

YUMUŞAK KİL ZEMİNE OTURAN DOLGULARIN TAŞ KOLON VE KADEMELİ DOLGU YÖNTEMİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

IMPROVEMENT OF THE ROAD EMBANKMENTS THAT SETTLE ON SOFT CLAY LAYERS BY STONE COLUMN AND STAGED CONSTRUCTION METHOD

Tolgahan FEYİZOĞLU¹, Özgen KÖKTEN²

ÖZET

Yol dolgularının tasarımında, dolgu temel zeminini oluşturan tabakalar ve malzeme özellikleri önem arz etmektedir. Yumuşak kile oturan yol dolgularında dolgu şevlerinin kaymaya karşı toptan stabilitesi ve beklenen konsolidasyon oturmaları ayrıca değerlendirilmelidir. Yumuşak kile oturan yol dolguları için yaygın olarak kullanılan zemin iyileştirme yöntemlerinden biride taş kolonlardır. Yüksek rijitlikli taş kolonlar yumuşak kil içerisinde radyal drenajı sağlayarak konsolidasyon oturmalarının tamamlanma sürelerini azaltmaktadır. Bu çalışma kapsamında, yumuşak kil tabakasına oturan ve yükseklikleri 6.0-12.0 m arasında değişen yol dolgularının toptan kaymaya karşı stabiliteleri ve temel zeminlerinin konsolidasyon davranışı, iyileştirilmiş ve iyileştirilmemiş durumlar için irdelenerek karşılaştırılmıştır. Farklı boy ve yerleşimlere sahip olan taş kolonlarla iyileştirilmiş zeminlerde, meydana gelecek konsolidasyon oturması ve bu oturmaların tamamlanma süresi analitik ve nümerik yöntemler kullanılarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Taş kolon, yumuşak kil, yol dolgusu, zemin iyileştirmesi, kademeli dolgu

ABSTRACT

For the design of the road embankments settles on soft clay layer, the foundation soils and embankment material parameters have significant importance. The overall sliding stability of embankments and the required time for the competence of the consolidation settlements shall be also evaluated. Stone columns are one of the most commonly used ground improvement method for the embankments that settles on soft clay layer. Stone columns increase the material parameters of the soft clay layer and provide the radial drainage path to reduce the competence duration of consolidation settlements. In this study, consolidation behavior of foundation soils and the overall stabilities of embankment slopes against sliding are assessed for various embankment heights between 6.0-12.0 m with take in consideration the situation with and without ground improvement. The

¹İnşaat Yüksek Mühendisi, Temelsu Uluslararası Müh. Hiz. A.Ş., feyizoglutolgahan@temelsu.com.tr
(Sorumlu Yazar)

²İnşaat Yüksek Mühendisi, Temelsu Uluslararası Müh. Hiz. A.Ş., ozgen.kokten@temelsu.com.tr

effectiveness of the stone columns with different lengths and patterns has been examined by analytic and numerical methods.

Keywords: *Stone column, clay, road embankment, ground improvement, staged embankment*

1. GİRİŞ

Yumuşak kil tabakaları üzerinde imal edilecek mühendislik yapıları özel dikkat gerektirmektedir. Bu mühendislik yapılarından olan yol dolguları yumuşak kil üzerinde imal edildiğinde ilerleyen süre içerisinde yolun işletme aşamasında oturma ve stabilite problemleri ile karşılaşlabilmektedir. Özellikle yumuşak kil zeminler üzerine oturan yüksek dolgularda projelendirilen yükseklikteki dolguların stabilitelerini koruyamamaları nedeni ile tek aşamada imalatları mümkün olamamakta, kademeli olarak imalatları yapılarak ön görülen kademede ve bekleme sürelerinde konsolidasyonlarını tamamalamaları ve taban zeminin drenajsız kayma mukavemetlerinde artış olması beklenmektedir (Ladd ve diğerleri, 1974, 1991, 2003). Bu nedenle yumuşak kil zeminlerde oluşacak konsolidasyon oturmalarının miktarının ve süresinin tahmin edilmesi, düşey drenaj ile birlikte radyal drenaj yolunun sağlanması ve gerekli zemin iyileştirme tedbirlerinin alınması büyük önem arz etmektedir.

Bu amaçla kullanılan zemin iyileştirme yöntemlerden biri olan taş kolonlar özellikle suya doygun yumuşak kilden oluşan dolgu temel zeminlerini iyileştirmek için yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Taş kolonlar birçok tasarım amacına hizmet etmekle birlikte özellikle yumuşak kil üzerine oturan yüksek dolguların şev stabilitesinin artırılması, artımsal boşluk suyu basınçlarının sönmelenmesi ile konsolidasyon süresinin kısaltılması ve konsolidasyon miktarının azaltılması yönünde etkin olmaktadır.

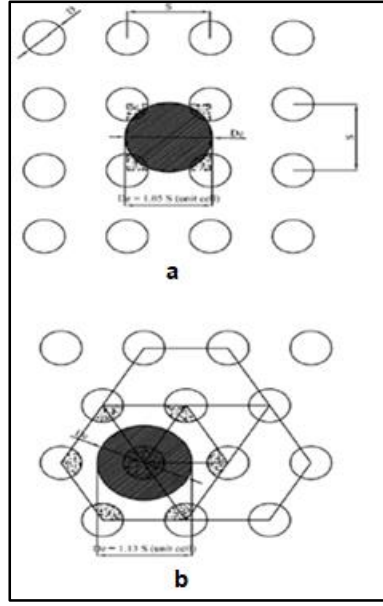
Bu çalışmada bir vaka analizi özelinde yumuşak kil zemine oturan yol dolguları için kil zeminde kademeli inşaat yöntemi ile birlikte taş kolon imal edilerek yapılacak iyileştirmenin dolgu şevinin kaymaya karşı toptan stabilitesine, konsolidasyon oturması miktarına ve süresine olan etkileri irdelenmiştir. Stabilite analizleri limit denge yöntemi ile gerçekleştirilirken konsolidasyon oturması miktarı ve süresine dair hesaplamalar analitik ve nümerik yöntemler kullanılarak yapılmıştır.

