

Estimation of Shear Wave Velocity Using Sugeno Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks Models

Eray YILDIRIM¹, Cengiz SERTKAYA² and Can KARAVUL¹

¹Sakarya University, Geophysics Engineering Department, Esentepe Campus, 54187
Sakarya, Turkey

²Sakarya University, Computer Engineering Department, Esentepe Campus, 54187
Sakarya, Turkey

Abstract: It is quite hard to determine the dynamic properties of the soils, where there is no or limited data on seismic experiments. Most of the recent research uses the previous experimental results obtained from the similar soil profiles to estimate the dynamic soil properties for the existent site to be analyzed. Hence, it is possible to come across numerous empirical relations and correlations that were developed for these dynamic properties and estimations in the literature.

This study focuses on the analysis of 44 Seismic Cone Penetration tests and 64 SPT tests performed on a Kuvaterner Alluvial soil profile in 33 different measurement locations in city of Adapazari with different models. The relations between SPT-N values and shear wave velocity values measured from the seismic cone penetration tests are evaluated and a model study based on this relation is assessed. Artificial neural network and Sugeno-Fuzzy Logic models are adopted for the estimation of dynamic properties. Evaluations of the models based on probabilistic approaches using correlation coefficient, average absolute error and mean squared error have revealed that the Sugeno-Fuzzy Logic model was superior to artificial neural network model. This soil model performs well to estimate the dynamic properties of soil profiles in Adapazari or similar soil profiles where the seismic tests were not performed at all. The model also proposes a useful tool to cross-check the shear wave velocity results from the seismic tests and to complement the site investigation for the cases where there is limited data.

Keywords: Artificial neural networks, Sugeno Fuzzy Logic, shear wave velocity, SPT-N

Kayma Dalgasi Hizinin Sugeno Bulanik Mantik ve Yapay Sinir Aglari Modelleri ile Tahmin Edilmesi

Özet: Sismik deneylerin yapılamadığı ya da sınırlı miktarda yapıldığı yerler için zemin dinamik özelliklerini belirlemek zordur. Şimdiye kadar ki çalışmalarda, başka araziler üzerinde yapılmış deney sonuçlarından faydalanarak istenilen arazideki zemin özellikleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla yapılan araştırmalar sonucunda çeşitli korelasyonlar, ampirik bağıntılar geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, Kuvaterner Alüvyonal zemin özellikleri taşıyan Adapazari’nda 33 ölçüm yerinde yapılan 44 SCPT (Sismik Koni Penetrasyon Testi) ölçümlerinden elde edilen Kayma Dalgasi Hızları (Vs) ile 64 Sondaj noktasından elde edilen SPT-N değerleri arasındaki ilişkiler incelenerek modeller oluşturulmuştur. Model olarak Yapay Sinir Ağları ve Sugeno – BM kullanılmıştır. Oluşturulan modellerin Ortalama Mutlak Hata Yüzdesine, Ortalama Hata Karelerinin ve Regresyon Katsayılarına göre karşılaştırmaları sonucunda Sugeno – BM modelinin en doğru sonuçları verdiği görülmüştür. Oluşturulan bu model Adapazari’nda veya zemin özelliği benzer olan yerlerde çeşitli sebeplerle sismik deneylerin yapılamadığı durumlarda zemin dinamik özellikleri hakkında yaklaşık fikir edinmek veya sınırlı sayıda sismik deneylerin uygulanabildiği durumlarda ise, ölçülen hız değerlerini kontrol etmek ve sismik deney programını desteklemek amacıyla kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Sinir Ağları, Sugeno – BM, Kayma Dalgasi Hizi, SPT-N

Reference to this paper should be made as follows (bu makaleye aşağıdaki şekilde atıfta bulunulmalı): E. Yildirim, C. Sertkaya and C.Karavul ‘Shear Wave Velocity Estimation By Using Fuzzy Logic, Artificial Neural Networks and Neuro-Fuzzy Models’, Elec Lett Sci Eng , Vol. 3(1) , (2007), 1-9

