

BETON YOL KAPLAMALARINDA VAKUM UYGULAMASI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Metin ARSLAN¹, Gökhan DURMUŞ^{1*}, Serkan SUBAŞI², Ömer CAN¹, Kürşat YILDIZ¹

¹Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Yapı Eğitimi Bölümü, Ankara, Türkiye

²Düzce Üniversitesi Teknik Eğitim Yapı Eğitimi Bölümü, Düzce, Türkiye

Özet

Bu çalışmada asfalt yol kaplamalarında alternatif olarak kullanılan betonlara vakum uygulaması gerçekleştirilerek betonların mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması hedeflenmiştir. Çalışmada 100×200×20 cm³ ölçüsünde normal ve vakumlu olmak üzere iki tip beton blok hazırlanmıştır. Beton bloklar üzerine, aşınma ve yüzey sertliği testleri yapılmıştır. Ayrıca bloklardan alınan karot örnekler üzerinde su emme miktarı, beton yoğunluğu, görünür boşluk oranı ve basınç dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçta vakumlu betonun, rijit yol üst yapılarında etkin bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Beton yol, vakumlu beton, tahribatlı ve tahribatsız deneyler

THE APPLICATION OF VACUUM-PROCESSED COATINGS CONCRETE ROAD: IN A STUDY

Abstract

In this study, it is aimed to investigate the mechanical and physical properties of concretes, which are used as an alternative to asphalt path coatings, by applying vacuum. Two types of concrete blocks were prepared as normal and vacuum blocks with the dimensions of 100×200×20 cm³. Abrasion and surface hardness tests were performed on concrete blocks. Additionally, absorption of water, concrete density, the apparent void ratio and compressive strength tests were carried out on core samples taken from concrete blocks. Consequently, it is concluded that vacuum-processed concrete could be efficiently used in rigid upper structures.

Key words: Concrete road, vacuum-processed concrete, destructive and nondestructive tests

* E.posta: gdurmus@gazi.edu.tr

1.Giriş

Ülkelerin ulaşım ağının yeterli düzeyde ve standartta olması gelişmişliğinin bir göstergesi olarak görülmektedir. Ülkemizde ağır taşıt trafiği her geçen gün daha da artmakta ve bu durum yol üst yapısında önemli problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı karayolu yatırımının proje ve inşaat safhalarında en uygun çözümlerin üretilmesi gerekmektedir. Bu çözümler şöyle sıralanabilir; ekonomi, uzun kullanım ömrü, düşük bakım-onarım harcamaları, yapım ve onarım süresinin kısa olması, çevre ile uyum, atık maddelerinin kullanılabilirliği ve kalite kontrol işlemlerine uygun olma gibi özellikleri barındırmalıdır.

Karayolu üst yapıları genel olarak; esnek üst yapılar (asfalt yollar) ve rijit üst yapılar (beton yollar) olmak üzere iki grupta değerlendirilmektedir [1]. Asfalt yollar ülkemizde uzun yıllardan beri uygulanan bir kaplama türüdür. Beton yollar ise gelişmiş ülkelerde geniş bir kullanım alanına sahip olmasına karşın Türkiye’de henüz deneme safhasındadır. Bakım giderleri çok az olan ve daha uzun süre hizmet veren beton yollar, günümüzde asfalt yollara oranla daha ekonomik bir çözüm getirmektedir [2, 3]. Ayrıca rijit bir yol üst yapısı olan beton yolun birçok bakımdan asfalt yollara göre daha iyi performansa sahip olduğu bilinmektedir [4]. Beton yol yapımında kullanılacak olan betonun tasarımı, standartlara uygun olarak yapılsa bile beton üretimi çevre koşullarına ve uygulamaya göre değişebilmektedir. Uygulamadaki bu farklılıklar, gelişen teknoloji ile en aza indirmelidir [5].

Beton yüzey parametrelerinin geliştirilmesi için Chalmers Üniversitesinde yapılan çalışmada, vakum uygulanmış beton yüzeyini disk veya bıçakla perdahlanma işlemi gerçekleştirilmiş ve aşınma dayanımının 3.5 kat arttığı belirlenmiştir. Ayrıca vakumlu beton, uygulandığı mekanlarda normal betonun asgari mekanik özellikleri üzerinde % 50’ye varan artışlar sağlamaktadır [6]. Bir başka önemli sonuç ise, betonun vakumlanması sonucunda beton daha iyi sıkışarak betonun üst tabakasında oluşabilecek kılcal çatlaklar en aza inmekte ve buna bağlı olarak donma çözülme etkisindeki betonun vakumsuz betona göre 23 kat daha dayanıklı olmaktadır [7].

