

Petrografik Parametreler Kullanılarak Tek Eksenli Sıkışma Dayanımının Kestirilmesi: Ankara Grovağı

Determining the Relations Between Petrographic Properties and Uniaxial Compressive Strength: Ankara Greywacke

K. Zorlu¹, C. Gökçeoğlu², F. Ocakoğlu³, H.A. Nefeslioğlu⁴, S. Açıklım³

¹ Mersin Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mersin

² Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

³ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

⁴ MTA, Jeoloji Etüdüleri Dairesi, Ankara

ÖZ: Sağlam kayanın tek eksenli sıkışma dayanımı, kaya ortamında yapılan mühendislik yapılarının tasarımında kullanılan önemli bir parametredir. Bunun yanı sıra, çeşitli istatistiksel değerlendirmelere göre kumtaşları dünyadaki sedimanter kayaların yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır. Bu nedenle, birçok mühendislik yapısının inşasında kumtaşları ile sıklıkla karşılaşılır. Bazı özel durumlarda kumtaşlarının tek eksenli sıkışma dayanımının dolaylı yoldan tayinine gereksinim duyulmaktadır. Bunun yanı sıra, kumtaşlarının petrografik özelliklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı üzerindeki etkileri bazı çalışmalara konu olmuşsa da, bu husus halen uluslar arası literatürde tartışmaya açıktır. Bu durum dikkate alınarak bu çalışmada, araştırma malzemesi olarak seçilen Ankara grovağına ilişkin petrografik özellikler ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişkiler basit ve çoklu regresyon analizleri ile yapay sinir ağları kullanılarak incelenmiştir. Model geliştirme ve kontrol verilerine ilişkin performans sonuçları bir arada değerlendirildiğinde, yapay sinir ağlarının daha yüksek performans sağladığı görülmektedir. Ayrıca, her iki model de, Ankara grovağının tek eksenli sıkışma dayanımı üzerinde, paketlenme yoğunluğu, kuvars içeriği ve iç bükey-dış bükey tane dokanak ilişkisinin son derece etkili olduğunu açıklamaktadır. Bunun yanı sıra, her iki model, Ankara grovağının tek eksenli sıkışma dayanımının dolaylı yoldan kestirilebilmesine olanak sağlayabilecek özellikte yüksek performansa sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Grovak, çok değişkenli regresyon, yapay sinir ağı, kumtaşı petrografisi, tek eksenli sıkışma dayanımı.

ABSTRACT: Uniaxial compressive strenght of intact rock is a very important parameter for engineering projects that will be constructed on rock. Additionally, sandstones comprise %25 of all sedimentary rocks on the world according to the statistics. For this reason, during the construction of engineering structures, sandstones are frequently encountered. In some special cases, uniaxial compressive strength of sandstones should be determined by indirect methods. Although some studies were held on the effects of petrographic properties of sandstones on uniaxial compressive strength, the issue is still under discussion. Considering these situations, relations between petrographic properties and uniaxial compressive strength of the Ankara greywacke were investigated by using simple and multiple regression analyses, and artificial neural networks. When the performance results of the model development data and control data were evaluated together, artificial neural network showed high performance. Additionally both models verify the prominent effect of packing density, quartz content and concave-convex type grain contact on the uniaxial compressive strength of the Ankara greywacke. Besides, both models show high performance in determining the uniaxial compressive strength through indirect way.

Keywords: Greywacke, multiple regression, artificial neural network, sandstone petrography, uniaxial compressive strength.

1. GİRİŞ

Tek eksenli sıkışma dayanımı, özellikle maden mühendisliğinde diğer kaya özellikleri ile karşılaştırıldığında çok daha fazla ihtiyaç duyulan parametredir (Bieniawski, 1974). Bununla birlikte, tek eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesi için yüksek kalitede ve düzenli geometride hazırlanmış

