

ZEMİN ÇİVİLİ İSTİNAT YAPILARI HESAP YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE ÖN TASARIM KARTLARI

Aslı Senem AÇIKEL
İnş. Yük. Müh.
İstanbul, Türkiye

M. Tuğrul ÖZKAN
Doç. Dr.
İTÜ
İstanbul, Türkiye

ÖZET

Yapılan çalışmada zemin çivili istinat yapıları tasarımında en yaygın hesap yöntemleri olan Servis Yüğü Tasarımı (SYT) ile Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımı (YDKT) yöntemleri ile hesap yapan bir program hazırlanarak yapılan duvar tasarımlarının sonuçları değerlendirilmekte ve bu yöntemler karşılaştırılmaktadır. Arka şev açısı sıfır olan dik duvarlar için statik durumda farklı zemin parametreleri ve duvar yükseklikleri ile 176 adet zemin çivili istinat duvarı hesabı, yöntemlerin en küçük güvenlik sayıları için yapılmış ve bu hesapların sonuçları analizlerde kullanılmıştır. Analizler sonucunda yöntemler yaklaşık olarak aynı sonuçları vermektedir. Ayrıca yapılan tasarımların sonuçları kullanılarak zemin çivili duvar tasarımında kullanılabilen ön tasarım kartları sunulmaktadır.

GİRİŞ

Zemin içinde imal edilen pasif elemanlardan oluşan bir zemin iyileştirme ve destekleme tekniği olan zemin çivisi tekniği günümüzde benzer derin kazı

destekleme tekniklerine göre yapım aşamasındaki kolaylığı ve ekonomikliğı nedeniyle tercih edilmektedir.

Kökenini Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi'nde kullanılan kaya bulonlarının oluşturduğu zemin çivisi tekniğinin ilk uygulamalarına 1970'lerde sırasıyla Kanada, Fransa ve Almanya'da rastlanmaktadır (Sağlamer, 2002). Bu teknik daha sonra Almanya, Fransa, ABD, ve İngiltere'de yapılan araştırma çalışmalarıyla geliştirilmiştir. Günümüzde en yaygın kullanılan çalışmalar Amerika Ulusal Karayolları İdaresi (FHWA) tarafından yürütölen çalışmalar ve Fransa'da yapılan, deneysel ve teorik araştırmalar sonucunda oluşturulan Clouterre Fransız Ulusal Araştırma programlarıdır (Byrne ve diğ., 1998; Lazarte ve diğ. 2003; Singla, S., 1999).

FHWA tarafından, 1998 ve 2003 de zemin çivisi araştırmalarını ve tasarım önerilerini içeren iki adet detaylı çalışma yayımlanmıştır. Yapılan çalışmada, Servis Yüğü Tasarımı (SYT) ile Yüğü ve Dayanım Katsayıları Tasarımını (YDKT) içeren 1998 yayını temel alınmaktadır.

1.AMAÇ

Yapılan çalışmada en yaygın zemin çivisi tasarım yöntemleri olan Servis Yüğü Tasarımı ile Yüğü ve Dayanım Katsayıları Tasarımını yöntemlerinin farklı parametrelerin değışimine göre karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Ayrıca bu karşılaştırma için yapılan 176 adet zemin çivili duvar hesabının sonuçları kullanılarak ön tasarımda kullanılabilcek tasarım kartları sunulmaktadır.

2.ZEMİN ÇİVİSİ TASARIM YAKLAŞIMLARI

Zemin çivileri kullanılarak oluşturulan istinat yapıları tasarımında, farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar içinde limit denge yaklaşımı en

yaygın kabul gören yaklaşımdır. Zemin çivisi tasarımı için ülkeler tarafından hazırlanan şartnameler, genel olarak bu yaklaşımı temel almaktadırlar.

2.1. ZEMİN ÇİVİLİ DUVAR TASARIMINDA SERVİS YÜKÜ TASARIMI VE YÜK VE DAYANIM KATSAYISI TASARIMI YÖNTEMLERİ

Limit denge yaklaşımını temel alan iki tasarım yöntemi olan SYT ve YDKT zemin çivisi tasarımında dünyada en çok kabul gören yöntemlerdir. Günümüzde tasarımdaki kolaylığı açısından SYT Yöntemi YDKT Yöntemi'ne göre daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Amerika Ulusal Karayolları İdaresi FHWA tarafından önerilen bu tasarım yöntemleri, FHWA'nın FHWA-SA-96-069R numaralı yayınında açıklanmıştır. Daha sonra yine FHWA tarafından çıkarılan FHWA0-IF-03-017 numaralı zemin çivili duvarlarla ilgili yayında, tasarım yöntemlerinden sadece SYT yöntemi bulunmaktadır. Bu çalışmada FHWA'nın her iki yöntemi de içerdiği için FHWA-SA-96-069R numaralı yayını temel alınmaktadır.

