



## ŞEV STABİLİTESİNE ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN ETKİSİNİN LİMİT DENGİ YÖNTEMİ İLE İRDELENMESİ

Murat PINARLIK\*, Pınar Sezin ÖZTÜRK KARDOĞAN, Rüya KILIÇ DEMİRCAN

Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Geosentetik,  
Şev stabilitesi,  
Limit denge,  
Güçlendirme,  
Şev deformasyonu

### Özet

Geosentetik; geotekstil, geomembran, geonet, geokompozit ve buna benzer ürünler, doğal yapı malzemelerinin (kum, çakıl, kil vb...) gördüğü işlevleri sağlayan malzemelerdir. Üretim ağındaki gelişmeler, inşaat sektöründe geosentetik kullanım alanlarını arttırmıştır. Geosentetiklerin, derin kazı ve yol projelerinde kullanım alanları oldukça yaygındır. Geoteknik mühendisliğinde geosentetikler özellikle şev stabilitesi problemlerinin çözülmesinde kullanılmaktadır. Şevlerin stabilize kayıpları sonucunda oluşan yüksek gerilme ve deformasyonlar mühendisleri şev güçlendirme sistemleri geliştirmeye yönlendirmiştir. Şev stabilitesinin uzun dönemdeki davranışını etkilemek ve yer altı su seviyesine karşı koymak amacıyla bu çalışmada geotekstil kullanılmıştır. Çalışmada, aynı şev açılına sahip geotekstil kullanılan ve kullanılmayan örnekler limit denge yöntemi ile çözümlenmiştir. Her iki analizde meydana gelen zemin deformasyonları ve güvenlik katsayıları karşılaştırılmıştır. Geotekstillerin zemin taşıma gücünün artırılmasına olan katkısı vurgulanmıştır.

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SOIL STABILITY ON THE SOIL CHARACTERISTICS BY THE LIMIT EQUILIBRIUM METHOD

### Keywords

Geosynthetic,  
Slope stability,  
Limit equilibrium,  
Reinforcement,  
Slope deformation

### Abstract

Geosynthetics; Geotextile, geomembrane, geonet, geocomposite and similar products are materials that provide the functions of natural building materials (sand, gravel, clay, etc.). Developments in the production network have increased the use of geosynthetics in the construction sector. Geosynthetics are widely used in deep excavation and road projects. In geotechnical engineering, geosynthetics are used especially in solving slope stability problems. The high stresses and deformations resulting from the stability losses of the slopes have led the engineers to develop slope reinforcement systems. In this study, geotextile was used in order to affect long term behavior of slope stability and to counter the underground water level. Samples both with and without geotextiles with the same slope angle were resolved by limit equilibrium method in the study. In each analyzes, the ground deformation and factor of safety were compared. The contribution of geotextiles to increasing bearing capacity of soil is emphasized.

### Alıntı / Cite

Pınarlık M., Öztürk Kardoğan P. S., Kılıç Demircan R., (2017). Şev Stabilitesine Zemin Özelliklerinin Etkisinin Limit Denge Yöntemi İle İrdelenmesi, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 5(3), 675 – 684.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Pınarlık- 0000-0001-8783-825X  
P. S. Öztürk Kardoğan – 0000-0002-5212-4318  
R. Kılıç Demircan - 0000-0001-7318-9383

**Başvuru Tarihi / Submission Date** 16.08.2017  
**Revizyon Tarihi / Revision Date** 22.11.2017  
**Kabul Tarihi / Accepted Date** 07.12.2017  
**Yayın Tarihi / Published Date** 25.12.2017

\* İletişim yazarı / Corresponding author: [muratpinarlik@gazi.edu.tr](mailto:muratpinarlik@gazi.edu.tr)

## 1. Giriş

Son yıllarda geosentetik kullanımı üretim ağının da gelişmesi ile birlikte özellikle inşaat sektöründe büyük bir artış göstermiştir. Geosentetik bir malzeme, insanlar tarafından yapılan bir proje, yapı veya sistemde polimerik malzeme ile toprak, kaya, zemin veya diğer geoteknik mühendisliği ile ilişkili malzemenin kullanılmasından elde edilen düzlemsel bir ürün olarak tanımlanabilir (ASTM D4439). Geosentetikler, geleneksel malzemeler ile kullanıldıklarında yer kazanma, malzeme kalite kontrolü, imalat kalite kontrolü, maliyetteki kazanımlar, teknik üstünlük, inşaat süresini kısaltma, malzemede gelişim, malzemede tedarik edilebilirlik ve çevresel duyarlılık gibi avantajlar sağlayabilmektedirler (Yılmaz ve Eskişar, 2007). Geosentetikler, genel olarak inşaat mühendisliği problemlerine çözüm olarak kullanılan polimerik ürünlerdir. Ürünlerin bu polimerik yapısı zeminin derinliklerinde gerekli olan durabilite için onları uygun hale getirmektedir (internet-1, 2017).

Yaygın kullanılan geosentetik türlerine bakıldığı zaman geotekstil, geogrid, geonet, geomembran ve geokompozit olarak sıralanabilirler.

**Geotekstiller**, yalnızca tekstil ürünlerini kapsayan geçirgen geosentetiklerdir (ASTM D4439). Bir geotekstil, dokunmuş veya dokunmamış olarak sınıflandırılabilir ve monofilamet plastik veya monofilamet ipliklerden oluşmuş olabilir. Dokunmamış geotekstiller ısıyla, yapıştırıcı madde kullanılarak veya zımbalama ile birleştirilebilir (NRCS,2007).

**Geogrid** bir polimer ızgara örtüsü olup, kaplama iplikler veya bir delikli ve gerilmiş polimer örtünün herhangi birinden üretilir. Geogridler genellikle yüksek mukavemete ve sertliğe sahiptir ve öncelikli olarak zemin güçlendirmesinde kullanılır.

**Geonetler** geogridlerle benzerdir, ancak karakteristik olarak daha küçük göz açıklıklarına sahip olup, daha hafif ve daha güçsüzdür. Geonetler, bir drenaj yapısını şekillendirmek için drenaj geotekstilleri ile birlikte veya hafif güçlendirme uygulamalarında kullanılırlar.

