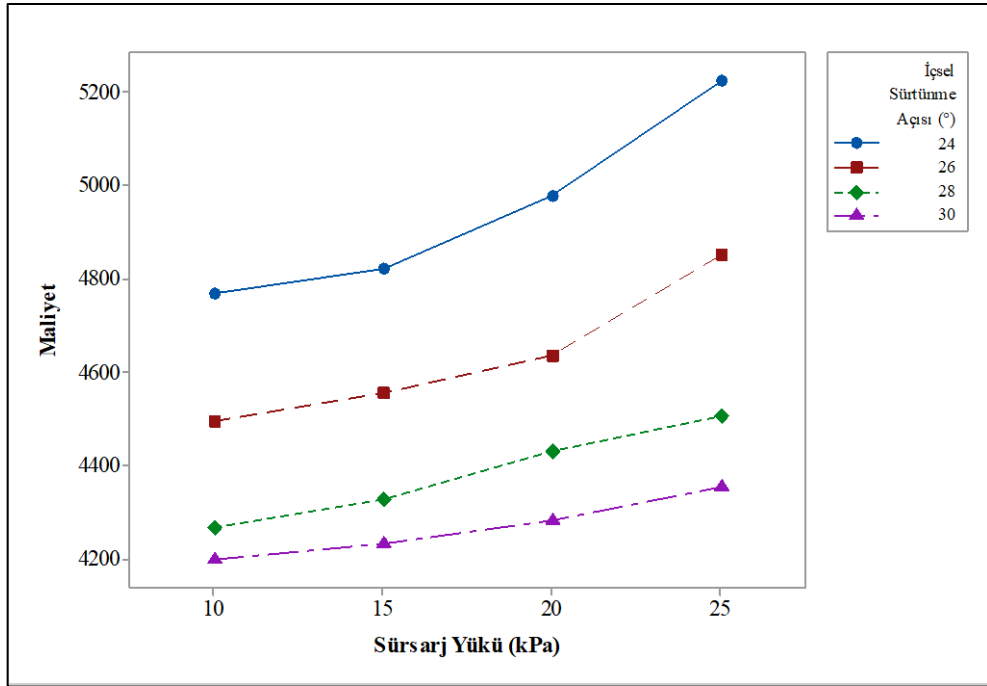


Şekil 4.29 Yükseklik, sürşarj yükü ve maliyet arasındaki değişim

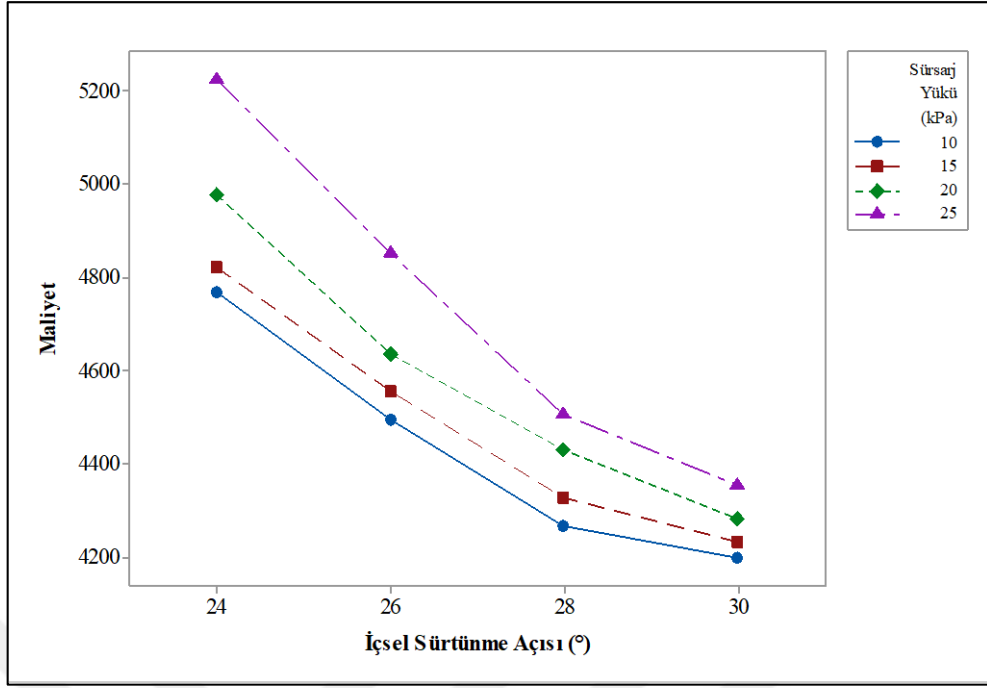


Şekil 4.30 Sürşarj yükü, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim

Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'daki grafiklerden yükseklik ve sürşarj yükü arttıkça maliyet artmaktadır. Yükseklik arttıkça sürşarj yükünün etkisi çok az da olsa artmaktadır. Sonuç olarak sürşarj yükü etkisi yüksek geogrid donatılı istinat duvarlarında maliyeti değiştirme de daha etkilidir.

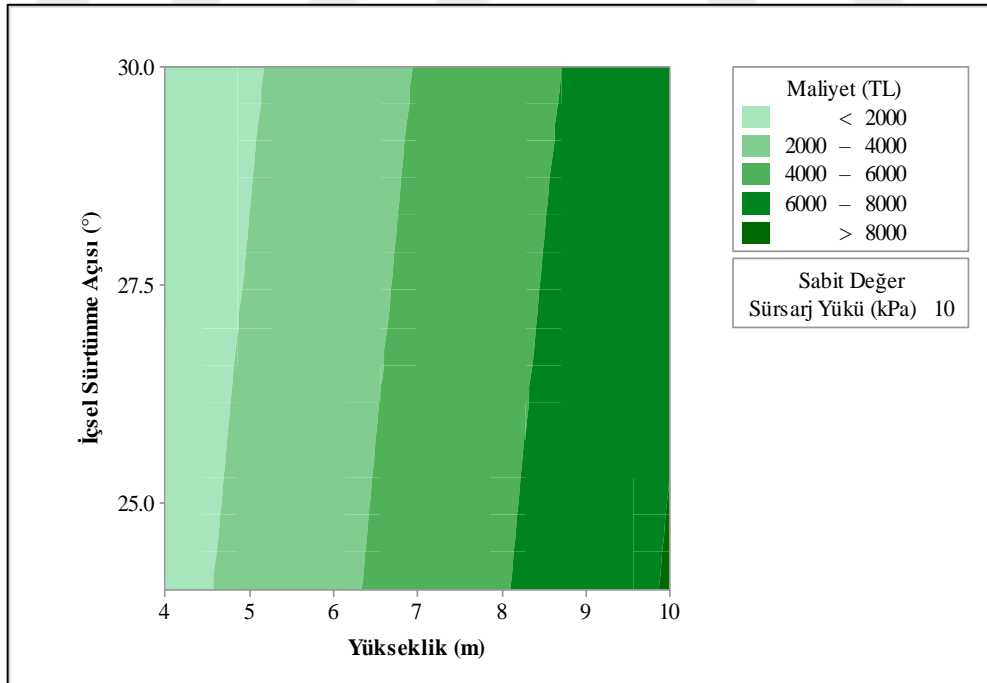


Şekil 4.31 Sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim

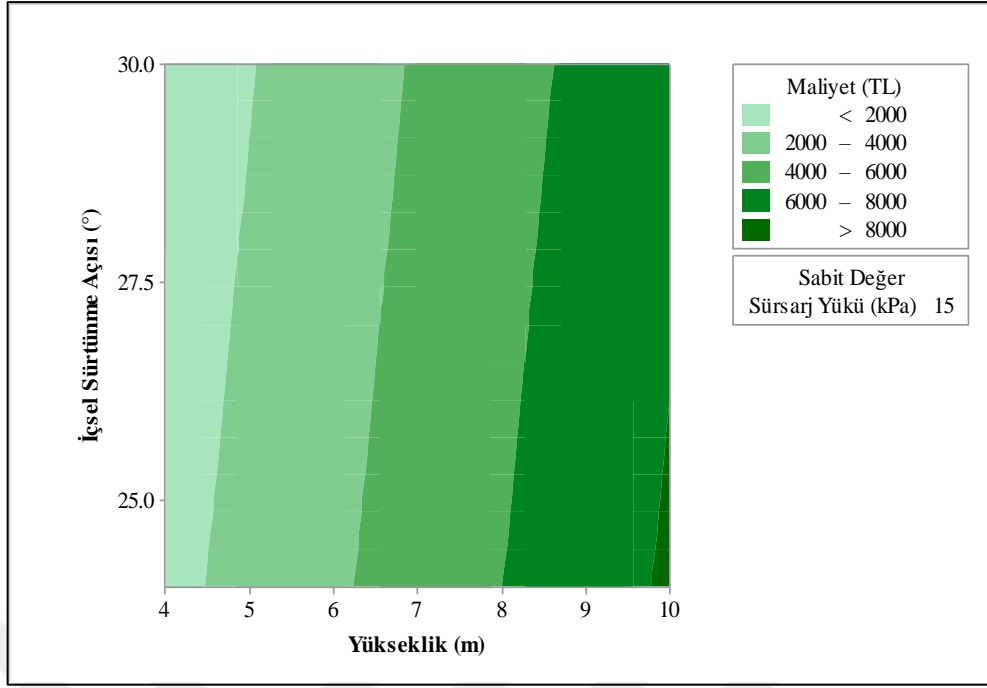


Şekil 4.32 İçsel sürtünme açısı, sürşarj yükü ve maliyet arasındaki değişim

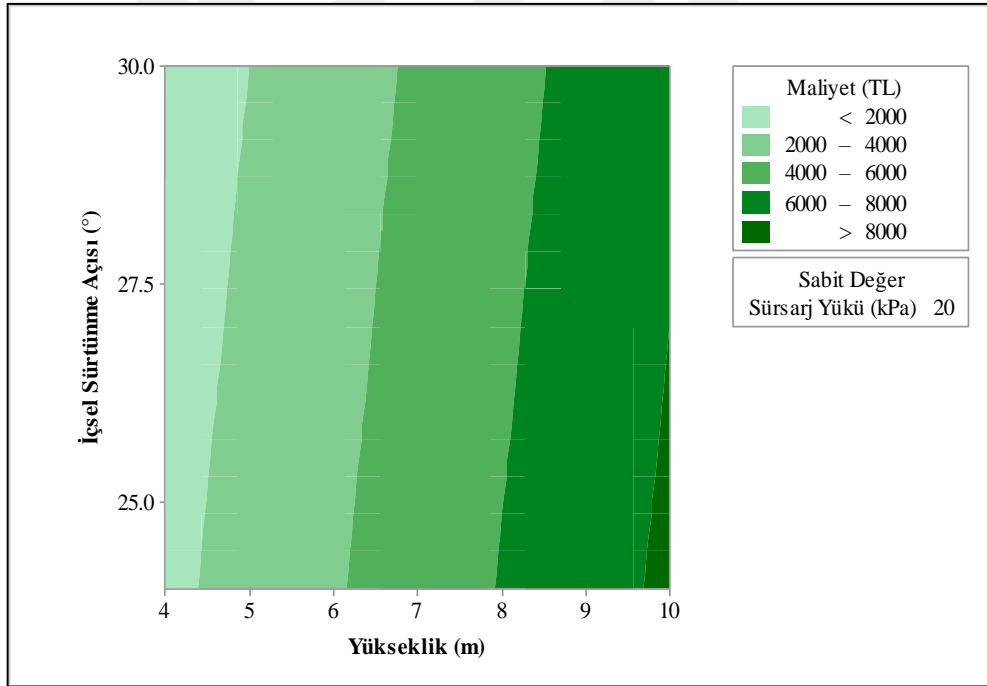
Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'deki grafikler incelendiğinde içsel sürtünme açısı arttıkça sürşarj yükünün maliyeti değiştirme etkisi de azalmaktadır. Sürşarj yükü düşük içsel sürtünme açılı istinat duvarlarında daha etkilidir.



