



4th International Advanced Technologies Symposium
September 28–30, 2005 Konya / Türkiye



VAKUM UYGULANAN BETONLARDA YOĞUNLUĞUN RADYOAKTİF YÖNTEMLE TAYİNİ

Serkan SUBAŞI¹ Osman ŞİMŞEK² Emre SANCAK³

¹ Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, 06500, Ankara, TR, subasi@gazi.edu.tr

² Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, 06500, Ankara, TR, simsek@gazi.edu.tr

³ SDÜ Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, 32260, Isparta, TR, esancak@tef.sdu.edu.tr

ÖZET

Bu araştırmanın amacı; vakum uygulamasından dolayı beton yüzeyinde meydana gelen yoğunluk değişiminin radyoaktif metotla tayinini araştırmaktır.

Bu amaçla, 200x200x15 cm boyutlarında 3 adet dökme kalıbı hazırlanmıştır. Hazırlanan kalıplara C20 betonu vibratörlü yüzey mastarı ile sıkıştırılarak dökülmüştür. Dökme betonlarından birincisine 34 dak.(tam vakum), ikincisine 17 dak.(yarım vakum) vakum işlemi uygulanmıştır. Üçüncü dökme betonu ise vakum uygulanmadan referans olarak kullanılmıştır. Dökülen beton bloklar üzerinde yoğunluk ölçümleri yeni bir teknoloji olan radyoaktif yöntemle yerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca beton bloklardan alınan karot örnekler üzerinde laboratuvarında beton yoğunlukları ölçülmüştür.

Sonuç olarak; yeni bir teknoloji olan radyoaktif yöntemle beton yoğunluğunun doğru bir şekilde tayin edilebileceği, beton bloklardan alınan karot örnekler üzerinde gerçekleştirilen yoğunluk deney sonuçlarına göre radyoaktif yöntemle yoğunluk değerlerinin %1 yanılma olasılığı ile belirlenebileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Vakum, beton, yoğunluk, radyoaktif yöntem, gama ışınları

1. GİRİŞ

Günümüzde beton üretimi, endüstriyel bir üretimdir ve her endüstriyel üretim gibi denetim altında tutulması, diğer bir ifadeyle betonun kalitesinin kontrol edilmesi gerekmektedir[1].

Beton, genellikle yapılarda taşıyıcı eleman üretiminde kullanılan kompozit bir yapı malzemesidir. Betonun taşıyıcılığının en belirgin ölçütü de basınç dayanımıdır. Genellikle betonun kalitesi, dayanımıyla temsil edilmektedir [2].

Beton üzerinde yapılan çeşitli araştırmalarda, malzemenin muhtelif özellikleri ve basınç dayanımı arasında ilişkiler aranmış ve betonun çeşitli özelliklerinin, basınç mukavemeti ile aynı yönde değiştiği görülmüştür. Bu ilişkiden dolayı betonun basınç dayanımı, betonun kalite ölçütü olarak kullanılmaktadır[3].

Whiting ve ark. Beton yoğunluğunun, betonun basınç dayanımı, çeliğin betona yapışma dayanımı ve klor-ionlarının betona nüfuzu gibi birçok önemli özellikleri üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir[4, 5].

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 [6, 7].

Radiometri olarak da adlandırılan ölçüm tekniği karayolu yapılarında, asfalt, zemin, agrega yoğunluklarının ve rutubet miktarlarının belirlenmesinde, sıkıştırma miktarlarının yeterliliğinin kontrolünde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [6, 7].

İlk kez Malhorta ve ark. Co⁶⁰ (kobalt) radyoaktif elementini kullanarak beton yoğunluğunu ölçmüşlerdir. Daha sonra Malhorta 1976'daki bir araştırmasında gama ışınlarını kullanarak yapılardaki beton elemanların yerinde tahribatsız olarak test edilebileceğini belirtmiştir. Radiometri son yıllarda beton yol kaplamalarının, silindire sıkıştırılmış betonların yoğunluklarının belirlenmesinde kullanılmaya başlanmıştır[6].