2. TAŞ KOLON İLE ZEMİN İYİLEŞTİRMESİ

Taş kolonlar kil tabakaları içerisinde drenaj yolunu kısaltarak zamana bağlı gelişen konsolidasyon oturmalarını hızlandırmaktadır (Rowe ve Li, 2005). Taş kolon ile yapılan analizlerde farklı parametreler önem kazanmaktadır. Taş kolonlar imal edildikleri zemin tabakalarının yumuşak olmaları nedeniyle bu tabakalara göre daha rijit tabakalardır. Bu nedenle mühendislik yapıları tarafından aktarılan gerilmeler taş kolonlara ve zemin tabakalarına farklı oranlarda yansımaktadır. Gerilme konsantrasyonu taş kolonların iyileştirme etkisini gösteren bir parametre olarak tanımlanmıştır (Barksdale ve Bachus, 1989).

Taş kolonlar ile zemin iyileştirmesi için yapılan hesaplamalarda taş kolon çapları, taş kolonların merkezleri arası mesafe, yerleşim (üçgen-kare), gerilme konsantrasyonu oranı, oturma azaltım oranı gibi parametreler göz önünde bulundurulmaktadır (Kitazume, 2004).

Birim hücre yöntemi kullanılarak yapılan yaklaşımlar efektif çap kavramını ön plana çıkarmıştır. Barksdale ve Bachus (1983) yaptıkları çalışmada grup taş kolonların üniform olarak yüklendiği durumda silindirik geometriye sahip hücrenin tüm zemin-taş kolon sisteminin davranışını yansıttığını kabul etmiştir. Taş kolon ve zemin tabakalarından oluşan sistemde birim alana denk gelen taş kolon alanını tanımlamak için eşdeğer bir daireye denk gelen efektif çap (d_e) kavramı doğmuştur. Efektif çap kavramı taş kolonla yapılan iyileştirmelerde taş kolonların kare veya üçgen yerleşimle imal edilmesine göre farklı formüllerle tanımlanmaktadır. Şekil 1’de gösterilen taş kolon yerleşimlerinin kare olmasına göre $d_e=1.05s$, üçgen olmasına göre $d_e=1.13s$ olarak tanımlanmıştır. Bu formüllerde “s” taş kolonlar arası mesafeyi göstermektedir.



Şekil 1. Kare (a) ve üçgen(b) taş kolon yerleşimleri (Barksdale ve Bachus, 1983)

Taş kolonlu zemin iyileştirme problemlerinde bir diğer önemli kavram alan yerleşim oranıdır (a_s). Birim alanda taş kolon alanının birim alana oranı olarak tanımlanan alan yerleşim oranı üçgen ve kare yerleşimde farklı şekilde hesaplanmaktadır.

$$a_s = 0.907 \left(\frac{D}{s} \right)^2 \text{ Kare} \quad (1)$$

$$a_s = 0.783 \left(\frac{D}{s} \right)^2 \text{ Üçgen} \quad (2)$$

Alan yerleşim oranının (a_s) birçok uygulamada 0.15 ile 0.35 arasında değişmesi gerekliliği önerilse de yol dolgusunda stabilite problemi olmaması durumunda farklı değerlerin de kullanılabileceği belirtilmiştir (FHWA, 1983).

3. VAKA ANALİZİ

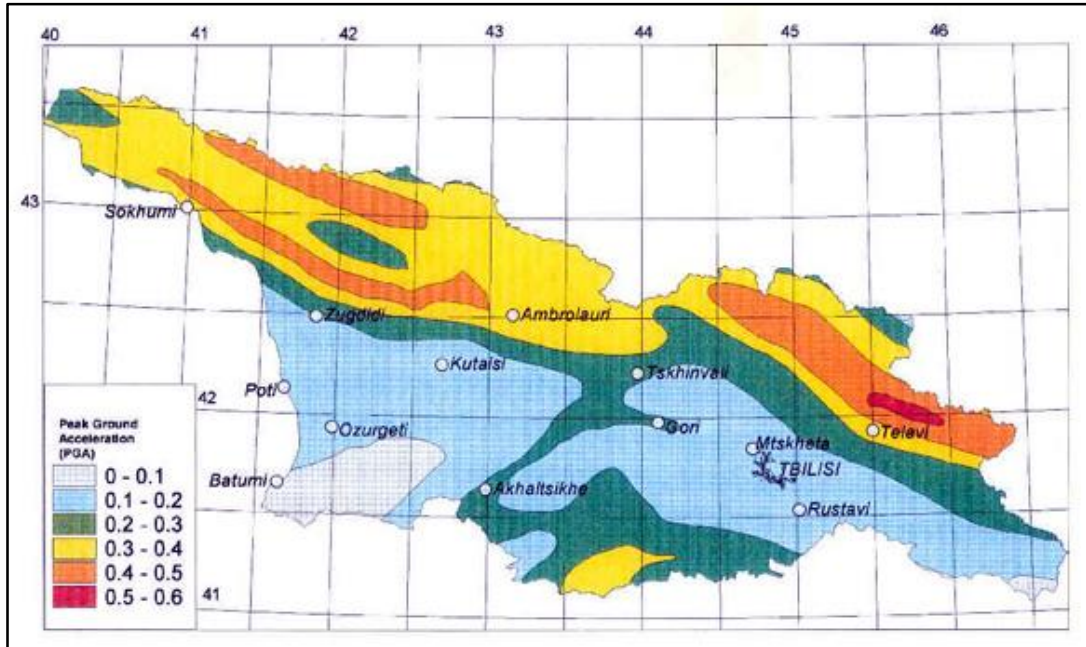
Bu çalışma kapsamında Gürcistan’da yapımı planlanan bir yol güzargahında yer alan kavşak yapısında farklı yüksekliklere sahip otoyol dolgularının kademeli inşaat yöntemi ile toptan kaymaya karşı stabilitesi ve konsolidasyon oturma miktarları ile süreleri taş kolonlu zemin

