

**SEDDE ŞEVLERİNİN GEOSENTETİK İLE
DONATILANDIRILMASININ STABİLİTEYE ETKİLERİ**

**EFFECTS OF GEOSYNTHETIC SLOPE REINFORCEMENT ON
EMBANKMENT STABILITY**

Elif ÇİÇEK^{1*}, Erol GÜLER², Temel YETİMOĞLU³

^{1*} Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Erzurum, Türkiye

² Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
İstanbul, Türkiye

³ Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Erzurum, Türkiye

Geliş Tarihi (Received): 04/06/2014 **Kabul Tarihi (Accepted):** 05/03/2015

ABSTRACT

In this study, the effects of using geosynthetic reinforced slopes of an embankment resting on soft clay were analyzed. The finite element technique was utilized for this purpose. The variables investigated were the length of reinforcement, number of reinforcement and slope angles. Long and short term analyses were made. The embankment on soft clay which was unstable without reinforcement could be stabilized by reinforcing the slopes and an increase in factor of safety was obtained at an important level. Slope angle increased the safety factors between 14-26%. It was seen that the use of geosynthetic reinforcement stretching from side to side contributes to the stability more than increasing the number of reinforcements and other variables investigated.

ÖZET

Bu çalışmada; yumuşak killer üzerine inşa edilecek dik eğimli geosentetik donatılı şev seddenin genel stabilitesi incelenmiştir. Sonlu elemanlar analizleri ile donatı uzunluğu, donatı sayısı ve şev eğiminin etkisi parametre olarak seçilerek stabiliteye etkileri araştırılmıştır. Kısa ve uzun süreli analizler tekrarlanarak farklı donatılı durumlardaki göçmeye karşı güvenlik sayıları hesaplanmıştır. Şev donatısız durumda stabil durmamaktadır, fakat donatılı durumda güvenlik donatı konfigürasyonuna bağlı olarak önemli bir artış göstermiştir. Şev eğiminin azalması güvenliği %14-26 kadar arttırmıştır. Stabilite hesaplarında, donatı sayısı ve incelenen diğer parametrelere oranla donatının karşıdan karşıya uzatılmasının daha etkin bir parametre olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Şev stabilitesi, sonlu elemanlar metodu, donatılı şev, geosentetik donatı

1.GİRİŞ

Problemlerin doğru değerlendirilmesi, ortam koşullarının doru bir şekilde saptanması, analiz yöntemleri, güvenliğin artırılması ve gerekli önlemlerin alınması uygulama mühendisliği açısından büyük önem taşımaktadır. Yapılan teorik çalışmalar vasıtasıyla uygulama alanlarında karşılaşılabilecek problemlere çözümler sağlanabilmekte ve öneriler sunulabilmektedir. Bu amaçla birçok literatür çalışması değerlendirilerek uygulamada fayda sağlayabilecek incelenmemiş noktalar seçilmeye çalışılmıştır. Bir çok literatür çalışmasının şev stabilitesinin önemini vurgulamadığı görülmüştür (Özsoy, 1998; Borges ve Cardos, 2002; Öz, 2007; Yıldırım, 2009; Tekin, 2011). Ayrıca, yumuşak zeminler üzerine inşa edilen dolgularda, stabilitenin bozularak göçmenin meydana gelmesini engellemek amacıyla geosentetik donatının kullanımı da her geçen gün yaygınlaştığı belirlenmiştir. Bu yöntem diğer iyileştirme yöntemlerine nispeten daha hızlı olup, göçmeye karşı güvenlik sayısı da önemli mertebede artış gösterebilmekte ve şev eğimi daha dik hale getirilebilmektedir. Fakat geosentetikler sistemin taşıma güvenliğini artırsa da uzun dönem konsolidasyon oturmasını önleyememektedir. Bu nedenle bu çalışmada ani yüklenme ve konsolidasyon oturması sonrasındaki donatılı şevlerin sonuçları incelenerek uygulamada kullanılacak pratik öneriler sunulmuştur.

Bu çalışmada analizler için bilgisayar programı kullanılmıştır. Çünkü stabilite problemlerinin çözümü uzun ve karmaşık olabilmektedir. Ayrıca, bilgisayar teknolojisinin gelişmesi, limit denge metoduna alternatif olarak sonlu elemanlar (SE) yönteminin de stabilite analizlerinde kullanılmasına olanak sağlamıştır. Böylece kritik göçme yüzeyinin belirlenmesinde logaritmik ve dairesel yaylar gibi kabuller yapılmasına ihtiyaç kalmadan analiz yapılabilmektedir.

