



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Taze betona vakum uygulamasının beton derinliğine etkisinin araştırılması

Investigation of the effect of vacuum application in fresh concrete on concrete depth

Yazar(lar) (Author(s)): Osman ŞİMŞEK¹, Kenan TOKLU², Can DEMİREL³

ORCID¹: 0000-0003-3842-5541

ORCID²: 0000-0003-1288-845X

ORCID³: 0000-0003-0417-8327

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Şimşek O., Toklu K. ve Demirel C., “Taze betona vakum uygulamasının beton derinliğine etkisinin araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 25(2): 647-654, (2022).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.834853

Taze Betona Vakum Uygulamasının Beton Derinliğine Etkisinin Araştırılması

Investigation of the Effect of Vacuum Application in Fresh Concrete on Concrete Depth

Önemli noktalar (Highlights)

❖ Taze betona vakum uygulaması S/C oranına, basınca, aşınmaya ve kapiler su emmeye olumlu etki etmektedir (Vacuum application to fresh concrete positively affects S/C ratio, compressive, abrasion and capillary water absorption).

❖ Vakum uygulama süresinin beton özelliklerine ve beton derinliği üzerine önemli etkisi var (Vacuum application time has a significant impact on concrete properties and concrete depth).

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Vakumlama süresi farklı olan beton bloklardan alınan karot örneklerinin basınç, aşınma ve kapiler su emme özellikleri araştırılmıştır (Compressive, abrasion and capillary water absorption properties of core samples taken from concrete blocks with different vacuuming times were investigated)

	A Blok (Block)			B Blok (Block)			C Blok (Block)		
Karışım suyu/ Mixing water (kg/m ³)	190			161.7			145.6		
S/C oranı/ W / C ratio	0.54			0.38			0.34		
Vakum süresi/ Vacuum time (dak)	-			18			35		
Geri çekilen su/dewatering (lt/m ³)	-			28.3			44.4		
Basınç dayanımı/ Compressive strength (7,5x15cm)(MPa)	32.00			37.67			41.33		
Basınç dayanım/ Compressive strength (7,5x5cm)(MPa)	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃
	36.54	39.08	42.71	52.56	49.29	46.59	57.32	53.59	49.89
Aşınma kaybı/ Abrosion loss (%)	0.100	0.083	0.050	0.060	0.076	0.080	0.047	0.068	0.076
Kapiler su emme miktarı/ Capillary water absorption (g/m ²)	12.6	11.0	10.2	7.2	8.2	8.9	6.4	6.9	7.5

Çizelge. Vakumlu betonun teknik özellikleri / **Chart.** Technical characteristics of vacuum concrete

Amaç (Aim)

Farklı süre vakum uygulanmış beton bloklardan alınan karot örnekleri üzerinde vakumlamanın beton derinliğine etkisi araştırılmıştır/The effect of vacuuming time on concrete depth was investigated on the core samples taken from concrete blocks with vacuum applied for different durations.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Vakumlu betonun basınç dayanımı TS EN 12390, aşınma kaybı ASTM C944-19 ve kapiler su emme hızı TS EN 772-11 standartlarına göre belirlenmiştir/The compressive strength of vacuum concrete is determined according to TS EN 12390, abrasion loss ASTM C944-19 and capillary water absorption rate TS EN 772-11.

Özgünlük (Originality)

Taze betona vakumlamanın betonun farklı derinliklerindeki özelliklerine etkisi incelenmesi./ Investigation of the effect of vacuuming on fresh concrete on the properties of concrete at different depths

Bulgular (Findings)

Şahit betona göre vakum uygulanmış betonun fiziksel ve mekanik özellikleri vakum uygulama süresine paralel olarak büyük avantaj sağlamaktadır./ Compared to the witness concrete, the physical and mechanical properties of vacuum applied concrete provide a great advantage in parallel with the vacuum application time.

Sonuç (Conclusion)

Vakumlama işleminin betonun özelliklerine olumlu etkisi vardır. Şahit betonun en alt kısmı (P₃), en üst kısmına (P₁) göre daha iyi özellik göstermiştir. Vakum uygulanan betonların özellikleri (P₁) en üst kısmı, (P₃) en alt kısmından daha üstündür / Vacuuming process has a positive effect on the properties of concrete. The lowest part (P₃) of the witness concrete showed better properties than the top part (P₁). The properties of vacuum applied concrete (P₁) are superior to the top part, (P₃) the bottom part.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Taze Betona Vakum Uygulamasının Beton Derinliğine Etkisinin Araştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Osman ŞİMŞEK^{1*}, Kenan TOKLU², Can DEMİREL³

¹Teknoloji Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

²Çorlu Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Türkiye

³Pınarhisar Meslek Yüksek Okulu, İnşaat Bölümü, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 02.12.2020 ; Kabul/Accepted : 17.12.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 05.01.2021)

ÖZ

Bu çalışmada, bir saha betonuna taze halde iken farklı sürelerde vakum ile beton karışım suyunun geri çekilme işlemi uygulanmıştır. Taze betona vakum uygulama işlemiyle, beton içerisindeki karışım suyunun bir kısmı ve ayrıca hapsolmuş hava da kontrollü olarak alınmıştır. 15 cm kalınlığında olacak şekilde üretilen beton bloklar 3 gruba ayrılmıştır. Bunlardan vakum uygulanmayan beton blok "A" (şahit), 17 dakika vakum uygulanmış beton blok "B", 35 dakika vakum uygulanmış beton blok da "C" olarak gruplandırılmıştır. Ankara'da 66 ay açık hava şartlarına maruz kalan vakumlu beton bloklardan 75mm çapında ve 150 mm yüksekliğinde karot numuneleri alınmıştır. Beton derinliğine bağlı olarak vakum etkisinin betonun özelliklerindeki değişimlerini gözlemleyebilmek amacı ile alınan karot numuneleri 50 mm yükseklikte olacak şekilde alt, orta ve üst olmak üzere 3 eşit parçaya bölünmüştür. Bu numuneler üzerinde yapılacak deneysel çalışmalarla vakumlama süresinin betonun farklı derinliğindeki basınç dayanımı, aşınma direnci ve kapiler su emme etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, şahit betonunun üst yüzeyinden uzaklaştıkça şahit betonun basınç dayanımı ve aşınma direncinin arttığı, kapiler su emme miktarının azaldığı ve kapilerite katsayısının küçüldüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca, vakum uygulanan yüzeyden uzaklaştıkça betonun basınç dayanımının ve aşınma direncinin azaldığı, kapiler su emme miktarının arttığı ve kapilerite katsayısının da büyüdüğü gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Vakum uygulaması, aşınma direnci, kapilerite katsayısı.