iyileştirmesi yapılması ve yapılmaması durumları için hesaplanmış ve değerlendirmeler paylaşılmıştır. Sahada ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilen çalışmalar ile idealize zemin profili ve temel zemininin kayma dayanımı ve deformasyon parametreleri belirlenmiş ve analizlerde kullanılmıştır.

3.1. Bölge Jeolojisi

Proje güzargahı büyük ölçüde denizel delta çökelleri ve alüvyonlardan oluşmaktadır. Bu kapsamda zemin profili yüzeye yakın bölgelerde yoğun olarak yumuşak/çok yumuşak killi-siltli tabakalar, alt kısımlarda ise orta sıkı kumlu/çakıllı katmanlardan oluşmaktadır.

Proje lokasyonu depremlere karşı düşük bir tehlike risk düzeyine sahiptir. Proje alanı, Gürcistan deprem bölgeleri haritasına göre 8. deprem bölgesinde yer almaktadır ve pik yer ivmesi $PGA = 0.15g$ (IIEE, 2000) belirtilmiştir.



Şekil 2. Gürcistan sismik tehlike haritası – maksimum yer ivmeleri (IIEE, 2000)

Proje kapsamında kavşak bölgesinde 5 adet sondaj çalışması gerçekleştirilmiştir. Turba içerikli kil tabakalardan oluşan zemin tabakalarının arazi SPT-N değerleri 1 ile 9 arasında değişmektedir.



Şekil 3. İlgili bölgede yer alan kil tabakaları için örnek sandık fotoğrafı

3.2. İdealize Zemin Profili

Proje kapsamında saha etütleri ve laboratuvar deney sonuçları dikkate alınarak yol dolgularının temelini oluşturan tabakaları için zemin profilinde ilk 15.0 m turba içerikli kil, 15.0 m'den daha derin tabakalar orta sıkı kum olarak idealize edilmiştir. Sondaj sonuçlarına göre yeraltı suyunun yüzeyde yer aldığı bölgede analizlerde kullanılan kayma dayanımı ve konsolidasyon parametreleri kil tabakası için Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Kil tabakası analiz parametreleri

Parametre	Kil
I_p (%)	30
P_L (%)	55
N_{60}	4.40
f_1	4.50
f_2	450
m_v (m ² /kN)	0.0005
c_v (m ² /gün)	0.011
γ (kN/m ³)	16.0
c_u (kN/m ²)	25.0
c' (kN/m ²)	5.0
Φ' (°)	26

Belirlenen idealize zemin profili ile 15.0 m kalınlığındaki kil tabakasında farklı yerleşimlerde (üçgen-kare) ve aralıklarda 80 cm çapında 15.0 m boyunda taş kolon imal edilmesinin yol dolgu şevlerinin toptan kaymaya karşı stabilitesi, oturma miktarları ile konsolidasyon sürelerine olan etkileri hesaplanmıştır.

3.3. Değerlendirilen Alternatifler

Yol dolgularının imalatları yüksekliklerine, dolgu imalatının kademeli yapılıp yapılmamasına, taş kolonla iyileştirmeye dair farklı durumların tahkik edilmesi kapsamında 9 farklı alternatif için değerlendirilmiştir.

Tablo 2. Hesaplama yapılan alternatifler

Alternatif	Dolgu yüksekliği (m)	Taş kolon yerleşimi	Taş kolon aralık (m)	a_s
1	6.0 m < H < 8.0 m	-	-	-
2	8.0 m < H < 10.0 m	-	-	-
3	10.0 m < H < 12.0 m	-	-	-
4	6.0 m < H < 8.0 m	Üçgen	3.40	0.05
5	8.0 m < H < 10.0 m	Üçgen	3.40	0.05
6	10.0 m < H < 12.0 m	Üçgen	2.84	0.07
7	6.0 m < H < 8.0 m	Kare	1.80	0.16
8	8.0 m < H < 10.0 m	Kare	1.80	0.16
9	10.0 m < H < 12.0 m	Kare	1.60	0.20

Taş Kolonlu İyileştirme ile Taşıma Gücü

İdealize zemin profiline göre 6.0 m'den yüksek yol dolgularında zemin kayma dayanımı aşılmakta ve dolgu şevlerinde kayma problemi beklenmektedir. Bu kapsamda farklı yerleşim ve aralıklarda taş kolon imalatına göre ve aşamalı yol dolgusu yapılıp yapılmamasına göre taşıma gücü hesabı yapılmıştır. Bu aşamada taş kolon aralığının en yüksek olduğu 3.40 m için hesaplama gerçekleştirilmiştir.

