

## DERİN KARIŞTIRMA KOLONLARI İLE İYİLEŞTİRİLEN DOLGU TABANI İÇİN LİMİT DENGİ YÖNTEMİNE DAYALI PARAMETRİK BİR ÇALIŞMA

### A PARAMETRIC STUDY BASED ON LIMIT EQUILIBRIUM METHOD FOR AN EMBANKMENT WITH DEEP MIX COLUMNS

Abdulkadir KINCAL<sup>1</sup>, İlknur BOZBEY<sup>2</sup>, Fatma Tuğçe ÇINAR ÖZKAN<sup>3</sup>

#### ÖZET

Derin karıştırma yöntemi (DSM), doğal zeminin çimento, kireç, uçucu kül vb. gibi bağlayıcılarla karıştırılması ile zeminde kolonlar oluşturulması ve zeminin yerinde iyileştirilmesi işlemidir. Günümüzde derin karıştırma yöntemi yumuşak zeminler üzerinde yapılan dolgularda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında dolgu altında imal edilen derin karıştırma kolonları için limit denge analizleri kullanılmıştır. Dolgu altında imal edilen derin karıştırma kolonları için muhtemel göçme mekanizmaları tanımlanmış ve tüm göçme mekanizmalarını aynı anda analiz etmek üzere bir EXCEL sayfası hazırlanmıştır. Hazırlanan hesap adımları örnek bir problemin sonuçları kullanılarak doğrulanmıştır. Bir sonraki aşamada dolgu yüksekliği, kolon duvarının uzunluğu ve derin karıştırma kolonlarının dayanım değerleri değiştirilerek bu parametrelerin göçme mekanizmasına olan etkileri incelenmiştir. Farklı dolgu yüksekliği ve kolon dayanım değerleri için kritik göçme mekanizmalarının değişebileceği görülmüştür. Çalışma ile dolgu altındaki derin karıştırma kolonlarının göçme davranışının anlaşılması hedeflemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Derin karıştırma yöntemi, zemin iyileştirme, dolgu, limit denge analizleri, güvenlik sayısı

#### ABSTRACT

The deep mixing method (DSM) is that mix cement, lime, fly ash, etc. with soil. So, it is the creation of columns on the soil there. Today, the deep mixing method is also often used for embankments that are usually made on soft soils. In the scope of this study, the design of the deep mixing columns under the embankment was examined by performing limit equilibrium analyses. In this study, first, the possible failures modes for deep mix columns were determined. An EXCEL sheet was prepared to analyse all failures mechanisms

<sup>1</sup> İnşaat Mühendisi, İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, [akincal1@hotmail.com](mailto:akincal1@hotmail.com) (Sorumlu Yazar)

<sup>2</sup> Prof. Dr., İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, [ibozbey@iuc.edu.tr](mailto:ibozbey@iuc.edu.tr)

<sup>3</sup> Arş. Gör., İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, [fatmatugce.cinar@iuc.edu.tr](mailto:fatmatugce.cinar@iuc.edu.tr)

simultaneously. The prepared calculation steps were verified using the results of an example problem. In the next stage, parameters such as embankment height, length of shear walls consisting of intersecting deep mixing columns and unconfined strength of deep mixing columns were changed and the effects of these parameters on the design were examined. It was shown that different embankment heights and columns strengths changed the critical failure mechanism. The study will be useful for understanding the behavior of deep mixing columns under the embankment.

**Keywords:** *Deep soil mixing, ground improvement, embankment, limit equilibrium analysis, safety factor*

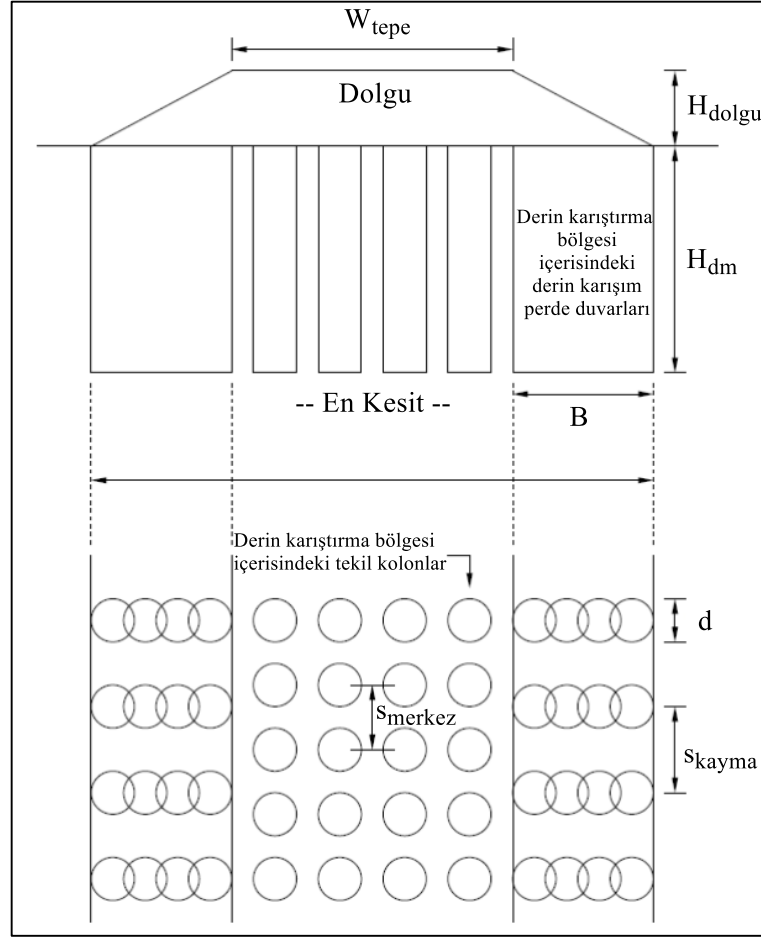
## 1. DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ

Derin karıştırma yöntemi (DSM), bağlayıcılar olarak adlandırılan çimento ya da diğer malzemeler ile karıştırılmış tabii zeminlerin ya da dolguların yerinde iyileştirmesidir (Bruce ve diğ., 2013). Derin karıştırma yönteminde amaç zeminlerin sıkışabilirliğini azaltmak ve mukavemetini artırmaktır. Derin karıştırma yöntemi için bağlayıcı malzemeler çimento, kireç, uçucu kül, cüruf ve diğer bağlayıcı malzemelerden oluşabilmektedir (Filz ve diğ., 2012). Yumuşak zeminin mühendislik özelliklerini iyileştirmek için kullanılabilen bu yöntemin genel uygulaması karıştırıcı shaft yardımı ile zemin karıştırılırken aynı zamanda bağlayıcı maddenin enjekte edilmesi ile hedeflenen boyutlarda karıştırma kolonu oluşturulmasıdır. Kuru ya da ıslak bağlayıcı ile oluşturulabilen bu kolonlar ile zeminin daha yüksek mukavemet değerine, daha yüksek permabiliteye, daha düşük sıkıştırılabilirlik özelliğine sahip olmasını amaçlanır (Timoney, 2012). Diğer yöntemlerde olduğu gibi derin karıştırma yönteminde de tasarım sürecinin doğru yürütülmesi önemlidir. Bağlayıcı türü ve miktarının uygulamaya göre doğru seçilmesi gerekir.