Donatılı dolgular ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır, fakat bunlar arasından bu çalışmada kullanılacak ve göze çarpan bulgular şöyle sıralanabilir; Park ve Tan (2005)'ın yapmış oldukları çalışmada hem lifler hem de geogrid kullanılarak donatılardırılmış duvarlar üzerine yük uygulanmış, geogrid donatılara gelen çekme kuvvetleri incelenmiştir. Fiber ve geogrid ile donatılardırılmış zeminin donatısız duruma göre çok daha sağlam olduğu ve geogridler ile ekonomik olarak sedde yüksekliğinin

artırılabilceği sonucuna varılmıştır. El Sawwaf (2007) tarafından yapılan çalışmada ise, bir yumuşak kil üzerinde teşkil edilen geogrid donatılı kum dolguya oturan bir şerit temel taşıma kapasitesi araştırılmıştır. Sistemdeki toplam donatı sayısı üç olduğunda, donatı genişliğinin temel genişliğinden en az üç kat daha büyük olması gerekebileceği belirtilmiştir. Tandjiria vd. (2002) yumuşak kil zemin üzerindeki şev için geosentetik donatı kuvvetinin stabiliteye etkisini araştırmıştır. Sedde altına konan tek donatının çekme dayanımındaki değişimin güvenlik sayısını çok az miktarda etkilediği belirtilmiştir. Araujo vd. (2012) düşey drenli yumuşak zemin üzerindeki donatılı şevin arazi ölçümlerini ve nümerik yöntemle bulunan sonuçlarını karşılaştırarak donatılara gelen çekme kuvvetlerini, şevin yaptığı düşey ve yatay oturmaları incelemişlerdir. Çalışma sonucunda sonlu elemanlar yöntemi ile araziden alınan sonuçlarda maksimum boşluk suyu basıncı ve düşey oturma değerlerinin benzer sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Taechakumthorn ve Rowe (2012) kil zeminler üzerine inşa edilen donatılı seddelerin uzun süreli konsolidasyon davranışını incelemişlerdir. Uzun süreli durumda donatı deformasyonunun yaklaşık %5 değerinden daha az olması sağlanabilirse ve kademeli olarak sedde inşa edilirse donatılı seddenin uzun süreli deformasyonlarının kontrol edilebileceğini söylemişlerdir. Donatı sertliğinin arttırdıkça daha yüksek şevler elde edilebileceği, fakat meydana gelebilecek deformasyonların da büyüyeceği ifade edilmiştir. Vashi vd. (2012) geosentetiklerin düşey aralığı, şev dikliği ve iki farklı malzemeden üretilmiş (Polyester ve Poypropylen) olan geotekstil malzemelerin çekme gerilmelerinin yumuşak kil üzerindeki donatılı uçucu kül ve kil karışık seddelerdeki etkilerini incelemişlerdir. Analizler limit denge metodu kullanarak şev stabilite analizi yapan bir program ile yürütülmüştür. Kullanılan donatının, sistemin taşıma güvenliğini arttırdığını ve donatı aralığı ile şev eğiminin azaldıkça daha güvenli bir tasarım elde edilebileceğini belirtilmiştir. Donatı çeşidi olarak Polyester geotekstilin daha güvenli sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. Tüm çalışmalar değerlendirildiğinde donatılı şevlerin stabilitesinin farklı koşullarda incelenmesi gerektiği sonucuna varılmış ve bu çalışmada donatı uzunluğu, sayısı ve şev etkisi gibi önemli parametreler seçilmiştir.

Özetle bu çalışmada, uygulamada sıkça karşılaşılan ve yumuşak killer üzerine inşa edilecek seddelerde şev eğimini dikleştirmek amacı ile kullanılan geosentetik donatılı şev teşkilinin seddenin genel stabilitesi üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Bu

amaçla literatür çalışmaları incelenerek eksik kalan konularda parametreler belirlenmiş ve donatısız olarak inşa edildiği takdirde göçen bir dolgu şevin donatı sayısı artırılıp aralıkları sıklaştırılarak elde edilen güvenlik sayıları hesaplanmıştır. Uygulama sahalarında avantaj sağlayabilecek önemli bir öneri olarak farklı donatı uzunluklu şevler kısa ve uzun süreli analizlerle karşılaştırılmış ve sonuçlar farklı şev eğimlerinde değerlendirilmiştir.

