



Makale / Research Paper

Atık Lastik Katılmış Betonun Süspansiyon Teorisi ile İncelenmesi

İlker Bekir TOPÇU^{1a}, Ali Can TÜREYEN^{2b}, Tayfun UYGUNOĞLU^{3c*}

^{1,2}Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Batı Meşelik Yerleşkesi, 26480, Eskişehir, TÜRKİYE

³Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, TÜRKİYE
*uygunoglu@aku.edu.tr

Received/Geliş: 04.07.2021

Accepted/Kabul: 26.10.2021

Özet: Çeşitli atıkların harç ve beton içinde kullanımı son zamanlarda yaygınlaşmıştır. Büyük miktarda çevresel kirliliğe sebep olan otomobil lastiklerinin beton içinde kullanımı da bunlardan biridir. Lastiklerin betonda kullanımıyla betona ait pek çok özellik geliştirilmektedir. Lastikli betona ait özelliklerin farklı yöntemlerle analizi ve modellenmesi yapılmaktadır. Bu çalışmada ise lastikli betonların süspansiyon teorisi ile analizi yapılmaya çalışılmıştır. Birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ultrases geçiş hızı deneysel sonuçlarından elde edilen verilerinden alınan değerler süspansiyon teorisi formülünde yerine konularak “k” değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan “k” değerleri matris ve dağılı fazın E-modül değerlerine, tane boyutlarına, tane yüzey ve şekline bağlı olarak elde edilen bir boyutsuz değerdir. Bu çalışmada beton içerisine katılan atık lastiklerin yüzdelere göre değişen birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ultrases geçiş hızlarına göre elde edilen k değerleri tablo ve grafikte gösterilmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Kuru birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ultrases geçiş hızı için “k” değerleri sırasıyla -0.039 ile -0.187, -0.137 ile -3.553, -0.778 ile -1.939 ve -0.098 ile -0.922 arasında değişen değerleri almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kompozit malzeme, süspansiyon teorisi, lastik agregalı beton

Investigation of Waste Rubberized Concrete with Suspension Theory

Abstract: The use of various wastes in mortar and concrete has recently become widespread. The use of automobile tires in concrete, which causes a large amount of environmental pollution, is one of them. With the used tires in concrete, many properties of concrete are developed. Analysis and modeling of the properties of rubber concrete are made with different methods. This study has tried to analyze rubber concrete with suspension theory. The values obtained from the experimental results of unit weight, compressive strength, bending strength, and ultrasound velocity were replaced in the suspension formula and the "k" values were calculated. The calculated “k” values are dimensionless values obtained depending on the E-modulus, grain size, grain surface, and shape of the matrix and dispersed phase. In this study, the k values obtained according to the unit weight, compressive strength, bending strength, and ultrasound transmission velocities varying according to the percentages of the waste rubbers included in the concrete are shown in the table and graph and the results are obtained interpreted. The “k” values calculated for dry unit weight, compressive strength, bending strength, and ultrasound velocity take values varying between -0.039 and -0.187, -0.137 and -3.553, -0.778 to -1.939 and -0.098 to -0.922, respectively.

Keywords: Composite material, suspension theory, rubberized concrete.

1. Giriş

Günümüzde katı atık yönetimi dünyadaki en önemli sorunlardan biri olarak karşımıza çıkmakta ve bu atıkların günden güne artması ciddi boyutlarda çevreye zarar vermektedir. Özellikle lastik atık malzemelerin geri dönüşümü büyük bir sorun haline gelmiştir [1]. Lastik atıklar yakılarak veya

Bu makaleye atf yapmak için

Topçu, İ.B., Türeyen, A.C., Uygunoglu, T., “Atık Lastik Katılmış Betonun Süspansiyon Teorisi İle İncelenmesi”, El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2022, 9(2); 925-935.

How to cite this article

Topçu, İ.B., Türeyen, A.C., Uygunoglu, T., “Investigation of Waste Rubberized Concrete With Suspension Theory” El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2022, 9(2); 925-935.

ORCID ID: ^a0000-0002-2075-6361; ^b0000-0002-7071-7395; ^c0000-0003-4382-8257

gömülerek ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır [2]. Ayrıca günümüzde atık otomobil lastikleri beton agregası olarak da kullanılmaktadır [3]. Bilindiği üzere geleneksel beton günümüzde en çok kullanılan yapı malzemesi olmasına karşın, yüksek birim ağırlık, düşük tokluk ve ısı yalıtımı açısından yetersiz olmasından dolayı bu özelliklerin istenildiği yapılarda istenilen verim alınamamaktadır. Bu yüzden betonun elastik özelliklerini geliştirmek ve atıkların yararlı bir şekilde dönüşümünü sağlamak amacıyla kısıtlı endüstriyel atıklar pek çok yeni uygulama ile beton teknolojisinde kullanılmakta ve bu sayede betona yeni özellikler kazandırılmaktadır [4]. Sertleşmiş beton genel olarak; agregası, çimento-agrega ara yüzeyinden meydana gelmiş fazlardan oluşmasını rağmen kompozit malzeme modellemesinde agregası ve çimento hamurundan oluşmuş iki fazlı bir malzeme olarak genel bir kabul yapılmaktadır [5]. Bu durum betonun kompozit kavramı ile incelenmesi için geliştirilmiş basit bir kabuldür [6]. Günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılan ve büyük bir öneme sahip olan beton ve türleri taneli kompozit malzeme grubunda yer almaktadır [7]. Kompozit malzeme modellerinden birisi de malzemenin visko-elastik davranışını konu alan süspansiyon teorisi. Bu teori uzun yıllar önce Mooney tarafından geliştirilmiştir [8]. Taze betonun viskoz davranışı üzerine bu kompozit teorem kullanılarak modeller oluşturulmuşsa da sertleşmiş betonun yük altındaki davranışına uygulanmamıştır.

