ÖLÇÜLEN ZEMİN PARAMETRELERİNDEN KAYMA DALGA HIZ (V_s) HESABINDA BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI

M. Tün[1]

[1] *Araştırma Görevlisi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir*
Email: mtun@anadolu.edu.tr

ÖZET:

Yerleşim alanlarında, geoteknik zemin özelliklerinin ve zemin problemlerinden kaynaklı risklerin belirlenmesi, depreme dayanıklı yapı tasarımında önemli bir aşamadır. Yaşanan depremlerde özellikle alüvyon zeminler üzerinde, taşıma gücü kaybı ve sıvılaşma problemleri nedeniyle, birçok yapısal hasarlar meydana gelmiştir. Zemin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan ölçüm yöntemlerinden biri Sismik Konik Penetrasyon Test (SCPT) yöntemidir. SCPT, tek bir sondajda iki veya daha fazla tekniğin birleştirilmesiyle optimize edilmiş veri toplamayı sağlayan geoteknik testlerden biridir. Bu çalışma kapsamında Eskişehir yerleşim alanındaki alüvyon zeminin 40 farklı noktasında uygulanan SCPT verileri kullanılmıştır. CPT'den ölçülen zemin parametrelerinin, uç direnç "q_c" (MPa) ve yanal sürtünme "f_s" (MPa), kayma dalgası hız (Vs) büyüklüğü ile olan ilişkisi araştırılmıştır. Bu ilişkinin belirlenmesinde, klasik karşılaştırma yöntemlerinin yanında belirsizliğin var olduğu durumlarda kullanılan "bulanık mantık" yaklaşımlarından yararlanılmıştır. Zemin özellikleri bakımından bilinen gerçekler, karşılaştırmalı analizlerde kullanılmış ve oluşturulan model üzerindeki belirsizlikler mümkün olduğunca giderilmiş veya belirsizliğin varlığı kabul edilerek analizlerin bu kurallara göre uyarlanması sağlanmıştır. Sonuç olarak, CPT yöntemiyle elde edilen zemin parametreleri kullanılarak, kayma dalgası hız hesabı yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Mühendislik sismolojisi, S-dalgası hızı (V_s), SCPT, bulanık mantık.

1. GİRİŞ

Yerleşim alanlarını etkileyen depremler sonucunda meydana gelen kuvvetli yer hareketleri miktarları, bölgenin jeolojik yapısı ve yerel zemin koşullarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Yerel zemin etkisi olarak tanımlanan bu etkinin belirlenmesi, depreme güvenli yerleşim alanlarının seçilmesi ve depreme dayanıklı yapı tasarımı çalışmalarında önemli bir veri kaynağıdır. Bu etkiyi belirleyebilmek amacıyla farklı mühendislik ölçüm yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Bu ölçüm yöntemleri, son yıllardaki teknolojik gelişmelere pararlel olarak hızla gelişmekte, daha ekonomik, hızlı ve güvenilir sonuçlar elde edilebilmektedir.

Çalışma alanı olarak seçilen Eskişehir kent merkezinde, 20 Şubat 1956'da, 6.4 büyüklüğünde, meydana gelen depremde 2819 yapı hasar görmüştür. 17 Ağustos 1999 Kocaeli (Mw:7.4) depreminde, Eskişehir kent merkezinde 86 kişi hayatını kaybetmiş ve 95 kişi yaralanmıştır. 70 konut-işyeri ağır hasar görmüş, 1 bina deprem anında, 4 bina depremden sonra yıkılmıştır. Dolayısıyla bu bölgedeki yerel zemin koşullarının belirlenmesi ve deprem kaynaklı karşılaşılabilecek risklerin önceden ortaya konulması, olası can ve mal kayıplarını en aza indirmeye yönelik tedbirlerin alınmasına imkan tanıyacaktır.