Investigation of the Effect of Vacuum Application in Fresh Concrete on Concrete Depth

ABSTRACT

In this study, the process of withdrawing the concrete mixture water by vacuum was applied to a field concrete at different times while it was fresh. By applying vacuum to fresh concrete, some of the mixing water in the concrete and also the trapped air was removed in a controlled manner. In the concrete blocks produced to be 15 cm thick, the names A or reference, B and C were respectively given to concrete block without vacuum, 17 minutes vacuum applied concrete block, 35 minutes vacuum applied concrete block. Core samples of 75mm diameter and 150mm length were taken from the vacuum concrete blocks, which were exposed to outdoor conditions for 66 months in Ankara. In addition, three samples, 75 mm in diameter and 50 mm in length, were prepared from each of the cores taken, as lower, middle and upper. Thus, the compressive strength, abrasion resistance and capillary water absorption effect of vacuuming time at different depths of concrete were investigated. As a result of the study, it was observed that the compressive strength and abrasion resistance of the reference concrete increased, the amount of capillary water absorption decreased and the capillary coefficient decreased as it moved away from the upper surface of the reference concrete. It was also observed that as the vacuum moved away from the vacuum applied surface, the compressive strength and abrasion resistance of the concrete decrease, the amount of capillary water absorption increases and the capillary coefficient increases.

Keywords: Vacuum application, compressive strength, abrasion resistance, capilerity coefficient.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Beton, dünyada olduğu gibi Türkiye'de de en çok kullanılan yapı malzemesidir. Beton, genel olarak çimento, iri agrega/ince agrega, su ve bazı durumlarda katkı maddeleri ilave edilerek başlangıçta plastik kıvamda ve daha sonra sertleşen, heterojen, gözenekli kompozit bir yapı malzemesidir [1,2]. Betonun en önemli avantajlarından birisi basınç dayanımının yüksek olmasıdır. Betonun basınç dayanımının yüksek olması, betonun birçok özelliğinde olduğu gibi betonun

dayanıklılığını da pozitif anlamda iyileştirmektedir [3,4]. Taze haldeki betonun mümkün olduğunca sıkı bir şekilde ve homojen olarak kalıba yerleştirilmesi, betonun dayanımını ve kalitesini arttıran en önemli sebeplerdendir [4]. Beton üretiminde en önemli faktör su/çimento miktarına bağlı olarak karışım su miktarının ayarlanmasıdır. Çimentonun kimyasal reaksiyonu (hidratasyon) için gerekli olan en az su miktarının çimento ağırlığının %14-20'si arasında olması gerekmektedir. Hidratasyon suyuna çimento taneleri arasında kalacak jel suyunun da eklendiği düşünüldüğünde bu su miktarı, yaklaşık çimento ağırlığının %25-30'a kadar çıkmaktadır. Betonda

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : simsek@gazi.edu.tr

işlenebilmenin su ile sağlanması gerekiyor ise bu su oranı çimento ağırlığının %50- %55 civarına kadar çıkmaktadır. Çimento ile bağlanamayan su yani serbet kalan fazla suyun doğal olarak beton yüzeyine veya beton dışına çıkmaya yönelmesi beton içinde kılcal boşluklar oluşturur [1,5]. Beton bünyesinde dışa açık kılcal boşlukların betonun mekanik, kimyasal ve durabilite özellikleri üzerinde etkisi oldukça büyüktür. Ayrıca, beton bünyesindeki kılcal boşluklar, zararlı ortamlarda zararlı maddelerin betonların içine nüfuz etmesini sağlayarak betonun kalitesini düşürürler [4,5]. Bu olumsuzluklar engellemek için uygun olan taze beton yüzeyine vakum uygulaması yapılarak serbest su ve hapsolmuş hava alınabilir. Bu serbet kalan su, vakumla belirli derinliklere kadar alınarak betonun su/çimento (s/ç) oranı, mekanik ve durabilite özelliklerini

iyileştirilebilmektedir. Literatürde, beton kalınlığına bağlı olarak taze betona vakum uygulandığında serbest suyun % 10 - % 20' si alınabileceği belirtilmiştir [6-9].

Hatanaka ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, taze betonun yerleştirilmesinden sonraki süreçte fazla suyun vakumla kontrollü bir şekilde geri alınmasıyla katı beton bileşenlerinin değiştirmeksizin sadece su-çimento oranını değiştirerek betonun mekanik ve durabilitesini büyük ölçüde iyileştirdiğini belirtmişlerdir [10,11]. Bolat (2002) çalışmasında C20 beton sınıfı hazır beton kullanılmış ve bu betona vakum uygulamasıdır. Bu betona vakum uygulaması sonunda geri çekilen su miktarı Çizelge 1' de verilmiştir [4].

Çizelge 1. Beton bileşenlerinin vakum uygulaması sonrası değişen miktarları ve oranları(Changing quantities and ratios of concrete components after vacuum application)

	I. Blok (şahit)	II. Blok	III. Blok
Su (kg/m ³)	190.0	161.7	145.6
s/ç oranı	0.54	0.38	0.34
Vakum süresi(dakika)	-	18	35
Geri çekilen su (lt/m ³)	-	28.3	44.4

Şimşek ve ark.(2005) yaptıkları çalışmada, 3 yıl boyunca Ankara'da açık hava şartlarında bekletilen vakumlu betondan heryıl olmak üzere bloklardan tam 75 mm çapında 150 mm boyunda karot numuneler almışlardır. Karot numunelerin, basınç, yarmada çekme, donma çözülme dayanımları ve aşınma direnci özelliklerini incelemişlerdir [7].

