



Makale

Vakumlu Betonlarda Farklı Derinliklerdeki Beton Yoğunluğunun Alternatif Yöntemler İle Tahmin Edilmesi

Serkan SUBAŞI

Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Konuralp/Düzce

ÖZET

Bu araştırmanın amacı, farklı sürelerde vakum uygulanmış betonlarda, vakum süresi, radyoaktif yöntemle yoğunluk ve beton derinliğine bağlı olarak gerçek beton yoğunluk değerlerinin regresyon ve bulanık mantık yöntemiyle tahmin edilmesini araştırmaktır.

Bu amaçla, C20 betonu hazırlanan 100x200x15 cm ebadında 3 adet kalıba dökülmüş ve dalgıç tipi vibratör ile sıkıştırılmıştır. Dökümden hemen sonra beton bloklara 0, 15 ve 30 dakika boyunca vakum işlemi uygulanmıştır. Beton yüzeyi sulanarak 28 gün boyunca kür edilmiştir. 28. günde her bir beton blok üzerinde 6 farklı bölge ve 3 farklı derinlikte (2,5- 5-7,5 cm) radyoaktif yöntemle beton yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Aynı bölgelerden alınan 100 mm çapındaki karot örnekler 2,5, 5 ve 7,5 cm derinliklerde kesilerek TS EN 12390-7 standardında belirtilen esaslara uygun olarak örnekler üzerinde beton yoğunluğu tayini deneyi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deney verileri kullanılarak, vakum süresi, radyoaktif yöntemle yoğunluk ve beton derinliği değerlerine bağlı olarak farklı derinliklerdeki gerçek beton yoğunluğunu tahmin eden çoklu lineer regresyon modeli ve bulanık model oluşturulmuştur.

Sonuç olarak, beton test teknolojisinde yeni bir uygulama olan radyoaktif yöntemle beton yoğunluğu tayini, vakum süresi ve beton derinliğine bağlı olarak bulanık mantık yöntemiyle gerçek beton yoğunluğunu %2 gibi küçük bir hata oranı ile tahmin edilebildiği görülmüştür. Bulanık mantık yönteminin regresyon yöntemine göre beton yoğunluğunu daha başarılı tahmin ettiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Vakumlu beton, yoğunluk, radyoaktif yöntem, bulanık mantık, çoklu lineer regresyon.

1.GİRİŞ

Betondan beklenen performansı artırmak için taze betonun içerisindeki fazla suyun kontrollü bir şekilde tekrar geri vakum yoluyla alınma işlemi sonucu elde edilen betona vakumlu beton denilmektedir. Betondaki işlenebilirlik suyunun azaltılması ile su/çimento oranını da azaltılmaktadır. [1,2]. Vakumlu beton, havaalanı, aşırı yüklere maruz karayolu ve endüstriyel döşeme betonlarında uygulanmaktadır [1,3]. Vakum süresi beton kalınlığına bağlı olarak değişmektedir. Vakum işi bittikten sonra beton yüzeyi perdahlanarak son şekli verilmektedir [2,4,5].

Vakumlu beton uygulaması özellikle su/çimento oranı fazla olan akıcı kıvamdaki betonlarda %10'dan %50'ye kadar etkili olmaktadır [4]. Özellikle beton yüzeyine yakın kılcal boşluklar vakum sayesinde en aza indiği için donma çözülme dayanımı normal betona göre 20 katına kadar çıkar [1]. Taze betondaki suyun vakum uygulaması sonucunda beton kalınlığına bağlı olarak %15 - %25 arasındaki miktarı geri çıkarılabilmektedir [2,6].

Diğer taraftan beton üzerinde yapılan çeşitli araştırmalarda, beton yoğunluğu ve basınç dayanımı arasında ilişkiler araştırılmış ve betonun yoğunluğunun, basınç mukavemeti ile aynı yönde değiştiği görölmüştür. Betonun yoğunluğu, basınç dayanımı ile doğrudan ilişkili olduğu için betonun kalite ölçütü olarak kullanılmaktadır[7].