Yerel zemin etkisinin belirlenmesinde kullanılan en önemli parametrelerden birisi de kayma dalga hızı (Vs)'dir. Kayma dalga hızının "Vs (m/s)" belirlenmesi amacıyla birçok ölçüm yöntemi kullanılmaktadır (Hunter J.A. et al., 2002). Bu çalışmada, yeni alüvyon üzerinde zemin özelliklerinin belirlenmesi ve Vs hızının ölçülmesi

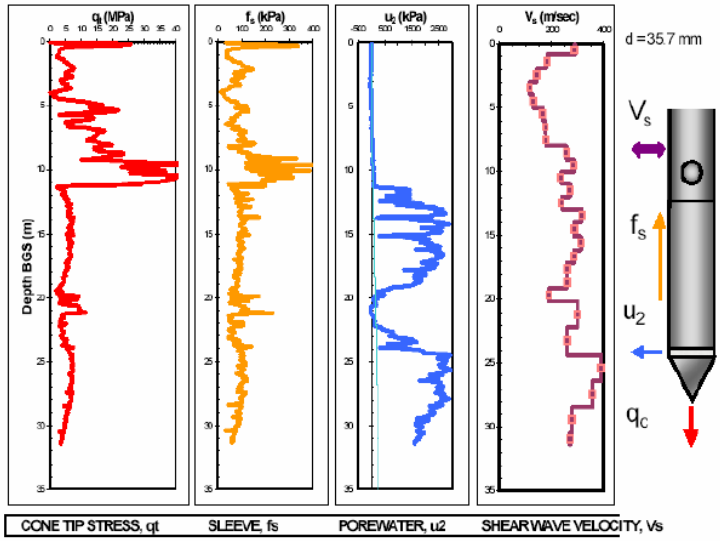
amacıyla SCPT verileri kullanılmıştır. Çalışma alanında daha önceki çalışmalarda yapılan SCPT'den elde edilen sonuçlar, Coğrafi Bilgi Sistemi kullanılarak coğrafi konumlarıyla ilişkilendirilmiş ve haritalanmıştır (Nefeslioğlu, 2001, Tün 2003, Tün ve diğ. 2004). SCPT, tek bir sondajda iki veya daha fazla tekniğin birleştirilmesiyle optimize edilmiş veri toplamayı sağlayan geoteknik testlerden biridir (Robertson, 1984, Campanella, 1986).

Yerküre üzerinde karşılaşılan ve anlam kazandırmaya çalıştığımız birçok durumu veya olayı belirgin denklemlerle tanımlanarak kesin bir şekilde ifade edilmesi mümkün olamayabilmektedir. Bundan dolayı, kesin olmasa bile yaklaşık fakat çözülebilirliği olan yöntemlere başvurulur (Şen, 2001). Bu çalışmada, SCPT'den elde edilen zemin özelliklerinin, birbirleri arasındaki ilişkilerin yorumlanması amacıyla klasik karşılaştırma yöntemlerinin yanında belirsizliğin var olduğu durumlarda kullanılan "bulanık mantık" yaklaşımlarından yararlanılmıştır.

2. ZEMİN PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ

2.1. SCPT Yöntemi

Geoteknik zemin özelliklerinin belirlenmesi, zemin sınıflaması ve kayma daga hızının ölçülmesi amacıyla SCPT uygulanmıştır (Tün, 2003). SCPT, derinlik ile dört bağımsız ölçümün düşey profillerini, ekonomik ve hızlı bir şekilde sağladığından dolayı çok yönlü bir yaklaşım imkanı sağlar. SCPT zeminlerin dinamik davranışlarında, mühendislik problemlerinin çözümlenmesi amacıyla analitik ve dinamik test metodu olarak geliştirilmiştir (Campanella vd., 1986; Robertson vd., 1984). Şekil 1'de Memphis, Tennesee'de yapılmış ve 4m silt, 7m kum tabakası geçilen bir SCPT kayıt profili verilmiştir (Mayne P.W., 2000) (Şekil 2).



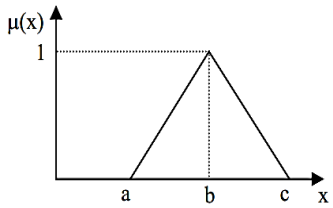
Şekil 1. Memphis, Tennesee'den SCPT kayıt profili (Mayne, 2000)

2.2. Uygulama Yerleri

Bulanık Mantık yaklaşımının klasik matematiksel yöntemlerden farkı, kesinliklerle çalışmaması ve niteliksel tanımlamalara olanak sağlamasıdır. Bulanık mantık kullanılarak, belirsizliklerin matematiksel olarak ifade edilebilmesi ve karmaşık sistemlerin modellenmesi mümkün olabilmektedir. Bulanık mantık kavramında, bir üyenin bir kümenin üyesi olup olmadığını üyelik fonksiyonları belirler. Bir nesnenin üyelik derecesinin değeri 0 ile 1 arasında değişir. Burada 1'in değeri tam üyeliği gösterir, 0'a yakın değer ise bulanık kümedeki nesne