2.MATERYAL ve METODLAR

Çalışmada, geoteknik mühendisleri için geliştirilmiş, bir sonlu elemanlar yazılımı olan Plaxis V.8 programı kullanılmıştır. Sonlu elemanlar ağı 15 düğüm noktalı üçgen elemanlar ile teşkil edilmiştir. Analizler düzlem deformasyon koşullarında yürütülmüştür. Geosentetik donatıların tanımlanmasında elastik eksenel rijitlik ($J=ExA$; E =Elastisite modülü, A =birim alan olmak üzere) parametresi kullanılmıştır.

Analizlerde, yapının kademeli olarak inşaatı göz önünde bulundurulmuştur. Güvenlik sayısının hesaplanması amacıyla literatürdeki çalışmalara benzer şekilde Phi-c azaltma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, zemin parametreleri kayma mukavemeti açısı (ϕ) ve kohezyon (c) kademeli olarak azaltılarak modelin göçtüğü an belirlenmekte ve şevin göçmeye karşı güvenlik sayısı hesaplanabilmektedir. Analizin herhangi bir safhasında güvenlik sayısı (G_s):

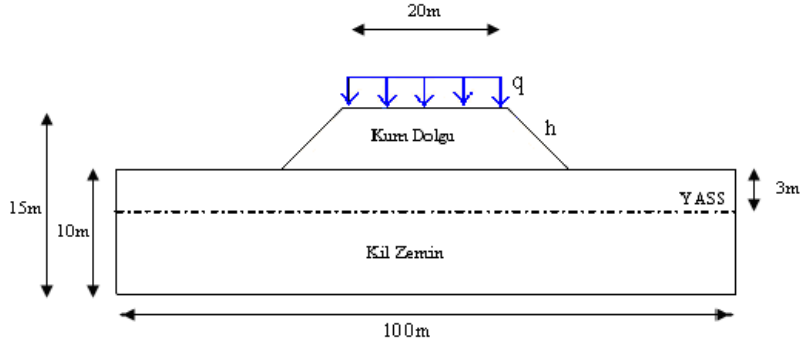
$$G_s = \frac{\tan \phi_i}{\tan \phi_r} = \frac{c_i}{c_r} \quad (1)$$

olarak hesaplanmaktadır. Parametrelerdeki "i" indisi malzeme özellikleri tanımlanırken verilen ilk değerleri, "r" indisi ise analizlerde kullanılan azaltılmış (reduced) değerleri belirtmektedir. Analizlerde ϕ ve c parametreleri kademeli olarak azaltılarak her seferinde yeniden analiz yapılmakta ve böylece yapının göçmesi sağlanmaktadır (Brinkgreve vd., 1998).

Sedde inşası ile yumuşak bir kil üzerine ani yük uygulanması halinde kil zemin kısa sürede drene olamamaktadır. Böylece bu tarz şev stabilite problemlerinin analizlerinde, drenajsız mukavemet parametreleri kullanılmaktadır. Zemin içerisinde oluşan boşluk suyu

basıncının uzun sürede dağılması sonucunda oluşan durumu incelemek için ise efektif gerilme analizleri yapılmaktadır. Uzun süreli stabilite analizleri olarak tanımlanan bu problemlerde ise drenajlı zemin parametreleri kullanılmaktadır (Griffiths, 1993). Bu çalışmada, uygulamada karşımıza çok sık çıkabilen yumuşak zemine inşa edilecek şev inşası tamamlanıp sürşarj yükü etkidikten sonraki durum (kısa süreli analiz) ve konsolidasyon oturması tamamlanıp boşluk suyu basıncı sönmüldükten sonraki durumun (uzun süreli analiz) donatılı modelde nasıl değişim göstereceğini görebilmek amacıyla analizler yapılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan model için; suya doymun yumuşak kil temel zemininin yüksekliği 10 m, üzerine yapılacak dolgunun yüksekliği 5m ve şev eğimi (h) 1/1 ile 1/2 (düşey/yatay) olarak belirlenmiştir. Sınır koşullarının hesap sonuçlarını etkilemeyeceği bir model oluşturabilmek için, farklı genişliklerde çok sayıda analiz yapılmıştır. Bu analiz sonuçlarından Şekil 1'deki boyutlar belirlenmiş ve tüm hesaplarda aynı model kullanılmıştır. Sistem simetrik olduğu için, SE analizlerinde simetri ekseninin sadece bir yarısı ile işlemler yapılmıştır. Analizlerde sık ağ aralığı seçilmiş ve donatılar arası yeniden sıklaştırılmıştır. Modelin düşey sınırlarında yatay yöndeki, taban sınırında ise hem yatay hem de düşey yöndeki hareket engellenmiştir.