Vakumlu beton üzerine yapılan başka bir çalışmada, tahribatsız test metotları kullanılarak beton basınç dayanımı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla windsor probe penetrasyon testi, beton test çekici ile yüzey sertliği ve ultrases geçiş hızı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, basınç dayanımına windsor probe penetrasyon testi % 2.5, schmidt çekici % 5.4, bileşik metot ise % 3.5 yaklaşık sonuç vermiştir [8].

Beton yol kaplamasından beklenen konfor ve kullanım ömrünün daha da geliştirilmesi için sertleşmiş betonun yüzeyinden beklenen performansın artırılması gerekmektedir. Çalışmada, beton bloklar üzerine vakum uygulaması yapılmış betonlarla vakum uygulaması yapılmamış betonların fiziksel ve mekanik özellikleri karşılaştırılarak beton yol kaplamalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2. Malzeme Ve Metot

2.1. Malzemeler

Araştırmada hazır beton tesisinden temin edilen C30 sınıfı hazır beton kullanılmıştır. Kullanılan betonun 1m³ karışımında kullanılan malzeme miktarları ve fiziksel özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir. Ayrıca kullanılan çimentonun kimyasal içeriği Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan betona ait malzeme miktarları, (1m³)

Malzeme Bilgileri					
Malzeme adı	Tip	Yoğunluk (g/cm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (m ³)	Agrega oranı (%)
Agrega	0-4	2.6	920	0.354	48.7
	4-16	2.71	400	0.148	21.2
	16-22	2.74	570	0.208	30.2
Toplam agrega (Kg)			1890	0.71	100
Çimento	PÇ 42.5	3.09	340	0.078	Teorik Birim Ağırlık
Mineral katkı	Uçucu kül (UK)	2.15	50	0.023	
Kimyasal katkı, (%)	Wrda 90 (Süper akışkan.)	1.18	% 0.50	0.001	2.355
Su	Kuyu	1	173	0.173	
Toplam malzeme (kg)		2.355	1	1	

Çizelge 2. CEM I çimentosuna ait fiziksel ve kimyasal özellikler

Kimyasal kompozisyon	%, içerik	Fiziksel özellikler	
SiO ₂	20.32	Priz başlangıcı, dk	118
Al ₂ O ₃	5.59	Priz sonu, dk	177
Fe ₂ O ₃	3.09	Hacim sabitliği, mm	1
CaO	62.50	Özgül yüzey, cm ² /g	3642
MgO	1.74		
SO ₃	3.29	Mekanik özellikler	
Na ₂ O	0.34	Basınç dayanımı (MPa)	
K ₂ O	0.91	2. gün	27
Kızdırma kaybı,%	2.73	7. gün	38.5
Çözünmeyen kalıntı,%	0.61	28. gün	48
Serbest CaO,%	0.93		

2.2. Metot

2.2.1. Beton karışımlarının hazırlanması

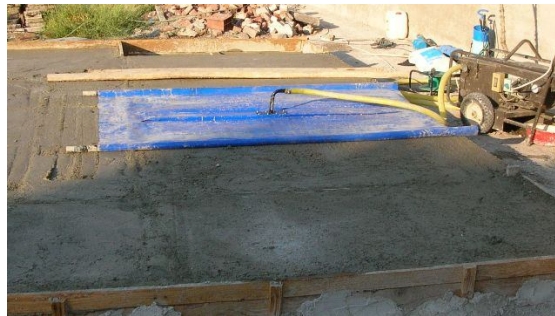
Hazırlanan kontrol, vakumlu betonlar TS 802 ‘Beton Karışım Hesap Esasları’ [10] standardında belirtilen kurallara uygun olarak üretilmiş hazır beton 100x200 cm boyutunda 20 cm kalınlığında yerleştirilmiştir (Şekil 1). Taze betonda D_{maks} ; 22, s/ç oranı; 0.5 verilmiştir. Hava içeriği % 1.2 ve çökme miktarı; 14.2 mm olarak bulunmuştur.