Whiting ve ark. beton yoğunluğunun, betonun basınç dayanımı, çeliğin betona yapışma dayanımı ve kloriyonlarının betona nüfuzu gibi birçok önemli özellikleri üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir[8,9].

Beton özelliklerini belirlemeye yönelik pek çok tahribatlı ve tahribatsız test metodu bulunmaktadır. Kompozit malzemelerin yoğunluğunu belirlemeye yönelik olarak geliştirilen ve tahribatsız bir test tekniği olan radyoaktif elementlerden yararlanarak yoğunluk ölçümü dünya da yeni yaygınlaşan ölçüm tekniklerindedir [10,11].

Radiometri olarak da adlandırılan ölçüm tekniği karayolu yapılarında, asfalt, zemin, agrega yoğunluklarının ve rutubet miktarlarının belirlenmesinde, sıkıştırma miktarlarının yeterliliğinin kontrolünde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [10-12].

Bu çalışmada farklı sürelerde vakum uygulanmış betonlarda, vakum süresi, radyoaktif yöntemle yoğunluk ve beton derinliğine bağlı olarak gerçek beton yoğunluk değerlerinin bulanık mantık yöntemiyle tahmin edilebilirliği araştırılmıştır.

2. ÇOKLU LİNEER REGRESYON ANALİZİ

Regresyon analizi bir bağımlı değişken ile bir bağımsız (basit regresyon) veya birden fazla bağımsız (çoklu regresyon) değişken arasındaki ilişkilerin bir matematiksel eşitlik ile açıklanması süreci olarak tanımlanmaktadır. Basit lineer regresyon modeli birçok durum için elverişli olabilmektedir. Ancak gerçek hayatta birçok modelin açıklaması için iki veya daha fazla açıklayıcı değişkene gerek duyulmaktadır. Birden çok açıklayıcı değişkenli modeller çoklu regresyon modeli olarak adlandırılmaktadır [13]. Basit ve çoklu lineer regresyon denklemlerinin formülize edilif biçimi sırasıyla Denklem 1 ve Denklem 2’de verilmiştir. Basit ve çoklu lineer regresyon model denklemleri aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$y=b_0+b_1X+\epsilon \quad (1)$$

$$y= b_0+b_1X_1+\dots+\dots+\dots+b_nX_n+\epsilon \quad (2)$$

Model denklemlerde,

Y= Bağımlı değişkeni

X_i=Bağımsız değişkenleri

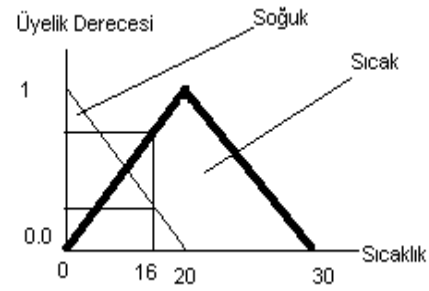
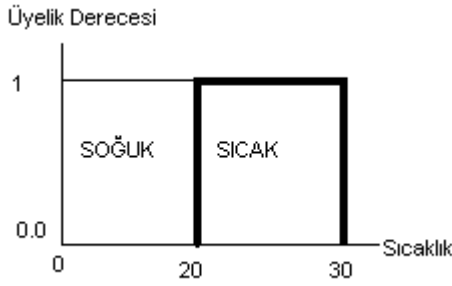
b_i= Hesaplanan katsayı parametreleri

ϵ = Hata terimini ifade etmektedir.

3. BULANIK MANTIK

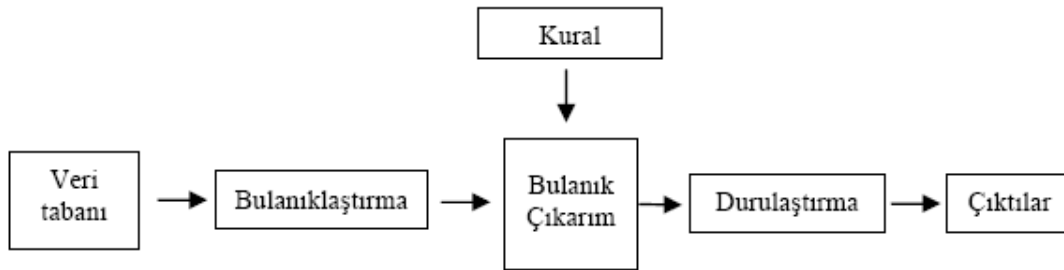
Bulanık mantık, ilk olarak 1965 yılında yayınlanan bir makalede L. A. Zadeh tarafından tanımlanmıştır [14]. Bulanık küme teorisinde, üyelikten üye olmamaya geçiş dereceli bir şekilde olmaktadır. [15].