üyeliğinin zayıf olduğunu belirtir. Bulanık mantık terminolojisinde sıklıkla kullanılan üyelik fonksiyonu türleri; üçgen, trapez ve çan biçimli üyelik fonksiyonlarıdır. Bulanık mantık ile uzman kişilerin görüş ve tecrübelerinden yararlanılır (Gülbağ, 2006). Bu çalışmada kullanılan, üçgen üyelik fonksiyonu ve fonksiyonun matematiksel ifadesi (a,b,c) parametreleriyle görülmektedir (Şekil 2).

$$f(x,a,b,c) = \begin{cases} 0 & , x \le a \\ \dfrac{x-a}{b-a} & , a \le x \le b \\ \dfrac{c-x}{c-b} & , b \le x \le c \\ 0 & , c \le x \end{cases}$$

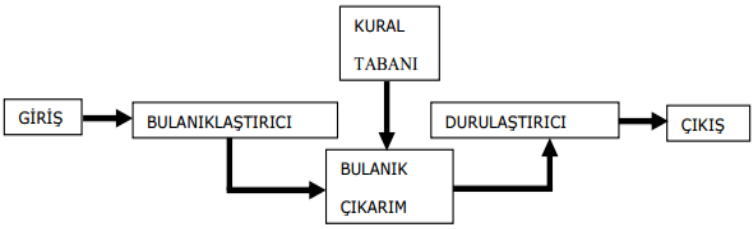


Şekil 2. Üçgen üyelik fonksiyonu ve matematiksel ifadesi

Bulanık çıkarım sisteminin temel yapısı üç kısımdan oluşur: Bulanık kuralların seçimini içeren "kural tabanı", bulanık kurallarda kullanılan üyelik fonksiyonlarının bilgilerini içeren "veri tabanı" ve kurallar doğrultusunda verilen koşullara bağlı olarak çıkışları belirleyen "yargılama mekanizması". Mamdani ve Sugeno bulanık çıkarım sistemleri literatürde en fazla kullanılanlarıdır (Mamdani, 1974, Takagi ve Sugeno, 1985). Bulanık sistemin veri işlem diyagramı Şekil 3'de verilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan Mamdani bulanık çıkarım sisteminde; A_i, B_i, C_i sırasıyla i=1,2, e∈E, f∈F ve g∈G için E, F ve G'de tanımlanmak üzere iki tane bulanık denetim kuralı aşağıdaki gibi ifade edilebilir; Sözel değişkenler (e,f ve g) arasındaki ilişki genelleştirilmiş bulanık ilişkiye bağlı olarak ve maksimum-minimum operatörleri kullanılarak tanımlanır.

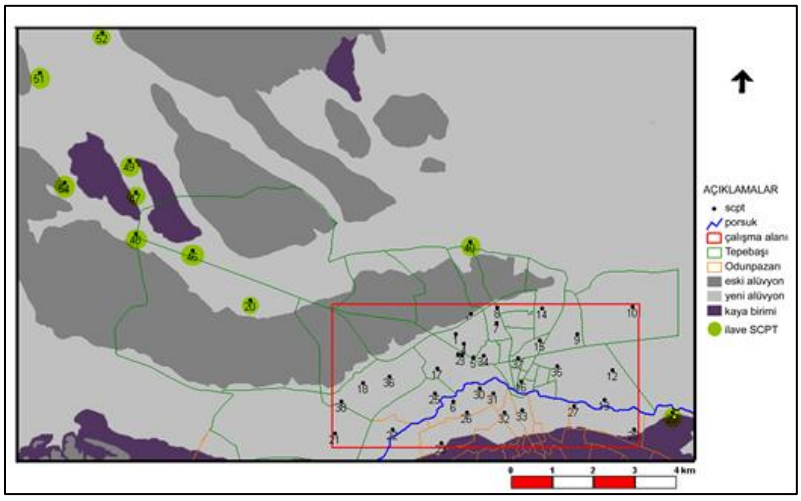
Eğer e A1 ve f B1 ise g C1
Eğer e A2 ve f B2 ise g C2



Şekil 3.Bulanıklaştırma-Durulaştırma birimli bulanık sistem

2.3. Uygulama Yerleri

Veri analizinde kullanılmak üzere toplam 32 adet SCPT ve bu çalışma sonucunda elde edilen istatistiksel ilişki fonksiyonlarının doğruluk analizinin yapılması amacıyla da 8 adet SCPT yapılmıştır (Şekil 4) (Tün 2003).