Şekil 4.33  $q=10$  kPa için yükseklik, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim

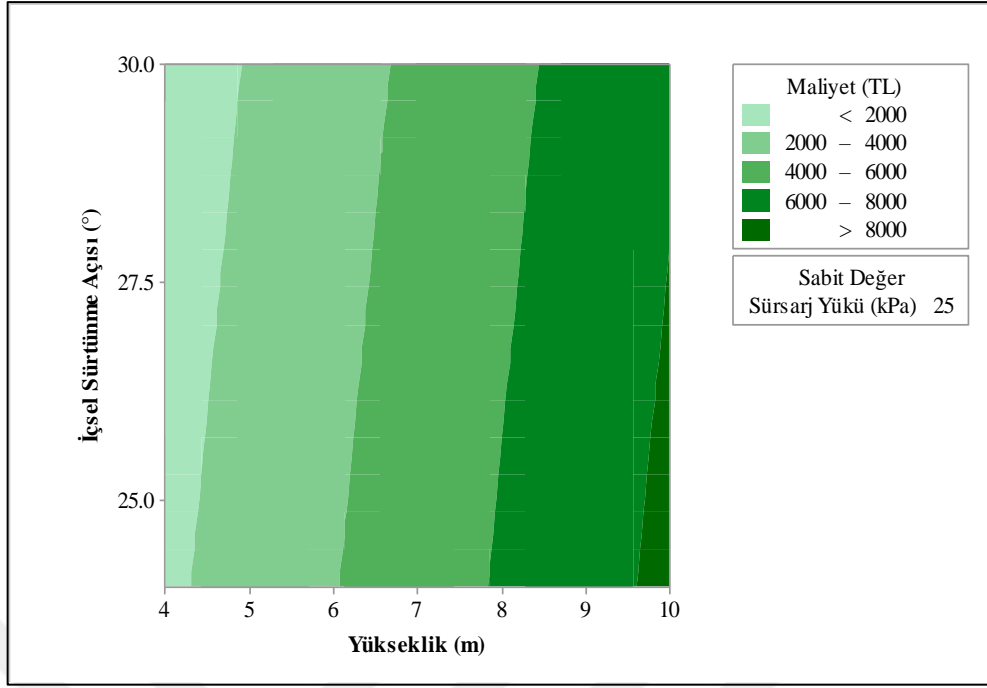


Şekil 4.34 q=15 kPa için yükseklik, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim



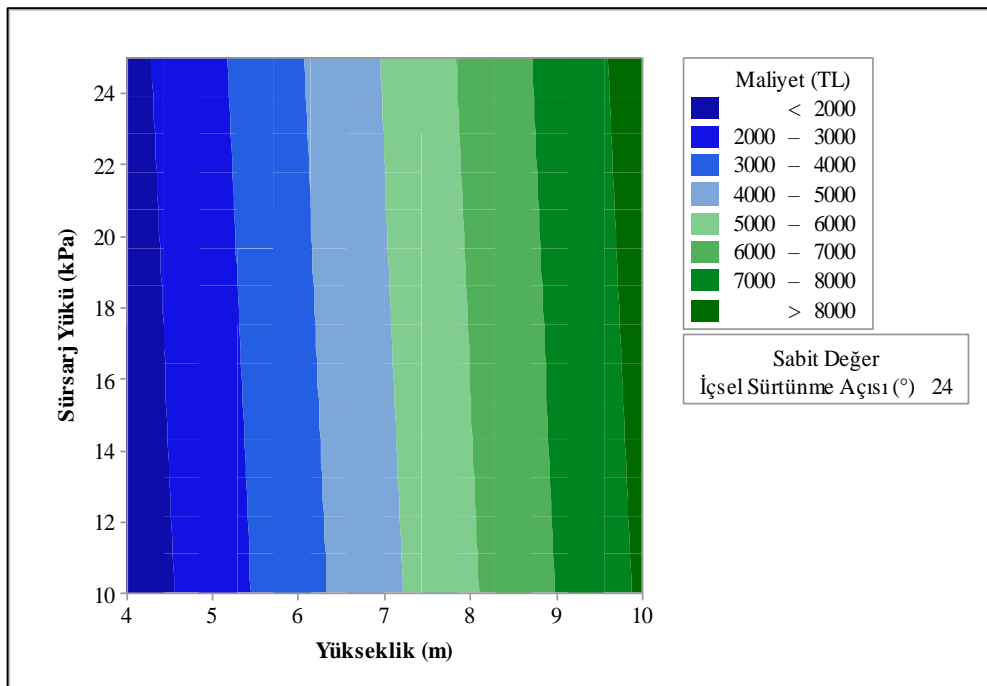
Şekil 4.35 q= 20 kPa için yükseklik, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim



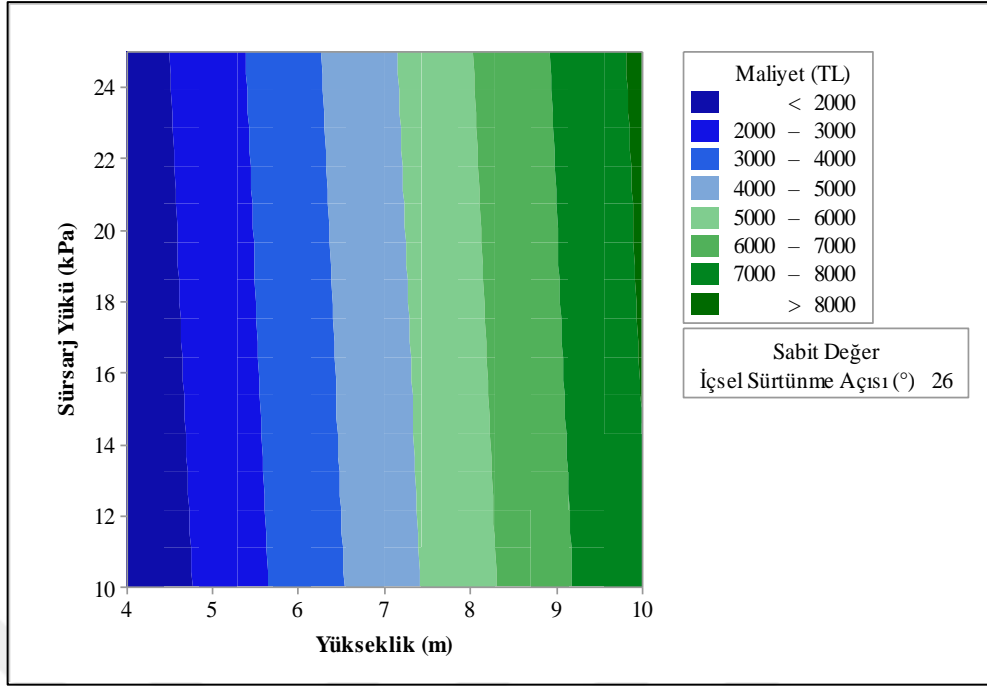


Şekil 4.36  $q=25$  kPa için yükseklik, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim

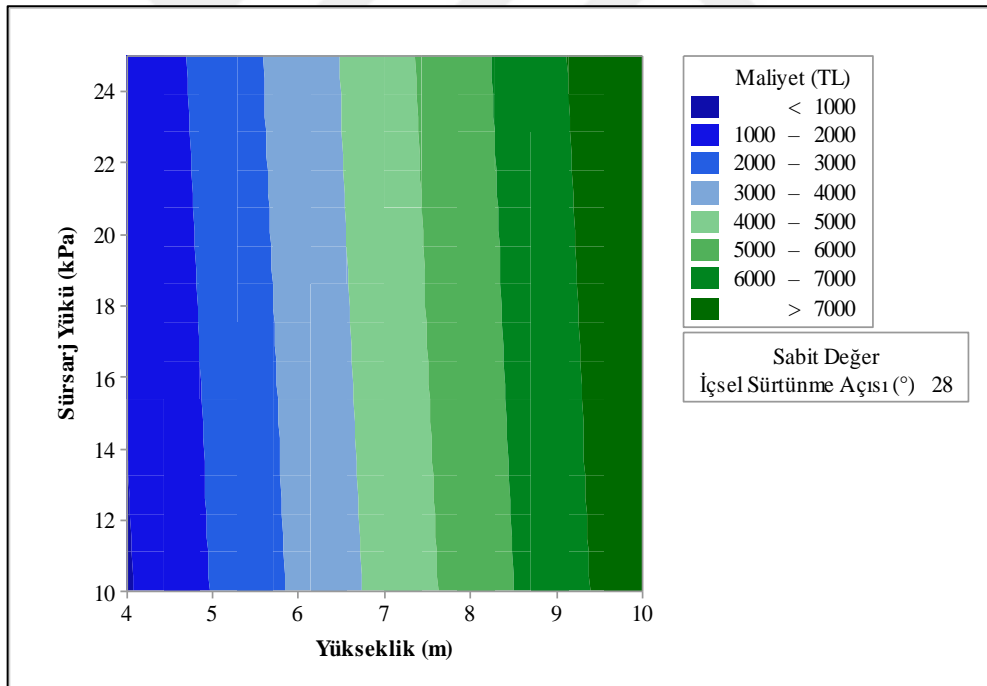
Sürsarj yükü sabit iken maliyet, yükseklik ve içsel sürtünme açısı arasındaki kontur grafikleri Şekil 4.33-34-35-36'da verilmiştir. Kontur grafikleri incelendiğinde renklendirmelerin çok fazla değişmediği ve renklendirme dilim aralıklarının hemen hemen aynı olduğu gözlenmiştir. Bu grafikler bize sürsarj yükünün maliyet üzerinde çok fazla etkili olmadığını göstermektedir.



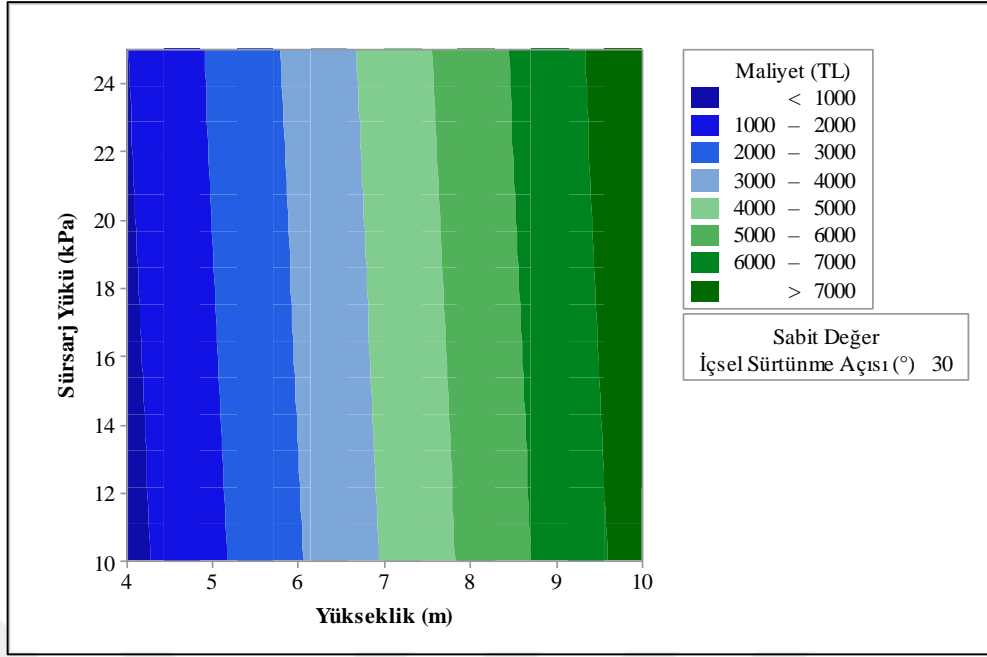
Şekil 4.37  $\phi=24$  için sürsarj yükü, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim



Şekil 4.38  $\phi=26$  için sürşarj yükü, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim

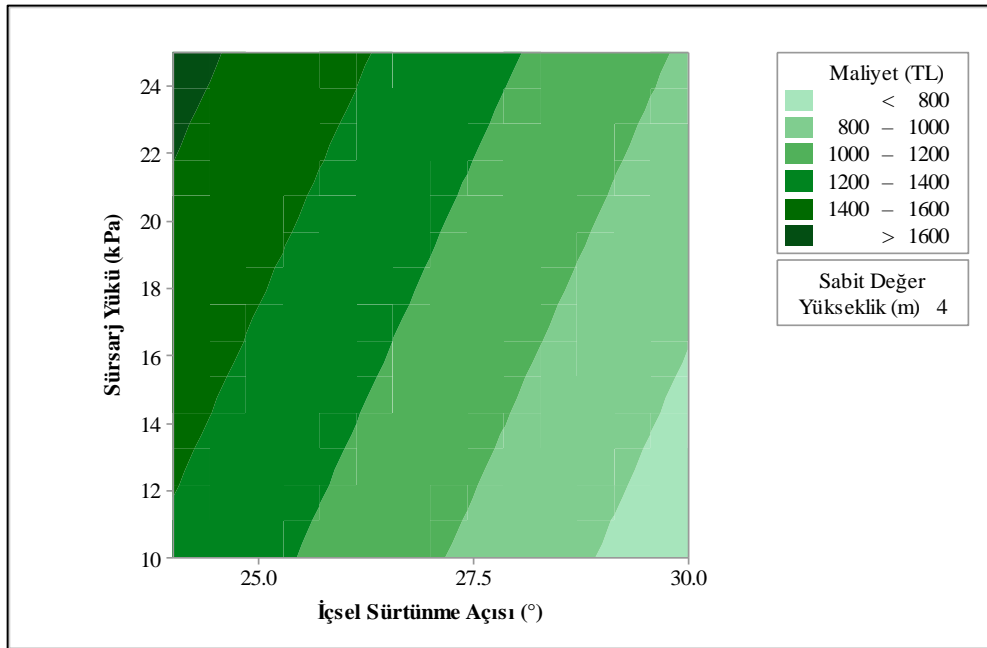


Şekil 4.39  $\phi=28$  için sürşarj yükü, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim

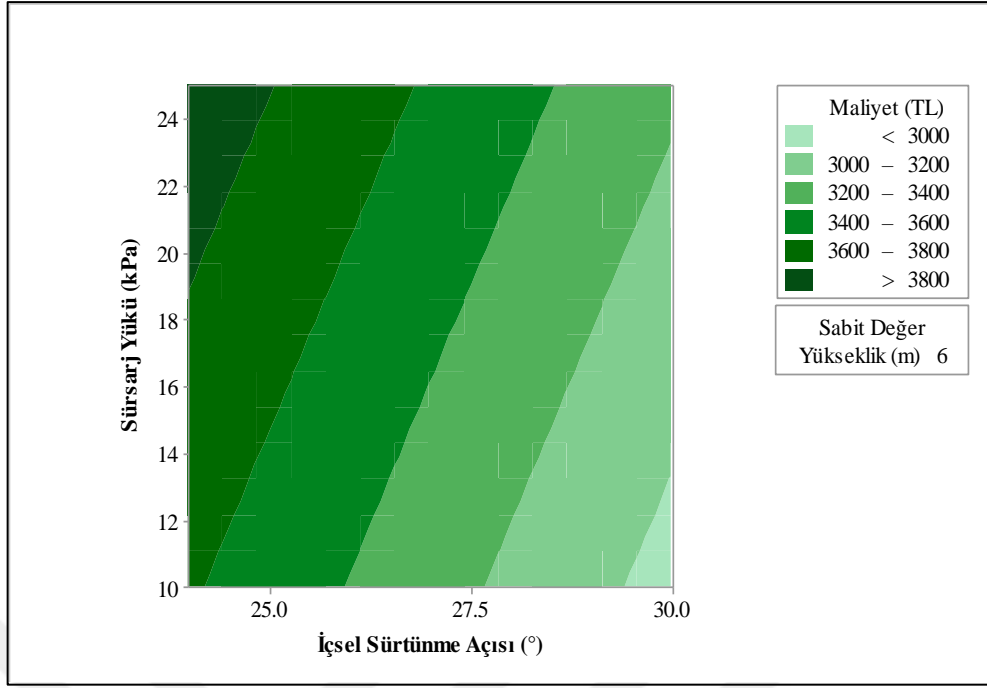


Şekil 4.40  $\phi=30$  için sürşarj yükü, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim

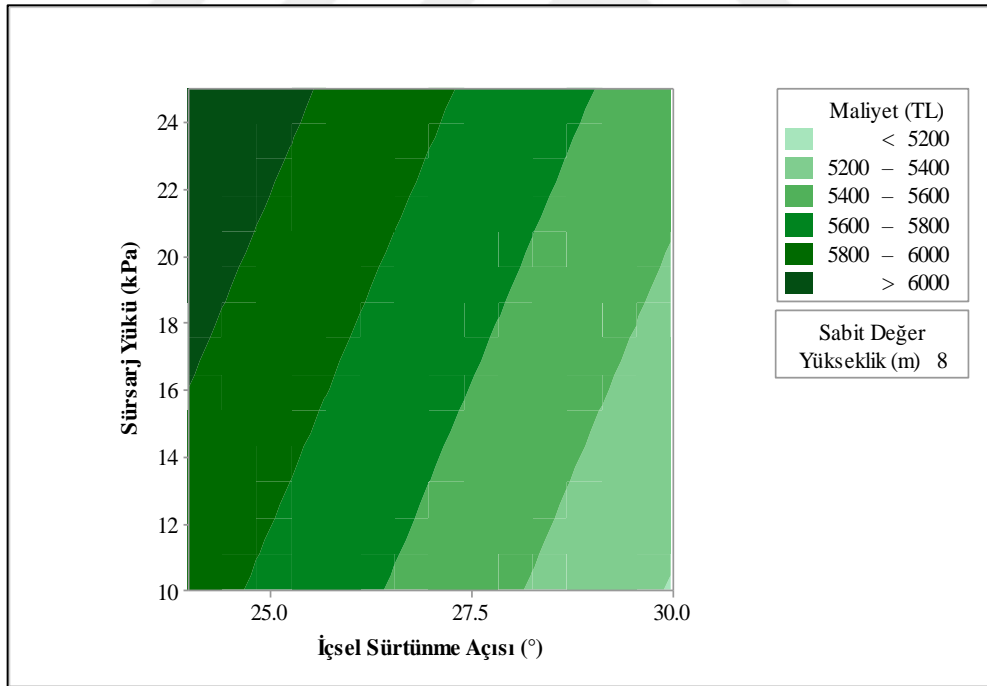
İçsel sürtünme açısı sabit iken sürşarj yükü, yükseklik ve maliyet arasındaki kontur grafikleri incelendiğinde, içsel sürtünme açısı arttıkça koyu yeşil renkli dilimlerin koyu mavi dilimlere dönüştüğü gözlenmiştir (Şekil 4.37,4-38-4.39 ve 4.40). Grafiklerden yeşillerin koyulaşması maliyetin artması, mavilerin koyulaşması maliyetin azalması anlamına gelmektedir. Kontur grafikleri incelendiğinde içsel sürtünme açısı arttıkça koyu mavi dilimlerin arttığı ve koyu yeşil dilimlerin azaldığı görülmektedir. Bu durum bize içsel sürtünme açısı arttıkça maliyetin azaldığını göstermektedir.



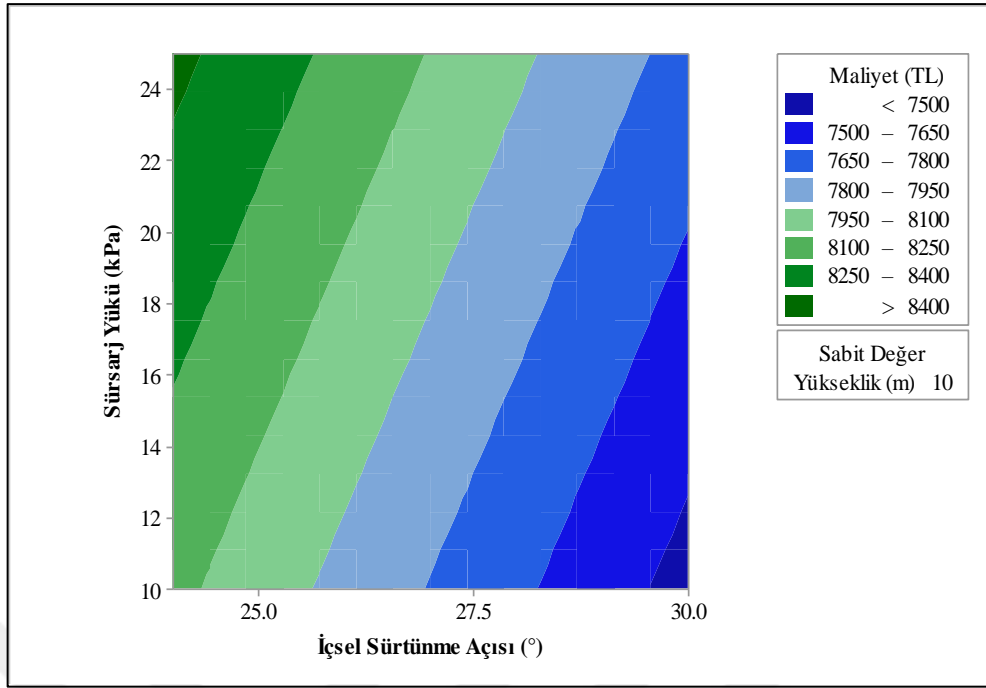
Şekil 4.41 H=4 m için sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim



Şekil 4.42 H=6 m için sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim



Şekil 4.43 H=8 m için sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim

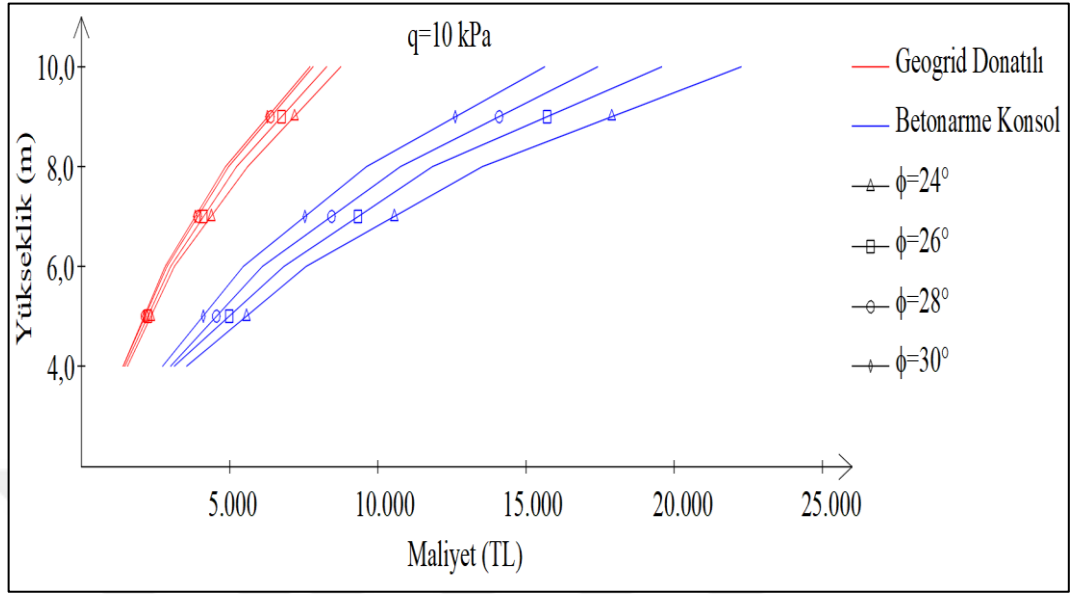


Şekil 4.44 H=10 m için sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim

Yükseklik sabit iken sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişimler Şekil 4.41, 4.42, 4.43 ve 4.44'de verilmiştir. Kontur grafikleri incelendiğinde grafikte sağ alt bölgeye doğru gidildikçe renklerin koyu mavi, sol üst köşeye doğru gidildikçe koyu yeşil olduğu görülmektedir.

Renklerin maviye dönmesi maliyetin azaldığını, yeşile dönmesi maliyetin arttığını göstermektedir. Kontur grafiklerine göre içsel sürtünme açısı arttıkça maliyetler azalmakta ve sürşarj yükü arttıkça maliyetler artmaktadır. İçsel sürtünme açısı arttıkça dilimler arası mesafeler azalmakta ve dilim sayısı artmaktadır. Artan bu dilimler koyu mavi renge dönüşmektedir. Buradan içsel sürtünme açısı arttıkça ve sürşarj yükü de arttıkça maliyetin azalma hızı yavaşlamaktadır. Yine içsel sürtünme açısının maliyeti değiştirme etkisinin sürşarj yükünden daha fazla olduğu görülmektedir.

#### 4.6. Betonarme Konsol ve Geogrid Donatılı İstinat Duvarlarının Maliyet Karşılaştırılması



Şekil 4.45 q=10 kPa için yükseklik, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim

Şekil 4.45’de q=10 kPa sürşarj yüklemesinde betonarme konsol ve geogrid donatılı istinat duvarlarının yükseklik, içsel sürtünme ve maliyet arasındaki değişim grafiği verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi donatılı ve betonarme istinat duvarlarında yükseklik arttıkça maliyetin arttığı görülmüştür. Betonarme konsol istinat duvarlarında 4 m’den sonraki yüksekliklerde maliyet artış hızının, geogrid donatılı istinat duvarlarına göre oldukça fazla olduğu belirlenmiştir. Her iki istinat duvarı için içsel sürtünme açısı arttıkça maliyet azalmaktadır. Betonarme konsol istinat duvarlarının içsel sürtünme açısı ile maliyet azalma hızı, geogrid donatılı istinat duvarlarına göre çok daha fazla olduğu görülmüştür.

##### **Betonarme istinat duvarları için analiz sonuçlarına göre;**

Sürşarj yükü 10 kPa ve içsel sürtünme açısı 24° olduğu durumda, betonarme konsol istinat duvarlarında 4-6 m yükseklikler için **maliyet artışı %113.2**, 6-8 m’de **%78.1**, 8-10 m’de **%64,6**’dır.

Sürşarj yükü 10 kPa ve içsel sürtünme açısı 26° için, 4-6 m’de **%117.6**, 6-8 m’de **%73.5**, 8-10 m’de **%65.3**’tür.

Sürşarj yükü 10 kPa ve içsel sürtünme açısı 28° için 4-6 m’de **%103.2**, 6-8 m’de **%76.2**, 8-10 m’de **%61.8**,

Sürşarj yükü 10 kPa ve içsel sürtünme açısı 30° olursa 4-6 m'de **%98.8**, 6-8 m'de **%75.8**, 8-10 m'de **%62.7** oranında maliyetlerde artış olduğu görülmüştür.

**Geogrid donatılı istinat duvarları için analiz sonuçlarına göre;**

q=10 kPa ve  $\phi=24^\circ$  de yükseklikle maliyet değişimi 4-6 m'de **%101,6**, 6-8 m'de **%78,7**, 8-10 m'de **%55,8**' dir.