Bu durum basitçe řu şekilde açıklanabilir. Örneğin Şekil 1’ de görölen klasik küme teorisinde sıcaklık eğer 16 °C ise soğuktur. Fakat Şekil 2’ deki bulanık küme teorisinde ise 16 °C sıcaklık için “sıcaktır” veya “soğuktur” diye kesin çizgilerle ayrılmış yargılar kullanılamaz. Çünkü 16 °C sıcaklık değerinin belli bir derecede sıcak kümesine ve belli bir derecede soğuk kümesine üyeliği bulanmaktadır. Şekil 2’ deki küme mantığı insanın düşünme yeteneğine daha uyumlu bir yapıdadır. [16]



Şekil 1 Klasik küme teorisinin gösterimi [16] Şekil 2 Bulanık küme teorisinin gösterimi [16]

Genel olarak bir bulanık mantık işlemindeki akış diyagramı, Şekil 1' deki gibi verilebilir. Bunlar, veri tabanı, bulanıklaştırma, çıkarım motoru, kural tabanı, durulaştırma ve çıktı işlemlerinden meydana gelmektedir [17].



Şekil 3 Bulanık bir denetleyicinin yapısı

- Genel Bilgi Tabanı Birimi: İncelenecek olan olayın girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Buna veri tabanı veya kısaca giriş adı da verilir. Genel veri tabanı denilmesinin nedeni, buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesidir.
- Bulanık Kural Tabanı Birimi: Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal, *EĞER-İSE* türünde yazılabilen bütün kuralları içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm aralık (bulanık küme) bağlantıları düşünülür. Böylece, her bir kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamların tümü kural tabanını oluşturur.
- Bulanık Çıkarım Motoru Birimi: Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdileri altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.
- Durulaştırma Birimi: Bulanık çıkarım motorunun bulanık küme çıktıları üzerinde ölçek değişikliği yapılarak gerçek sayılara dönüştürdüğü birimdir.
- Çıktı Birimi: Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım motoru vasıtasıyla etkileşimi sonucunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir [17].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Malzeme

Çalışmada C20 hazır betonu kullanılmıştır. Beton üretiminde CEM I 42,5 R çimentosu ve çimento ağırlığının %0,4'ü oranında su azaltıcı akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Hazırlanan karışıma ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Beton karışıma ait çökme değeri 20 cm, su/çimento oranı ise 0,47'dir.

Tablo 1 Beton karışım zellikleri

Malzeme	zellikleri	Miktarı
akıl (Ag-1)	Kırmataş(16-25mm)	334 kg
akıl (Ag-2)	Kırmataş(4-16mm)	632 kg
Kum (Ag-3)	Kırmakum (0-3mm)	761 kg
Çimento	CEM I 42,5 R	426 kg
Su	şehir şebeke suyu	200 lt
Kimyasal katkı	Akışkanlaştırıcı (%0,4)	2 kg

4.2. Metod

Hazırlanan 100x200x15 cm boyutlarında 3 adet döşeme kalıbına C20 betonu vibratrl yüzey master ile sıkıştırılarak dklmştir. Vibratrl yüzen master ile sıkıştırma işlemi, bütün kalıplar üzerinde eşit sürelerde yapılmıştır. Döşeme betonlarından birincisine 30 dak., ikincisine 15 dak. vakum işlemi uygulanmıştır. nc döşeme betonu ise vakum uygulanmadan referans olarak kullanılmıştır. Vakum işlemi bittikten sonra, vakum örtüsü kaldırılıp beton yüzeyi, helikopter yardımıyla perdahlanmıştır.

