

Şev stabilitesi probleminin incelenmesi için geliştirilen bir uzman sistem: BilŞEV-US

Bülent HATİPOĞLU*, **Mete İNCECİK**

İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Şev stabilitesi probleminin çözümü veri toplama, model oluşturma, analiz ve tasarım gibi bir dizi aşamadan oluşmaktadır. Bu çalışmada, sözü edilen aşamaları kapsayan ve bu aşamaların bilgisayar desteğinde yapılmasını sağlayan bütünlük (integrated) ve bilgi tabanlı bir sistem (BilŞEV) için geliştirilen uzman sistem modülü (BilŞEV-US) konu edilmiştir. Uzman sistem modülü şev stabilitesi konusundaki uzmanlık bilgilerinin, önerilen bu bütünlük yapı içinde kullanılmasına ve programlanmasına olanak sağlamıştır. Uzman sistemin tasarımında izlenen yol, hem genç mühendislerin şev problemini çözmesinde destek ve yardım sağlamakta, hem de uzman mühendislerin, cevaplarını muhtemelen bildikleri soruları yanıtlamak zorunda kalmadan, bütünlük sistem içinde yer alan diğer modülleri kullanmasını sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Şev stabilitesi, bütünlük sistem, uzman sistem.*

The development of an expert system for the investigation of slope stability problem: SlopeIDE-ES

Abstract

The solution of slope stability problems consists of many stages such as data collection, modeling, analysis and design. This paper is focused on the expert system module (SlopeIDE-ES) of the integrated and intelligent design environment for slopes (SlopeIDE), which includes all solution stages of the slope stability problem and executes the whole process with the aid of computer. The expert system module enables capturing and representing the expertise and knowledge in the slope stability domain. This module has several knowledge bases such as parameter estimation, limiting factor of safety and landslide susceptibility. In addition to a warning mechanism, which checks the inconsistencies between geotechnical parameters, the system includes a mechanism that utilizes the knowledge bases to provide advice on suitable input parameters. An explanation of the process used to derive the input parameters is also provided by the system. The expert system module enables the programming and the use of the expert knowledge within the integrated framework. The selected design method of the expert system provides a complete assistance and guidance for the young engineers in the solution of the slope stability problem, while enabling the expert engineers to use other modules of the integrated system without dealing with the input questions whose answers are presumably clear for them.

Keywords: *Slope stability, integrated system, expert system.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Bülent HATİPOĞLU. bulent@ins.itu.edu.tr; Tel: (212) 285 37 45.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi'nde tamamlanmış "Şev stabilitesi problemlerinin incelenmesinde bütünlük ve bilgi tabanlı bir sistem geliştirilmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 25.06.2003 tarihinde dergiye ulaşmış, 23.07.2003 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 29.02.2004 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Geoteknik mühendisliğinin önemli araştırma konularından biri olan şev stabilitesi problemlerinin çözümü, veri toplama, model oluşturma, analiz ve tasarım gibi bir çok aşamadan oluşmaktadır. Geoteknik mühendisi, şev stabilitesi probleminin incelenmesi sırasında arazi ve şev problemi ile ilgili veri ve bilgi toplar. Daha sonra bu bilgiler ışığında gerekli etütlerin yapılmasını sağlar. Buraya kadarki aşamalardan gelen bilgileri ve deneyimini kullanarak, problemin modelini oluşturur. Bu model üzerinde şev analizlerini gerçekleştirdikten sonra sonuçların değerlendirilmesi ve alınması gerekli önlemleri tasarlayarak çözüme ulaşır. En son aşamada ise, süreç boyunca elde edilen bilgileri arşivler.

Şev stabilitesi üzerine şimdiye kadar yapılan çalışmalar yukarıda sözü edilen aşamaların belli bir bölümünü kapsamaktadır. Şev analiz yöntemleri üzerine Fellenius (1927), Bishop (1955), şev stabilizasyon yöntemleri üzerine Hutchinson (1977), uzman sistem uygulamaları üzerine Faure ve diğerleri (1991), Sinha ve Sengupta (1989) ve veri bankası uygulamaları üzerine Hak ve diğerleri (2001) örnek gösterilebilir. Buna karşılık bütün aşamaları kapsayan ve bilgisayar destekli çözümleri sağlayabilecek bir yaklaşımın getirilmediği görülmektedir.

Oysa geoteknik mühendisliği problemlerinin bu tür bir yaklaşım ile ele alınmasını uzun süredir öneren araştırmacılar mevcuttur (Lambe, 1972; Baecher ve Dwight, 1991; Toll vd., 1992). Yapılan bu çalışmada, şev stabilitesi probleminin bütün inceleme aşamalarını kapsayan ve bu aşamaların bilgisayar ortamında incelenmesini sağlayan bütünleşik (integrated) ve bilgi tabanlı bir sistem (BilŞEV) oluşturulmuştur. Oluşturulan bu sistemin geçerliliğini göstermek amacıyla bir prototip sistem geliştirilmiştir.