Dolgu altında imal edilen derin karıştırma kolonlarında göçme farklı biçimlerde meydana gelebilir. Tasarımın tüm bu göçme durumlarını dikkate alacak ve önleyecek şekilde yapılması gereklidir. Bu bildiride FHWA (2013)'te sunulan tasarım metodolojisi takip edilmiştir. Bu metodoloji olası tüm göçme mekanizmaları için yapılan limit denge analizine dayanmaktadır. Bu çalışmada örnek bir dolgu altı DSM uygulaması için tüm göçme modlarını dikkate alan bir hesaplama yapılmış ve kritik olan göçme mekanizması bulunmuştur. Kritik göçme modunun DSM duvar genişliği ve kolon mukavemeti ile ne şekilde değiştiğine yönelik bir parametrik çalışma yapılmıştır.

## 2. DOLGU ALTINDA DERİN KARIŞTIRMA İYİLEŞTİRMESİ TASARIMI

Yol dolguları için en yaygın konfigürasyon tekil kolonlar ve kesişen kolonlardan oluşan perde duvarlardır. Sık olarak kullanılan bir DSM yerleşim planı Şekil 1'de verilmiştir (FHWA, 2013).



Şekil 1. Dolgu altındaki derin karıştırma bölgesi için örnek bir yerleşim planı (FHWA, 2013)

DSM uygulamasında alan değiştirme oranı, pratik olarak kolonun kesit alanının, kolonu çevreleyen zeminin alanına oranı olarak tanımlanmaktadır. FHWA (2013) dolgu altı için Şekil 1’de verilen yerleşim geometrisini önermektedir. Dolgu merkezi altındaki kolonların alan değiştirme oranı  $a_{s,merkez}$ , dolgu şevleri altında kalan perde duvarların alan değiştirme oranı ise  $a_{s,duvar}$  ile gösterilmektedir.  $a_{s,merkez}$  ve  $a_{s,duvar}$  değeri yaklaşık olarak 0.2 ile 0.4 arasında değişmektedir. FHWA (2013)  $a_{s,duvar}$  değerinin,  $a_{s,merkez}$  değerine eşit ya da büyük olması gerektiğini tanımlanmıştır. Farklı kaynaklarda bu değerlerin daha küçük olarak alındığı değerler de yer almaktadır (Jamsawang ve diğ., 2016). Bu bildiride FHWA (2013)’te önerilen minimum değerler kullanılmıştır.

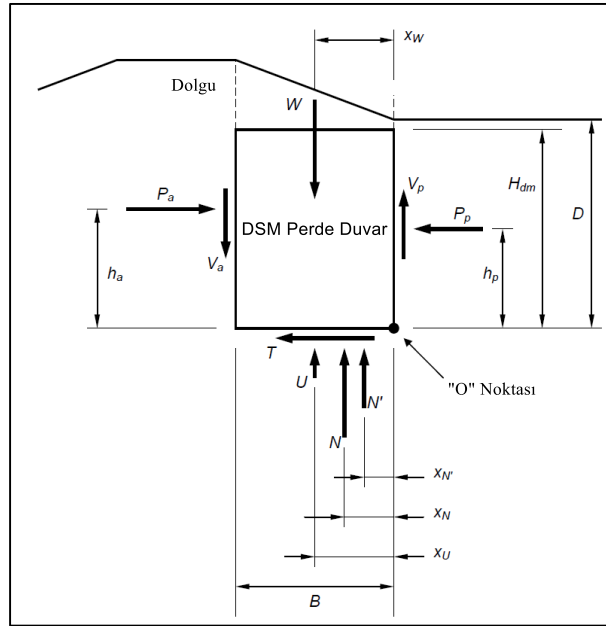
Dolgu altında imal edilen kolonlarda farklı göçme mekanizmaları oluşabilir. Hangi göçme mekanizmasının tasarımda kritik olacağı yükleme koşullarına, zemin ve kolon özelliklerine bağlıdır. Sayısal yöntemler kullanılarak yapılan çözümlerde, zemin ve kolon ortamına dair yapılan bazı kabuller, bazı göçme modlarının göz ardı edilmesine yol açabilir. Bu nedenle tasarımcının sayısal yöntemler ile çözüm yapacağı durumlarda da, DSM kolonlarında göçmenin nasıl oluşabileceği konusunda fikir sahibi olması beklenir. Bu çalışmanın amacı yol dolgusu altındaki DSM kolonlarındaki göçme mekanizmalarının incelenmesi ve tasarıma dair özelliklerden nasıl etkilendiğinin bulunmasıdır. Yol dolgusu altındaki DSM kolonları için FHWA (2013)’de tanımlanmış olan göçme mekanizmaları aşağıda kısaca tanımlanmıştır. Oturma analizi bu bildiri kapsamı içine alınmamıştır, ancak tasarımı etkileyen bir kriter olduğu muhakkaktır.

*a. Şev Stabilitesi Tahkiki*

Yol dolguları altındaki DSM kolonlarını etkileyen göçme modlarından birisi dolguyu ve altındaki kolonları da içine alan şev göçmesidir. Kritik göçme düzlemini ve güvenlik sayısını belirlemek için şev stabilitesi analizi yapılmalıdır. Kritik kayma düzlemi DSM kolonlarının tamamen altından, üzerinden veya içinden geçebilir. Şev stabilitesi analizlerinde dolgu altındaki zemin kompozit bir bölge olarak tanımlanmaktadır, bu nedenle iyileştirilmiş zeminin mukavemet parametreleri alan değiştirme oranı, DSM kolonların mukavemeti ve zeminin mukavemeti kullanılarak hesaplanır. İlgili formüller FHWA (2013)'de sunulmuştur. Bu bildiride dolgu tabanını tanımlayan mukavemet parametreleri tanımlandıktan sonra, SLOPEW şev stabilitesi programı kullanılarak şev stabilitesi analizleri yapılmıştır.