Birçok araştırmacı, taze betona vakum uygulanmasıyla betonun s/ç oranı, durabilitesi, aşınma, darbe ve basınç direncinin yanında terleme, tozlanma, renk değişimi, boşluk, permeabilite gibi özelliklerini de olumlu yönde etkilediğini vurgulamışlardır [12-14].

Singh ve ark. (2019) ve Saeed ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, modern inşaat uygulamalarında vakumlu beton kullanılarak depo, açık ve kapalı oto park alanı, endüstriyel zemin, kaldırım ve köprülerin kısa sürede inşa edilerek servise açılabilirdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, bu betonların mekanik dayanımlarının, korozyon direncinin, işlenebilirliğinin, dayanıklılığının, geçirgenliğinin, büzülme ve çatlaklarının geleneksel betona göre daha avantajlı olduğunu vurgulamışlardır [10,15].

Erdal (2009) yaptığı çalışmada, betonun kalitesini arttırmak için birçok yöntem olduğunu ve bunlardan birisinin vakum yöntemi olduğunu söylemiştir. Ayrıca, vakum yöntemi ile beton yüzeyinden 15 cm içerisine kadar olan kısımda bulunan su ve havanın, vakum ile beton içerisinden çıkarıldığını da belirtmiştir [16].

Gravina ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, beton yapıları onarmak için Fiber Takviyeli Polimer (FRP)

malzemelerin uygulanması için gelişmiş uygulama tekniklerinin sertleştirme işlemini, bağlanma mukavemetini ve uygulama hızını geliştirmek için ısı ve/veya reçine enjeksiyonu ile birleştirilmiş bir vakum konsolidasyon işlemini içerdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, vakumun güçlendirilmiş elemanlarda daha yüksek bağ elde etmek için reçinenin açıkta kalan agregaların etrafındaki yüzeye nüfuz etmesine katkıda bulunabileceğini de ifade etmişlerdir [17].

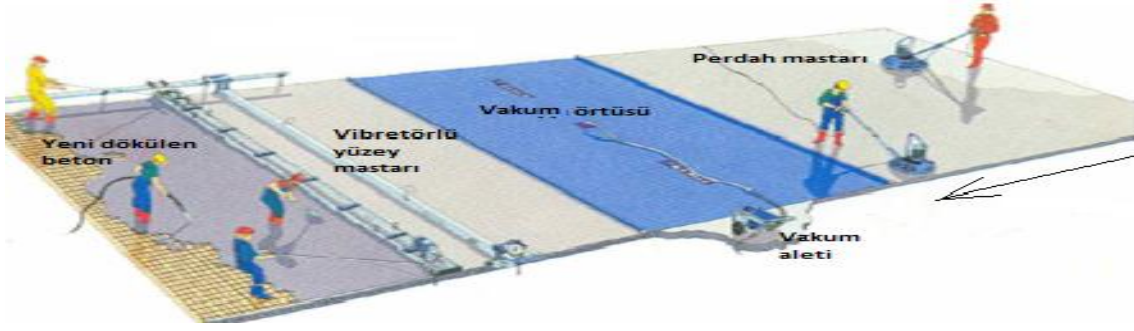
Yamaguchi ve Muramatsu (1999) yaptıkları çalışmada, C18 beton sınıfı ile iki farklı grup plak (döşeme) beton üretmişlerdir. 1.grup plak beton için çökme değeri 18 cm iken, 2. grup plak beton için çökme değeri 8 cm olarak belirlenmiştir. Bu iki grup blok beton yüzeyinin yarısına vakum uygulanırken yarısınada vakum uygulanmamıştır (referans beton). Bu betonlardan karot numuneleri alınmıştır. Bu numunelerin basınç dayanımları karşılaştırılmış ve vakum uygulanmış numunelerin vakum uygulanmamış numunelere (referans) oranla yüksek dayanımlar verdiği görülmüştür [18].

Bu çalışmada farklı süre vakum uygulanmış beton bloklardan 66 ay sonra karot örnekleri alınarak vakumlama süresinin beton derinliğine bağlı olarak betonun özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Materyal (Material)

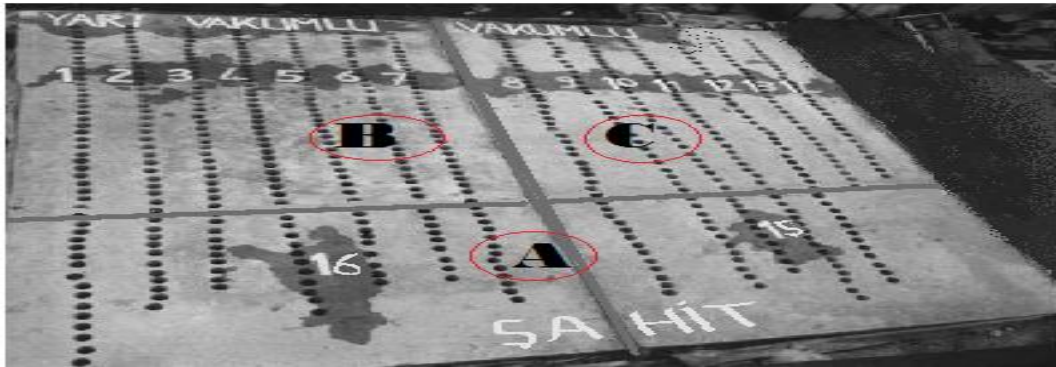
Araştırmada kullanılan beton bloklara vakum uygulama işlemi şematik olarak Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Betonun döküm ve vakum uygulama süreci (Casting and vacuum application process of concrete)

Bu araştırmada, Bolat'ın (2002) yaptığı çalışmasından geriye kalan ve Ankara'da 66 ay açık hava şartlarına maruz kalan vakumlu beton blokların üzerinden 75mm

çapında, 150 mm boyunda karot numuneler alınmıştır. Karot numunelerinin alındığı A, B ve C blokları Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Araştırmada kullanılan beton bloklar (Concrete blocks used in the research)

2.2 Metot (Method)

Araştırmada, A bloğuna (şahit) hiç vakum uygulanmamış, B bloğuna 17 dakika vakum uygulanmış ve C bloğuna ise 35 dakika vakum uygulanmıştır. Herbir bloktan toplam 25'er adet numune alınmıştır. Bu silindir numuneler beton kesme aleti ile kesilerek 3 parçaya ayrılmış ve her bir örneğin yüksekliği 50 mm olacak şekilde (Şekil 3'de görüldüğü gibi) ayarlanmıştır. Ayrıca, üçe ayrılmış silindir beton numunenin yüzeyinin hava ile temas eden kısmına Üst (P₁), orta kısmına (P₂) ve zeminde olan kısmına yani alt kısmına (P₃) isimleri verilmiştir. Bu deney numuneleri üzerinde; basınç dayanımı (boy/çap ilişkisi düzeltme faktörü kullanılmamıştır), aşınma direnci ve kapiler su testi yapılmıştır.