Şekil 1. Analizlerde Kullanılan Model Kesiti

Taban zemini olarak yeraltı su seviyesi zemin yüzeyinden 3m aşağıda bulunan 10 m kalınlığındaki yumuşak bir kil tabakası seçilmiştir. Kili tanımlayıcı olarak Hammouri vd. (2008)'nin yaptıkları çalışmadaki gibi Mohr-Coulomb zemin modeli kullanılmıştır. Kil zeminin model parametreleri Tablo 1'de

verilmiştir. Literatür taranarak dolgu zemini olarak, parametreleri önceden deneylerle hesaplanmış bir kum örneği seçilmiştir (Laman ve Keskin, 2004). Dolgu zemini tanımlanırken pekleşen zemin modeli (Hardening Soil Model) kullanılmıştır. Kum zemin parametreleri Tablo 2’de verilmiştir. Analizlerde geosentetik donatı malzemesi olarak tek yönlü geogrid donatı kullanılması öngörülmüştür. Donatı malzemesi lineer elastik malzeme modeli ile tanımlanmıştır. Model parametreleri olarak; elastisite modülü $E=4887 \times 10^2$ kN/m², et kalınlığı $t=0,095$ cm, Poisson oranı $\nu=0,3$ ve elastik rijitlik $J=465$ kN/m alınmıştır (Yetimoğlu, 1994). Donatı geogrid olarak düşünülmüş ve SE analizlerinde zemin ile donatı arasında ara yüzey elemanı kullanılmamıştır. Kum dolgu, tabakalar halinde kademeli olarak inşa edilmiş ve her tabakanın serilmesi 5 gün olarak tanımlanmıştır. Dolgu şev inşası tamamlandıktan sonra üst yüzeye $q=10$ kN/m² sürşarj yükü uygulanmıştır.

Tablo 1. Kil zemin model parametreleri

Parametre	Simge	Birim	Değer
Kuru birim hacim ağırlık	γ_k	kN/m ³	16
Doygun birim hacim ağırlık	γ_d	kN/m ³	18
Permeabilite katsayısı	k	m/gün	0,001
Young modülü	E	kN/m ²	5000
Kohezyon	c	kN/m ²	5
Kayma mukavemet açısı	ϕ	(°)	28
Dilatasyon açısı	ψ	(°)	0
Poisson oranı	ν	-	0,33

Tablo 2. Dolgu zemin model parametreleri

Parametre	Simge	Birim	Değer
Kuru birim hacim ağırlık	γ_k	kN/m ³	17
Referans basınç değeri	p^{ref}	kN/m ²	100
Üç eksenli yükleme rijitliği	E_{50}	kN/m ²	28000
Üç eksenli boşaltma-yükleme rijitliği	E_{ur}	kN/m ²	72500
Ödometre yükleme rijitliği	E_{oed}	kN/m ²	28000
Gerilme seviyesine bağlı üs değeri	m	-	0,50

Kohezyon	c	kN/m ²	0,30
Kayma mukavemet açısı	φ	(°)	41
Dilatasyon açısı	ψ	(°)	11
Poisson oranı	v	-	0,20
Göçme oranı	R _f	-	0,9