İlgili literatür incelendiğinde atık lastikler kullanılarak üretilen beton kompozitler ile ilgili birçok çalışma vardır. Bu çalışmalar incelendiğinde; atık otomobil lastikleri (AOL) ile üretilen betonun kontrol grubu betonuna göre basınç dayanımının %35 daha az olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca taşıyıcılık özelliği aranmayan yapı elemanlarında AOL agregalı betonların kullanılabilceğini belirtilmiştir. Hacimce %0 ile %100 arasında değişen oranda kırma taşı yerine ince agregası olarak atık lastik kullanıldığında, hacimce %25'e kadar olan lastik hacimlerinde kabul edilebilir basınç dayanımları elde edilmiştir [9]. C16/20 dayanımlı normal beton içine %15, %30 ve %45 oranlarında atık lastik katılarak üretilen silindirik ve kübik numuneler 7, 28 ve 90 gün sonunda yapılan fiziksel ve mekanik deneyler de elastik enerji kapasitesinin azalması plastik enerji kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir [3]. Farklı oranlarda eklenen lastik ile C25/30 ve C35/45 dayanımlı beton üretilmesi amaçlanan başka bir çalışmada basınç çekme ve eğilme dayanımı sonuçları incelenmiştir. C25/30 dayanımlı betona farklı oranlarda lastik eklenmesiyle basınç, çekme ve eğilme dayanımlarında sırasıyla yaklaşık olarak %18, %39 ve %26 azalma olduğu görülmüştür. Benzer şekilde C35/45 dayanımlı betona farklı oranlarda lastik eklenmesiyle basınç, çekme ve eğilme dayanımlarında sırasıyla yaklaşık olarak %29, %47 ve %33 azalma elde edilmiştir [10].

Yapılan diğer çalışmalar incelendiğinde; AOL agregası katkılı betonun birim ağırlığının ve basınç dayanımının azaldığı belirlenmiştir. Süneklik ve enerji yutma kapasitesinin ise arttığı gözlemlenmiştir. Kompozit malzeme kurallarına göre yapılan araştırmaların sonucunda harçlara AOL ilavesi ile betonlardaki gibi taze ve sertleşmiş harçların birim ağırlığının, işlenebilmesinin, çökmesinin azaldığı tespit edilmiştir ve yayılma değerinin arttığı belirlenmiştir [11-20]. Geri dönüştürülmüş lastik kırıntılı betonun düşük birim ağırlıklı, daha küçük ısı iletkenlik katsayısına sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca daha büyük ısı dirence ve ses emme katsayısına da sahip olduğu gözlemlenmiştir [21]. Diğer bir çalışmada ise lastikli betonda %5 silis dumanının kullanılmasının, yüksek sıcaklıkta basınç dayanım kaybını en aza indirmeye yardımcı olduğu gözlemlenmiştir [22]. Lastikli betonun su emiliminin, lastik yüzdesi ve değiştirilen kauçuğun parçacık büyüklüğü arttıkça arttığı belirtilmiştir [23]. Betonda %15'lik lastik içeriğinde kılcal hareketi sürdürmenin mümkün olduğu açıklanmıştır [24].

Yapılan diğer araştırmalar incelendiğinde; AOL ve uçucu külün (UK) birlikte kullanılması deney sonuçlarında olumlu bir etki yapmıştır [25]. Kontrol grubunda lastik ve çelik lif içermeyen beton üretilerek farklı hacim oranlarında atık lastik ve 3 farklı oranda çelik lif içeren betonun mekanik ve dayanıklılık davranışları incelenmiştir. Lastik hacmi arttıkça büzülme deformasyonunun arttığı ancak çelik lif eklenmesi ile büzülme deformasyonu azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kütlece en yüksek lif içeren AOL katkılı betonun eğilme dayanımının kontrol grubu numunesinden yüksek olduğu

tespit edilmiştir [26]. Lastik parçacıklarına sahip kendiliğinden yerleşen betonlarda lastik hacmi %0'dan %15'e çıkarıldığında darbe dayanımı %80 arttığı sonucuna ulaşılmıştır [27]. AOL katkılı betonun dondurma işleminde donma basıncını düşürerek, donma çözülme döngüsünde düzenleyici bir valf gibi davrandığı tespit edilmiştir. Ayrıca çözülme sürecinde dışarıdan su akınını engellediği gözlemlenmiştir [28]. Atık lastiğin beton içerisine eklenmesi ile klorür iyonu difüzyonu katsayısını ciddi bir şekilde azaltabileceği, çelik korozyonunu önleyebileceği belirlenmiştir [29]. Bu çalışmada, literatürdeki kompozit modellerden farklı olarak yine kompozit model olarak kullanılan süspansiyon teorisi sertleşmiş betonun yük altındaki bazı özelliklerinin tahmin edilmesinde kullanımı araştırılmıştır.

2. Yöntem

Bu çalışma Topçu [30] tarafından yapılan deneysel çalışma sonuçlarının süspansiyon teorisi analizini içermektedir. Kompozit malzeme özelliklerini tanımlamada süspansiyon teorisinden yararlanılmıştır. Çalışmada, iki farklı lastik türü ve üç farklı lastik hacmi ile üretilen AOL katkılı betonların birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ultrases geçiş hızı deneysel sonuçlarından elde edilen verilerinden alınan değerler süspansiyon teorisi formülünde yerine konularak "k" değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan "k" değerleri matris ve dağılılı fazın E-modül değerlerine, tane boyutlarına, tane yüzey ve şekline bağlı olarak elde edilen bir boyutsuz değerdir. Burada beton içerisine katılan atık lastiklerin yüzdelere göre değişen birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ultrases geçiş hızlarına göre elde edilen k değerleri tablo ve grafikte gösterilerek sonuçlar yorumlanmıştır.