*b. Birleştirilmiş Duvar Devrilme ve Taşıma Gücü Tahkiki*

Dolgu altında DSM kolonlarından oluşan perde duvarda devrilme ve duvar tabanında taşıma gücüne bağlı olarak göçme oluşabilir, bu nedenle bu perde duvarı bir istinat yapısı olarak değerlendirip analiz yapılır. Duvar üzerinde etkili olan kuvvetler ve hesaplarda kullanılan mesafeler Şekil 2'de gösterilmektedir. FHWA (2013), devrilme ve taşıma gücü tahkikini birleştirerek tek bir güvenlik sayısı üzerinden bu ikisini değerlendirmektedir. Duvar taşıma gücü için temel taşıma gücü formüllerinden yararlanılır. Şekil 2'de duvar tabanında O noktasında oluşan topuk gerilme değeri, ilgili duvar için hesaplanan nihai taşıma gücü değeri ile karşılaştırılmakta ve bir güvenlik sayısı elde edilmektedir.



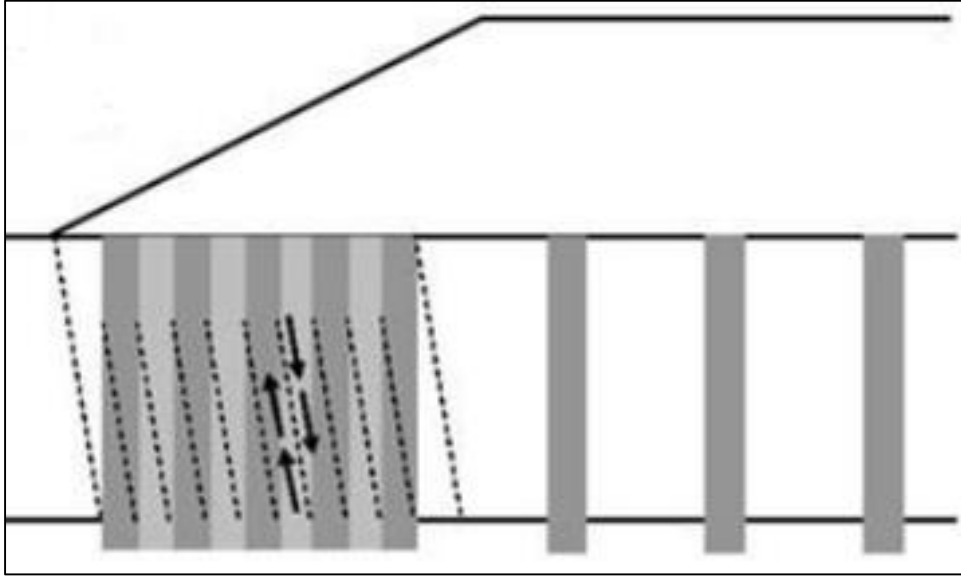
Şekil 2. Birleştirilmiş duvar devrilme ve taşıma gücü tahkiki için hesaplarda kullanılan kuvvetler ve mesafeler

*c. DSM Duvarların Topukta Kırılması*

DSM perde duvarı sert bir tabakaya oturuyor ise, yatay yükler sebebiyle DSM kolonunun mukavemetini aşan gerilmeler oluşabilir. Bu değer derin karıştırma kolonunun topukta taşıyabileceği müsaade edilen gerilme değeri ile karşılaştırılır. İlgili formüller FHWA (2013)'te verilmektedir.

*d. DSM Duvarların Düşey Düzlemlerinde Oluşan Göçme*

Diğer bir göçme tipi ise DSM perde duvarların düşey düzlemlerinde oluşabilecek göçmedir. Bitişik kolonlar arasındaki kesişim mesafesi yeterli değil ise perde duvarda raf tipi göçme meydana gelebilir. Bu göçmeye karşı güvenliğin bulunması için öncelikle kesitlere gelen kayma gerilmeleri hesaplanır ve müsaade edilen değerlerle karşılaştırılır. Bu tür göçme modu üst üste gelme mesafesi yeterli olmayan keşişen kolonlarda oluşabilir.



Şekil 3. DSM perde duvarda düşey düzlemde oluşabilen göçme modu (URL1)

*e. DSM Duvarlar Arasındaki Zemin Ekstrüzyonu*

Perde duvarlar geniş aralıklı ise perde duvarlar arasında yumuşak zemin ekstrüzyonu meydana gelebilir. Perde duvarlar arasındaki ekstrüzyonun normal şartlar altında kumlarda ya da katı killerde meydana gelmesi mümkün değildir. Bu yüzden sadece yumuşak kil katmanlarında bu göçme tipi araştırılmalıdır. Perde duvarlar arasındaki maksimum net açıklık yumuşak kil ekstrüzyonunu önlemek için sınırlandırılmalıdır. Eğer projeye özgü nedenlerden dolayı kritik  $s_{kayma} - d$  değeri daha büyük bir değer olarak isteniyorsa, bu durumda perde duvar uzunluğu artırılabilir.

*f. Güvenlik sayılarının seçimi*

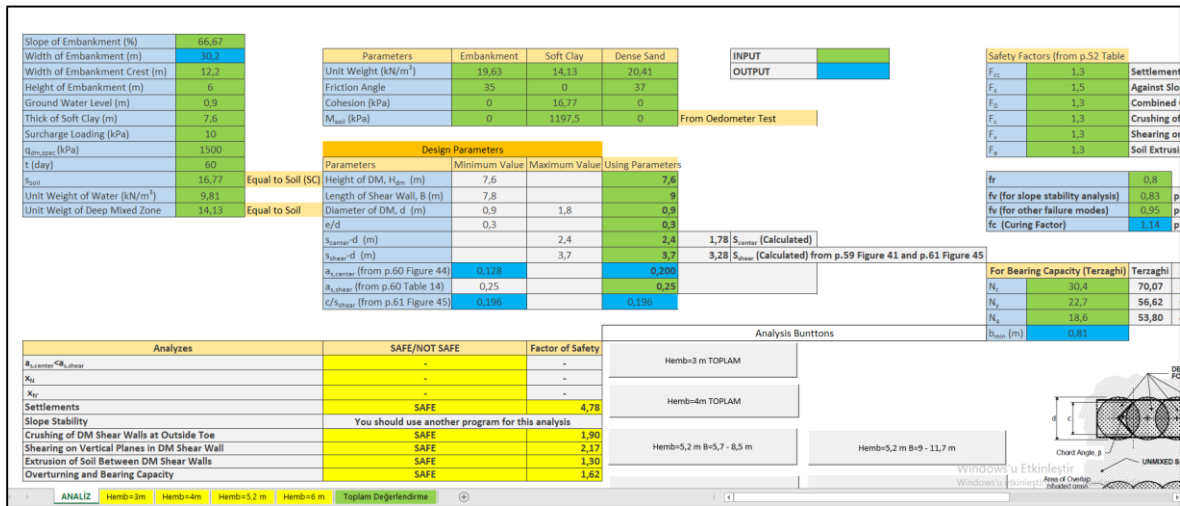
Bu göçme modlarından hangisinin tasarımda belirleyici olacağının belirlenmesi için, hangi güvenlik sayısının kabul edilir olduğunun da bilinmesi gereklidir. Bu bildiride güvenlik sayıları tüm metodoloji ile uyumlu olması bakımından FHWA (2013)'de verildiği gibi seçilmiştir. Her göçme mekanizması için izin verilen güvenlik sayıları Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Derin karıştırma ile destekli dolguların tasarımı için tipik tasarım güvenlik katsayıları (Bruce ve diğ., 2013, FHWA, 2013).