karot örneklerine ihtiyaç vardır. Ancak, zayıf, çok kırıklı-çatlaklı, ince tabakalı ya da bağlayıcı içindeki bloklardan oluşan kayalardan standartlara uygun karot örneklerinin alınması çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu durumda, kayanın mekanik özelliklerinin dolaylı yoldan belirlenebilmesi için çeşitli kestirim modelleri kullanılabilir. Özellikle mühendislik tasarımlarının ilk aşamasında, nokta yük dayanım indeksi, fiziksel ve petrografik parametreler gibi kolay belirlenebilen girdiler gerektiren bu tür kestirim modelleri, düşük maliyet ve yeniden üretilebilir veri sağlaması bakımından oldukça yararlıdır. Bu çalışma, çeşitli petrografik özelliklerin, kumtaşlarının tek eksenli sıkışma dayanımı kontrol ettiği olgusu dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre, çalışmanın başlıca hedefleri Ankara grovağı için dayanım ve petrografik özellikler arasındaki basit ilişkileri belirlemek, çoklu regresyon ve yapay sinir ağları (YSA) gibi çoklu kestirim modelleri için mantıksal bir parametre seçimi geliştirmek ve Ankara grovağının tek eksenli sıkışma dayanımını etkileyen önemli petrografik parametreleri belirlemek ve bu kayacın tek eksenli sıkışma dayanımını kestirmeye yönelik çok değişkenli kestirim modelleri oluşturarak, performanslarını değerlendirmektir. Bu amaçla, çalışmanın ilk aşamasında öncelikle Ankara grovağı için korelasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin sonuçlarına göre önemli petrografik parametreler seçilmiş ve çoklu regresyon analizleri ile yapay sinir ağları kullanılarak bazı kestirim modelleri oluşturulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kumtaşları; farklı mineralojik kompozisyonları, uğradıkları diyajenetik süreçler ve yaşları ile sedimanter kayaçların önemli bir grubunu oluşturmaktadırlar. Kumtaşlarının oluşumunda meydana gelen bu çeşitlilik; dayanım, deformabilite, permeabilite ve bozunmaya karşı duraylılık gibi özelliklerinde de çok büyük çeşitliliğe neden olmaktadır (Lin vd., 2005). Çeşitli kumtaşlarının tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri göz önüne alındığında, Lin vd. (2005) tarafından ortaya konulan ifade doğrulanabilir. Bell (1978) Fell kumtaşlarının tek eksenli sıkışma dayanımını belirlemiştir. Fell kumtaşlarının tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri 33.2 MPa ile 112.4 MPa arasında değişmektedir. Cargill ve Shakoore (1990) tarafından Amerika'nın farklı bölgelerinden toplanan kumtaşlarının tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri 34.8-270.8 MPa olarak belirlenmiştir. Bell ve Culshaw (1998) tarafından Sneinton Formasyonu, (Nottinghamshire, İngiltere)'nden alınan kumtaşı örneklerinin deney sonuçlarına göre, nispeten birbirlerine yakın tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri elde edilmiştir. Bu değerler, 17.4-39.8 MPa arasında değişmektedir. Ancak, en yüksek değer, yaklaşık olarak en düşük değerın 2.3 katıdır. Jeng vd. (2004) tarafından Tersiyer kumtaşlarının tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri 14.5-86.0 MPa olarak belirlenmiştir. Buna benzer olarak Ankara grovağının tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri de büyük farklılıklar göstermektedir. Gökçeoğlu ve Zorlu (2004) toplam 82 set tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi yaparak, Ankara grovağının tek eksenli sıkışma dayanımı değişim aralığını 17.5-156.0 MPa olarak belirlemişlerdir. Bu örnekler kumtaşlarının tek eksenli sıkışma dayanımının, çeşitli içsel özelliklerin yanı sıra, tektonik etkiler, iklim ve buna bağlı bozunma gibi çevresel parametreler tarafından da kontrol edildiğini açıkça ortaya koymaktadır. Kumtaşlarının içsel özellikleri petrografik özellikleri ile karakterize edilebilir. Tane boyu, paketlenme yoğunluğu, paketlenme yakınlığı, tanelerin dokanak ilişkisi, boşluk alanı ve mineralojik kompozisyon gibi petrografik özelliklerin kumtaşlarının mekanik özelliklerini etkilediği bilinmektedir (Shakoore ve Boneli, 1991). Bununla birlikte, mineralojik kompozisyonun kumtaşlarının jeomekanik özellikleri üzerine etkisine ilişkin farklı sonuçlar da yayımlanmıştır (Bell ve Lindsay, 1999). Kuvars, kalsit ve demir mineralleri gibi bağlayıcılar içeren kayalar en sağlam, killi bağlayıcı içeren kayalar ise en zayıf kayalardır (Vutukuri et al., 1974). Ancak, Fahy ve Guccione (1979) tek eksenli sıkışma dayanımı ile karbonat yüzdesi arasında yüksek bir pozitif korelasyon bulurken, tek eksenli sıkışma dayanımı ile kuvars tanelerinin yüzdesi arasında ise yüksek bir ters korelasyon ilişkisi elde etmişlerdir. Benzer biçimde, Shakoore ve Boneli (1991) tek eksenli sıkışma dayanımı ve kuvars yüzdesi arasında güçlü bir ters ilişki elde ederken, Gunsallus ve Kulhawı (1984) tarafından bu iki parametre arasında güçlü bir pozitif ilişki bulunmuştur. Bell (1978) ve Ulusay vd. (1994)'nin bu iki parametre arasında anlamlı bir ilişki saptayamamasına karşın, Zorlu vd. (2004), anlamlı ancak yüksek korelasyona sahip olmayan pozitif bir ilişki elde etmişlerdir. Anlamlı bir ilişki elde edilememesinin nedeni büyük bir olasılıkla, bu kumtaşlarının az miktarda kuvars içeriğine sahip kumtaşı olmasıdır. Buna ek olarak, kuvars tanelerinin dokanak yapısı ve çimentosunun (özellikle silis) dayanım üzerine etkisi, kuvars miktarına göre çok daha önemlidir (Bell ve Culshaw, 1978). Tanelerin şekli bir diğer petrografik özelliktir. Tane şekilleri

genellikle yuvarlaklık ve küresellik terimleriyle açıklanmaktadır. Shakoor ve Boneli (1991) tek eksenli sıkışma dayanımı ile küresellik arasında anlamlı bir ilişki elde edemezlerken, tek eksenli sıkışma dayanımı ile köşeli taneler arasında 0.64 korelasyon katsayısına sahip nispeten güçlü bir ilişki bulmuşlardır. Benzer şekilde, Ulusay vd. (1994), tek eksenli sıkışma dayanımı ile küresellik arasında anlamlı bir ilişki elde etmemiş olmakla birlikte, tek eksenli sıkışma dayanımı ve köşeli ya da yuvarlak taneler arasında yüksek bir korelasyon elde etmişlerdir. Fahy ve Guccione (1979) da tek eksenli sıkışma dayanımı ve küresellik arasında çok güçlü bir ilişki elde ederken, tek eksenli sıkışma dayanımı ile yuvarlaklık arasında anlamlı bir ilişki bulamamışlardır. Zorlu vd. (2004) tek eksenli sıkışma dayanımı ile tane şekli parametreleri arasında anlamlı bir ilişki elde edememişlerdir. Paketlenme yoğunluğu ve paketlenme yakınlığı, kumtaşlarının iki önemli petrografik parametresidir. Bu iki parametre ince kesit çalışmalarlarıyla ve Kahn (1956) tarafından önerilen tanımlamalar dikkate alınarak belirlenebilmektedir. Çeşitli araştırmacılar kumtaşlarının tek eksenli sıkışma dayanımı ile her iki paketlenme özelliği arasındaki ilişkiyi ortaya koymuşlardır. Shakoor ve Boneli (1991) tek eksenli sıkışma dayanımı ile her iki paketlenme özelliği arasında anlamlı bir ilişki bulamazken, Ulusay vd. (1994) orta derecede, Zorlu vd. (2004) anlamlı bir ilişki elde etmişlerdir. Tane şekliyle karşılaştırıldığında, paketlenme yoğunluğunun kumtaşlarının tek eksenli sıkışma dayanımına önemli bir etkisinin olduğu düşünülebilir. Çeşitli araştırmacılar tarafından kumtaşlarının tek eksenli sıkışma dayanımı ile tane dokanak türleri arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Tane dokanak türleri, Blatt (1982) tarafından tanımlanmıştır. Bu sınıflama nokta, düz, içbükey-dışbükey ve kenetlenmiş olmak üzere dörde ayrılmaktadır. Shakoor ve Boneli (1991) ve Ulusay vd. (1994) kumtaşlarının tek eksenli sıkışma dayanımı ile tane dokanak türleri arasında iyi bir ilişki belirlemişlerdir. Ancak Zorlu vd. (2004) bu iki parametre arasında anlamlı bir ilişki elde edememişlerdir. Bell ve Culshaw (1998)'in, petrografik özelliklerin Sneinton kumtaşlarının mekanik ve fiziksel özelliklerine çok az bir etkisi olduğu görüşü, diğer araştırmacıların elde ettiği sonuçlar dikkate alındığında kabul edilebilir gözükmemektedir. Bu farklı sonuçlar; veri sayısı, değişkenlerin aralığı, analiz edilen farklı kumtaşlarının sayısı gibi bir veya birden fazla nedenden kaynaklanabilir.

