

ŞEV STABİLİTESİ VE ŞEV HAREKETLERİNE KARŞI ALINACAK ÖNLEMLER¹

Slope Stability And Precautions Against Slope Movements

Buse ÜN
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Abdulazim YILDIZ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Bir şevin bütünsel stabilitesini; şevin yüksekliği, eğim açısı, şev üzerinde bulunan yükün değeri ve konumu, zemin davranışı ve özellikleri, kaymayı önleyici yapının varlığı etkilemektedir. Bu çalışmada, bir şev modeli üzerinde bu etkileri incelemek için parametrik çalışma kapsamında bir dizi analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarında şev güvenliği değeri her durum için ayrı ayrı karşılaştırılmalı olarak incelenmiş ve sonuçlar grafiklerle sunulmuştur. Çalışmanın devamında vaka incelemesine yer verilmiştir. Üzerinde yol inşaatı bulunan ve kayma potansiyeli yüksek olan şev ele alınmıştır. Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen verilerle Plaxis ve Slide programları kullanılarak arazi mevcut durumu simüle edilmiştir. Analiz sonuçlarının arazinin mevcut durumunu yansıttığı görülmüştür. Şev hareketini önlemeye yönelik örnek uygulama ve yapılabilecek diğer çalışmalara değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler :Şev stabilitesi, Geri analiz, Ağırlık yüklemesi, Slide V.6.0, Plaxis 2D.

ABSTRACT

The height of the slope, the value and position of the load on the slope, inclination angle, soil behavior and properties, non-slip structure affect the overall stability of a slope. In this study, a series of analyzes were performed within the scope of a parametric study to examine these effects on a slope model. In the analysis results, the slope safety value was examined separately for each case and the results were presented with graphs. Case study is included in the study. Slope with road construction and high shear potential was studied. The current situation of the land was simulated by using Plaxis and Slide programs with the data obtained from field and laboratory studies. The results of the analysis reflect the current situation of the land. Sample application and other studies to prevent slope movement are mentioned.

Key Words :Slope stability, Back analysis, Gravity loading, Slide V.6.0, Plaxis 2D.

Giriş

Şev hareketlerine karşı alınan önlemlerle hareketinin sebep olacağı zararın önüne geçilebilir. Zeminin mühendislik özellikleri, topoğrafya, tabii faktörler, yer altı ve yer üstü sularının durumu göz önünde bulundurularak uygun tasarım önerilebilir.

¹Aynı Başlıklı Yüksek Lisans Tezinden Üretilmiştir.

Bu çalışmada Plaxis 2D programı üzerinde, şev güvenliğini incelemek için örnek modeller oluşturulmuştur. Zemin parametreleri ve geometrisi sabit tutularak; yük değeri, yükün konumu, diyafram duvarın konumu ve zemin davranışı özelliği değiştirilmiştir. Daha sonra benzer şekilde tüm zemin parametreleri sabit tutularak şev yüksekliği (eğim sabit) ve sonra eğim açıları değiştirilmiştir. Farklı özellikteki iki tabaka halinde oluşturan bir başka şev modelinde tabaka kalınlıkları değişimi ile analizler tekrarlanmıştır. Her bir faktör için ayrı başlık altında analizler yapılmıştır. Şev davranışını anlamak için yapılan bu örnek uygulamada analiz sonuçları güvenlik sayıları baz alınarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca Slide programı ile tekrarlanan analizlerde güvenlik sayılarının birbirlerine yakın olduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışmanın devamında vaka incelemesine yer verilmiştir. Bir yarma üzerinde bulunan yol güzergâhının heyelandan korunarak güvenli hale getirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan arazi çalışmaları ile laboratuvar deneyleri ile yarmaya ait analiz parametreleri belirlenmiş, şev hareketini önlemeye yönelik uygun geoteknik tasarımın oluşturulması üzerinde durulmuştur. Yapılan analizlerde kaymayı önleyici yapı olarak fore kazık kullanılmıştır. Belirlenen kritik kesitler üzerinde çok sayıda analiz gerçekleştirilmiştir. Uygulama için farklı uygulama ve önerilere değinilmiş ve en uygun bulunan sonuçlar sunulmuştur.

