



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Lifli Betonun Çekme Dayanımı Üzerindeki Boyut Etkisinin Üçgen Plaka Deney Yöntemi İle Belirlenmesi

 Faiz Agha SHAREEF^a,  Hakan T. TÜRKER^a,  Hamidullah MIRKHEEL^a,  Turan ARSLAN^a,  Bashir Ahmad MAYAR^a,  Babür DELİKTAŞ^{a,*}

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: bdeliktas@uludag.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.568890

ÖZET

Boyut etkisi betonun kırılma mekaniğinin önemli bir uygulamasıdır. Yapılan çalışmaların çoğu tek eksenli gerilme durumunu veren numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ancak döşeme, kaldırım ve beton yol gibi yaygın olarak kullanılan beton yapılar genellikle çok eksenli gerilme durumlarına maruz kalmaktadır. Dolayısıyla yapı malzemelerinin çok eksenli çekme dayanımlarının belirlenmesi yapı elemanlarının tasarımında önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada çelik lifli betonların iki eksenli eğilmede çekme dayanımı üzerinde boyut etkisinin üçgen plaka yöntemi kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, 0,42 su çimento oranına sahip ve numune kalınlık/kenarortay (t/r) oranı sabit tutularak farklı boyutlarda çelik lif içeren harç numuneleri hazırlanmıştır. Karışımda hacimce %1 oranında iki ucu kancalı çelik lif katılarak toplamda 5 farklı boyutta 15 adet üçgen plaka kalıpları içinde üretilmiştir. Üretilen numuneler 28 gün standart koşullarda kür edilmiştir. Kürlenen numuneler üzerinde üçgen plaka deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen veriler üzerinde boyut etkisi analizleri yapılmış olup boyut etkisi eğrileri çizilmiştir. Sonuç olarak üçgen plaka numunelerin kalınlığı (t) arttığında kırılma yükleri artarken gerilmelerin azaldığı gözlemlenmiştir. Üçgen plaka yönteminin çelik lifli betonların iki yönlü çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisini ve kırılma davranışını belirlemede alternatif bir deney yönetimi olarak kullanılabilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Üçgen Plaka Yöntemi, Çekme Dayanımı, Boyut Etkisi, Çelik Lif, Su Çimento Oranı, Kırılma Mekaniği

Determination of The Size Effect on Tensile Strength of Fibrous Concrete By Traingle Plate Experimental Method

ABSTRACT

The size effect is an important application of concrete fracture mechanics. Therefore, many studies have been done on determining the size effect on concrete structures in recent years, most of which have been carried out by using specimens under uniaxial tensile stress. However, many reinforced concrete structures, such as slabs, pavements and concrete roads concrete are subjected to biaxial tension. Therefore, determining tensile strength of concrete is crucial to better design of the concrete structures. In this study, the size effect on the tensile strengths of mortar mixtures is investigated. The triangular plate method is used to find the size effect on the tensile strength of the mortar mixture. For this purpose, the mortar mixture specimens containing steel fibers that have 0.42 water-cement (w/c) ratio with various sizes in triangular form are prepared and analyzed. A total of 15 specimens triangular plate with 5 different sizes that contains 1% steel fibers in volume are prepared while the thickness/median (t/r)

ratio is kept constant. Triangular plate tests are conducted on the specimens cured in standard conditions for 28 days. The size effect curves, which are obtained from the analyses, showed that an increase in the thickness of the plate samples (t) results in increases the collapse loading and therefore, decreases stressess. Therefore, it can be concluded that the triangular plates testing method can be used as an alternative test to determine the size effect on the tensile strength and fracture behavior of the fibrous mortar mixture.

Keywords: Triangular Plate Method, Tensile Strength, Size Effect, Steel Fiber, Water Cement Ratio, Fracture Mechanics