Taş kolonun taşıma gücü kapasitesi ve taş kolona yol dolgusu nedeniyle gelen yük aşağıdaki formüller ile hesaplanmaktadır. Burada taş kolon için taşıma gücü güvenlik sayısı 1.5 (FHWA RD-83/026) olarak dikkate alınmıştır.

$$q_u = 25 \times c_u \quad (3)$$

$$\sigma_c = \frac{n \times \sigma}{[1 + (n-1) \times a_s]} = n \times \sigma_s \quad (4)$$

8.0 m yüksekliğindeki yol dolgusu için kademeli imalat yapılması durumunda taş kolonun taşıma gücü 625 kPa, taş kolona gelen gerilme ise 556.5 kPa olduğu için 6.0 m'den yüksek yol dolgularında taş kolon ile iyileştirme yapılması durumunda da aşamalı imalat yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Taş Kolonlu İyileştirme ile Stabilité

Çalışma kapsamında 6.0 m'den yüksek yol dolgularında kademeli imalat yapılmalıdır. Bu nedenle, ilk aşamada iyileştirilmiş bölgenin drenajsız kayma mukavemeti, kısa dönemde kil tabakasının drenajsız kayma mukavemetine eşittir. Stabilité analizleri için geliştirilmiş kompozit alanın kohezyonu ve içsel sürtünme açısı aşağıdaki denklemler ile hesaplanmıştır (Priebe,1995).

$$c_{comp} = \frac{1}{a_s n - a_s + 1} (1 - a_s) c_m \quad (5)$$

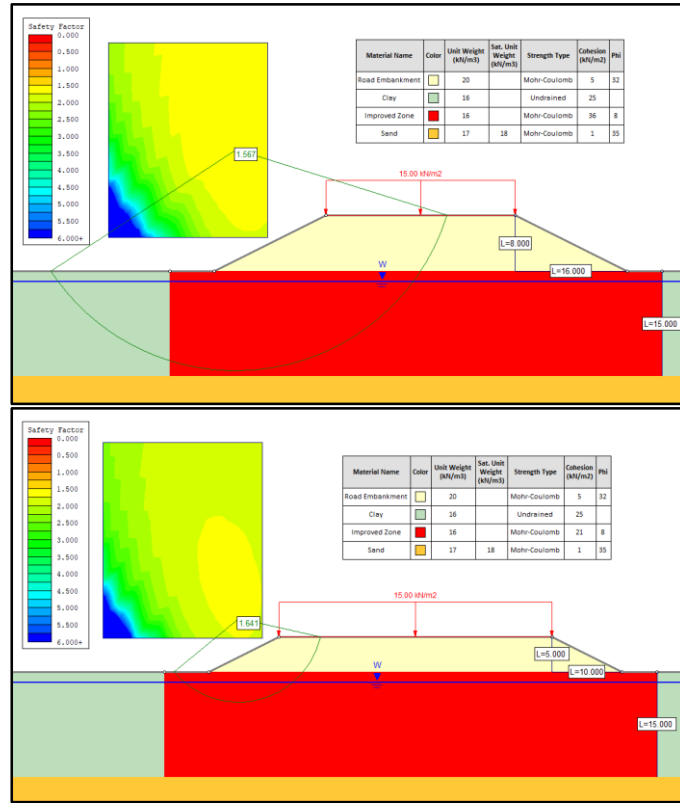
$$\phi_{comp} = \arctan \left[\frac{n}{a_s n - a_s + 1} a_s \tan \phi_g + \frac{1}{a_s n - a_s + 1} (1 - a_s) \tan \phi_m \right] \quad (6)$$

Burada c_{comp} ve ϕ_{comp} : kompozit zeminin kohezyonu ve kayma direnci açısını, ϕ_g : taş kolonun kayma direnci açısını, c_m ve ϕ_m : kilin kohezyonu ve kayma direnci açısını, a_s : taş kolon alan oranını, n = taş kolon/kil gerilme dağılımı oranını temsil etmektedir. Literatürde n değerinin 2 ila 6 arasında değiştiği, genellikle de 3-4 değerlerine sahip olduğu ifade edilmektedir.

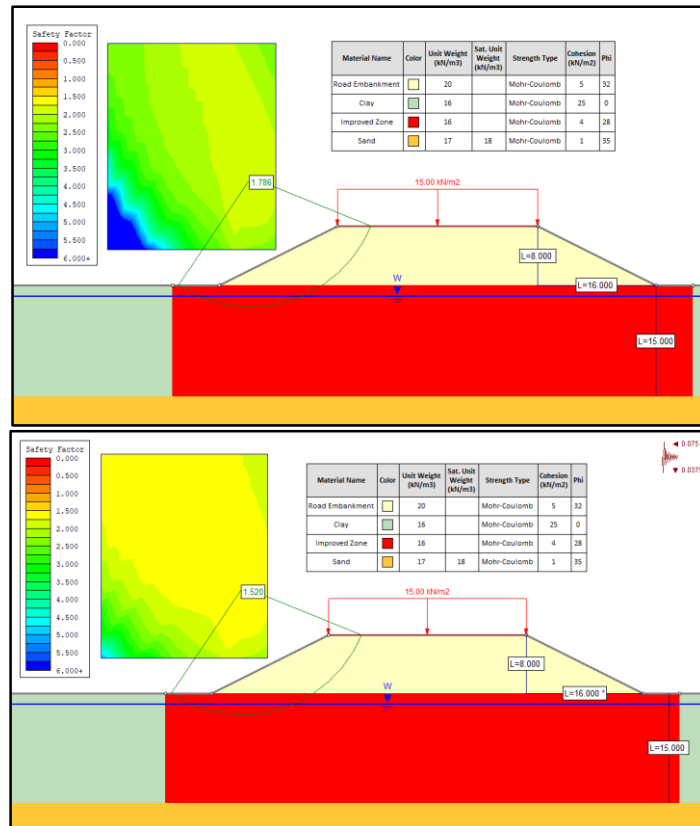
Efektif gerilme artışı nedeniyle drenajsız kayma mukavemetinde oluşan artış aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır (Skempton,1957).