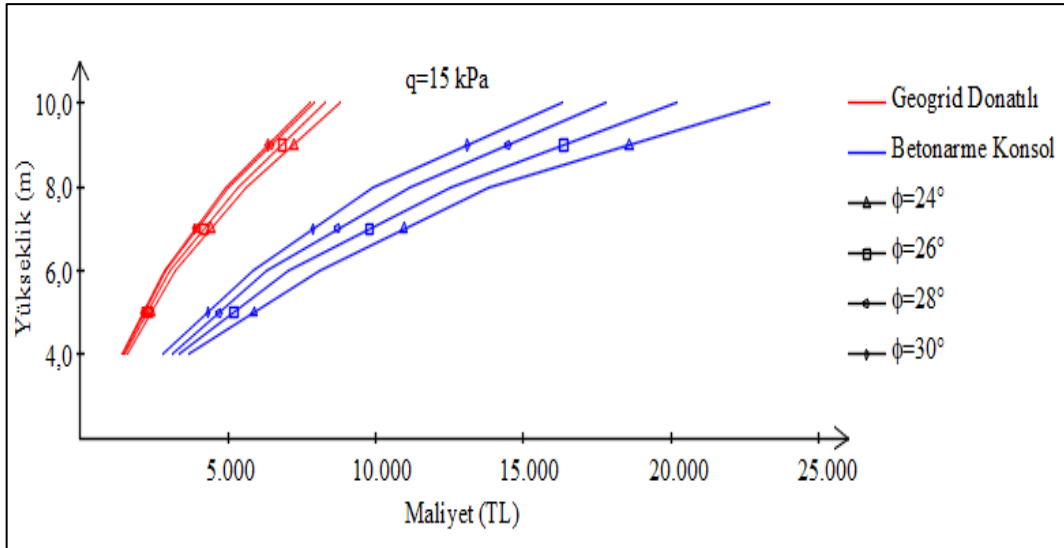
q=10 kPa ve  $\phi=26^\circ$  de yükseklikle maliyet değişimi 4-6 m'de **%103.9**, 6-8 m'de **%74.1**, 8-10 m'de **%58**,

q=10 kPa ve  $\phi=28^\circ$  de yükseklikle maliyet değişimi 4-6 m'de **%104.3**, 6-8 m'de **%71.9**, 8-10 m'de **%57.3**,

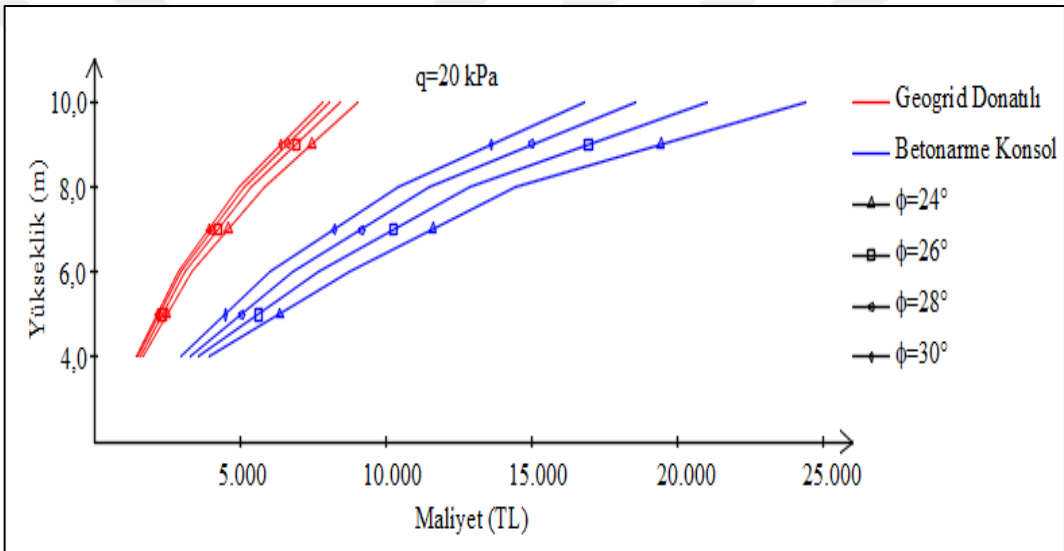
q=10 kPa ve  $\phi=30^\circ$  de yükseklikte **%100**, 6-8 m'de **%72.3**, 8-10 m'de **%58.8** oranında maliyetlerde artış olduğu görülmüştür.

Betonarme konsol ve geogrid donatılı istinat duvarlarının q=15-20-25 kPa sürşarj yükleri için yükseklik, içsel sürtünme ve maliyet arasındaki değişim grafikleri Şekil 4.46, Şekil 4.47 ve Şekil 4.48'de verilmiştir.

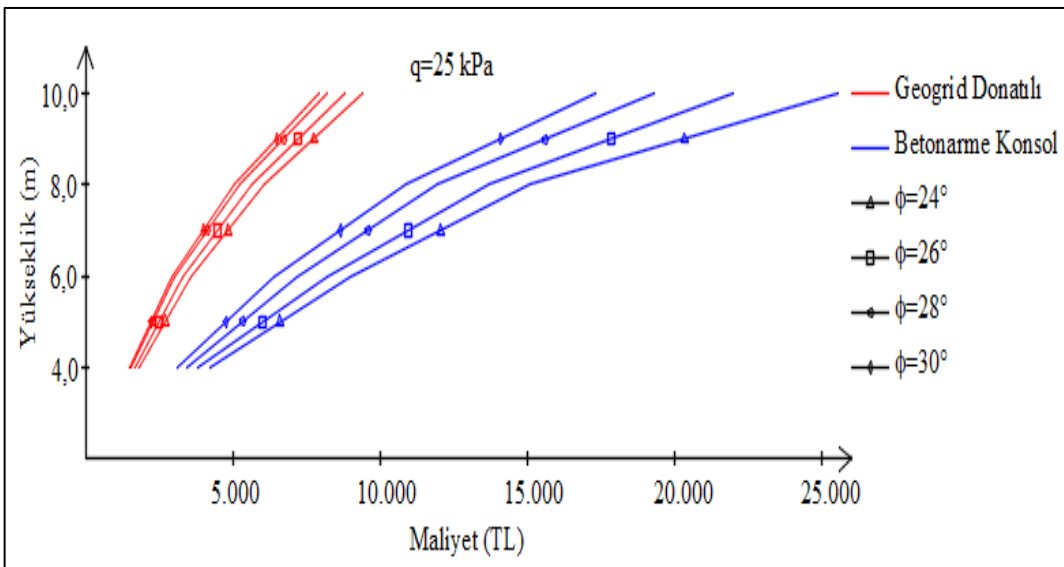
Betonarme konsol ve geogrid donatılı istinat duvarlarının sabit sürşarj yükü altında yükseklik, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişimler sırasıyla Tablo 4.9 ve Tablo 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.46 q=15 kPa için yükseklik, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim



Şekil 4.47 q=20 kPa için yükseklik, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim



Şekil 4.48 q=25 kPa için yükseklik, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim



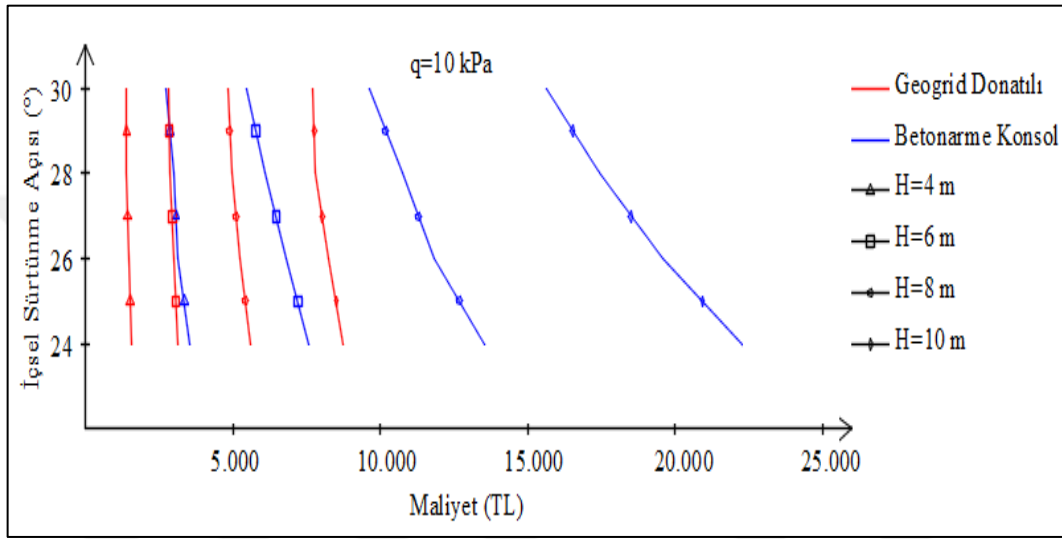
**Tablo 4.9** Betonarme konsol istinat duvarlarında % olarak sürşarj yükü, yükseklik, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim

Sürşarj Yükü (kN/m <sup>2</sup> )	İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi^\circ$ )	Yükseklik Değişimi (%)		
		4-6 m	6-8 m	8-10 m
10	24	113.2	78.1	64.6
	26	117.6	73.5	65.3
	28	103.2	76.2	61.8
	30	98.8	75.8	62.7
15	24	118.6	71.0	68.8
	26	108.2	78.2	61.1
	28	101.1	77.1	59.7
	30	109.4	68.8	64.9
20	24	121.5	64.6	68.9
	26	113.4	67.7	63.4
	28	106.4	68.1	61.6
	30	103.5	72.7	60.8
25	24	113.5	68.0	69.2
	26	115.1	67.7	60.1
	28	110.3	65.7	61.7
	30	105.3	70.2	58.7
Ortalama		109.9	71.5	63.3

**Tablo 4.10** Geogrid donatılı istinat duvarlarında % olarak sürşarj yükü, yükseklik, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim

Sürşarj Yükü (kN/m <sup>2</sup> )	İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi^\circ$ )	Yükseklik Değişimi (%)		
		4-6 m	6-8 m	8-10 m
10	24	101.6	78.7	55.8
	26	103.9	74.1	58.0
	28	104.3	71.9	57.3
	30	100.0	72.3	58.8
15	24	98.5	75.6	56.5
	26	98.7	75.7	55.6
	28	100.2	72.0	58.3
	30	100.0	74.4	57.6
20	24	98.4	76.0	54.5
	26	96.1	73.2	56.4
	28	95.7	73.3	56.7
	30	98.9	71.9	57.0
25	24	99.4	69.1	54.9
	26	94.8	71.3	55.9
	28	95.5	73.1	55.9
	30	96.1	72.7	55.9
Ortalama		98.9	73.5	56.6

Tablo 4.9 ve Tablo 4.10 incelendiğinde, betonarme konsol istinat duvarlarında yükseklik 4 m'den 6 m'ye çıktığında maliyet ortalama olarak %109,9 oranında artmaktadır. Yükseklik 6 m'den 8 m'ye çıktığında %71,5 ve 8 m'den 10 m'ye çıktığında %63,3 oranında artmaktadır. Bu oranlar geogrid donatılı istinat duvarlarında, 4-6 m'de %98,9, 6-8 m'de %73,5 ve 8-10 m'de %56,6 olduğu hesaplanmıştır. % olarak değişimler her iki istinat duvarı için birbirine çok yakındır. Her iki istinat duvarında da % olarak değişimler yükseklik arttıkça azalmaktadır.



Şekil 4.49 q=10 kPa için içsel sürtünme açısı, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim

Sürşarj yükü ve yükseklik sabit olursa içsel sürtünme açısının betonarme konsol istinat duvarlarında maliyetteki azalma hızlarını inceleyelim;

q=10 kPa ve H=10 m'de içsel sürtünme açısının artması durumunda maliyetteki değişimler 24-26°'de %13,7, 26-28°'de %12,4, 28-30°'de %11,4'tür.

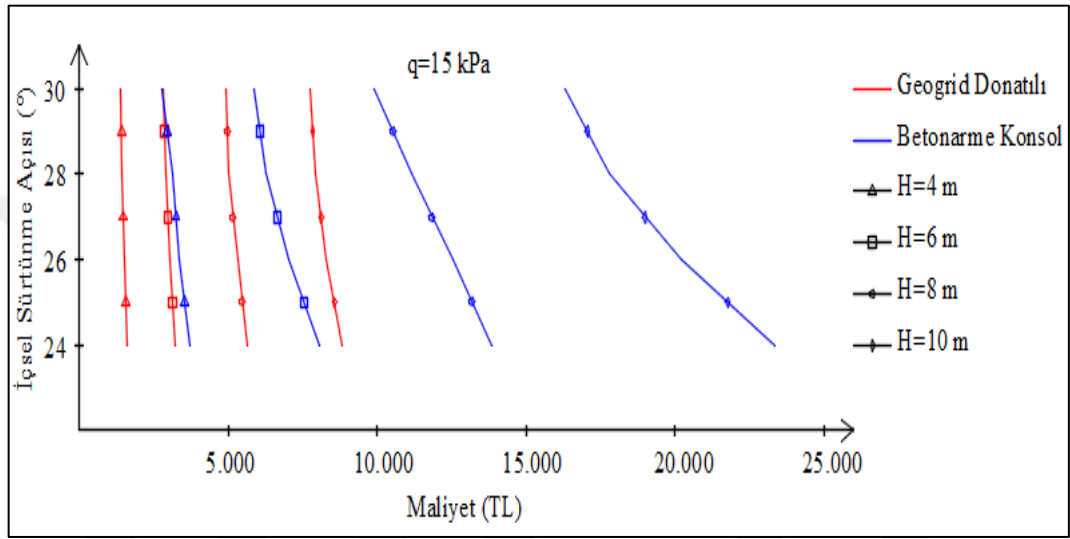
q=10 kPa ve H=8 m'de maliyet azalışları 24-26°'de %14,2, 26-28°'de %10, 28-30°'de %12,

q=10 kPa H=6 m'de maliyet azalışları 24-26°'de %11,2, 26-28°'de %11,8, 28-30°'de %11,7