Materyal ve Metot

Bir şev probleminin çözümü için şevle ilgili kavramların ve şev tiplerinin iyi bilinmesi gerekir. Şevde stabilite problemi değerlendirilirken sırasıyla; şevde harekete neden olan etkenlerin belirlenmesi, analizlerin yapılması ve stabilizeyi sağlayacak önlemin belirlenmesi, uygun önlem yerinde teşkil edildikten sonra çözümün yeterli olup olmadığının takibi işlemleri gerçekleştirilir.

Materyal

Zemin yüzeyinin yatayla yaptığı açı “şev” olarak isimlendirilir. Şev, eğimli yüzey anlamında da kullanılmaktadır. Şevler insan eliyle oluşturulabilir veya doğal halde bulunabilir. Doğal halde bulunan şevlere “yamaç” ya da “doğal şev” insan eliyle oluşturulan şevlere ise “yarma veya dolgu şevi” ya da “yapay şev” adı verilir. Şevin yatayla yaptığı açı “şev açısı”dır. Şev tabanı ile üst yüzeyi arasındaki düşey uzaklığa “şev yüksekliği” adı verilir. Şevin yüzeyi ile şev tabanının kesiştiği nokta “şev topuğu” olarak isimlendirilir. Kayma yüzeyi, doğal zeminin üst kısmında kalır ve hareket eden kütle alt yüzeyidir. Ayna, kayan zemin kütlelerinin dik veya dike yakın yüzeyine denir. Esas aynanın ön tarafında kayan kısım içerisinde bir kayma kaması ve tali aynalar oluşabilir. Tepe, hareket eden kütle ile ana aynanın kesiştiği yerin en üst noktasına denir. Kritik şev açısı, stabilizeyi bozmadan şeve verilebilecek maksimum açıdır. Kritik şev yüksekliği, çekme gerilmeleri etkisi ile çatlaklar oluşmadan, şeve verilebilecek maksimum yüksekliktir. Şev düzleminde bulunan kütle; kayma, düşme, göçme vb. tehlikelerinin varlığının araştırılmasına “şev stabilitesi incelemesi” adı verilir. Şev stabilitesinin bozulmasıyla şev altındaki ve arkasındaki toprak kütlesi aşağı ve dışa doğru yer değiştirir. Bu harekete “şev

göçmesi” denir. Şev göçme tiplerini Cruden ve Varnes (1996), beş ana kategori ile sınıflandırmıştır.

- **Düşme:** Zemin veya kaya parçalarının şevden aşağı düşmesi şeklindeki göçme tipidir.
- **Devrilme:** Kütlenin belli bir eksen etrafında ileriye doğru yer değiştirmesidir.
- **Yana yayılma:** Özellikle deprem etkisiyle oluşan sıvılaşmaya bağlı olarak birbirine komşu konumdaki zeminlerin yatay yönde yer değiştirmesidir.
- **Akma:** Zemin kütlesinin bir viskoz sıvı gibi aşağı hareket etmesidir.
- **Kayma:** Bir kayma yüzeyi üzerinde kütlenin aşağıya doğru hareketidir.
-

Şev göçmesine, genel olarak, doğal güçler ve insan kaynaklı aktiviteler sebep olmaktadır. Şev göçmesinin nedenleri genel olarak iki başlık altında toplanabilir. Bunlar:Kayma gerilmesinin artmasına neden olan etkenler, kayma mukavemetinin azalmasına neden olan etkenlerdir (Öz, 2007). Yamaç ve şevlerde stabiliteyi arttırıcı başlıca iyileştirmeler; şev-yamaç geometrisinde değişiklik yapılması, yamaç veya şeve etki eden suyun kontrol altına alınması, yapısal önlemler ile stabilite sağlama, ortam özelliklerinin iyileştirmesi ile stabiliteyi sağlamaktır.

Bu çalışmada çözümler için Plaxis ve Slide yazılımları kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemini esas alan Plaxis, geoteknik mühendisliği projelerinde sıkça kullanılarak elde edilmek istenen çözüme hızlı ve güvenli bir şekilde ulaşmayı mümkün kılmaktadır. Geleneksel yöntemleri esas alan Slide, zemin veya kaya yamaçlarındaki dairesel ve dairesel olmayan yüzeylerin güvenlik faktörünü veya duraysızlık olasılığını değerlendirmek için 2D şev stabilite programıdır.