Hazırlanan beton bloklar 28 gün süresince sulanmak suretiyle kr edilmiştir. Kr edilen beton bloklar üzerinde 6 farklı bölgede 2,5 cm, 5 cm ve 7,5 cm derinliklerinde ‘Radyoaktif Yoğunluk ler’ cihazı yardımı ile sertleşmiş betonun yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Cihaz Sezyum-137 radyoaktif elementinden yayılan gama ışınları aracılığı ile yoğunluk ölçümü yapmaktadır. Deney ASTM C1040 “Standard Test Methods for Density of Unhardened and Hardened Concrete In Place By Nuclear Methods” standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir [18].

Diğer taraftan beton bloklar üzerinden her beton türü için 6 adet olmak üzere 10cm çapında ve 15cm boyunda karot örnekler alınmıştır. Deney sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için karot örnekler radyoaktif yöntemle yoğunluk ölçümü yapılan bölgeden alınmıştır. Deney rnekleri, vakum uygulanan yüzeyden itibaren karot örnekler 7,5, 5 ve 2,5 cm derinliklerde kesilerek hazırlanmıştır. Beton yoğunluğunun tayini deneyi, hazırlanan beton örnekler üzerinde TS 12390-7 “Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini” standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir[19].

5. BULGULAR VE TARTIşMA

Çalışmada iki farklı tahmin yöntemi uygulanmıştır. Birinci tahmin yöntemi olarak, vakumlu betonların yoğunluk değerlerinin belirlenmesi amacıyla; vakum süresi, beton derinliği ve radyoaktif yöntemle yoğunluk miktarına bağlı olarak çoklu lineer regresyon analizi yapılarak tahmin modeli ortaya konmuştur. Regresyon analizi SPSS paket programında yapılarak model denklemi oluşturulmuştur. Regresyon modelinin oluşturulmasında 54 adet veri kullanılmıştır. Gerçekleştirilen oklu lineer regresyon analizi sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Gerçekleştirilen regresyon analizi sonucunda vakumlu betonlarda yoğunluğu, vakum süresi, beton derinliği ve radyoaktif yöntemle yoğunluk miktarına bağlı olarak tahmin eden çoklu lineer model denklemi eşitlik 1’de verilmiştir. Analiz sonucunda dayanımı tahmin eden çoklu lineer model denkleminin determinasyon katsayısı $r^2=0,791$ olarak bulunmuştur.

