

Karayolları Altyapısının Üzerine İnşa Edildiği Çökebilir Lös Zemininin Stabilitesinin Araştırılması

Sabır Kamiloğlu ALİYEV*

ÖZ

Islanma etkisiyle, çökebilir lös zeminde meydana gelen aşırı oturma nedeniyle, lös zeminler üzerinde inşa olunmuş yolun altyapısının dayanımı ve stabilitesi bozulabilir, yani yolun altyapısına inşaat sırasında verilmiş geometrik şeklin bozulmasına ve projede öngörülen profilin değişmesine neden olabilir. Bu nedenle çökebilir lös zeminler üzerine yapılmış yol dolgu ve yarmaların stabilitesi üzerine inşa edildikleri lös zeminin stabilitesine bağlı olarak çözülmelidir.

Yapılan deneysel ve teorik çalışmalar sonucu, yol dolgu ve yarma temel zeminlerinin gerilme durumunu, farklı kaynaklardan su sızmasıyla yolun altyapısının üzerine inşa edildiği lös zemininin su muhtevası artışı, kayma mukavemetinin değişimi ve meydana gelecek oturmayı belirlemek için bağıntılar elde edilmiştir. Elde edilen bağıntılar ile Karayolları altyapısının üzerine inşa edildiği lös zeminin stabilitesinin çözümü için yeni bir yöntem sunulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Lös zemin, karayolları alt yapısı, stabilite, yolların dolgu ve yarması

ABSTRACT

Investigation of the Stability of the Collapsible Loess Soil under the Infrastructure of Roads

Excessive deformations occur in the loess soil due to wetting that will result in the loss of resistance and stability of the road infrastructures which are built on loess soils. Mainly, the road infrastructure will lose the correct geometrical shape given during construction and the profile designed in the project stage will change. Therefore, the stability of the fill and cut of the roads which are constructed on loess soils must be assessed considering the loess soil underneath.

After experimental and theoretical studies, a set of correlations are obtained to determine the stress state of the foundation soils of fill and cut of the roads, the increment of water content of the loess soil of the road infrastructures due to infiltration of water from different water resources, variation of the shear strength parameters and conditions in which excess

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 05.06.2009 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2010 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Azerbaycan Mimarlık ve İnşaat Üniversitesi, Bakü, Azerbaycan - an@rohe.baku.az

deformations occur. A new method to solve the stability of the loess soils under the road infrastructures is presented from the obtained correlations.

Keywords: Loess soil, infrastructure of roads, stability, fill and cut of roads

1. GİRİŞ

Lös rüzgar etkisi ile taşınıp depolanmış zemindir. Dane çapları dar sınırlar (0.01-0.05 mm) arasında değişir ve rengi açık kahve renklidir (Capper ve Fisher[1]). Buzul çağı sonunda esen kuvvetli rüzgarların silt boyutlu daneleri çok uzaklara taşıyıp, depolayarak oluşturdukları formasyonlar lös olarak adlandırılır. Bu zeminler ABD' nin orta bölgelerinden, Belçika' ya ve Çin'e uzanan bölgeleri kaplamakta ve kalınlıkları 300 m ye varabilmektedir. Lös, donuk sarı renkli dane boyutu yaklaşık silt boyutunda olan ve yaşı 3 milyon yıla varabilen, kil veya kimyasal madde ile daneler arasında zayıf bağ oluşmuş (çimentolanmış), kuru iken yüksek mukavemete sahip, ama su muhtevası ve gerilme artışı ile kolaylıkla bu bağların çözülebildiği, genelde problemlili olan bir zemin türüdür (Önalp [2]).

Lös zeminler daneleri silt boyutunda olan, büyük boşluk oranına, düşük birim hacim ağırlığına ve yüksek su geçirgenliğine sahip olan, suya doygun olmayan ve ıslanıldığında çökerek büyük miktarlarda oturma (çökme veya batma deformasyonu) yapabilen zemin türüdür. Bu zeminler kurak iklim koşullarında meydana gelmektedir. Lös zeminin boşlukları gözle görülebilir ve ağırlıklı olarak silt boyutundaki daneciklerden oluşmuştur (%50'den fazla), üniform bir granülo-metrik dağılıma sahiptirler (Abelyev ve Abilyev [3])