I. GİRİŞ

Lifli betonlar değişik yükler altında gösterdiği davranış ve performans açısından normal betondan daha sünek özelliğe sahip olmalarından dolayı son yıllarda kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Bu sünek davranış , beton içerisinde iyi bir şekilde dağılan liflerden kaynaklanmaktadır. Ve bu lifler çatlakların ilk oluşum anında çatlak sonlarındaki gerilmeleri kendi üstlerine yada sağlam alanlara aktararak işlerini yerine getiriyorlar. Ve bu lifler çatlakların ilk oluşumunda çatlak sonlarındaki gerilmeleri kendi üstlerine yada sağlam alanlara aktararak işlerini yerine getirmektedirler. Lifli karışımda oluşan bu mekanizma çatlakların oluşumunu ve büyümesini engellendiğinden betondaki kırılmalar için daha büyük yükler gerekmektedir. Koç ve Birinci [4] tarafından hem normal hemde lifli beton numuneler üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda eleman boyutlarının azalması ile numunelerin sünek davranış gösterdiği gözlenmiştir. Bu durum, deneyler yapılırken büyük boyutlu elemanların nispeten daha ani ve gürültülü göçmeleriyle de gözlenmiştir. Boyut etkisi malzemenin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkileyen bir parametre olduğu bilinmektedir. Lineer Elastik Kırılma Mekanikliği boyut etkisini dikkate almadığından betonun kırılma parametrelerinin tespitinde yetersiz kaldığı bilinmektedir [13]. Beton gibi malzemelerde kırılma parametrelerini belirlemek için araştırmacılar tarafından birçok lineer olmayan kırılma mekanikliği modelleri önerilmiştir. Bu lineer olmayan yaklaşımlardan en önemlisi Bazant'ın beton dayanımı üzerindeki boyut etkisini incelemek için önerdiği bağıntıdır. Bu sayede Bazant, betonda daha büyük bir kırılma süreç bölgesi olduğunu tespit etmiştir [2]. Son yıllarda beton basınç ve çekme dayanımları üzerinde boyut ekisini belirlemek üzere bir çok deneysel ve sayısal çalışmalar yapılmıştır [3]. Ancak laboratuvar ortamında genellikle tek eksenli gerilme durumları için malzemenin mekanik özellikleri üzerinde belirtilen boyut etkileri incelenmiştir. Dolayısıyla gerçek gerilme durumları için boyut etkisinin malzemenin mekanik özellikleri üzerinde benzer yada yakın etkileri var mıdır sorusu akla gelmektedir. Çünkü döşeme, kaldırım ve beton yollarda yaygın olarak kullanan betonlar genellikle iki yönlü eşit gerilmelere maruz kalmaktadır. Dolayısıyla bu tür yapıların tek yönlü gerilmeler altında değerlendirilmesi uygun olmayacaktır. Bu nedenle betonların iki yönlü çekme dayanımlarının belirlenmesine yönelik son yıllarda bir çok deney yöntemi önerilmiştir. Zi ve arkadaşları [9] tarafından eğilme deneyinin bir genelleştirmesi olan, çevresel basit mesnet üzerinde dairesel plaka deneyi geliştirilmişlerdir. Üç noktalı eğilme deneyinin genelleştirilerek betonun iki yönlü çekme dayanımı belirlemek için geliştirilmesi ASTM 1550 standartlarında da bulunabilir [14]. Bu ASTM standart deneyinde, dairesel plaka numune çevresel olarak üç noktada küresel mesnetler ile desteklenerek orta noktasından piston ile yüklenerek test edilmektedir. Ancak dairesel plaka yönteminde numunelerin hazırlama zorluğundan dolayı Türker [7] betonun iki yönlü çekme dayanımı belirlemek için Üçgen Plaka Yöntemi (ÜPY) geliştirmiştir. Türker'in sınırlı sayıda yaptığı testlerden elde ettiği sonuçlar önerdiği formülle uyumlu çıkmıştır. Ancak sünek malzemeler için kullanılan akma çizgilerinin gevrek malzemeler için de uygulanabilirliğinin tespit edilmesi gerekmektedir. Pratikte bir çok uygulama alanı olan plastik teoriye dayalı akma çizgileri yönteminin harç ve beton gibi gevrek malzemelerde de uygulanabilirliğini göstermek literatüre önemli katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada iki yönlü çekme durumuna maruz lifli betonlardaki boyut etkisinin üçgen plaka yöntemi kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, hacimce %1 oranında çelik lif içeren sabit 0,42 su/çimento oranına sahip 7 farklı boyutta 21 adet üçgen plaka kalıpları içinde çentiksiz numuneler üretilmiştir. Deney numuneleri çentiksiz olduğundan herbir bir numunenin göçme

yüklerinin karşılaştırılması için Bazant'ın önerdiği Tip I boyut etkisi bağıntısı deney numelerinden elden edilen sonuçların boyut etkisi analizlerinde kullanılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. MALZEMELER VE KARIŞIM

Bu çalışmada çentiksiz olarak hazırlanan üçgen plaka numuneleri su/çimento oranını esas alarak lifli karışım hazırlanmıştır. karışımda ince agrega(maksimum tane boyutu 5mm olan) kullanılmıştır. Kullanılan agreganın özgül ağırlığı 2.68 gr/cm^3 ve agrega su emme oranı yüzde 1.60 çıkmıştır. Deneylerimizde normal musluk su kullanılmıştır. Üretilen beton harcı için aşağıdaki mekanik özelliklerine sahip olan çimento kullanılmıştır.

Tablo 1. Çimentonun kimyasal ve fiziksel mekanik özellikleri

Madde	(%)	Mekanik özellikleri		
SiO ₂	18.86	Özgül ağırlık	3.15	
Al ₂ O ₃	5.71	Mekanik özellikleri		
Fe ₂ O ₃	3.09	1-gün	14.7	
CaO	62.7	Basınç dayanımı (MPa)	2- gün	26.8
MgO	1.16		7- gün	49.8
SO ₃	2.39		28- gün	58.5

karışımda **polikarboksilat** esaslı **ARG HA 5059** aşağıdaki özelliklerine sahip olan **süper akışkanlaştırıcı** katkı kullanılmıştır.