1 Giriş

Yapıların projelendirilmesinde dikkate alınması gereken en önemli konulardan birisi de zemin özellikleridir. Zemin özelliklerinin ölçümü ile çözümü istenen problemlere ait gerekli parametreler elde edilir. Bu parametreler genel olarak zeminin dinamik, statik ve mekanik özellikleridir. Zemin özelliklerinin ölçümü birçok yöntem ile yapılabilmektedir. Bu yöntemlerin birbirine göre üstün ve zayıf olduğu taraflar vardır. Zemin özelliklerinin ölçüm yöntemleri arasında en çok kullanılanları sondaj çalışması ve jeofizik çalışmalardır. Bu çalışmada da sondaj çalışmasında elde edilen SPTN değeri ve jeofizik sismik çalışmada elde edilen kayma dalga hızı (V_s) kullanılmıştır. Zemin incelemelerinde özellikle SPT gibi arazi deneylerinin yaygın olarak kullanılmasına karşın sismik deneyler ise daha çok afet riski taşıyan yerlerde ve önemli projelerde tercih edilmektedir. Sismik deneylerin çeşitli sebeplerden dolayı yapılamadığı veya az sayıda yapıldığı yerlerde zeminin dinamik özelliklerini belirlemek zordur. Bu sebepten dolayı zeminin dinamik özelliklerini belirlemede yardımcı olan kayma dalga hızına ulaşmak için diğer arazi deneyleri arasında ilişkiler kurularak ampirik bağlantılar geliştirilmiştir. Bu çalışmalara örnek olarak; Ohba ve Tairumi'nin 1970 yılında Japonya - Osaka yakınlarındaki alüvyonol zeminlerde yaptığı çalışma, Iyisan'nin 1996'da Erzincan'da yaptığı çalışma ve Jafari'nin 2002 yılında Tahran'da yaptığı çalışma söylenebilir [1,2,3].

SPT deneyi, Standart penetrasyon deneyinin kısaltmasıdır. Bu deney tüm zemin çeşitleri için kullanılabilir. Deney için önceden açılmış bir sondaj kuyusu kullanılır ve kasık (bir tür kalın cidarlı örnek alıcı) belli bir enerji ile tekrarlanan şekilde yüklenerek kuyu tabanına indirilerek numune alınır. Deneyde 76 cm yükseklikten serbestçe düşen 63,5 kg ağırlığındaki tokmak kullanılır. Sondajda önce 15 cm çakılarak kuyu tabanındaki örselenmiş derinlik geçilir. Ardından 30 cm çakılır. Bu 30 cm'lik çakılma için gerekli vuruş sayısı SPT-N olarak tanımlanır [4,5].

Sismik dalgalar genel olarak Cisim dalgaları ve Yüzey dalgaları olmak üzere ikiye ayrılır. Bu çalışmada Cisim dalgaları grubunda olan Kayma dalga hızı (V_s) üzerinde çalışılmıştır. Bir kaynak (dinamit patlatma, balyoz ile yere vurulması, deprem v.b.) vasıtasıyla oluşan kayma dalgalarının zemindeki yayılımı sırasında elemanlarda şekil bozulmaları oluşur [6,7]. Kayma dalgası hızının ölçümü genel prensip olarak kaynak ve alıcılardan oluşan bir sistem vasıtasıyla yapılır ve dalganın aldığı yolun, seyahat zamanına bölünmesiyle ortama ait hız değeri bulunur. Kayma dalgası hızı ölçümü için kullanılan basit yöntemler; sismik kırılma, mikrotremor, aşağı kuyu, yukarı kuyu ve karşıt kuyu yöntemleridir. Bu çalışmada temel prensibi aşağı kuyu yöntemi olan Sismik konik penetrasyon testi (SCPT) kullanılmıştır. SCPT deneyi sırasında, belli derinliklerde deney durdurularak yapılır. Konik Penetrometreye takılan ivmeölçerler ile kayma dalgası hızı ölçülür [8].

Bu çalışmada, Sakarya İl Bayındırlık Müdürlüğü arşivinde bulunan ve Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Ana Bilim Dalı tarafından yapılan zemin inceleme raporlarındaki veriler kullanılmıştır.

Genel olarak SPTN değeri kayma dalgası hızı ile ilişkilidir. Bu ilişki genellikle regresyon analizleri ile incelenmiştir. Bu ilişkileri neural – fuzzy sistemler kullanarak incelemek mümkündür. Regresyon analizi lineer olmayan karmaşık ilişkilerin çözümünde iyi sonuçlar göstermemektedir

Bu çalışmada, Adapazarı'nda yapılmış SCPT verileri ile elde edilen Kayma dalgası hızı (V_s) ile SPT-N (30 cm penetrasyon için vuruş sayısı) verileri arasındaki ilişki, Yapay Sinir Ağları ve Sugeno – BM kullanarak modellenmiştir. Modeller için aynı test verileri kullanarak

performansları Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi ve Ortalama Hata Kareleri değerlerine göre karşılaştırılmıştır. Ayrıca modellerden elde edilen tahmini kayma dalgası hızı ile ölçülen kayma dalgası hızı arasındaki ilişki grafiklenerek Regresyon Katsayıları bulunmuştur. Oluşturulan modeller arasında en iyi sonucu Sugeno – BM vermektedir.