Bu çalışmayla, şev stabilitesi probleminin her aşamasında elde edilen bilgilerin bilgisayar ortamında depolanması, veri girişi sırasında tekrarların ve olası hataların azaltılmasıyla birlikte, geoteknik veriler arasında oluşabilecek uyumsuzlukların kullanıcıya iletilmesi amaçlanmıştır. Buna ilaveten, şev stabilitesi probleminin çözümünde

kullanılan uzmanlık bilgilerinin uzman sistem yaklaşımı ile bilgisayar ortamına aktarılması hedeflenmiştir. Geoteknik mühendisliği eğitimi alan öğrencilerin ve şev stabilitesi konusunda deneyimi olmayan genç mühendislerin konu hakkındaki bilgilerini artırmalarını sağlayacak ve şev stabilitesi problemini çözmelerine yardımcı olacak bir araç ortaya konması da bu çalışmanın hedefleri arasında yer almaktadır.

Bu çalışma, zemin ortamındaki şevler ile sınırlı tutulmuş, kayadaki şevler kapsam dışı bırakılmıştır. Geoteknik mühendisliği disiplini dışında kalan maliyet hesapları ve planlama gibi yapı işletmesi mühendisliği birikimi gerektiren bölümler bu çalışmada ele alınmamıştır. Olasılık hesabına dayanan veya sonlu eleman yöntemi gibi klasik yöntemlerin dışında kalan şev analiz yöntemleri de çalışmanın kapsamına alınmamıştır.

Bu makalede, ilk olarak BilŞEV'in dayandığı temel kavramlar üzerinde durulmuştur. Daha sonra mevcut şev stabilitesi sistemleri incelenmiştir. BilŞEV'in genel yapısı özetlendikten sonra, geliştirilen şev stabilitesi uzman sistem modülü konu edilmiştir.

Bütünleşik ve bilgi tabanlı sistem kavramları

Bu çalışmanın iki temel unsuru olan bütünleşik (integrated, tümleşik) sistem ve bilgi tabanlı sistem (uzman sistem) kavramları aşağıda kısaca açıklanmıştır:

Bütünleşik sistem kavramı

Bütünleşik sistemler (integrated systems) bir alanda çalışan kişinin gereksinim duyduğu tüm araçları içinde bulunduran veya bu araçlar arasında istenilen verilerin değişimini ve güncellemesini kolaylıkla yapabilen sistemlerdir. Bütünleşik sistemler içinde yer alabilecek araçlar sayısal analiz programları (şev stabilitesi programları, sonlu eleman analizi programları gibi), çizim programları (bilgisayar destekli çizim programları -CAD-, coğrafik bilgi sistemleri -GIS-), istatistik analiz programları, veri tabanı programları ve bilgi tabanlı sistemler olarak sıralanabilir (Baecher ve Dwight, 1991).

Baecher ve Dwight (1991) bütünleşik sistemleri, geleneksel olarak geoteknik mühendisinin veri toplama ve değerlendirme, arazi planlarını tasarlama, mühendislik yapılarını modelleme, rapor ve çizim hazırlama işlemleri sırasında kullandığı haritaların, veri bankalarının, çizim araçlarının ve hesap makinesinin elektronik (bilgisayar ortamındaki) eşdeğerleri olarak tanımlamıştır.

Bilgi tabanlı sistem kavramı

Bilgi tabanlı sistemler (uzman sistemler) için çok çeşitli tanımlar yapılmaktadır (Waterman, 1986, Parsaye ve Chignell, 1988; Giarratano ve Riley, 1994; Krishnamoorty ve Rajeev, 1996). Uzman sistemler, Parsaye ve Chignell (1988) de, belli dar bir alanda, ancak uzmanlar tarafından yerine getirilebilen güç görevleri yapabilmek için bilgi ve akıl yürütme yöntemlerini kullanan bilgisayar programları olarak tanımlanmıştır.

Bilgi tabanlı sistem ile uzman sistem kavramları çoğunlukla birbiri yerine kullanılan ve aynı tanıma sahip kavramlar olarak kullanılırlar. Ancak bazı araştırmacılar bu iki terim arasında kullanılan bilginin uzmanlık düzeyine bağlı bir fark olduğunu ifade etmektedirler (Waterman, 1986).