| Sembol   | Tanım                                                                                                                   | Minimum Tasarım Değerleri |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| $F_{cc}$ | Derin karıştırma kolonlarla izole merkezin göçmeye karşı güvenlik katsayısı                                             | 1.3                       |
| $F_s$    | Derin karıştırılmış bölge boyunca kayma ve genel stabiliteyi içeren, şev stabilitesi göçmesine karşı güvenlik katsayısı | 1.5                       |
| $F_o$    | Derin karıştırılmış perde duvarların devrilme ve taşıma kapasitesi göçmesine karşı güvenlik katsayısı                   | 1.3                       |
| $F_c$    | Derin karıştırılmış bölgenin ucunda derin karıştırılmış zeminin kırılmaya karşı güvenlik katsayısı                      | 1.3                       |
| $F_v$    | Derin karıştırılmış bölge boyunca düşey düzlem üzerinde kaymaya karşı güvenlik katsayısı                                | 1.3                       |
| $F_e$    | Derin karıştırılmış perde duvar boyunca zemin çekmesine karşı güvenlik katsayısı                                        | 1.3                       |

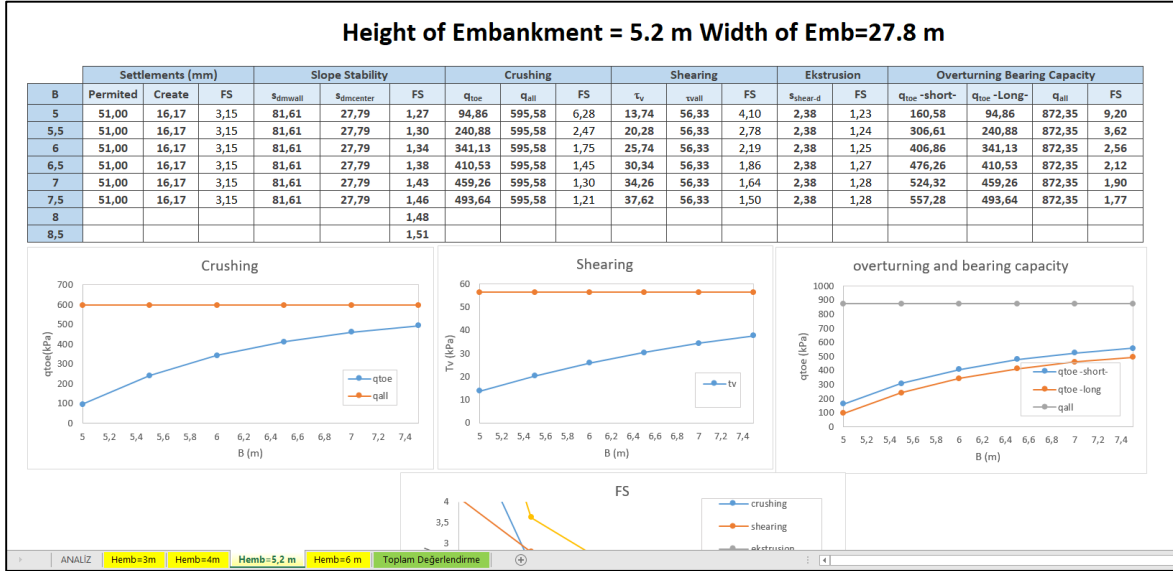
### 3. YÖNTEM

Bu bildiride yukarıda verilen göçme mekanizmaları için hesaplama sistematığı geliştirilmiş ve bir EXCEL sayfası hazırlanmıştır. Hesap adımları ilgili yayında bulunan bir tasarım örneği sonuçları kullanılarak doğrulanmıştır. Hazırlanan çalışmanın esası tasarımı yapılan dolgu geometrisi, zemin parametreleri, derin karıştırma kolonu serbest basınç dayanımı vb. değerlerin girdi olarak girilmesi sonucunda çalışılan tasarımın limit denge yöntemlerine dayalı hesaplar yoluyla çeşitli göçme mekanizmalarının kontrol edilmesine dayanmaktadır. Şekli 4'te EXCEL sayfasından örnek görüntü verilmektedir.