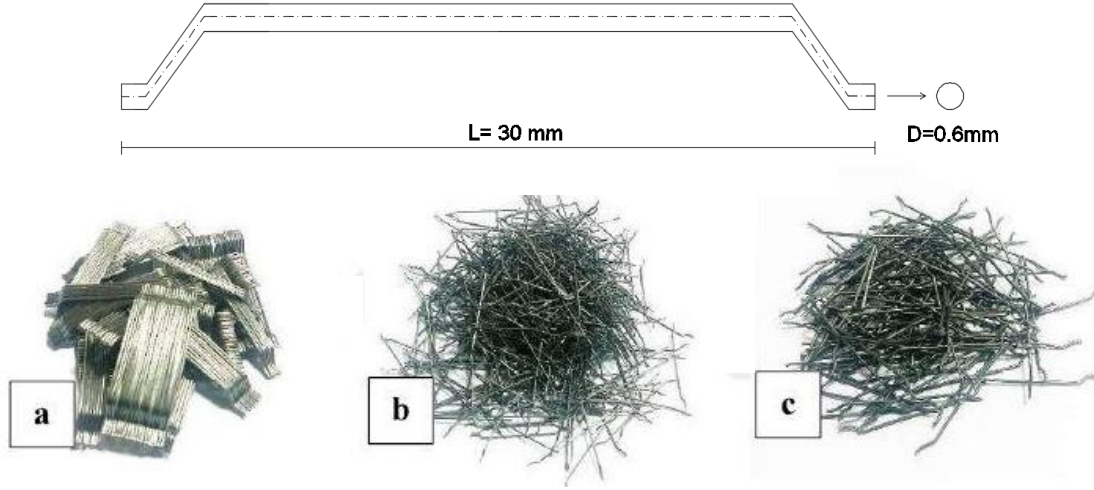
Tablo 2. Polikarboksilat ARG HA 5059 akışkanlaştırıcı analiz sertifikası

Ürün Tipi	Yüksek Oranda Su Azaltıcı Süper Akışkanlaştırıcı TS EN 934-2 Ç.3.1.3.2			
Ürün Adı	ARG HA 5059	TS EN 934-2		Standart Değerler
Renk	Kahverengi	PSTM	Üniform, trf. Uyg.	Kahverengi
Bağıl Yoğunluk	1,097	ISO 758	D>1.10 ise D±0.03 D<1.10 ise D±0.02	1.070-1.110
Katı Madde Miktarı (%)	36,35	TS EN 480-8	T≥20 için 0.95T≤X<1.05T T<%20için 0.90T≤X<1.10T	34.00-38.00
Ph Değeri	3,82	ISO 4316	Üretici tarafından beyan edilen aralık	3.00-6.00
Klorür Değeri	< 0,1	TS EN 480-10	Kütlice en çok %0.10	< 0.1
Alkali Miktarı (Na ₂ O) %	< 10	TS EN 480-12	Üretici beyanına göre	< 10

ve hacimce yüzde 1 olan çelik lifler kullanılmıştır. Kullanılan çelik lifin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3'te ve geometrisi Şekil 1'de gösterilmektedir.

Tablo 3. Çelik liflerin mekanik ve fiziksel özellikleri

Tip	1	2	3
Narinlik oranı	54	64	50
Uzunluk (mm)	30	35	50
Çap (mm)	0,55	0,55	1
Yoğunluk (gr/cm ³)	7,8	7,8	7,8
Çekme dayanımı (N/mm ²)	1500	1500	1100



Şekil 1. Kullanılan iki ucu kancalı çelik liflerin geometrisi; Narinlik oranları (a)54, (b) 64 ve (c) 50

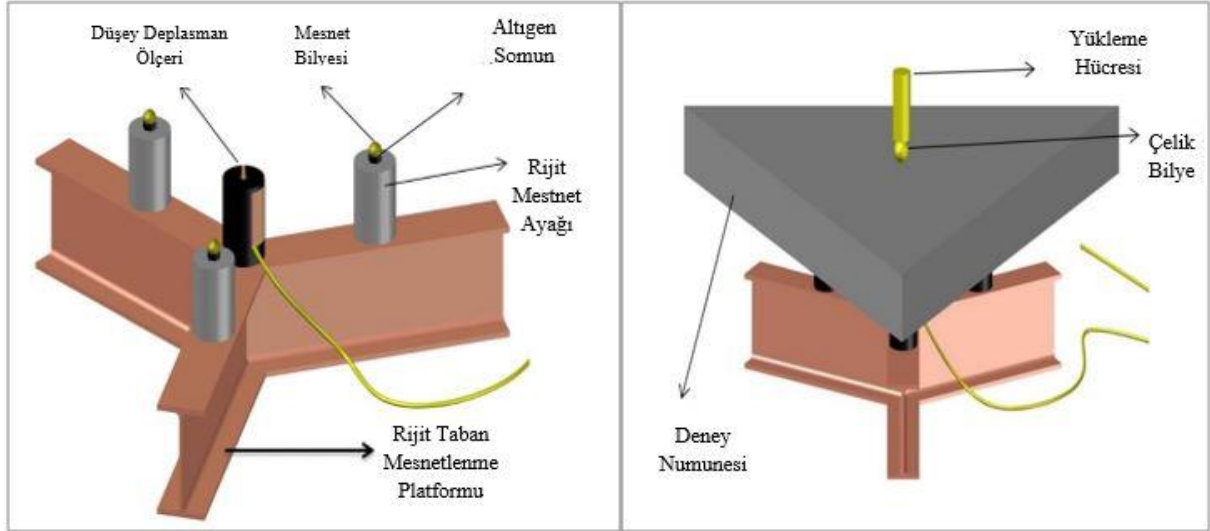
Beton karışımları TS 802 standardına [15] uygun olacak şekilde Tablo 4’te verilen karışım miktarları esas alınarak hazırlanmıştır. Bu harç karışımlarına TS 802 standardına göre laboratuvarında yayılma deneyleri yapılmıştır. Harç karışımın yayılma miktarı 25 ± 2 cm’de kalması için karışımlara süper akışkanlaştırıcı katkı eklenmiştir. Sonuç olarak, yayılma deneyleri sonucunda 2153,8 gr karışımda 1,50 gr katkı kullanıldığında 24,35 cm yayılma olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4. Lifli harç karışım miktarları