$$\hat{Y} = 2,342 - 0,003668.X_1 + 0,008917.X_2 - 0,05624.X_3 \quad (1)$$

Denklemden,

$$\hat{Y} = \text{Yoğunluk (gr/cm}^3\text{)},$$

$$X_1 = \text{Vakum Süresi (dk)}$$

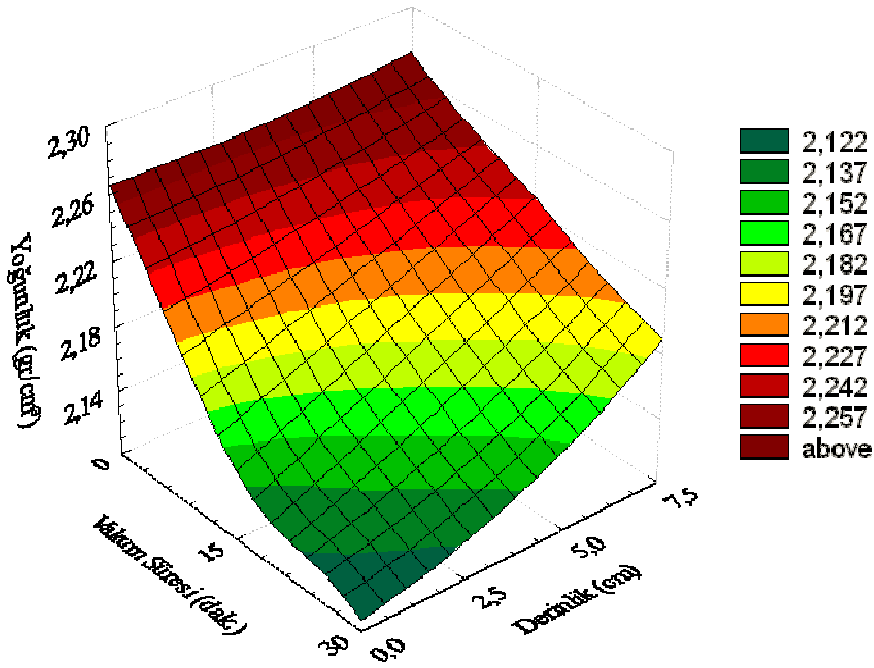
$$X_2 = \text{Derinlik (cm)}$$

$$X_3 = \text{Radyoaktif Yoğunluk (gr/cm}^3\text{)}$$

Tablo 2 Regresyon analizi sonucu

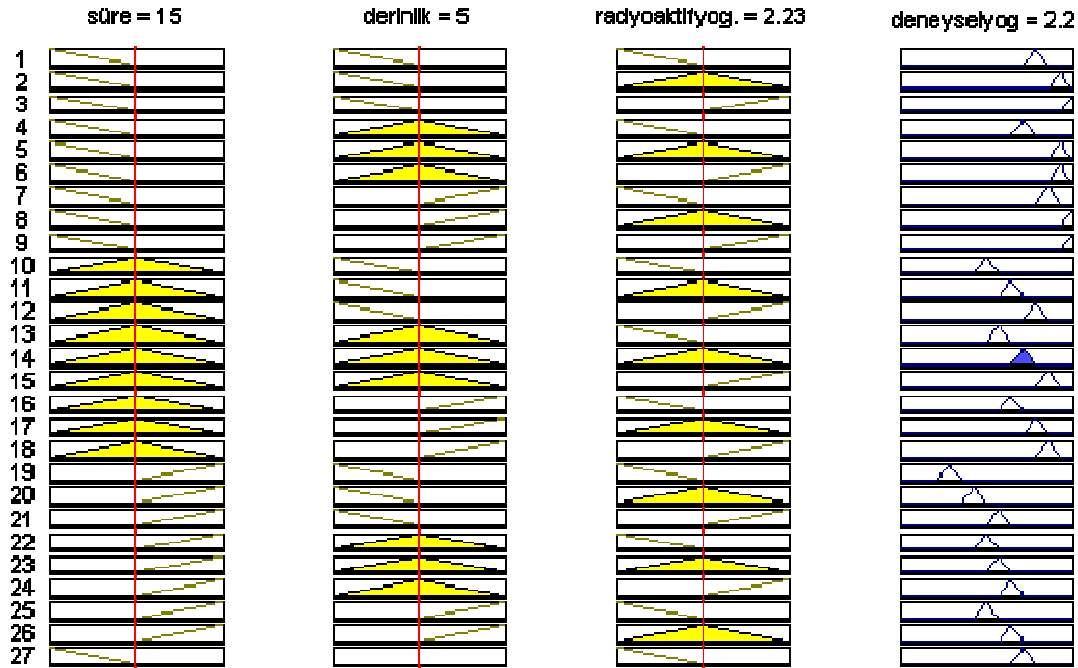
Regresyon istatistikleri					
Pearson korelasyon katsayısı					
	0.889				
Regresyon katsayısı					
	0.791				
Düzeltilmiş R ²					
	0.779				
Standard hata					
	2,66.10 ⁻²				
Varyans Analizi					
<i>Varyansın kaynağı</i>	<i>Serbestlik derecesi</i>	<i>Kareler toplamı</i>	<i>Kareler ortalaması</i>	<i>F testi</i>	<i>Anlamlılık düzeyi(P≤0,05)</i>
Regresyon	3	0,135	4,485.10 ⁻²	63,116	0,000
Kalan	50	3,553.10 ⁻²	7,107.10 ⁻⁴		
Toplam	53	0,170			
Regresyon analizi					
<i>Kaynak</i>	<i>Katsayılar</i>	<i>Standard hata</i>	<i>T istatistiği</i>	<i>Anlamlılık düzeyi</i>	
b ₀	2,342	0,103	22,735	0,000	
b ₁	-3,668.10 ⁻³	0,000	-11,693	0,000	
b ₂	8,917.10 ⁻³	0,002	5,001	0,000	
b ₃	-5,624.10 ⁻²	0,047	-1,185	0,242	