Lös zeminler yer kürenin kara kısmının büyük bir alanını örter (%2.5'den fazla). Bu zeminler Güney ve Kuzey Amerika'da Missisipi ve Missouri çayının havzasında çok büyük alana yayılmıştır. Lös zeminlere Yeni Zelanda ve Kuzey Afrika'da da rastlanmaktadır. Avrupa'da bu zeminler Fransa'nın kuzey ve doğu kısmında, Merkezi Avrupa'nın orta kısmında, Alp dağlarının eteklerinde, Tuna nehri kıyılarında mevcuttur. Doğu Avrupa'da Polonya'dan Volga boyuna uzanan bölgeleri kaplamaktadır. Kuzey Çin'de, Moğolistan'da ve Hindistan'ın kuzeyinde lös zeminlere çok sık rastlanır. Ukrayna arazisinin %70' den fazlası lös zeminlerle örtülmüştür. Bu zeminler Kafkasya'nın kuzeyinde, Azerbaycan ve Gürcistan'da çok geniş alanları kaplamaktadır (Mustafayev [4]).

Orta Asya Cumhuriyetleri arazisinin %25'den fazlası lös zeminlerle kaplanmıştır (Mavlyanov, [5]). Merkezi ve doğu Kafkasya'da bu zeminlere sık rast gelmektedir (Balayev ve Tsarov, [6]).

Lös zeminler, kendi ağırlığından ve dış yüklerin etkisinden dolayı gerilme altında iken, ıslanma etkisi ile büyük miktarda ve farklı karakterli oturmaya maruz kalırlar. Bu oturma, çökme veya batma deformasyonu olarak adlandırılır. Dünyada lös zeminler geniş alanları kaplaması nedeniyle, bazı karayolları bu problemlili lös zeminler üzerinde inşa edilmektedir.

Yol hendeklerinde biriken suyun sızması nedeniyle, yol altyapısının üzerine inşa edildiği lös zeminde su muhtevasının zamanla artışı ile büyük miktarda ve farklı karakterli oturma meydana gelmektedir.

Lös zeminler üzerinde inşa olunmuş yolun altyapısı, ıslanma etkisinden dolayı lös zeminde meydana gelen oturma (çökme veya batma deformasyonu) etkisiyle sağlamlığını ve

stabilitesini kaybedebilir. Böylece, yolun altyapısına inşaat sırasında verilmiş geometrik şeklin bozulmasına ve projede öngörülen profilin değişmesine neden olabilir.

Bu nedenle de çökebilir lös zeminler üzerine yapılmış yol dolgu ve yarmalarının güvenliği ve stabilitesi, onların altında yer alan lös zeminin güvenliğine ve stabilitesine bağlı olarak çözümlenmelidir.

Günümüzde mühendislik yapılarının temel zemininin stabilize probleminin çözümü için iki temel yaklaşım mevcuttur. Birinci yaklaşım zeminlerin limit denge teorisine dayanır. Bu teorinin yardımı ile öyle bir P_n yükü (limit yük) bulunmalıdır ki, bu yük etkisinde temel zemini tam olarak limit denge konumuna ulaşsın. Diğer bir deyişle en küçük güvenli yük değeri bulunmuş olsun. Güvenli yükü bulmak için ise elde edilen P_n yükünü güvenilirlik katsayısıyla çarpılmaktadır [7-9].

Temel zeminin stabilitesini değerlendirmek için mevcut olan ikinci yaklaşıma göre ise, dış yük arttığında temel zeminin gerilme durumunun değişiminin analizine dayanarak mühendislik yapısının güvenilirliğini sağlayan gerilme durumu saptanır ve ona karşılık gelen güvenli dış yük bulunur.

Bu iki temel yaklaşımı kullanarak, lös zeminlerin stabilitesi ile ilgili çok sayıda çalışmalar yapılmıştır [10-14]. Son yıllar da Çin'de de lös zeminler araştırmacı ve teorisyenlerin ilgi odağı olmuş ve lös zeminlerin stabilitesi ile ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır [15-21].

Pratikte çökebilen lös zeminler üzerinde yapılmış yol dolgu ve yarma stabilitesinin kaybolması, çoğu durumlarda ıslanma etkisinden dolayı meydana gelen oturma (çökme veya batma deformasyonu) nedeniyle dolgu ve yarmanın küçük yüksekliklerinde olduğu gözlenmektedir. Yukarıdaki çalışmaların hiç birinde söz konusu faktör dikkate alınmadığından literatürde rastlanılan yöntemlerde lös zeminler üzerindeki yol dolgu ve yarmaların çökebilen lös zeminlerin stabilize problemlerini çözümü için yeteri kadar güvenilir sonuçlar vermemektedir.