HARÇ KARIŞIMI		
Su Çimento Oranı	MALZEME Miktar (Kg)	
0,42	Su	0,210
	Çimento	0,500
	Agrega	1,375
	Katkı Miktarı	0,0015
	Lif	0,0688
Toplam	2,1553	

B.ÜÇGEN PLAKA YÖNTEMİ

Çimento esaslı malzemelerin iki eksenli eğilmede çekme dayanımını tespit etmek amacı ile Türker [7] tarafından geliştirilen ÜPY kullanılmıştır. Şekil 2 ve 3’te görüldüğü üzere bu yöntem doğrultusunda yük üçgen numunenin ağırlık merkezine uygulanmakta ve mesnetler üçgenin kenarortaylarının üçte biri noktalarına çelik bilyeler yerleştirilerek yapılmaktadır.



Şekil 2. ÜPY'de mesnetleme platformu ve numune yükleme gösterimi (Mirkheel 2018)

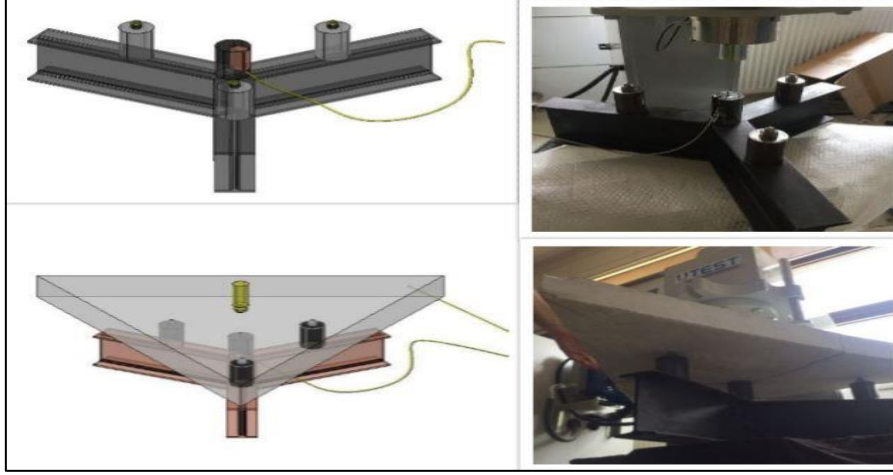


Şekil 3. ÜP Numunenin yükleme aşaması (Mirkheel 2018)

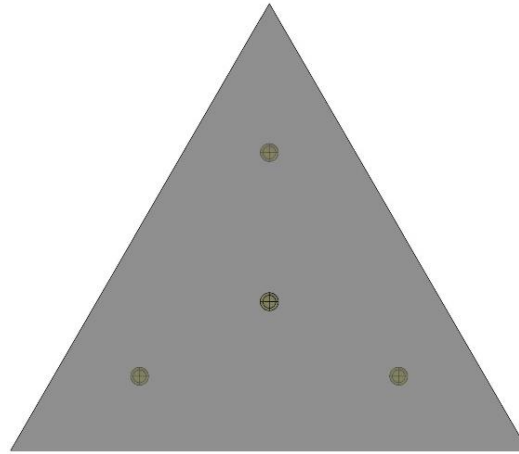
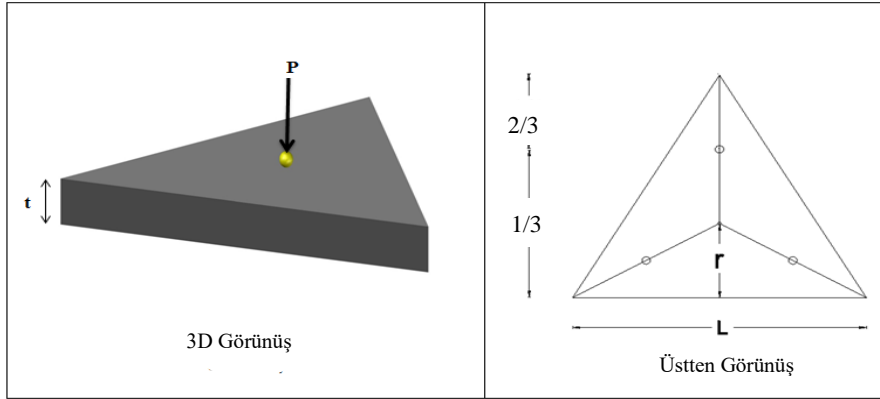
Şekil 2 ve 3'te yerleştirilen mesnetler üçgenin kenarortaylarını kullanarak numune $r = L/3$ kadar kenarlarından uzak tutulduğundan kenarlarda meydana gelen ezilme kırılmalarının oluşumunun önüne geçilmektedir, Mirkheel 2018 tarafından detaylı olarak çalışmalar yapılmıştır. ÜPY deneyinde yükleme noktasından üçgenin kenarlarının orta noktalarına uzanan çatlak çizgilerine dik doğrultularda asal çekme gerilmeler oluşur ve bu gerilme iki eksenli çekme dayanımı olarak tanımlanır. Deney numunesi düzeneğinin ve çekme dayanımı hesaplanması için türetilen denklemin basitliğinden dolayı ÜPY'nin iki eksenli çekme dayanımı belirlenmesinde diğer yöntemlere göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. Ancak ÜPY'de kullanılacak numunelerin boyut etkisi tespit edilirken yöntemin sağlıklı sonuç vermesi için gerekli numune boyutlarının ve boyut oranlarının belirlenmesi gerekmektedir.