Şekil 1. Betonun kalıba yerleştirilmesi

2.2.2. Vakum uygulanması ve kürü

Vakum uygulama esnasında zeminden kaynaklanan çatlakların önlenmesi için, kalıp tabanına polietilen örtü serilmiştir. Beton tesisinden getirilen beton kalıplara yerleştirilmiş ve dalgıç vibratör ile sıkıştırılmıştır. Daha sonra beton yüzeyine vakum örtüsü serilmiş kalıplara 40 dakika vakum uygulaması gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Vakum işlemi bittikten sonra, vakum örtüsü kaldırılıp beton yüzeyi master yardımıyla perdahlanmıştır.



Şekil 2. Vakum işleminin gerçekleştirilmesi

2.2.2. Deney örneklerinin hazırlanması

Deneysel çalışmalar, beton bloklar üzerindeki deneyler ve beton bloklardan alınan 10 cm çapında 20 cm yüksekliğinde karot örnekler üzerinde gerçekleştirilen deneyler olmak üzere iki şekilde planlanmıştır. Bütün deneysel çalışmalar 7 ve 28. günlerde test yapılmıştır.

Üretimi yapılan beton blokları üzerinde;

- Schmidt çekici ile yüzey sertliği tayini (ASTM C805-97) [11], deneyi, beton bloklardan elde edilen karot örnekler üzerinde ise;
 - Kapiler su emme miktarı tayini, (TS 4045) [12],
 - Beton yoğunluğu deneyi, (TS EN 12390-7) [13],
 - Görünür boşluk oranı tayini (TS 3624) [14],
 - Aşınma tayini (ASTM C944-99) [15],
 - Basınç dayanımı tayini, (TS EN 12390-3) [16],
- deneyleri belirtilen standartlar çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular Ve Tartışma

3.1. Beton Bloklar Üzerinde Gerçekleştirilen Deney

3.1.1. Schmidt çekici ile yüzey sertliği tayini

Yüzey sertliği tayini için schmidt çekici kullanılmıştır. Schmidt çekici ile beton türleri arasındaki 7 ve 28. günde ile okunan geri tepme katsayıları elde edilmiştir. Geri tepme katsayılarına (GTS) ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 3'te verilmiştir. Ayrıca GTS'lere ait grafik Şekil 3'te verilmiştir. Elde edilen veriler üzerinde zamana bağlı olarak GTS değerlerindeki değişimin önemli olup olmadığını kontrol etmek amacıyla, günler arasında tekrarlanan varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi sonucuna göre gruplar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür ($\alpha \leq 0.05$) (Çizelge 4). Diğer bir ifadeyle beton yüzey sertliğinin zamana bağlı olarak değiştiği ve bu değişimin önemli olduğu görülmüştür.

Çizelge 3. Geri tepme sayılarına ait açıklayıcı istatistikler

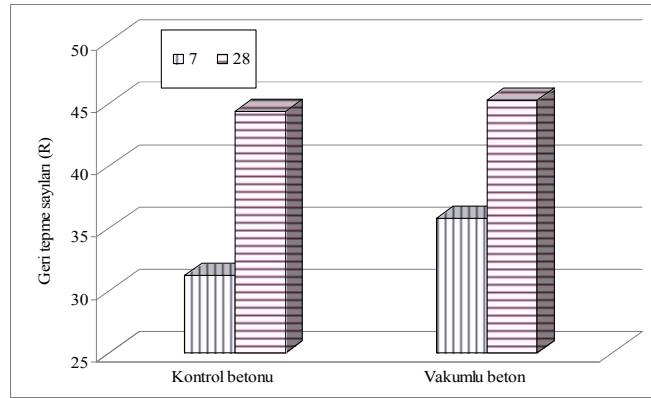
Beton türü	Gün	N	Ort. geri tepme sayısı, (R)	Standart hata	En küçük	En büyük	Kontrol betona göre değişim, %
Kontrol	7	50	31.2	0.522	24	38	---
	28	50	44.5	0.350	40	49	---
Vakum	7	50	35.8	0.318	28	41	14.7
	28	50	45.3	0.465	34	50	2