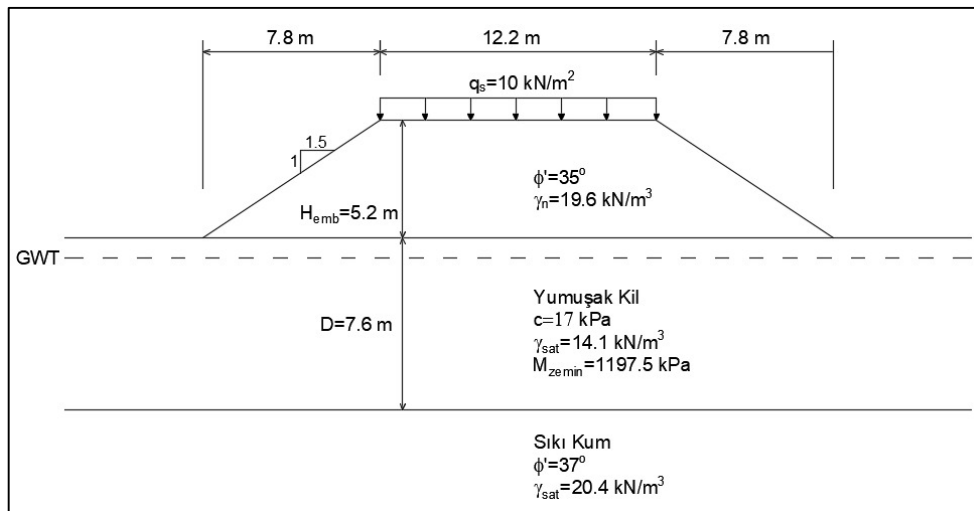


Şekil 4. Hazırlanmış olan Excel sayfası

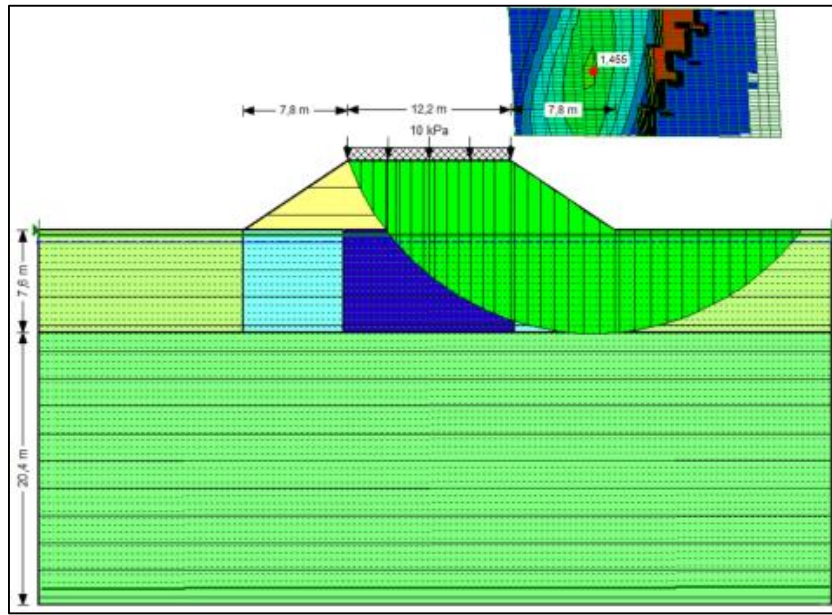
EXCEL sayfasında bulunan makrolar kullanılarak belirli bir dolgu yüksekliğine ve DSM perde duvar genişliğine (B) bağlı olarak değerlendirmesi yapılan göçme mekanizmalarının hangisinin tasarım geometrisini belirlediği ve güvenlik sayılarındaki değişim grafikler halinde görülebilmektedir. Şekil 5'te örnek grafikler verilmektedir.



EXCEL’de hazırlanmış olan hesaplar FHWA (2013)’deki örnek bir problem çözülerek doğrulanmış ve daha sonra parametrik bir çalışma yapılmıştır. Çalışılan geometri Şekil 6’da verilmektedir. Bu örnekte zemine ait drenajsız kayma mukavemeti değeri 17 kPa, kil altındaki sıkı kum tabakası için mukavemet açısı  $37^\circ$  olarak verilmiştir. Bu çalışma için derin karıştırma kolonunun serbest basınç mukavemeti ( $q_{\text{dsm}}$ ) sırasıyla 500 kPa, 862 kPa ve 1500 kPa olarak alınmış ve farklı kolon mukavemetlerinin göçme modlarına etki seviyesi incelenmiştir. Bu üç değer zayıf, orta ve daha yüksek mukavemete sahip kolonları temsil etmektedir ve farklı miktarda çimento dozajı veya w:c oranı ile ulaşılabilecek değerler olduğu kabul edilmiştir. Dolgu yükseklikleri 4 m, 5.2 m ve 6 m olarak seçilmiştir. Daha düşük dolgu yüksekliklerinde de analiz yapılmakla birlikte, güvenlik sayıları her durumda minimum değerlerin üzerinde olduğu için bildiri kapsamında sunulmamıştır. Dolgu şev açısı tüm geometrilerde 1/1.5 olarak seçilmiştir. Duvarlar arası net açıklık değeri 2.38 m olarak alınmıştır. Şev analizinde Spencer yöntemi kullanılmıştır. Perde duvarın şev topuğundan başladığı ve genişliğinin yani B değerinin şev tepesine kadar arttığı durumlar için analiz yapılmıştır. Şekil 7’de örnek bir şev stabilitesi analizi verilmiştir.