C. DENEY DÜZENEĞİ

ÜPY'nin deney düzeneğinde numuneler eşkenar üçgen plakalar şeklinde hazırlanır ve üçgen plakaların mesnetlenme ve yüklemesi numunenin alttan ve üstten yerleştirilen bilyeler ile yapılmaktadır. Üçgen plakaların yüklemesinde numunenin üst yüzeyinden ağırlık merkezine piston sabitlenerek ucuna yerleştirilmiş çelik bilye yardımıyla uygulanır. Plakalarda deplasmanı ölçmek için bir LVDT aleti plakaların alt yüzeyinde üçgenin kenarortayların kesiştiği noktaya yerleştirilir. Mesnet ve yükleme bilyeleri, altıgen somunlar kullanılarak tutturulmuş ve bu şekilde serbest mesnetler oluşturulmuştur [7]. Şekil 4 ve 5 üçgen plaka yükleme ve mesnetleme platformlarının nasıl yapıldığını göstermektedir.



Şekil 4. ÜP yükleme ve mesnetleme platformlar gösterimi



Şekil 5. ÜP numunelerin deney düzeneğinin kesit görüntüleri

Üçgen plaka numunelerinde boyut etkisinin incelenmesi için plakaların kalınlığı t karakteristik boyut olarak kabul edilmiştir. Bu doğrultuda t/r oranı sabit olacak şekilde R1, R2, R3, R6 ve R7 no'lu numuneler hazırlanmıştır. Tablo 5'te üçgen plakalar için boyut değişimi mesnetleme ve yükleme detayları verilmektedir.

Boyut değişimi, TS 802 standardına göre s/ϕ oranı 0,42 olarak harç hazırlanıp numunelerde t/r oranı sabit tutularak boyut değişimi dizayn edilmiştir.

Tablo 5. ÜP numunelerin boyut değişimi mesnetleme ve yükleme detayları

Numune	Adet	L (mm)	t (mm)	r (mm)	t/r
R1	3	1050	75	303,10	0,25
R2	3	875	62,50	252,60	0,25
R3	3	700	50	202,10	0,25
R6	3	420	30	121,20	0,25
R7	3	350	25	101,00	0,25

Tablo 5'te verilen ÜP numunelerin mesnetleme ve yükleme detaylarında, t/r oranı sabit olmayan R4 ve R5 nolu plakalar boyut etkisi hesaplamalarında dikkata alınmamıştır.

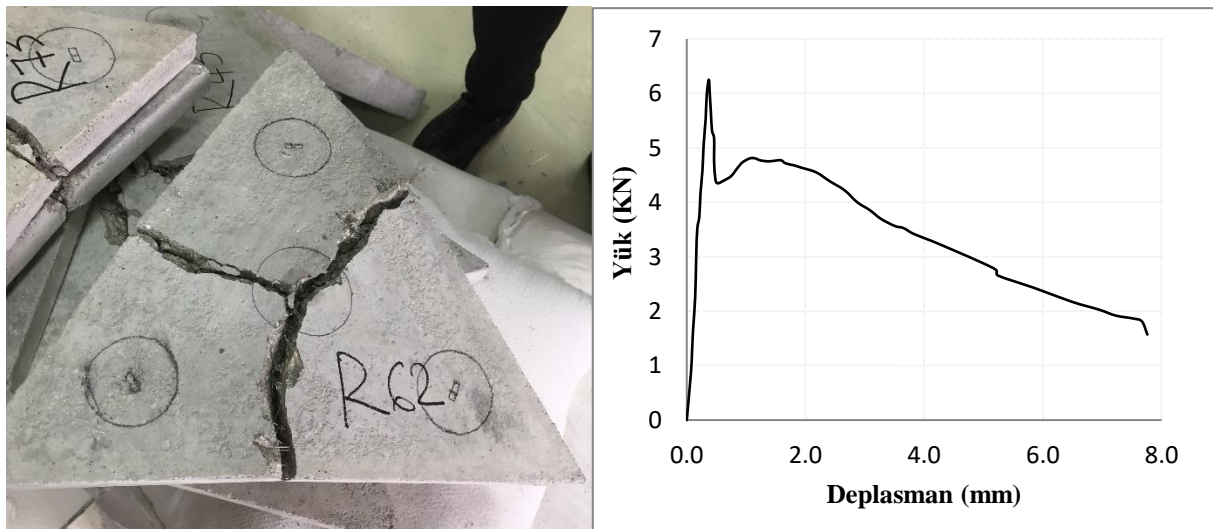
III. DENEYSEL BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde deneylerden elde edilen sonuçlar ve bulgular sunulmuştur. Deney sonuçları kullanılarak çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisi analizleri, Türker tarafından geliştirilen çekme dayanımı formülü, Bazant'ın Tip I boyut etkisi bağıntısında kullanılarak ve lineer regresyon yöntemleri kullanılarak yapılmıştır.