Şekil 4. İstatistiksel analizde kullanılan SCPT uygulama noktaları

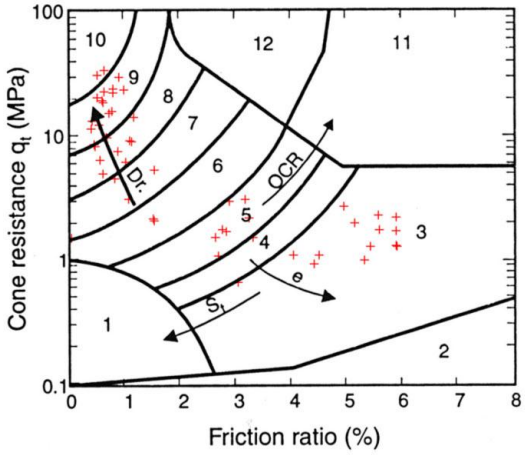
3. BULGULAR

Çalışma kapsamında, yeni alüvyon birimi üzerinde, uygulama derinliği 7-13 m aralığında değişen 40 farklı noktada uygulanan SCPT sonucunda, 245 farklı seviye için ortalama konik uç direnci (q_c), yanal sürtünme (f_s), boşluk suyu basıncı (u) ve istenilen aralıklarda kayma dalga hızı (V_s) değerleri ölçülmüştür.

Tablo 1. Farklı zemin sınıfları için, SCPT'den elde edilen ölçüm sonuçları tablosu

zemin türü	N	qc			N	Vs			N	rf		
		Min	Max	Mean		Min	Max	Mean		Min	Max	Mean
1	1	0,91	0,91	0,91	2	42	127	84	1	2,16	2,16	2,160
2	1	0,89	0,89	0,89	1	102	102	102	1	8,16	8,16	8,160
3	91	0,6	7,4	1,89	87	84	250	156	91	0,86	9,40	4,790
4	26	0,65	14,7	2,74	26	94	237	177	26	0,83	4,92	3,350
5	20	0,93	12,84	3,75	19	140	270	193	20	0,58	4,93	2,620
6	8	1,57	6,54	3,66	7	120	205	173	8	0,83	4,66	2,636
7	9	2,58	9,51	5,41	7	123	251	176	9	0,47	3,00	1,184
8	22	4,44	16	9,63	21	147	316	218	22	0,28	1,58	0,910
9	50	3,32	32,32	16,4	49	147	349	241	50	0,38	2,00	0,830
10	13	18,66	33,29	24,45	13	218	434	268	13	0,22	1,16	0,644
11	3	6,76	15,75	10,22	2	312	236	274	3	3,16	5,59	4,460
12									1	3,30	3,30	3,300

Tablo 1'de verilen zemin türleri Robertson vd. (1986)'ne göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflama yöntemine göre, x ekseni sürtünme oranı Rf(%) değişimine bağlı y ekseni boşluk suyu basıncına bağlı olarak düzeltilmiş konik uç direnci (qt) değişimi incelenir. Şekil 5'de görüldüğü gibi sınıflama abağı 12 bölgeye ayrılmış ve her bir bölge, farklı zemin türüne karşılık gelmektedir (Robertson vd.,1986) (Şekil 5)