3. LABORATUVAR VERİLERİ

Bu çalışmada, Gökçeoğlu ve Zorlu (2004) tarafından Ankara ve yakın çevresinde toplanan 82 adet kumtaşı örneğinden, üzerinde tek eksenli sıkışma dayanımı deneylerine ek olarak petrografik incelemelerin de gerçekleştirilmiş olduğu 61 adet örnek kullanılmıştır. Kumtaşları petrografik olarak grovak olarak tanımlanmıştır ve Ankara melanjinin bloklu serilerinden biri olarak bilinmektedir (Bailey ve McCallien, 1953). Bu tanımlama Ankara bölgesinde çalışan diğer araştırmacılar tarafından da kullanılmıştır (e.g. Erol, 1956; Norman, 1973, Kasapoglu, 2000). Grovaklar genellikle, sarımsı kahverenginde, bazıları kuvars dolgulu düzensiz yönelim gösteren çatlaklarla bölünmüş şekilde gözlenmektedir. Buna ek olarak, birim içerisinde bazı yerel makaslama zonları ve küçük ölçekte faylar da gözlenmektedir. Bu özellikleri nedeniyle grovaklar zayıf kaya kütlesi niteliğinde kırıklı-çatlaklı ve yapı sergilemekte ve tek eksenli sıkışma dayanımı deneylerinde kullanılmak üzere standartlara uygun örnek hazırlamada güçlükler yaşanmaktadır. Gökçeoğlu ve Zorlu (2004) tarafından gerçekleştirilen çalışma kapsamında, karot almak için uygun blokların toplanması ve ince kesitlerin hazırlanması için oldukça yoğun bir arazi çalışması yapılmıştır. Bu amaçla, boyutları yaklaşık 30x30x30 cm olmak üzere blok örnekler kullanılarak, boy-çap oranı 2.5:1 olacak şekilde, NX boyutundaki karot örnekler ISRM (1981) tarafından önerilen standarda uygun biçimde hazırlanmıştır. Her bir blok en az üç karot örneği ile temsil edilmiş olup (Gökçeoğlu ve Zorlu, 2004), ince-kesit örnekleri ile eş zamanlı hazırlanmıştır. Elde edilen tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri Çizelge 1'de özetlenmiştir. Grovak örnekleri üzerinde yürütülen petrografik çalışmalar modal mineralojik bileşimin ve granülometrik parametrelerin saptanmasına odaklanmıştır. Mikroskop çalışmalarında bazı örneklerin düşük metamorfizma derecesine ulaştığı saptandığından bunlar incelemenin dışında bırakılmıştır.

Çizelge 1. Ankara grovağı üzerinde yapılan deneyler ve petrografik analizlerden elde edilen parametrelerin istatistiksel özeti (Petrografik parametreler %; tek eksenli sıkışma dayanımı MPa biriminden verilmiştir).

	En küçük	En büyük	Ortalama	Ortaç	Mod	Std. sapma	Varyans	Çarpıklık	Basıklık
Köşeli	4.00	50.00	26.65	26.53	32.00	9.79	95.86	0.19	-0.13
Yuvarlak	50.00	96.00	73.35	73.47	68.00	9.79	95.86	-0.19	-0.13
Küresel	49.70	73.88	64.03	64.24	49.70	5.03	25.29	-0.38	0.34
Paketlenme yoğunluğu	17.00	79.75	47.02	48.75	22.00	16.99	288.55	-0.06	-1.07
Paketlenme yakınsaklığı	0.00	61.58	21.72	20.75	0.00	15.22	231.73	0.46	-0.21
İç büyüklük-Dış büyüklük	0.00	61.11	20.76	20.93	0.00	13.83	191.25	0.25	-0.01
Düz	0.00	63.00	35.79	41.18	0.00	18.33	336.07	-1.00	-0.09
Noktasal	0.00	57.44	24.15	24.14	0.00	17.34	300.51	-0.01	-1.14
Kenet	0.00	31.19	2.67	0.00	0.00	6.33	40.08	2.93	8.67
Kuvars	2.60	42.70	21.79	20.00	18.60	9.23	85.26	0.17	-0.30
Feldispat	0.60	31.50	14.27	14.00	16.00	7.93	62.95	0.18	-0.85
Kayaç parçacığı	0.00	20.00	1.62	0.60	0.00	3.13	9.78	3.91	19.85
Ağır mineral	0.00	6.00	1.58	1.30	0.00	1.42	2.01	0.98	0.76
Mika	0.00	8.00	1.22	0.60	0.00	1.58	2.51	2.12	5.65
Kalsit	0.00	30.00	4.60	1.70	0.00	7.04	49.62	2.00	3.43
Matriks	11.90	90.90	47.10	45.30	55.30	17.03	290.05	0.46	-0.10
Çimento	0.00	27.30	7.82	6.60	0.00	6.61	43.66	0.86	0.34
Tek eksenli sıkışma dayanımı	17.50	107.75	57.89	55.94	17.50	25.28	638.90	0.29	-0.95

Her örnek üzerinde 300 noktada bağlayıcı malzeme ve kırıntıların tanımlanmasıyla elde edilen modal mineralojik bileşime göre kumtaşlarının çoğu arkozik vake sınıfına dahildir. Bağlayıcı malzemenin %25'den büyük olduğu örneklerde polikristalin kuvars en baskın bileşen türüdür; bunu feldispat, monokristalin kuvars ve diğer mineraller izler. Ender olarak kayaç parçaları da (kireçtaşı, çört ve şist) içeren örneklerde bağlayıcı malzeme çoğunlukla kil boyu fraksiyondan oluşur. Grovıklara ait granülometrik parametreler ise tane boyu dağılımı, tane şekli, tane kontak türü ve paketlenme yoğunluğu olmak üzere 4 ayrı kategoride incelenmiştir. Tane boyu dağılımının saptanması için her örnekte 100 adet tanenin en uzun eksenleri ölçülmüş (Hutchinson, 1974) ve ölçümler Kong vd. (2005)'ne göre 3 boyutlu değerlere dönüştürülmüştür. Kumtaşları inceden kaba kum boyuna kadar değişen farklı boylarda kırıntılardan oluşmaktadır ve çoğu örnekte yamukluk pozitifdir. Boylanma dereceleri orta ile kötü arasında değişen kumtaşları çoğunlukla yarı köşeli-köşeli ve küresellik derecesi düşük tanelerden oluşmaktadır. Tanelerin kontak ilişkileri ise noktadan kenetlenmiş kadar değişmektedir. Paketlenme yoğunluğu, hem yoğunluk (packing density) hem de paketlenme yakınlığı (packing proximity) açısından incelenmiştir (Kahn, 1956). Paketlenme yoğunluğu dereceleri çoğunlukla %60'dan düşükken, paketlenme yakınsaklığı %0 ile %61 arasında değişmektedir.