Tayabji ve Whiting radyoaktif yöntemle beton yoğunluğunun belirlenmesinde iki farklı yöntem önermektedirler. Bunlardan biri geri saçılma (backscatter) metodu diğeri ise doğrudan geçiş (direct transmission) metodu olarak adlandırılmaktadır. Geri saçılma metodu malzeme üzerinde hiçbir işlem yapılmaksızın kaynaktan gönderilen gama ışınlarının malzeme içerisinden geçerek yansması ve bunların miktarının algılayıcılar tarafından ölçülmesi ile gerçekleşmektedir. Doğrudan geçiş metodu ise malzeme üzerinde radyoaktif kaynağı istenilen derinliğe kadar indirebilecek şekilde delik açılması, kaynağın buraya indirilerek ışınların malzeme içerisinden algılayıcıya gönderilmesi ile gerçekleşmektedir [8].

Yeni bir teknoloji olan radyoaktif yöntemle beton yoğunluğunun belirlenmesi betonun diğer mekanik özellikleri ile ilişkilendirilerek üretimi yapılan beton hakkında daha fazla bilgi edinilmesini sağlayacaktır.

Bu araştırmanın amacı; vakum uygulamasından dolayı beton yüzeyinde meydana gelen yoğunluk değişiminin radyoaktif metotla tayinini araştırmaktır.

2.MATEYAL VE METOD

2.1. Materyal

Çalışmada C20 hazır betonu kullanılmıştır. Beton üretiminde PÇ 42,5 portland çimentosu ve çimento ağırlığının %0,4'ü oranında su azaltıcı akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Hazırlanan karışıma ait bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir. Beton karışıma ait çökme değeri 20 cm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 1 Beton karışım özellikleri

Malzeme	Özellikleri	Miktarı
Çakıl (Ag-1)	Kırmataş (16-25mm)	334 kg
Çakıl (Ag-2)	Kırmataş (4-16mm)	632 kg
Kum (Ag-3)	Kırnakum (0-3mm)	761 kg
Çimento	PÇ 42,5	426 kg
Su	Şehir şebeke suyu	190 lt
Kimyasal katkı	Akışkanlaştırıcı (%0,4)	2 kg

2.2. Metod

2.2.1. Beton dökümü ve vakum uygulaması

200x200x15 cm boyutlarında 3 adet döşeme kalıbı hazırlanmıştır. Hazırlanan kalıplara C20 betonu vibratörlü yüzey mastarı ile sıkıştırılarak dökülmüştür. Vibratörlü yüzen master ile sıkıştırma işlemi, bütün kalıplar üzerinde eşit sürelerde yapılmıştır

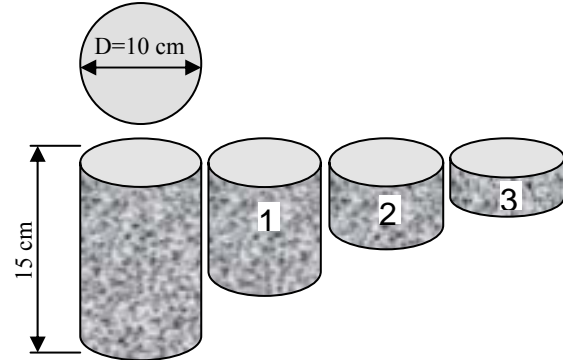
Betona vakum uygulamasının yapılabilmesi ve zeminden kaynaklanan çatlakların önlenmesi için, beton dökümü öncesi kalıpların altına polietilen örtü serilmiştir.

Döşeme betonlarından birincisine 34 dak.(tam vakum), ikincisine 17 dak.(yarım vakum) vakum işlemi uygulanmıştır. Üçüncü döşeme betonu ise vakum uygulanmadan referans olarak kullanılmıştır. Vakum işlemi bittikten sonra, vakum örtüsü kaldırılıp beton yüzeyi, helikopter yardımıyla perdelanmıştır.