Metot

Şevlerde stabilite incelemesinde birçok farklı yaklaşım bulunmaktadır. Genel olarak çözüme iki farklı şekilde gidilebilir. Bunlar, elde edilen sonucun sayısal ve kesin olduğu deterministik yöntemler (limit denge yöntemi, dilim yöntemi, sonlu eleman analizi) ve çevre şartlarının değişken olduğu kabul edilerek yapılan olasılıksal (gözlemsel, istatistiksel) yöntemlerdir.

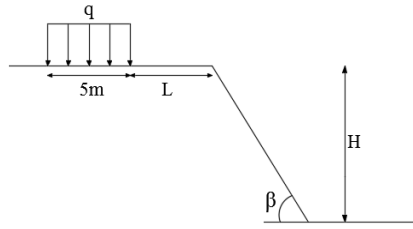
Dilim yöntemleriyle (geleneksel yöntemler) yapılan analizler kabul edilen varsayımlarla birbirinden ayrılır. Dilim yöntemlerinin en önemli özelliği dilimler arası kuvvetlerin analize dahil edilebilmesidir. Bu tüm denge denklemlerini sağlamada önemli rol oynar. Belirlenen olası kayma yüzeyinin kapsadığı alan en az 10 adet parçaya ayrılır. Ayrılan dilimlerin her birinin aynı zemin tipi içinde olması tercih edilir.

Sonlu elemanlar yöntemi, diferansiyel denklemler içeren yükleme, zemin-yapı etkileşimi, konsolidasyon, gerilme-şekil değiştirme, taşıma gücü ve zemin dinamiği konularında mühendislik problemlerini çözmeye yardımcı olan sayısal çözüm metodudur. Sonlu elemanlar yöntemi, geleneksel çözüm yöntemlerine uygun bir alternatif olmaktadır. Çünkü göçme mekanizmasıyla ilgili daha az kabul gerektirir ve analizlerde gerçeğe yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Araştırma Bulguları

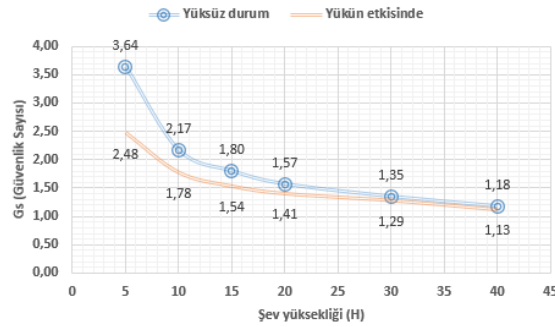
Parametrik Çalışma

Analizler için bir şev modeli belirlenmiş ve bu model üzerinde farklı kombinasyonlardaki değerler kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Plaxis ile yapılan analizlerde zemin parametreleri: Mohr Coulomb malzeme modeli, Undrained, $\gamma_{\text{unsat, sat}} = 18,20 \text{ kN/m}^3$, $E=2 \cdot 10^4$, $k_{1,2}=10^{-4}$, $u=0,35$, $c=25$, $\phi=30^\circ$ dir.



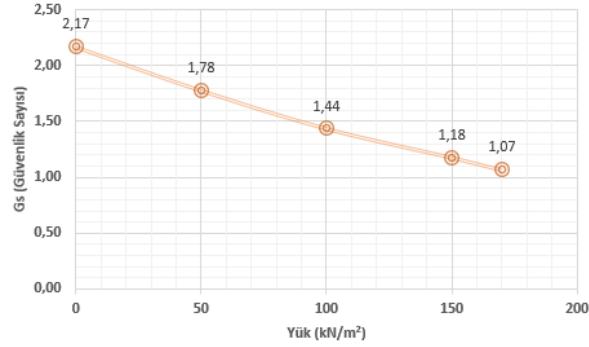
Şekil 1. Genel şev modeli

Analizlerde tüm parametrik değerler sabit tutulurken şev yüksekliği (H) değiştirilmiştir. Şev eğimi 45° olarak alınmıştır. Yükün şev tepesine olan uzaklığı 5m'dir. Çizgisel yükün uzunluğu 5m, değeri $q: 50 \text{ kN/m}^2$ dir. Şev yüksekliğinin güvenlik sayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca analizler şev yüksekliği değiştirilirken yükün etki etmesi ve yükün kaldırılması şeklinde iki farklı durum için tekrarlanmıştır. Şev yüksekliği arttıkça güvenlik sayısının azaldığı, yükün etkisiyle güvenlik sayısının daha da azalış gösterdiği görülmüştür. (Şekil 2.)