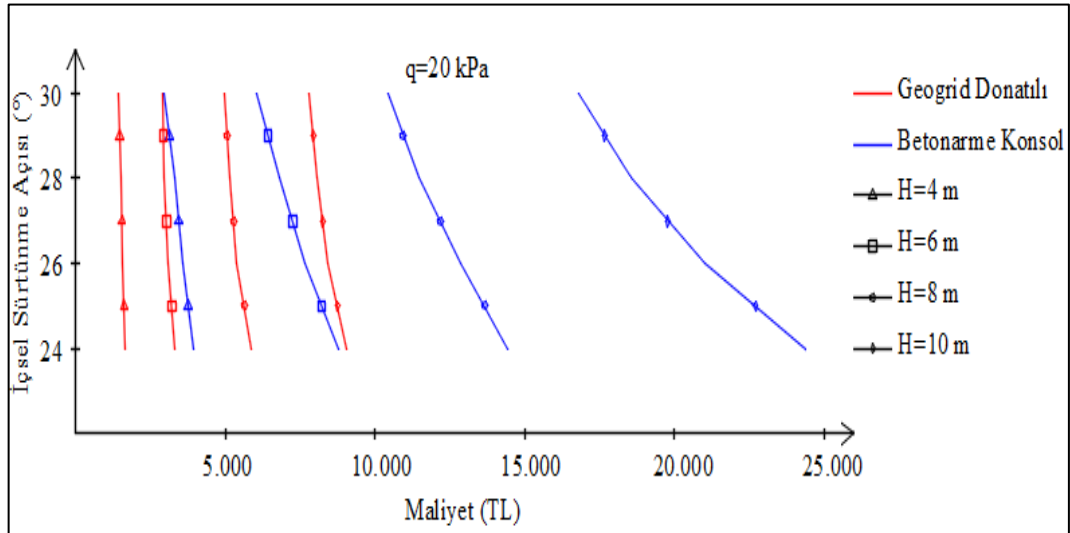
q=10 kPa H=4 m'de maliyet azalışları 24-26°'de %13,5, 26-28°'de %4,3, 28-30°'de %9,3'tür.

q=10 kPa sürşarj yüklemesinde içsel sürtünme açısı, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim grafiği Şekil 4.49'da verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi her iki

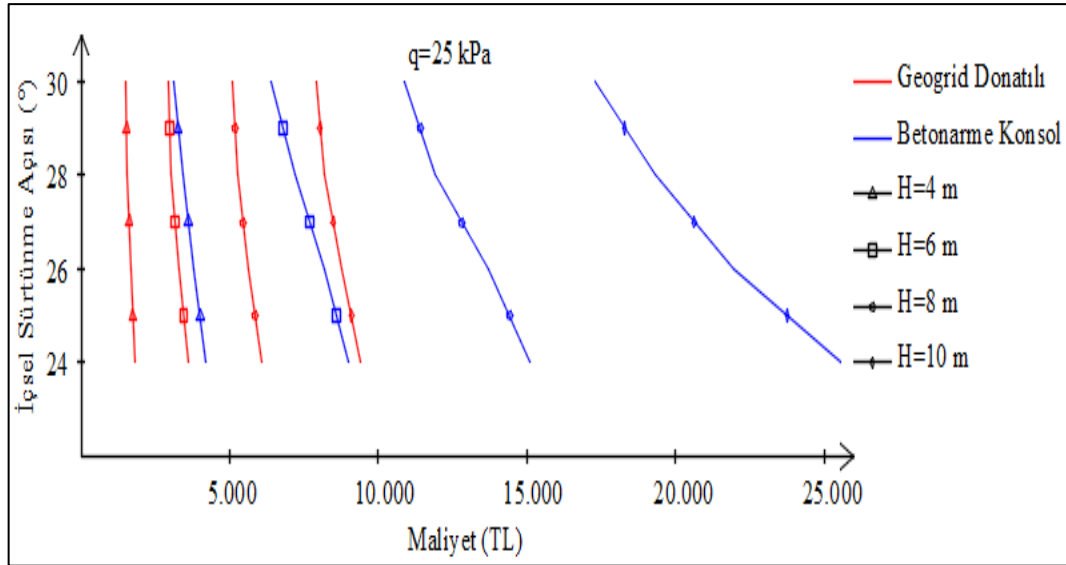
istinat duvarında da yükseklik arttıkça eğrinin eğimi de artmaktadır. Buradan içsel sürtünme açısının maliyeti azaltma etkisi, yükseklik arttıkça arttığı gözlenmiştir. Bu değişim betonarme konsol istinat duvarlarında daha da belirgindir. Ayrıca grafikten H=4 m betonarme konsol istinat duvarı maliyeti ile H=6 m geogrid donatılı istinat duvarı maliyetinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. q=15-20-25 kPa sürşarj yüklemesinde içsel sürtünme açısı, yükseklik ve maliyet değişim grafikleri Şekil 4.50, Şekil 4.51 ve Şekil 4.52’de verilmiştir.



Şekil 4.50 q=15 kPa için içsel sürtünme açısı, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim



Şekil 4.51 q=20 kPa için içsel sürtünme açısı, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim



Şekil 4.52  $q=25$  kPa için içsel sürtünme açısı, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim

Sabit sürşarj yükü altında içsel sürtünme açısı, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim %'leri betonarme konsol ve geogrid donatılı istinat duvarları için Tablo 4.11 ve Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.11'den betonarme konsol istinat duvarlarında içsel sürtünme açısının  $24^\circ$ 'den  $26^\circ$ 'ye yükselmesi durumunda %12,7,  $26^\circ$ 'den  $28^\circ$ 'ye yükselmesi durumunda %11,5 ve  $28^\circ$ 'den  $30^\circ$ 'ye yükselmesi durumunda %10,8 oranında ortalama olarak maliyetlerin azaldığı tespit edilmiştir.

Geogrid donatılı istinat duvarlarındaki ortalama maliyet azalma oranları Tablo 8.12'de verilmiştir. Buradan içsel sürtünme açısı etkisinin betonarme konsol istinat duvarlarında daha fazla olduğu görülmektedir.

**Tablo 4.11** Betonarme konsol istinat duvarlarında % olarak sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim

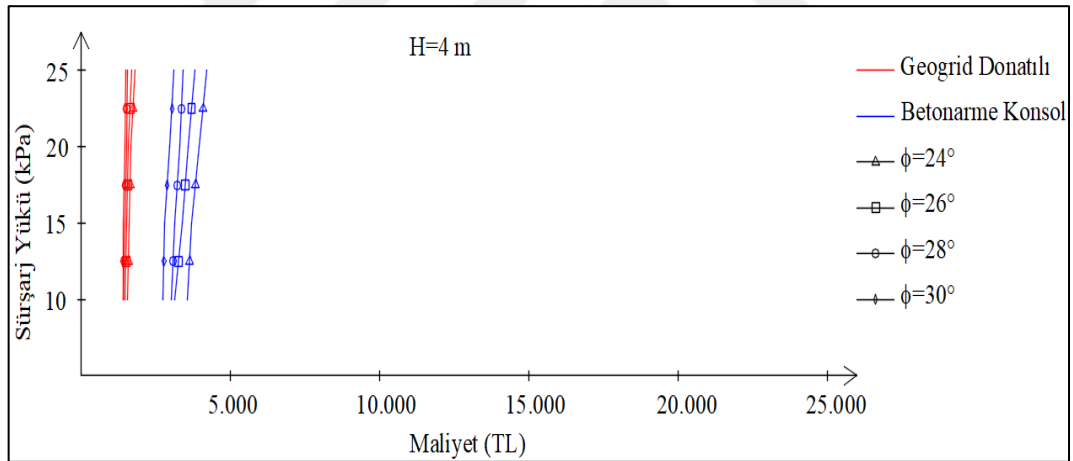
Sürşarj Yükü (kN/m <sup>2</sup> )	Yükseklik (m)	İçsel Sürtünme Açısı Değişimi		
		24-26°	26-28°	28-30°
10	4	13.5	4.3	9.3
	6	11.2	11.8	11.7
	8	14.2	10.0	12.0
	10	13.7	12.4	11.4
15	4	9.5	8.0	11.8
	6	15.0	11.7	7.4
	8	10.4	12.4	12.6
	10	15.6	13.4	9.1
20	4	10.2	8.7	11.4
	6	14.3	12.4	13.0
	8	12.3	12.1	10.0
	10	16.0	13.4	10.5
25	4	10.7	11.1	9.8
	6	9.9	13.6	12.5
	8	10.1	15.0	9.6
	10	16.3	13.9	11.6
Ortalama		12.7	11.5	10.8

**Tablo 4.12** Geogrid donatılı istinat duvarlarında % olarak sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı, yükseklik ve maliyet arasındaki değişim

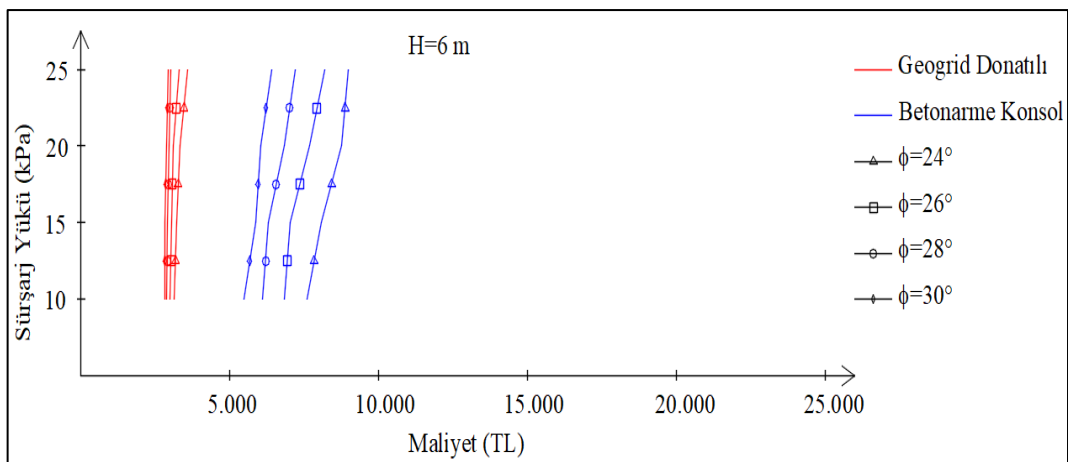
Sürşarj Yükü (kN/m <sup>2</sup> )	Yükseklik (m)	İçsel Sürtünme Açısı Değişimi		
		24-26°	26-28°	28-30°
10	4	5.8	4.3	0.3
	6	4.6	4.1	2.5
	8	7.4	5.5	2.2
	10	5.9	5.9	1.2
15	4	5.7	5.2	2.9
	6	5.6	4.4	3.1
	8	5.5	6.7	1.7
	10	6.1	4.8	2.1
20	4	5.6	4.5	4.5
	6	6.8	4.8	2.8
	8	8.6	4.7	3.6
	10	7.3	4.5	3.4
25	4	6.7	8.9	3.6
	6	9.2	8.6	3.2
	8	7.8	7.4	3.5
	10	7.1	7.4	3.5
Ortalama		6.6	5.7	2.7

İçsel sürtünme açısı ve yükseklik sabit olursa sürşarj yükünün betonarme konsol istinat duvarlarında maliyetteki artma hızlarını incelersek;  $H=4$  m ve  $\phi=24^\circ$ 'de sürşarj yükünün artması durumunda maliyetteki değişimler 10-15 kPa'da %3.9, 15-20 kPa'da %7.1, 20-25 kPa'da %6.3'tür.  $H=4$  m ve  $\phi=26^\circ$ 'de sürşarj yükünün artması durumunda maliyetteki değişimler 10-15 kPa'da %7.7, 15-20 kPa'da %6.4, 20-25 kPa'da %5.8,  $H=4$  m ve  $\phi=28^\circ$ 'de sürşarj yükünün artması durumunda maliyetteki değişimler 10-15 kPa'da %4.0, 15-20 kPa'da %5.7, 20-25 kPa'da %3.6 ve  $H=4$  m ve  $\phi=30^\circ$ 'de sürşarj yükünün artması durumunda maliyetteki değişimler 10-15 kPa'da %1.7, 15-20 kPa'da %6.1, 20-25 kPa'da %5.0'tir.

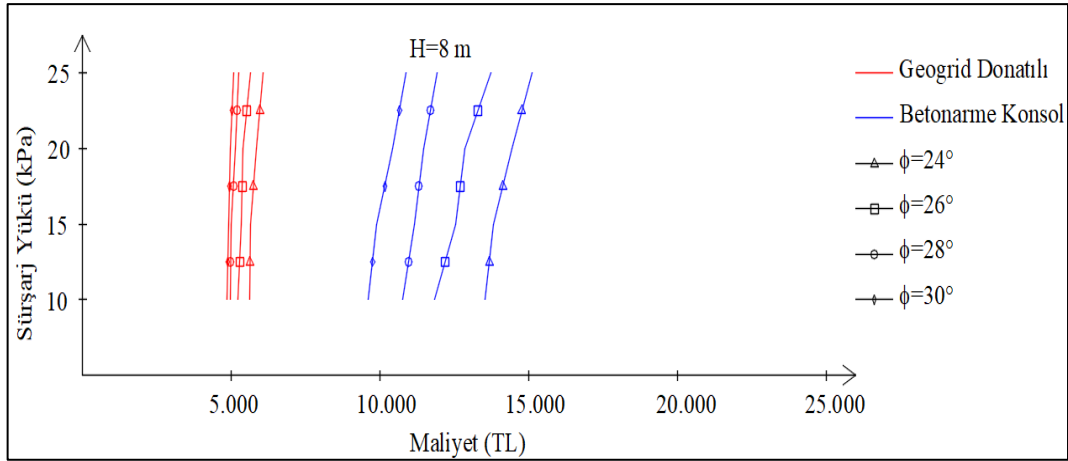
$H=4$  m yüksekliğinde sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim grafiği Şekil 8.53'te verilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere sürşarj yükünün maliyete etkisi geogrid donatılı istinat duvarlarında çok azdır. Her iki istinat duvarında da sürşarj yükü arttıkça maliyet artmaktadır.  $H=6-8-10$  m için sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet değişim grafikleri Şekil 4.54, Şekil 4.55 ve Şekil 4.56'da verilmiştir.