Bilgi tabanlı sistemler üzerine yapılan çalışmalar

Geoteknik mühendisliği alanında araştırma amaçlı bir çok bilgi tabanlı sistem geliştirilmiştir. Bu sistemler ile ilgili kapsamlı bir araştırma Moula ve diğerleri (1995) ile Toll (1996) tarafından yapılmıştır. Toll (1996) tarafından bilgi tabanlı sistemlerin geoteknik mühendisliğindeki konulara göre dağılımı incelenmiştir.

Zemin şevleri üzerinde yapılan ilk çalışmalar, Grivas ve Reagan (1988), Sinha ve Sengupta (1989), Faure ve diğerleri (1991) ile Asté, (1992) tarafından yapılmıştır. Konu üzerine Grivas ve Reagan (1988) tarafından yapılan ilk çalışmada, bir şeve ait stabilite durumu değerlendirip, uygun stabilizasyon yöntemleri öneren STABCON adlı bir bilgi tabanlı sistemden söz edilmiştir.

Sinha ve Sengupta (1989), tarafından geliştirilen sistem (Slope Safety Analyzer) ise mevcut ve

olası heyelanların türünü belirlemek ve türü belirlenmiş heyelanlar için alınabilecek olası önlemleri belirlemek amacıyla geliştirilmiştir.

Faure ve diğerleri (1991), sistemi başlangıçta eğitim amaçlı olarak tasarlamışlar ancak sistemin tamamlanmasıyla geoteknik mühendisliği uygulamalarında da kullanılabileceğini görmüşlerdir. XPENT şev stabilitesini önce sözel (qualitative) olarak değerlendirmekte ve sonuçun kritik olması durumunda sayısal şev analizi yapmaktadır.

Asté (1992) tarafından tanıtılan SISYPHE bilgi tabanlı sistem, şevlerdeki stabilite problemlerinin teşhisi ve mevcut heyelan tehlikesinin değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiştir.

Hirokane ve diğerleri (1993), şevlerin korunmasına ilişkin en uygun yöntemin seçiminde kullanılan bir bilgi tabanlı sistemi tanıtmıştır. Sistem, koruma yöntemi olarak dayanma yapılarından yeşillendirmeye kadar 44 ayrı yöntemi kapsamaktadır

Wang ve diğerleri (1994), olası heyelanların araştırılması üzerine bir bilgi tabanlı sistem geliştirmişlerdir.

Al-Homoud ve Masri (1999), kazı şevleri ve dolguların analiz ve tasarımı için "CSEES" adlı bir uzman sistem geliştirmişlerdir. Sistem şevlerin kayma olasılığını, şev kayma olasılığı indisi adı verilen bir indis yardımı (Slope Failure Potential Index – SFPI) ile belirlemektedir. Bu indisin değerinin belirlenmesinde jeolojik, jeomorfolojik, topoğrafik, yağış ve drenaj gibi parametreler göz önüne alınmaktadır. İndis bulanık küme teorisi ile modifiye Monte Carlo simülasyon yöntemini birlikte kullanarak geliştirilen bir yöntem ile hesaplanmaktadır.

Oliphant ve diğerleri (2000), şev stabilizasyonu yöntemi seçimine yardımcı olmak amacıyla bir uzman sistem geliştirmişlerdir. Bu sistem temel olarak iki modülden oluşmaktadır; biri klasik şev stabilizasyon yöntemlerini içeren "SlopeStable", diğeri de şevlerin bitkiler ile stabilizasyonuna ilişkin önerilerden bulunan "BioStable" adlı

modüldür. Sistem Java programlama dili kullanılarak internet üzerinde çalışacak şekilde geliştirilmiştir.

Bütünleşik ve bilgi tabanlı şev analiz sisteminin (BilŞEV) genel yapısı

Genel yapı içinde, şev stabilitesi probleminin çözümünde gerek duyulan araçlar, bunların fonksiyonları ve araçlar arasındaki ilişkiler tanımlanmıştır. Toplam sekiz modülden oluşan sistemde ilk modül, şev stabilitesi konusundaki uzmanlık bilgilerini programlamakta kullanılan, bilgi tabanlı sistem (uzman sistem) modüldür. İkinci modül, süreç içinde elde edilen bilgilerin depolandığı veri bankası modüldür. Toplanan verilerin raporlanması ve internet üzerinden erişime açılması ayrı modüller de ele alınmıştır. Probleme ait şev analizi, şev stabilitesi analiz modülü içinde gerçekleştirilmektedir. Şevde alınacak önlemlerin tasarımı, analiz modülünden ayrı bir modül olarak tasarlanmıştır. Şev tasarım modülünün fonksiyonu, ekonomi, güvenlik, süre, malzeme gibi kriterleri göz önüne alarak, stabilizasyon yöntemlerini belirlemektir. Çözümün herhangi bir aşamasında gerek duyulan grafik görüntülerin üretilmesi çizim modülünün fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Başka bir modülde de, veri bankasında depolanan projelerin, yeni bir problemin çözümünde kullanılmasını sağlayan vaka tabanlı bir sonuç çıkarım mekanizmasına yer verilmiştir