YDKT yöntemi ile hemen hemen aynı yöntem olan ve Clouterre'de (Fransız Ulusal Araştırma Projesi) kullanılan Kısmi Katsayı Tasarımı (Partial Factor Design) Yöntemi'nin Eurocode 7 ile gündeme tamamen girecek olması YDKT'ye ileride daha yaygın bir kullanım kazandırması mümkün olabilecektir.

3. ZEMİN ÇİVİLİ İSTİNAT YAPILARININ TASARIMIYLA İLGİLİ KARŞILAŞTIRMALI BİR İNCELEME

Yapılan çalışmada, Excel kullanılarak, FHWA tarafından zemin çivili duvar hesabı için hazırlanan FHWA-SA-96-069R şartnamesinin içerdiği iki

tasarım yöntemiyle (SYT ve YDKT) hesap yapan bir program oluşturulmuştur. Program kullanılarak sürşarj yükü olmayan, dik geçici duvarlar için (arka şev açısı, $\beta = 0$ ve duvar açısı, $\alpha = 0$) her iki tasarım yaklaşımıyla statik durum için hesaplar yapılmıştır.

Hesap yönteminde ilk olarak, zemin parametreleri (birim hacim ağırlık, γ ; kayma mukavemeti açısı, ϕ ; kohezyon, c ; nihai sıyrılma dayanımı, Q_u) ve geometrik parametreler (duvar yüksekliği, H ; yatay çivi aralığı, s_h ; düşey çivi aralığı, s_v) girilerek ön tasarım çivi boyu hesaplanmakta, iç stabilite kontrolleri yapılmakta ve çivi donatısı seçilmektedir.

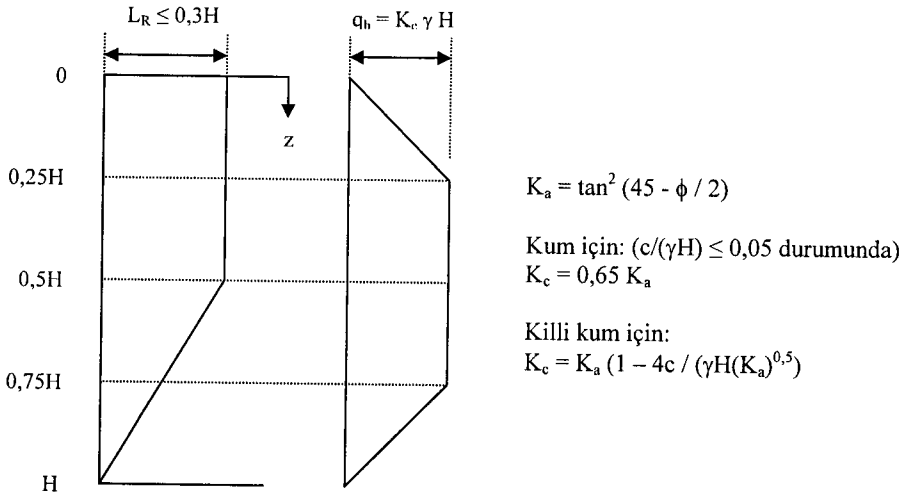
İkinci aşamada statik durum için kaplama kontrolleri (eğilme ve zımbalama) yapılmaktadır. Kontrollerin sağlanması için uygun kaplama kalınlığı, enjeksiyon çapı, ezilme plakası genişliği, hasır donatı ve malzemelerin mukavemet değerleri (donatı akma mukavemeti ve 28 günlük beton mukavemeti) seçilmektedir.

Üçüncü aşamada ise birinci aşamada önerilen ön tasarım çivi boyu dikkate alınarak, tasarım çivi boyu seçilmektedir. Program, seçilen çivi boyları için SYT'de tanımlanan güvenlik sayısı; YDKT'de tanımlanan dayanım/yük oranı hesabını ve şartnamede belirtilen dış stabilite kontrolleri (taşırma gücü ve eksantrisite kontrolleri) ile üst konsol kontrolünü yapmaktadır. Seçilen çivi boyunun, şartname uyarınca Servis Yüğü Tasarımı için en az 1,2 güvenlik sayısını; Yüğü ve Dayanım Katsayıları Tasarımı için en az 1,0 dayanım/yüğü oranını ve dış stabilite kontrolleri ile üst konsol kontrolünü sağlanması gerekmektedir.

Programda çivi yerleşim düzeni şartnamede 5. adımda önerilen düzene göre yapılmaktadır. Ancak, isteğe bağılı olarak FHWA tarafından hazırlanan

FHWA0-IF-03-017 şartnamesinde önerilen çivi düzenlerinden biri de seçilebilmektedir.