Tablo 1. Lastik agregalı beton bileşenleri [30]

Seri No	Çimento	Kum	İri Agregata	Su	İnce Lastik	Kalın Lastik
FA	427	854	893	175		
F-IRC-15	427	724.88	893	175	31.98	
F-IRC-30	427	596.6	893	175	63.96	
F-IRC-45	427	469.04	893	175	95.94	
F-CRC-15	427	724.88	893	175		31.96
F-CRC-30	427	596.6	893	175		63.96
F-CRC-45	427	469.09	893	175		95.94

3. Betona Kompozit Kurallarının Uygulanması

Bu çalışmada, Topçu'nun [30] ince ve iri agregata kullanılarak üretilen, bir şahit numunesi olmak üzere 3 farklı hacimde ince lastik parçacıklı beton (İLB) ve kalın lastik parçacıklı beton (KLB) olarak üretilmiş numunelerin basınç, eğilme dayanımı ve ultrases geçiş hızı verileri dikkate alınarak, Denklem 1'de verilen bağıntıyla süspansiyon teorisindeki k sabitlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

$$M_c = M_m(1+kV_p) \quad (1)$$

Denklemden, M_c : betonun birim ağırlığı; M_m : matris fazın birim ağırlığı; V_p : Dağılılı fazın hacmi ve k : sabit olarak ifade edilmektedir.

Referans [30]'daki çalışmanın İLB ve KLB'lere ait 7 ve 28 günlük kuru birim ağırlık sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Deneysel veriler incelendiğinde, betonların hidratasyon sürecine bağlı olarak beton yaşının ilerlemesiyle birim ağırlık değerleri de artmıştır. Bununla birlikte, lastik agregata kullanım oranının artışıyla birlikte birim ağırlık değerleri azalmıştır. Bu 7 ve 28 günlük kuru birim

ağırlık verileri ince ve kalın lastik parçacıkları ile üretilen lastik betonlar için süspansiyon teorisi denkleminde ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Tablo 2. Lastik katkılı betonların kuru birim ağırlıkları

Numune Adı	NB	İLB-15	İLB-30	İLB-45	KLB-15	KLB-30	KLB-45
7 gün	2358	2305	2226	2179	2301	2252	2226
28 gün	2349	2330	2245	2208	2321	2283	2255

Tablo 3. İLB'lerin kuru birim ağırlığa bağlı süspansiyon k sabiti

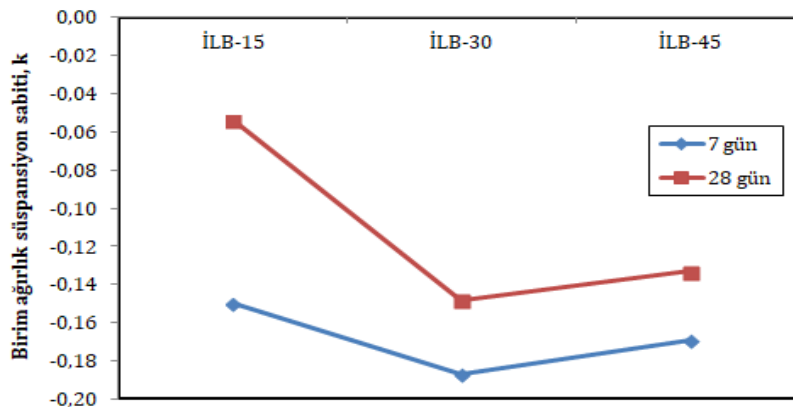
İnce lastik kuru birim ağırlık				
$M_c=M_m(1+k.V_p)$	7 günlük $M_m=2358$		28 günlük $M_m=2349$	
	M_c	k	M_c	k
İLB-15	2305	-0.150	2330	-0.054
İLB-30	2226	-0.187	2245	-0.148
İLB-45	2179	-0.169	2208	-0.133
		$k_{ort}=-0.168$		$k_{ort}=-0.112$

İLB'nin 7 ve 28 gün kuru birim ağırlıklarına göre k sabitleri Tablo 3'de ve bu k sabitlerinin 7 ve 28 günlük kuru birim ağırlıklarına göre değişen değerler Şekil 1'de verilmiştir. Benzer şekilde KLB'nin kuru birim ağırlıklarına göre k sabitleri Tablo 4'de ve bu k sabitlerinin 7 ve 28 günlük kuru birim ağırlıklarına göre değişen değerler Şekil 2'de gösterilmektedir.

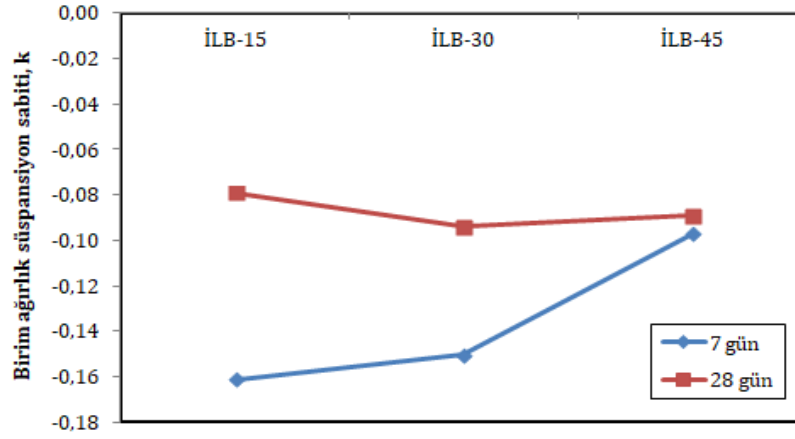
Tablo 4. KLB'lerin kuru birim ağırlığa bağlı süspansiyon k sabiti