**Geomembranlar** geçirimsiz polimer örtüler olup, genellikle havuz/gölet kenarlarında veya katı atık sahalarında kullanılır. Bazı örneklerde, nem kontrolü için geomembranlar neme duyarlı şişen killerin üzerine serilmiştir (NYSDOT, 2016).

**Geokompozitler** iki ya da daha fazla geosentetik malzemenin bir araya gelmesi ile oluşurlar. Genellikle geogrid malzemenin ve örgüsüz geotekstil malzemelerinin birleştirilmesi yöntemi ile üretilirler. Kullanılan geogrid malzeme güçlendirme görevini üstlenirken örgüsüz geotekstil ise ayırma ve filtrasyon görevlerini üstlenmektedir. Geogrid ve geotekstil malzemelerinin birleşiminden oluşan geokompozit malzemelerin genel kullanım alanları ise demiryolları, karayolları ve istinat duvarlarıdır (internet-2, 2017). Geosentetiklerin kullanım alanları ve çeşitlerine göre farklı fonksiyonları bulunmaktadır. Kullanım amaçlarına göre başlıca özellikleri; güçlendirme,

bariyer fonksiyonu, koruma-önleme, süzme, drene etme ve ayırmadır. Geosentetik-zemin birleşiminin (güçlendirilmiş zemin yapısı) stabilitesine katkıda bulunan gelişen gerilme kuvvetleri sayesinde bir zemin kütle ile birlikte geosentetik, güçlendirme fonksiyonunu sağlayabilir. Genel olarak geosentetik ürünlerin farklı fonksiyonları Tablo 1. de verilmiştir.

**Tablo 1.** Geosentetik ürünlerin farklı fonksiyon ayrımları (internet-3,2017)

Geosentetik türü	Ayırma	Güçlendirme	Filtreleme	Drene etme	Çevreleme
Geotekstil	x	x	x	x	
Geogrid		x			
Geonet				x	
Geomembran					x
Geokompozit	x	x	x	x	x

## 2. Geosentetiklerin Kullanım Alanları

### 2.1 Geosentetiklerin Zemin İyileştirmede Kullanılması

Zayıf zeminlerin mukavemetini artırmaya yönelik yapılan çalışmaya zemin iyileştirme denilmektedir. Özellikle karayollarında karşılaşılan en önemli problemlerden biri yol dolgusunda kayma ve oturmalardan dolayı meydana gelen çatlak ve yemilmelerin çözülmesi için çeşitli zemin iyileştirme yöntemlerine başvurulmaktadır. Karayollarında uygulanan ileri zemin iyileştirme yöntemleri; ön yükleme ve sürşarj, düşey drenler, temel enjeksiyonu, geosentetikler olarak sıralanabilir, (KGM,2010). Son yıllarda trafik miktarının artışından dolayı, mevcut yollarda kayma ve oturma belirtileri artış göstermektedir (Sert ve Akpınar, 2011). Yüklemeden dolayı zeminde genişleme meydana gelir. Genleşen zemin ile güçlendirme amacıyla yerleştirilen geosentetik arasında bir ara yüz meydana gelmektedir. Bu iki malzeme aynı oranda uzamaya maruz kalmalı ve her bir güçlendirme elemanı çekme yükünü alıp sınırlayıcı iç gerilme olarak tekrar zemine yaymalıdır (internet-4, 2017).

Geosentetikler bu tür problemlerin azaltılması yönünde olumlu katkı sağlamaktadırlar. Geosentetikler ile zemin güçlendirme belirtilen zemin özelliklerine katkı sağlamaktadır; 1.Dayanım 2. Durabilite 3. Zemin-Geosentetik Etkileşimi (internet-5, 2017).

Geosentetikler, taban zemininin gerilme-şekil değiştirme ve mukavemet özelliklerini iyileştirmek, zemin tabakalarının ayrılması, zemin drenajı, yalıtım gibi zeminle ilgili birçok problemin çözümünde kullanılmaktadır, (Kocaer, 2011). Karayollarının dışında demiryollarının da iyileştirilmesi için geosentetikler kullanılmaktadır.

## 2.2 Geosentetiğin Şev Stabilizasyonunda Kullanımı

Şev ve toprak dolguların kaymaları günümüzde ve geçmişte en çok karşılaşılan, en çok can alan ve meydana gelme sayısı bakımından diğer doğal afetlere göre çok olan doğal afetlerin başında gelmektedir. Şev duraylılığının sağlanmasında hâlihazırda birçok yöntem uygulanmaktadır. Bunların en temel amacı bir şevin göçmeden uzun süre boyunca istikrarlı olarak kalmasını sağlamaktır. Şev duraylılığının sağlanmasında başlıca istinat duvarları, beton veya kaya dolgu duvarlar, ankrajlar, püskürtme beton ile güçlendirme teknikleri, çivileme yöntemleri ve günümüzde kullanımı yaygınlaşan polimer kökenli geosentetik malzemelerin kullanımı yöntemleri gelmektedir (Umu ve Işıklıdağ, 2015)

## 2.3 Geosentetiklerin Yol Üst Yapısında Kullanımı

Geosentetiklerin yül üst yapısında kullanımı; temel- alt temel atında, stabilize yollarda, asfalt beton tabakaları arasında ve beton yollar üzerindeki asfalt kaplamalarda olmak üzere üç başlıkta incelenmiştir.

### 2.3.1 Geosentetiklerin Temel-Alt Temel Tabakaları Altında Kullanımı

Temel güçlendirme uygulamalarında geosentetikler temelin içinde veya temel/alt temel altında gerilme elemanı olarak kullanılırlar. Bu, yolun hizmet ömrünü uzatır ve/veya temel tabakasının kalınlığını azaltır.

Geosentetiklerin ayırıcı özelliği kapsamında örgülü geotekstil alt temel ile zemin arasında bir ayırım oluşturur. Bu, pahalı alt temel malzemesinin zeminle karışmasını önleyerek yük taşıma kapasitesinin korumasını ve zayıflığın minimuma indirilmesini sağlar.