Bu çalışmada, söz konusu eksiklikler giderilerek karayolları altyapısının üzerine inşa edildiği lös zeminin stabilitesinin çözümü için yeni bir yöntem sunulmaktadır. Çalışmada aşağıdaki adımlar izlenecektir;

- a) Temel zemininde oturma (çökme veya batma deformasyonu) sırasında, limit denge durumuna maruz kalan ve stabilitesi bozulan bölgelerin boyutlarının belirlenmesi,
- b) Islanma bölgesinin zamanla büyümesi ile ilgili temel zemininde stabilitesi bozulan (limit denge durumuna maruz kalan) bölgelerin zamanla değişimi,
- c) Temel zemininde stabilitesi bozulan bölgelerin bulunduğu tehlikeli alanların saptanması,
- d) Yolun altyapısı oturmasının geometrisinin (şeklinin) tayini ve bu bölgelerin hangi boyutlarında yolun altyapısının stabilitesinin kaybolduğunun belirlenmesi,
- e) Son olarak bu bölgelerde temel zeminin stabilitesinin hangi mühendislik teknikleri ile sağlanacağını tespit edilmesi.

2. DENEYSEL VE TEORİK ÇALIŞMALAR

Lös zeminin oturmaya (çökme veya batma deformasyonuna) maruz kalmış tüm bölgelerinin dengesiz duruma sahip olduğu saptanmıştır (Aliyev [14, 22-24]). Dolayısıyla, temel zemininin her hangi bir noktasında oturmanın (çökme veya batma deformasyonu) meydana gelmesi, o noktada limit denge durumunun meydana gelmesi anlamına gelir. Bu nedenle de yol hendeklerinde biriken suyun sızmasıyla yolların altyapısının lös zeminde oturmanın (çökme veya batma deformasyonunun) zamanla oluşum koşulu aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\sin^2 \theta_{max(\omega,t)} = \frac{[(\sigma_z - \sigma_y) + (1 - \xi_{\omega t})z\gamma_d(1 + \omega_t)]^2 + 4\tau_{zy}^2}{[(\sigma_z + \sigma_y) + C_{\omega} \cot \varphi_{\omega t} + (1 + \xi_{\omega t})z\gamma_d(1 + \omega_t)]^2} \geq \sin^2 \varphi \quad (1)$$

Burada σ_z , σ_y , τ_{zy} , yol dolgu ve yarmaları lös temel zemininin her hangi noktasındaki gerilme bileşenleri; γ_d , zeminin kuru birim hacim ağırlığı; ω_t , zeminin zamana göre değişen su muhtevası; z , incelenen noktanın derinliği; $\varphi_{\omega t}$, $C_{\omega t}$, $\xi_{\omega t}$ sırasıyla lös zeminin sürtünme açısı, kohezyonu ve yanıl basınç katsayısı olup, yol hendeklerinde biriken suyun süzülmesi sebebiyle zamana bağlı olarak değişmektedirler.

Aliyev [25] çalışmasında, farklı yol hendeklerinde uzun süreli biriken su nedeniyle yolun altyapısının üzerine inşa edildiği lös zeminin her hangi $M(z, y)$ noktasında zeminin su muhtevasının zamanla artışının bulunması için aşağıdaki matematiksel ifadeyi elde etmiştir;

$$\omega(z, y, t) = \omega_0 + (\omega_{sat} - \omega_0) \cos \frac{\pi z_1}{2z_0(t)} \cdot \frac{\pi y_1}{2y_0(t)} \quad (2)$$

Burada $z_0(t)$, $y_0(t)$ sırasıyla temel zeminin düşey ve yatay yönde ıslanma bölgesinin boyutları olup zamana göre aşağıdaki kuralla değişmektedirler;

$$z_{0(t)} = \alpha_1 t^{\beta_1}; \quad y_{0(t)} = \alpha_2 t^{\beta_2} \quad (3)$$

Burada α_1 , α_2 , β_1 , β_2 zeminin fiziksel özelliklerine, yol, hendek türü, şekli ve boyutlarına bağlı olan parametreler olup farklı yol hendekleri için arazi deneyleri sonuçlarından elde edilen değerler Çizelge 1'de sunulmaktadır.