$$\Delta \sigma'_V = \frac{\Delta c_u}{[0.11 + 0.0037 PI]} \quad \Delta c_u \cong 0.22 \times \Delta \sigma'_V \times U(\%) \quad (7)$$

Stabilité analizlerinde güvenlik sayıları FHWA'ya (NHI-06-088) göre kısa dönem için 1.25, uzun dönem için 1.5 ve pseudo-statik durum için 1.1 olarak dikkate alınmıştır. 8.0 m yüksekliğindeki yol dolgusunda kademeli dolgu ile yukarıda taşıma gücü tahkiki yapılan durum için stabilité analizleri yapılmıştır. 5.0 m'lik dolgu (ilk aşama) kısa dönem ve 8.0 m'lik dolgu (ikinci aşama) kısa dönem için hesaplanan güvenlik sayıları Şekil 4'te sunulmuştur. Şekil 5'te ise 8.0 m'lik dolgu için uzun dönem ve pseudo-statik durum için hesaplanan güvenlik sayıları paylaşılmıştır.



Şekil 4. a) Kısa dönem ilk aşama-F.S=1.64- b) Kısa dönem ikinci aşama-F.S=1.56



Şekil 5. a) Uzun dönem-F.S=1.78, b) Dinamik F.S=1.52

Taş Kolonlu İyileştirme ile Oturma Hesabı

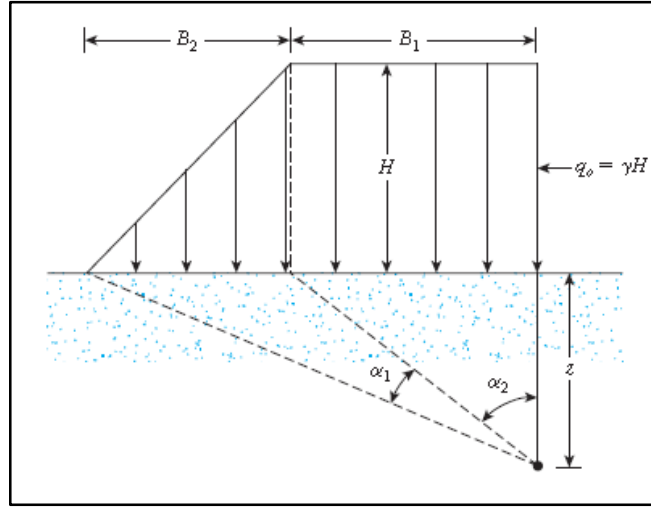
Çalışma kapsamında yolun işletme aşamasındaki oturma sınırı 5.0 cm olarak belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalarda bu sınırlama dikkate alınmıştır. Konsolidasyon hesaplamaları aşağıdaki formüller ile hesaplanmıştır. Yol dolgularında dolgu yükü Das (2010) tarafından önerilen yöntem ile hesaplanmaktadır.

$$S_c = H(m) \times m_v \times \Delta\sigma' \quad (8)$$

$$\Delta\sigma' = 2 \times I_q \times q_0 \quad (9)$$

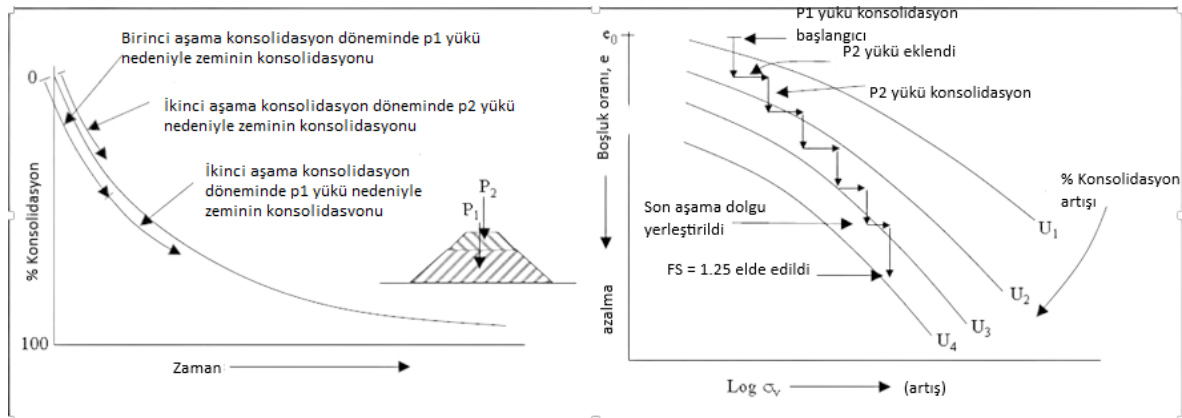
$$I_q = \frac{1}{\pi} \left[\left(\frac{B_1+B_2}{B_2} \right) (\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{B_1}{B_2} (\alpha_2) \right] \quad (10)$$

$$\alpha_1 = \left[\tan^{-1} \left(\frac{B_1+B_2}{z} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{B_1}{z} \right) \right] \text{ and } \alpha_2 = \left[\tan^{-1} \left(\frac{B_1}{z} \right) \right] \quad (11)$$



Şekil 6. Dolgu yükünün zemin içerisinde düşey dağılımı (Das, 2010)

Aşamalı dolgu imalatlarında konsolidasyon hesaplamaları WSDOT (2011)'de önerildiği şekilde hesaplanmıştır.