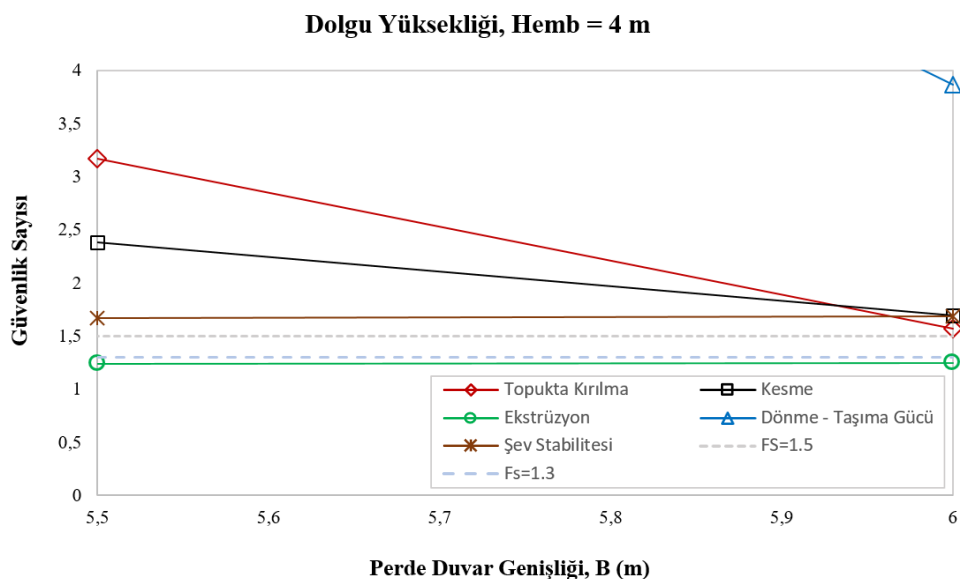
Şekil 6. Çalışılan örnek bir geometri



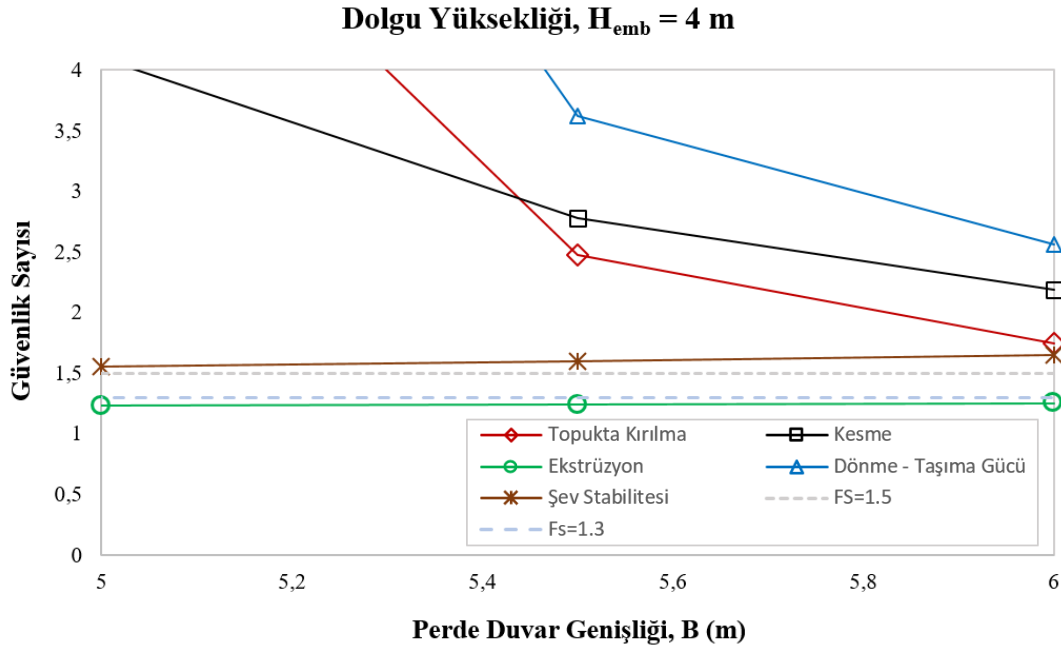
Şekil 7. Örnek bir şev stabilitesi analizi

## 4. SONUÇLAR

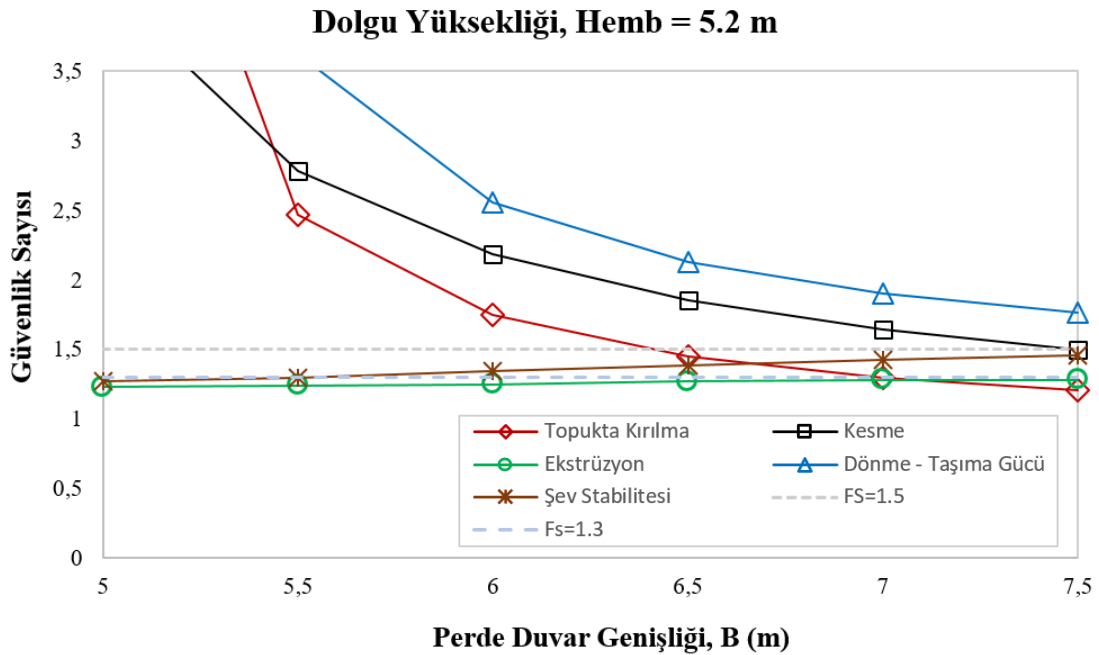
Analiz sonuçları aşağıda grafikler halinde sunulmuştur. Talep edilen güvenlik sayıları Tablo 1’de verildiği gibi seçilmiş ve tüm güvenlik sayılarını sağlayan duvar genişliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Şekil 8 ve Şekil 9’da görüldüğü gibi dolgu yüksekliği 4 m olduğunda kolon mukavemet değerlerinin 500 kPa olması veya 862 kPa olması durumunda oldukça küçük bir aralıkta seçilen (5.5-6) m duvar genişliklerinde güvenlik sayılarının ekstrüzyon hariç tüm göçme modları için yeterli olduğu görülmektedir. Sadece ekstrüzyon modu için kritik güvenlik sayısının (1.3) çok az altında bir değer elde edilmiştir. Hesap sistematığı kolon mukavemeti azaldığında ilave olarak alan yer değiştirme oranının artmasına ve böylece güvenliğin sağlanmasına da yöneliktir.

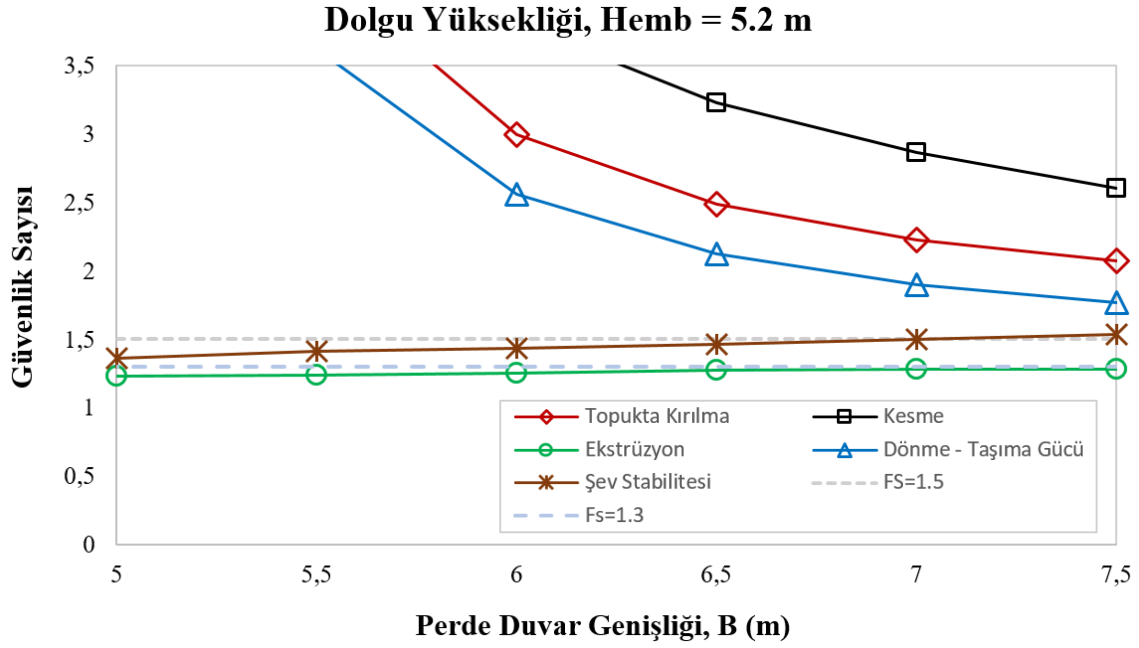


Şekil 8.  $H_{emb} = 4$  m ve  $q_{dsm} = 500$  kPa için güvenlik sayısı-duvar genişliği