BilŞEV uzman sistemi (BilŞEV-US)

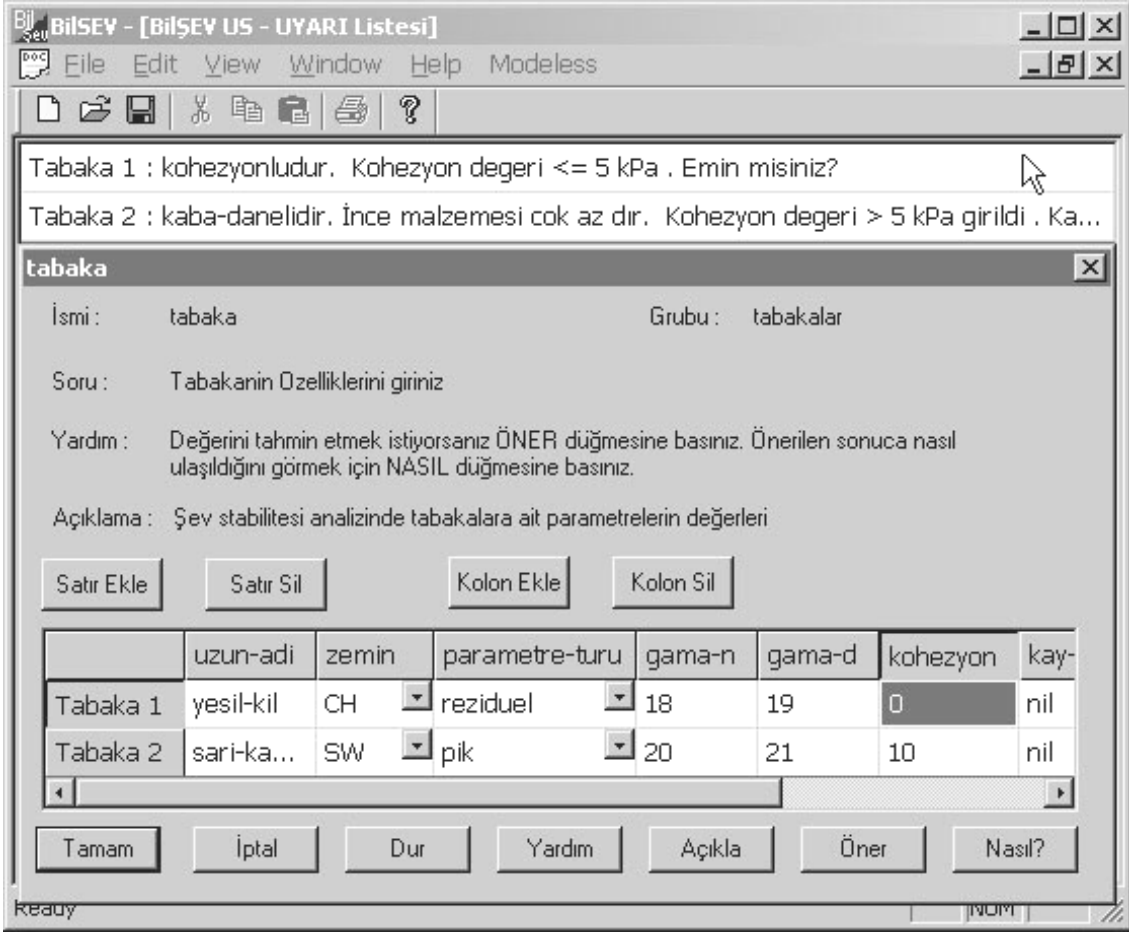
Çalışmada geliştirilen uzman sistem modülüne BilŞEV-US adı verilmiştir. Bu modül bir uzman sistemin sahip olması gereken yorumlama mekanizması, açıklama mekanizması ve grafik kullanıcı arabirimi gibi temel elemanlara sahiptir. BilŞEV-US, yoğun bilgi kullanımı, bilgi ve kontrolün ayrı tutulması, işleyiş sırasında açıklama yapabilme gibi temel uzman sistem özelliklerini de taşımaktadır. Kullanıcı, bilgi tabanını kendi istekleri doğrultusunda geliştirme olanağına sahiptir.