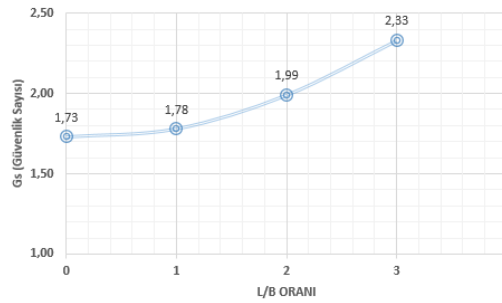
Şekil 2. Şev yüksekliğinin güvenlik sayısı üzerindeki etkisi

Analizlerde H: 10m, $\beta:45^\circ$ değerleri esas alınarak model kurulmuştur. Tüm parametreler sabit tutulurken yükün; 50, 100, 150, 170 kN/m^2 olduğu durumlar için güvenlik sayısı hesaplanmıştır. Çizgisel yük, 5m uzunluğundaki alana etki ettirilmiştir, yükün şev tepesine olan uzaklığı ise (L) 5m'dir.(Şekil 3.)



Şekil 3. Yük değerinin güvenlik sayısına etkisi

Analizlerde H: 10m, β : 45° değerleri esas alınarak model kurulmuştur. Tüm parametreler sabit tutulurken sadece yükün konumu (şev tepesine olan uzaklığı) değiştirilmiştir. Her durum için güvenlik sayısı hesaplanmıştır. Ayrıca Slide programı ile analizler gerçekleştirilmiş sonuçların tutarlılığı kontrol edilmiştir. Aşağıda verilen şekilde L/B oranı ile güvenlik sayısı arasındaki ilişki gösterilmektedir. Yük, şev tepesinden uzaklaştıkça güvenlik sayısının arttığı görülmüştür. (Şekil 4.)



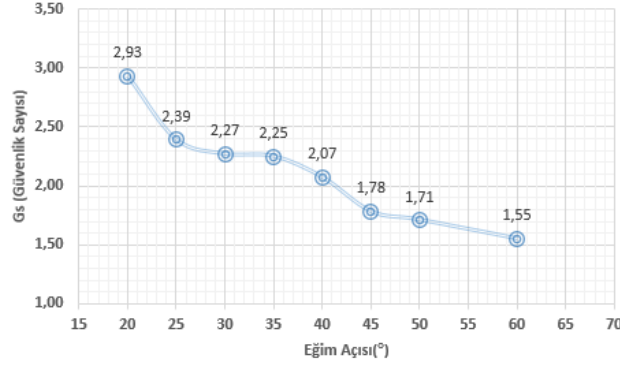
Şekil 4. Yükün konumunun güvenlik sayısına etkisi

Çizelge1. Slide analizlerinden elde edilen sonuçlar

L/B	Slide- Güvenlik sayısı		
	Bishop	Jambu simplified	Spencer
0	1.737	1.622	1.736
1	1.837	1.726	1.880
2	2.010	1.970	2.104

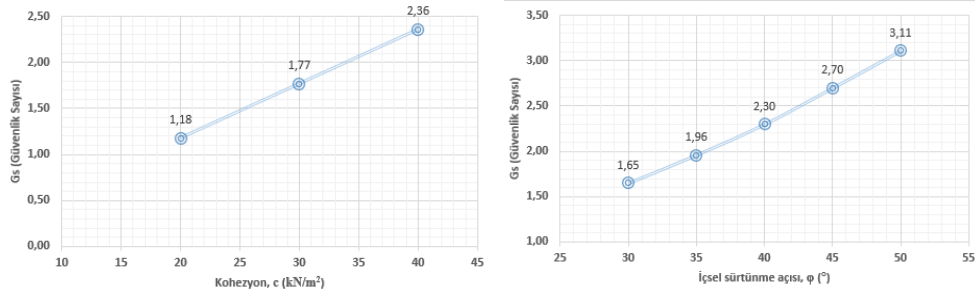
Aynı durumlar için Slide programından elde edilen sonuçlar Çizelge 1.'de verilmiştir.

Analizlerde H: 10m, eğim açıları 20° , 25° , 30° , 35° , 40° , 45° , 50° , 60° değerleri esas alınarak model kurulmuştur. Tüm parametreler sabit tutulurken sadece eğim açısı değiştirilmiştir. Verilen grafikten de anlaşılacağı üzere şev eğim açısı arttıkça güvenlik sayısının azaldığı görülmüştür (Şekil 5.).