Kalın lastik kuru birim ağırlık				
$M_c=M_m(1+k.V_p)$	7 günlük $M_m=2358$		28 günlük $M_m=2349$	
	M_c	k	M_c	k
KLB-15	2301	-0.161	2321	-0.079
KLB-30	2252	-0.150	2283	-0.094
KLB-45	2155	-0.097	2255	-0.089
		$k_{ort}=-0.136$		$k_{ort}=-0.087$

İnce lastik parçacıkları kullanılarak üretilen lastik betonun birim ağırlık için hesaplanan k sabitleri ile oluşturulan grafik (Şekil 1) incelendiğinde, 7 gün kuru birim ağırlık k sabitinin lastik hacmi arttıkça önce azaldığı daha sonra arttığı tespit edilmiştir. 28 gün kuru birim ağırlık k sabitinin de benzer davranış göstermekle birlikte 7 günlük betonların sabitlerine göre daha düşük değerler aldığı görülmüştür.



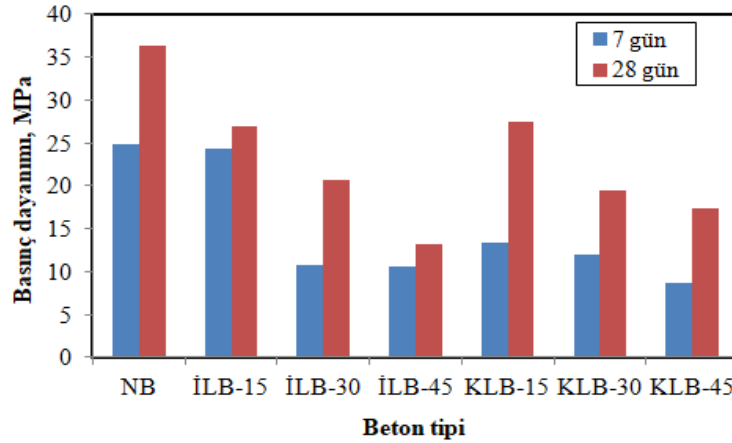
Şekil 1. İLB'ler için birim ağırlık süspansiyon k sabiti



Şekil 2. KLB'ler için birim ağırlık süspansiyon k sabiti

KLB'lerin kuru birim ağırlık için hesaplanan k sabitleri ile oluşturulan grafik incelendiğinde, 7 gün kuru birim ağırlık k sabitinin lastik hacmi arttıkça arttığı tespit edilmiştir. 28 gün kuru birim ağırlık k sabiti ise lastik hacmi arttıkça önce azalmış sonra artmıştır.

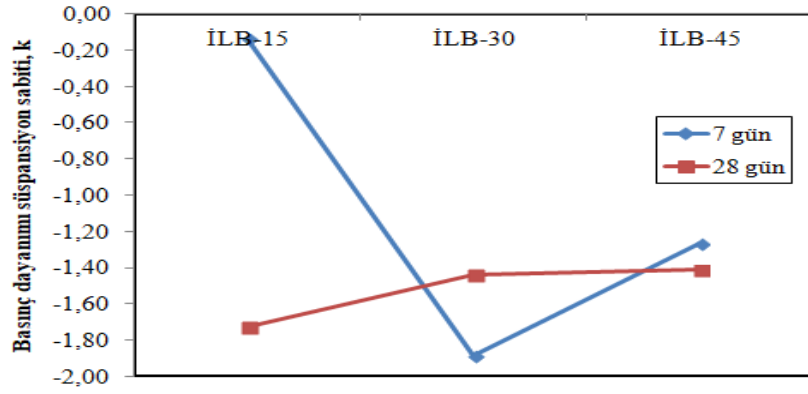
Lastik katkılı betonun basınç dayanımı değeri (F_c) de süspansiyon teorisi kullanılarak matrisin basınç dayanımı (F_m) ve agrega hacmine (V_p) bağlı olarak sabit katsayı olan k değeri belirlenmiştir. İLB ve KLB'lere ait basınç dayanımı grafiği Şekil 3'te gösterilmektedir. Basınç dayanımı verileri incelendiğinde, lastik kullanım oranının artmasıyla birlikte hem 7 hem de 28 günlük dayanım değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu azalma, İLB ve KLB için de geçerlidir. İLB'lerin basınç dayanımlarında lastik kullanım miktarına göre, KLB'lere göre nispeten daha fazla azalma görülmüştür. Her iki betonun 7 ve 28 gün basınç dayanımına göre k sabitleri Tablo 5'de ve bu k sabitlerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarına göre değişen değerleri İLB'ler için Şekil 4'de verilmiştir. Benzer şekilde, KLB'nin basınç dayanımlarına göre k sabitleri de Tablo 6'da ve bu k sabitlerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarına göre değerlerini gösteren grafik Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 3. AOL katkılı betonların basınç dayanım değeri

Tablo 5. İLB'lerin basınç dayanımına göre hesaplanan süspansiyon k sabiti

$F_c = F_m(1+k.V_p)$	İnce lastik beton basınç dayanımı			
	7 günlük $F_m = 24.79$		28 günlük $F_m = 36.38$	
	F_c	k	F_c	k
İLB-15	24.28	-0.137	26.94	-1.730
İLB-30	10.75	-1.888	20.66	-1.440
İLB-45	10.64	-1.268	13.24	-1.413
		kort= -1.098		kort= -1.528