4. KORELASYON ANALİZLERİ VE GİRDİ PARAMETRELERİNİN SEÇİMİ

Çalışmanın amacına uygun olarak, ilk aşamada çok değişkenli kestirim modeline girecek bağımsız değişkenlerin seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, petrografik parametreler dört ana gruba ayrılmıştır. Bunlar, tane şekli, paketlenme derecesi, tane kontak tipi ve mineralojik içeriktir. Tüm olası girdi parametreleri arasında yapılan korelasyonlardan elde edilen korelasyon matrisi Çizelge 2'de sunulmuştur. Çizelge 2'de verilen korelasyon matrisine göre, tek eksenli sıkışma dayanımı ile farklı alt gruplarda yer alan bağımsız değişkenler arasında en yüksek korelasyona sahip ilişkiler 0.334 ile küresellik, 0.631 ile paketlenme yoğunluğu ve 0.505 ile kuvars içeriği değişkenlerinden elde edilmiştir. Bu aşamada, küresellik, paketlenme yoğunluğu, kuvars içeriği ve tüm kontak tipleri girdi olarak seçilmiş, sonra da çift etki (redundancy) kontrolü gerçekleştirilmiştir. Bu kontroller sonucunda, küresellik ile paketlenme yoğunluğu arasında önemli bir korelasyonun ($r=0.559$) varlığı saptanmış olup, bu nedenle küresellik girdi parametreleri arasından çıkarılmıştır. Kestirim modellerinin en önemli özelliklerinden birisi, kullanımı kolay ve basit yöntemlerle elde edilebilecek girdi parametrelerine sahip olmasıdır. Paketlenme özellikleri, mineral içeriği ve kontak türü bir ince kesit üzerinden belirlenebilecek parametrelerdir. Kuvars ve matriks tek eksenli sıkışma dayanımı ile en yüksek korelasyon katsayısına sahip iki farklı mineralojik bileşen olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 2. Çalışma kapsamı içerisinde değerlendirilen parametrelere ilişkin korelasyon matrisi.

	Köşeli	Yuvarlak	Küresel	Paketlenme yoğunluğu	Paketlenme yakınsaklığı	İç büyüklük-Dış büyüklük	Düz	Noktasal	Kenet	Kuvars	Feldispat	Kayaç parçacığı	Ağır mineral	Mika	Kalsit	Matriks	Çimento	Tek eksenli sıkışma dayanımı
Köşeli	1.000																	
Yuvarlak	-1.000	1.000																
Küresel	0.109	-0.109	1.000															
Paketlenme yoğunluğu	0.008	-0.008	0.559	1.000														
Paketlenme yakınsaklığı	0.005	-0.005	0.518	0.452	1.000													
İç büyüklük-Dış büyüklük	-0.089	0.089	0.320	0.311	0.549	1.000												
Düz	-0.012	0.012	0.321	0.290	0.545	0.575	1.000											
Noktasal	0.305	-0.305	0.433	0.413	0.188	0.026	0.326	1.000										
Kenet	0.086	-0.086	0.159	0.094	0.470	0.061	0.071	-0.077	1.000									
Kuvars	-0.098	0.098	0.302	0.440	0.214	0.218	0.318	0.021	0.021	1.000								
Feldispat	0.110	-0.110	0.478	0.431	0.502	0.281	0.420	0.336	0.183	0.210	1.000							
Kayaç parçacığı	0.090	-0.090	0.115	0.138	0.296	0.164	-0.088	-0.063	0.522	0.078	-0.080	1.000						
Ağır mineral	-0.096	0.096	0.113	0.026	0.388	0.503	0.539	-0.068	0.251	0.186	0.209	-0.005	1.000					
Mika	-0.047	0.047	-0.142	-0.170	0.078	0.313	0.261	-0.190	-0.018	0.091	-0.029	0.084	0.348	1.000				
Kalsit	-0.074	0.074	0.141	-0.003	0.029	-0.116	-0.129	-0.109	0.066	0.017	-0.146	0.025	0.013	-0.142	1.000			
Matriks	-0.008	0.008	-0.514	-0.463	-0.478	-0.290	-0.398	-0.146	-0.251	-0.710	-0.563	-0.181	-0.215	-0.055	-0.333	1.000		
Çimento	0.095	-0.095	0.136	0.033	0.059	-0.031	0.076	0.152	0.031	0.064	0.112	-0.067	-0.267	-0.153	-0.038	-0.410	1.000	
Tek eksenli sıkışma dayanımı	-0.095	0.095	0.334	0.631	0.034	0.018	0.170	0.226	-0.001	0.505	0.191	0.031	-0.063	-0.219	0.069	-0.429	0.149	1.000

*Koyu yazı tipi ile yazılmış korelasyon katsayıları %95 güven aralığında anlamlı bulunmuştur.

Ancak, matriks paketlenme özellikleri ve kuvars ile yüksek korelasyon katsayılarına sahiptir. Bu nedenle, matriks bir bağımsız değişken olarak kullanılmamıştır. Kuvars kumtaşları içerisinde çok yaygın bulunan, bozunmaya karşı duraylı ve ince kesit çalışmalarında çok kolaylıkla tespit edilebilen bir mineral olmasından dolayı girdi parametrelerinden birisi olarak tercih edilmiştir. Buna göre, paketlenme yoğunluğu ve kuvars içeriği paketlenme özelliği ve mineralojik bileşeni temsil eden girdi parametreleri olarak seçilmiştir. Son girdi parametresi ise kontak türünden birisi olmalıdır. Ancak, en yüksek ve anlamlı korelasyon katsayılarının araştırılması olan ilk seçim ölçütü kontak türüne uygulanmamıştır. Çünkü, dört farklı kontak türünden elde edilen korelasyon katsayıları arasında belirgin bir fark tespit edilememiştir. Ancak, bunlar arasındaki farkı ortaya koyabilmek için her birisinin ayrı ayrı birer bağımsız değişken olarak dikkate alındığı bir çok değişkenli regresyon prosedürü uygulanmıştır (Çizelge 3). Analizlere başlamadan önce, Eşitlik 1 kullanılarak hem girdi hem de çıktı parametreleri [0, 1] aralığında normalize edilmiştir.

$$X_n = (X - X_{En\ küçük}) / (X_{En\ büyük} - X_{En\ küçük}) \quad (1)$$

Burada; X_n ölçülen değişkenin normalize edilmiş değeri; X ölçülen değişken; $X_{En\ küçük}$ veri grubu içerisindeki ölçülen değişkenin en küçük değeri; $X_{En\ büyük}$ veri grubu içerisindeki ölçülen değişkenin en büyük değeri.