Şekil 5. Şev eğiminin güvenlik sayısına etkisi

Analizlerde drenajlı ve drenajsız koşullarda zemin mukavemet parametreleri değiştirilerek işlem yapılmıştır. Drenajlı ve drenajsız zemin tipi için içsel sürtünme açısı ve kohezyonun artmasıyla değişen güvenlik sayıları değerleri grafiklerle gösterilmiştir (Şekil 6.). Her iki davranış koşulunda zeminin mukavemet parametrelerinin artmasıyla güvenlik sayısının da arttığı görülmüştür. (Şekil 6.)



Şekil 6. Kohezyonun ve içsel sürtünme açısının güvenlik sayısına etkisi

Çizelge 2. Tabakalı durumun güvenlik sayısına etkisi

Analiz koşulları	Güvenlik sayısı
1.durum	1.200
2.durum	1.410
3.durum	1.700

Analizlerde içinde iki farklı zemin türü bulunan şevin güvenlik sayısı hesaplanmıştır. Tabaka kalınlıkları değiştirilerek analizler tekrarlanmıştır. Alt

tabakada (1 nolu) üst tabakaya (2 nolu) göre kaymaya karşı daha dirençli bir zemine yer verilmiştir. 3 farklı durum için analizler tekrarlanmıştır. Zeminlerin tabaka yükseklikleri değiştirilmiştir (1. durum: $H_1=4m$, $H_2=6m$ 2. durum: $H_1=5m$, $H_2=5m$ 3. durum: $H_1=7m$, $H_2=3m$). (Çizelge 2)

Şev göçmesine karşı diyafram duvar etkisini incelemek için analizler yapılmıştır. Diyafram duvar ilk önce şev tepesine, daha sonra şev yüksekliğinin orta noktasına ve son olarak şev topuğuna teşkil edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir. (Çizelge 3.)

Çizelge 3. Diyafram duvarının konumu ile güvenlik sayısının değişimi

Analiz koşulları	Güvenlik sayısı
180 kN/m ² yük etkisinde, diyafram duvar dahil edilmeden	Göçme
Diyafram duvar şev tepesinde iken	1,302
Diyafram duvar şev yüksekliğinin ortasında iken	1,268
Diyafram duvar şev topuğunda iken	Göçme

Vaka İncelemesi

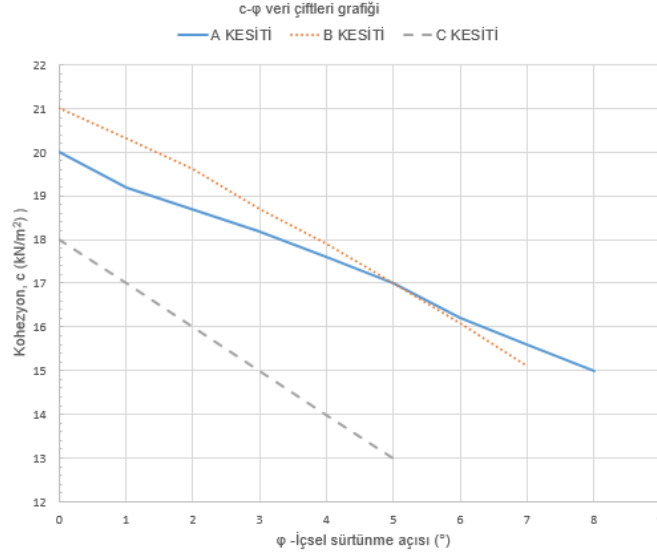
Adana'ya bağlı Kozan ilçesinin kuzey batısında, Kozan – Mansurlu yol inşaatı üzerinde bulunan güzergahta heyelan vakası meydana gelmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında; gözlemsel incelemeler yapılmış, sondaj kuyuları açılmış, yerinde deneyler yapılmış, örselenmiş ve karot numuneler alınmış ve heyelan izleme çalışmaları yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonrasında meydana gelen heyelanda stabilite sorununun nedenleri üstünde durulmuştur.