2.2.1. Basınç dayanım testi (Compressive strength test)

Basınç dayanım testi TS EN 12390 [19]'a uygun olarak tam boy karot numuneleri (çapı 75 mm, yüksekliği 50 mm) üzerinde yapılmıştır.

75x50 mm'lik numunelerinde basınç dayanımları kendi aralarında karşılaştırma yapıldığından dolayı boy/çap düzeltme faktörü kullanılmamıştır.



Şekil 3. Karot numunesinden deney numunelerinin hazırlanması (Preparation of test samples from core sample)

2.2.2. Aşınma testi (Abrasion resistance test)

ASTM C944/C944M-19 [20] standardında belirtilen esaslara göre A, B ve C beton bloklarından elde edilen P₁, P₂ ve P₃ numuneleri üzerinde aşınma deneyi gerçekleştirilmiştir. Numuneler silindir olduğundan dolayı, sadece alt ve üst kısımları 2'şer dakika olmak üzere toplamda 4 dakika aşınmaya maruz bırakılmışlardır. Numunelerin aşınma dayanımı % ağırlık kaybı olarak hesaplanmıştır [17]. Şekil 4'de aşınma direnci deney aleti ve numunesi görülmektedir.

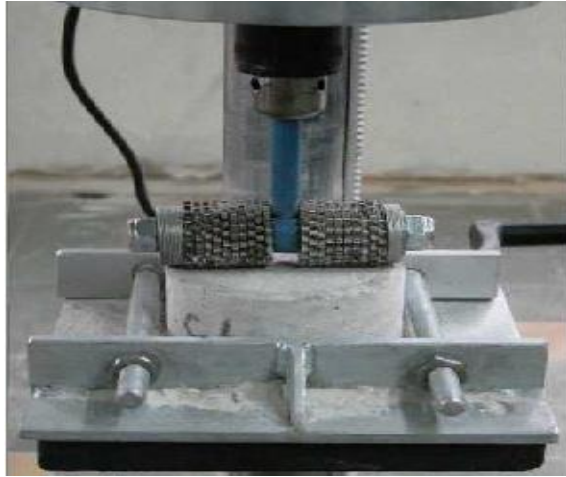
$$A\% = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

Burada;

A % = Yüzde ağırlık kaybı,

m₁=Deney öncesi ağırlık (gr),

m_2 = Aşınma deneyi sonrası ağırlık (gr)' dir.



Şekil 4. Aşınma dirence deney aleti ve deneye örneği (Abrasion resistance test instrument and tested sample)

2.2.3. Kapiler su emme testi (Capillarity water absorption test)

Kapiler su emme deneyi TS EN 772-11[21] esas alınarak Şekil 5'de görüldüğü gibi yapılmıştır. Buna göre 50 mm yüksekliğindeki numuneler, ilk önce kuru olarak tartılır sonra alt yüzü su ile en fazla 10 mm suya girecek şekilde temas ettirilir. Belirli bir zaman içinde kapiler olarak beton suyu çeker ve bu durumda iken beton tekrar tartılır. Beton belli bir süre sonra sabit bir ağırlığa ulaşırsa kapiler su emme deneyi bitirilir. Betonun kapiler olarak emdiği su miktarı, yüzey alanı ve geçen zamanın karakökü ile doğru orantılıdır [21].



Şekil 5. Kapiler deney düzeneği (capillarity test setup)

Kapilerite katsayılarının hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$C_{w,s} = \frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{A_s \sqrt{t_{sn}}}$$

$C_{w,s}$:Kapiler su emme katsayısı [$g/(m^2 \times s^{0.5})$](Beton doğal taş ve yapay taş kagir birimler için)

$m_{dry,s}$:Kurutma sonrasındaki numunenin kütlesi (g),

$m_{so,s}$:Numunenin (t) süre boyunca suya temas ettirildikten sonraki numune kütlesi (g),

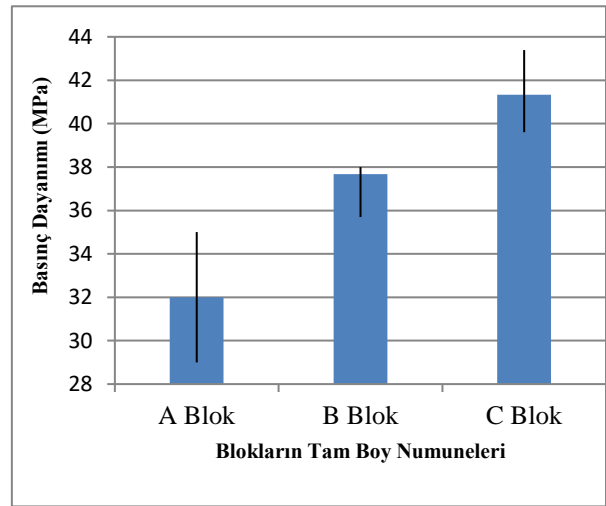
A_s :Numunenin suya temas ettirilen yüzeyinin brüt alanı (m^2),

t_{sn} :Numunenin suya temas ettirilme süresi (sn).