Şekil 7. Aşamalı imalat için oturma oranına göre hesaplama yaklaşımı (WSDOT, 2011)

4. HESAP SONUÇLARI

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen limit denge analizleri sonucunda yol dolgusu tabanında yapılacak iyileştirme özelliklerine ve yol dolgusunun yüksekliğine bağlı olarak elde edilen toptan kaymaya karşı güvenlik sayıları Tablo 3’de özetlenmiştir. Burada yumuşak kil zeminde iyileştirme yapılmaması durumunda zemin kayma dayanımının aşılmasının yanında dolgu şevlerinde stabilite problemi oluşacağı görülmektedir.

Tablo 3 . Stabilite analizlerinde elde edilen güvenlik sayıları

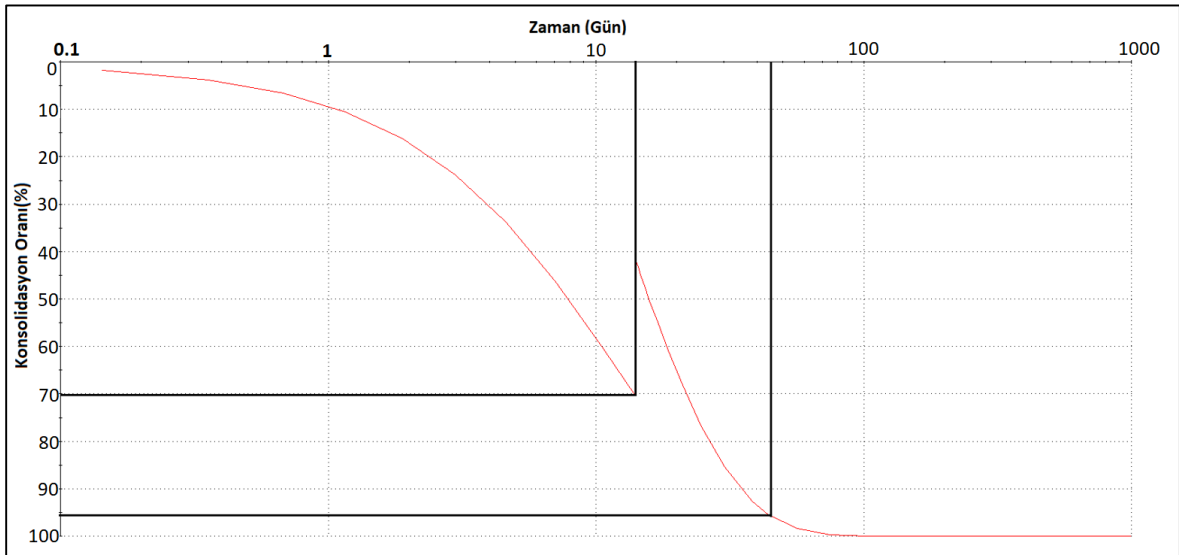
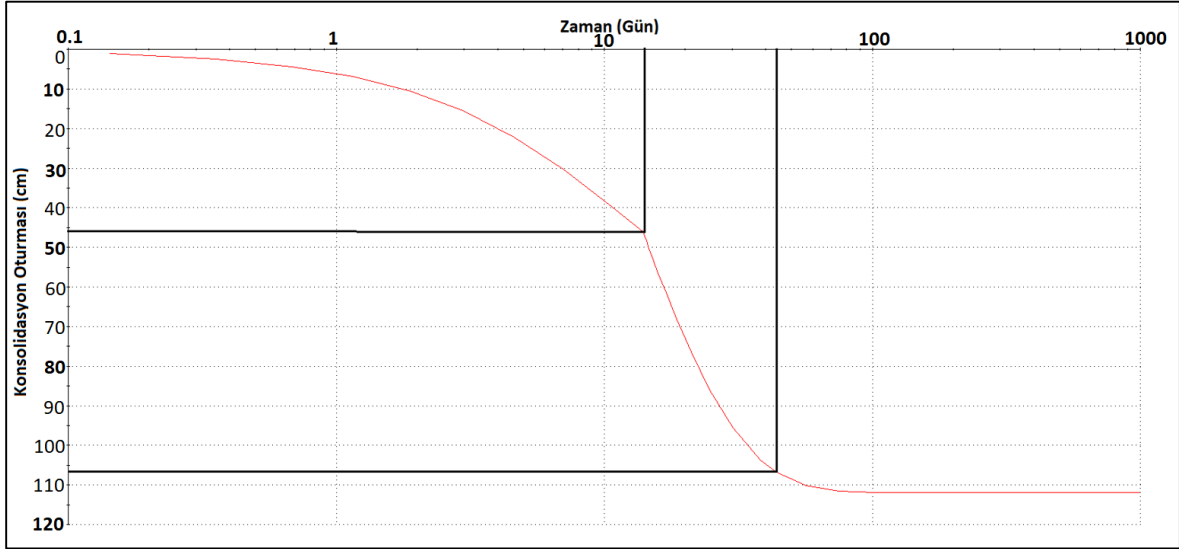
Dolgu yüksekliği (m)	Taş kolon yerleşimi	Kısa dönem 1. aşama	Kısa dönem 2. aşama	Uzun dönem	Dinamik
6.0 m < H < 8.0 m	-	1.00	0.81	0.81	0.60
8.0 m < H < 10.0 m	-	1.00	0.68	0.68	0.52
10.0 m < H < 12.0 m	-	1.00	0.58	0.52	0.46
6.0 m < H < 8.0 m	Üçgen-s=3.4m	1.64	1.56	1.78	1.52
8.0 m < H < 10.0 m	Üçgen-s=3.4m	1.64	1.37	1.69	1.42
10.0 m < H < 12.0 m	Üçgen-s=2.84m	1.67	1.29	1.62	1.34
6.0 m < H < 8.0 m	Kare-s=1.8 m	1.82	1.79	1.79	1.52
8.0 m < H < 10.0 m	Kare-s=1.8m	1.82	1.77	1.77	1.50
10.0 m < H < 12.0 m	Kare-s=1.6m	1.82	1.63	1.63	1.38