Yüksek çekme kuvveti altında düşük uzama oluşturması nedeniyle de güçlendirme tabakası olarak kullanılabilir. Alt temel tabakasının lastik genişliğine göre daha geniş bir alanda esnemesini sağlar. Bu esneme ile örgülü geotekstil betonarme plaka içinde bulunan çeliktene benzer bir çekme kuvveti oluşturur. Bunun sonucunda iyi bir yük dağılımı, üniform oturma ve tekerleğin yaptığı oyulmaların asgariye indirilmesi sağlanmış olur. Bu da alt temelin büyük bir esneme rijitliği kazandığını gösterir (Kocaer, 2011; Yıldız, 2005).

### 2.3.2 Geosentetiklerin Stabilize Yollarda Kullanımı

Geosentetiklerin ayırma özelliği sayesinde kullanılan malzeme; agrega ile zeminin birbirine karışmasını önler. Sıkışma sonucu zemindeki su agrega tabakasına nüfuz ederken, geosentetik malzeme filtre etme özelliği sayesinde ince malzemenin agrega tabakasına taşınmasını ve agregaların zemine gömülmesini önler.

Güçlendirme yönünden geosentetik malzemelerin stabilize kaplamalı yollarda kullanımı halinde taşıma gücünde, kayma ve çekme mukavemetinde artış sağlanabilmektedir. Stabilize kaplamaya etkiyen tekerlek yükleri agrega tanelerini yanal ötelenmeye maruz bıraktıklarında, zemin tarafından engellenmeye çalışılacaktır. Zayıf zeminlerde yanal ötelenmeye karşı direnç az olduğundan stabilize kaplama altında geosentetik kullanılması yanal ötelenmeye karşı direnç oluşturabilecektir. Geosentetik kullanımında kayma yüzeyi uzun olacağından taşıma gücü de artmaktadır. Ayrıca geosentetik malzemenin filtre özelliği sayesinde zemindeki suyun drenajı da sağlanabilmektedir. (Kocaer, 2011; Tunç, 2002).

### 2.3.3 Geosentetiklerin Asfalt Beton Tabakaları Arasında ve Beton Yollar Üzerindeki Asfalt Kaplamalarında Kullanımı

Geosentetiklerin asfalt betonu tabakaları arasında kullanımı ve asfalt kaplamalarda kullanımı ile; beton tabakada oluşan çatlakların yansımaları önler, su geçişini ve su geçişinden oluşan bozulmayı azaltır, tekerlek izinden oluşan oturmaları önler, kaplama kalınlığını azaltır, üst yapının hizmet ömrünü uzatır, üzerine gelen asfalt tabakalarını sağlamlaştırır (Özben, 2006).

Yol kaplamasında çeşitli sebeplerden dolayı oluşan çatlakların üzerine yeniden asfalt dökülmesi durumunda mevcut çatlakın yeni asfalt tabakaya yansımaması için takviye geosentetikleri kullanılmaktadır. Bu takviyeler; asfalt kaplama tabakası içinde, çatlaklara karşı mukavemeti artırır, kaplama içindeki yatay çekme gerilmesinin önemli bir bölümünü absorbe eder ve düzgün bir şekilde geniş bir alana yayılmasını sağlar. Bu şekilde bölgesel göçmeler önlenmiş olur. Takviye edilmiş olan asfalt tabakaları daha yüksek dinamik taşıma mukavemetine sahip olur (Yıldız, 2005).

## 2.4 Geosentetiklerin Dayanma Yapılarında Kullanımı

Zeminin çekme gerilmelerine karşı zayıf olduğu bilinmektedir. Buna karşın çekme dayanımı yüksek olan geosentetik malzeme ile zeminin mekanik özelliklerini iyileştirerek, zeminin stabilitesinin artırılması sağlanır. Yapılacak saha çalışmalarında çeşitli amaçlarla dayanma yapılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Geosentetiğin; istinat duvarları, dik şevler gibi yapılarda kullanımı geleneksel çözümlerin yerine ekonomik ve pratik bir alternatif olmaktadır. Geosentetiklerin dayanma yapılarında kullanımının faydaları kısaca aşağıda verilmiştir;

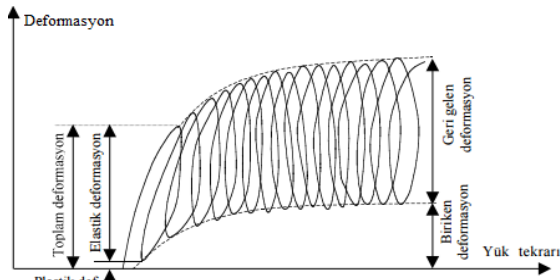
- Donatı kullanılarak klasik yollarla örneğin betonarme olarak kesinlikle yapılamayan yükseklikteki duvarlar bu yeni teknikte inşa edilebilmektedir.

- Şevlerin donatı sayesinde zahiri bir kohezyon kazandırılarak daha dik veya dik olarak oluşturulması çok önemli yer kazanımları sağlamakta, istiklak masraflarını azaltabilmektedir.
- Bitkilendirilmiş yaşayan duvar uygulamaları ile estetik görünüm ve güzel bir çevre elde edilmektedir.
- Zemin oturmalarına uyum sağlayabilmesi, imalatta önemli derece hız sağlanması,
- Geotekstil veya geogrid donatı kullanılarak oluşturulan dayanma yapılarının duvar yüksekliğine göre kısmen değilse de ağırlık veya betonarme konsol duvarlara nazaran önemli maliyet avantajları sağladığı ayrıca belirtilmelidir (Yılmaz ve Aklık, 2002; Yılmaz, Eskişar, Aklık, 2005)

## 2.5 Geosentetiklerin Dinamik Yüklere Karşı Kullanımı

Zemine birden etkiyen ve kısa sürede büyük değişimlere yol açan dinamik yüklerin etkisini azaltmak amacıyla geosentetikler kullanılmaktadır. Özellikle, yol inşaatlarında, yumuşak taban zeminlerinin yol açabileceği problemleri önlemek için, günümüze kadar çeşitli alternatif çözümler üretilmiştir (Göktepe vd., 2005). Bunlardan bir tanesi zeminin mukavemetinin artırılması için geliştirilen geosentetik malzemelerin kullanılmasıdır.