Çizelge 1. Arazi deneyleri sonuçlarından farklı yol hendekleri için belirlenmiş değerler

Yolun altyapısı olan zeminin ıslanma kaynağının türü	Katsayıların değerleri			
	α_1	β_1	α_2	β_2
Bir yönde yedek çukurunda, diğer yönde ise yol hendeğinde su birikirken	5.81	0.2466	3.18	0.3619
Yoldan uzaklaştırılmış (2m) yamuk şekilli yol hendeğinde su birikirken	2.55	0.3242	1.63	0.334
Yarı dolgu-yarı yarmada üçgen şekilli yol hendeklerinde su birikirken	1.8532	0.3106	1.90	0.5407
Yol yarmalarında üçgen şekilli yol hendeklerinde su birikirken	3.00	0.2543	2.37	0.2586
Yol dolgularında drenajlı (0.6m) yol hendeklerinde su birikirken	3.75	0.3187	1.14	0.592

Farklı yol hendeklerinde biriken su nedeniyle lös temel zeminin istenilen noktasında sürtünme açısının, kohezyonun ve yanıl basınç katsayısının zamana göre değişimi aşağıdaki matematiksel ifadeden bulunabilir;

$$C(z, y, t) = C_0 - (C_0 - C_{sat}) \cos \frac{\pi z_1}{2z_0(t)} \cdot \cos \frac{\pi y_1}{2y_0(t)}$$

$$\varphi(z, y, t) = \varphi_0 - (\varphi_0 - \varphi_{sat}) \cos \frac{\pi z_1}{2z_0(t)} \cdot \cos \frac{\pi y_1}{2y_0(t)} \quad (4)$$

$$\xi(z, y, t) = \xi_0 + (\xi_0 - \xi_{sat}) \cos \frac{\pi z_1}{2z_0(t)} \cdot \cos \frac{\pi y_1}{2y_0(t)}$$

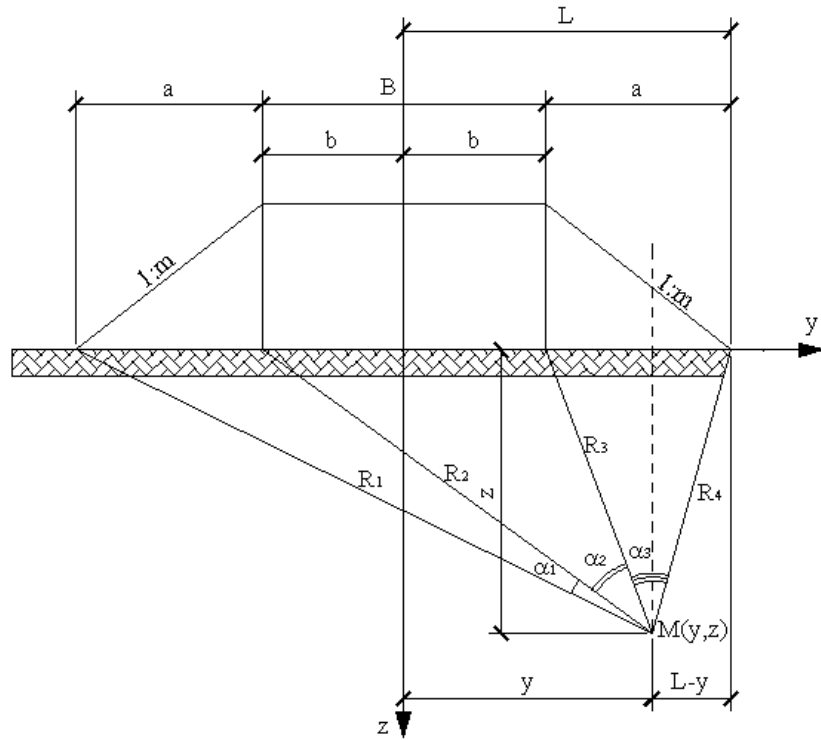
Burada C_0 ; φ_0 ; ξ_0 lös zeminin, ω_0 doğal su muhtevasında ve C_{sat} ; φ_{sat} ; ξ_{sat} ise suya doymun durumdaki ω_{sat} su muhtevasındaki kayma mukavemeti parametreleri ve yanıl basınç katsayısıdır.