İnceleme alanı ve çevresinde yeraltı ile yüzey suları bakımından zengindir. Yeraltı suyu etkisi ile zeminin kayma mukavemeti parametrelerinde değişiklikler meydana gelmektedir. Mevcut yarmalar üzerindeki çatlaklara yüzey sularının dolması ile oluşan su basınçları, buna bağlı olarak soğuk mevsimde donma basınçları oluşmaktadır. Şevin taç bölgesinde taşıtların oluşturduğu sürşarj yükleri heyelanı tetiklemektedir. Yol dolgusunun kontrolsüzce sıkıştırılmış olabileceği tahmin edilmektedir. Tüm bu sebeplerin şev stabilitesinin bozulmasına sebep olabileceği düşünülmektedir. Ancak burada şev kaymasına yol açan en önemli sebepler şevin yer altı suyu bakımından zengin olması ve zemin yapısıdır.

Analizlerde geri analizle kayma mekanizması özelliklerinin belirlenmesi mevcut durumun bilgisayar ortamında simüle edilmesi ve tasarım aşamaları izlenmiştir. Geri Analiz, kayma dairesini analizlere doğru bir şekilde yansıtmak amacıyla; stabilitenin bozulmuş olduğu şevde, kaymaya neden olan ilk durumdaki zemin parametrelerini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Kayma dairesinin yerini tahmin etmek için arazi gözlemlerinden, slide analizleriyle elde edilen verilerden ve inklinometre sonuçlarından yararlanılmıştır. Geri analiz yapılırken seçilen limit denge yöntemleriyle ile $G_s=1$ koşulunu sağlayan “c- ϕ ” veri çiftleri deneme yanılma yöntemiyle hesaplanır. Aynı işlem en az 3 veya 4 veri çifti için tekrarlanır. Sonuçlar “c- ϕ ” grafiğine işlenir.

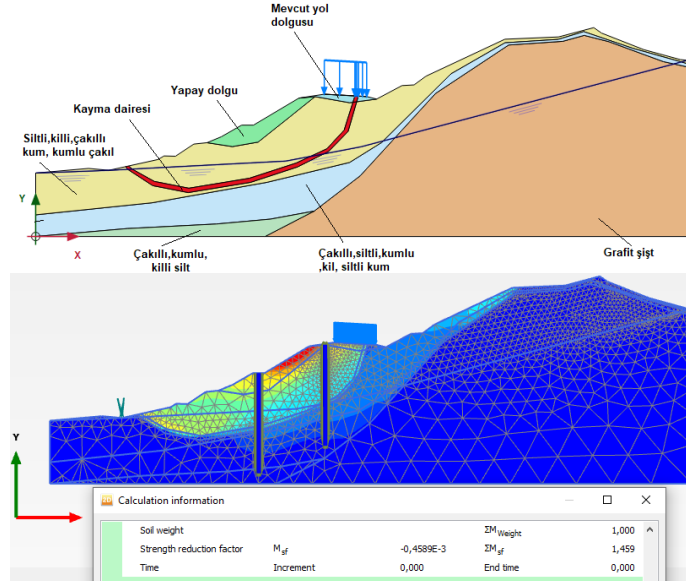
Aynı şevin farklı kesitlerinde birden fazla kayma olduysa farklı kesitler üzerinde veri çiftleri seçilip birden fazla “c- ϕ ” zarfı oluşturulur. “c- ϕ ” zarflarının

kesiştği noktadan kayma dayanımı parametreleri elde edilir. Böyle bir analiz yapılırken şevden alınan en az 3 farklı kesit değerlendirilmelidir (Ulusay, 2002)