A. DENEY SONUÇLARI

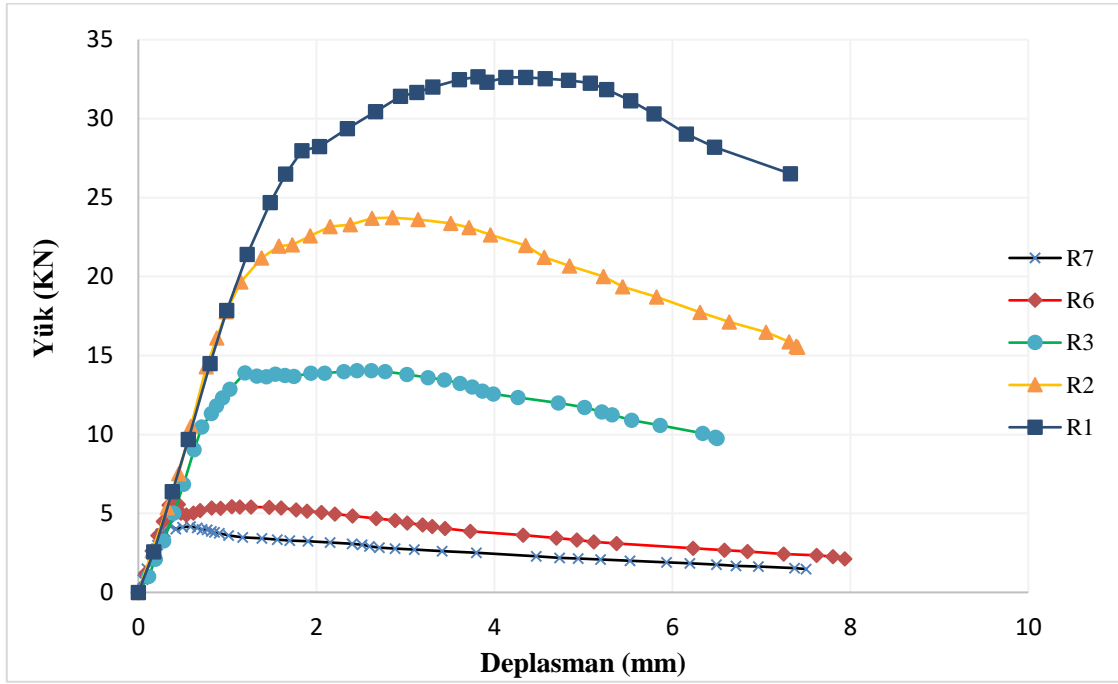
Deney sonuçlarından numune olarak bir adet elemanın kırılmış hali ve yük-deplasman eğrisi Şekil 6'da verildi. Numunelerde kırılmalar beklendiği gibi akma çizgileri doğrultusunda gerçekleşmiştir.

Diğer tüm numunelerde buna benzer çatlaklar ve kırılmalar meydana gelmiştir.



Şekil 6. Bir ÜP numunesinin kırılmış hali

Şekil 7’de yapılan deneylerde numunelerin için elde edilen yük deplasman eğrileri gösterilmektedir.



Şekil 7. R1, R2, R3, R6 ve R7 nolu numunelerin yük-deplasman grafikleri

Şekil 7’de görüldüğü üzere küçük numunelerin (R6, R7) yük deplasman eğrileri kapasitelerine ulaşıncaya kadar doğrusal bir davranış göstermekte, kapasitelerine ulaştıktan sonra yükte ani düşüş olmaktadır. Büyük numunelerin yük deplasman eğrileri numuneler kapasite değerlerine ulaşmadan önce doğrusallığını kaybederek kapasite yük değerlerine ulaşmakta sonrasında ani yük kaybı olmaksızın yükleri azalmaktadır. Küçük numunelerde çelik liflerin boyu numune boyutuna göre nisbeten büyük olduğundan numuneler kapasitelerine ulaşıncaya kadar çelik liflerde aderans kaybı (sıyrılma) oluşmamıştır. Nisbeten büyük numunelerde numuneler kapasitelerine ulaşmadan önce liflerde aderans kayıpları oluşup küçük sıyrılmalar neticesinde çok sayıda küçük çatlaklar oluşmaktadır. Çatlakların oluşmasıyla diğer lifler aktif hale gelip yük almaktadır.

B. BOYUT ETKİSİ

Türker [7] Akma Çizgileri Yöntemini (AÇY) [6] kullanarak harçların çekme dayanımını veren formülü elde etmiştir. AÇY sünek elemanlarda kullanılan plastik teoriye dayalı bir yöntemdir. Türker bu yöntemi sünek olmayan gevrek bir elemanda kullanmıştır. Üçgen plaka yükleme kapasitesine ulaştığı noktadaki çatlak oluşum durumu plakanın mekanizma durumu olarak değerlendirilip çekme dayanımı formülü aşağıdaki gibi verilmiştir [7].

$$\sigma_N = \frac{2P_u}{t^2\sqrt{3}} \quad (1)$$

Eşitlik 1’de t plaka kalınlığını (mm), P_u ise plakanın göçme anındaki yükünü (kN) ifade etmektedir. Burada elde edilen çekme dayanımı, boyut etkisi analizleri için Bazant’ın [12] Tip I boyut etkisi bağıntısında kullanılmıştır.