Taban zeminleri, tam anlamıyla elastik özellik göstermez, tekrarlı yükler altında plastik davranış gösterirler. Şekil 1’de, taban zeminin tekrarlı yükler altındaki tipik şekil değiştirme davranışı gösterilmektedir.



Şekil 1. Tekrarlı yükler altında taban zemininde oluşan şekil değiştirmeler (Göktepe vd., 2005)

Şekil 1’de görüldüğü gibi yüklemenin ilk durumundan başlayarak biriken plastik deformasyon tekrar sayısına bağlı olarak doğrusal olmayan bir şekilde artmaktadır (Huang, 1993)

Dinamik etkiler karşısında geosentetik kullanımının sağladığı yararlar şu şekilde sıralanmaktadır (Yılmaz ve Aklık, 2002):

- a) Suya doygun kumlu ortamlarda depreme oluşabilecek sıvılaşmaya karşı kullanımı,
- b) Statik ve dinamik ev stabilitesini sağlamak amacıyla kullanımı, evlerde ve duvarlarda sismik etkilere karşı kullanımı,

- c) Demiryolu alt yapısında güçlü dinamik etkilere karşı kullanımı,
- d) Temel altı zemininin yeterli bir kısmının iyileştirilmesinde kullanımı ile statik ve dinamik taşıma gücünün artırılması,
- e) Drenajlı önyüklemeye projelendirilmesinde kum kazık ve drenaj battaniyesi yerine fitil dren ve geotekstil kullanımı önemli derecede avantaj sağlamaktadır.
- f) Geofam köpük malzemeleri de geosentetik ürünler ailesinden olup istinat duvarları arkasında sismik etkileri sönümlemesi sağlanan çok önemli bir avantaj olarak kabul edilmelidir.
- g) Esnek istinat yapılarının depreme karşı dayanımı ve dünya üzerinde mevcut kanıtlanmış performansları bilinmekte olup bu hususta en önemli avantajlar arasındadır.

## 2.6 Geosentetiklerin Hidrolik İmalat Uygulamalarında Kullanımı

Geosentetikler genel olarak taşkın koruma bendi, kanal ve rezervuar gibi hidrolik yapılarda kullanılırlar. Ayrıca geosentetikler kıyı ve nehirlerin korunmasında da önemli bir role sahiptir.

Taşkın koruma bentlerinde geosentetikler, özel drenaj ve filtreleme özellikleri sayesinde taşkın koruma bentlerinin dayanıklılığını artırırlar. Koruyucu kaya dolgu altında geotekstille kaplı drenaj malzemesi ve özel filtreleme matları, erozyonu ve buna bağlı olarak bendin çatlamasını önler. Geotekstil ile güçlendirilmiş toprak yapıları sahada bulunan düşük kaliteli dolgu malzemesinin kullanımına olanak sağlayarak, güvenilir ve düşük maliyetli etkin bir inşaat yöntemi sunar.

Kanal ve rezervuar inşaatında su geçirimsiz geosentetiklerin kullanımı oldukça yaygındır. Sentetik geomembranlar etkili ve uzun süreli koruma sağlarlar. Buna ek olarak, sızıntı ve süzülen yüzey sularını yalıtım membranının altından boşaltmak için genellikle drenaj geokompozitler kullanılır (internet-6, 2017).

## 3 Geosentetik Kullanılarak Şevlerin Modellenmesi

### 3.1 Limit Denge Metodu

Limit denge yöntemi şevlerin stabilize analizlerinde yaygın olarak kullanılan bir metottur. En sık kullanılan limit denge yöntemleri; basit dilimler yöntemi (Fellenius,) Bishop, Spencer ve Morgenstern-Price metotlarıdır. Dilimler tekniğinin hiperstatik problem olduğu bilinmekte ve iç kuvvetlerin dağılımı esasına göre çözülmektedir (Liu vd., 2015).

Limit denge metotlarında bir kayma yüzeyi kabul edilerek kaymaya çalışan zemin kütesinin dengesi araştırılır ve bir güvenlik sayısı elde edilir (Yıldız, 2005). Yüzeylerin kayma olasılıkları arasından en

düşük güvenlik katsayısını veren en kritik kayma yüzeyi bulunur.

Kayma olasılığı olan bir seri yüzey arasında en düşük güvenlik sayısını veren kritik kayma yüzeyi elde edilir.

### 3.2 Limit Analiz Yöntemi

Limit analiz yöntemi, şev stabilite problemlerinin çözümünde doğru ve hassas sonuçlar için evrensel bir yöntemdir. Plastisite teorisine dayanmaktadır. Yükleme durumları karmaşık, homojen veya heterojen gibi geometrisi değişkenlik gösteren şevlerin analizinde uygulanabilen bir yöntemdir. Limit analiz yöntemleri hem karmaşık olup hem de malzemelerin gerçek gerilme-birim deformasyon özelliklerinin çok iyi tanımlanmasını zorunlu kıldıklarından, hesap yönteminin uygulanmasında çok dikkatli olunması gerekmektedir (Umu ve Işıkdağ, 2015).