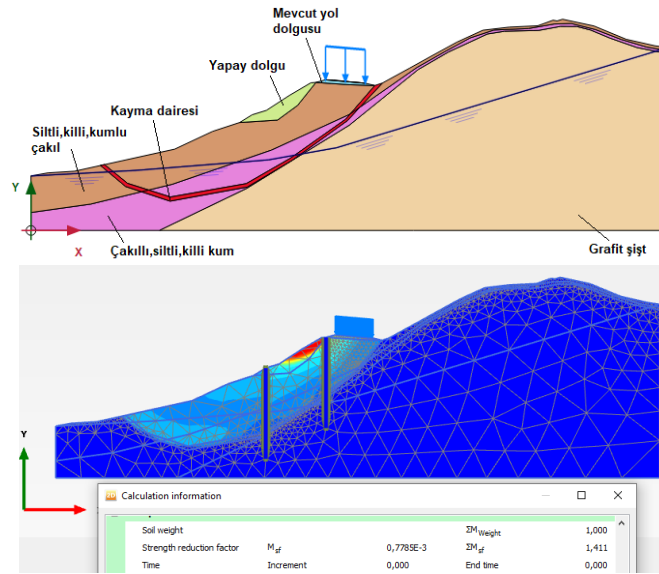


Şekil 7. Geri analiz veri çiftleri grafiği

. Grafikten anlaşılacağı gibi kesişen bölge içerisinde c-φ değeri 5 kN/m²-17° olarak elde edilmiştir. (Şekil 7.) Bunlar kayma dairesine ait parametrelerdir. Burada C kesiti için yapılan analizlerde c-φ zarfının diğer kesitlerle çakışmadığı görülmektedir. Bu durum, C kesitinde eğiminin daha düşük olması, topuğun daha yüklü olması sebeplerinden G_s=1 değerini sağlayacak veri çiftlerinin daha düşük değerlerle sağlanabilmesi ile açıklanabilmektedir. Analizlere A ve B Kritik kesitleri üzerinden devam edilmiştir. Plaxis üzerinde şevin göçme sınırında olduğu durum simüle edilmiş ve çalışmalarla belirlenen zemin parametreleri ile göçmeyi önleyecek tasarım çözümüne gidilmiştir. Tek sıra kazık ve çift sıra kazık işlemlerinden sonra en iyi sonucu veren farklı iki konumda kazık işlemi uygulanmıştır. 30m boyutunda 25cm arayla 1.20 çapında kazıklar kullanılmıştır. Aşağıda A ve B kesitlerine arazi kesitleri ve tasarım sonuçları verilmiştir. Tasarım sonucunda göçme sınırında olan şev güvenli duruma gelmiştir. Son durumda A ve B kesitlerinin güvenlik sayıları 1.459 ve 1.411'dir.



Şekil 8. A kesitine ait görüntü



Şekil 9. B kesitine ait görüntü

Tartışma ve Sonuçlar

Yapılan sayısal analizler “Parametrik Analiz”, “Vaka İncelemesi” olarak iki ana başlık altında toplanmıştır.

Parametrik analizlerde Şev yüksekliği 5m’den 40m’ye kadar kademeli olarak arttırılmış, totalde yüksüz durumda güvenlik sayısının %67, Yüklü durumda ise %54 azaldığı görülmüştür. Analizlere yüksüz durumdan başlanmış ve yük değeri şevin göçme sınırına kadar arttırılmıştır. Güvenlik sayısının yaklaşık %50 azaldığı görülmüştür. Şevin eğim açısının iki katına çıkarılmasıyla güvenlik sayısı yaklaşık %30 azalmaktadır. Zeminin mukavemet parametrelerinin artmasıyla güvenlik sayısı artmaktadır. Kohezyon değerinin iki katına çıkarılmasıyla güvenlik sayısı %50 arttırmakta, 30°’den 50°’ye kadar arttırılan içsel sürtünme açısı ise güvenlik sayısını %47 oranında arttırmaktadır. Şev üzerinde diyafram duvarın konumunun kayma dairesinin yerini değiştirdiği görülmüştür. Kayma dairesi içerisinde kalan diyafram duvar en güvenli çözümü vermiştir. İki tabakalı zeminle oluşturulan modelde kayma mukavemeti yüksek olan zeminin tabaka yüksekliğinin arttırılmasıyla güvenlik sayısının arttığı görülmüştür.

Vaka incelemesi başlığı kapsamında şev stabilitesi problemi incelenmiştir. İnceleme alanında ortaya konan geoteknik tasarımın esası, kayan kütlenin, fore kazıklar ile tutulması ve yeraltı ile yüzey sularının etkin drenajına dayanmaktadır. Bu kapsamda Slide programı ile kayma dairesine ait verileri elde etmek amacıyla geri analizler gerçekleştirilmiştir. Şevin mevcut durumu Plaxis 2D (2018) ile simüle edilmiş ve uygun tasarım için analiz çalışmaları yapılmıştır. Şev güvenliği sağlayan tasarım ortaya konulmuştur.

Kaynaklar

- Cruden, D. M., and Varnes, D. J., 1996. Landslides: investigation and mitigation. Chapter 3-Landslide types and processes. Transportation research board special report, 247s.
- Öz, E., 2007. Şev stabilitesi ve mühendislik uygulamaları. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 154s.
- Ulusay R., 2002. Şevlerin Duraylılığı ve Tasarımı. Kurs Notu. Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 177s. (yayınlanmamış)