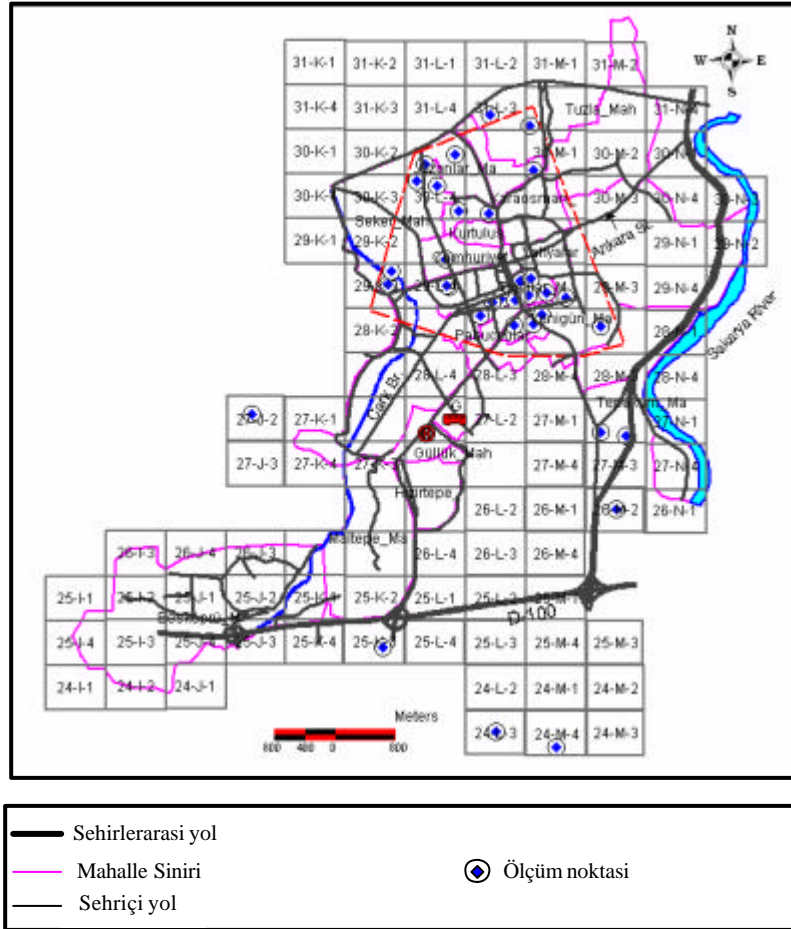
Modelin uygulanması için tüm veriler 0,1 ile 0,9 arasında normalize edilmiştir (Denklem 1).

$$X_I = 0,8 \cdot (X_I - X_{MIN}) / (X_{MAK} - X_{MIN}) + 0,1 \quad (1)$$

Burada, X_i normalize edilmiş değerleri göstermekte olup, X_{MAK} ve X_{MIN} maksimum ve minimum ölçülen değerlerdir. Normalizasyon yapılarak veriler boyutsuz hale getirilmiştir.

2 Çalışma Alanı

Adapazarı'nın nüfusu yaklaşık 304.000 olup, Türkiye'nin kuzeybatısında Marmara bölgesinde $29^{\circ},57' - 30^{\circ},53'$ doğu meridyenleri, $40^{\circ},17' - 41^{\circ},13'$ kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. Adapazarı, güneybatısında bulunan Sapanca Gölüne sınırı olup, içinden Sakarya Nehri ve Çark deresi geçmektedir. Coğrafik olarak üç yanı dağlarla çevrili olan şehirde yapılaşmanın büyük bir kısmı orta kısımdaki alüvyonal bölgede yer almaktadır. Denizden yüksekliği yaklaşık 31 metredir[9]. SCPT ve sondaj çalışmaları Adapazarı şehir merkezinde olup Şekil 1'de çalışma alanının kroki görülmektedir.