Programda Güvenlik sayısının (Servis Yüğü Tasarımı) ve dayanım/yük oranının (Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımı) hesabı geliştirilmiş, Rankine kayma kaması yaklaşımı ile yapılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Geliştirilmiş Rankine kayma kaması ve toprak basıncı diyagramı yaklaşımları (Bowles, 1996)

3.1. YAPILAN HESAPLAR

Zemin çivili duvarlarla ilgili yapılan çalışmada Excel'de hazırlanan program kullanılarak farklı parametrelerle hesaplar yapılarak sonuçları değerlendirilmektedir. Farklı 8 zemin türü (Tablo 1) ve 11 (5,6,.....,15 m) farklı duvar yüksekliği için iki tasarım yöntemi kullanılarak, toplam 176 adet duvar hesabı yapılmıştır. Yapılan hesapların sonuçları incelenerek çeşitli parametrelerin değişimine göre kullanılan zemin çivisi miktarının değişiminin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Çalışmada, zemin türlerinin seçiminde, yapılan çalışmanın uygulamaya yönelik olması amacıyla, standartlarda tanımlanan zemin parametreleri esas alınmaktadır. Nihai sıyırılma dayanımı değeri (Q_u) ise, çeşitli uygulamalardan elde edilmiş veriler değerlendirilerek belirlenmiştir.

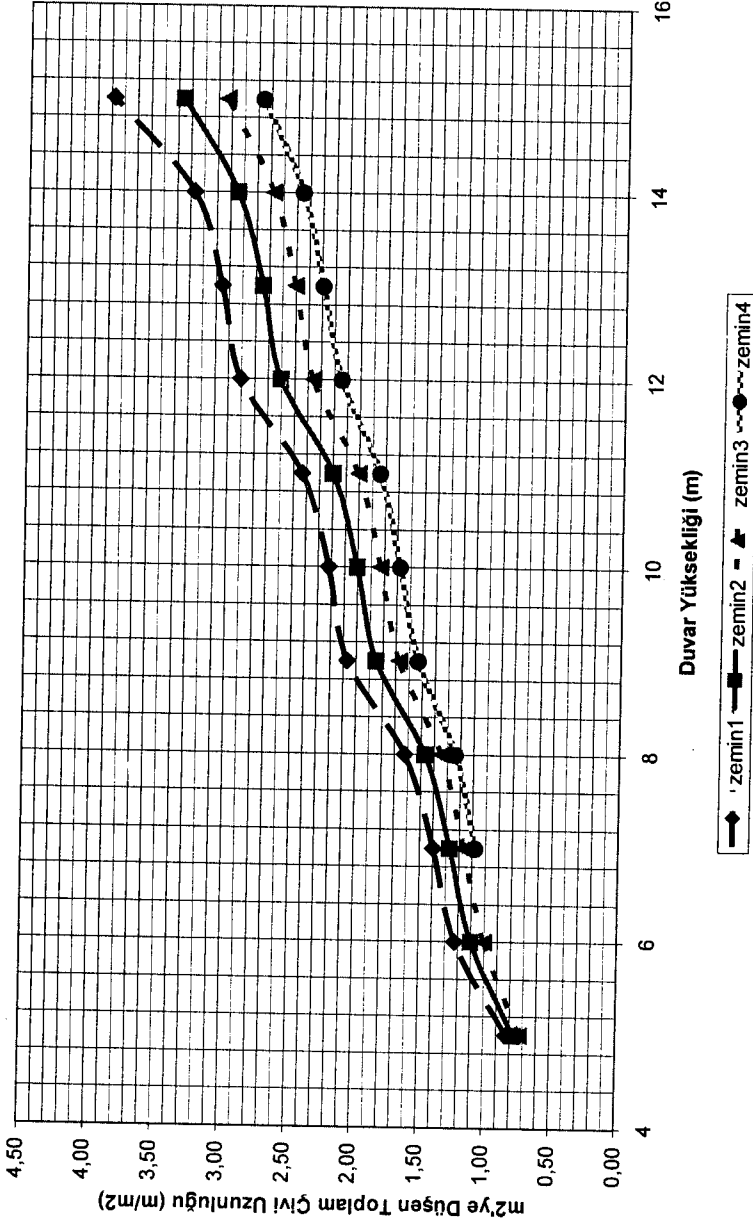
Tablo 1. Hesaplarda kullanılan zemin parametreleri

Zemin	γ (kN/m ³)	ϕ (°)	c (kN/m ²)	Q_u (kN/m)
Z1	18	30	5	80
Z2	18	32	5	85
Z3	18	34	5	90
Z4	18	36	5	95
Z5	19	30	5	85
Z6	19	32	5	90
Z7	19	34	5	95
Z8	19	36	5	100

Hesaplarda çivi aralıkları olarak, uygulamada yaygınlığı açısından FHWA şartnamesinde önerilen ve uygulamada yaygın olarak kullanılan 1,5 m'lik yatay ve düşey çivi aralıkları alınmaktadır.