N:beton bloklar üzerindeki Schmidt çekici vuruş sayısı

Çizelge 4. GTS'nin varyans çözümleme tablosu

Beton türü	Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler Ort.	F	Anlamlılık düzeyi (α)
Kontrol	Gruplar içi	4881.9	2	4881.9	495.3	0.000
	Gruplar arası	956.1	147	9.9		
	Toplam	8069.4	149			
Vakum	Gruplar içi	1825.1	2	1825.1	234.3	0.000
	Gruplar arası	755.6	147	7.8		
	Toplam	3411.5	149			

Gerçekleştirilen Duncan testi sonuçlarına göre GTS bakımından, 7 ve 28. gündeki değerlerin birbirlerinden farklı olduğu, en yüksek değeri 28 günlük vakumlu betonun verdiği bulunmuştur.



Şekil 3. Ortalama geri tepme sayıları

Şekil 3'te vakumlu betonun yüzey sertliği verileri kontrol beton ile karşılaştırıldığında, 7. günde beton blokların % 14,7, 28. günde ise % 2 daha iyi sonuç verdiği bulunmuştur.

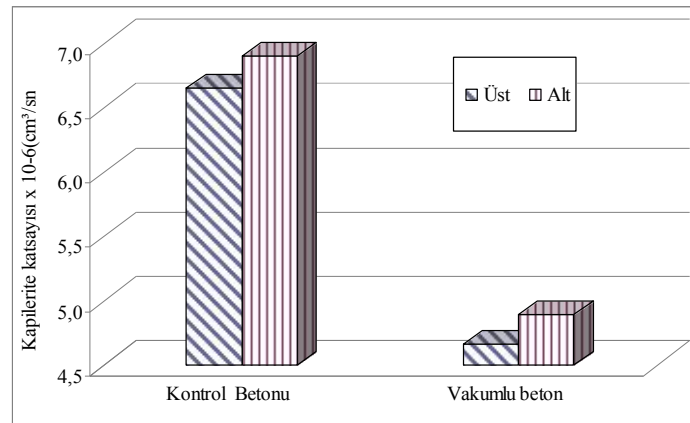
3.2. Karot Örnekleri Üzerinde Yapılan Deneyler

3.2.1. Kapiler su emme tayini

Vakumun etkinliğini belirlemek amacıyla kapiler su emme deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney için beton bloklardan alınan karot örnekleri ortalarından üst ve alt bölge olmak üzere ikiye bölünmüştür. Her iki bölgede de varyans analizi uygulanmıştır. Bölgelerde elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 5'te verilmiştir. Ayrıca kapiler su emme deneyinden elde edilen kapilerite katsayısına ait grafik Şekil 4'te verilmiştir. Elde edilen veriler üzerinde beton türü ve karot bölgelerine bağlı olarak kapilerite katsayısının önemli olup olmadığını kontrol etmek amacıyla varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi sonucuna göre gruplar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür ($\alpha \leq 0.05$) (Çizelge 6). Diğer bir ifadeyle beton yüzey sertliğinin zamana bağlı olarak değiştiği ve bu değişimin önemli olduğu görülmüştür.

Çizelge 5. Kapilerite katsayısına ait açıklayıcı istatistikler

Beton türü	Karot bölgesi	Kapilerite katsayısı x 10 ⁻⁶ (cm ³ /sn)	Standart Sapma	Standart hata	Kontrol beton göre değişim, %
Kontrol	Üst	6.652	1.586	0.916	----
Kontrol	Alt	6.905	0.876	0.506	----
Vakum	Üst	4.663	0.288	0.167	-43
Vakum	Alt	4.895	0.764	0.441	-41