2.2.1. Deney numunelerinin hazırlanması

Hazırlanan 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. Karot örnekler vakum uygulanan yüzeyden itibaren 7,5, 5 ve 2,5 cm derinliklerde kesilerek laboratuvarında yoğunluk ölçümü deneyi gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1 Deney numunesi üretimi (1: 7,5 cm yüksekliğinde, 2: 5 cm yüksekliğinde, 3: 2,5 cm yüksekliğinde)

2.2.2. Beton Yoğunluğunun Tayini

Beton yoğunluğunun tayini deneyi, alınan karot örneklerden üretilen 10 cm çaplı ve 7,5, 5, 2,5 cm kalınlığındaki beton örnekler üzerinde Şekil 1'de gösterilen 1, 2 ve 3 nolu örnekler üzerinde TS 12390-7 "Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini" standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir[9]. Betonların yoğunluk değerlerinin hesaplanmasında;

$$D = \frac{m}{V}$$

formülü kullanılmıştır. Formülde;

D= Numunenin yoğunluğu, gr/cm³,

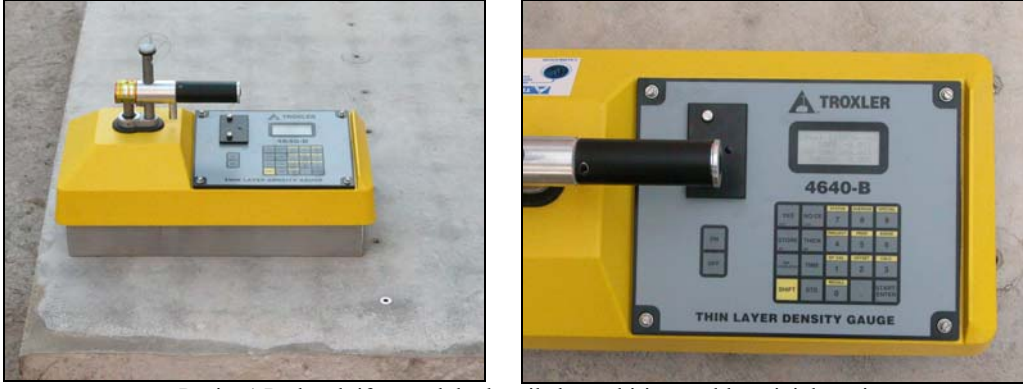
m= Numunenin, deney esnasındaki durumuna bağlı kütlesi, gr,

V= Numunenin özel metotla tayin edilen hacmi, cm³

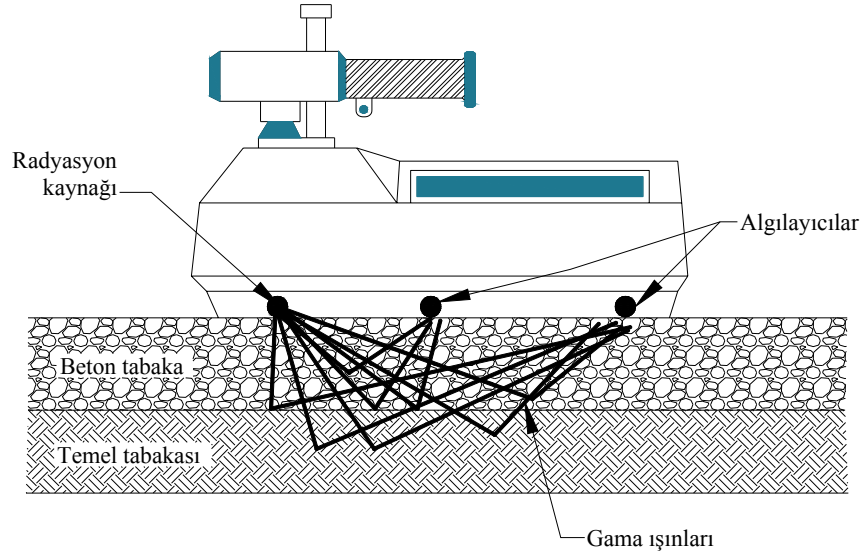
ifade etmektedir.

2.2.3. Radyoaktif yöntemle yoğunluk tayini

Beton bloklar üzerinde 6 farklı bölge üzerinde 2,5 cm, 5 cm ve 7,5 cm derinliklerinde 'Radyoaktif Yoğunluk Ölçer' cihazı yardımı ile sertleşmiş betonun yoğunluk ölçümleri yapılmıştır(Resim 1). Cihaz Sezyum-137 radyoaktif elementinden yayılan gama ışınları aracılığı ile yoğunluk ölçümü yapmaktadır (Şekil 2). Deney ASTM C1040-93(2000) "Standard Test Methods for Density of Unhardened and Hardened Concrete In Place By Nuclear Methods" standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.