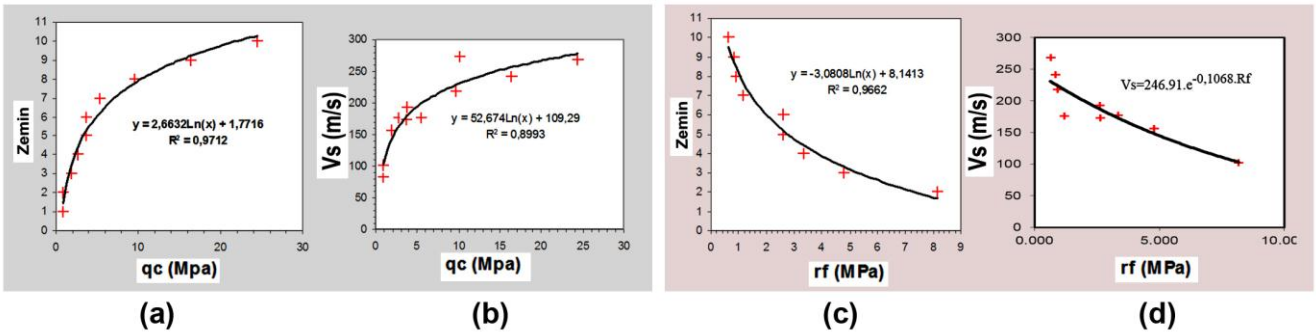


Bölge	Zemin türü
1	Duyarlı ince tane
2	Organik malzeme
3	Kil
4	Siltli kil - kil
5	Killi silt - siltli kil
6	Kumlu silt - killi silt
7	Siltli kum – kumlu silt
8	Kum – siltli kum
9	Kum
10	Çakıllı kum – kum
11	Çok sıkı ince tane
12	Kum – killi kum

Şekil 5. Robertson vd. (1986) zemin sınıflaması abağı üzerinde qt ve Rf değerlerinin değişimi ve bölgelere karşılık gelen zemin türleri

3.1. Tanımlayıcı İstatistiksel Değerlendirmeler

Tablo 1'de verilen farklı zemin türlerine ait ortalama değerler kullanılarak, q_c-zemin ve V_s, R_f–zemin ve V_s ilişkileri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. (a) q_c-zemin ilişkisi (r=0.97, log.). (b) q_c-V_s ilişkisi (r=0.89, log.). (c) R_f–zemin ilişkisi (r=0.96, log.). (d) R_f–V_s (r= 0.93, exps.).

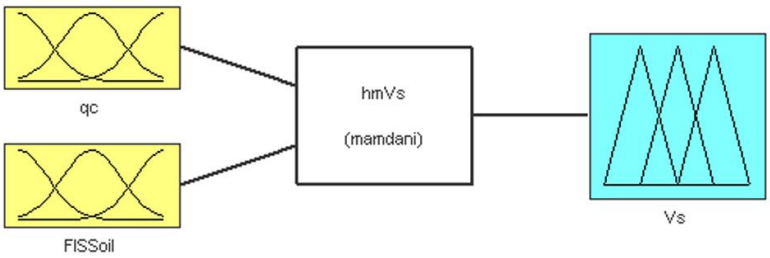
Şekil 4.a ve 4.c grafikleri x ekseni değişkenleri, Robertson vd. (1986) zemin sınıflamasında doğrudan kullanılan parametreler olduğundan beklenen bir sonuçtur. Ancak q_c ve R_f değişkenlerinin sismik yöntemle elde edilen Vs hızı ile olan ilişkisi, yerel zemin koşullarına bağlı olarak değişebilecek bir sonuçtur. Dolayısıyla SCPT ile doğrudan ölçülen q_c ve R_f değişkenleri ile Vs arasındaki ilişkinin yorumlanması gerekir. Bu ilişkinin belirlenmesinde, klasik karşılaştırma yöntemlerinin yanında belirsizliğin var olduğu durumlarda kullanılan "bulanık mantık" yaklaşımlarından yararlanılmıştır. Zemin özellikleri bakımından bilinen gerçekler, karşılaştırmalı analizlerde kullanılmış ve oluşturulan model üzerindeki belirsizlikler mümkün olduğunca giderilmiş veya belirsizliğin varlığı kabul edilerek analizlerin bu kurallara göre uyarlanması sağlanmıştır.

3.2. Bulanık Mantık Modellerinin Oluşturulması

Bulanık mantık yaklaşımında ölçülen q_c, R_f, Vs değişkenleri ve hesaplanan zemin sınıfı değişim aralıkları kontrol edilebilir sınıflara ayrılmıştır. Örtüşmeli üçgen gösterimi ile üyelik fonksiyonları belirlenmiştir. Böylelikle her bir sınıf aralığı arasındaki geçişlerin doğrudan değil, sınıflar arasında belirli bir örtüşmenin

olabileceği değerlendirilmiştir. Bu şekilde gösterim, her alt aralığa düşen değer de üyelik derecesinin, sadece o aralıkta 1'e, diğer aralıklarda ise 0'a eşit olduğunu ifade eder. MATLAB bilgisayar programının bulanık mantık editörü olan Fuzzy Toolbox'ta sistemimizdeki girdileri ve çıktıyı tanımladıktan sonra kurallar oluşturulmuştur (Toolbax, 2000).