(4) ifadesi farklı yol hendeklerinde biriken su nedeniyle, yolun altyapısı altında lös temel zeminde meydana gelen oturma (limit denge durumu) bölgelerinin bulunma alanını, onların boyutlarını, bu bölgelerin zamana göre gelişimini (2) ifadesi ile birlikte belirlemeye olanak sağlamaktadır.

3. SONUÇLAR

Yukarıda gösterilenlere uygun olarak yolun altyapısı altında, lös zeminin stabilitesinin hesabı aşağıda belirtilen sırayla yapılır. Önce yolun altyapısı olan zeminin ıslanma ihtimali olan bölgesinde çizelgenin kavşaklarında bir kaç nokta işaretlenir. Sonra ise bu noktaların her biri için sırayla aşağıdaki parametreler bulunur;

1. Yolun altyapısı altında lös zeminde gerilme bileşenleri σ_z , σ_y , τ_{zy} değerleri,
2. (4) ifadeleri kullanılarak ıslanma olayının farklı zamanlarında, lös zeminin C_{ot} kohezyonu, φ_{ot} sürtünme açışı ve ξ_{ot} yanal basınç katsayısı,
3. Islanma olayının farklı zaman süreleri için (1) ifadesi kullanılarak lös zeminin en büyük eğim açısı $\theta_{max}(\omega, t)$.



Şekil 1. Yol dolgularının temel zemininin gerileme durumunun hesaplanma şeması

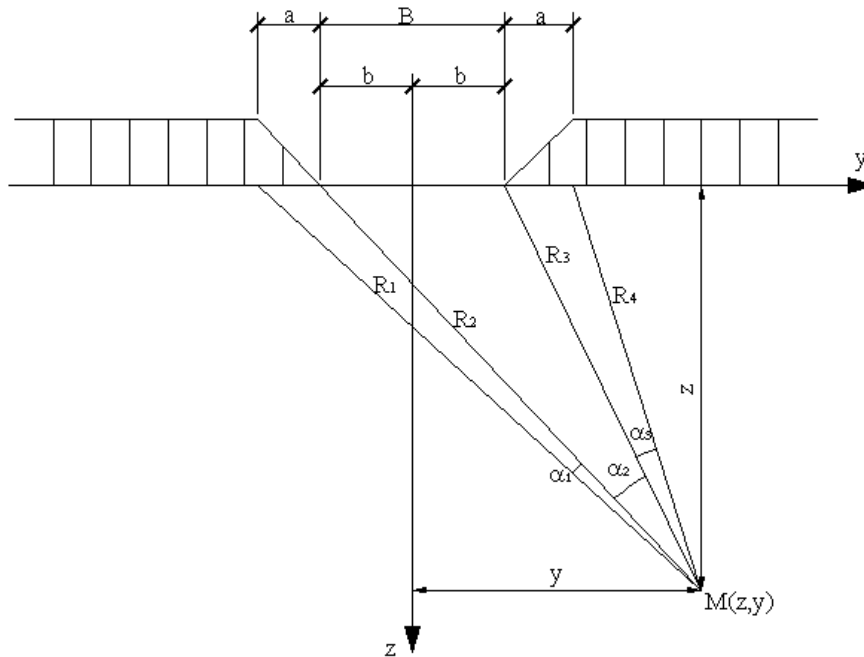
Yol dolgularının ağırlığından dolayı lös temel zemininde meydana gelen gerilme bileşenleri Şekil 1'de sunulan şemaya göre aşağıdaki matematiksel ifadelerden bulunur (Aliyev [22]);

$$\sigma_z = \frac{p}{\pi a} \left[a \left(\operatorname{arctg} \frac{z}{a+b+y} + \operatorname{arctg} \frac{z}{a+b-y} \right) + b \left(\operatorname{arctg} \frac{z}{a+b+y} - \operatorname{arctg} \frac{z}{b+y} + \operatorname{arctg} \frac{z}{b-y} + \operatorname{arctg} \frac{z}{a+b-y} \right) + y \left(\operatorname{arctg} \frac{z}{a+b+y} - \operatorname{arctg} \frac{z}{b+y} - \operatorname{arctg} \frac{z}{y-b} - \operatorname{arctg} \frac{z}{a+b-y} \right) \right]$$