Şekil 9.  $H_{emb} = 4$  m ve  $q_{dsm} = 862$  kPa için güvenlik sayısı-duvar genişliği

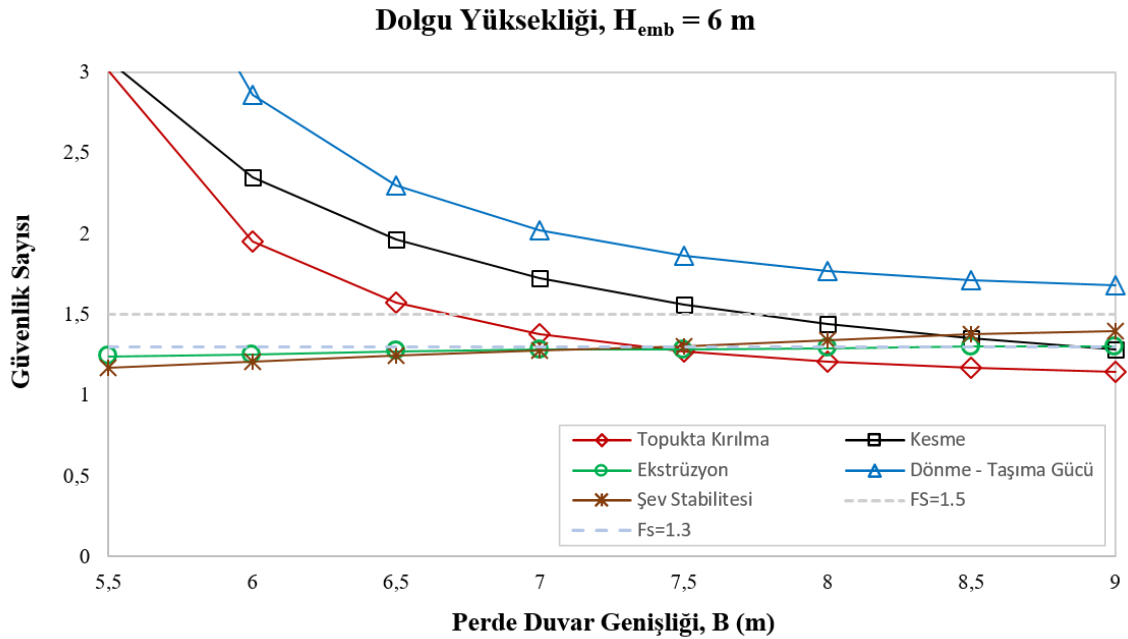
Şekil 10 ve Şekil 11, dolgu yüksekliği 5.2 m için yapılan hesapları göstermektedir. Dolgu yüksekliği 5.2 m olduğunda, DSM kolon mukavemeti 862 ve 1500 kPa için duvar genişliği arttıkça, şev stabilitesi bakımından sırasıyla minimum 7.5 m ve 6.8 m'lik duvar genişliği gerektiği görülmektedir. Ekstrüzyon için güvenlik sayısında B ile birlikte az da olsa artış görülmektedir. Kolon dayanımı 862 kPa değeri için B değerleri büyüdükçe topukta kırılma için güvenlik sayısında düşüş olduğu görülmektedir. Bu dolgu yüksekliği için en düşük kolon mukavemeti olan 500 kPa değeri, şev güvenliğini sağlamakta kabul edilebilir B değerleri için sorun yaşanması nedeniyle kullanılmamıştır.

Şekil 10.  $H_{emb} = 5.2$  m ve  $q_{dsm} = 862$  kPa için güvenlik sayısı-duvar genişliği

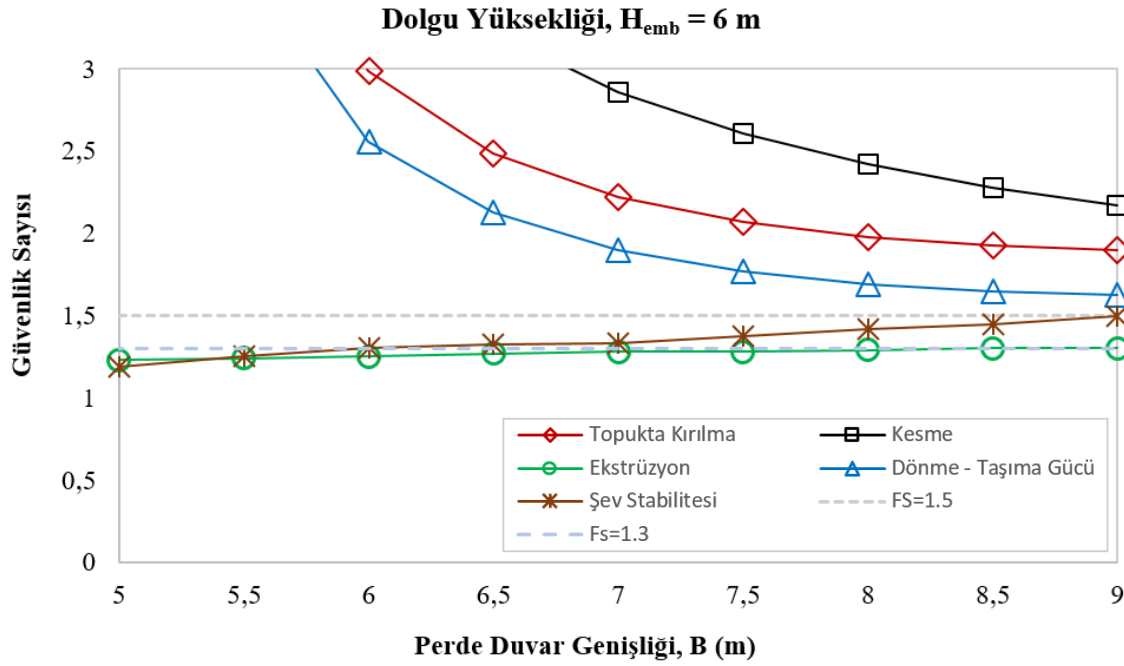


Şekil 11.  $H_{emb} = 5.2$  m ve  $q_{dsm} = 1500$  kPa için için güvenlik sayısı-duvar genişliği

Şekil 12 ve Şekil 13, duvar yüksekliği 6 m için elde edilen grafikleri göstermektedir. Duvar yüksekliği 6 m olduğunda, 862 kPa kolon mukavemet değerleri ile 9 metrelik bir duvar genişliği bile şev stabilitesi bakımından minimum güvenliğin sağlanması için yeterli olmamaktadır. Bu dolgu yüksekliğinde, 862 kPa için yine topukta kırılma için güvenlik sağlanmamaktadır. Kolon mukavemet değeri 1500 kPa olduğunda ise 9 metrelik bir duvar genişliği tüm göçme mekanizmaları için yeterlidir.