### 3.3 Sonlu Elemanlar Metodu

Sonlu elemanlar yöntemi, barajlar, yamaç, dolgu, istinat duvarı, temel gibi birçok geoteknik yapının analizinde kullanılmaktadır. Zemin ve üst yapı arasındaki bağlantıyı tanımlamak zordur ve doğru tasarım gerektirir. Bu aşamada güçlendirilmiş zemin yapılarını daha iyi anlamak için, sonlu elemanlar yöntemi limit denge metodundan, deformasyonlar, takviye tabakaları ve gerilme kuvvetleri hakkında daha fazla bilgi sağlar (Bajlan, 2016)

Sonlu elemanlar analizi genel olarak, gerilmelerin ve şekil değiştirmelerin hesaplandığı yarı elastik bir bütün mekanik yaklaşım temeline oturmaktadır. İnşaat süreci boyunca geosentetik güçlendirilmiş zemin şevleri büyük deformasyonlar gösterdikleri için, uygun göçme ölçütleri ile gerilme-şekil değiştirme analizleri için lineer olmayan zemin modelini benimsemek uygun olmaktadır (Mohr-

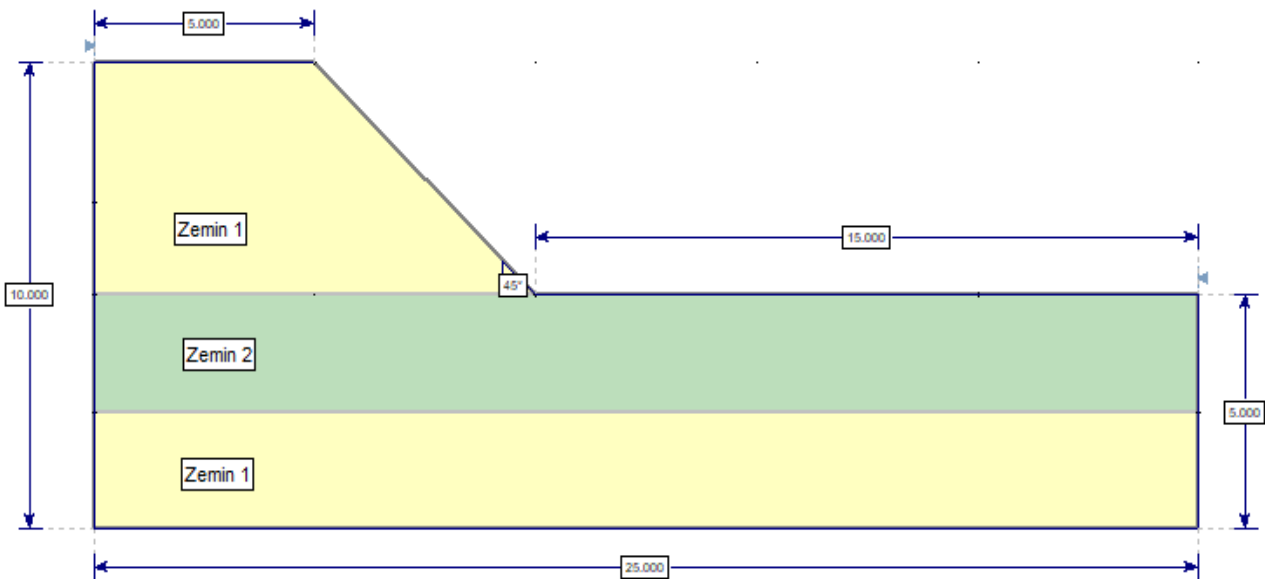
Coulomb ölçütleri vb.). Çeşitli derecelerdeki karmaşıklık için bazı modeller geliştirilmiştir. Bunlar, ekstra parametrelere ihtiyaç duyarlar. Eğer kayma ve hacimsel şekil değiştirmelerin ölçümleri yeterli derecede yapılabilirse, bu parametreler üç eksenli testler ile belirlenebilirler. Sistemin bir parçası olan geosentetikler, uygun esaslar göz önüne alınarak modellenmeye ihtiyaç duyarlar (Shukla, 2002; Duncan ve Wright, 2005; Kayabalı, 2006).

## 4 Limit Denge Yöntemi ile Yapılan Şev Analizleri

Son yıllarda, şev stabilizasyon problemlerinin çözümü için birçok bilgisayar programı kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada şev stabilite problemi çözümü için Slide v.6 limit denge programından yararlanılmıştır. Slide limit denge programı; farklı zemin özelliklerine sahip şev, set, baraj ve istinat duvarının en kapsamlı yamaç stabilite ve kararlı-kararsız akım durumları için sızıntı analizlerini yapmaktadır. Bununla birlikte program, şev stabilitesinde bireysel değişkenlerin, şev güvenlik faktörü üzerindeki etkilerini belirlememize yardımcı olmaktadır.

Doğal şevlerin stabil durumda kalmalarını etkileyen birçok etmen bulunmaktadır. Şev duraylılığının bozulmasını etkileyen faktörler; jeolojik süreksizlik, su, zemin özellikleri, dinamik etkiler, şevin geometrisi olarak sıralanabilir (Rai, 2017). Bu çalışmada zemin özelliklerinin değişiminin şev duraylılığına etkisini araştırmak amacıyla kohezyon ve içsel sürtünme açısı değiştirilmiştir.

Yapılan çalışmadaki 1.model olan 45° açılı şevin boyutları metre cinsinden verilmiş ve zemin tabakalarının özellikleri Şekil 2 ve Tablo 2'de gösterilmiştir.

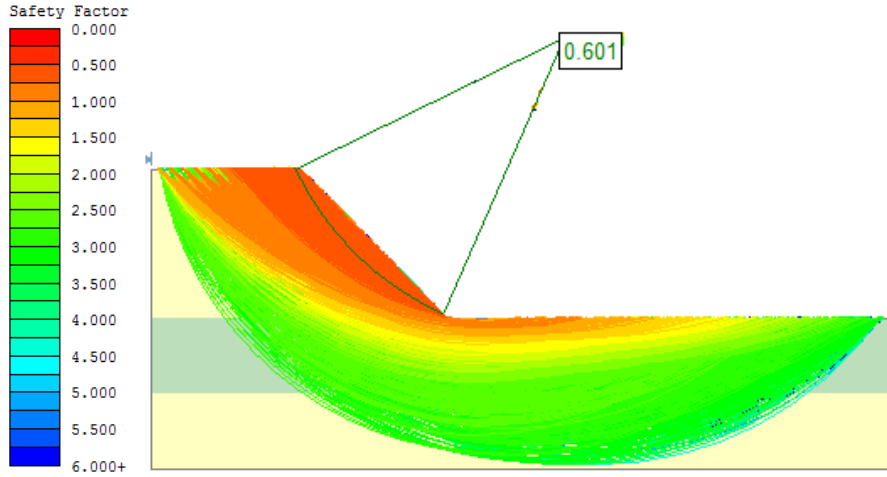


Şekil 2. 1.Model Olan 45° Açılı Şevin Boyutları

**Tablo 2.** Zemin Özellikleri

Zemin Türleri	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
Zemin 1	20	25	0,5
Zemin 2	20	40	0,5
Dolgu	20	25	1