Ayrıca, hesaplarda 200 mm'lik kaplama kalınlığı, 250 mm'lik ezilme plakası genişliği, ϕ 150 mm'lik enjeksiyon çapı, Q295/295 hasır donatı, Φ 14 yatay ve düşey donatı ve malzemelerin mukavemet değerleri (28 günlük beton mukavemeti: $f_c = 30$ MPa, donatı akma mukavemeti: $F_Y = 420$ MPa) karşılaştırma açısından sabit tutulmaktadır.

Analizlerde karşılaştırma değeri olarak kullanılmak üzere, duvarın m^2 'sine düşen çivi uzunluğu, olarak tanımlanan s değeri, (1) bağıntısına göre hesaplanmaktadır.



Şekil 2 SYT ile $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ için H-s grafiği

$$s = L / (H \times s_H) \quad (1)$$

L: Kesitteki toplam çivi boyu (m)

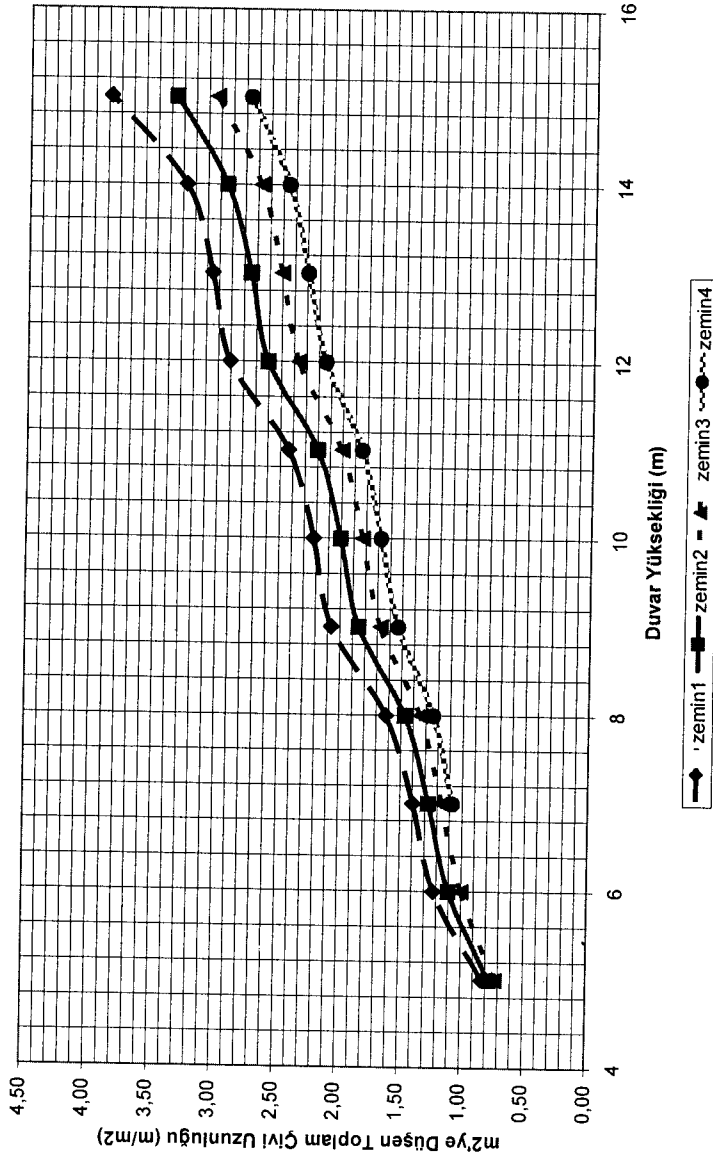
H: Duvar Yüksekliği (m)

s_H : Yatay çivi aralığı (m)