$$\sigma_y = \frac{p}{\pi a} \left[a \left(\operatorname{arctg} \frac{z}{a+b+y} + \operatorname{arctg} \frac{z}{a+b-y} \right) + b \left(\operatorname{arctg} \frac{z}{a+b+y} - \operatorname{arctg} \frac{z}{b+y} + \operatorname{arctg} \frac{z}{b-y} + \operatorname{arctg} \frac{z}{a+b-y} \right) + y \left(\operatorname{arctg} \frac{z}{a+b+y} - \operatorname{arctg} \frac{z}{b+y} - \operatorname{arctg} \frac{z}{y-b} - \operatorname{arctg} \frac{z}{a+b-y} \right) \right] - 2z \ln \frac{\sqrt{(a+b+y)^2 + z^2} \cdot \sqrt{(a+b-y)^2 + z^2}}{\sqrt{(b+y)^2 + z^2} \cdot \sqrt{(b-y)^2 + z^2}} \quad (5)$$

$$\tau_{zy} = \frac{pz}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{z}{a+b+y} - \operatorname{arctg} \frac{z}{b+y} - \operatorname{arctg} \frac{z}{y-b} - \operatorname{arctg} \frac{z}{a+b-y} \right)$$

Burada $b=0.5B$ 'dir.



Şekil 2. Yol yarmalarının temel zemininin gerileme durumunun hesaplanma şeması

Karayolları Altyapısının Üzerine İnşa Edildiği Çökebilir Lös ...

Yol yarmalarının lös temel zemininde yanal yükten oluşan gerilme bileşenleri Şekil 2’de sunulan şemaya göre aşağıdaki gibi bulunur;

$$\begin{aligned}\sigma_z^{yan} &= \frac{P}{\pi a} \left[\pi a - (a + 0.5B + y) \operatorname{arcctg} \frac{z}{a + 0.5B + y} - (a + 0.5B - y) \operatorname{arcctg} \frac{z}{a + 0.5B - y} + \right. \\ &\quad \left. + (0.5B + y) \operatorname{arcctg} \frac{z}{0.5B + y} + (0.5B - y) \operatorname{arcctg} \frac{z}{0.5B - y} \right], \\ \sigma_y^{yan} &= \frac{P}{\pi a} \left[\pi a - (a + 0.5B + y) \operatorname{arcctg} \frac{z}{a + 0.5B + y} - (a + 0.5B - y) \operatorname{arcctg} \frac{z}{a + 0.5B - y} + \right. \\ &\quad \left. + (0.5B + y) \operatorname{arcctg} \frac{z}{0.5B + y} + (0.5B - y) \operatorname{arcctg} \frac{z}{0.5B - y} + \right. \\ &\quad \left. 2z \ln \frac{\sqrt{(a + 0.5B + y)^2 + z^2} \cdot \sqrt{(y - 0.5B - a)^2 + z^2}}{\sqrt{(0.5B + y)^2 + z^2} \cdot \sqrt{(y - 0.5B)^2 + z^2}} \right] \\ \tau_{zy}^{yan} &= \frac{P}{\pi a} \left[\operatorname{arcctg} \frac{z}{a + 0.5B - y} - \operatorname{arcctg} \frac{z}{a + 0.5B + y} - \operatorname{arcctg} \frac{z}{0.5B + y} - \operatorname{arcctg} \frac{z}{0.5B - y} \right]\end{aligned}\quad (6)$$

Dolayısıyla oturma sırasında gerilmenin düşey bileşeninin artışının (yoğunlaşmasının) dikkate alınması gereklidir. Gerilmenin düşey bileşeninin gerçek değerini bulmak için onun hesaplanan değerini “yoğunlaşma” katsayısı ile çarpmak gerekir;

$$\sigma_z^{ger} = \mu \sigma_z^{hes} = 1.3 \sigma_z^{hes} \quad (7)$$

Zeminin kendi ağırlığından meydana gelen gerilme bileşenleri aşağıdaki ifadelerden bulunur;

$$\sigma_{zg} = \gamma_d (1 + \omega) ; \sigma_{yg} = \xi_\omega (1 + \omega) \gamma_d \quad (8)$$

Arazi deneyleri sonucunda, lös zeminin herhangi bir noktasında oturma sırasında o noktada düşey gerilmenin küçüldüğü tespit edilmiştir (Aliyev [14]). Fakat bu noktanın yakın çevresindeki noktalarda düşey gerilmenin artış gösterdiği için, söz konusu noktalarda düşey gerilmenin teorik olarak bulunmuş değerlerinden daha büyük değerlerde oturma meydana gelmektedir. Bu gerilme artışının (yoğunlaşması) maksimum değeri % 30’a eşit olmaktadır.