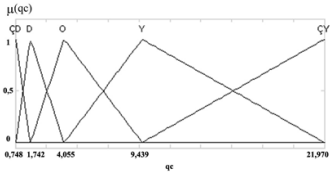
Bu çalışmada q_c, R_f, zemin sınıfı giriş verileri kullanılarak çıkış verisi olarak Vs'nin elde edildiği model oluşturulmuştur (Şekil 7).



Şekil 7. Mamdani çıkarım sistemi ile oluşturulan model diyagramı

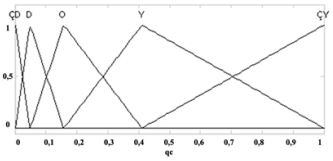
3.3. Üyelik Fonksiyonlarının ve Kuralların Belirlenmesi

Bu aşamada her bir girdi verisi için örtüşmeli üçgen gösterimi ile üyelik fonksiyonları oluşturulmuş ve üyelik dereceleri 0-1 arasına indirgenmiştir (Şekil 8,9).

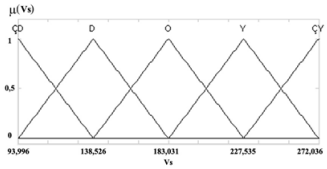


qc	min	mid	max
ÇD	0,748	.....	1,742
D	0,748	1,742	4,055
O	1,742	4,055	9,439
Y	4,055	9,439	21,970
ÇY	9,439	.....	21,970

0-1 ⇒ $y=0,0473 \cdot x-0,034$

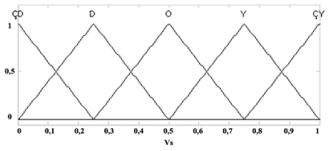


qc (0-1)	min	mid	max
ÇD	0,001	.....	0,048
D	0,001	0,048	0,157
O	0,048	0,157	0,410
Y	0,157	0,410	0,999
ÇY	0,410	.....	0,999



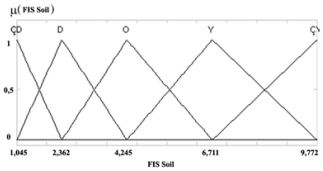
Vs	min	mid	max
ÇD	93,996	.....	138,526
D	93,996	138,526	183,031
O	138,526	183,031	227,535
Y	183,031	227,535	272,036
ÇY	227,535	.....	272,036

0-1 ⇒ $y=5,62.10^{-3} \cdot x-0,528$



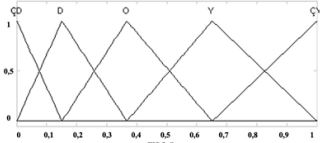
Vs (0-1)	min	mid	max
ÇD	0,000	.....	0,250
D	0,000	0,250	0,500
O	0,250	0,500	0,750
Y	0,500	0,750	1,000
ÇY	0,750	.....	1,000

Şekil 8. q_c ve Vs değişkenleri için tanımlanan üyelik fonksiyonları



FIS Soil	min	mid	max
ÇD	1,045	.....	2,362
D	1,045	2,362	4,245
O	2,362	4,245	6,711
Y	4,245	6,711	9,772
ÇY	6,711	.....	9,772

0-1 ⇒ $y=0,115 \cdot x-0,122$

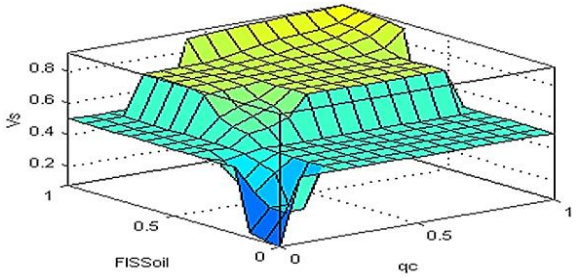


FIS Soil (0-1)	min	mid	max
ÇD	0,001	.....	0,151
D	0,001	0,151	0,367
O	0,151	0,367	0,651
Y	0,367	0,651	1,003
ÇY	0,651	.....	1,003

Şekil 9. Zemin sınıfı için tanımlanan üyelik fonksiyonları

Üyelik fonksiyonları tanımlandıktan sonra kurallar tanımlanmıştır. Şekil 7'de verilen model için elde edilen kontrol yüzeyi Şekil 10'da gösterilmiştir. Bu çalışmada toplam 5 kural tanımlanmış olmasına karşın uzman görüşleri alınarak kural sayılarının arttırılması mümkündür.