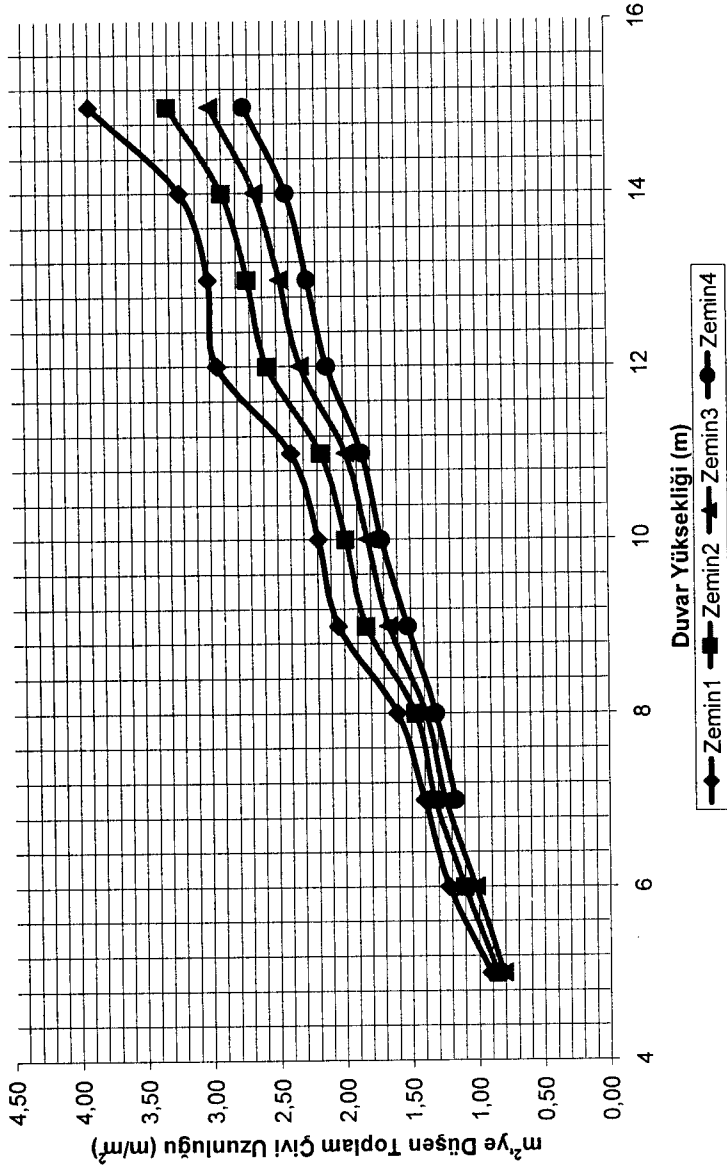
3.2. HESAPLARIN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan hesapların değerlendirilmesinde izlenen yöntem, sırayla çeşitli parametreleri sabit tutularak karşılaştırma değeri olarak belirlenen s değerinin değişiminin incelenmesi şeklindedir.

İlk olarak, yapılan hesapların sonuçları kullanılarak sabit birim hacim ağırlık değerleri için ($\gamma = 18,0 \text{ kN/m}^3$ ve $19,0 \text{ kN/m}^3$) duvar yüksekliği arttıkça, s değerinin değişimi, her iki tasarım yöntemi için ayrı ayrı ikişer grafikte verilmektedir (Şekil 2, 3, 4,5).

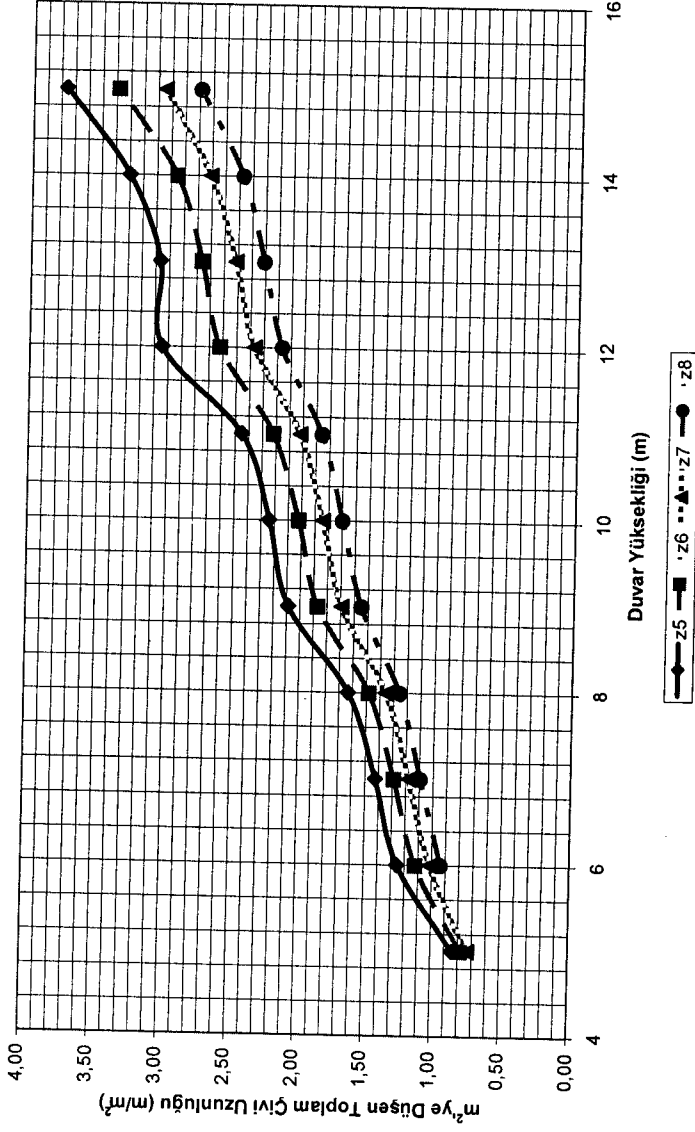


Şekil 2 SYT ile $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ için H-s grafiği