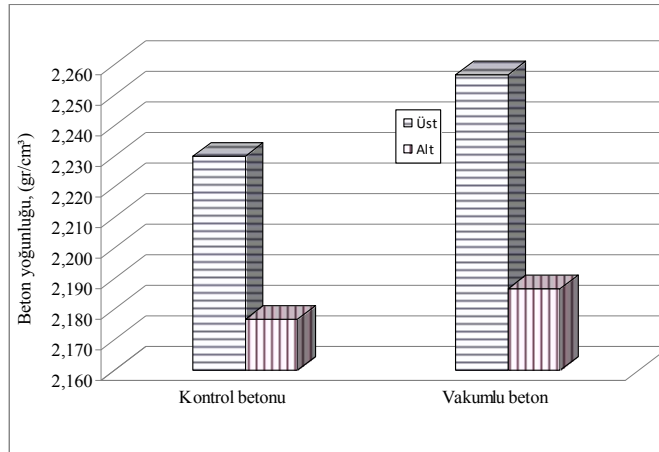


Şekil 4. İkiye bölünmüş karotların kapilerite katsayıları

Şekil 4'te görüldüğü gibi kapilerite katsayısı vakumlu betonun her iki bölgesinde kontrol betona göre daha düşük gerçekleşmiştir. Ayrıca vakumlu betonun üst ve alt örnekleri kontrol betona göre sırasıyla % 43 ve % 41 düşük çıkmıştır. Bunun nedeni vakum uygulanmış betonun içerisindeki karışım suyu vakum yoluyla alındığından vakumlu betondaki kılcal boşlukların azalmasıdır.

3.2.2. Beton yoğunluğunun tayini

Vakumun hangi derinliklerde daha etkin olduğu araştırmak için beton yoğunluğu, görünür boşluk oranı ve aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Beton yoğunluğu deneyinde, beton türleri arasında $\alpha < 0.05$ anlamlılık düzeyinde fark bulunamamıştır. Diğer bir deyişle kontrol betonu ile vakumlu beton arasında istatistiksel olarak anlamlı fark oluşmamıştır. Vakumlu beton ile kontrol betonunun beton yoğunluğuna ait deney sonuçları Şekil 5'te gösterilmiştir.

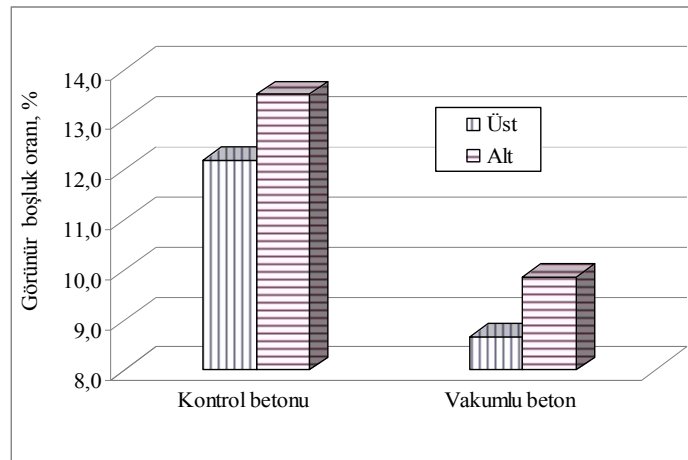


Şekil 5. Üst ve alt bölgelere ait beton yoğunluğu

Şekil 5'te incelendiğinde üst ve alt beton yoğunluğunun farklı olduğu görülmektedir. Vakumlu betonun üst bölgesinin kontrol betonuna göre beton yoğunluğunun daha yüksek değerde olması vakumun üstten daha etkili olduğu anlamına gelmektedir.

3.2.3. Görünür boşluk oranı tayini

Karotlar üzerinde ikinci olarak görünür boşluk oranı deneyi gerçekleştirilmiştir. Görünür boşluk oranında beton tür faktörüne göre vakum ve kontrol betonlar olarak incelenmiş ve sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir.



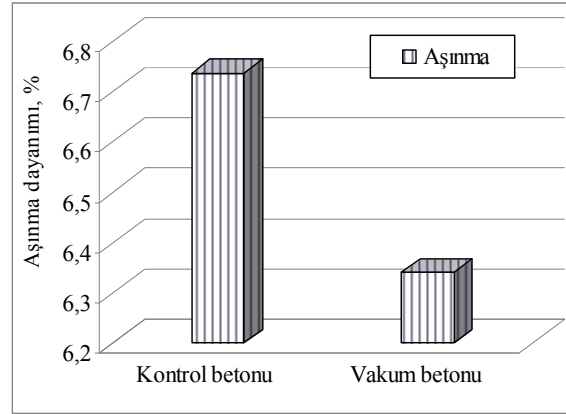
Şekil 6. Görünür boşluk oranının yüzdelik değerleri

Şekil 6'da görüldüğü gibi kontrol ve vakumlu beton türleri arasında istatistiksel olarak $\alpha < 0.05$ düzeyinde anlamlı fark olduğu bulunmuştur. Diğer bir deyişle vakumlu betonun kontrol betona göre daha az boşluklu olarak

değerlendirilebilir. Bu sonuç beton yoğunluğu ve kapilerite katsayı değerleriyle paralellik göstermektedir. Ayrıca vakumlu betonun üst bölgedeki görünür boşluk oranı kontrol betona göre % 29, alt bölgedekine göre % 27 daha düşük değer elde edilmiştir.