2.1 Adapazari'nin Jeolojisi

Adapazari, adinin da kaynagi olan Adapazari ovasi üzerine kurulmustur. Bu ovada ana kaya yaklasik çanak seklinde olup ova Sakarya Nehri, Çark deresi ve Mudurnu çayinin getirdigi kuvaterner yasli alüvyonlardan olusmustur. MTA (1998)'de yaptiklari çalismalarda Alüvyon kalinliginin ova ortasinda yaklasik 150 metre kadar olabilecegini belirlemislerdir [10]. Komazawa v.d. 2001 yilinda yaptiklari jeofizik çalismalarla alüvyonun kalinliginin 1000 – 1500 metre arasinda olabilecegini tespit etmislerdir [11]. DSI'nin yaptigi çalismada Yenigün Mahallesi civarinda yapilan 200 metrelik sondaj alüvyon içinde kalmis ve ana kayaya ulasamamistir [12]. Gökçen'e göre; kentte kis ve ilkbaharda yeralti su seviyesinin yer yer yüzeye çikmektedir [13]. Eski devirlerdeki arastirmacilarin koydugu sonuca göre Adapazari ovasi; batakligin oldugu, nehirlerin arasinda adaciklarin olusturdugu ve sik sik su taskinliklarinin oldugu bir konumdadir. Adapazari'nda genel olarak düşük plastisiteli veya plastik olmayan siltli zeminler mevcut olup, düşük plastisiteli tabaka genel olarak 3,0 ile 15,0 metreler arasinda degismekte olup yer yer 15,0 metreyi asmaktadır [14].

3. YSA Modeli ile Kayma Dalga Hizinin Tahmin Edilmesi

Bu çalismada, YSA(i,j,k) mimarisi, sirasiyla i, j ve k simgelerinin girdi, gizli ve çikti katmanlarini gösterecek sekilde olusturulmustur. Burada i ve k degerleri 1 olup j degerleri 3, 5 ve 10 degerleri alinarak YSA modelleri olusturulmustur. Bu çalismada transfer fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu, YSA egitimi için de genelleştirilmis delta kuralina dayali olan geri yayilim algoritmasi kullanilmistir [15].

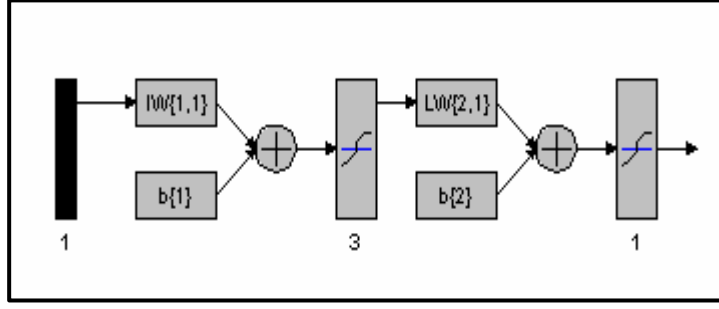
Bir girdi vektörü (SPT-N) ve bir çikti vektöründen (Kayma Dalga Hizi) olusan 250 veri çiftinin analizi göz önüne alınmistir. Bu 250 veri çifti Denklem 1 de verilen metotla 0,1- 0,9 arasinda normalize edilerek egitim ve test setlerini olusturmak üzere iki gruba ayrilmistir. Egitim seti 210, geriye kalan 40 adet veri ise programin gerçek degerlere yaklasim performansinin degerlendirmesinde test seti olarak kullanilmistir. YSA modelleri ile elde edilen performans degerleri Tablo 1 de verilmistir.

Tablo 1. YSA Modellerinin test verilerinin performans degerlendirmesi

MODEL	OMHY	OHK	R ²
YSA (1 3 1)	7.13*	208.56*	0.8797*
YSA (1 5 1)	9.63	416.86	0.7898
YSA (1 10 1)	12.33	896.48	0.5332

Not: En iyi sonuçlar '*' isareti ile gösterilmistir.

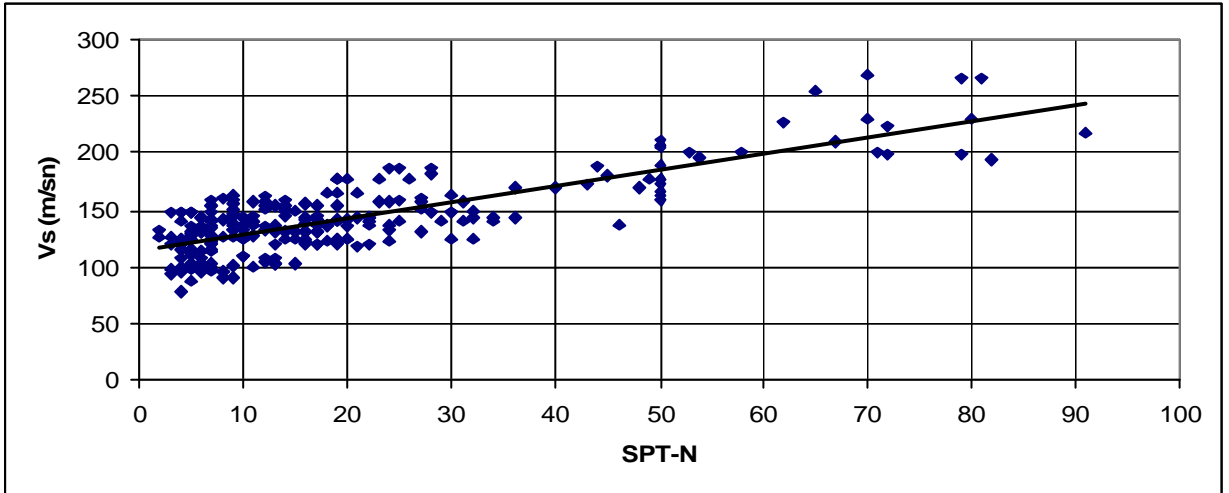
Bu çalismada, gizli katman nöron sayisi çeşitli denemelerden sonra test seti performans degerlerinden, Tablo 1 de gösterildigi üzere 3 olarak belirlenmistir. Performansi en yüksek olan YSA(1 3 1) modelinin yapisi Sekil 2 de gösterilmistir.