Çizelge 3. Girdi parametrelerinin seçimi sırasında uygulanan çok değişkenli regresyon prosedürüne ilişkin sonuçlar.

UCS _n = 0.762 (Paketlenme Yoğunluğu _n) + 0.746 (Kuvars _n) - 0.186 (Köşeli _n) + 10.768	r = 0.684
UCS _n = 0.762 (Paketlenme Yoğunluğu _n) + 0.746 (Kuvars _n) - 0.186 (Yuvarlak _n) - 7.818	r = 0.684
UCS _n = 0.844 (Paketlenme Yoğunluğu _n) + 0.833 (Kuvars _n) - 0.411 (İç-Dış Büyüklük _n) + 8.584	r = 0.713
UCS _n = 0.776 (Paketlenme Yoğunluğu _n) + 0.821 (Kuvars _n) - 0.106 (Düz _n) + 7.300	r = 0.680
UCS _n = 0.745 (Paketlenme Yoğunluğu _n) + 0.778 (Kuvars _n) - 0.019 (Noktasal _n) + 5.438	r = 0.680
UCS _n = 0.763 (Paketlenme Yoğunluğu _n) + 0.767 (Kuvars _n) - 0.219 (Kenet _n) + 5.858	r = 0.682

Çizelge 3'te eşitlikleri verilen analizler sırasında, çift etki (redundancy)'ye sahip olmayan paketlenme yoğunluğu ve kuvars içeriği parametreleri sabit tutularak, diğer grup verilerden olası uygun girdi parametrelerin seçimi gerçekleştirilmiştir. En yüksek regresyon katsayısına sahip ilişki iç-dış büyüklük kontak türünün girdi parametresi olarak kullanıldığı analiz sonucunda elde edilmiştir (Çizelge 3). Burada uygulanan girdi parametrelerinin seçimine ilişkin yordam sonucunda, modellerde kullanılacak girdi parametreleri olarak paketlenme yoğunluğu, kuvars içeriği ve iç-dış büyüklük kontak türü seçilmiştir.

5. ÇOK DEĞİŞKENLİ REGRESYON MODELİ

Çok değişkenli regresyon analizlerinin ilk aşamasında, model geliştirme ve kontrol veri setleri hazırlanmıştır. Genellikle, rutin bir çoklu regresyon yordamı içerisinde veri seti, model geliştirme ve kontrol veri seti olmak üzere iki gruba rastgele ayrılmaz. Ancak bu çalışmada, sadece çok değişkenli regresyon modeli değil, aynı zamanda yapay sinir ağları modelinin de geliştirilmesi ve bunların performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu nedenle, beş farklı veri seti, analizler öncesinde rastgele seçimle hazırlanmıştır. Swingler (1996) tüm veri setinin %20'sinin, Looney (1996) ise %25'inin kontrol verisi olarak rastgele ayrılmasını önermektedir. Bu nedenle, bu çalışmada 10 adet veri seti kontrol amaçlı ayrılırken, 51 adet veri seti de model geliştirmede kullanılmıştır. Model geliştirme amaçlı ayrılan beş farklı set kullanılarak çok değişkenli regresyon analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4'te sunulmuştur.

6. YAPAY SİNİR AĞI MODELİ

Bir yapay sinir ağı modeli, insan beynini temel alarak yaklaşık anlamlandırma yeteneğine sahip bir model olarak tanımlanır. Beyin, sinir hücrelerinin yoğun biçimde birbirleriyle ilişkili bir birliktelikleri içerir veya sınırlar olarak isimlendirilen temel bilgi işleme birimidir (Negnevitsky, 2002). Sınırlar bağlarla birleştirilir ve herbir bağ sayısal bir ağırlık değerine sahiptir. Ağırlıklar bir yapay sinir ağı modelinin uzun süreli hafızasının temel ifadesidir. Literatürde bir çok türde yapay sinir ağı modeli bulunmasına karşın, geri beslemeli yapay sinir ağı modeli bunlardan kestirim amaçlı en yaygın kullanılanıdır. Bu nedenle, bu çalışmada geri beslemeli yapay sinir ağı modeli MATLAB Version 7.3.0.267 kullanılarak geliştirilmiştir. Geliştirilen yapay sinir ağı modeli, üç girdi, içerisinde iki sinir bulunduran bir görünmez seviye, ve bir de çıktıya sahiptir (Şekil 1). Bazı araştırmacılar (Baheer, 2000; Hecht-Nielsen, 1987) bir çok problemin çözümünde tek görünmez seviyenin yeterli olabileceğini belirtmektedirler. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında ele alınan kestirim modeli değerlendirildiğinde, tek görünmez seviyenin yeterli olacağı sonucuna varılmıştır. Ankara grovağı için önerilen modelin serbest parametre sayısı sekizdir $[(3 \times 2) + (2 \times 1)]$. Görünmez seviye içerisindeki sinir sayısının karar aşamasında, Wang (1994) tarafından önerilen yaklaşım $[(2 \times \text{"girdi sinir sayısı"}) / 3]$ dikkate alınmıştır. Buna göre, görünmez seviye içerisindeki sinir sayısı 2 olarak hesaplanmaktadır. Yapay sinir ağı yapılarının oluşturulmasında dikkate alınması gereken diğer önemli bir husus ta öğrenme aşamasında kullanılacak veri setinin sayısıdır. Klimasauskas (1993) ile Messer ve Kittler (1998)'e göre, öğrenme aşamasında kullanılacak veri seti sayısı serbest parametre sayısının en az 5-10 katı arasında olmalıdır. Bu öneriler dikkate alınarak, seçilen veri seti sayıları kontrol edilmiştir. Daha önce de söz edildiği gibi, bu çalışmada oluşturulan yapay sinir ağı modelinin serbest parametre sayısı sekizdir. Buna göre, güvenilir bir yapay sinir ağının öğrenme aşamasında kullanılacak veri seti sayısının en az kırk olması gerekmektedir.