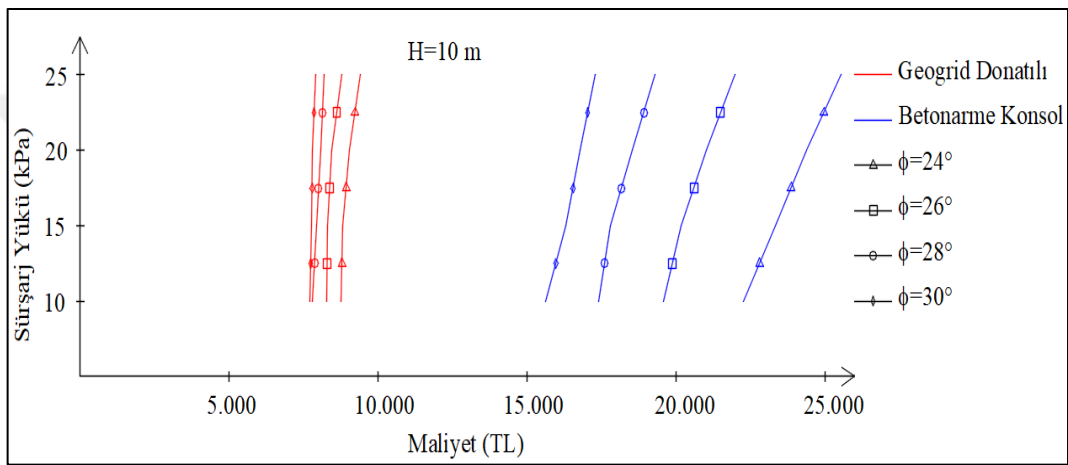
Şekil 4.53 H=4 m için sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim



Şekil 4.54 H=6 m için sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim



Şekil 8.55 H=8 m için sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim



Şekil 4.56 H=10 m için sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim

Grafiklerden görüldüğü üzere sürşarj yükünün etkisi her iki istinat duvarında da yükseklik arttıkça artmaktadır. Özellikle betonarme konsol istinat duvarlarında H=10 m yükseklik için sürşarj yükünün etkisi oldukça belirgindir. Betonarme konsol ve geogrid donatılı istinat duvarlarının sabit yükseklikte sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki % olarak değişimleri Tablo 4.13 ve Tablo 4.14'te verilmiştir.

Tablo 4.13 incelendiğinde, betonarme konsol istinat duvarlarında sürşarj yükünün  $q=10$  kPa'dan  $q=15$  kPa'a yükselmesi durumunda maliyetin ortalama olarak %4,1,  $q=15$  kPa'dan  $q=20$  kPa'a yükselmesi durumunda %5,3,  $q=20$  kPa'dan  $q=25$  kPa'a yükselmesi durumunda %4,8 arttığı görülmüştür.

Tablo 4.14 incelendiğinde, geogrid donatılı istinat duvarlarında sürşarj yükünün  $q=10$  kPa'dan  $q=15$  kPa'a yükselmesi durumunda maliyetin ortalama olarak %1,5,  $q=15$  kPa'dan  $q=20$  kPa'a yükselmesi durumunda %2,5,  $q=20$  kPa'dan  $q=25$  kPa'a yükselmesi durumunda %3,4 arttığı görülmüştür.

**Tablo 4.13** Betonarme konsol istinat duvarlarında % olarak yükseklik, sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim

Yükseklik (m)	İçsel Sürtünme Açısı	Sürşarj Yükü Değişimi		
		10-15 kPa	15-20 kPa	20-25 kPa
4	24	3.9	7.1	6.3
	26	7.7	6.4	5.8
	28	4.0	5.7	3.6
	30	1.7	6.1	5.0
6	24	6.5	8.5	4.6
	26	3.0	9.1	6.7
	28	3.0	8.5	4.0
	30	7.1	3.0	4.4
8	24	2.2	4.4	4.6
	26	5.8	2.6	6.7
	28	3.5	2.9	4.0
	30	2.9	5.4	4.4
10	24	4.9	4.5	4.8
	26	3.1	4.1	4.5
	28	2.2	4.2	4.1
	30	4.3	2.9	3.0
Ortalama		4.1	5.3	4.8

**Tablo 4.14** Geogrid donatılı istinat duvarlarında % olarak yükseklik, sürşarj yükü, içsel sürtünme açısı ve maliyet arasındaki değişim

Yükseklik (m)	İçsel Sürtünme Açısı	Sürşarj Yükü Değişimi		
		10-15 kPa	15-20 kPa	20-25 kPa
4	24	3.8	3.7	7.5
	26	3.8	3.8	6.4
	28	2.9	4.5	2.1
	30	0.3	2.9	3.0
6	24	2.2	3.6	3.8
	26	1.2	2.4	4.5
	28	0.9	2.1	1.9
	30	0.3	2.4	2.0
8	24	0.4	3.9	3.8
	26	2.1	1.0	4.5
	28	0.9	2.9	1.9
	30	1.5	0.9	2.0
10	24	0.8	2.6	4.1
	26	0.5	1.5	4.2
	28	1.6	1.8	1.4
	30	0.7	0.6	1.3
Ortalama		1.5	2.5	3.4



Yükseklik, içsel sürtünme açısı ve sürşarj yükü etkileri dikkate alındığında yükseklik faktörünün her iki istinat duvarında da en etkili faktör olduğu belirlenmiştir. Sürşarj yükü faktörünün maliyet üzerindeki etkisi yükseklik ve içsel sürtünme açısına göre daha azdır.

Betonarme konsol istinat duvarları ile geogrid donatılı istinat duvarlarının maliyetleri ve birbirlerine göre maliyet değişimleri Tablo 4.15'te verilmiştir.

**Tablo 4.15** Betonarme konsol ve geogrid donatılı istinat duvarlarının maliyet karşılaştırılması

Yükseklik (m)	Sürşarj Yükü (kN/m <sup>2</sup> )	İçsel Sürtünme Açısı (Derece)	Maliyet (TL)		Değişim %
			Betonarme	Donatılı	
4	10	24	3,561.69 ₺	1,559.02 ₺	128.46
		26	3,137.53 ₺	1,473.70 ₺	112.90
		28	3,006.95 ₺	1,412.90 ₺	112.82
		30	2,751.61 ₺	1,408.54 ₺	95.35
	15	24	3,699.82 ₺	1,617.56 ₺	128.73
		26	3,377.64 ₺	1,530.14 ₺	120.74
		28	3,128.68 ₺	1,454.46 ₺	115.11
		30	2,798.70 ₺	1,412.90 ₺	98.08
	20	24	3,960.80 ₺	1,677.33 ₺	136.14
		26	3,595.24 ₺	1,587.74 ₺	126.44
		28	3,306.08 ₺	1,519.23 ₺	117.62
		30	2,968.55 ₺	1,454.46 ₺	104.10
25	24	4,211.72 ₺	1,803.38 ₺	133.55	
	26	3,803.99 ₺	1,689.56 ₺	125.15	
	28	3,424.16 ₺	1,551.05 ₺	120.76	
	30	3,118.24 ₺	1,497.81 ₺	108.19	

Yükseklik (m)	Sürüşarj Yükü (kN/m <sup>2</sup> )	İçsel Sürtünme Açısı (Derece)	Maliyet (TL)		Değişim %
			Betonarme	Donatılı	
6	10	24	7,592.48 ₺	3,142.97 ₺	141.57
		26	6,828.70 ₺	3,004.92 ₺	127.25
		28	6,110.24 ₺	2,887.20 ₺	111.63
		30	5,470.25 ₺	2,817.20 ₺	94.17
	15	24	8,086.41 ₺	3,211.22 ₺	151.82
		26	7,030.75 ₺	3,040.93 ₺	131.20
		28	6,292.96 ₺	2,911.86 ₺	116.11
		30	5,861.24 ₺	2,825.52 ₺	107.44
	20	24	8,771.38 ₺	3,327.17 ₺	163.63
		26	7,672.19 ₺	3,114.27 ₺	146.36
		28	6,825.00 ₺	2,972.41 ₺	129.61
		30	6,039.94 ₺	2,892.82 ₺	108.79
25	24	8,990.54 ₺	3,595.61 ₺	150.04	
	26	8,182.82 ₺	3,292.01 ₺	148.57	
	28	7,200.96 ₺	3,032.30 ₺	137.47	
	30	6,400.42 ₺	2,937.44 ₺	117.89	
8	10	24	13,525.55 ₺	5,617.72 ₺	140.77
		26	11,845.82 ₺	5,232.80 ₺	126.38
		28	10,766.35 ₺	4,961.75 ₺	116.99
		30	9,614.53 ₺	4,855.18 ₺	98.03
	15	24	13,829.46 ₺	5,637.93 ₺	145.29
		26	12,531.37 ₺	5,342.94 ₺	134.54
		28	11,145.61 ₺	5,008.28 ₺	122.54
		30	9,894.66 ₺	4,926.64 ₺	100.84
	20	24	14,438.85 ₺	5,856.25 ₺	146.55
		26	12,862.98 ₺	5,394.52 ₺	138.45
		28	11,473.03 ₺	5,151.50 ₺	122.71
		30	10,433.50 ₺	4,972.87 ₺	109.81
25	24	15,106.03 ₺	6,080.79 ₺	148.42	
	26	13,721.37 ₺	5,638.57 ₺	143.35	
	28	11,930.84 ₺	5,250.00 ₺	127.25	
	30	10,890.66 ₺	5,073.65 ₺	114.65	

Yükseklik (m)	Sürşarj Yükü (kN/m <sup>2</sup> )	İçsel Sürtünme Açısı (Derece)	Maliyet		Değişim %
			Betonarme	Donatılı	
10	10	24	22,264.46 ₺	8,753.16 ₺	154.36
		26	19,580.22 ₺	8,267.43 ₺	136.84
		28	17,416.83 ₺	7,806.88 ₺	123.10
		30	15,638.23 ₺	7,711.40 ₺	102.79
	15	24	23,345.33 ₺	8,822.84 ₺	164.60
		26	20,188.45 ₺	8,311.91 ₺	142.89
		28	17,795.23 ₺	7,929.03 ₺	124.43
		30	16,315.48 ₺	7,762.99 ₺	110.17
	20	24	24,389.66 ₺	9,050.75 ₺	169.48
		26	21,020.00 ₺	8,436.74 ₺	149.15
		28	18,542.76 ₺	8,072.35 ₺	129.71
		30	16,781.63 ₺	7,809.54 ₺	114.89
25	24	25,554.05 ₺	9,417.70 ₺	171.34	
	26	21,971.30 ₺	8,791.13 ₺	149.93	
	28	19,296.88 ₺	8,186.82 ₺	135.71	
	30	17,285.69 ₺	7,907.68 ₺	118.59	

Tablo 4.15 incelendiğinde geogrid donatılı istinat duvarları ile betonarme konsol istinat duvarları arasındaki maliyet değişimleri %94,17-%171,34 arasında değişmektedir. Maliyet değişimi;

$$[(\text{Betonarme}-\text{Donatılı})/\text{Donatılı}]\times 100 \text{ formülünden hesaplanmıştır.}$$

Tablo 4.15'deki veriler incelendiğinde içsel sürtünme açısı azaldıkça maliyet değişimleri artmaktadır.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Donatılı zemin istinat duvarları ülkemizde ve dünyada son 20-40 yıldır değişik projelerde yaygın olarak uygulanmaktadır. Ekonomik, inşası hızlı, deprem yükleri altında performansının yüksek olması ve estetik görünümleri sayesinde betonarme istinat duvarları yerine daha çok tercih edilmektedir.

Bu çalışmada betonarme istinat duvarları ve donatılı zemin duvarlarının genel özelliklerine ilişkin bilgiler sunulmuştur. Özellikle geogrid donatılı istinat duvarı yapılarının uygulama, tasarım metotları davranışları incelenmiştir. 4, 6, 8 ve 10 m yüksekliğinde, içsel sürtünme açısı  $\phi=24^\circ-26^\circ-28^\circ-30^\circ$  ve sürşarj yükü  $q=10-15-20-25$  kN/m<sup>2</sup> değişkenleri dikkate alınarak temel zemini özellikleri ve dolgu zemin özellikleri aynı olan betonarme konsol istinat duvarları ve geogrid donatılı zemin duvarlarının maliyet karşılaştırılması yapılmıştır.

Geogrid donatılı istinat duvarı GEO5 V17 programı kullanılarak iç ve dış stabilite analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda deformasyonların ve gerilmelerin şartnamelerdeki sınırlar içerisinde kaldığı görülmüştür. Donatılı zemin istinat duvarlarının deprem bölgelerinde sıvılaşmaya karşı olumlu etkisi, imalat sırasında kalite kontrolü, mukavemet bakımından üstün performans göstermeleri, esnek yapısı sayesinde betonarme istinat duvarlarına göre etkin ve çözümde faydalı olabileceği açıklanmıştır.