Çizelgenin her bir kavşak noktasında ıslanma olayının farklı zaman süreleri için en büyük eğim açısı $\theta_{mak}(\omega, t)$ ve sürtünme açısı $\varphi(\omega, t)$ bulunabildiği için, interpolasyon yolu ile biri birine eşit olan noktalar bulunur. Bu noktalar eğri ile birleştirilerek oturma zamanı, lös temel zemininde meydana gelen limit denge durumu bölgelerinin sınırlarının şekli (silueti) elde edilir. Limit denge durumu bölgelerinin şeklinin bilinmesi, yolun altyapısının farklı

kesitlerinde yol yüzeyi oturma eğrisinin şeklini mevcut inşaat normlarının bilinen ifadeleri ile elde etmeye olanak sağlar:

$$S_{Sl} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{Sl,i} h_i K_{Sl,i} \quad (9)$$

Burada $\varepsilon_{Sl,i}$, i tabakasının birim deformasyonu; n -tabakaların sayısı; h_i , i elemanter tabakanın kalınlığı ve $K_{Sl,i}$, katsayı olup bire eşit kabul edilir.

Son olarak yolun altyapısı yüzeyinin oturma eğrisi çizilir. Karayolların kategorisine, yol kaplama türüne bağlı olarak yolun normal çalışma koşulunu sağlayan oturmaya önlemek için mühendislik teknikleri seçilir ve uygulanır.

Semboller

$\sigma_z, \sigma_y, \tau_{zy}$: yol dolgu ve yarmalarının altında lös temel zemininde herhangi bir noktada gerilme bileşenleri
γ_d	: zeminin kuru birim hacim ağırlığı
ω_t	: zeminin zamana göre değişen su muhtevası
z	: incelenen noktanın derinliği
φ_{ot}	: lös zeminin sürtünme açısı
C_{ot}	: lös zeminin kohezyonu
ξ_{ot}	: lös zeminin yanıl basınç katsayısı
$z_{0(t)}$: temel zeminin düşey yönde ıslanma bölgesinin boyutu
$y_{0(t)}$: temel zeminin yatay yönde ıslanma bölgesinin boyutu
$\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$: zeminin fiziksel özelliklerine, yol hendeklerinin türüne, şekline ve boyutlarına bağlı olan parametreler
ω_0	: doğal su muhtevası
ω_{sat}	: suya doymun durumdaki zeminin su muhtevası
$C_0; \varphi_0; \xi_0; C_{sat}; \varphi_{sat}; \xi_{sat}$: lös zeminin ω_0 doğal su muhtevasında ve suya doymun durumdaki ω_{sat} su muhtevasındaki kayma mukavemeti parametreleri
$\theta_{max}(\omega, t)$: lös zeminin en büyük eğim açısı
$\varepsilon_{Sl,i} - i$: tabakasının birim deformasyonu
n	: tabakaların sayısı
$h_i - i$: elemanter tabakanın kalınlığı
$K_{Sl,i}$: katsayı

Teşekkür

Makalenin Türkçesi ve mühendislik dilinin redaksiyonunu yürüten İstanbul Teknik Üniversitesi Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. İsmail Hakkı AKSOY'A sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