Tip I boyut etkisi genel olarak çentiksiz veya çatlaksız elemanlar için geçerli olup aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$\sigma_N = f_r^\infty \left[1 + \frac{rD_b}{D+l_p} \right]^{1/r} \quad (2)$$

Bu eşitlikte σ_N göçmedeki nominal gerilme (MPa), f_r^∞ , l_p , D_b ve r sabitleri deneylerden elde edilen ampirik sabitlerdir. Betonlar için r sabiti 1 veya 2 alınmaktadır, bu çalışmada Tip I boyut etkisi eşitliğinde $r = 1$ olarak alınmıştır [12]. l_p malzeme karakteristik uzunluğu olup en büyük agrega boyutuna bağlıdır, bu çalışmada maksimum tane boyutu 5mm olan agrega (ince agrega) kullanıldığından l_p ihmal edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışma boyunca Tip I boyut etkisi eşitliği aşağıdaki şekilde yazılabilir [16].

$$\sigma_N = f_r^\infty \left[1 + \frac{D_b}{D} \right] \quad (3)$$

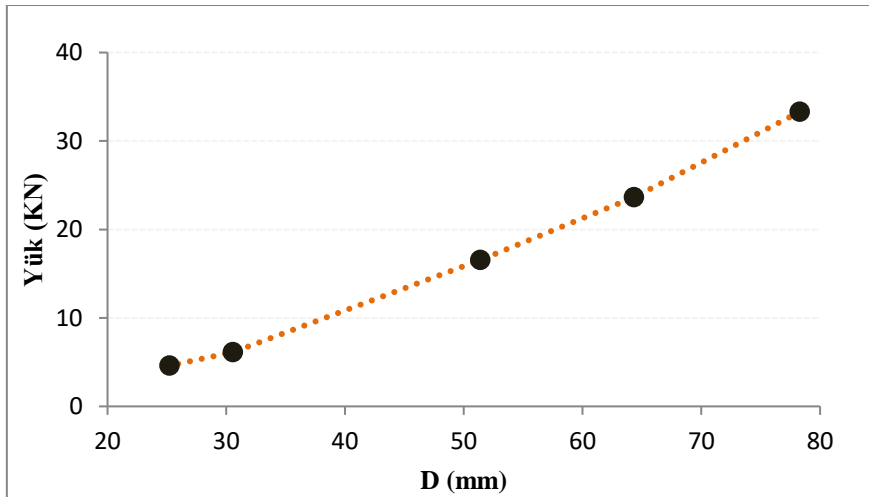
Eşitlik 3'te plakalar için karakteristik boyut $D = t$ (plakaların kalınlıklarına tekabül etmektedir). Deney sonuçları Tablo 6'da özetlenmiştir.

Tablo 6. ÜP numunelerin ortalama göçme yükleri, deplasmanları ve gerilmeleri

Numuneler	Deplasman (mm)	Ortalama Yük, Pu (KN)	Ortalama Gerilme (Mpa)
R1	7,326	32,647	6,271
R2	7,410	23,729	6,601
R3	6,505	14,053	6,952
R6	7,939	5,657	7,596
R7	7,503	4,265	8,373

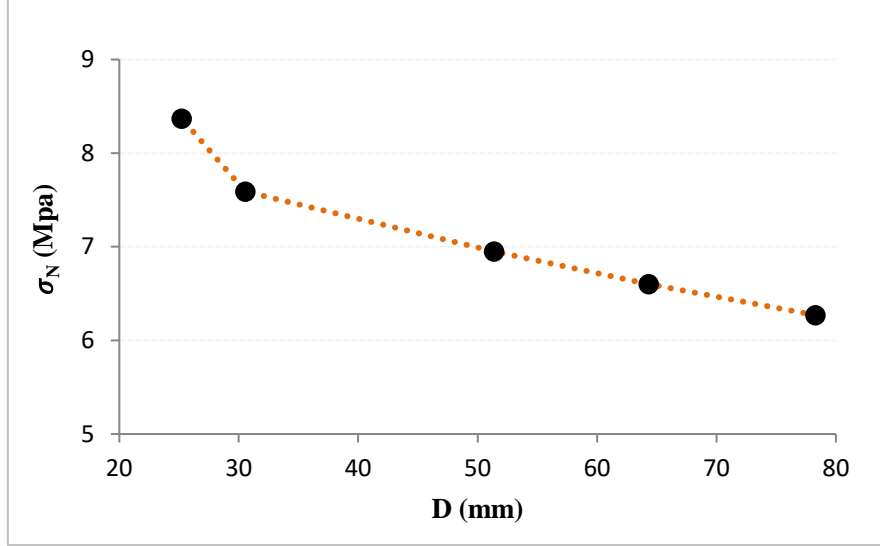
Tablo 6'da verilen ÜP numunelerin sonuçlarında, t/r oranı sabit olmayan R4 ve R5 nolu plakalar dikkata alınmamıştır.

Plaka kalınlıklarına göre göçme yükleri Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8. ÜP elemanlarda karakteristik boyuta bağlı maksimum yük kapasiteleri

Şekil 8'den anlaşıldığı üzere t kalınlıkları arttığında buna bağlı olarak rijitlik artacağından göçme yüklerinde artışlar meydana gelmektedir. Eşitlik 1 kullanılarak plaka kalınlıklarına göre hesaplanan plakanın göçmedeki nominal çekme gerilmeleri Şekil 9'da gösterilmiştir.