Bu çalışmada kullanılan model geliştirme (öğrenme) veri seti sayısı ise 51'dir. Sonuç olarak, öğrenme aşamasında kullanılan veri sayısının yeterli miktarda olduğu anlaşılmaktadır. Öğrenme hızı ve momentum katsayısı da yapay sinir ağı modellerinin diğer önemli parametreleridir. Öğrenme hızının 0.01, momentum katsayısının ise 0.95 olarak alınmasının uygun olacağına literatür araştırması sonucunda karar verilmiştir. Yukarıda gerekçeleri ile verilen model parametreleri kullanılarak oluşturulan yapay sinir ağı modeli beş ayrı veri seti için oluşturulmuştur. Öğrenme aşaması tamamlandıktan sonra, modeller kontrol veri setleri için çalıştırılmış ve elde edilen sonuçların performansları değerlendirilmiştir.

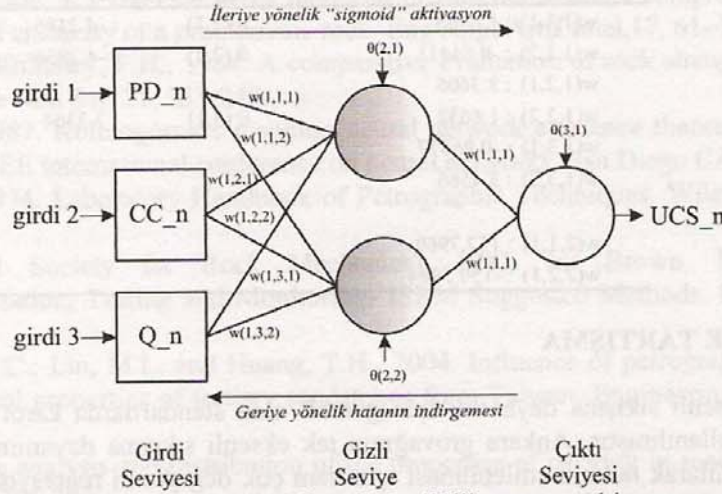
Çizelge 4. Beş farklı rastgele seçilmiş veri seti kullanılarak elde edilen çok değişkenli regresyon eşitlikleri (UCS_n: normalleştirilmiş tek eksenli sıkışma dayanımı; PD_n: normalleştirilmiş paketlenme yoğunluğu; CC_n: normalleştirilmiş iç-dış bükey tip tane kontağı; Q_n: normalleştirilmiş kuvars içeriği).

Model No.	Çoklu Regresyon Eşitlikleri	r (model geliştirme veri setinin çapraz korelasyonu)	r (kontrol veri setinin çapraz korelasyonu)
1	$UCS_n = 0.074 + (0.61 PD_n) - (0.25 CC_n) + (0.337 Q_n)$	0,701	0,677
2	$UCS_n = 0.0116 + (0.619 PD_n) - (0.25 CC_n) + (0.337 Q_n)$	0,767	0,611
3	$UCS_n = 0.0881 + (0.573 PD_n) - (0.203 CC_n) + (0.336 Q_n)$	0,696	0,835
4	$UCS_n = 0.105 + (0.621 PD_n) - (0.373 CC_n) + (0.387 Q_n)$	0,715	0,752
5	$UCS_n = 0.0733 + (0.633 PD_n) - (0.256 CC_n) + (0.338 Q_n)$	0,725	0,574

7. PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, gerek çok değişkenli regresyon gerekse yapay sinir ağı modellerinin geliştirilmesi sırasında 5 adet rastgele seçilmiş veri seti kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, kontrol veri setleri de dikkate alındığında, çok sayıda performans parametresi ortaya çıkmaktadır. Model geliştirme veya öğrenme aşamasında kullanılan verilerin yüksek performans göstermesi modelin iyi öğrendiğine işaret ederken, kontrol veri setlerinin yüksek performansı ise modelin genelleme yeteneğinin yüksek olduğunu ifade etmektedir. Bu nedenle, analizler boyunca oluşturulan modellerden hangisinin en iyi sonuç verdiği karar vermenin güç olduğu açıktır. Bunun yanı sıra, bazı eşitliklerin veya çapraz korelasyon katsayılarının da aynı çıktığı dikkate alındığında, bu durumun karar verme işlemini daha da güçleştirmektedir. Bu güçlüğün aşılabilmesi için *values account for* (VAF) ve karekök ortalama hata (RMSE) indeksleri de ayrıca hesaplanmasına (Çizelge 5) rağmen, bu güçlük aşılanamamıştır. Bu nedenle, ayrı bir karar verme sürecine ihtiyaç duyulmuştur. Bu çalışma kapsamında, korelasyon katsayısı, VAF ve RMSE indislerini kullanarak puanlamayı temel alan basit bir karar verme yaklaşımı geliştirilmiştir. Yöntem, her bir performans indeksinin kendi sınıfı içinde yüksekten düşüğe doğru sıralanması ve en yüksek performansı gösterene en yüksek puanın atanması esasına dayanmaktadır. Örneğin, çok değişkenli regresyon eşitliklerinin model geliştirme veri setlerinin çapraz korelasyonları sırasıyla 0.701, 0.767, 0.696, 0.715 ve 0.725 olarak elde edilmiştir. Bu katsayıların puanları da yine aynı sırayla 2, 5, 1, 3 ve 4 şeklinde atanmıştır. Bu aşama, her bir performans indeksi için ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Bu işlemden sonra, her bir veri seti için bu puanlar toplanarak sonuç puan elde edilmiştir. Örneğin, çok değişkenli regresyon eşitliğinin 1. model geliştirme (Alıştırma 1) veri setinin toplam puanı, 2 çapraz korelasyon katsayısından, 2 VAF'tan ve 2 RMSE'den olmak üzere performans puanı toplam 6'dır. En iyi modelin seçimi çalışmasının son aşamasını ise dört performans puanının toplanması oluşturmaktadır. Bu performans puanları çok değişkenli modelin hem model geliştirme hem de kontrol veri setlerinden, yapay sinir ağının öğrenme aşaması veri seti ve kontrol veri setinden oluşmaktadır. Diğer bir ifadeyle, her bir model geliştirme yaklaşımı hem öğrenme (alıştırma) hem de kontrol (test) veri setlerini içermektedir. Model seçiminin özeti Çizelge 5'te verilmiştir. Buna göre, 1 nolu veri setinden elde edilen model 41 puan ile en yüksek performansa sahip ve en iyi kestirim modeli olarak seçilmiştir. Diğer modeller ise sırasıyla 38, 36, 27 ve 36 toplam performans puanına sahiptir. Performans indislerinin hesaplama yöntemlerinden kaynaklanan nedenlerle ve veri setlerinin rastgele seçilmiş olmalarından dolayı, kestirim modelleri bazı farklılıklar gösterebilirler. Model geliştirme veya öğrenme (alıştırma) aşamasında, çok değişkenli regresyon analizleri genelde çok yüksek performansa ulaşamamalarına rağmen, 3 nolu kontrol veri seti yüksek bir performans sağlamıştır (Çizelge 5). Bu durum çok değişkenli regresyon modelinin yüksek bir genelleme kapasitesine işaret etmektedir. Ayrıca, model geliştirme ve öğrenme veri setlerinin kullanıldığı verilerin performans analizi sonucunda, çok değişkenli regresyon modelleri ile yapay sinir ağları modelleri arasında dikkate değer bir farklılık bulunmaktadır. Bu durum bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal olmayan ilişki ile açıklanabilir. Çünkü, birinci dereceden