İkinci tahmin yöntemi olarak ise vakumlu betonların yoğunluk değerlerinin belirlenmesi amacıyla MATLAB programında bir Bulanık mantık tahmin modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde her bir girdi için 4 adet üçgen üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Çıktı parametresi için ise 12 adet üçgen üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Üyelik fonksiyonlarının küme aralıkları belirlenirken deneysel deneyimlerden yararlanılmıştır. Üyelik fonksiyonlarının değer aralıkları belirlendikten sonra girdiler ile çıktı arasındaki ilişki kural tabanında belirlenmiştir. Kurallar oluşturulurken modelin bir bütün olarak çalışması için 4*4*4=64 adet kural yazılmış ve kurallar birbirine “VE” bağlacı ile bağlanmıştır. Durulaştırma işlemi ise en yaygın olarak kullanılan yöntem olan ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Kurallar oluşturulduktan sonra kurallara göre girdi ve çıktı parametreleri arasında oluşan ilişki Şekil 4’ te görülmektedir.



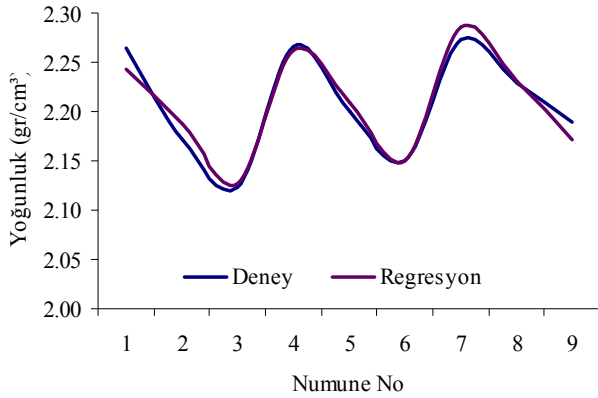
Şekil 4 Girdiler ve çıktı arasındaki ilişki grafiği.

Üyelik fonksiyonları ve aralarındaki ilişkiyi yansıtabak kuralların belirlenmesinden sonra modelin tahmin ettiği değerleri belirlemek amacıyla kullanılan durulaştırma ara yüzeyi Şekil 5' te görölmektedir.

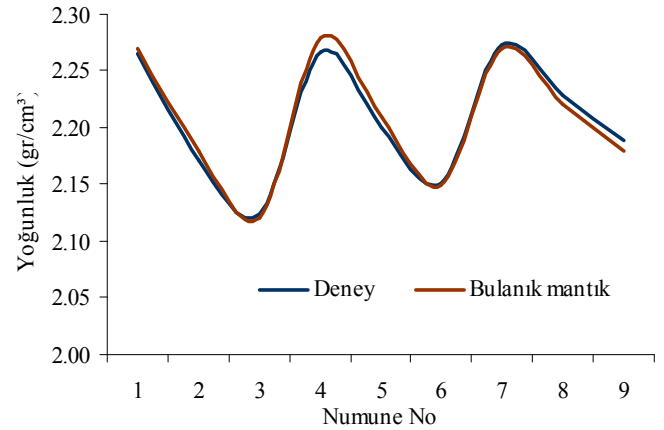


Şekil 5 Durulaştırma ekranı

Her iki yöntemle göre tahmin edilen değerler deneysel sonuçlarla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Deney sonuçları ile regresyon analizi sonuçları arasındaki ilişkiyi numune numarasına göre gösteren grafik Şekil 6'da verilmiştir. Ayrıca Bulanık mantık sonuçları ile deney sonuçları arasındaki ilişki de Şekil 7'de verilmiştir.