3.BULGULAR

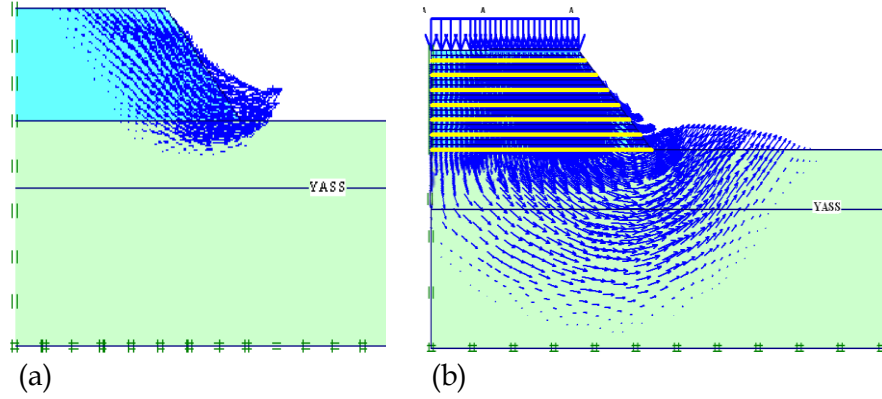
3.1. Donatı Sayısının Etkisi

İlk olarak 1/1 şev eğimli donatısız seddeler analiz edilmiştir. Şev, donatı kullanılmadan inşa edilmeye çalışıldığında stabil kalmamıştır. Şevin göçmesini önlemek amacıyla geosentetik donatılar kullanılmıştır. Donatıların sedde boyunca karşıdan karşıya tamamen uzatılarak yerleştirildiği durum için donatı sayısının etkisi incelenen analizlerde, kil zeminin üst yüzeyinden başlayarak; 100 cm, 75 cm, 50 cm ve 25 cm aralıklarla toplamda sırasıyla 5, 7, 10 ve 20 adet geosentetik donatı kullanılmıştır. Ani yükleme halinde (kısa süreli) ve konsolidasyon sonunda (uzun süreli) yapılan oturma analizlerindeki geosentetik donatılara gelen maksimum çekme kuvvetleri hesaplanmış ve geosentetik donatı sayısının (N) güvenlik sayısına etkileri araştırılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 3'te verilmektedir. 5 adet donatı kullanılan modelde şevin eğimli en üst ucunda bazı yüzeysel kaymalar olduğu için güvenlik hesabında sonuç alınamamış ve bu yüzden Tablo 3'de değerlendirme dışı bırakılmıştır. Böylece bu tür dik şevlerde donatı sayısı yetersiz kaldığı için yüzeydeki erozyona karşı önlem alınması gerektiği önerilmektedir. Tablo 3'ten görüldüğü üzere donatı sayısı arttıkça şevin güvenlik sayısı da büyümüştür. Uzun süreli analizler sonucunda bulunan güvenlik sayıları kısa süreliyelerden yaklaşık %35 daha büyük çıkmıştır. Bu durum; temel zemininin konsolide olduktan sonra mukavemetinin artmış ve donatılar ile üzerine gelen çekme kuvvetlerini karşılayarak da daha stabil hale geldiği görülmüştür. Ayrıca, donatı sayısı arttıkça güvenlik sayısı yaklaşık %6 büyümüştür ve böyle dik bir şevde dahi donatı sayısının şev güvenliğine etkisinin önemini göstermiştir.

Tablo 3. Sedde boyunca sürekli serilen donatılı şev için güvenlik sayıları (Gs)

Kullanılan toplam donatı sayısı (N)	7	10	20
Kısa süreli analiz sonrası	2,63	2,71	2,80
Uzun süreli analiz sonrası	3,52	3,76	3,78

Şekil 2’de göçme anında zeminde meydana gelen deformasyonların vektörel yönleri verilmektedir. Bu şekiller incelendiğinde donatılı şev için göçme deformasyon vektörlerinin donatısız şeve göre farklılık gösterdiği görülmektedir. Zeminin derinlere doğru hareket etmesi sağlanmış, daha büyük kayma yüzeyi ve taşıma kapasitesi oluşturmuşlardır. Bu durum, uygulama sahaları için önemli bir bilgi sağlamakta ve geosentetik donatıların şevin göçmesini engellediğini göstermektedir.

**Şekil 2.** Göçme anında yer değiştirme vektörlerinin davranışı: a- Donatısız şev, b-Donatılı şev

3.2. Donatı Boyunun Etkisi

Bu bölümde donatılar yalnızca şev kenarına, şevlerin stabil durmasını sağlayacak şekilde yerleştirilmiştir ve donatı uzunluklarının stabilite üzerine etkileri araştırılmıştır. İlk olarak donatılar 6m uzunluğunda ($L=6$) ve farklı sayılarda yerleştirilerek güvenlik sayıları incelenmiştir. Tablo 4’te $L=6$ m uzunluğundaki donatılı şevin kısa ve uzun süreli analizler sonucundaki güvenlik sayıları verilmiştir. Donatıların sedde boyunca sürekli olarak

karşıdan karşıya serilmesi durumunda elde edilen güvenlik sayılarının kısa boylu donatılara (L=6m) göre yaklaşık %87 daha büyük güvenlik sayılarına sahip oldukları görülmüştür. Kısa donatılara gelen çekme kuvvetlerinin daha küçük çıkması ile bu sonucun uyumlu olduğu belirlenmiştir. Beklendiği üzere uzun süreli analizlerden bulunan güvenlik sayıları kısa süreli analizlerden daha büyük çıkmıştır. Kısa süreli analizlerde N=20 sıra geosentetik donatılı şev, N=7 sıra geosentetik donatılı olan şeve göre %3, uzun süreli analiz sonucunda ise %15 daha fazla güvenlik sayısına sahiptir.