BilŞEV-US, Clips uzman sistem programlama aracı (Giarratano ve Riley, 1994) ile geliştirilmiştir. Grafik kullanıcı arabirimi ve diğer yardımcı fonksiyonlar, C/C++'da yazılıp Clips'e

komut olarak eklenmiştir. Böylece, sistemin tamamının Clips kodunda yazılması olanaklı kılınmıştır. Bu da sistemin kullanıcı tarafından, başka bir dil kullanmasına gereksinim duymadan, yalnızca Clips kullanılarak geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Açıklama mekanizması Clips'in hata ayıklama sistemi üzerine kurulmuştur. Mevcut şev stabilitesi uzman sistemlerinde bir açıklama mekanizması bulunmamaktadır.

BilŞEV-US, sistem tarafından istenen girdiler için bilgi tabanlarını kullanarak "öneri" de bulunabilmekte ve getirilen önerilere "nasıl" ulaşıldığını açıklayabilmektedir. Bunun yanı sıra, sistem tarafından istenen girdilerin "ne için" sorulduğuna da yanıt verilebilmektedir. Modülde, problemin her aşamasında girilen bilgilerin doğruluğunu sorgulayabilen, veriler arasında ortaya çıkan geoteknik uyumsuzlukları belirleyen, bir "uyarı mekanizması" da bulunmaktadır. Uyarı mekanizmasının işleyişine bir örnek Şekil 1'de verilmiştir. Yüksek plastisiteli, katı kıvamda kohezyonlu bir zemin olan "Tabaka 1" in kohezyon değeri için 5 kPa' dan daha küçük bir değer girilmesi durumunda, uzman sistem bilgi tabanında yer alan kurallar tarafından bir uyarı iletisi oluşturulmakta ve bu ileti "Uyarı Listesi"nde gösterilmektedir. Benzer şekilde kaba daneli bir zemin olan "Tabaka 2" nin kohezyon değeri için 10 kPa' dan büyük bir değer girilmesi durumunda bir uyarı iletisi oluşturulmaktadır.

Mevcut ve geliştirilebilecek bilgi tabanları ve yukarıdaki paragraflarda tanımlanan özellikleri ile BilŞEV-US, deneyimsiz mühendislerin şev stabilitesi konusunda bilgi edinmesine ve şev problemini çözmelerine de yardımcı olmaktadır. BilŞEV, mühendisin yararlanacağı bir karar destek sistemi olarak tasarlanmıştır. Başka deyişle, sistem tarafından yapılan tüm değerlendirmeler öneri veya uyarı niteliğinde ekranda gözükmekte, sistem her hangi bir aşamada kullanıcının onayı olmadan işlem yapmasına olanak tanınmamaktadır. Şimdiye kadar geliştirilen sistemler, kararı kullanıcıya bırakmak ve kullanıcı istediğinde öneri getirmek yerine, doğrudan problemin çözümüne ulaşmaktadır.



Şekil 1. Tabaka parametrelerinin beklenen değerlerinden farklı girilmesi durumunda oluşan uyarıların "UYARI Listesi"nde gösterilmesi