Bu kapsamda farklı yükseklikteki yol dolguları için hangi yerleşimle taş kolon iyileştirmesi yapılacağı konsolidasyon oturmasının miktarını ve süresini önemli kılmaktadır. Analitik yöntem kullanılarak hesaplanan değerler Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 4 . Konsolidasyon hesapları sonuçları

Dolgu yüksekliği (m)	Taş kolon yerleşimi	Konsolidasyon süresi (gün)		Toplam Oturma (cm)
		Kademeli imalat	Kademesiz imalat	
6.0 m < H < 8.0 m	-	5340	-	118
8.0 m < H < 10.0 m	-	5805	-	148
10.0 m < H < 12.0 m	-	6017	-	178
6.0 m < H < 8.0 m	Üçgen-s=3.4m	327	390	103
8.0 m < H < 10.0 m	Üçgen-s=3.4m	351	430	129
10.0 m < H < 12.0 m	Üçgen-s=2.84m	216	268	147
6.0 m < H < 8.0 m	Kare-s=1.8 m	49	57	81
8.0 m < H < 10.0 m	Kare-s=1.8m	60	72	101
10.0 m < H < 12.0 m	Kare-s=1.6m	35	44	112

İdealize zemin profili ve taş kolon özellikleri kullanılarak Settle 3D paket bilgisayar programı yardımıyla 12 m maksimum dolgu yüksekliği için hesaplamalar sayısal yöntemler kullanılarak da yapılmış ve analitik yöntem ile yapılan hesaplamalarda elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Settle 3D paket bilgisayar programı ile hesaplanan konsolidasyon oranı, konsolidasyon oturması ve konsolidasyon süresi grafikleri Şekil 11’de paylaşılmıştır.



Şekil 11. a)Konsolidasyon oturması, b)Konsolidasyon oranı

Grafiklerden de görüleceği üzere oturma miktarlarındaki azalma taş kolon alan oranının (a_s) 0.05 olduğu iyileştirmede %13, 0.07 olduğu durumda %18, 0.16 olduğu durumda %32, 0.20 olduğu durumda %38 olmaktadır. Çalışma kapsamında yolun işletme sürecinde izin verilebilir oturma 5 cm olarak belirlenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde yol dolgusunun iyileştirme olmadan imal edilmesi mümkün görünmemektedir. Farklı dolgu yükseklikleri için taş kolon alan oranının 0.05 ve 0.07 olduğu iyileştirmeler konsolidasyon oturması için beklenmesi gereken süreyi 1 yıl mertebelerine getirmekte, aynı oranın 0.16 ve 0.20 olduğu durumlarda ise 2 aylık bekleme süresine kadar indirebilmektedir.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

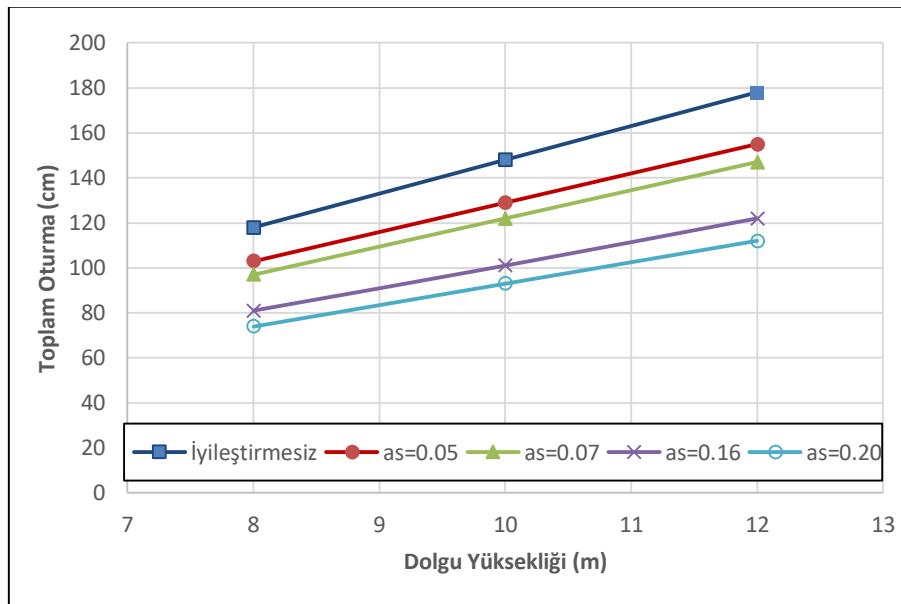
Bu çalışma kapsamında bir vaka analizi ile yumuşak kil zemine oturan yol dolgularının taşıma gücü, yol dolgusu stabilitesi, oturma miktarı ve süresi zemin tabakalarında yapılacak taş kolon imalatının etkileri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Yükseklikleri 6.0 m ve 12.0 m arasında değişen yol dolgularının temel zemini için sahada ve laboratuvarında

gerçekleştirilen deneyler ile zemin profili ve mukavemet parametreleri idealize edilmiştir. 15.0 m boyunda 80 cm çapında olan taş kolonlar farklı yerleşim ve aralıklar ile tasarlanmış ve hesaplamalar 9 farklı durum için gerçekleştirilmiştir.