3.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMALAR (RESEARCH-FINDINGS AND DISCUSSION)

3.1 Basınç Dayanım Özelliği (Compressive Strength Feature)

Çalışmada kullanılan A, B ve C bloklarından alınan numunelerde vakum süresinin basınç dayanımlarına etkisi Çizelge 2'de verilmiştir. Tam boy karot numunelerin basınç dayanımlarının, aritmetik ortalaması, standart sapması ve varyans analiz değerleri Çizelge 2 verilir iken Şekil 6' da ise basınç dayanımının aritmetik ortalamasına göre dağılımı verilmiştir. Çizelge 2 analiz edildiğinde, betonların basınç dayanımlarının aritmetik ortalaması karşılaştırıldığında, A bloğuna göre B bloğunun basınç dayanımı %17.17 artarken, C bloğunun artışı ise %29.18 olmuştur. Yani vakum uygulama süresi ile basınç dayanımı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Bu ilişki literatüre paralellik göstermektedir. Karışımında kullanılan $1m^3$ deki suyun % 18.4'i vakumla geri çekilerek azalırken, s/ç oranı ve beton içindeki boşluklarında azalabileceği bilinmektedir. Çalışmada, en düşük dayanımı s/ç oranı 0.54 olarak kullanılan şahit beton ya da A blok ve en yüksek basınç dayanımını ise s/ç oranı 0.34 olan C blok betonu vermiştir. Bu sonuçlara göre, taze betona vakum uygulamasının betonun basınç dayanımını arttırdığı söylenebilir. Vakumun beton iç derinliğine etkisini incelemek için Şekil 3' de görüldüğü gibi her üç bloktan alınan 75 mm çapındaki karot numuneler 50 mm boyundaki numunelere dönüştürülmüştür.



Şekil 6. Karot numunelerinin basınç dayanımları ve bloklar arasındaki ilişki (The relationship between the compressive strength of the core samples and the blocks)

Çizelge 2. Karot numunelerine ait basınç dayanımlarının istatistiksel sonuçları (Statistical results of compressive strength of core samples)

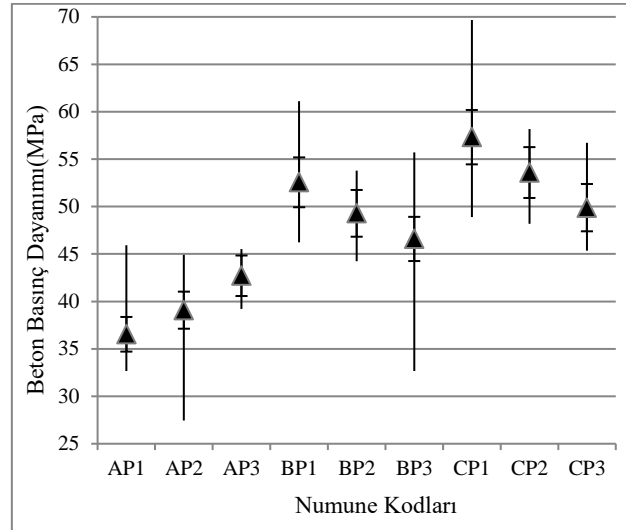
Çizelge 3'de numunelerin aritmetik ortalaması, standart sapması, varyansı ve örnekleme standart sapması verilirken, Şekil 7' de numunelerin max., min. ve

aritmetik ortalaması görsel olarak verilmiştir. Çizelge 3 ve Şekil 7’de A blok, B blok ve C blokları kendi aralarında kıyaslanarak incelenip analizleri yapılmıştır.

Numune Kodları	A Blok Tam Boy (MPa)	B Blok Tam Boy (MPa)	C Blok Tam Boy (MPa)
Max	35.0	38.0	43.4
Min	29.0	35.7	39.6
\bar{x}	32.00	37.67	41.33
$s\sigma_n$	2.45	0.97	0.77
$s\sigma_n^2$	6.00	0.943	0.596
$s\sigma_{n-1}$	3.00	1.191	0.945

A blok (şahit) betondan elde edilen numunelerin Şekil 7’deki grafiği incelendiğinde, basınç dayanımları açısından AP₁ en düşük dayanıma sahip olur iken, en yüksek dayanımın ise AP₃’ e ait olduğu görülmektedir. Çizelge 3’ te numunelerin basınç dayanımlarının aritmetik ortalaması, standart sapması ve varyansı görülmektedir. Ayrıca, numunelerin basınç dayanımlarının aritmetik ortalamaları da birbiriyle kıyaslanmıştır. AP₃ numunesinin basınç dayanımı AP₁ den %16.88 daha büyüktür. Ayrıca, AP₂’nin ortalama basınç dayanımı AP₁ den %6.95 daha büyük iken AP₃’ den %15.79 daha küçüktür. Bunun sebebinin diğer iki numunelere göre AP₁’in en üst tabaka olması ve yoğunluğu fazla olan beton bileşenlerinin yoğunluğu az olan su ile yer değiştirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Su, beton yüzeyine çıkarken kılcal borucuklar oluşturur ve bu borucukların beton sertleştikten sonra boşluğa dönüştüğü bilinmektedir. Yani, beton döküm sırasında veya taze iken, iri agregalar yerçekimi etkisiyle aşağı kısma inmeye çalışırken suyu yukarı doğru yükseltirler. Bu yer yer değiştirme sonucu, alt tabakanın daha kompakt olacağı ve ayrıca yüzeyinde bulunan suyun alt kısma göre hızlı buharlaşması ve dış atmosfere açık olması sonucu üst kısımda dayanım düşmesi olacağı düşünülmektedir. İşte bu etkenlerden dolayı en düşük basınç dayanımının üst kısımda, en yüksek basınç dayanımının ise AP₃ (alt kısımda) çıkması beklenen bir yaklaşımdır. Farklı süre vakum uygulanan B ve C blok betonlarından alınan karot numunelerin üç farklı derinlikten üretilen numuneleri de kendi aralarında analiz edilmiştir.



Şekil 7. Üst, orta ve alt numuneler ve basınç dayanımı arasındaki ilişki (Relationship between the upper, middle and lower samples - compressive strength)

Şekil 7’ ye bakıldığında, B bloktan elde edilen numunelerin basınç dayanımları kendi aralarında kıyaslandığında, BP₁ en yüksek dayanıma sahip olduğu ve en düşük dayanımın ise BP₃’ te olduğu görülmektedir.