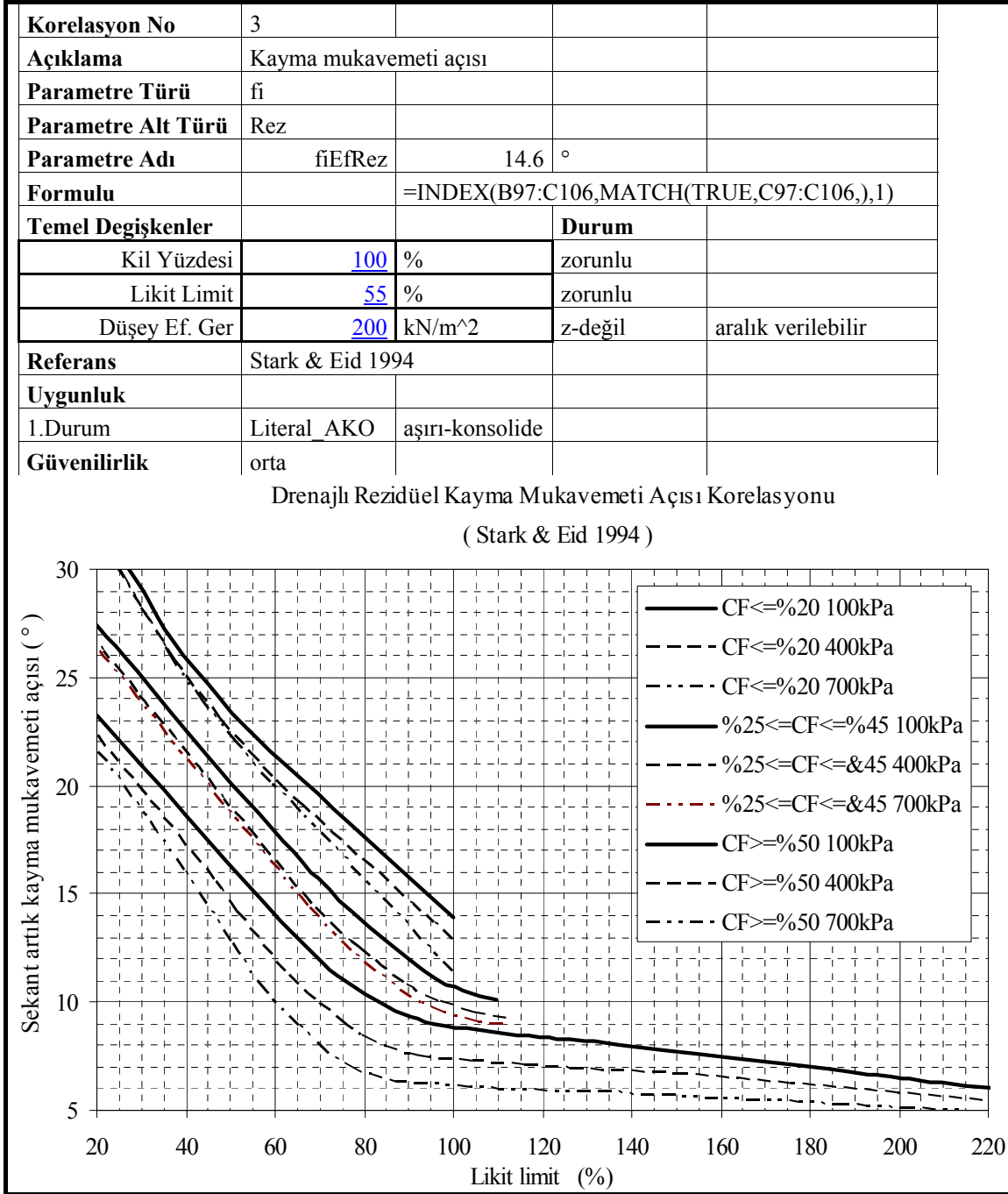
BilSEV kapsamında geliştirilen prototip sistemde üç bilgi tabanı bulunmaktadır. Bunlardan kayma riski öneri bilgi tabanı ile gerekli minimum güvenlik sayısı öneri bilgi tabanı BilSEV-US içinde yer almaktadır. Bu iki bilgi tabanı kural tabanlı bilgi gösterim yapısı kullanılarak geliştirilmiştir. Grafik çizim özellikleri gerektiren ve zeminlerin mühendislik özelliklerinin tahminine yardımcı olan bilgi tabanı ise Ms Excel elektronik tablo programı ile geliştirilmiştir (Şekil 2 ve Şekil 3). Aşağıda bu üç bilgi tabanı hakkında açıklamalara yer verilmiştir.

Kayma riski bilgi tabanı, geoteknik literatürden elde edilen bilgilere dayanılarak oluşturulmuştur. Bilgi tabanının amacı, yeterli bilgi sahibi olunmayan bir bölgede yapılacak ön araştırmada, o bölgenin kayma riski hakkında, kullanıcının fikir sahibi olmasını sağlamaktır.

Gerekli güvenlik sayısı öneri bilgi tabanı, bir şev stabilitesi probleminde kullanılması gerekli minimum güvenlik sayısının belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Öneriler şev türü, şevin kalıcı veya geçici olarak tasarlanması, mukavemet parametrelerinin elde edilmesindeki doğruluk derecesi, şevin göçme durumunda oluşacak can ve mal kaybı göz önüne alınarak yapılmaktadır. Gerekli güvenlik sayısı çoğunlukla 1.20 ile 1.50 arasında değişmektedir. Bu değerler arasındaki sayısal fark küçük olmakla birlikte, stabilite açısından oldukça önemli olmaktadır. Örneğin güvenlik sayısının 1.20 yerine 1.30 seçilmesi alınacak önlemlerin türünün değiştirilmesine veya maliyetin önemli ölçüde artmasına yol açabilmektedir. Dolayısı ile böyle bir bilgi tabanı modülünün geliştirilmesi gerekli görülmüştür.