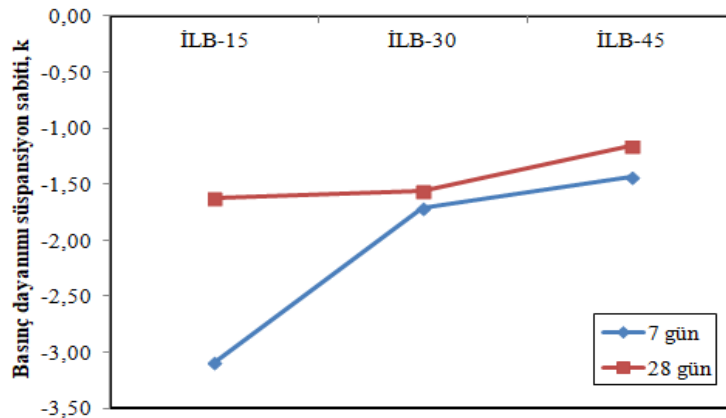


Şekil 4. İLB'lerin basınç dayanımı süspansiyon k sabiti

İLB ve KLB'nin basınç dayanımlarına bağlı olarak hesaplanan k sabitleri, basınç dayanımı değerlerine bağlı olarak değişim gösterdiği söylenebilir. Örneğin, 28 günlük basınç dayanımı değerleri hidrasyon sürecine bağlı olarak daha fazla hidrate ürünün betonlar içerisinde yer almasıyla 7 günlük betonlardan daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Buna paralel olarak süspansiyon sabiti olan k değerlerinin de benzer davranışı gösterdiği gözlenmiştir. Erken yaşlarda elde edilen k sabiti değerleri 28 günlük betonların basınç dayanımı için elde edilenlere göre daha düşük değerlere sahip oldukları görülmektedir. Diğer yandan dayanım değerlerinin azalmasıyla süspansiyon k sabiti değerlerinin de azaldığı açıkça görülmektedir.

Tablo 6. KLB'lerin basınç dayanımına göre hesaplanan süspansiyon k sabiti

Kalın lastik beton basınç dayanımı				
$F_c = F_m(1+k.V_p)$	7 günlük $F_m = 24.79$		28 günlük $F_m = 36.38$	
	F_c	k	F_c	k
KLB-15	13.30	-3.090	27.50	-1.627
KLB-30	12.05	-1.713	19.41	-1.555
KLB-45	8.72	-1.441	17.37	-1.161
		kort= -2.081		kort= -1.448



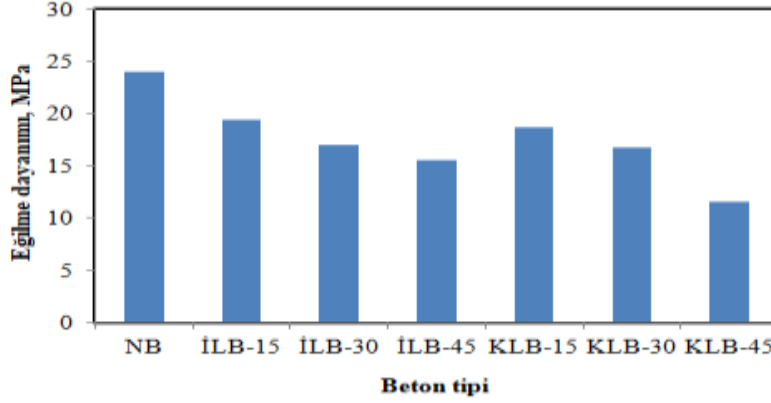
Şekil 5. KLB'lerin basınç dayanımı süspansiyon k sabiti

Referans [30]'da verilen çalışmanın ince agrega kullanılarak üretilen lastik betonlara ait eğilme dayanımı deney sonuçları Tablo 7'de verilmiştir. Tablo 6'daki verilere bağlı olarak çizilen eğilme dayanımı grafiği Şekil 6'da gösterilmektedir. İLB ve KLB serilerinin her ikisinde de normal betona göre lastik agrega kullanım oranına bağlı olarak eğilme dayanımı değerleri azalmıştır. KLB'lerde bu azalma oranı İLB'lere göre daha fazladır. Lastik agregaların normal agregalara göre daha az

dayanıma sahip olmaları ve betonla olan kenetlenmelerinin de zayıf olmaları sonucunda eğilme dayanımlarının da azalmasına neden olmuşlardır.

Tablo 7. İnce Lastikli LB'lerin Eğilme Dayanımları

Numune Adı	NB	İLB-15	İLB-30	İLB-45	KLB-15	KLB-30	KLB-45
28 gün	24.00	19.44	17.04	15.60	18.72	16.80	11.52



Şekil 6. İnce Lastikli LB'lerin eğilme dayanım grafiği

Bu eğilme dayanımı (E_c) verileri ince ve kalın lastik parçacıkları ile üretilen lastik beton için süspansiyon teorisi denkleminde ayrı ayrı hesaplanmıştır. İnce ve kalın lastik parçacıklı betonların eğilme dayanımlarına göre hesaplanan k sabitleri Tablo 8'de ve bu k sabitlerinin eğilme dayanımlarına göre değişen değerlerinin değişimi de grafik Şekil 7'de verilmiştir. Tablo 8'de verilen E_m , matris fazın eğilme dayanımını, V_p ise dağılılı faz olan agrega hacmini simgelemektedir.