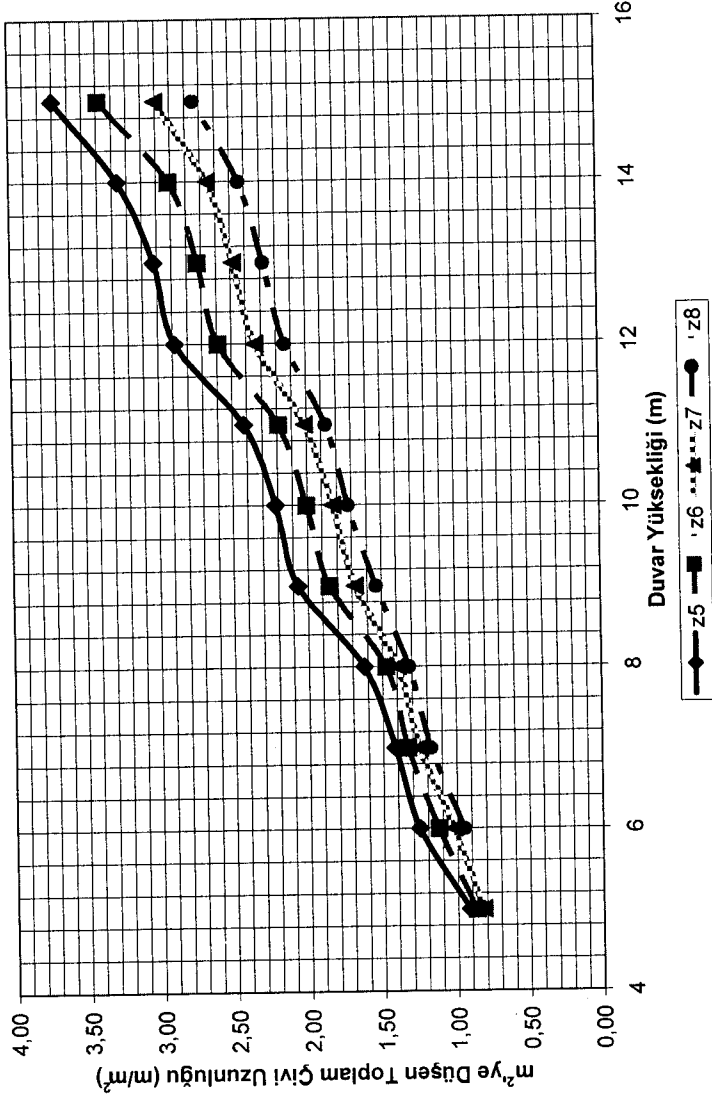


Şekil 3 YDKT ile $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ için H-s grafiği

Grafiklerde iki farklı birim hacim ağırlığı değerine karşı, değişen sürtünme açısı değerleri de Z1, Z2,....., Z8 şeklinde adlandırılmış eğriler tarafından gösterilmiştir. Tablo 1'de bu zemin türlerine ait zemin parametreleri bulunmaktadır.