Çizelge 3’de numunelerin aritmetik ortalamaları, standart sapmaları, varyansları ve örnek standart sapması görülmektedir. Bu Çizelge analiz edildiğinde, BP₁’ in ortalama basınç dayanımının BP₂’ den %6.22 ve BP₃’ den %11.36 daha fazla olduğu görülmektedir. Bu %’de farklarından anlaşıldığı gibi vakumun betonun üst kısmına daha fazla etki ettiği, serbet suyu ve havayı kontrolü bir şekilde aldığı görülmektedir. Taze betona vakum uygulamakla beton bünyesinde bulunan serbest suyu kontrollü bir şekilde vakumla geri alınarak s/ç oranı düşürülerek basınç dayanımının artması sağlanmıştır. Ayrıca, betonun taze iken iri agregaların yerçekimi etkisiyle su ile yer değiştirmesi kısmen engellenmiştir. Vakum etkisiyle betonun her noktası kompakt olmasada çoğunlukla kompakt olması sağlanmış denilebilir.

C bloktan alınan numunelerin basınç dayanımı grafiği Şekil 7’ de görülmektedir. Bu grafikte açık bir şekilde CP₁’ in en yüksek, CP₃ ise en düşük basınç dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Sonuçlar, B blok numunelerinin basınç dayanımlarına paralellik göstermektedir. Çizelge 3’de numunelerin aritmetik ortalamaları analiz edildiğinde, CP₁ ortalama basınç dayanımı CP₂’ e göre %6.97 artış gösterirken, CP₃’ e göre %12.96 daha fazla artış göstermiştir. Başka bir deyişle, betonun alt kısmının basınç dayanımı ortalaması üst kısmından yaklaşık %13 daha düşüktür. Vakumun betonun üst kısmına daha fazla etki ettiği, serbet suyu ve havayı kontrolü bir şekilde aldığı görülmektedir. Vakum uygulanan yüzeyden uzaklaştıkça betonun alt kısmına doğru etkisinin azaldığı söylenebilir ve bu durum literatüre paralellik göstermektedir [22].

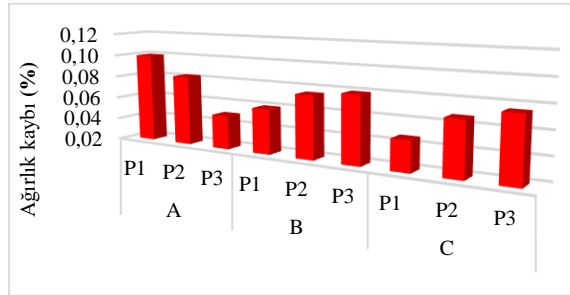
Çizelge 3. Üst, orta ve alt numunelere ait basınç dayanımlarının istatistiksel sonuçları (Statistical results of compressive strength of the upper, middle and lower samples)

Numune Kodları	AP ₁ (MPa)	AP ₂ (MPa)	AP ₃ (MPa)	BP ₁ (MPa)	BP ₂ (MPa)	BP ₃ (MPa)	CP ₁ (MPa)	CP ₂ (MPa)	CP ₃ (MPa)
\bar{x}	36.54	39.08	42.71	52.56	49.29	46.59	57.32	53.59	49.89
Min	32.66	27.45	39.22	46.24	44.23	32.68	48.89	48.19	45.36
Max	45.94	45.90	45.51	61.10	53.99	55.73	69.66	58.16	56.73
$s\sigma_n$	9.11	5.39	2.43	4.40	3.59	5.56	5.95	2.86	3.23
$s\sigma_n^2$	77.390	27.098	5.557	18.098	11.950	28.887	33.049	7.588	9.716
$s\sigma_{n-1}$	8.797	5.206	2.357	4.254	3.457	5.375	5.745	2.756	3.117

3.2. Aşınma Direnci Özelliği (Abrasion Resistance Feature)

Numunelere ait aşınma direnci deney sonuçları Şekil 8’ de verilmiştir. Şekil 8 incelendiğinde, vakum uygulanan B ve C beton bloklarından alınan numunelerin vakum uygulanmayan beton numunelerine göre daha az aşındığı görülmektedir. Ayrıca, basınç dayanımına benzer olarak vakum uygulanmamış A grubu beton bloktan alınan numunelerin aşınma direnci kendi aralarında kıyaslandığında, alt kısım olan AP₃ diğer parçalardan daha az aşınmaya uğramıştır. Bunun sebebi olarak, basınç dayanımında belirtildiği gibi beton yüzeyindeki buharlaşmanın üst kısımda daha çok olması denilebilir.

Vakum uygulanmış B ve C grubu betonlarda aşınma kaybı % si azdan çoğa doğru sıralandığında; en üst kısmı P₁, orta kısım P₂, en altı kısmı P₃ olarak sıranabilir. Bunun sebebinin ise vakumun etkisi ile beton içerisindeki boşluğun azalmasıyla kompakt bir yapı oluşmasından kaynaklandığı söylenebilir.