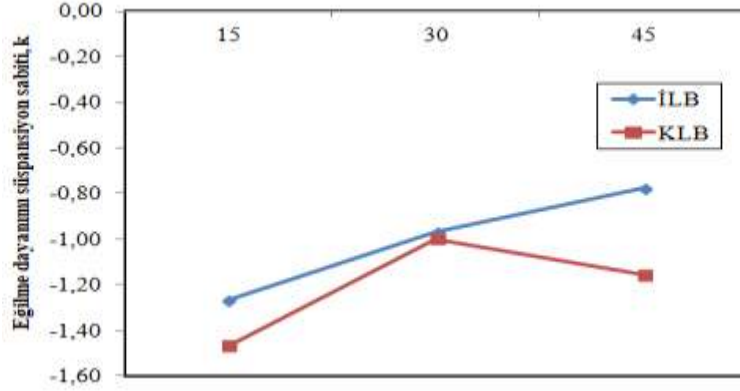
Tablo 8. LB'lerin eğilme dayanımına göre hesaplanan süspansiyon k sabiti

İnce lastik beton eğilme dayanımı		
$E_c = E_m(1+k.V_p)$	E_c	k
		28 günlük $E_m = 24.00$
İLB-15	19.44	-1.267
İLB-30	17.04	-0.967
İLB-45	15.60	-0.778
		$k_{ort} = -1.004$
Kalın lastik beton eğilme dayanımı		
$E_c = E_m(1+k.V_p)$	E_c	k
		28 günlük $E_m = 24.00$
KLB-15	18.72	-1.467
KLB-30	16.80	-1.000
KLB-45	11.52	-1.156
		$k_{ort} = -1.207$

İnce ve kalın lastik parçacıkları kullanılarak üretilen lastik betonun eğilme dayanımları için hesaplanan k sabitleri ile oluşturulan grafik incelendiğinde, k sabitinin lastik hacmi arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir.

Lastik agrega katkılı olarak üretilen betonların ultrases geçiş hızları (U_c) da yine süspansiyon teorisine göre matrisin ultrases geçiş hızı (U_m) ve agrega hacmine (V_p) bağlı olarak belirlenmiş olup, deney sonuçları Tablo 9'da verilmiştir. Lastik agregaların beton içerisinde kullanımıyla beton içerisinde oluşturdukları zayıf bölge nedeniyle U_m değerleri azalmıştır. Lastikli betonların her

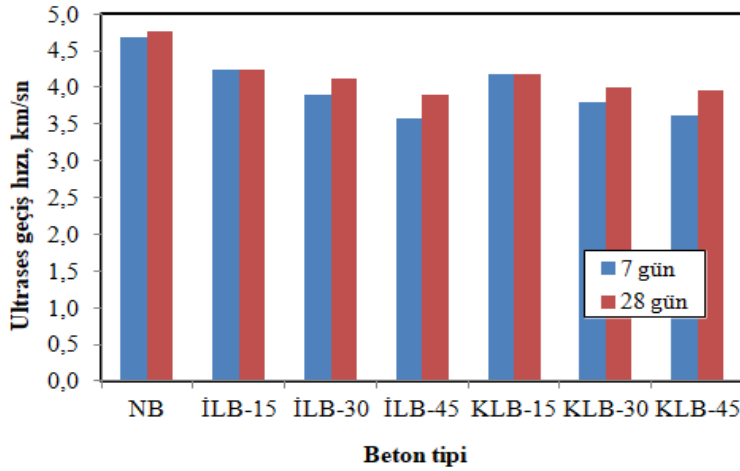
ikisinde 28 günlük betonlarda elde edilen U_c değerleri betondaki hidrasyonun ilerlemesi ve yoğunluğunun artmasıyla daha yüksek değerler almıştır. Diğer yandan, KLB'li betonların U_m değerleri İLB'li betonlardan daha az değerler almıştır.



Şekil 7. LB'lerin eğilme dayanımı süspansiyon k sabiti grafiği

Tablo 9. İnce Lastikli LB'lerin Ultrases Geçiş Hızları

Numune Adı	NB	İLB-15	İLB-30	İLB-45	KLB-15	KLB-30	KLB-45
7 gün	4.68	4.23	3.89	3.57	4.17	3.80	3.61
28 gün	4.76	4.23	4.11	3.89	4.17	4.00	3.95

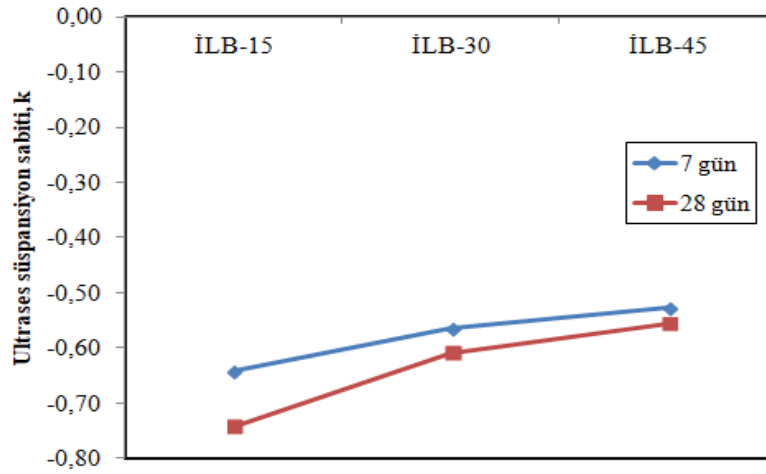


Şekil 8. İnce Lastikli LB'lerin ultrases geçiş hızı grafiği

İLB'lerin 7 ve 28 günlük ultrases geçiş hızı verileri için süspansiyon teorisi denkleminde belirlenmiş olup, 7 ve 28 gün U_c değerlerine göre hesaplanan k sabitleri Tablo 10'da ve bu k sabitlerinin 7 ve 28 gün ultrases geçiş hızlarına göre değerlerini gösteren grafik Şekil 9'da verilmiştir.