Geogrid donatılı zemin ve betonarme konsol istinat duvarları her biri için ayrı ayrı olmak üzere metraj hesapları yapılmış, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve Karayolları Genel Müdürlüğü pozları kullanılarak her biri için ayrı ayrı maliyet hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan bu maliyet hesaplamaları tablo ve grafiklere aktarılmış ve maliyet kıyaslaması yapılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde geogrid donatılı istinat duvarlarının betonarme konsol istinat duvarlarına göre teknik üstünlüğü, inşaat süresinin kısa olması, maliyetteki kazanımlar, malzemenin tedarik edilebilirliği, çevreye karşı duyarlılığı ve ekonomik olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada yükseklik  $H=4-6-8-10$  m, içsel sürtünme açısı  $\phi=24^\circ-26^\circ-28^\circ-30^\circ$  ve sürşarj yükü  $q=10-15-20-25$  kN/m<sup>2</sup> değişkenleri dikkate alınarak betonarme konsol ve geogrid donatılı istinat duvarları için tam faktöriyel tasarım metoduna göre deneyler

oluşturulmuştur. Betonarme konsol istinat duvarlarının çözümleri İdeCAD v10.09 programında, geogrid donatılı istinat duvarlarının çözümleri Geo5 v17 programında yapılmıştır. Çözümleri yapılmış olan betonarme konsol ve geogrid donatılı istinat duvarlarının maliyetleri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve Karayolları Genel Müdürlüğü pozları kullanılarak hesaplanmıştır. Burada olmayan iş kalemleri için piyasadan fiyat alınarak özel pozlar oluşturulmuştur. Hesaplanan maliyet değerleri betonarme konsol ve geogrid donatılı istinat duvarları için ayrı ayrı olarak Minitab v17 programında tanımlanmıştır. Tanımlanan maliyet değerlerine göre betonarme konsol istinat duvarları ve geogrid donatılı istinat duvarları için ayrı ayrı olarak Minitab v17 programında Varyans (ANOVA) analizleri yapılmıştır. ANOVA analizleri ile betonarme konsol istinat duvarları ve geogrid donatılı istinat duvarları değişkenleri için etki değerleri ve oluşturulan modelin anlamlılık %'si hesaplanmıştır. Her bir bağımsız değişken için maliyet ile olan ilişkileri belirlenmiş ve bunlar grafiklere işlenmiştir. Yapılan hesaplamalar ve analizler neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Betonarme konsol istinat duvarlarında yükseklik arttıkça maliyet artmaktadır. Maliyet artma hızı yüksekliğe bağlı olarak artmaktadır. % olarak yükseklik arttıkça maliyet değişimi azalmaktadır. Maliyet değişimi, istinat duvarı yüksekliği 4 m'den 6 m'ye çıktığında %109,9, 6 m'den 8 m'ye çıktığında %71,5, 8 m'den 10 m'ye çıktığında %63,3 oranında arttığı belirlenmiştir.
2. Betonarme konsol istinat duvarlarında içsel sürtünme açısı arttıkça maliyet azalmaktadır. İstinat duvarı yüksekliği arttıkça içsel sürtünme açısının maliyeti azaltma hızı da artmaktadır. İçsel sürtünme açısı 24-26° aralığında artması durumunda %12,7, 26-28° aralığında artması durumunda %11,5 ve 28-30° aralığında artması durumunda %10,8 oranında maliyet azalmaktadır.
3. Betonarme konsol istinat duvarlarında sürşarj yükü arttıkça maliyet artmaktadır. İstinat duvarı yüksekliği arttıkça sürşarj yükünün maliyeti arttırma hızı artmakta, içsel sürtünme açısı arttıkça sürşarj yükünün maliyeti arttırma hızı azalmaktadır. Sürşarj yükünün 10-15 kPa aralığında artması durumunda %4,1, 15-20 kPa aralığında artması durumunda %5,3 ve 20-25 kPa aralığında artması durumunda %4,8 oranında maliyetin arttığı tespit edilmiştir.

4. Betonarme konsol istinat duvarlarında maliyet ile yükseklik, içsel sürtünme açısı ve sürşarj yükü arasında doğrusal bir ilişki olduğu, oluşturulan modelin  $R^2$  anlamlılık değerinin %95,16 olduğu tespit edilmiştir. Maliyeti en fazla etkileyen faktörün %90,14 ile yükseklik olduğu, içsel sürtünme açısının %4,64, sürşarj yükü etkisinin %0,61 olduğu hesaplanmıştır. Rassal hata oranı %4,61 olarak belirlenmiştir. Maliyet ile yükseklik, içsel sürtünme açısı ve sürşarj yükü arasındaki denklemin;

$$\text{Maliyet (TL)} = 6641 + 2728,4 \times H \text{ (m)} - 619,2 \times \phi + 89,8 \times q \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

olarak hesaplanmıştır. Yukarıdaki denklem deprensiz durumda, yer altı su seviyesinin olmadığı, yüksekliğin 4-10 m, içsel sürtünme açısının 24-30° ve sürşarj yükünün 10-25 kPa aralığındaki betonarme konsol istinat duvarları için geçerlidir. Çalışmalar yükseklik, içsel sürtünme açısı ve sürşarj yükü için belirtilen aralıklarda yapılmıştır. Bu aralıkların dışındaki değerlerde temel genişliği, temel yüksekliği vs gibi değişkenlerde maliyeti değiştirmektedir.

5. Geogrid donatılı istinat duvarlarında yükseklik arttıkça maliyet artmaktadır. Maliyet artma hızı yükseklik arttıkça artmaktadır. % olarak yükseklik arttıkça maliyet değişimi azalmaktadır. Maliyet değişimi, istinat duvarı yüksekliği 4 m'den 6 m'ye çıktığında %98,9, 6 m'den 8 m'ye çıktığında %73,5, 8 m'den 10 m'ye çıktığında %56,6 oranında arttığı belirlenmiştir.
6. Geogrid donatılı istinat duvarlarında içsel sürtünme açısı arttıkça maliyet azalmaktadır. İçsel sürtünme açısı 24-26° aralığında artması durumunda %6,6, 26-28° aralığında artması durumunda %5,7 ve 28-30° aralığında artması durumunda %2,7 oranında maliyet azalmaktadır.
7. Geogrid donatılı istinat duvarlarında sürşarj yükü arttıkça maliyet artmaktadır. İstinat duvarı yüksekliği arttıkça sürşarj yükünün maliyeti arttırma hızı artmakta, içsel sürtünme açısı arttıkça sürşarj yükünün maliyeti arttırma hızı azalmaktadır. Sürşarj yükünün 10-15 kPa aralığında artması durumunda %1,5, 15-20 kPa aralığında artması durumunda %2,5 ve 20-25 kPa aralığında artması durumunda %3,4 oranında maliyetin arttığı tespit edilmiştir.

8. Geogrid donatılı istinat duvarlarında maliyet ile yükseklik, içsel sürtünme açısı ve sürşarj yükü arasında doğrusal bir ilişki olduğu, oluşturulan modelin  $R^2$  anlamlılık değerinin %97,37 olduğu tespit edilmiştir. Maliyeti en fazla etkileyen faktörün %96,31 ile yükseklik olduğu, içsel sürtünme açısının %1,0 sürşarj yükü etkisinin %0,19 olduğu hesaplanmıştır. Rassal hata oranı %2,50 olarak belirlenmiştir. Maliyet ile yükseklik, içsel sürtünme açısı ve sürşarj yükü arasındaki denklemin;

$$\text{Maliyet (TL)} = -592 + 1128,6 \times H \text{ (m)} - 114,9 \times \phi + 20,05 \times q \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

olarak hesaplanmıştır. Yukarıdaki denklem deprensiz durumda, yer altı su seviyesinin olmadığı, yüksekliğin 4-10 m, içsel sürtünme açısının 24-30° ve sürşarj yükünün 10-25 kPa aralığındaki geogrid donatılı istinat duvarları için geçerlidir. Çalışmalar yükseklik, içsel sürtünme açısı ve sürşarj yükü için belirtilen aralıklarda yapılmıştır. Bu aralıkların dışındaki değerlerde temel genişliği, temel yüksekliği vs gibi değişkenlerde maliyeti değiştirmektedir.

9. Geogrid donatılı istinat duvarlarının betonarme konsol istinat duvarlarına göre %94,17-%171,34 arasında değişen oranlarla daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir.

## 5.2. Öneriler

1. Maliyet hesaplarında en etkili faktörün yükseklik olduğu belirlenmiştir. Bundan dolayı projelerde istinat duvarı yüksekliği fazla ise maliyetleri düşürmek için geogrid donatılı istinat duvarları seçilmelidir.

2. Her iki istinat duvarı tipi için de içsel sürtünme açısı, maliyet üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bundan dolayı kullanılacak olan geri dolgu malzemelerinin iyi seçilmesi ve sıkıştırılmaların doğru yapılması gerekmektedir.

3. Sürşarj yükü etkisinin fazla olduğu projelerde betonarme konsol istinat duvarı yerine geogrid donatılı istinat duvarları seçilmelidir. Çünkü sürşarj yükü etkisi geogrid donatılı istinat duvarlarında çok azdır.

4. Deprem etkisindeki istinat duvarlarında ağırlık çok önemli bir faktördür. Çünkü istinat duvarı ağırlığı ne kadar fazla olursa deprem kuvveti o kadar fazla olur.

Geogrid donatılı istinat duvarları, betonarme konsol istinat duvarlarına göre oldukça hafif olduğu için deprem kuvvetleri de o kadar azdır. Bundan dolayı sismik etkilerin fazla olduğu yerlerde geogrid donatılı istinat duvarları tercih edilmelidir.

5. Zeminin zayıf olduğu bölgelerde betonarme konsol istinat duvarlarının temel boyutları ağırlığından dolayı çok fazla çıkmaktadır ve bazı durumlarda kazıklı temel uygulanması gerekebilmektedir. Geogrid donatılı istinat duvarlarında ağırlık az olduğu için ve de yanal çekme kuvvetine çalıştığı için temellere çok fazla düşey yük gelmemektedir. Bundan dolayı zayıf zeminlerde geogrid donatılı istinat duvarları tercih edilmelidir.

6. Günümüz projelerinde estetik faktörü de çok önemli olmaktadır. Geogrid donatılı istinat duvarlarında peyzaj proje seçenekleri betonarme konsol istinat duvarlarına göre daha fazladır. Bundan dolayı özellikle estetik görünümü sebebiyle prestijli projelerde geogrid donatılı istinat duvarları tercih edilmelidir.



## KAYNAKLAR

- AASHTO T-89, 2013, Standard method of test for determining the liquid limit of soils, American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Aka, İ., Keskinel, F., Çıllı, F. ve Çelik, O. C., 2001, Betonarme, *İstanbul*, Birsen Yayınevi.
- Aksoy, İ. M., 1993, Modern yol inşaatında geotekstil ve geogrid uygulaması konularına araştıma, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- ASTM D3080, Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions.
- Aydoğdu, İ., 2017, Comparison of metaheuristics on multi objective (cost&c0 2) optimization of rc cantilever retaining walls, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 23 (3).
- Basudhar, P., Vashistha, A., Deb, K. ve Dey, A., 2008, Cost optimization of reinforced earth walls, *Geotechnical and Geological Engineering*, 26 (1), 1-12.
- Choudhury, D. ve Nimbalkar, S. S., 2006, Pseudo-dynamic approach of seismic active earth pressure behind retaining wall, *Geotechnical & Geological Engineering*, 24 (5), 1103.
- Coduto, D. P., Mollamahmutoğlu, M. ve Kayabalı, K., 2005, Temel tasarımı: İlkeler ve uygulamalar, Gazi Kitabevi.
- Coulomb, C., 1776, Essai sur une application des règles des maximis et minimis à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture, vol. 7, *Paris: Mém Math Phys Acad Roy Sci par divers Savants*.
- Çakır, T. ve AYTEKİN, M., 2005, Donatılı zemin dayanma duvarlarının geleneksel dayanma duvarları ile maliyet açısından karşılaştırılması, *Geoteknik Sempozyum*, 33-49.
- Çömlekçi, N., 2003, Deney tasarımı ilke ve teknikleri, Alfa Yayınları.
- Dağdeviren, U. ve Kaymak, B., 2018, Yapay arı koloni algoritması kullanılarak betonarme istinat duvarlarının optimum maliyet tasarımını etkileyen parametrelerin incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33 (1).
- Das, M. R., Purohit, S. ve Das, S. K., 2016, Multi-objective optimization of reinforced cement concrete retaining wall, *Indian Geotechnical Journal*, 46 (4), 354-368.
- Day, R. W., 2004, Geoteknik deprem mühendisliği el kitabı, *Ankara*, Gazi Kitabevi.
- Demirezen, B., 2005, Geosentetik donatılı İstinat duvarlarının sismik tasarımı hakkında bir İnceleme, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Demiröz, A., 2008, Geogrid donatılı kum üzerine oturan sürekli temellerde taşıma gücünü etkileyen tasarım faktörlerinin deneysel olarak araştırılması, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Demiröz, A. ve Özcan, T., 2008, Donatılı zeminler üzerindeki sürekli temellerin oturmasını etkileyen faktörlerin araştırılması, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23 (3), 13-24.
- Durukan, Z. ve Tezcan, S. S., 1992, Cost analysis of reinforced soil walls, *Geotextiles and Geomembranes*, 11 (1), 29-43.
- Düzgün, M., 1989, İstinat yapıları, tmmob İnşaat mühendisleri odası İzmir şubesi yayını, 1989/2, İzmir.
- Emir, A. S., 2005, Donatılı zemin istinat duvarlarının statik ve dinamik yüklere göre tasarımı, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Epsiseli, S. E., 1996, İstinat duvarlarının bilgisayar yardımıyla projelendirilmesi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- Erbaş, S. O. ve Olmuş, H., 2006, Deney düzenleri ve istatistik analizleri, Gazi Kitabevi.