RULE 1: If (qc is ÇD) and (FIS Soil is ÇD) then (Vs is ÇD) (1)
RULE 2: If (qc is D) and (FIS Soil f is D) then (Vs is D) (2)
RULE 3: If (qc is O) and (FIS Soil is O) then (Vs is O) (3)
RULE 4: If (qc is Y) and (FIS Soil is Y) then (Vs is Y) (4)
RULE 5: If (qc is ÇY) and (FIS Soil is ÇY) then (Vs is ÇY) (5)

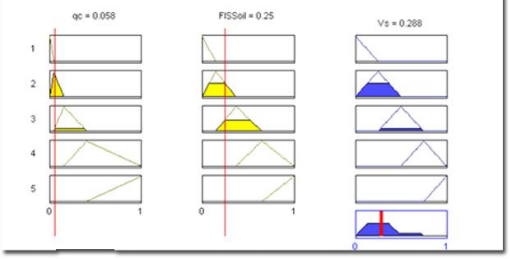


Şekil 10. Tanımlanan model için elde edilen kontrol yüzeyi grafiği

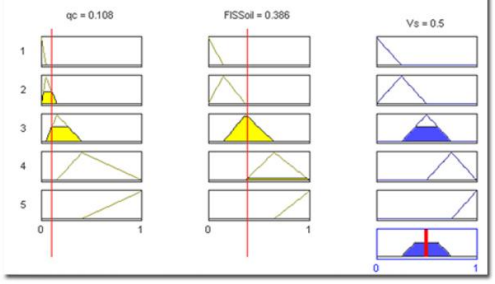
3.4. Modelin Çalıştırılması

q_c, R_f, zemin sınıfı giriş verileri kullanılarak çıkış verisi olan Vs değişkeni Şekil 7'de verilen model kullanılarak hesaplanmıştır. Örnek bir SCPT uygulama noktası için ölçülen ve modelden hesaplanan Vs değerleri çalıştırılan model üzerinde gösterilmiştir (Şekil 11).

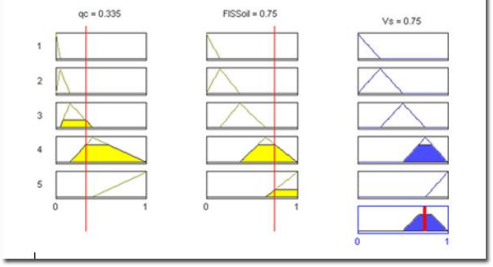
qc	FIS Soil	Ölçülen Vs	qc (0-1)	FIS Soil (0-1)	Vs (0-1)	Sonuc Vs (0-1)	Hesaplanan Vs
1,96	3,252	144	0,058	0,25	0,281	0,288	145



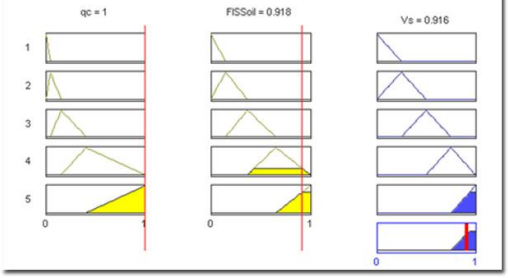
qc	FIS Soil	Ölçülen Vs	qc (0-1)	FIS Soil (0-1)	Vs (0-1)	Sonuc Vs (0-1)	Hesaplanan Vs
3,03	4,477	192	0,108	0,386	0,551	0,500	182



qc	FIS Soil	Ölçülen Vs	qc (0-1)	FIS Soil (0-1)	Vs (0-1)	Sonuc Vs (0-1)	Hesaplanan Vs
7,86	7,757	224	0,335	0,75	0,731	0,750	227