Tablo 10. İLB'lerin ultrases geçiş hızına göre hesaplanan süspansiyon k sabiti

İnce lastik beton basınç dayanımı				
$U_c=U_m(1+k.V_p)$	7 günlük $U_m=4.68$		28 günlük $U_m=4.76$	
	U_c	k	U_c	k
İLB-15	4.23	-0.641	4.23	-0.742
İLB-30	3.89	-0.563	4.11	-0.609
İLB-45	3.57	-0.527	3.89	-0.556
		$k_{ort}=-0.577$		$k_{ort}=-0.636$

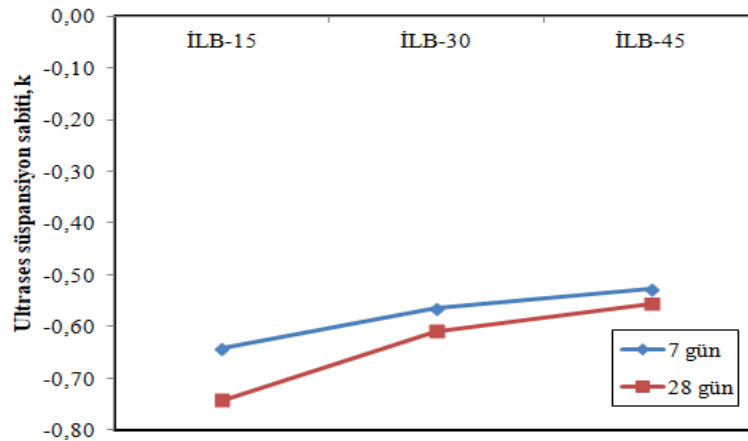


Şekil 9. İnce Lastikli LB'lerin ultrases geçiş hızı süspansiyon k sabiti grafiği

İL-B'li betonların 7 günlük süspansiyon katsayıları 28 günlük betonlarınkine göre daha az değerler almıştır. Bununla birlikte, her iki yaştaki betonların İLB katkı oranı arttıkça süspansiyon katsayıları da yine azalma eğiliminde olmuştur. İLB-45 serilerinde 7 ve 28 günlük "k" katsayısı değerleri yakın değerler almıştır. Benzer şekilde KLB'li betonların da 7 ve 28 gün ultrases geçiş hızına göre hesaplanan k sabitleri Tablo 11'de ve bu k sabitlerinin 7 ve 28 gün U_c 'ye göre karşılaştırılması Şekil 10'da gösterilmektedir.

Tablo 11. Kalın Lastikli LB'lerin ultrases geçiş hızına göre hesaplanan süspansiyon k sabiti

İnce lastik beton basınç dayanımı				
$U_c=U_m(1+k.V_p)$	7 günlük $U_m=4.68$		28 günlük $U_m= 4.76$	
	U_c	k	U_c	k
KLB-15	4.17	-0.641	4.17	-0.742
KLB-30	3.80	-0.563	4.00	-0.609
KLB-45	3.61	-0.527	3.95	-0.556
		$k_{ort} = -0.577$		$k_{ort} = -0.636$



Şekil 10. Kalın Lastikli LB'lerin ultrases geçiş hızı süspansiyon k sabiti grafiği

KLB'li betonlarında süspansiyon sabiti değerleri İLB'li betonlarla oldukça benzer davranışlar göstermiştir. Beton yaşına bağlı olarak 7 ve 28 günlük betonların süspansiyon sabitleri lastik kullanım miktarı artırılmasıyla azalmıştır. Erken yaşlardaki betonların "k" sabiti değerleri 28 günlük betonlara göre daha az değerlere sahip olduğu görülmüştür.

4. Sonuç ve Öneriler

İki farklı lastik tipi, iki farklı beton yaşı ile 3 farklı hacimde lastik kullanılarak üretilen betoların süspansiyon teorisindeki "k" sabitlerinin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Kompozit malzeme özelliklerini tanımlamada yararlanılan süspansiyon denklemi kullanılarak kuru birim ağırlık, basınç, eğilme dayanımı ve ultrases geçiş hızları deney verileri kullanılarak k sabitleri hesaplanıp, bu k değerlerinin ortalaması alınmıştır.
- Kuru birim ağırlık ve basınç dayanımı için hesaplanan k sabitlerinin 28 günlük betonlarda daha az değer aldığı görülmüştür.
- Eğilme dayanımı için hesaplanan k sabitleri sonuçları incelendiğinde; lastik hacmi arttıkça genel olarak k sabitlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, ince lastik agregası kullanımının eğilme dayanımı k sabitini belirli bir oranda azalttığı sonucuna varılmıştır.
- Ultrases geçiş hızı için hesaplanan k sabitleri sonuçları incelendiğinde; lastik agregası tipine göre önemli bir farklılık olmamakla birlikte, beton yaşının artmasıyla k değerleri de artmıştır. Lastik agregası miktarı artırıldığında ise "k" sabiti değerleri azalmıştır.
- Tüm beton tiplerinde ve tüm fiziksel mekanik özelliklerde, genel olarak, lastik agregası kullanım miktarının artırılmasıyla "k" süspansiyon katsayısı değerleri azalmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışmada lastik agregalı betonlar için elde edilen süspansiyon katsayıları kullanılarak, yeni üretilen lastik agregalı betonların bazı mekanik ve fiziksel özellikleri tahmin edilebilecektir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; yazarlar, makalenin fikri, düzenlenmesi ve kontrolü; Yazar2, literatür araştırması, makalenin düzenlenmesi ve Yazar3, literatür araştırması, makalenin düzenlenmesi hazırlanması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- [1]. Karakurt, C. Microstructure properties of waste tire rubber composites: an overview. J Mater Cycles Waste Manag, 2015, 17, 422-433.
- [2]. Topçu, İ.B., Ünal, Ç. Lastik Agregalı Harçlarda Deniz Suyu Etkisi, Bitirme Ödevi, Osmangazi Üniversitesi, Müh.-Mim. Fak., İnş. Müh. Böl., Eskişehir, 2003, s.36.
- [3]. Topçu, İ.B., Eser, Ö.F., Lastik Agregalı Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, TMMOB, İMO İzmir Şubesi Haber Bülteni 1996.
- [4]. Topçu, İ.B., Özçelikörs, Y., Lastik Agregalı Beton, Akdeniz Üniv., Müh. Fak., VII. Müh. Haf., Isparta, 25-29 Mayıs 1992.
- [5]. Topçu, İ.B., Uğurlu, A., Betonda Elastisite Kuramı ve Baraj Betonları İçin Statik E-Modülünün Kompozit Modellerle Tahmini, İMO Teknik Dergi, Cilt 18, Sayı 1, Ocak 2007, ss.4055-4067.
- [6]. Topçu, İ.B., Uğurlu, A., Sümer, M., Betondaki Sıvı Hareketinin Kompozit Malzeme Kuramı İle İncelenmesi, 2008.
- [7]. Ersoy, H.Y. , Kompozit malzeme. İstanbul: Literatür Yayıncılık, 2001.
- [8]. Mooney, M., 1951, The Viscosity of Concentrated Suspensions of Spherical Particles, Journal of Colloids, Vol. 6,No 2, pp. 162-173.
- [9]. Issa, C. A., Salem, G, Utilization of recycled crumb rubber as fine aggregates in concrete mix