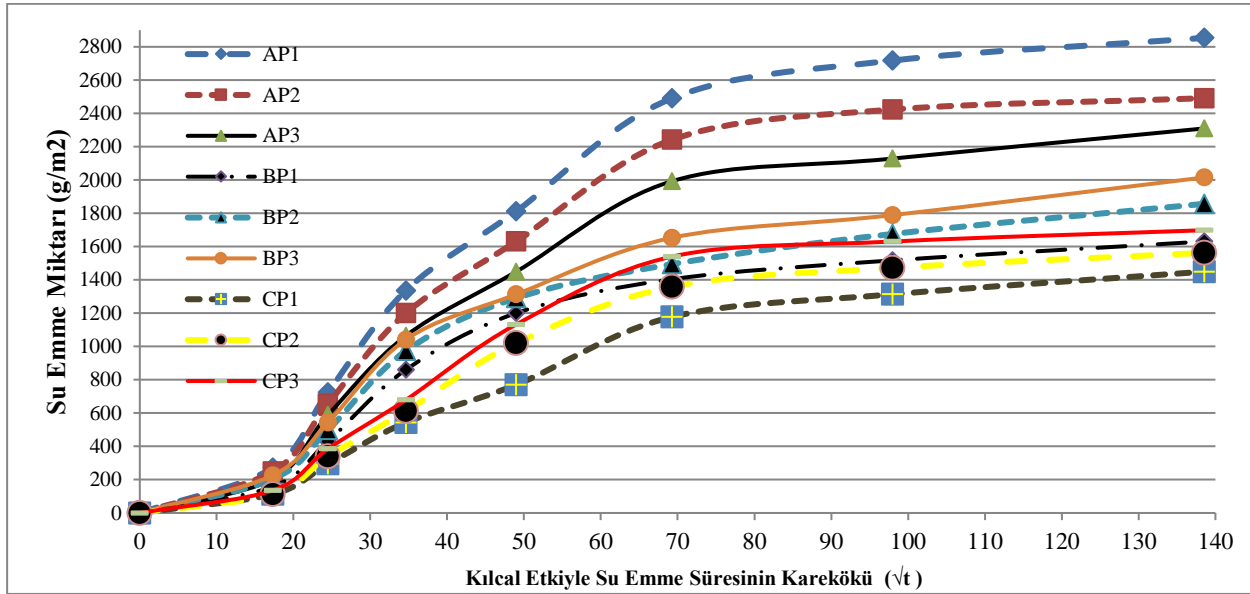
**Şekil 8.** Üst, orta ve alt numunelere ait aşınma kaybı ilişkisi (Abrasion loss relationship of upper, middle and lower samples)**Çizelge 4.** Üst, orta ve alt numunelere ait Kapiler su emme katsayısı (Capillary water absorption coefficient of the upper, middle and lower samples)

Örneklerin Kodları	AP ₁ [g/(m ² x s ^{0.5})]	AP ₂ [g/(m ² x s ^{0.5})]	AP ₃ [g/(m ² x s ^{0.5})]	BP ₁ [g/(m ² x s ^{0.5})]	BP ₂ [g/(m ² x s ^{0.5})]	BP ₃ [g/(m ² x s ^{0.5})]	CP ₁ [g/(m ² x s ^{0.5})]	CP ₂ [g/(m ² x s ^{0.5})]	CP ₃ [g/(m ² x s ^{0.5})]
C w, s/320	20.52	17.98	16.67	11.77	13.40	14.55	10.46	11.28	12.26

3.3. Kapiler Su Emme Özelliği (Capillarity Water Absorption Feature)

Numunenin yüzeylerinden biri ile temas ettirilen su, numune içerisindeki kılcal boşluklar sayesinde yukarı kısımlara doğru kapiler çekim kuvveti ile ilerler. Bu yukarı doğru su iletimi kılcal boşluklara sahip malzemelerde meydana gelmektedir. Homojen bir malzeme kılcallık olayına tabi tutulur ise yukarı doğru hareket eden sıvının Poiseuille rejimine uyduğu söylenebilir. Poiseuille rejimine göre, malzeme içerisindeki sıvının yukarı doğru çıkma hızı ile sıvının yüksekliği arasında ters bir orantı vardır.

Numunelerin kapiler su emme test sonuçları Şekil 9’ da verilmiştir. Şekil 9 incelendiğinde, A beton (şahit) bloktan üretilen AP₁’ den en yüksek kapiler su emme miktarı elde edilmiştir. AP₃’ de ise en düşük kapiler su emme meydana gelmiştir. Kısaca, basınç dayanımına benzer olarak vakum uygulanmamış A blok betondan alınan örneklerin kapiler su emmesi kendi aralarında kıyaslandığında, alt kısım olan AP₃ diğer numunelerden daha az kapiler olarak su emmiştir. Bunun nedeni yerçekimi etkisiyle kütlesi fazla olan beton bişenin aşağıya inmesi, yoğunluğu az olanın ise yukarıya çıkmasından kaynaklanmaktadır. Numunelerin kapiler su emme katsayısı (Cw,s/320) Çizelge 4’de verilmiştir. Çizelge 4 incelendiğinde, AP₁ numunesinin kapiler su emme katsayısı 20.52 [g/(m² x s^{0.5})] dir. AP₂ numunesinin kapiler su emme katsayısı ise 17.98 [g/(m² x s^{0.5})] olur iken, AP₃ numunesinin kapiler su emme katsayısı 16.67 [g/(m² x s^{0.5})] olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Üst, orta ve alt numunelere ait su emme miktarı- Kılcal etkiyle su emme süresi ilişkisi (Water absorption amount of upper, middle and lower samples -Relationship between capillary effect and duration of water absorption)

Vakum uygulanan B ve C beton bloklarından alınan numunelerin vakum uygulanmayan A blok (şahit) beton numunelerinden daha az kapiler su emdiği görülmektedir. Kapiler su emme, aşınma kaybı ve basınç dayanımı özelliklerinin aynı numunelerde birbirine paralel olduğu gözlemlenmiştir.

Vakum uygulanan B ve C beton bloklarından alınan numunelerin kapiler su emme test sonuçları Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 9 ve Çizelge 4 incelendiğinde, B bloğundan üretilen BP1 'den en düşük kapiler su emme miktarı elde edilmiş ve kapiler su emme katsayısı (C w,s/320) 11.77 [$\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{s}^{0.5})$] olarak bulunmuştur. BP2'nin kapiler su emmesi BP1'den büyük, BP 3' den düşük ve kapiler su emme katsayısı (C w,s/320) 13.40 [$\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{s}^{0.5})$] dir. BP3' de en yüksek kapiler su emme meydana gelmiş ve kapiler su emme katsayısı (C w,s/320) 14.55 [$\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{s}^{0.5})$] olmuştur. C bloğundan alınan numuneleri kendi aralarında kapiler su emmeleri açısından karşılaştırdığımız zaman CP1' den en düşük kapiler su emme miktarı elde edilmiş ve kapiler su emme katsayısı (C w,s/320) 10.46 [$\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{s}^{0.5})$] olarak bulunmuştur. CP2' nin kapiler su emmesi CP1' den büyük, CP3' den düşük ve kapiler su emme katsayısı (C w,s/320) 11.28 [$\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{s}^{0.5})$] dir. CP3 'de en yüksek kapiler su emme meydana gelmiş ve kapiler su emme katsayısı (C w,s/320) 12.26 [$\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{s}^{0.5})$] olmuştur. Vakumun etkisiyle beton içerisinde ki boşluğun azalması ve kompakt bir yapı oluşması numunelerin kapiler su emmesini etkilemiştir.