3.2.4. Aşınma dayanımı tayini deneyi

Aşınma dayanımı deneyinde kontrol ve vakumlu beton numuneleri ait sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Aşınma dayanımı verileri

Gerçekleştirilen karşılaştırma testi sonuçlarına göre kontrol ve vakumlu betonların aşınma dayanım değerlerinin istatistiksel olarak farklı olduğu görülmüştür. Beton türleri arasındaki vakumlu beton, kontrol betona göre aşınma dayanımının yaklaşık % 6 kadar daha iyi olduğu bulunmuştur. Literatürdeki bilgilerden daha düşük gerçekleşmesinin nedeni ise karışım oranları ve beton karışıma giren malzemelerin farklılığından kaynaklanmaktadır.

3.2.5. Basınç dayanımı tayini

Beton basınç dayanımı deneyi sonuçları zaman faktörünün iki seviyesinde (7.ve 28. gün) gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. Beton basınç dayanımına verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Beton türü	Gün	N	Ortalama (MPa)	Std. Hata	En küçük	En büyük	Kontrol beton göre değişim, %
Kontrol	7	6	17.13	0.69	15.2	18.6	----
	28	6	31.17	0.55	18.9	20.7	----
Vakum	7	6	20.08	0.71	29.4	33.7	17.2
	28	6	35.05	0.43	31.8	35.3	12.4

Çizelge 7'de beton türlerine göre basınç dayanım değerleri üzerinde ayrı ayrı etkisini olduğu ve bu etkilerin istatistik olarak önemli olduğu görülmektedir. Zaman faktörünü seviyeleri arasındaki farkları belirlemek için çoklu karşılaştırma tekniklerinden Duncan testi kullanılmıştır (Çizelge 8). Ayrıca beton basınç dayanımlarına ilişkin grafik Şekil 7'de verilmiştir.

Çizelge 8. Beton basınç dayanımı verilerine ait varyans çözümleme tablosu

Beton türü	Varyans kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler Ortalama	F	Anlamlılık düzeyi
Kontrol	Gruplar içi	592.1	1	592.07	252.8	0.000
	Gruplar arası	23.5	10	2.35		
	Toplam	615.5	11			
Vakum	Gruplar içi	672.8	1	672.75	324.3	0.000
	Gruplar arası	20.7	10	2.07		
	Toplam	693.5	11			

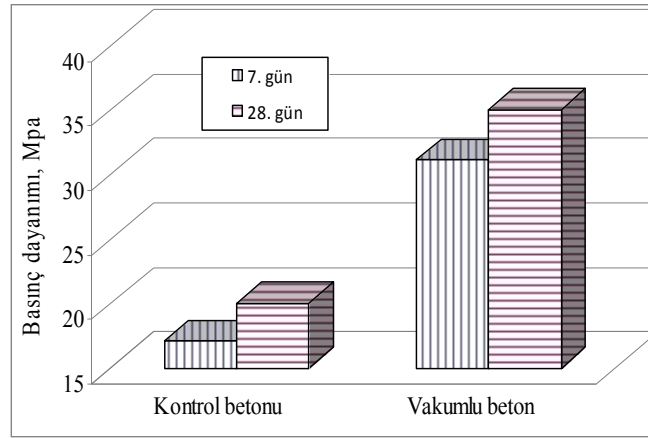
Çizelge 9. Beton basınç dayanımı verilerine ait Duncan testi sonuçları

Beton Kodu	Gün	Farklı olan gruplar			
		1	2	3	4
Kontrol	7	S*			
Vakum	7		S*		
Kontrol	28			S*	
Vakum	28				S*

S*: $\alpha < 0,05$ anlamlılık düzeyindeki farklılıklar

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre beton basınç dayanım değerleri bakımından;

- Gün faktörleri açısından 7. ve 28. günler arasında istatistiksel olarak fark olduğu,
- Kontrol beton ile vakumlu beton arasında fark olduğu görülmüştür.