Şev stabilitesi analizlerinde Bishop Simplified ve Janbu Simplified yöntemleri uygulanmış. Stabilité analizi için üç farklı şev modeli oluşturulmuştur. Birinci modelde şevin ilk durumu değerlendirilmiş ve yapılan analiz sonucu şevin kendini taşıyamadığı ve stabil durumunu kaybedeceği anlaşılmıştır. İlk durumda şevin kayma durumu ve bu duruma ait güvenlik katsayısı Şekil 3' de gösterilmiştir.



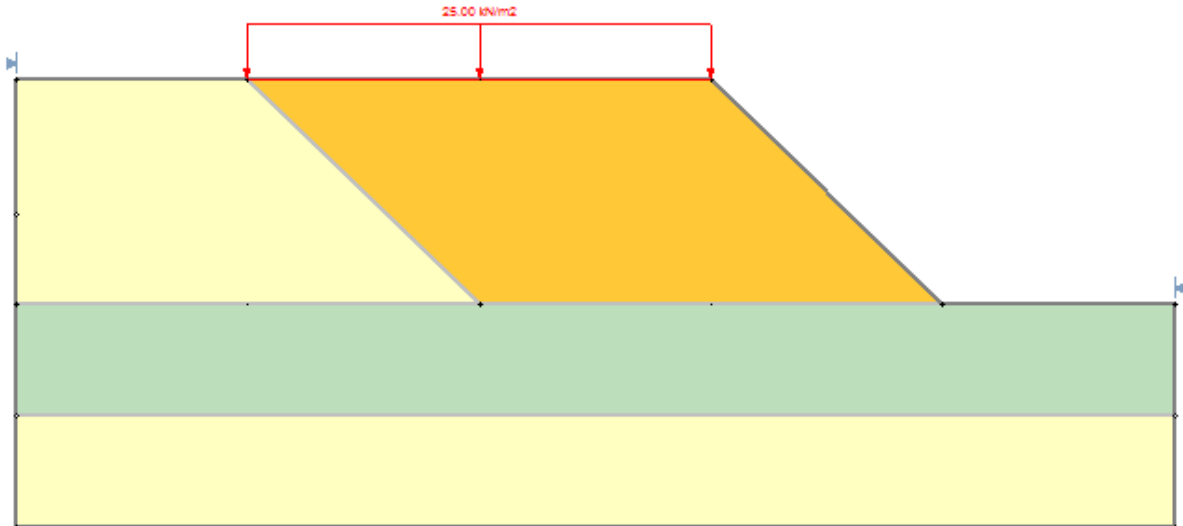
**Şekil 3.** 1.model 45° Açılı Şevin Kayma Durumu ve Minimum Güvenlik Katsayısı Sonucu

Şevin üzerine 10 m genişliğinde yol dolgusu eklenmiş ve 25 kN/m yol yükü etkilmiştir. Yol projesi eklendikten sonra analizler tekrarlanmış, güvenlik Geotekstil malzeme teknik özellikleri Tablo 3'de gösterilmiştir. Şevin yol dolgusu eklenmiş durumu ve

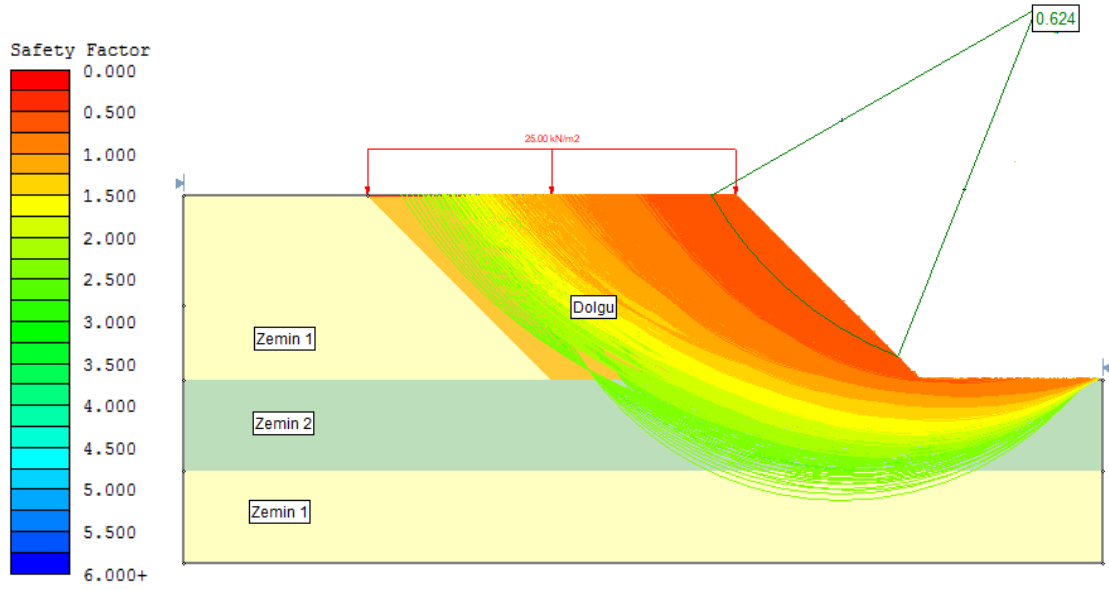
katsayıları yeniden elde edilmiştir. Dolgu yapılmış şevin duraylılığını sağlayamadığı anlaşılarak geotekstille güçlendirilmesine karar verilmiştir. güvenlik katsayısı sonucu Şekil 4 ve Şekil 5' de verilmiştir.