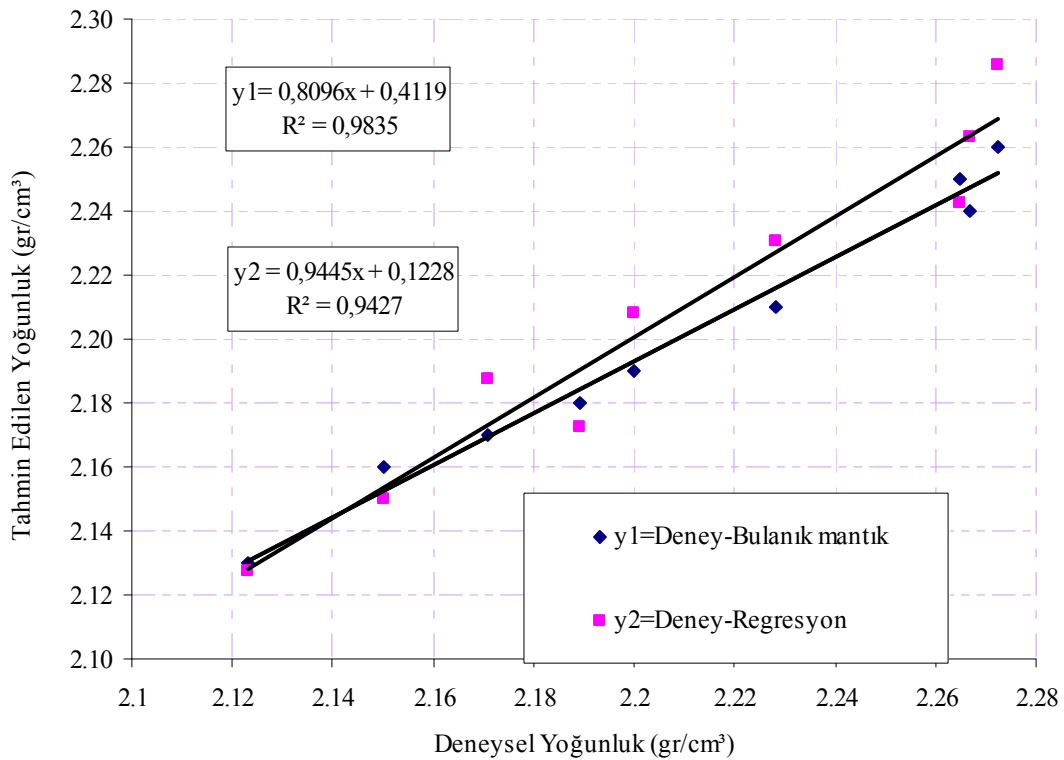


Şekil 6 Deneysel-Regresyon ilişkisi



Şekil 7 Deneysel-Bulanık mantık ilişkisi

Hangi tahmin yönteminin deney sonuçlarını daha yüksek oranda tahmin edebildiğini belirlemek amacıyla hem deneysel-regresyon ilişkisini gösteren hem de deneysel-bulanık mantık ilişkisini gösteren grafik Şekil 8'de verilmiştir. İlişki grafiği oluşturulurken her bir grubu temsil eden ortalama değerler kullanılmıştır. Grafikte y_1 denklemi deneysel sonuçlarla Bulanık mantık sonuçları arasındaki nümerik ilişkiyi, y_2 ise deneysel sonuçlarla regresyon denklemi sonuçları arasındaki nümerik ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 8 Deneysel-Bulanık mantık ve Deneysel-Regresyon sonuçları arasındaki ilişki

6. SONUÇLAR

Farklı vakum süreleri uygulanarak elde edilmiş vakumlu betonlar üzerinde radyoaktif yöntemle ve beton bloklardan alınan karot örneklerle deneysel olarak, 2,5, 5 ve 7,5 cm derinliklerindeki beton yoğunlukları ölçülmüştür. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler kullanılarak, vakum süresi, beton

derinliği ve radyoaktif yöntemle beton yoğunluğu değerlerine bağlı olarak çoklu lineer regresyon ve bulanık mantık modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller ile vakumlu beton yoğunluğu tahin edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca tahmin modellerinin gücü de karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda çoklu lineer regresyon ile oluşturulan modelin ortalama değerler göz önüne alındığında beton yoğunluğunu %6 yanılma olasılığı ile tahmin edebildiği, bulanık mantık modelinin ise vakumlu beton yoğunluğunu %2 yanılma olasılığı ile regresyon yöntemine göre daha başarılı bir şekilde tahmin edebildiği grlmştr.