Resim 1 Radyoaktif yoğunluk ölçer ile beton birim ağırlık tayini deneyi



Şekil 2. Radyoaktif yoğunluk ölçer ölçümü

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Beton Yoğunluğu

Radyoaktif yöntemle ölçüm yapılan bölge ve derinlikleri temsil edecek şekilde hazırlanan 2,5, 5 ve 7,5 cm derinliklerdeki karot örnekler üzerinde laboratuvar ortamında gerçekleştirilen betonun yoğunluk tayini deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 2’de verilmiştir.

Deney sonucunda elde edilen veriler üzerinde her bir derinlikte betonlar arasında gerçekleştirilen varyans analizine göre yoğunluk değerleri bakımından grup ortalamalarının istatistiki anlamda birbirinden farklı olduğu görülmüştür ($\alpha=0,001$)(Çizelge 3).

Farklılığın hangi beton türlerinde kaynaklandığını tespit etmek amacıyla gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4’te görülmektedir.

Çizelge 2. Beton yoğunluğu deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler

Derinlik (cm)	Beton türü	N	Ortalama	Std.Hata	Minimum	Maksimum
2,5	Referans	6	2,124	0,0051	2,115	2,147
	Tam vakum	6	2,267	0,0022	2,261	2,275
	Yarı vakum	6	2,223	0,0122	2,186	2,255
5	Referans	6	2,145	0,0104	2,104	2,170
	Tam vakum	6	2,263	0,0030	2,251	2,273
	Yarı vakum	6	2,195	0,0158	2,146	2,231
7,5	Referans	6	2,166	0,0178	2,102	2,205
	Tam vakum	6	2,262	0,0026	2,254	2,268
	Yarı vakum	6	2,184	0,0054	2,163	2,200

Çizelge 3. Beton yoğunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Derinlik (cm)	Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (α)
2,5	Genel	2	0,0642	0,0321	88,899	0,000
	Gruplar içi	15	0,0054	0,0004	~	~
	Toplam	17	0,0697	~	~	~
5	Genel	2	0,0418	0,0209	28,631	0,000
	Gruplar içi	15	0,0110	0,0007	~	~
	Toplam	17	0,0528	~	~	~
7,5	Genel	2	0,0309	0,0155	22,024	0,000
	Gruplar içi	15	0,0105	0,0007	~	~
	Toplam	17	0,0415	~	~	~

Çizelge 4. Çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Derinlik (cm)	Beton türü	Farklı olan gruplar ($\alpha=0,01$)		
		1	2	3
2,5	Referans	2,124	~	~
	Yarı vakum	~	2,223	~
	Tam vakum	~	~	2,267
5	Referans	2,145	~	~
	Yarı vakum	~	2,195	~
	Tam vakum	~	~	2,263
7,5	Referans	2,166	~	~
	Yarı vakum	2,184	~	~
	Tam vakum	~	2,262	~

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre;

- ✓ Bütün derinliklerde yoğunluk değerlerinin betonlar arasında farklı olduğu,
- ✓ Yalnızca 7,5cm derinliğe sahip numunelerde referans ve yarı vakumlu betonlara ait yoğunluk değerlerinin birbirinden farklı olmadığı,
- ✓ Bütün derinliklerde referans betonun en küçük değere, tam vakumlu betonun ise en büyük değere sahip olduğu,
- ✓ Vakum işleminden dolayı beton yoğunluk değerlerinde anlamlı bir artış olduğu görülmektedir.

3.2. Radyoaktif Yöntemle Beton Yoğunluğu

Radyoaktif yöntemle 2,5, 5 ve 7,5 cm derinliklerde beton bloklar üzerinde gerçekleştirilen betonun yoğunluk tayini deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 5'te verilmiştir.

Deney sonucunda elde edilen veriler üzerinde her bir derinlikte betonlar arasında gerçekleştirilen varyans analizine göre 2,5 ve 5 cm derinliklerdeki yoğunluk değerleri bakımından grup ortalamalarının istatistiki anlamda birbirinden farklı olduğu, 7,5 cm derinlikteki yoğunluk değerleri bakımından grup ortalamalarının birbirinden farklı olmadığı görülmüştür ($\alpha=0,001$)(Çizelge 6).

Farklılığın hangi beton türlerinde kaynaklandığını tespit etmek amacıyla gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 7'te görülmektedir.