Şekil 12.  $H_{emb} = 6$  m ve  $q_{dsm} = 862$  kPa için güvenlik sayısı-perde duvar genişliği



Şekil 13.  $H_{emb} = 6$  m ve  $q_{dsm} = 1500$  kPa için güvenlik sayısı–perde duvar genişliği

Topukta kırılma tahkiklerinde, topukta izin verilen gerilme değeri derin karıştırma kolonlarının mukavemeti ile ilişkili olarak hesaplanmaktadır. Serbest basınç mukavemetinin arttığı (500 kPa, 862 kPa ve 1500 kPa) durumda perde duvarların topuk kısmındaki  $q_{izin}$  verilen değerinin ve güvenlik sayısının aynı B değeri için arttığı görülmektedir. Duvarlarda kolon kesişimlerinde düşey düzlemlerinde izin verilen kayma gerilmesi değeri de derin karıştırma kolonlarının mukavemeti ile ilişkilidir ve bu nedenle bu değer derin karıştırma kolonunun serbest basınç dayanımının artması sonucu artmaktadır. Ancak bu iki göçme durumu için aynı mukavemet değeri için B değeri arttıkça duvarın ağırlığı ve uyguladığı kesme kuvveti de arttığından, güvenlik sayısı değerinde azalma görülmektedir.

Yapılan analizler sonucunda seçilen zemin drenajsız mukavemet değeri için zemin ekstrüzyon güvenlik sayısının B değerine bağlı olarak çok az değişim gösterdiği görülmüştür. Zemin ekstrüzyonu tahkiklerinde dikkat edilmesi gereken konulardan birisi de DSM duvarları arasındaki net açıklık mesafesidir. Duvarlar için seçilen net açıklık değerinin güvenlik sayısında oldukça etkili olduğu bu bildiride yer kısıtı nedeniyle verilememekle birlikte görülmüştür.

Birleşik devrilme ve taşıma gücü tahkiklerinde perde duvarların topuk kısmında oluşan  $q_{topuk}$  değerinin perde duvarın temel taşıma gücü değerinden düşük olması gereklidir. Bu örnekte duvarın taşıma gücü için duvarın oturduğu zeminin özellikleri kullanılmaktadır. Duvar genişliği arttıkça duvar ağırlığının ve yatay kuvvetlerin artması neticesinde bu tahkikte güvenlik sayılarında düşüş olduğu, ancak şev stabilitesi bakımından kabul edilen tüm minimum duvar genişliği değerleri için bu tahkiklerin sağlandığı görülmektedir. Bu grafikler farklı kolon mukavemet değerleri için farklı güvenlik sayılarının seçilmesi durumunda tasarımın nasıl değişeceği konusunda yol gösterici olabilir.

## 5. SONUÇ

Bildiri kapsamında FHWA (2013)'te verilen dolgu altındaki derin karıştırma kolonlarının göçme mekanizmaları detaylı olarak incelenmiştir. Bir EXCEL hesap sayfası hazırlanmış ve çeşitli parametrik analizler yapılmıştır. Analizler sırasında derin karıştırma kolonunun serbest basınç mukavemeti ve dolgu yüksekliği değiştirilerek güvenlik sayıları belirlenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda çalışılan parametreler bakımından şev stabilitesinin kritik göçme mekanizması olduğu, ancak diğer göçme mekanizmalarının da (topukta kırılma, kesme, ekstrüzyon ve devrilme-taşıma gücü) muhakkak dikkate alınması gerektiği görülmektedir. DSM kolonlarının mukavemeti tüm göçme modlarında güvenlik sayısını etkilemektedir. Ayrıca tasarım için hedeflenen güvenlik sayısı da büyük önem taşımaktadır.

## KAYNAKLAR

- Bruce, M.E.C., Berg, R.R., Collin, J.G., Filz, G.M., Terashi, M. ve Yang, D.S. (2013), "Federal Highway Administration Design Manual: Deep Mixing for Embankment and Foundation Support", (No. FHWA-HRT-13-046).
- Çınar, F.T. (2016), "Derin Karıştırma Yönteminde İyileştirme Seviyesini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Filz, G., Adams, T., Navin, M. ve Templeton, A.E. (2012), "Design of deep mixing for support of levees and floodwalls, In Keynote Lecture", Proc. of 4th Int'l Conference on Grouting and Deep Mixing, New Orleans, LA, LF Johnson, DA Bruce, MJ Byle Eds., Geotechnical Special Publication (Vol. 228).
- Jamsawang P., Yoobanpot N., Thanasisathit N., Voottipruex P., Jongpradist P. (2016), "Three-dimensional numerical analysis of DCM column-supported highway embankment", Computers and Geotechnics, 72 (2016) 42-56
- Timoney, M.J., McCabe, B.A., Bell, A.L. (2012), "Experiences of dry soil mixing in highly organic soils", Ground Improvement, Vol 165(1), 3-14.
- URL1: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/bridge/13046/003.cfm>

## SEMBOL LİSTESİ

| Sembol         | Açıklama                    | Sembol             | Açıklama                      |
|----------------|-----------------------------|--------------------|-------------------------------|
| $Q_{dsm}$      | Serbest basınç dayanımı     | $Q_{topuk}$        | Topuk basıncı                 |
| $a_{s,merkez}$ | Alan değiştirme oranı       | $Q_{izin verilen}$ | İzin verilen taşıma gücü      |
| $a_{s,duvar}$  | Alan değiştirme oranı       | $S_{kayma} - d$    | Perde duvar arası net açıklık |
| $H_{emb}$      | Dolgu yüksekliği            |                    |                               |
| $S_{merkez}$   | Kolonlar arası mesafe       |                    |                               |
| $S_{kayma}$    | Perde duvarlar arası mesafe |                    |                               |