Aranan Parametre	Alt Tür	Adı	Değer	Birim	Kor. Sayfası	Temel Değişkenlerin Değerleri
1						
4	fiEf	Korelasyon: 3 Stark & Eid	14.6	°	K.3.fiEfRes.	Kil Yüzdesi=100 - Likit Limit=55
12	fiEf	Korelasyon: 11 Gibson, 19	25.0	°	K.11.fiEfRes	Plastisite İndisi = 15

Şekil 2 . BilŞEV-T'nin korelasyon listesinde yer alan kayma mukavemeti açısına ait korelasyonların "Rezidüel" alt türü için filtrelenmiş durumu



Şekil 3. Şekil 2'de Listelenen 3 numaralı korelasyona ait detaylar

Zeminlerin mühendislik özelliklerinin tahminine yardımcı olmak amacıyla geliştirilen modül (BilŞEV-T), korelasyonlarda girdi olarak kullanılan değişkenlerin yer aldığı “Temel Değişkenler” sayfası, “Korelasyon Listesi” sayfası, her korelasyonun detaylarına yer verilen “Korelasyon” sayfaları ve “Tipik Değerler” sayfasından oluşmaktadır. Her korelasyon ayrı bir sayfada grafikleriyle birlikte yer almaktadır. Korelasyonlar bu yolla, mevcut sistemlerden daha sistematik ve anlaşılır bir gösterime sahip olmuştur. Elektronik tablo programlarının sayfa şeklindeki açık grafik kullanıcı arabirim yapısı buna olanak sağlamıştır.

Korelasyonlar ile ilgili diğer bir bölüm de “Korelasyon Listesi Sayfası”dır. Mevcut sistemlerde bulunmayan bu yapı sayesinde bütün korelasyonlar sonuçlarıyla birlikte gösterilebilmektedir. Her korelasyonun, türü, alt türü, referansı, değeri (sonucu), birimi ve temel değişkenleri bir satırda sunulmaktadır. Bu sayfa sayesinde bütün korelasyonlar birlikte değerlendirilebilmekte ve sonuçları karşılaştırılabilmektedir. Bir ‘hyper-link’ ile korelasyon listesi sayfasından korelasyona ait detayların yer aldığı sayfaya geçilebilmektedir.

BilŞEV-T’de zeminlerin mühendislik özelliklerine ait, literatürden derlenmiş tipik değerler elektronik tablo programının bir sayfasında toplanmıştır. Bu sayfada, zeminlerin sözel tanımlama parametrelerine bağlı olarak indeks özellikleri ve davranış parametrelerinin alabileceği maksimum, minimum ve ortalama değerler yer almaktadır. Değerlerin alındığı referans ve parametrenin birimi de bunlara ek olarak verilmiştir.

BilŞEV-T’nin kullanımına ait bir örnek Şekil 2 ve Şekil 3’te gösterilmiştir. Şev analizi için tabaka özelliklerinin girilmesi sırasında (Şekil 1) her hangi bir parametrenin seçilip “öner” düğmesine basılması durumunda parametre tahmin modülü aktive edilmektedir. “Korelasyon Listesi” tabakanın mühendislik özelliklerine ve aranan parametrenin türüne göre sorgulanmakta ve istenen korelasyonlar incelenmektedir (Şekil 2). Daha sonra değeri kullanılması düşünülen korelasyonun detayları ilgili sayfada (Şekil3) incelenebilmektedir.

Sonuç

Şev stabilitesi problemi geoteknik mühendisliğinin önemli araştırma konularından birisidir. Bu makalede, bütünleşik ve bilgi tabanlı şev stabilitesi sistemi için geliştirilen uzman sistem (BilŞEV-US) konu edilmiştir.

Uzman sistem modülü, şev stabilitesi konusunda kitaplar ve şartnameler gibi basılı kaynaklarda yer alan bilgiler ve deneyim ile elde edilmiş uzmanlık bilgilerinin bütünleşik bir yapı içinde programlanmasını ve sistematik bir yapıda sunulmasını sağlamıştır.

BilŞEV-US bir karar destek sistemi olarak tasarlanmıştır. Sistem tarafından yapılan tüm değerlendirmeler, mevcut sistemlerin aksine, öneri veya uyarı niteliğini taşımaktadır. Alınacak kararlar kullanıcıya bırakılmaktadır.

Geliştirilen şev stabilitesi uzman sistemi, genç mühendislerin şev stabilitesi konusunda bilgi edinmesine ve şev problemini çözmelerine yardımcı olmaktadır.