Şekil 7. Basınç dayanımına ait ortalama verilerin grafiği

Şekil 7'de görüldüğü gibi vakumlu betonların kontrol betona göre 7. günde % 12, 28. günde % 17 daha iyi sonuç verdiği bulunmuştur.

4. Sonuç

Esnek yol üst yapılarına alternatif olarak düşünülen rijit üst yapılarda kullanılacak olan beton türü bu bağlamda çok büyük önem arz etmektedir. Rijit yol üst yapılarında kullanılabilirliği belirlemek için iki farklı beton türü üzerinde dayanım ve dayanıklılığa yönelik deneyler yapılmıştır. Yol üst yapısı için tasarlanan vakum uygulanmış beton, yüzey setliği açısından % 10 daha yüksek sonuç vermiştir.

Suyun yapı malzemelerinin içerisine nüfuzu çoğu zaman istenmeyen bir durumdur. Rijit yol üst yapısı malzemesi olan betonda da suyun nüfuzu bizim için önem arz eden bir kısıttır. Tasarlanan alternatif betonlar içerisinde, yol yüzeyi ve zeminle teması düşünülerek, üst ve alt kısım olarak ikiye ayrılan karot numunelerinde kapiler su emme miktarı ortalama % 42, görünür boşluk oranı ortalama % 28 ve aşınma dayanımı değerleri ise kontrol betona göre % 6 daha düşük gerçekleşmiştir. Bu da yolun maruz kalacağı donma çözülme döngüsünden daha az etkileneceğine işaret eder.

Vakumlu beton uygulaması üzerinde gerçekleştirilen dayanım ve dayanıklılık testleri, esnek yol üst yapılarına alternatif olarak düşünülen rijit yol (beton yol) üst yapılarında etkin bir şekilde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada 07/2004–32 kodlu Beton Yol Kaplamalarında Alternatif Beton ve Yapım Yöntemi Araştırmaları konulu çalışmayı destekleyen Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Müdürlüğüne ve Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi tanıtım yayın personeline teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

- [1]Ağar, E., Öztaş, G., Süttaş, İ., “Beton Yollar”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları*, İstanbul, 1998.
- [2]Uçar, S., “Yol Üstyapıları Yapım Maliyetleri Araştırması”, *Ulusal Beton Yollar Kongresi*, Ankara, 55-68, (2002).
- [3] İlhalı, M., “Uygun Karayolu Üstyapı Tipi Seçiminin Önemi”, *Hazır Beton Dergisi*, 9 (51), 2002.
- [4]Taşdemir, Y., Ağar, E., “Silindir İle Sıkıştırılabilen Beton Yollar”, *Hazır Beton Dergisi*, 9(51), 2002.
- [5]Ergün, M., Öztaş, G., “Surface Characteristic Of Cement Concrete Roads And Effects” , http://www.asbeton.com/pdf/beton_yollar.pdf
- [6]Beton Teknik A.Ş., “Vakumlu beton tanıtım kitapçığı”, Ankara, 2000.
- [7]Çetmeli, E. “Vacuum Processed Concrete”, *Proceedings of the First International Conference on Concrete Technology for Developing Countries*, Yarmulke University, Irbid, Ürdün, 1985.
- [8]Erdal M., Şimşek O., “Bazı Tahribatsız Deneysel Metodlarının Vakum Uygulanmış Betonların Basınç Dayanımlarının Belirlenmesindeki Performanslarının İncelenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt 21, No 1, 65-73, 2006.
- [9]Şimşek O., “Vakumlu Betonun Basınç Dayanımı Üzerine Bir Araştırma”, *Gazi Üniversitesi Bilimsel araştırma projeleri*, Proje Kod No: 07/2001-12, 2004.
- [10]TS 802, “Beton Karışım Hesap Esasları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2000.
- [11]ASTM C805-97, “Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete”, *American Society For Testing And Materials*, USA, 1997.
- [12]TS 4045, “Yapı Malzemelerinde Kapiler Su Emme Tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1984.
- [13]TS 12390-7, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneysel Metodları-Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2002.
- [14]TS 3624, “Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1981.
- [15]ASTM C944-99, “Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method”, *American Society For Testing And Materials*, USA, 1999.
- [16]TS EN 12390-6, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneysel Metodları-Deneysel Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2002.