- F.Nadim ve R.V.Whitman, 1984, Couple sliding and tilting of gravity walls during earthquakes, *Proc 8 th World Conf. On Earthquake Engg.*, III, 477-484.
- FHWA U.S Department of Transportation, 2009, Federal highway administration. Washington.
- Floss, R. ve Bräu, G., 2004, Design fundamentals for geosynthetic soil technique, *Technische Universität München, Zentrum Geotechnik, Germany*.
- Gandomi, A., Kashani, A. ve Zeighami, F., 2017, Retaining wall optimization using interior search algorithm with different bound constraint handling, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 41 (11), 1304-1331.
- Gandomi, A. H. ve Kashani, A. R., 2018, Automating pseudo-static analysis of concrete cantilever retaining wall using evolutionary algorithms, *Measurement*, 115, 104-124.
- Ghazavi, M. ve Bonab, S. B., 2011, Optimization of reinforced concrete retaining walls using ant colony method, *Proc., 3rd Int. Symposium on Geotechnical Safety and Risk (ISGSR), Germany*.
- Giroud, J., 1986, From geotextiles to geosynthetics: A revolution in geotechnical engineering—3rd international conference on geotextiles.
- Güler, E., 2006, Geosentetik donatili İstinat duvarı (geoduvar) bİr şartname taslağı, *İkinci Uluslararası Geosentetikler Konferansı, İstanbul*, 221-227.
- Horvath, J., 1996, The compressible inclusion function of eps geofoam: An overview, *proceedings of international symposium on eps (expanded poly-styrol) construction method (eps Tokyo'96)*.
- Jones, C. J., 1988, Earth reinforcement and soil structures, *London, Butterworth-Heinemann; Rev Sub edition (1988-10-19) (1656)*.
- Kaveh, A., Kalateh-Ahani, M. ve Fahimi-Farzam, M., 2013, Constructability optimal design of reinforced concrete retaining walls using a multi-objective genetic algorithm, *Structural Engineering and Mechanics*, 47 (2), 227-245.
- Kaveh, A. ve Soleimani, N., 2015, Cbo and dpso for optimum design of reinforced concrete cantilever retaining walls, *Asian J Civil Eng*, 16 (6), 751-774.
- Kaveh, A. ve Farhoudi, N., 2016, Dolphin echolocation optimization for design of cantilever retaining walls, *Asian Journal Of Engineering (BHRC)*, 17, 193-211.
- Kaveh, A. ve Jafarpour Laien, D., 2017, Optimal design of reinforced concrete cantilever retaining walls using cbo, ecbo and vps algorithms, *Asian J Civ Eng*, 18, 657-671.
- Kayabekir, A. E., Bekdaş, G., Niğdeli, S. M. ve Temür, R., 2017, Statik ve dİnamik yükler altında İstinat duvarlarının optimum tasarımı, *Engineering Sciences*, 12 (1), 46-56.
- Kayhan, A. H. ve Demir, A., 2018, Statik ve dinamik yüklere maruz betonarme konsol istinat duvarlarının diferansiyel gelişim algoritması ile optimum tasarımı, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24 (3), 403-412.
- Kesim, R. S., 1996, Donatılı zemin yapıların sistem davranış özellikleri, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Khajehzadeh, M., Taha, M. R. ve Eslami, M., 2014, Multi-objective optimisation of retaining walls using hybrid adaptive gravitational search algorithm, *Civil Engineering and Environmental Systems*, 31 (3), 229-242.
- Khan, A. ve Sikder, M., 2004, Design basis and economic aspects of different types of retaining walls, *Journal of Civil Engineering (IEB)*, 32 (1), 17-34.
- Koerner, R., 1998, Designing with geosynthetics, *New Jersey, Prentice-Hall Inc*.
- Kramer, S. L., 1996, Geotechnical earthquake engineering, *New Jersey, Prentice-Hall Inc*.

- Kumar, V. N. ve C.S.Suribabu, 2017, Optimal design of cantilever retaining wall using differential evolution algorithm, *International journal of optimization in civil engineering*, 7 (3), 433-449.
- Lee, K. L., Adams, B. D. ve Vagneron, J., 1973, Reinforced earth retaining walls, *Journal of Soil Mechanics & Foundations Division*, 99 (10), 745-764.
- Mononobe, N., 1929, On determination of earth pressure during earthquake, *Proc. World Engineering Congress*, 177-185.
- Montgomery, D. C., 2001, Design and analysis of experiments. Ed, *John Wiley & Sons*, 52, 218-286.
- NCMA, 1977, Design manuel for segmental retaining walls, National Concrete Masonary Association.
- Okabe, S., 1926, General theory of earth pressure, *J. of the Japanese Society of Civil Engineers, Tokyo, Japan*, 12 (1).
- Orhunbilge, N., 2000, Örneklemeye yöntemleri ve hipotez testleri, Avcıol Basım Yayın.
- Önalp, A., 1992, İnşaat mühendislerine geoteknik bilgisi, *Trabzon, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi*.
- Önalp, A. ve Arel, E., 2004, Geoteknik bilgisi ii yamaç ve şevlerin mühendisliği, *İstanbul, Birsen Yayınevi*.
- Özkol, O., 2006, Geosentetik donatılı istinat yapılarının tasarımı, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Öztürk, H. T., 2018, Betonarme konsol İstinat duvarlarının minimum maliyet ve ağırlıkla optimum tasarımı, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6 (4), 1258-1268.
- Öztürk, H. T. ve Türkeli, E., 2019, Tabanında anahtar kesiti bulunan betonarme istinat duvarlarının jaya algoritmasıyla optimum tasarımı, *Politeknik Dergisi*, 22(2), 283-291.
- prEN ISO 10138, 2000, Prestressing steels. European standart.
- Rankine, W. J. M., 1857, İi. On the stability of loose earth, *Philosophical transactions of the Royal Society of London* (147), 9-27.
- Richards Jr, R. ve Elms, D. G., 1979, Seismic behavior of gravity retaining walls, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 105 (ASCE 14496).
- Sakaguchi, M., 1996, A study of the seismic behavior of geosynthetic reinforced walls in japan, *Geosynthetics International*, 3 (1), 13-30.
- Sarıbaşı, A. ve Erbatur, F., 1996, Optimization and sensitivity of retaining structures, *Journal of Geotechnical Engineering*, 122 (8), 649-656.
- Seed, H. B. ve Whitman, R. V., 1970, Design of eart retaining structures for dynamic loads, *Proceedings, ASCE Specialty Conference on Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth Reatining Structures*
- Seed, H. B. ve Whitman, R. V., 1970, Design of eart retaining structures for dynamic loads, *ASCE Specialty Conference on Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth Reatining Structures*.
- Sheikholeslami, R., Khalili, B. G., Sadollah, A. ve Kim, J., 2016, Optimization of reinforced concrete retaining walls via hybrid firefly algorithm with upper bound strategy, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20 (6), 2428-2438.
- Sherif, M. A. ve Fang, Y.-S., 1984, Dynamic earth pressures on walls rotating about the top, *Soils and Foundations*, 24 (4), 109-117.
- Shukla, S. K., 2002, Geosynthetics and their applications, *London, Thomas Telford*.
- Shukla, S. K. ve Yin, J.-H., 2016, Fundamentals of geosynthetic engineering, *London, Taylor&Francis/Balkema*.
- Siddharthan, R., Ara, S. ve Norris, G. M., 1992, Simple rigid plastic model for seismic tilting of rigid walls, *Journal of Structural Engineering*, 118 (2), 469-487.

- Steedman, R. S. ve Zeng, X., 1990, The seismic response of waterfront, *Proceedings, ASCE Specialty Conference on Design and Performance of Earth Retaining Structures, Special Technical Publication 25*, Cornell University, Ithaca , New York.
- Şahin, A., 1994, Deprem yükleri altındaki kargir ve betonarme istinat duvarlarının risk ve maliyet analizi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Temur, R. ve Bekdaş, G., 2016, Teaching learning-based optimization for design of cantilever retaining walls, *Structural Engineering and Mechanics*, 57 (4), 763-783.
- TSE-TS 7994, 1990, Soil retaining structures; properties and guidelines for design.
- Tezcan, S. S. ve Buket, Z. S., 1999, Design of reinforced soil retaining walls: Including seismic performance principles, TDV.
- Tunç, A., 2002, Yol mühendisliğinde geoteknik uygulamaları, *İstanbul*, Atlas yayınları.
- Ukritchon, B., Chea, S. ve Keawsawavong, S., 2017, Optimal design of reinforced concrete cantilever retaining walls considering the requirement of slope stability, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21 (7), 2673-2682.
- Uzuner, B. A., 2007, Temel zemin mekaniği, *Derya Kitabevi, Trabzon*.
- Vidal, H., 1968, La tarre arme. Annales del'Intitud technique du batimentet des travaux publies, *Germany*, 888-938.
- Wasti, Y., 1992, İnşaat mühendisliğinde geotekstil ve geomembranuygulamaları, Ankara.
- Wasti, Y., 2007, Teori ve uygulam, *Ankara*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü.
- Whitman, R. V. ve Liao, S., 1985, Seismic design of gravity retaining walls, *Massachusetts Inst of Tech Cambridge Dept of Civil Engineering*.
- Whitman, R. ve Christian, J., 1990, Seismic response of retaining structures, *Proc. POLA Seismic Workshop on Seismic Engineering*, 427-452.
- Wood, J. H., 1973, Earthquake-induced soil pressures on structures, *California Institute of Technology, Pasedena, California*.
- Yılmaz, H., Eskişar, T. ve Aklık, P., 2005, Donatılı zemin uygulamaları kapsamında donatılı istinat duvarlarının tanıtımı ve sağladığı avantajlar üzerine bir inceleme, *İnşaat Mühendisler Odası, İzmir Şubesi Haber Bülteni*, 20-24.
- URL-1, Quadrangularisms, <https://quadrangularisms.wordpress.com/>: [Son erişim tarihi: 20 Temmuz 2019].
- URL-2, Linear composites, [http://www.linearcomposites.com/ap\\_reinforce\\_soil.htm](http://www.linearcomposites.com/ap_reinforce_soil.htm): [Son erişim tarihi: 18 Ağustos 2019].
- URL-3, Çınar İnşaat, <http://www.cinarinsaat.com.tr/project-122-gabion-wall.html>: [Son erişim tarihi: 18 Ağustos 2019].
- URL-4, Nysdot, [https://www.nysdot.gov/regional-offices/region6/project-repository/i86\\_project/constr\\_jun05.html](https://www.nysdot.gov/regional-offices/region6/project-repository/i86_project/constr_jun05.html): [Son erişim tarihi: 18 Ağustos 2019].
- URL-5, Movea, <https://www.movea.com.tr/>: [Son erişim tarihi: 18 Ağustos 2019].
- URL-6, Abaş prefabrik, <http://www.abas.com.tr/index.php/tr>: [Son erişim tarihi: 18 Ağustos 2019].
- URL-7, Phiyapi, <http://www.phiyapi.com>: [Son erişim tarihi: 18 Ağustos 2019].
- URL-8, İcad istinat duvarı yazılımları, [www.istinatduvari.com](http://www.istinatduvari.com): [Son erişim tarihi: 18 Ağustos 2019].
- URL-9, Artusa, <http://www.artusa.com.tr>: [Son erişim tarihi: 19 Ağustos 2019].
- URL-10, Retaining solutions, <http://www.retainingsolutions.com.au/downloads/concretewalls.pdf>: [Son erişim tarihi: 18 Ağustos 2019].

- URL-11, Kiciman tel sanayi ve ticaret A.Ş, <http://www.kiciman.com/uploads/icerikresim/6.jpg>: [Son erişim tarihi: 18 Ağustos 2019].
- URL-12, Eps industry alliance, <http://www.epsindustry.org/other-applications/geofoam>: [Son erişim tarihi: 19 Ağustos 2019].
- URL-13, Gabion duvar metal işleri, <http://www.gabionduvar.com>: [Son erişim tarihi: 25 Mart 2019].
- URL-14, Construction review online, <https://constructionreviewonline.com/2015/08/mechanically-stabilised-earth/>: [Son erişim tarihi: 19.Ağustos 2019].
- URL-15, Keystone retaining wall systems, <http://keystonewalls.com>: [Son erişim tarihi:19 Ağustos 2019].
- URL-16, İstanbul teknik, <https://www.istanbulteknik.blue/fortex-tek-yonlu-geogridler-338>: [Son erişim tarihi: 19 Ağustos 2019].



**ÖZGEÇMİŞ****KİŞİSEL BİLGİLER**

**Adı Soyadı** : Erkan YILDIRIM  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Konya-1981  
**Telefon** : 0532-7273273  
**Faks** : -  
**E-Posta** : erkan05@gmail.com

**EĞİTİM**

<b>Derece</b>	<b>Adı</b>	<b>İlçe</b>	<b>İl</b>	<b>Bitirme Yılı</b>
Lise	: Cumhuriyet	Selçuklu	Konya	1999
Üniversite	: Selçuk	Selçuklu	Konya	2003
Yüksek Lisans	: Konya Teknik	Selçuklu	Konya	
	Üniversitesi			
Doktora	: -			

**İŞ DENEYİMLERİ**

<b>Yıl</b>	<b>Kurum</b>	<b>Görevi</b>
2004-2017	Serbest Meslek	Mühendis