Uzman mühendisler de sistemin bilgi tabanlarının geliştirilmesi sırasında başvuru şartname ve önemli referanslara kolaylıkla ulaşma olanağına sahip olmaktadır. Ayrıca uzman sistem için seçilen tasarım yöntemi, bütünleşik yapı içinde yer alan diğer modülleri, onlar için gereksiz olan soruları yanıtlamak zorunda kalmadan kullanmasına olanak sağlamaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma sırasında sağladıkları proje desteklerinden ötürü İTÜ İnşaat Fakültesi Geoteknik Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Ahmet Sağlamer’e ve The British Council’e teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Al-Homoud, A. S., Masri, G. A., (1999). CSEES: An expert System for Analysis and Design of Cut Slopes and Embankments. *Environmental Geology*, **39**, 1, November, 75-89.
- Asté J. P. (1992). SISYPHE: Systemè d'Aide au Diagnostic en Matière d'Instabilité de Pentes, in *Geotechnique et Informatique, Proc. Int. Conf.*

- on *Geotechnics and Computers*, Paris: Presses de l'École Nationale de Ponts et Chaussées, 515-524.
- Baecher, G. B, Dwight, A. S., (1991). Geotechnical Engineering Workbench, in McLean, F.G., Campbell, D. W. A. and Harris, D. W., eds, *Proc. of Geotechnical Engineering Congress 1991*, Geotechnical Special Publication, **27**, 1044-1056, ASCE, Boulder, Colorado.
- Bishop, A. W., (1955). The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes. *Geotechnique*, **5**, 1, 7-17.
- Faure, R.M., Mascarelli, D., Zelfani, M., Charveriat, L., Gandar, J., Mosuro, O., (1991). XPENT: An Expert System for Slope Stability, *Second Intr. Conf. On Application of Artificial Intelligence to Civil and Structural Engineering.*, ed. Topping, B.H.V., Civil-Comp Press, UK, 143-147.
- Fellenius, W. (1927). Erdstatische Berechnungen mit Reibung and Koaesion. Berlin: Ernst.
- Giarratano, J., Riley, G., (1994). Expert Systems: Principals and Programming, 2. ed., PWS Publishing Company, Boston.
- Grivas, D.A., Reagan, J.C. (1988). An Expert System for the Evaluation and Treatment of Earth Slope Instability, *Proc. 5th Int. Symp. On Landslides, Lausanne* ed. Bonnard, C., 649-654.
- Hak, S.H., Ma, T.M., Chan, T.P., Chan, D.C., (2001). Slope Information System – An Indispensable Tool for Hong Kong Slope Safety Management, *Proc. of 14th South East Asia Geotechnical Conference*.
- Hirokane, M., Mikami I., Yagashira K., Kawano, K., Ohmori S., (1993). Knowledge Acquisition and Evaluation for Selection of Slope-protection Structures, *Proc. of Knowledge Based Systems for Civil and Structural Engineering*, Topping, B.H.V., Ed., Civil-Comp Press, Edinburgh, 161-169.
- Hutchinson, J.N. (1977). Assesment of Effectiveness of Corrective Measures in Relation to Geological Conditions and Types of Slope Movement, *Bull. Int. Assos. Eng. Geol.*, **16**, 131-155.
- Krishnamoorthy, C.S., Rajeev, S., (1996). Artificial Intelligence and Expert Systems for Engineers, CRC Press, Boca Raton.
- Lambe, T.W., (1972). Integrated Civil Engineering Project, *J. of ASCE Soil Mechanics and Foundation Engineering*, **98**, 6, 535-556.
- Moula, M., Toll, D.G, Vaptismas, N., (1995). Knowledge-Based Systems in Geotechnical Engineering, *Geotechnique*, **45**, 2, 209-221.
- Oliphant, J., McCaffey, R., Apted, R., (2000). Soil Slope Stabilization Methods, An *International Conference on Geotechnical and Geological Engineering*, November, Melbourne, Australia.
- Parsaye, K., Chignell, M., (1988). Expert Systems for Experts. John Wiley & Sons, New York.
- Sinha, A. K, Sengupta, M., (1989). Expert System Approach to Slope Stability, *Mining Science and Technology*, **8**, 21-29.
- Stark, T. D., Eid, H. T, (1994). Drained Residual Strength of Cohesive Soils, *ASCE Journal of Geotechnical Engineering*, **120**, 5, 856-871.
- Toll, D. G., Moula, M., Oliver, A., and Vaptismas, N., (1992). A Knowledge Based System For Interpreting Site Investigation Information, *Intr. Conf. On Geotechnics and Computers*, 607-614, Paris.
- Wang, S., Xiao, S., Jia, Z., (1994). An Engineering Geology Expert System of Shearing Zone , *Proc. 7th Int. Cong. Int. Assoc. Engineering Geology, Lisbon*, Eds. Oliveira, R., Rodrigues, L.F., Coelho, A.G., Cunha, A. P. Balkema, 4489-4494.
- Waterman, D. A., (1986). A Guide to Expert Systems, Addison-Wesley, New York.
-
- Toll, D. G., (1996). Artificial Intelligence Applications in Geotechnical Engineering, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*.
<http://www.ejge.com/1996/Ppr9608/Abs9608.htm>.