- design, *Construction and Building Mat.*, 2013, 42, 48 – 52.
- [10]. Prasad, M. G., Golla, S. Y., Prabhanjan, N., Krishna, A. S., & Alok, G., Mechanical properties of rubberized concrete using truck scrap rubber. *Materials Today: Proceedings*, 2021, 39, 849-854.
- [11]. Topçu, İ.B., *The Properties of Rubberized Concretes*, Cement and Concrete Research, 1995, 25, 2, 304-310.
- [12]. Topçu, İ.B., Assessment of the Brittleness Index of Rubberized Concretes, *Cement and Concrete Research*, 1997, 27, 2, 177-183.
- [13]. Topçu, İ.B. Avcular, N., Collision Behaviours of Rubberized Concrete, *Cement and Concrete Research*, 1997, 27, 12, 1893-1898.
- [14]. Topçu, İ.B., Lastik Agregalı Betonların Dinamik Özellikleri, İMO Ankara Şubesi, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Kasım 1993, Ankara, ss. 339-352.
- [15]. Topçu, İ.B., Lastik Agregalı Betonların Kompozit Malzeme Kuralları İle İncelenmesi, Dumlupınar Üniv., Yapı Mekanigi Semineri 94, Bildiriler Kitabı, Kütahya, Haziran 1994, ss.71-80.
- [16]. Topçu, İ.B., Eser, Ö.F., Lastik Agregalı Betonların Özellikleri, Balıkesir Üniv., Müh.-Mim. Fak., III. Balıkesir Müh.-Mim. Sem., 1995, 10-11, 173-181.
- [17]. Topçu, İ.B., Eser, Ö.F., Lastik Agregalı Betonların σ - ϵ Diyagramları”, Balıkesir Üniv., Müh.-Mim. Fak., III. Balıkesir Müh.-Mim. Semp., 1995, 183-190.
- [18]. Topçu, İ.B., Lastik Katılmış Çimento Harçlarının Özellikleri, Balıkesir Üniv., Müh.-Mim. Fak., III. Balıkesir Müh.-Mim. Sem., 1995, 10-11, 192-200.
- [19]. Topçu, İ.B., Properties of Concretes Containing Waste Rubber Chips, 3rd International Symposium on Environmental Geotechnology, , San Diego CA, USA, June 10-12 1996, 386-394.
- [20]. Topçu, İ.B., Demir, A., Durability of Rubberized Mortar and Concrete, ASCE, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2007, 19, 173-178.
- [21]. Wang, J., Du, B. (2020). Experimental studies of thermal and acoustic properties of recycled aggregate crumb rubber concrete. *Journal of Building Engineering*, 32, 101836.
- [22]. Nayef, A., Fahad, A., Ahmed, B., Effect of microsilica addition on compressive strength of rubberized concrete at elevated temperatures, *J Mater Cycles Waste Manag.*, 2010, 12, 41–49.
- [23]. Bravo, M., Brito, J., Concrete made with used tyre aggregate: durability-relat performance”, *J. of Cleaner Production*, 2012, 25, 42-50.
- [24]. Azevedo, F., Pacheco-Torgal, F., Jesus, C., Aguiar, J.L.B., Camões, A.F., “Properties and durability of HPC with tyre rubber wastes”, *Construction & Building Materials*, 2012, 34, 186–191.
- [25]. Topçu, İ.B, Demir, A., Atık lastik ve uçucu küllü harçların özellikleri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2007, 20(2), 189 - 201.
- [26]. Karimipour, A., Ghalehnovi, M., Brito, J. . Mechanical and durability properties of steel fibre-reinforced rubberised concrete. *Construction and Building Materials*, 2020, 257, 119463.
- [27]. Shaji, R., Ramkrishnan, R., Sathyan, D., Strength characteristics of crumb rubber incorporated self-compacting concrete. *Materials Today: Proceedings*, 2020, in-press.
- [28]. Zhu, X., Miao, C., Liu, J., Hong, J., Influence of Crumb Rubber on Frost Resistance of Concrete and Effect Mechanism, *Procedia Engineering*, 2012, 27, 206–213.
- [29]. Han, Q., Wang, N., Zhang, J., Yu, J., Hou, D., Dong, B. . Experimental and computational study on chloride ion transport and corrosion inhibition mechanism of rubber concrete. *Construction and Building Materials*, 2021, 268, 121105.
- [30]. Topçu, İ.B. Beton oto korkuluklarında lastik agregalı betonların kullanım olanakları. TÜBİTAK İNTAG Proje İNTAG-612, 1995.
- [31]. Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T., Sustainability of using waste rubber in concretes, *Sustainability of Construction Materials*, Chapter 23, Edited by Jamal, M. Khatib, Woodhead Publishing Ltd, August 19, B978-0-08-100995-6.00023-1, 00023, 978-0-08-100995-6, 2016, 597-620.