Sonuç olarak vakum uygulanmış betonlarda beton derinliğine ve vakum süresine bağlı olarak beton basınç dayanımı ile yüksek oranda ilişkili olduğu bilinen beton yoğunluğu değerlerinin tahmininde bulanık mantık yönteminin kullanılabilereği, modellemede üyelik fonksiyonlarının esnek bir şekilde uyarlanabilmesi nedeniyle daha hassas ve amaca uygun zmler bulunabileereği grlmştr.

7. KAYNAKLAR

1. zdemir, ., 1992, "Vakumlu Beton". Bayındırlık Bakanlığı DSI Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı., Yayın No:MIz 817, Ankara.
2. Neville, A., 2003, "Properties of concrete", Fourth and Final Edition, Pearson Prentice Hall, London.
3. Muramatsu A., Yamaguchi T., 1999, "Finishing concrete floor by modified vacuum dewatering, industrial Floors" sempozyumu bildiri notları, Stutgard, Almanya.
4. şimsek, O.,2004, "Beton ve Beton Teknolojisi", Sekin Yayıncılık San. ve Ti. A.S. Ankara.
5. Orchard, D.F., 1979, The Vacuum Concrete Process, Concrete Technology V: 2, Londra.
6. şimşek, O., 2005, "Effect of vacuum processing on strength and surface hardness properties of concrete" Journal of ASTM International, February, V.2, N.2.
7. Yavuz, E., 1995, Betondaki boyut etkisinin bileşimle ilgisi, Yksek Lisans Tezi, İstanbul Tek. ni., Fen Bil. Enst, İstanbul.
8. Whiting,D., Seegebrecht, G.W., and Tayabji, S., 1987, Effect of degree of consalidation on some important properties of concrete, Consalidation of Concrete, ACI SP-96, Gebler, S.H., American Concrete Institute, Detroit, MI.
9. Erdoğan, T.Y., zer, ., 1996, An evaluation of different test methods to determine concrete compressive strength, Fourth International Conference on Concrete Technology in Developing Countries, Gazimagusa, Turkish Republic of Northern Cyprus.
10. Malhotra V.M., Carino, N.J., 2004, Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, CRC Pres, Seceond Edition Chapt. 12, London.
11. Thin Layer Density Gauge, 2003, Manual of Operation and İstruction, Troxler Electronics Laboratories Inc.

12. Tayabji, S.D., Whiting, D., 1988, Field evaluation of concrete pavement consolidation, Transp.Res.Rec.11 10, 90.
13. Kalaycı, Ş., 2006,. SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri, Ankara. Asil Yayınları.
14. Zadeh, L. A., 1965, "Fuzzy Sets", Information and Control, 8, 338-352.
15. Murat Y. Ş., Uudağ, N., 2008, "Bulanık Mantık ve Lojistik Regresyon Yöntemleri ile Ulaşım Ağlarında Geçki Seçim Davranışının Modellenmesi" İMO Teknik Dergi, 4363 -4379.
16. Beycioğlu A., Başyiğit, C., Kılınçarslan, Ş., Akkurt, İ., 2008. "Bulanık Mantık Metodu İle Ağır Betonların Basınç Dayanımı Tahmini". Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, ASYU 2008. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
17. Demir, F, Tekeli H, Korkmaz, A, 2007, "Elastisite Modülünün Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılmasına Etkisi, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Vol./Cilt 25 Issue/Sayı 2, 190-199.
18. ASTM C1040-93, 2000, Standard Test Methods for Density of Unhardened and Hardened Concrete In Place By Nuclear Methods, American Standards.
19. TS 12390-7, 2000, Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.