Vakum uygulanan B ve C bloklarından alınan numunelerin kapiler su emme, aşınma kaybı ve basınç dayanımı özellikleri aynı numunelerde birbirine paralellik göstermiştir

5. SONUÇLAR (RESULTS)

Taze betona vakum uygulama süresi arttıkça s/ç oranı düşmektedir.

Betona vakum uygulama süresi beton basınç dayanımı üzerine etkilidir. Yani vakum uygulama süresi arttıkça, beton basınç dayanımı artmaktadır.

Şahit betonunun üst yüzeyinden uzaklaştıkça, betonun basınç dayanımı, aşınma direnci artmakta, kapiler su emme miktarı azalmakta ve kapilerite katsayısı küçülmektedir.

Vakum uygulan yüzeyden uzaklaştıkça, betonun basınç dayanımı, aşınma direnci azalmakta, kapiler su emme miktarı ise artarken, kapilerite katsayısı büyümektedir.

Şahit betondan alınan numunelerin en alt kısmının (P₃), en üst kısma (P₁) göre teknik özellikler bakımından daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Vakum uygulanan beton bloğundan alınan numunelerden (P₁) yani en üst kısmın teknik özellikler bakımından (P₃) en alt kısma göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Kenan TOKLU: Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir..

Can DENİREL: Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

Osman ŞİMŞEK: Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Şimşek, O. “*Beton ve Beton Teknolojisi*”. 6. Baskı, Seçkin Yayınevi, Ankara, (2020).
- [2] Özdemir, Ö. “Vakumlu Beton”. Bayındırlık Bakanlığı *DSİ Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı*, Yayın No: Mlz 817, Ankara. (1992).
- [3] Baradan, B. ve Aydın, S. “Betonun Durabilitesi (Dayanıklılık, Kalıcılık)”. *Beton 2013 Hazır Beton Kongresi*, 265-288, (2013).
- [4] Bolat, H. Vakumlu Betonun Basınç Dayanımı Üzerinde Bir Araştırma. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2002).
- [5] Bolat, H., Çullu M. ve Tekin, İlker, T. “Bir saha beton uygulaması: Vakumlu Beton”. *Yapı Dünyası*, 161, s.52-57, (2009).
- [6] Şimşek, O., Sancak, E. ve Yaprak, H. “Beton Yollarda Alternatif Bir Malzeme: Vakumlu Beton”. *4th International Advanced Technologies*, 1132-1137, (2005).
- [7] Dubey R.S. “Construction of a rigid pavement by vacuum dewatering method”. *Indian Concrete Journal*, 71:13-19, (1997).
- [8] Hatanaka, S., Hattori, H., Sakamoto, E. et al. “Study on mechanism of strength distribution development in vacuum-dewatered concrete based on the consolidation theory”. *Mater Struct* 43, 1283–1301 (2010).
- [9] Şimşek, O. “Effects of vacuum processing on strength and surface hardness properties of concrete”. *Journal of ASTM International*, 2(2):1-8, (2005).
- [10] Saeed, H. H. and Ezzulddin, A. A. “New Technique for Producing Vacuum Concrete”. *Engineering and Technology Journal*, 33(3 Part (A) Engineering), 659-667, (2015).
- [11] Hatanaka, S., Sakamoto, E., Mishima, N. and Muramatsu, A. “Improvement of strength distribution inside slab concrete by vacuum dewatering method”. *Materials and structures*, 41(7):1235-1249, (2008).
- [12] Patel, V., & Pitroda, J., & Bhavsar, J. “Vacuum Dewatering: New Way For Concrete Flooring By Tremix Method”. *International Conference on: “Engineering: Issues, opportunities and Challenges for Development”* ISBN: 978-81-929339-1-7, (2015).
- [13] Yan, W., Di, W., Xue, L., “On Construction Process & Economic Benefit of Road Vacuum Concrete Technology” *China Municipal Engineering*, en.cnki.com.cn (2011).
- [14] Tophan, T., E. “Vacuum dewatered flooring in durable construction”, *International Journal of Civil Engineering Research* Vol. 4, No 1. pp 49-54, (2013).
- [15] Singh, A., K., , Bahadur, A., Pandey C. P., Khan, M..S., Srivastav, A.,” A Study Of Concrete On The Application Of Vacuum Dewatering”. *International Journal of Scientific Research and Review* Volume 07, Issue 03, March (2019).
- [16] Erdal, M. “Prediction of the compressive strength of vacuum processed concretes using artificial neural network and regression techniques”. *Scientific Research and Essay*, 4(10):1057-1065, (2009).
- [17] Gravina, R. J., Hadigheh, S. A., Setunge, S. and Kim, S. J. “Application of heat/resin injection in the presence of vacuum for FRP attachments on the concrete substrate”. *In Applied Mechanics and Materials*, 438:459-466, (2013).
- [18] Yamaguchi, T. and Muramatsu, A. “Finishing concrete floor by modified vacuum dewatering”. *P. Seidler Industriefubboden/Industrial Floors*, 1:205-213, (1999).
- [19] TS EN 12390-3. “Beton–Sertleşmiş Beton Deneyleri– Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini”. Türk Standardları Enstitüsü, (2019).
- [20] ASTM C944 / C944M-19. “Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method”. ASTM International, (2019).
- [21] TS EN 772-11 “Kâgir Birimler – Deney Metotları – Bölüm 11: Betondan, Yapay ve Doğal Taştan Yapılmış Kâgir Birimlerde Kapiler Su Emme ve Kil Kâgir Birimlerde İlk Su Emme Hızının Tayini”. Türk Standardları Enstitüsü, (2012).
- [22] Subhash, D., Gupta, S. M., Setia, S. and Pavlyukivskyi, V. “Estimating the compressive strength of concrete, using vacuum dewatering technique”. *Archives of Materials Science and Engineering*, 99(1/2):30-41, (2019)