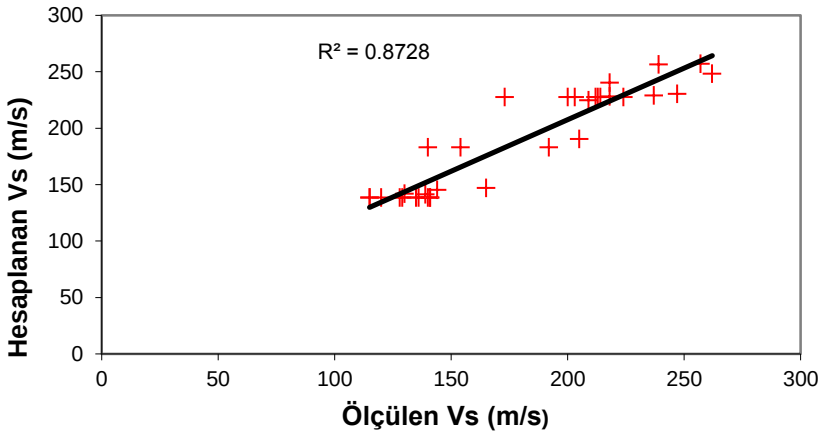
qc	FIS Soil	Ölçülen Vs	qc (0-1)	FIS Soil (0-1)	Vs (0-1)	Sonuc Vs (0-1)	Hesaplanan Vs
22,4	9,270	257	1	0,918	0,916	0,916	257



Şekil 11. Örnek bir SCPT uygulama noktasında 4 farklı seviyede ölçülen veriler için çalıştırılan model sonuçları

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada SCPT yöntemi kullanılarak ölçülen q_c, R_f, zemin sınıfı değişkenleri ile kayma dalga hızı (Vs) arasındaki ilişki bulanık mantık yaklaşımı ile yorumlanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla modelin oluşturulmasında kullanılan 32 adet SCPT'den farklı olarak yapılan 8 adet SCPT sonuçları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, model için elde edilen kontrol yüzeyi kullanılarak hesaplanan Vs değerleri ile doğrudan ölçülen Vs değerleri arasında oldukça yüksek uyum sağlanmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. Ölçülen Vs değerleri ile hesaplanan Vs değerleri arasındaki ilişki grafiği

Oluşturulan üyelik fonksiyonları ve tanımlanan kurallar sonucu elde edilen kontrol yüzeyinin iyileştirilmesi için kural sayısının ve giriş verisi miktarının arttırılması gerekir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Biriminin 000401 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Campanella, R.G., Robertson, P.K. Ve Gıllespıe, D., 1986, Seismic Cone Penetration Test, Proceedings of In Situ 86', a Specialty Conference on Use Of In Situ Tests in Geotechnical Engineering, Blacksburg, Virginia. ASCE, New York.

Hunter, J.A., et al., 2002, Surface and Downhole Shear Wave Seismic Methods for Thick Soil Site Investigations, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 22, 931-941.

Larsson, R., 1995. The CPT test. Swedish Geotechnical Institute, 77p.

Mamdani, E. H., 1974, Application of fuzzy algorithms for simple dynmic plant. Proc. IEE, 121, 1585-1588
Mayne, P.W., PhD, P.E., 2000, Enhanced Geotechnical Site Characterization By Seismic Piezocone Penetration Tests, Invited Lecture, Fourth International Geotechnical Conference, Cairo University, January, pp. 95-120

Nefeslioğlu, H., Tün, M., Azdiken, S., 2001, "Eskişehir yerleşim yeri zemin türlerinin ve sıvılaşma potansiyelinin konik penetrasyon testi (CPT) ile belirlenmesi", 54. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara.

Robertson, P. K. ve Campanella, R. G., 1984, Guidelines for Use and Interpretation of the Electronic Cone Penetration Test, Soil Mechanics, Vancouver, Canada: University of British Columbia, Department of Civil Engineering, Series No. 69

Takagi, T., and Sugeno, M., 1985, Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modelling and Control, IEE Trans, On Systems, Man and Cybren, 15, 1, pp. 116-132.

Tün, M., 2003, Eskişehir Zemininin Makaslama Dalgası Hızı (Vs) Değişimine Bağlı Özelliklerinin İncelenmesi ve Doğal Titreşim Periyodunun (To) Bulunması. Yüksek Lisans Tezi, Fizik Bölümü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

Tün, M., Avdan, U., Altan, M., Ayday, C., Azdiken, S., 2004, "NEHRP Soil Classifications in the Eskisehir Urban Area Using Seismic Cone Penetration Tests", The 16th International Geophysical Congress, 282-285, Ankara, Turkey.

Şen, Z., 2001. Bulanık (Fuzzy) Mantık ve Modelleme İlkeleri, Bilge Kültür Sanat, İstanbul.

For Use with MATLAB®Fuzzy Logic Toolbox, 2000, User's Guide Version 2 The MathWorks, Inc.,