Tablo 4. 6m uzunluktaki donatılı şev için güvenlik faktörleri (Gs)

Kullanılan toplam donatı sayısı	7	10	20
Kısa süreli analiz sonrası Gs	1,45	1,47	1,50
Uzun süreli analiz sonrası Gs	1,60	1,83	1,84

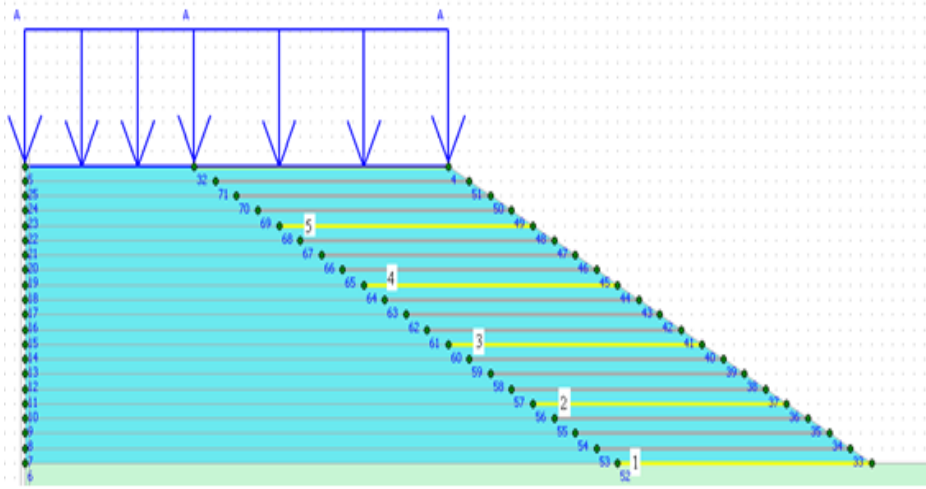
Donatı boyu değişiminin şev güvenliğine etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için diğer değişkenler aynı kalmak koşulu ile N=10 için donatı uzunluğunun L=4 m, 5 m, 6 m ve 7 m ve sedde boyunca karşıdan karşıya olduğu durumlar analiz edilmiştir. Tablo 5 incelendiğinde donatının uzunluğunun artması ile şevin güvenliğinin de bir miktar arttığı görülmüştür. Fakat güvenlik sayıları donatının sedde boyunca karşıdan karşıya olduğu durumdaki kadar etkili olamamıştır. Donatı sedde boyunca serildiğinde L=4m uzunluklu donatılı duruma nazaran neredeyse %100'lük bir artış gözlenmiştir. Böylece donatı uzunluğunun donatı sayısına nazaran şev stabilitesinde daha önemli bir değere sahip olabileceği görülmüştür.

Tablo 5. Farklı uzunluklu donatılı şevler için kısa süreli analizler sonuçlarındaki güvenlik sayıları (Gs)

Donatı Uzunluğu	4 m	5 m	6 m	7 m	Karşıdan karşıya
Güvenlik sayısı (Gs)	1,33	1,41	1,47	1,52	2,71

3.3. Şev Eğiminin Etkisi

Bu bölümde, sadece şevin eğimi $h=1/2$ olarak değiştirilmiş, diğer tüm özellikler aynı kalarak donatısız ve donatılı analizler yenilenmiştir. Yine, ilk olarak donatısız analiz yapılmış ve şevin stabil olmadığı görülmüştür. Donatılı hesaplar ise tekrar 100 cm, 75 cm, 50 cm ve 25 cm aralıklarla toplamda sırasıyla $N=5, 7, 10$ ve 20 alınarak yenilenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. 1/2 Eğimli 6m uzunluklu donatılı şev modeli (N=5)