Çizelge 5. Radyoaktif yöntemle beton yoğunluğu deneyi verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Derinlik (cm)	Beton türü	N	Ortalama	Std.Hata	Minimum	Maksimum
2,5	Referans	6	2,164	0,0324	2,024	2,223
	Tam vakum	6	2,279	0,0070	2,247	2,297
	Yarı vakum	6	2,246	0,0194	2,182	2,305
5	Referans	6	2,164	0,0324	2,024	2,223
	Tam vakum	6	2,249	0,0192	2,192	2,297
	Yarı vakum	6	2,220	0,0123	2,191	2,268
7,5	Referans	6	2,166	0,0309	2,031	2,221
	Tam vakum	6	2,248	0,0168	2,192	2,298
	Yarı vakum	6	2,206	0,0257	2,106	2,283

Çizelge 6. Radyoaktif yöntemle beton yoğunluğu verilerine ait varyans analizi sonuçları

Derinlik (cm)	Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (α)
2,5	Genel	2	0,0416	0,0208	7,041	0,007
	Gruplar içi	15	0,0443	0,0030	~	~
	Toplam	17	0,0859	~	~	~
5	Genel	2	0,0221	0,0110	3,519	0,05
	Gruplar içi	15	0,0471	0,0031	~	~
	Toplam	17	0,0692	~	~	~
7,5	Genel	2	0,0200	0,0100	2,636	0,104
	Gruplar içi	15	0,0569	0,0038	~	~
	Toplam	17	0,0770	~	~	~

Çizelge 7. Radyoaktif yöntemle beton yoğunluğu verilerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Derinlik (cm)	Beton türü	Farklı olan gruplar ($\alpha=0,01$)	
		1	2
2,5	Referans	2,164	~
	Yarı vakum	~	2,246
	Tam vakum	~	2,279
5	Referans	2,164	~
	Yarı vakum	2,220	2,220
	Tam vakum	~	2,249
7,5	Referans	2,166	~
	Yarı vakum	2,206	~
	Tam vakum	2,248	~

Radyoaktif yöntemle yoğunluk tayini deneyi sonucunda elde edilen veriler üzerinde gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre;

- ✓ 2,5 ve 5 cm derinliklerdeki yoğunluk değerlerinin tam ve yarı vakumlu betonlarda birbirinden farklı olmadığı,
- ✓ 7,5 cm derinlikteki yoğunluk değerlerinin beton türlerine göre değişmediği,
- ✓ Bütün beton türlerinde referans betonun en küçük, tam vakumlu betonun ise en büyük yoğunluk değerlerine sahip olduğu,
- ✓ Beton yoğunluğunun üst tabakalarda betonlar arasında farklılık gösterdiği ancak ölçüm derinliği arttıkça bu farklılığın ortadan kalktığı

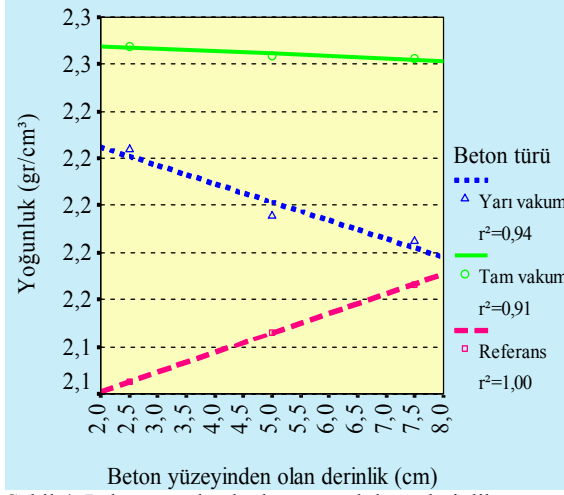
görülmüştür.

Ayrıca karot örnekler üzerinde laboratuarda yapılan yoğunluk ölçümleri ile, radyoaktif yöntemle beton bloklar üzerinde gerçekleştirilen yoğunluk ölçümlerinin beton yüzeyinden olan derinliklerine bağlı olarak değişimini modelleyebilmek için regrasyon analizi gerçekleştirilmiştir.