Sekil 2. YSA (1 3 1) Modelinin Mimarisi

4. Sugeno - Bulanik Mantik Modeli ile Kayma Dalgasi Hizinin Tahmin Edilmesi

Bu yaklaşımda hesaplamalar her bir alt kümelerdeki matematiksel ilişkilere dayanmaktadır. Modelin oluşturulmasında kullanılan 250 girdi-çıkı arasında değişim Sekil 3’de sunulmuştur. Bu çalışmada veri dağılımı göz önünde bulundurularak 6 adet alt küme oluşturulmuş ve her bir alt kümenin doğru denklemleri elde edilmiş ve bu alt kümelerin dağılımı Sekil 4a-f de verilmiştir.

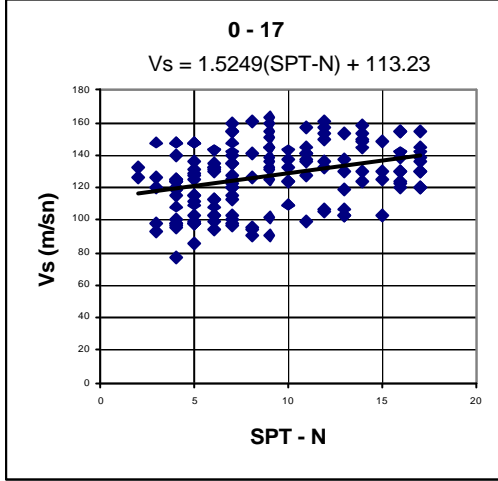


Sekil 3. Kayma Dalgasi Hizi ile SPT-N arasındaki ilişki

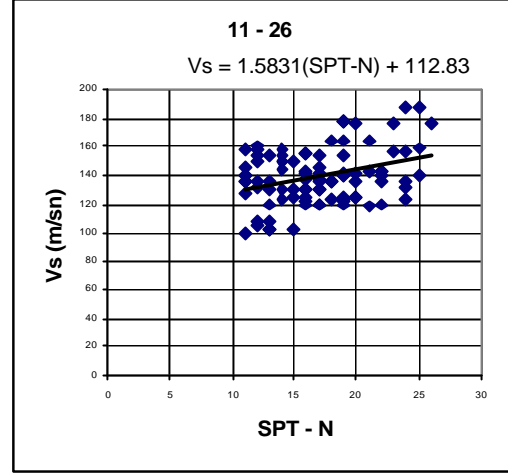
Sugeno metodunda alt kümelerin kuralları girdi-çıkı arasındaki lineer ilişkiden faydalanılarak oluşturulmuştur. Bu alt kümelerin kural tanımlamaları Tablo 2’de gösterilmiştir. Girdiler için oluşturulan alt kümelerin üyelik fonksiyonları ile üyelik derecesi değişimleri Sekil 5’de verilmiştir.

Tablo 2. Kayma Dalgasi hizi ile SPT-N arasındaki ilişkiyi gösteren bulanik yaklaşım (Sugeno) kuralları

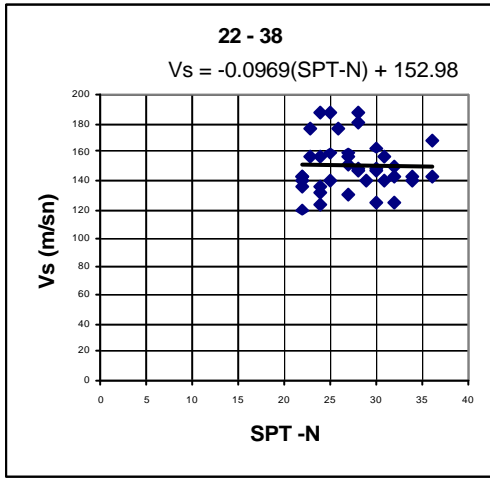
Eger (SPT-N = ÇD) ise ($V_s = 1,5249(\text{SPT-N}) + 113,23$)
Eger (SPT-N = D) ise ($V_s = 1,5831(\text{SPT-N}) + 112,82$)
Eger (SPT-N = OD) ise ($V_s = -0,0969(\text{SPT-N}) + 152,98$)
Eger (SPT-N = O) ise ($V_s = 2,2077(\text{SPT-N}) + 72,653$)
Eger (SPT-N = OY) ise ($V_s = 2,1605(\text{SPT-N}) + 76,064$)
Eger (SPT-N = Y) ise ($V_s = -0,3196(\text{SPT-N}) + 251,47$)