Tablo 6'da farklı sayı ve uzunluktaki donatılı şev sistemlerinin güvenlik sayıları verilmektedir. Kısa süreli analizlerde; geosentetik donatı sedde boyunca karşıdan karşıya serilince $N=20$ adet donatılı sistem $N=5$ 'liye nazaran % 7,5; $L=6$ m donatılı uzunluklu durum için % 6 oranında güvenlik sayısını arttırmıştır. Uzun süreli analizlerde ise donatı sedde boyunca serilince $N=20$ adet donatılı sistem $N=5$ adetliden % 13,5; 6 m uzunluklu donatılı durum için % 1,4 güvenlik sayısını büyütüştür. Donatı sedde boyunca sürekli serildiğinde, geosentetik donatı sayısının arttırılmasının kısa uzunluklu durumlara göre güvenliği daha fazla etkilediği görülmüştür. Kısa analiz sonucunda donatının sedde boyunca serilmesinin 6 m uzunlukta serilmesine göre % 65, uzun vadeli analizlerde % 75-95 güvenlik sayısını arttırmıştır. Şev eğimi 1/1 den 1/2 değerine inince güvenlik

sayısının donatı sayısına göre %14-26 oranında büyüdüğü hesaplanmıştır.

Tablo 6. Farklı sayılarda donatılı $h=1/2$ eğimli şevde kısa ve uzun süreli analizler sonucunda elde edilen güvenlik sayıları

Donatı uzunluğu	Analiz çeşidi	N=5	N=7	N=10	N=20
Sedde boyunca	Kısa süreli analiz	2,96	2,98	3,10	3,18
Sedde boyunca	Uzun süreli analiz	3,86	3,88	4,36	4,38
6m	Kısa süreli analiz	1,79	1,84	1,86	1,90
6m	Uzun süreli analiz	2,21	2,22	2,24	2,24

Tablo 7'de $h=1/2$ eğimli şevde donatı boyunun güvenlik sayılarına etkisi $N=10$ için incelenmiştir. Donatı boyu her 1 m uzatıldığında güvenlik yaklaşık % 3 artmış, sedde boyunca serildiğinde ise bu oran yaklaşık 2 katına çıkmıştır (Çiçek ve Güler, 2014). Böylece farklı eğimli şev modelinde de donatının sedde boyunca karşıdan karşıya serilmesinin güvenliği en fazla etkileyen durum olduğu görülmüştür.

Tablo 9. Farklı donatı uzunluklu şevlerin güvenlik sayıları (Gs)

Donatı boyu	Kısa süreli analiz	Uzun süreli analiz
6 m	1,84	2,24
7 m	1,90	2,30
8 m	1,95	2,33
Sedde boyunca sürekli	3,11	4,36

4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, donatısız olarak inşa edildiği takdirde göçen bir dolgu şevin donatı sayısı artırılarak ve farklı donatı uzunluklu kullanılarak kısa ve uzun süreli analizlerde stabiliteye etkileri incelenmiş ve sonuçlar farklı şev eğimlerinde değerlendirilmiştir. Uygulamada kullanılacak değerli sonuçlar elde edilmiştir ve aşağıdaki gibi özetlenmiştir;

Yumuşak zeminin dolgu seddelerini güvenli bir şekilde taşıyabilmesi için geosentetik donatı kullanımı stabiliteyi önemli ölçüde arttırmıştır. Geosentetik donatılar şevin göçmesini engellemiş, ayrıca zemin daneciklerinin yanlara itilmesini engelleyip derinlere doğru hareket etmesini sağlayarak daha büyük kayma yüzeyi ve taşıma kapasitesi oluşturmuştur.

Beklendiği üzere; uzun süreli davranıştaki güvenlik sayısı kısa süreli nazaran her durumda daha yüksek çıkmıştır. Uzun süreli analizlerde zemin konsolidasyon oturmalarını tamamlarken, donatılar daha büyük çekme kuvvetleri alarak konsolidasyondan ve sürşarj yükünden dolayı şevde meydana gelebilecek deformasyonları önlemeye çalışmışlardır. Geosentetik donatı sayısı arttıkça güvenlik sayısı da artmıştır ve farklı donatı sayıları için elde edilen güvenlik faktörleri arasındaki fark azalmıştır.