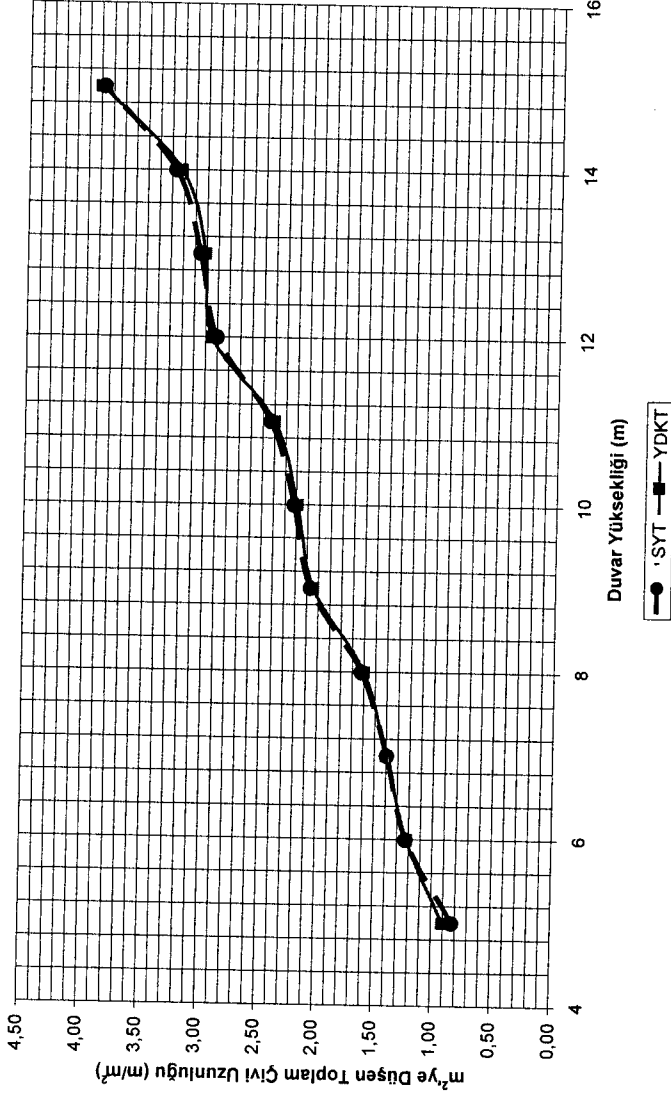


Şekil 4 SYT ile $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ için H-s grafiği



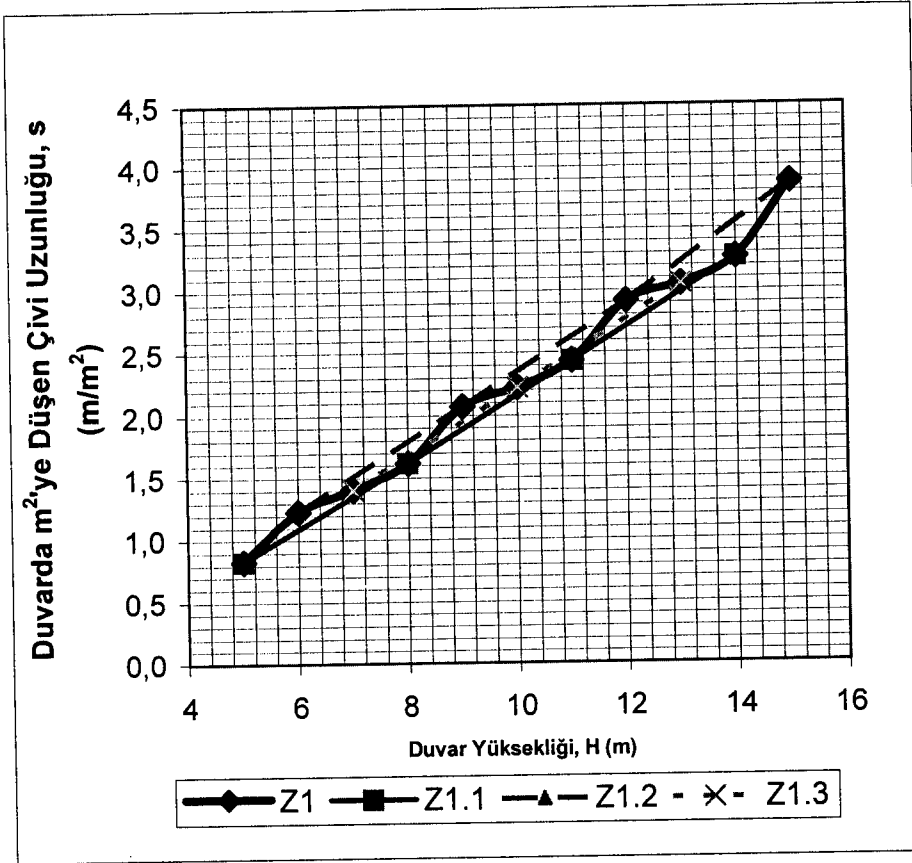
Şekil 5 YDKT ile $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ için H-s grafiği

Daha sonra her bir zemin türü için duvar yüksekliğine göre s değerinin değişimi iki farklı tasarım yöntemine göre incelenmektedir. Her bir zemin türü için ayrı ayrı oluşturulan grafiklerde, değişim SYT ve YDKT ile adlandırılan ikişer eğriyle gösterilmektedir ve iki yöntem arasında bir karşılaştırmaya gidilmektedir. Şekil 6'da yaklaşık olarak aynı sonuçlara ulaşılan Z1 zemini için yapılan karşılaştırma örnek olarak verilmektedir.



Şekil 3.6. Z1 Zemini için SYT ve YDKT'ye göre H-s grafiği

Son olarak, duvar yüksekliklerine göre seçilen farklı çivi yerleşim düzenlerinin s değerine etkisi araştırılmıştır (Şekil 7). Aynı tür çivi yerleşim düzenlerinin olduğu mod3 döngüsündeki yüksekliklere karşı gelen değerler grafikte birer yaklaşım eğrisiyle birleştirildiğinde normaldeki dalgalı görünüme karşın birinci dereceden doğrular elde edilmektedir.