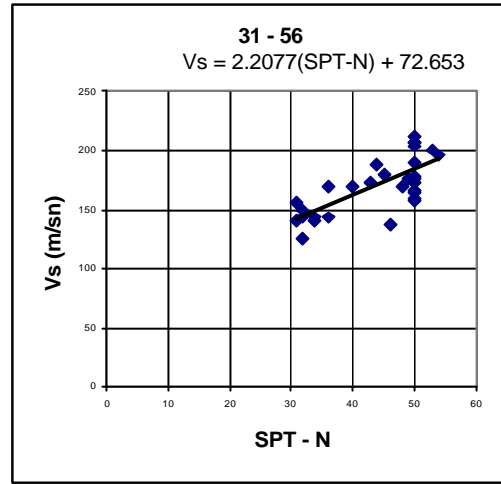
Sekil 4a. 0 – 17 arasi SPT-N degeri



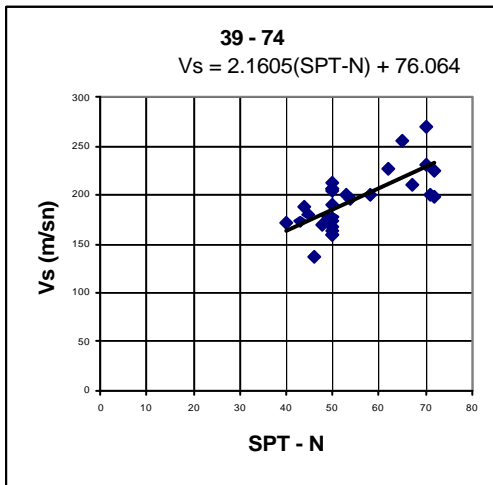
Sekil 4b. 11 – 26 arasi SPT-N degeri



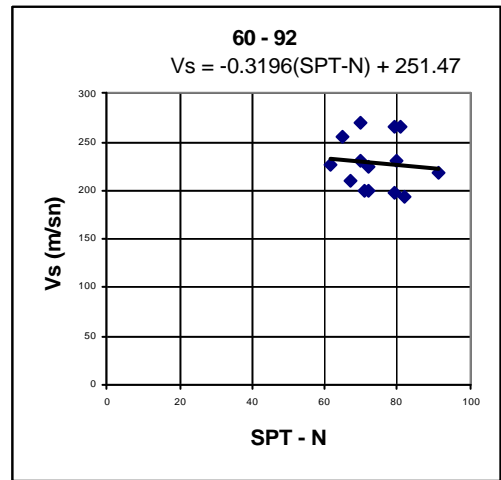
Sekil 4c. 22 – 38 arasi SPT-N degeri



Sekil 4d. 31 – 56 arasi SPT-N degeri



Sekil 4e. 39 – 74 arasi SPT-N degeri

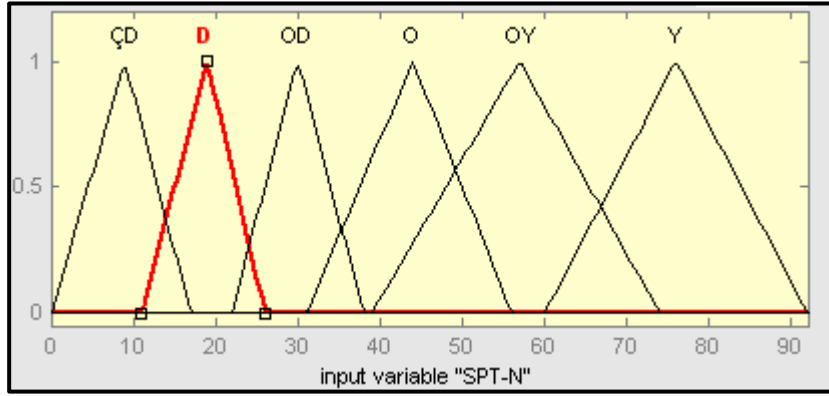


Sekil 4f. 60 – 92 arasi SPT-N degeri

Sekil 4a-f SPT-N degisimlerine göre alt kümelerin olusturulmasi

250 girdi-çikti eğitimi ile kurulan modele 40 adet SPT-N değerine karşılık gelen Kayma Dalgası Hizi tahmin edilmiştir. Tahminlerin performansları değerlendirildiğinde sırasıyla, OMHY ve R^2 değerleri 6.73 ve 0,9113 olarak hesaplanmıştır.