Donatı, sedde boyunca sürekli serildiğinde çeşitli uzunlukta kullanılanlara göre çok daha yüksek güvenlik oluşturmuştur. Bu oranın diğer donatı boylarına nazaran yaklaşık 2 kat olduğu gözlenmiştir. Şev eğimi 1/1 den 1/2 değerine inince güvenlik sayısının donatı sayısına göre %14-26 oranında büyüdüğü hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda varılan genel kanaat, donatının sedde boyunca karşıdan karşıya uzatılmasının donatı sayısına ve incelenen diğer parametrelere oranla daha etkin bir avantaj sağladığıdır. Bu bakımdan özellikle çok geniş olmayan seddelerde, donatının karşıdan karşıya serilmesinin, sistemin ekonomik olarak çözülmesi açısından yararlı olacağı düşünülmektedir.

SEMBOLLER

G_s	:Güvenlik sayısı
J	:Elastik aksenal rijitliktir
γ_k	:Kuru birim hacim ağırlık
h	:Şev eğimi
q	:Sürşarj yükü
p^{ref}	:Referans basınç değeri
E_{50}	:Üç eksenli yükleme rijitliği
E_{ur}	:Üç eksenli boşaltma-yükleme rijitliği
E_{oed}	:Ödometre yükleme rijitliği
m	:Gerilme seviyesine bağlı üs değeri
c	:Kohezyon
φ	:Kayma mukavemet açısı
ψ	:Dilatasyon açısı
ν	:Poisson oranı
R_f	:Göçme oranı
E	:Young modülü
k	:Permeabilite katsayısı
N	:Donatı sayısı
L	:Donatı boyu

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yazarları destekleri için TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Araújo, G.L.S., Palmeira, E.M. and Macêdo, Í.L. 2012. Comparisons Between Predicted and Observed Behaviour of A Geosynthetic Reinforced Abutment on Soft Soil, *Engineering Geology*, 147-148, 101-113.
- Brinkgreve, R.B.J., Broere, W. and Waterman, D. 1998. *Plaxis Manual, Plaxis Finite Element Code For Soil And Rock Analyses*, Plaxis Ltd, Delft, The Netherlands.
- Borges, J.L. and Cardos, A.S., 2002. Overall stability of geosynthetic-reinforced embankments on soft soils, *Geotextiles and Geomembranes*, 20, 395-421
- Çiçek, E. Ve Güler, E., 2014. Geosentetik İle Donatılanmış Şevde Donatı Uzunluğu ve Sayısının Etkisi, *Altıncı Ulusal Geosentetikler Konferansı*, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- El Sawwaf, M.A. 2007. Behavior of strip footing on geogrid-reinforced sand over a soft clay slope, *Geotextiles and Geomembranes*, 25, 50-60.
- Griffiths, D.V. 1993. Analysis of Delayed Failure in Sloping Excavations, *Journal of Geotech. Engrg.*, 119, 1360-1378.
- Hammouri, N.A., Malkawi, A.I.H. and Yamin, M.M.A. 2008. Stability Analysis of Slopes Using The Finite Element Method and Limiting Equilibrium Approach, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 471-478.
- Laman, M. ve Keskin, M. S. 2004. Kumlu Zeminlere Oturan Kare Temeller Altında Düşey Gerilme Analizi, *TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri*, 431, 53-57.
- Öz, E., 2007. Şev Stabilitesi ve Mühendislik Uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Özsoy, C., 1998. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde şev stabilitesi ve uygulama yöntemleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Park, T. and Tan, S.A. 2005. Enhanced performance of reinforced soil walls by the inclusion of short fiber, *Geotextiles and Geomembranes*, 23, 348-361.
- Taechakumthorn, C. and Rowe, R.K. 2012. Performance of Reinforced Embankments on Rate-Sensitive Soils Under Working .Conditions Considering Effect of Reinforcement Viscosity, *International Journal of Geomechanics*, ASCE, 12, 381-390.

- Tandjiria, V., Lowb, B.K. and Teh, C.I. 2002. Effect of reinforcement force distribution on stability of embankments, *Geotextiles and Geomembranes*, 20, 423-443.
- Tekin, A., 2011. Sonlu Elemanlar ve Limit Denge Yöntemleri ile Şev Stabilitesi Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Vashi, J.M., Desai, A.K. and Solanki, C.H. 2012. Assessment of Reinforced Embankment on Soft Soil with PET and PP Geotextile, *International Journal of Civil and Structural Engineering*, 2 (3), 828-837.
- Yetimoğlu, T. 1994. Geogrid-Donatılı Kum Zemine Oturan Temellerin Taşıma Kapasitesi, Doktora tezi, İTÜ Fen Bil. Enstitüsü.
- Yıldırım, D., 2009. Geogrid Donatılı Stabilite Dolgu Tabakası ile Kil Zeminlerin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.