**Tablo 3.** Geotekstil Özellikleri

Geotekstil Özellikleri				
Adezyon (kN/m <sup>2</sup> )	Sürtünme Açısı (°)	Çekme Gerilmesi (kN/m)	Uzunluk (m)	İki mesnet arası mesafe (m)
5	40	50	10	0,4



**Şekil 4.** 45° Açılı Şevin Yol Dolgusu Eklenmiş Durumu



**Şekil 5.** 45° Açılı Yol Dolgusu Yapılmış Şevin Kayma Durumu ve Minimum Güvenlik Katsayısı Sonucu

Tasarım problemlerine ait şevin güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş durumları için Bishop Simplified ve Janbu Simplified yöntemlerine göre minimum güvenlik katsayısı sonuçları Tablo 4' de verilmiştir.

**Tablo 4.** 1.model Minimum Güvenlik Katsayısı Sonuçları

Yöntem	45° Açılı Şev	45° Açılı Dolgulu Şev	45° Açılı Güçlendirilmiş Şev
	FS	FS	FS
Bishop Simplified	0,601	0,626	2,473
Janbu Simplified	0,573	0,578	2,071

Slide sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan analizlerde zemin kohezyon değerleri ve içsel sürtünme açısı değiştirilmiştir. 45° açılı şev, 45° açılı dolgulu şev, 45° açılı güçlendirilmiş şev analizleri

parametrik bir çalışma olarak tekrarlanmıştır. Analizlerde kullanılan kohezyon değerleri değiştirilmiş örnek analizde zemin özellikleri, Tablo 5'de gösterilmiştir.

**Table 5.** Zemin Özellikleri

Zemin Türleri	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
Zemin 1	20	25	2
Zemin 2	20	40	0,5
Dolgu	20	25	2

Zemin 1 ve dolgu zeminin, kohezyon değerinin artırılmasıyla elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde kohezyon artırımının şevin

minimum güvenlik katsayısına olumlu bir katkı sağladığı görülmüştür. Çıkan sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 6.** Kohezyon Değeri Artırılmış Şev İçin Minimum Güvenlik Katsayısı Sonuçları

Yöntem	45° Açılı Şev	45° Açılı Dolgulu Şev	45° Açılı Güçlendirilmiş Şev
	FS	FS	FS
Bishop Simplified	0,789	0,810	2,511
Janbu Simplified	0,742	0,745	2,108

Yapılan diğer analizde, zemin özelliklerinden içsel sürtünme artırılarak elde edilen sonuçlar ilk analiz durumuyla karşılaştırılmış ve artırılan içsel sürtünme açısının şev duraylılığının sağlanmasında olumlu bir

etki yaptığı görülmüştür. Analizde kullanılan zemin özellikleri ve minimum güvenlik katsayısı sonuçları sırasıyla Tablo 7 ve Tablo 8'de gösterilmiştir.

**Tablo 7.** Zemin Özellikleri

Zemin Türleri	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)
Zemin 1	20	35	0,5
Zemin 2	20	40	0,5
Dolgu	20	35	1

**Tablo 8.** Sürtünme Açısı Değeri Artırılmış Şev İçin Minimum Güvenlik Katsayısı Sonuçları

Yöntem	45° Açılı Şev	45° Açılı Dolgulu Şev	45° Açılı Güçlendirilmiş Şev
	FS	FS	FS
Bishop Simplified	0,852	0,879	2,936
Janbu Simplified	0,822	0,824	2,585

Literatürde yapılan çalışmalarda bu parametrik çalışmayı destekler niteliktedir. Örneğin; Cheng ve diğerleri (Cheng vd., 2007), yaptıkları çalışmada kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerini arttırmış, şev stabilizasyonun minimum güvenlik katsayısını artırıcı bir etki sağladığı görülmüştür.

### Sonuç

Şev stabilizasyon problemleri geçmişte ve günümüzde karşılaştığımız geoteknik problemlerin başında gelmektedir. Şev stabilizasyon problemlerinde uzun ve kısa vadede oluşan deformasyonlar için geliştirilen birçok güçlendirme yöntemi mevcuttur. Güçlendirme yöntemini seçerken, şevin durumuna uygun olması, sistemin uygulanabilirliği ve maliyetinin de optimum olmasına dikkat edilmelidir. Bunlardan en çok tercih

edilen yöntemlerden biri geosentetiklerle güçlendirme yöntemidir.

Bu çalışmada mevcut şev, yol dolgusu yapılmış ve yol dolgulu durumun güçlendirilmiş hali için parametrik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonunda kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri artırılmış, Bishop Simplified ve Janbu Simplified yöntemlerine göre minimum güvenlik katsayısı değişimleri karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonunda güçlendirilmiş dolgulu şev örneğinin güvenli tarafta kaldığı ve şevin duraylılığına katkı sağladığı görülmüştür. Kohezyon değeri ve içsel sürtünme açısı artırılan örneklerin güvenlik katsayılarının yaklaşık olarak %44' lere kadar artışlara neden olduğu şev duraylılığı için önemli bir etki yaptığı görülmüş ve sonuçlar Tablo 9'da gösterilmiştir.

**Tablo 9.** Analiz sonuçları

1.model Minimum Güvenlik Katsayısı Sonuçları			
Yöntem	45° Açılı Şev	45° Açılı Dolgulu Şev	45° Açılı Güçlendirilmiş Şev
	FS	FS	FS
Bishop Simplified	0,601	0,626	2,473
Janbu Simplified	0,573	0,578	2,071
Kohezyon Değeri Artırılmış Şev İçin Minimum Güvenlik Katsayısı Sonuçları			
Bishop Simplified	0,789	0,810	2,511
<b>1.modele göre % artış</b>	<b>31,28</b>	<b>29,39</b>	<b>1,53</b>
Janbu Simplified	0,742	0,745	2,108
<b>1.modele göre % artış</b>	<b>29,49</b>	<b>28,89</b>	<b>1,77</b>
Sürtünme Açısı Değeri Artırılmış Şev İçin Minimum Güvenlik Katsayısı Sonuçları			
Bishop Simplified	0,852	0,879	2,936
<b>1.modele göre % artış</b>	<b>41,76</b>	<b>40,42</b>	<b>18,72</b>
Janbu Simplified	0,822	0,824	2,585
<b>1.modele göre % artış</b>	<b>43,46</b>	<b>42,56</b>	<b>24,82</b>