Sugeno-BM yaklaşımı hesapsal olarak, diğer BM yaklaşımlarına göre daha etkili sonuçlar vermektedir. Ayrıca Sugeno-BM yaklaşımı ile bulanık mantık modelinin oluşturulması, diğer BM yöntemlerine göre daha kolaydır [16].



Sekil 5. SPT-N Girişinin alt kümelerinin üyelik fonksiyonları ve derecelerinin değişimi

6. Modellerin karşılaştırılması

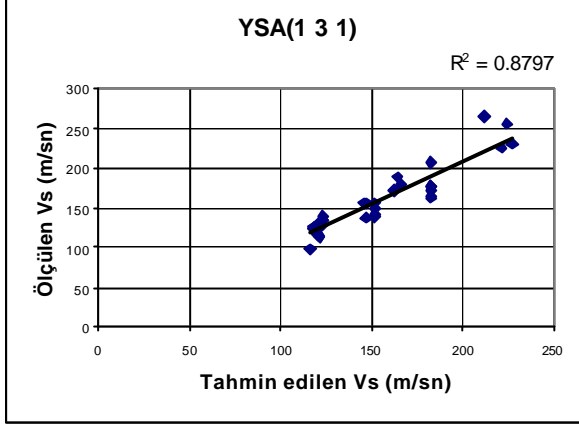
Kurulan herhangi bir modelin, Kayma Dalgası Hızının tahminindeki etkinliği ve uygulanabilirliğinin performansının değerlendirilmesinde tahmin hatalarının ortalamasının önemli olması kadar tahmin hatalarının dağılımı da önemlidir. Bu çalışmada performans değerlendirmesi için, global istatistik yöntemlerden korelasyon katsayısı (R^2) ve Ortalama Hata Kareleri fonksiyonları (OHK) kullanılmıştır. Ancak bu yöntemler hatanın dağılımı hakkında herhangi bir bilgi vermemektedirler. Bu nedenle bu çalışma için diğer global metotlara ilaveten modelin performansını daha etkili değerlendirmek için ortalama mutlak hata yüzdesi (OMHY) kullanılmıştır. Kurulan modellerin performanslarının değerlendirilmesi Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Oluşturulan Modellerin performanslarının karşılaştırılması

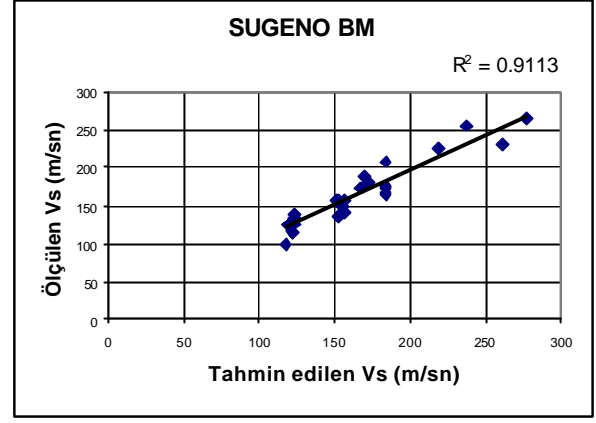
	YSA (1 3 1)	SUGENO
OMHY	7.13	6.73*
OHK	208.56	145.20*
R^2	0.8797	0.9113*

Not: En iyi sonuçlar ‘*’ işareti ile gösterilmiştir.

Oluşturulan bu örnek modeller arasında Kayma Dalga Hızının tahmininde en iyi sonucu veren yöntemin Sugeno - BM olduğu Tablo 3 ve Şekil 6a-b’den anlaşılmaktadır.



Sekil 6a. YSA Vs ve ölçülen Vs



Sekil 6b. Sugeno - BM Vs ve ölçülen Vs

Sekil 6 a-b. Ölçülen Kayma Dalgasi Hizlari ile Tahmin Edilen Kayma Dalgasi Hizlarinin Karsilastirilmesi

7. Tartisma ve Sonuclar

Inceleme alanini da içine alan Sakarya havzasi kuvaterner yasli alüvyonlardan olusup killi, siltli ve kumlu olmak üzere çeşitli zemin tiplerinden olusmaktadır. Bu çalışmada Adapazari'nda yapılan sismik koni penetrasyon (SCPT) ve standart penetrasyon testi (SPTN) verileri arasındaki ilişki YSA ve Sugeno – BM modelleri ile incelenmiştir. En uygun modelin test setlerinin performans derecelerine bakıldığında Sugeno –BM modeli olduğu görülmektedir. Sugeno - BM modeli ile elde edilen tahminlerle bulunan Kayma Dalgasi Hiz degerleri ile ölçülen hiz degerleri arasında benzerlik ve uyum olduğu görülmüştür.