çok değişkenli regresyon modeli bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında doğrusal ilişkinin varlığını kabul eder.



Şekil 1. Çalışma kapsamı içerisinde geliştirilen (3x2x1)'lik yapıya sahip yapay sinir ağı modeli.

Çizelge 5. Ankara grovağının tek eksenli sıkışma dayanımı için geliştirilen modellerin performans indeksleri ve bunlara ait puanlar.

Model	Yöntem	r (çapraz korelasyon)	VAF	RMSE	r için puan	VAF için puan	RMSE için puan	Toplam puan
Alişirma 1	Çoklu Regresyon	0.701	49.1	0.2019	2	2	2	6
Alişirma 2	Çoklu Regresyon	0.767	58.3	0.185	5	5	5	15
Alişirma 3	Çoklu Regresyon	0.696	48.4	0.2032	1	1	1	3
Alişirma 4	Çoklu Regresyon	0.715	51.1	0.1997	3	3	3	9
Alişirma 5	Çoklu Regresyon	0.725	52.6	0.1985	4	4	4	12
Test 1	Çoklu Regresyon	0.677	58.1	0.149	3	4	4	11
Test 2	Çoklu Regresyon	0.611	6.6	0.2738	2	1	1	4
Test 3	Çoklu Regresyon	0.835	64.7	0.1448	5	5	5	15
Test 4	Çoklu Regresyon	0.752	52.5	0.17	4	3	3	10
Test 5	Çoklu Regresyon	0.574	31.1	0.1701	1	2	2	5
Alişirma 1	YSA	0.87	75.9	0.139	3	3	3	9
Alişirma 2	YSA	0.93	87.4	0.0979	5	5	5	15
Alişirma 3	YSA	0.81	72.6	0.1506	2	2	2	6
Alişirma 4	YSA	0.79	61.6	0.1771	1	1	1	1
Alişirma 5	YSA	0.9	80.4	0.1274	4	4	4	12
Test 1	YSA	0.83	65.6	0.1446	5	5	5	15
Test 2	YSA	0.61	3.2	0.2473	2	1	1	4
Test 3	YSA	0.7	47.8	0.1763	4	4	4	12
Test 4	YSA	0.63	5.6	0.2452	3	2	2	7
Test 5	YSA	0.53	39.4	0.2361	1	3	3	7

Ancak, yapay sinir ağı modellerinin öğrenme aşamasında zaman zaman aşırı öğrenme sorunu ile karşılaşılan bir durumdur. Eğer bir yapay sinir ağı modeli aşırı öğrenirse, öğrenme veri seti ile kontrol veri setinin performans göstergeleri arasında ciddi farklılıklar ortaya çıkar. Ancak, bu çalışma kapsamında geliştirilen yapay sinir ağı modellerinde bu farklılık gözlenmemiştir. En iyi kestirim modeli olarak seçilen ve 1 nolu veri setinin kullanıldığı yapay sinir ağı modelinin öğrenme ve kontrol veri setlerinden elde edilen çapraz korelasyon katsayıları sırasıyla 0.87 ve 0.83'tür. Bu sonuç yapay sinir ağı modelinin optimum derecede öğrendiğini göstermektedir. Söz konusu yapay sinir ağı modeline ilişkin model parametreleri Çizelge 6'da verilmiştir. Ayrıca bu çalışma kapsamında Ankara grovağının tek eksenli sıkışma dayanımının kestirimi için geliştirilen modellerin pratik amaçlarla kullanılabilir ölçüde yüksek performans sergilemiştir.

Çizelge 6. "1" nolu alıştırma veri seti için geliştirilen yapay sinir ağı modeline ilişkin model parametreleri.

ağırlıklar (w)	eşik değerleri (θ)
w(1,1,1) : 1.6368	θ (2,1) : -4.2196
w(1,1,2) : -0.84411	θ (2,2) : -4.2866
w(1,2,1) : 3.3606	
w(1,2,2) : 1.6632	θ (3,1) : 7.3364
w(1,3,1) : -0.86677	
w(1,3,2) : 3.4586	
w(2,1,1) : 157.7969	
w(2,2,1) : -150.5984	

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışmada, tek eksenli sıkışma dayanımı için gerekli olan standartlarda karot almanın güç olduğu Ankara grovağı kullanılmıştır. Ankara grovağının tek eksenli sıkışma dayanımının bazı petrografik parametreler kullanılarak tahmin edilebilmesi için hem çok değişkenli regresyon hem de yapay sinir ağı modelleri geliştirilmiştir. İlk aşama analizler sonucunda, Ankara grovağının tek eksenli sıkışma dayanımının kestirilmesinde tek bir petrografik parametrenin kullanılmasının yeterli olmayacağı anlaşılmıştır. Çok değişkenli modeller için girdi parametrelerinin seçiminde kullanılmak üzere, parametrelerin fiziksel anlamlarını dikkate alan mantıksal temelli bir girdi parametresi seçim prosedürü uygulanmıştır. İstatistiksel ve mantıksal temelli girdi parametresi seçimi prosedürünün uygulanması sonucunda, paketlenme yoğunluğu, kuvars yüzdesi ve iç-dış bükey tipte dokanak parametreleri çok değişkenli modeller için girdi parametresi olarak seçilmiştir. Çalışmada yöntem olarak kullanılan çok değişkenli regresyon analizi ve yapay sinir ağı modelleri anlamlı sonuçlar üretmiştir. Ancak, analizler öncesinde çok sayıda rastgele seçilmiş veri setleri üretildiği için, Ankara grovağının tek eksenli sıkışma dayanımının kestirilmesinde hangi modelin kullanılması gerektiği konusunda güçlüklerle karşılaşmıştır. Bu güçlüğü giderilebilmesi için korelasyon katsayısı, VAF ve RMSE indislerini dikkate alan ve puanlama temelli bir karar verme prosedürü geliştirilmiştir. Yapılan uygulama sonucunda 1 nolu veri setinden üretilen modellerin en iyi sonucu verdiği anlaşılmıştır. Hem çok değişkenli regresyon hem de yapay sinir ağı modeli pratik amaçlarla kullanılacak ölçüde anlamlı sonuçlar üretmesine karşın, yapay sinir ağı modeli daha yüksek bir performans göstermiştir.