45 derece açılı şev dolgu yapıldığında, Bishop Simplified ve Janbu Simplified yöntemine göre elde edilen sonuçlarda, güvenlik katsayısının arttığı ancak bu artışın dolgu şevin güçlendirmesiyle daha fazla olduğu görülmüştür. Aynı geometrik özelliklere sahip şevin zemin özelliklerinden kohezyon değeri artırıldığında tüm yapılan örnek analizler için güvenlik katsayısı değerleri artmış bu artış 1.modele göre daha fazla olmuştur. Yapılan parametrik çalışma içsel sürtünme açısının artırılmasıyla devam etmiş ve güvenlik katsayısındaki artışın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu parametrik çalışma sonunda zemin özelliklerinin şevin duraylılığına etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

### Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

### Kaynaklar

ASTM D'4439 American Society for Testing and Materials International

Bajlan, H, G. F., 2016. Numerical Analysis of Geosynthetic Reinforced Earth Walls with Finite Element Method, University of Dicle, Institute Of Natural and Applied Sciences, Master Thesis, Diyarbakır.

Cheng, Y.M., Lansivaara, T., Wei, W.B., 2007. Two-dimensional slope stability analysis by limit equilibrium and strength reduction methods, Computers and Geotechnics, p.137-150

Duncan, J.M., Wright, S.G., 2005. Soil strength and slope stability. *John Wiley & Sons*, ISBN-13: 978-0471691631, Hoboken, N.J., USA:312p.

Göktepe A.B., Altun S., Lav A.H., 2005. Esnek Üstyapılarda Taban Zemini Dinamik Davranışının Geosentetiklerle İyileştirilmesi" 6. Ulaştırma Kongresi, 23-25 Mayıs, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maçka, İstanbul.

Huang, Y.W., 1993. "Pavement design and analysis" Prentice Hall Inc., NJ.

İnernet-1;

Aaditya Verma, Daksh Langan, Shrey Agarwal, Vikas Kumar Bharti, Case study on the performance of reinforced soil slopes. 3.4.2017

İnernet-2;

<http://www.geogrid.com.tr/geokompozit>, 05.04.2017

İnernet-3;

<https://theconstructor.org/building/geosynthetics-in-civil-engineering-construction-works/14148/>, 18.06.2017

İnernet-4;

Zunjarrao B.K., "Soil Improvement Technique" <http://textilelearner.blogspot.com.tr>, 03.04.2017

İnernet-5;

<http://www.tencate.com>, "Geosynthetics for soil reinforcement" 04.04.2017.

İnernet-6;

<http://www.tencate.com/tr/emea/geosynthetics/applications/hydraulic-constructions/default.aspx>, 20.05.2017

Kayabalı, K., 2006. Zemin şevlerinin duraylılığı, Gazi Kitabevi, ISBN: 975-6009-00-4, 299s

KGM, 2010. Karayollarında Zayıf Zemin Problemleri Ve Önlemler, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Zemin Mekaniği ve Tüneller Şubesi Müdürlüğü

Kocaer, M., 2011. Geosentetiklerin Karayolu Yapılarında Kullanımı: Türkiye Örnekleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Liu, S.Y., Shao, L.T., Li, H.J., 2015. Slope stability analysis using the limit equilibrium method and two finite element methods, Computers and Geotechnics 63,pp. 291-298,

NRCS, 2007. (Natural Resources Conservation Service) Geosynthetics in Stream Restoration, Technical Supplement 14D, Part 654, National Engineering Handbook.

NYSDOT, 2016. (New York State Department of Transportation) Geotechnical Design Manual Chapter 18, Geosynthetic Design, Rev. 1

Özben M., 2006. Yol Yapımında Geosentetik Malzemelerin Kullanımı ve Karayolu Teknik Sarnamesi, İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, 16-17 Kasım 2006, İstanbul

Rai, R., 2017. Factors Affecting Slope Failure, Lecture Notes of Chapter 2

Sert T., Akpınar M. V., 2011. Pullout Test Aleti ile Karayolu Alttemelinde Geogrid Performansının Araştırılması, İMO Teknik Dergi, 2011 5285- 5304, Yazı 342

Shukla, S.K., 2002. Geosynthetics and their applications. *Published by Thomas Telford*, ISBN: 978-0727731173, London, UK: 430p.

Tunç A., 2002. Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.

- Umu, S. U., Işıkdağ, B., 2015. Şev Stabilizasyonunda Geosentetiklerin Kullanım Avantajları Ve Bilgisayar Destekli Örnek Tasarım Problemi, EJOİR, Aralık 2015 IWCEA Özel Sayısı Cilt 1. 94-108
- Yılmaz H.R., Aklık P., 2002. Geotekstil veya Geogrid Kullanılarak Oluşturulan Dayanma Yapılarında Sağlanabilen Ekonomi Hakkında Bir İnceleme, ZMTM 9. Kongresi, Eskişehir, 1/312-321
- Yılmaz H.R., Eskişar T., Aklık P., 2005, Donatılı Zemin Uygulamaları Kapsamında Donatılı İstinat Duvarlarının Tanıtımı ve Sağladığı Avantajlar Üzerine Bir İnceleme, İMO İzmir Şubesi Dergisi, 122/20-24.
- Yılmaz, H. R., Eskişar, T., 2007. Geosentetik Ürünlerin Geoteknik Mühendisliği Sorunlarının Çözümünde Kullanımı ve Sağlanan Faydalar. TMMOB, İMO Adana Şubesi 2.Geoteknik Sempozyumu 22-23 Kasım Bildiriler Kitabı s:433-447
- Yıldız L., 2005. Donatıyla Güçlendirilmiş Sevli Zemine Oturan Yüzeysel Temel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.