- [1] Capper, P.L., Fisher, C.W., İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği, İstanbul, 1984.
- [2] Önalp, A., Geoteknik Bilgisi, Zeminler ve Mekaniği, İstanbul, 1997.
- [3] Abelyev, Y.M., Abelyev, M.Y., Batan Makro-Boşluklu Zeminler Üzerinde Projelendirme ve İnşaatın Esasları, Moskova, 1948 (Rusça).
- [4] Mustafayev, A.A., Batan ve Şişen Zeminler Üzerinde Temeller, Moskova, 1989 (Rusca).
- [5] Mavlyanov, Q.A., Orta Asya'nın Merkezi ve Güney Kısımlarının Lös ve Löse Benzer Kayaçlarının Genetik Türleri, Taşkent, 1958 (Rusça).
- [6] Balayev, L.Q., Tsarov, P.V., Merkezi ve doğu Kafkasya'nın Lös Kayaçları, Moskova, 1964 (Rusça).
- [7] Skempton, A.W., The Bearing Capacity of Clays, Building Research Congress, Division 1, 180-189, 1951.
- [8] Shield, R.T., Drucker, D.C., The Application of Limit Analysis to Punch-Indentation Problems, ASME J., Appl. Mech., 20 (4), 453-460, 1953.
- [9] Terzaghi, K., Zemin Mekaniğinin Teorisi, 1961, (Rusça).
- [10] Krutov, V.L., Foundation Calculation on the Loess Soil, Moscow, 1982 (Rusça).
- [11] Abelev, M.Y., Krutov V.I., Leveling The Tilts of a Tenement Building Founded on Loess Soils Prone to Slump-Type Settlement By Regular Wetting, Soil Mechanics and Foundation Engineering, 37(5), 159-164, 2000.
- [12] Abelev, M.Y., Levchenko, A.P., Assessment of The Proneness of a Loess-Soil Mass to Slump-Type Settlement, Soil Mechanics and Foundation Engineering, 38(6), 203-207, 2001.
- [13] Mezherovskii, V.A., Computational Models Of A System Comprising A Building And An Extremely Thick Loess Bed Prone To Slump-Type Settlement, Soil Mechanics and Foundation Engineering, 38(5), 172-175, 2001.
- [14] Aliyev, S.K., Lös Batan Zeminler Üzerinde Karayollarının Altyapısı, Bakü, 2005. (Rusça).
- [15] Chen, X., Su, Z., Congmao, K.E., The systemic analysis on the stability of loess slope, Journal of Nanchang College of Water Conservancy and Hydroelectric Power 2, 23-27, 2001.

- [16] Shu, J., Peng, H., Wang, X., Zhou, Y., Che, Y., Stability Study of the Cut Slope on the Loess Area, *OpenCast Coal Mining Technology*, 6, 17-20, 2002.
- [17] Wang, D., She, X., Ye, W., Method for Stability of Loess Slope of Cut Based On Topology, *Journal of Earth Sciences and Environment*, 3, 57-60, 2006.
- [18] Li, X., Wang, C., Xu, J., Surficial Stability Analysis of Unsaturated Loess Slopes Subjected to Rainfall Infiltration Effects, *Wuhan University Journal of Natural Sciences* 4, 825-828, 2006.
- [19] Huang, Q., Liu, Y., Peng, J., Triaxial Test Study on The Deformation and Failure Mechanism of Loess Cut Slope, *Journal of Engineering Geology*, 6, 806-811, 2007.
- [20] Jin, Y., Dai, F., Analysis of Loess Slope Stability Due To Groundwater Rise, *Journal of Engineering Geology*, 5, 599-606, 2007.
- [21] Wang, Y., Wang, X., Neural Networks for the Loess Slope Stability Analysis, *Science Technology and Engineering*, 16, 4671-4674, 2008.
- [22] Aliyev, S.K., Dolgunun Temel Zemininde Batma Olayı Bölgelerinin Boyutlarına Bağlı Olarak Karayolların Yüzünün Oturması, *Azerbaycan Teknik Üniversitesi, Dergi, İlmî Eserler Mecmuası*, 81-85, 1984.
- [23] Aliyev, S.K., Yol Dolgularının Lös Temel Zemininde Batma Deformasyonu Zamanı Yolun Altyapısının Stabilitesi, *Otomobil Yolları Dergisi, Moskova*, 7, 15-16, 1985.
- [24] Aliyev, S.K., Veliyev, A.L., Investigation Into Rheological Properties of Compacted Loess Soils, *Proceedings of The Fifteenth International Conference On Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Istanbul, Turkey*, 1-3, 3-4, 2001.
- [25] Aliyev, S.K., Yol Hendeklerinde Biriken Suyun Sızması Sayesinde Yolun Altyapısının Temelinde Bulunan Lös Batan Zeminlerin Sağlamlığının Zamana Bağlı Olarak Değişimi, *Uluslar arası Bilimsel Konferans, Barnaul, Rusya*, 181-185, 1990.