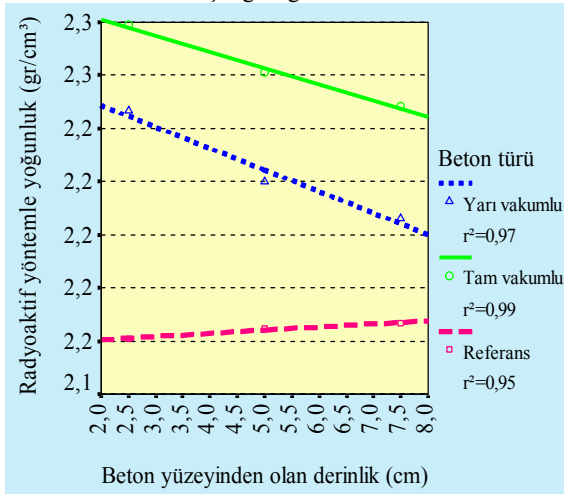
Gerçekleştirilen regrasyon analizi sonucunda ilişki her bir beton türü için $Y=Bx + A$ lineer model denklemi ile ifade edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen regrasyon model denklemleri Çizelge 8’de karot örnekler üzerinde gerçekleştirilen yoğunluk ölçümlerine ait ilişki grafiği Şekil 3’te, radyoaktif yöntemle beton bloklar üzerinde gerçekleştirilen yoğunluk ölçümlerine ait ilişki grafiği ise Şekil 4’te görülmektedir.

Çizelge 8 Yoğunluk ve ölçüm derinliği arasında gerçekleştirilen regrasyon analizi sonuçları

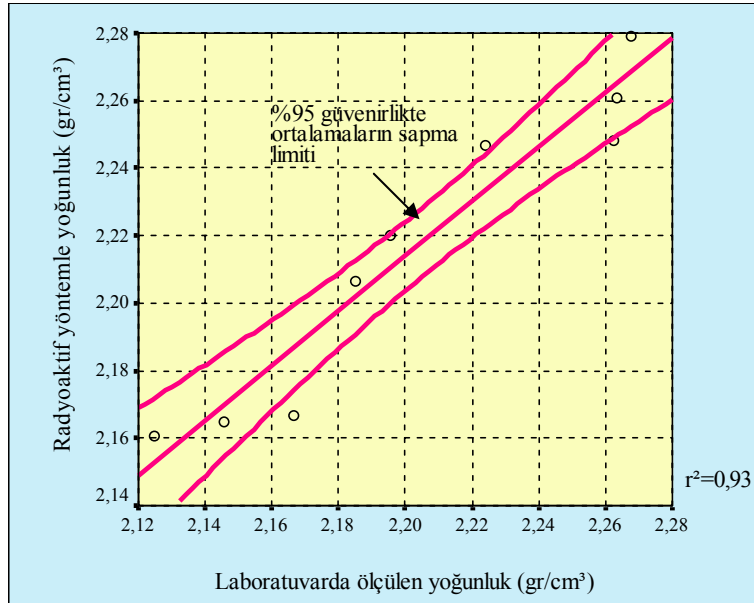
Deney yöntemi	Beton türü	Regrasyon katsayısı (r^2)	Regrasyon denklemi	Anlamlılık düzeyi (α)
Laboratuarda yoğunluk ölçümü	Referans	1,00	$Y=2,1042+0,0083X$	0,01
	Yarı vakum	0,94	$Y=2,2404-0,0078X$	0,01
	Tam vakum	0,91	$Y=2,2701-0,011X$	0,01
Radyoaktif yöntemle yoğunluk ölçümü	Referans	0,95	$Y=2,1581+0,0012X$	0,01
	Yarı vakum	0,97	$Y=2,2649-0,0081X$	0,01
	Tam vakum	0,99	$Y=2,2934-0,0061X$	0,01



Şekil 4. Laboratuvar ortamında ölçülen yoğunluk ve derinlik arasındaki ilişki grafiği



Şekil 5. Radyoaktif yöntemle ölçülen yoğunluk ve derinlik arasındaki ilişki grafiği



Şekil 6. Yoğunluk ölçüm teknikleri arasındaki ilişki grafiği

Şekil 4 ve 5' teki grafiklerde görüldüğü gibi vakum uygulamasından dolayı yarı ve tam vakumlu betonlarda beton yüzeyine yakın olan kısımlarda yoğunluk değerlerinin arttığı, derinlik arttıkça yoğunluk değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Referans betonda ise tam tersine beton yüzeyine yakın kısımlarda yoğunluğun azaldığı, derinlik arttıkça yoğunluk değerlerinin artmakta olduğu görülmektedir.