Olusturulan modellerin yalnızca çalışma alanini temsil ettiği ve çalışma alaninin karakteristik özelliklerini yansıttığı için bu modelleri zemin ve jeolojik özellikleri farklı bölgelerde kullanmak, hatalı sonuçlara götürebilir.

Ayrıca, çalışmada kullanılan veriler, yeraltı su seviyesinin çok düşük (0.5-2.5 m) olduğu bölgelerden alınan ölçümlerden elde edildiği ve çalışma alaninin zemini alüvyonal (yogun olarak kil ve siltin bulunduğu) bir yapıda olduğu için, elde edilen Vs hizlari düşük degerlere sahiptir.

Olusturulan modellerle elde edilen sonuçların klasik regresyon analizinden elde edilen sonuçlardan daha anlamlı ve tutarlı olması yerbilimlerindeki diğer alanlarda uygulanabileceğini gösterebilmektedir.

References (Referanslar)

- [1]. S. Ohba & I. Tariumi "Dynamic Response Characteristics of Osaka Plain", Proc. Annual Meeting A.I.J. (1970).
- [2]. R. Iyisan, "Zeminlerde Kayma Dalgasi Hizi ile Penetrasyon Deney sonuçlarının Karsilastirilmesi", *IMO Teknik Dergi*, (7)2:1187–1199 (1996)
- [3]. M.K. Jafari , A. Shafiee , A. Razmkhah ‘Dynamic Properties of Grained Soils in South of Tehran’ JSEE:Spring Vol. 4, No. 1/25 (2002).
- [4]. Robert W. DAY ‘Geoteknik Mühendisligi El Kitabı’, Çevirenler; M. Mollamahmutoglu ve K. Kayabali Gazi Kitabevi ISBN 0-07-137782-4 Ankara, Temmuz (2004).
- [5]. A.B.Uzuner ‘Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekanigi’ 4. Baski ISBN 975–523–004-1 Ankara (2000)
- [6]. E. Yildirim ‘Sakarya-Arifiye fay hattinin sismik ve elektrik yöntemlerle tespit edilmesi’ Yüksek lisans tezi. Sakarya (2005)
- [7]. C. Kurtulus ‘Sismik arama teori ve uygulama’ Kocaeli Üniversitesi yayinlari yayin no:55 Kocaeli (2002).
- [8]. E. Yildirim ‘SPT Darbe sayisi ve Koni Penetrasyon degerleri ile Kayma Dalgasi hizi arasindaki korelasyonlar’ Zemin dinamikligi dönem ödev çalismasi Sakarya (2004).
- [9]. <http://www.adptso.org.tr/atso/sakarya.asp?Icerik=Genel>
- [10]. MTA, ‘Sakarya ili Çevre Jeolojisi ve Dogal Kaynaklari’, MTA genel müdürlüğü jeoloji etüdleri Dairesi, Ankara, (1998).
- [11]. M. Komazawa, H. Morikawa, K. Nakamura J. Akamatsu, K. Nishimura, S. Sawada, A. Erken, A. Onalp ‘Bedrock structure in Adapazari, Turkey-a possible cause of severe damage by the 1999 Kocaeli earthquake’ Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 22, Number 9, October 2002, pp. 829–836(8)
- [12]. DSI, ‘Asagi Sakarya Havzasi Yeraltisuyu Rezerv Raporu’, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanligi, DSI Genel Müdürlüğü, Yeraltisuyu Dairesi Baskanligi, Anakara, (1966)
- [13]. R. Gökçen ‘Sakarya ve Marmara Bölgesi’, Özyürek Yayinlari, Cagaloglu, Istanbul, (1990)
- [14]. A. Erken ‘17 Agustos Depreminde Adapazarinda Olusan Hasar Üzerinde Yerel Zemin Kosullarinin Etkisi’, Türk Deprem Vakfi Arastirma Projesi, Proje No:00-ap-113, (2001-2003).
- [15]. MATLAB® Documentation (2004) Neural Network Toolbox Help, Version 7.0, Release 14, The MathWorks, Inc.,
- [16]. For Use with MATLAB®Fuzzy Logic Toolbox, User’s Guide *Version 2* The MathWorks, Inc., (2000)