Taş kolon ile iyileştirme yapılan durum ve iyileştirmenin gözardı edildiği durumlar için yapılan hesaplamalarda 6.0 m'den yüksek yol dolgularında taşıma gücü probleminin ortadan kaldırılabilmesi için taş kolon imal edilmesi gerekliliği göz önüne alınmıştır. Bununla beraber özellikle taş kolon alan oranının düşük olduğu iyileştirmelerde yol dolgusunun kademeli olarak imal edildiği durumlarda taşıma gücü ve dolayısıyla stabilite problemi oluşacağı görülmüş; bu kapsamda 6.0 m'den yüksek tüm yol dolgularının kademeli olarak imal edilerek yol dolgusundan gelen gerilme artışının kil tabakalarının kayma dayanımının arttırması sağlanmıştır.

Özellikle taş kolon iyileştirmesi önerilen durumlar dikkate alınarak yapılan analizlerde elde edilen güvenlik sayılarının birbirine çok yakın çıkmasının sebebi taş kolon ile yapılan iyileştirme sonucunda yol dolgusunda oluşacak en kritik kayma dairesinin zemin tabakasını içine almamasıdır. Bu çalışma kapsamında en az taş kolon alanına sahip iyileştirme durumunda dahi stabilite problemi ortadan kaldırılmış olmakla beraber arazide kullanılacak iyileştirme yerleşim ve aralığı özellikle oturma sürelerine göre belirlenmiştir.

Yapılan hesaplamalarda sahada iyileştirme yapılmaması durumunda izin verilebilir oturma seviyesinin işletme aşamasında tamamlanacağı düşünüldüğünde işletme aşamasından önce 14-15 yıl mertebelerinde bekleme süreçlerinin gerektiği görülmektedir. Taş kolon imalatı yumuşak kil zeminlerde taşıma gücü problemlerini, yumuşak kil üzerine imal edilecek yol dolgusunda oluşacak stabilite problemlerini engellemesinin yanı sıra kil tabakasında meydana gelecek konsolidasyon oturmasını da azaltmaktadır. Bununla birlikte taş kolonla zemin iyileştirmenin yol dolgu projelerinde kullanımında en önemli etki oturma süresinin uygulanabilir seviyelere indirilmesidir.



Şekil 12. Dolgu yüksekliği – oturma ilişkisi

Bu çalışmada yapılan değerlendirmeler bir vaka analizi özelinde olup taş kolon çapı, taş kolon yerleşim ve aralıkları, yol dolgusu yükseklikleri ve zemin tabakası özelliklerinin farklı olduğu durumlar için farklı çalışmalar ile taş kolonla zemin iyileştirmesinin değerlendirilmesi geliştirilebilecek bir çalışma alanıdır. Ülkemizde de yaygın olarak kullanılan 80 cm çaplı taş kolonların bu çalışmada tariflenen benzer özellikteki yumuşak kil zemin üzerine oturan yüksek dolguların tasarımında pratik kullanımının sağlanabilmesi amacı ile; değişik dolgu yükseklik ve farklı taş kolon alan oranı " a_s " oluşacak oturma miktarı yukarıda sunulan şekil ile paylaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Das, B. M. (2010). Principles of Foundation Engineering (7th ed.). Cengage Learning.
- H. J. Priebe, "The design of vibro replacement", Ground Engineering, 28(10), 1995, pp 31–37
- International Institute of Seismology and Earthquake Engineering. (2000). Seismic Network and Seismic Activity. IISEE. <https://iisee.kenken.go.jp/>
- Kitazume, M. (2005). "The Sand Compaction Pile Method". Taylor & Francis
- Ladd, C.C., and DeGroot D.J. (2004). "Recommended Practice for Soft Ground Site Characterization: Arthur Casagrande Lecture". 2th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA USA June 22 – 25, 2003
- Ladd, C.C. (1991), "Stability evaluation during staged construction (22nd Terzaghi Lecture)." J. of Geotech. Eng., 117(4), 540-615.
- Ladd, C.C., and Foott, R. (1974). "New design procedure for stability of soft clays." J. of the Geotech. Eng. Div., 100(GT7), 763-786.
- RC Bachus, RD Barksdale, "Design methodology for foundations on stone columns", Proc. Foundation Engineering: Current Principles and Practices (1989), Illinois, USA.
- RD Barksdale & RC Bachus, "Design and Construction of Stone columns-Vol.1, FHWA/RD-83/026, Federal Highway Administration, December 1983.
- R. K. Rowe and A. L. Li, "Geosynthetic-reinforced embankments over soft foundations," Geosynthetics International, vol. 12, no. 1, pp. 50-85, 2005.
- Skempton AW. Discussion of the planning and design of the new Hong Kong airport. Proceedings of the Institution of Civil Engineers 1957;7:305e7.
- WSDOT (2011). Geotechnical Design Manual.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
n	Gerilme Oranı	S_c	Oturma
I_p (%)	Plastisite İndisi	H	Tabaka Kalınlığı
P_L (%)	Likit Limit	$\Delta\sigma'$	Efektif Gerilme Artışı
N_{60}	Düzeltilmiş SPT sayısı	I_q	Şekil Katsayısı
ϕ_g	Taş Kolon İçsel Sürtünme Açısı	B_1, B_2	Dolgu Ölçüleri
ϕ_m	Kil Tabakası İçsel Sürtünme Açısı	z	Derinlik
m_v	Hacimsel Sıkışma Katsayısı	α_1, α_2	Şekil Faktörleri
c_v	Konsolidasyon Katsayısı	q_0	Yol Dolgusu Yüğü
γ	Birim Hacim Ağırlık	a_s	Taş Kolon Alan Oranı
c_u	Drenajsız Kayma Mukavemeti	c'	Kohezyon