Varyans analizi ve regresyon analizleri ile test edilen bu durum her iki ölçüm tekniğinde de benzer sonuçlar göstermektedir. Radyoaktif yöntemle gerçekleştirilen yoğunluk ölçümlerinin laboratuvar ortamında gerçekleştirilen yoğunluk ölçümlerine göre küçük sapmalar gösterdiği gözlemlenmiştir.

Şekil 6'da laboratuvar ortamında ölçülen yoğunluk ile Radyoaktif yöntemle ölçülen yoğunluk değerlerine ait ilişki grafiği görülmektedir. Radyoaktif yöntemle gerçekleştirilen ölçümlerin yoğunluk değerlerini %1'lik bir hata ile tahmin ettiği görülmüştür.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

C20 hazır betonu dökülerek hazırlanan 200x200x15 cm boyutlarındaki beton blokları üzerinde ve bloklardan alınan karot örnekler üzerinde 2,5, 5 ve 7,5 cm derinliklerde iki farklı ölçüm tekniği ile gerçekleştirilen yoğunluk ölçüm verileri üzerinde gerçekleştirilen değerlendirmeler sonucunda;

- ✓ Vakum uygulamasının beton birim ağırlığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu,
- ✓ Vakum uygulanmış betonların yoğunluk değerlerinin bütün derinliklerde vakum uygulanmamış referans betona göre daha büyük değerlere sahip olduğu,
- ✓ Tam vakum uygulanmış betonun her iki ölçüm tekniğinde de bütün derinliklerde en yüksek yoğunluk değerlerine sahip olduğu,
- ✓ Referans betonunda bütün derinliklerde en küçük yoğunluk değerine sahip olduğu,
- ✓ Her iki ölçüm tekniğinde de yoğunluk değerleri bakımından benzer sonuçlar olduğu,
- ✓ Radyoaktif yöntemle gerçekleştirilen yoğunluk ölçümlerinin, laboratuvar ortamında gerçekleştirilen yoğunluk ölçümlerine göre küçük sapmalar gösterdiği,
- ✓ Radyoaktif yöntemle gerçekleştirilen ölçümlerin yoğunluk değerlerini %1'lik bir hata ile tahmin ettiği

görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1]. Akça, A., 1991, Beton mukavemetinin belirlenmesinde kullanılan karotların mukavemetine etki eden faktörlerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Tek. Üni., Fen Bil. Enst., Trabzon.
- [2]. Yüksel, İ., 1995, Bileşik yığıntısız beton deneyleri ile beton mukavemetinin belirlenmesi ve betonarme bir yapıda uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Tek. Üni., Fen Bil. Enst., İstanbul.
- [3]. Yavuz, E., 1995, Betondaki boyut etkisinin bileşimle ilgisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Tek. Üni., Fen Bil. Enst., İstanbul.
- [4]. Whiting, D., Seegebrecht, G.W., and Tayabji, S., 1987, Effect of degree of consolidation on some important properties of concrete, Consolidation of Concrete, ACI SP-96, Gebler, S.H., American Concrete Institute, Detroit, MI.
- [5]. Erdoğan, T.Y., Özer, Ö., 1996, An evaluation of different test methods to determine concrete compressive strength, Fourth International Conference on Concrete Technology in Developing Countries, Gazimağusa, Turkish Republic of Northern Cyprus.
- [6]. Malhotra V.M., Carino, N.J., 2004, Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, CRC Pres, Second Edition Chapt. 12, London.
- [7]. Thin Layer Density Gauge, 2003, Manual of Operation and Instruction, Troxler Electronics Laboratories Inc.
- [8]. Tayabji, S.D., Whiting, D., 1988, Field evaluation of concrete pavement consolidation, Transp.Res.Rec.1110, 90.
- [9]. TS 12390-7, 2000, Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [10]. ASTM C1040-93, 200, Standard Test Methods for Density of Unhardened and Hardened Concrete In Place By Nuclear Methods, American Standards.