Şekil 7 Yüksekliklere göre seçilen çivi yerleşim düzenlerinin s değerine etkisi

4 SONUÇLAR

Zemin çivili istinat yapıları tasarımında en yaygın kullanılan tasarım yöntemleri olan Servis Yüğü Tasarımı Yöntemi ve Yüğü ve Dayanım Katsayıları Tasarım Yöntemi kullanılarak yapılan karşılaştırmalı parametrik çalışmanın sonuçları aşağıda sıralanmaktadır.

- (1) Sabit birim hacim ağırlık değerleri için ($\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ ve 19 kN/m^3) sürtünme açısı arttıkça, duvarın birim m^2 'sinde kullanılan zemin çivisi miktarı olan s değeri azalmaktadır.
- (2) Farklı zemin türleri için iki yöntem karşılaştırıldığında, benzer sonuçlar elde edilmektedir. Küçük yüksekliklerde YDKT Yöntemi için s değeri daha büyükken, duvar yüksekliği arttıkça tersi görülmektedir.
- (3) Kayma mukavemeti açısı değerinin artışıyla, her iki yaklaşım için de s değeri azalmaktadır. Bu azalma YDKT'nin en az dayanım/yüğü oranı olan 1,0 sayısı için tasarımda küçük duvar yüksekliklerinde eksantrisite problemine neden olabilmektedir. Eksantrisite problemini çözmek için çivi uzunluklarını arttırılmakta ve en az dayanım/yüğü oranı olan 1,0 değeri aşılmaktadır. Bu durumda iki yöntem arasındaki en büyük fark ortaya çıkmaktadır.
- (4) Sonuç grafiklerinde oluşan dalgalı görünüm araştırıldığında, bu görünümün farklı yüksekliklerde seçilen çivi yerleşim düzenlerine bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Zemin çivili duvar homojen bir yapı olmadığı için yüksekliğe ve konstrüktif kurallara bağlı olarak, sabit düşey çivi aralığı (s_v) değeri için duvar yüksekliğinin tam sayılarla artışıyla çivi yerleşimi arasında mod 3'e bağlı bir döngü bulunmaktadır. Bu döngüye bağlı olarak 5.0 m, 8.0 m, 11.0 m ve 14.0 m duvar yüksekliklerinde (mod3'e göre 2), 6.0 m, 9.0 m, 12.0 m ve 15.0 m duvar yüksekliklerinde (mod3'e göre 0) ve 7.0 m, 10.0

m ve 13.0 m duvar yüksekliklerinde (mod3'e göre 1) benzer çivi yerleşimi bulunmaktadır.

- (5) Mod3'e göre aynı çivi düzenine sahip duvar yükseklikleri birleştirildiğinde, bu metreler için H-s grafiğinde birinci dereceden doğrular elde edilmektedir.

KAYNAKLAR

1. **SAĞLAMER, A.**, 2002. Soil Nailed Retaining Walls: Design and Practice, 5th International Congress and Advances in Civil Engineering, ITU, İstanbul, September 25-27
2. **BYRNE, R.J., COTTON, D., PORTERFIELD, J., WOLSCHLAG, C. AND UEBLACKER, G.**, 1998. Manual for design and construction monitoring of soil nail wall, United States Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-SA-96-069R, October
3. **LAZARTE, C.A., ELIAS, V., ESPINOZA, R. D., SABATINI, P. J.**, 2003. **Geotechnical** Engineering Circular No.7 Soil Nail Walls, United States Federal Highway Administration, Publication No. FHWA0-IF-03-017, March
4. **SINGLA, S.** 1999. Demonstration Project 103: Design & construction monitoring of soil nail walls, Project Summary Report, United States Federal Highway Administration, Paris, 463-474
5. **AÇIKEL, A.S.**, (2005). Zemin Çivili İstinat Yapılarıyla İlgili Karşılaştırmalı Bir Hesap Yöntemi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
6. **BOWLES, J. E.**, (1996) Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill College, 668-670.

ABSTRACT

In this study, the most common soil nail design methods, Service Load Design (SLD) and Load and Resistance Factor Design (LRFD) are investigated. An Excel based computer program is used for face batter and back slope angle of zero and to study static loading conditions by using both design methods (SLD and LRFD). 176 soil nailed walls were designed for different soil and geometric parameters with this program. Solutions of these calculations were done for minimum factor of safety and resistance/load ratio of methods were used for analysis. The analysis is showed that the design methods give approximately the same solutions. Because the LRFD is more sensitive than SLD for eccentricity check, the minimum resistance / load ratio of 1,0 for small wall heights is exceeded and LRFD Method requires the use of more soil nail length than SLD Method. However, for higher walls SLD requires more soil nail lengths. The suitable soil parameters for soil nailing that were used for the calculations are selected from codes. Design charts that can be used for pre-design of soil nailed walls are prepared by applying solutions of calculations.