8. KAYNAKLAR

- Baheer, I., 2000. Selection of methodology for modeling hysteresis behavior of soils using neural networks. *J Comput Aided Civil Infrastruct Eng*, 5(6), 445-63.
- Bailey and McCallien, 1953. Serpanite lavaş, the Ankara melange and the Anatolian thrust. *Trans Royal Soc. Edinburg*, 62 (2), 403-442
- Bell, F.G., 1978. The physical and mechanical properties of the Fell sandstone, Northumberland, England. *Engineering Geology*, 12, 1-29.
- Bell, F.G. and Culshaw, M.G., 1998. Petrographic and engineering properties of sandstones from the Sneinton Formation, Nottinghamshire, England. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 31, 5-19.
- Bell, F.G. and Lindsay, P., 1999. The petrographic and geomechanical properties of some sandstones from the Newspaper Member of the Natal Group near Durban, South Africa. *Engineering Geology*, 53, 57-81.
- Bieniawski, Z.T., 1974. Estimating the strength of rock materials. *S Afr Inst Min Metal*, 74, 312-320.
- Blatt, H., 1982. *Sedimentary Petrology*. W.H. Freeman Comp., New York, N.Y., 105-143.
- Cargill, J.S. and Shakoor, A., 1990. Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength of rock. *Int J Rock Mech Min Sci*, 27 (6), 495-503.
- Erol, O., 1956, Ankara güneydogusundaki Elmadagi ve çevresinin jeolojisi ve jeomorfolojisi üzerinde bir araştırma, MTA Publication, Serie.D, No.9 (unpublished, in Turkish).

- Fahy, M.P. and Guccione, M.J., 1979. Estimating strength of sandstones using petrographic thin-section data. *Bull Assoc Eng Geol*, 16 (4), 467-485.
- Gökçeoğlu, C. and Zorlu, K., 2004. A fuzzy model to predict the uniaxial compressive strength and modulus of elasticity of a problematic rock. *Eng Appl Artif Intel*, 17, 61-72.
- Gunsallus, K.L. and Kulhawy, F.H., 1984. A comparative evaluation of rock strength measures. *Int J Rock Mech Min Sci*, 21, 233-248.
- Hecht-Nielsen, R., 1987. Kolmogorov's mapping neural network existence theorem. Proceedings of the first IEEE international conference on neural networks, San Diego CA, USA, 11-14.
- Hutchinson, C. S., 1974. *Laboratory Handbook of Petrographic Techniques*. Wiley, Newyork, N.Y., 527 pp.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. In: Brown, E.T. (Ed.), *Rock Characterization, Testing and Monitoring- ISRM Suggested Methods*. Pergamon, Oxford, 211 pp.
- Jeng; F.S., Weng, M.C., Lin, M.L. and Huang, T.H., 2004. Influence of petrographic parameters on geotechnical properties of tertiary sandstones from Taiwan. *Engineering Geology*, 73, 71-91.
- Kahn, J.S., 1956. The analysis and distribution of the properties of packing in sand size sediments. *J. Geol.*, 64, 385-395.
- Kasapoğlu, K.E., 2000. Ankara Kenti Zeminlerinin Jeoteknik Özellikleri ve Depremselligi, *Jeoloji Müh. Odası yayını*, No: 54, 180 s.
- Klimasauskas, C.C., 1993. Applying neural networks. In: Trippi RR, Turban E, editors. *Neural networks in finance and investigating*. Cambridge, Probus.
- Kong, M., Bhattacharya, R.N, James, C. and Basu, A., 2005. A statistical approach to estimate the 3D size distribution of spheres from the 2D distributions. *GSA Bulletin*, 117, 244-249.
- Lin, M.L., Jeng, F.S., Tsai, L.S. and Huang, T.H., 2005. Wetting weakening of tertiary sandstones – microscopic mechanism. *Environ Geol*, 48, 265-275.
- Looney, C.G., 1996. Advances in feed-forward neural networks: demystifying knowledge acquiring black boxes. *IEEE Trans Knowledge Data Eng*, 8(2), 211-226.
- Messer, K. and Kittler, J., 1998. Choosing an optimal neural network size to aid search through a large image database. Proceedings of the ninth British machine vision conference (BMVC98), University of Southamton, UK, 235-244.
- Negnevitsky, M., 2002. *Artificial intelligence: a guide to intelligent systems*. England: Addison-Wesley.
- Norman, T., 1973. Ankara Melanjının yapısı hakkında. *Cumh. 50.yili Yerbilimleri Kongresi Tebligleri Dergisi*, MTA Yayınları, 77-94 (in Turkish).
- Shakoor, A. and Bonelli, R.E., 1991. Relationship between petrographic characteristics, engineering index properties, and mechanical properties of selected sandstones.
- Swingler, K., 1996. *Applying neural networks: a practical guide*. New York: Academic Press.
- Ulusay, R., Tureli, K. and Ider, M.H., 1994. Prediction of engineering properties of a selected litharenite sandstone from its petrographic characteristics using correlation and multivariate statistical techniques. *Engineering Geology* 37, 135- 157.
- Vutukuri, V.S., Lama, R.D. and Saluja, S.S., 1974. *Handbook on Mechanical Properties of Rocks*. Trans Tech Publications Clausthal, Germany, Vol. 1, 280p.
- Zorlu, K., Ulusay, R., Ocakoğlu, F., Gökçeoğlu, C. and Sonmez, H., 2004. Predicting intact rock properties of selected sandstones using petrographic thin-section data. *Int J Rock Mech Min Sci*, 41 (1), 93-98.