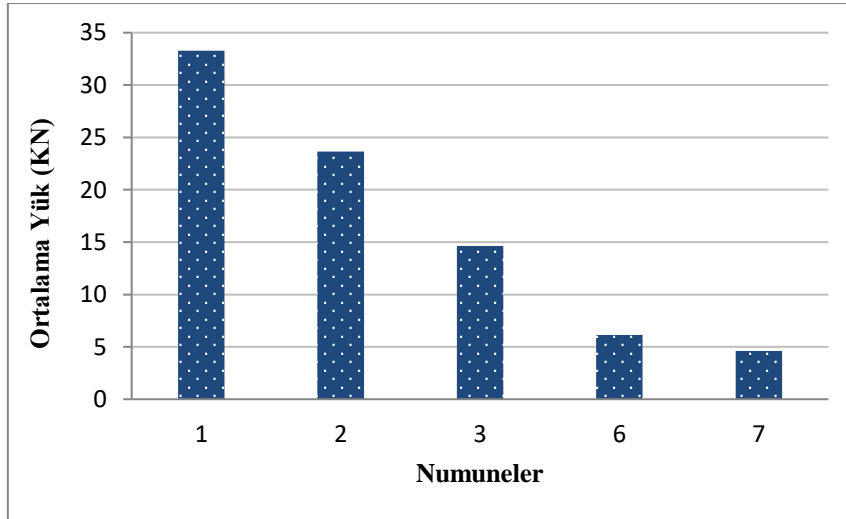


Şekil 9. ÜP elemanlarda karakteristik boyuta bağlı maksimum gerilme kapasiteleri

Aynı şekilde, Şekil 9'dan anlaşılacağı üzere t kalınlıkları arttığında rijitlik arttığından göçme gerilmelerinde azalmalar meydana gelmektedir.

C. NUMUNELERDE GÖÇME YÜKLERİN KARŞILAŞTIRMASI

Bu kısımda her bir boyuta ait numunelerde göçme yüklerinde artış ve azalmalar değerlendirilmiştir. Şekil 10'da numunelerin göçme yüklerinde beklenen artış miktarları gösterilmiştir.



Şekil 10. ÜP numunelerinde ortalama göçme yüklerindeki artış grafiği

Şekil 10'dan anlaşıldığı üzere ÜP numunelerinde göçme yüklerinde artış söz konusudur, yani kalınlık arttıkça seri numunelerinde kırılma yükü de artmaktadır.

D. NUMUNELERİN BOYUT ETKİSİNDE LİNEER REGRESYONLAR

Bu çalışmada boyut etkisi sonuçları ve sonuçların analizleri için Tip 1 boyut etkisi [12] denklemleri kullanılmıştır. Eşitlik 3'te verilen boyut etkisi denklemini lineer regresyon şeklinde formüle edilip, $Y = AX + C$ haline getirilmiştir. Yani $\sigma_N = f_{r^\infty} + f_{r^\infty} D_b \frac{1}{D}$ formuna getirilmiştir (burada σ_N daha önce

Tablo 6’de de verilen) Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanan göçmedeki nominal gerilmeleri göstermektedir. Bu eşitlik lineer regresyon formülünde $Y = \sigma_N$, $X = \frac{1}{D}$, $C = f_{r^\infty}$ ve $D_b = \frac{A}{C}$ şeklinde tanımlanmaktadır.

Tip 1 boyut etkisi denklemleri hesabında X (bağımsız değişken) olarak numunelerin karakteristik boyutunu $1/D$ (yani $1/t$) ve Y (bağımlı değişken) olarak σ_N alınarak lineer regresyon yapılmıştır. Numuneler için lineer regresyondan elde edilen katsayılar Tablo 7’de verilmiştir.

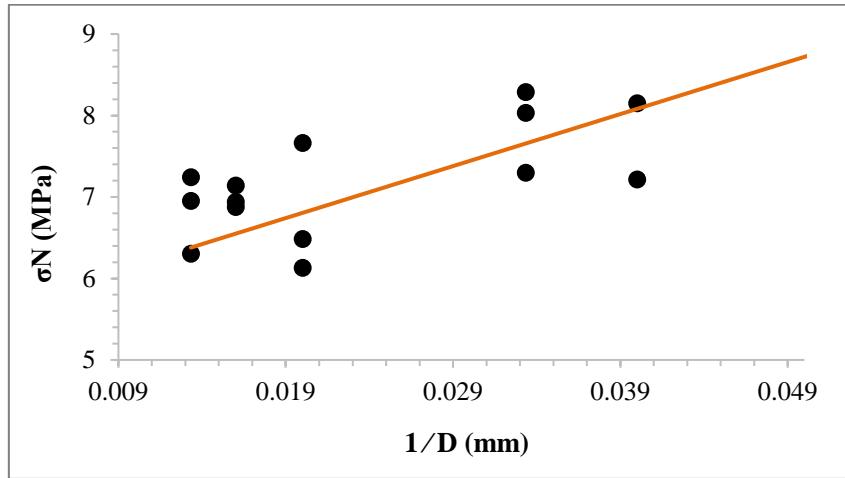
Tablo 7. Plakalarda lineer regerasyonlardan elde edilen katsayılar

Regresyon Modeli	Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar	t-istatistik	İstatistiki Anlamlılık
	Katsayılar	Std. Hata	Beta		
Sabit	5,828	0,504		11,574	0
1/D	63,84	18,911	0,683	3,376	0,005

Tablo 7’de görüldüğü üzere doğrusal regresyon analizi sonucunda sabit ($f_{r^\infty} = C$) ve $1/D$ ’nin katsayısı A , istatistiksel olarak oldukça anlamlı çıkmıştır ($p < 0,005$). σ_N ve $1/D$ arasında elde edilen ilişki aşağıdaki gibidir:

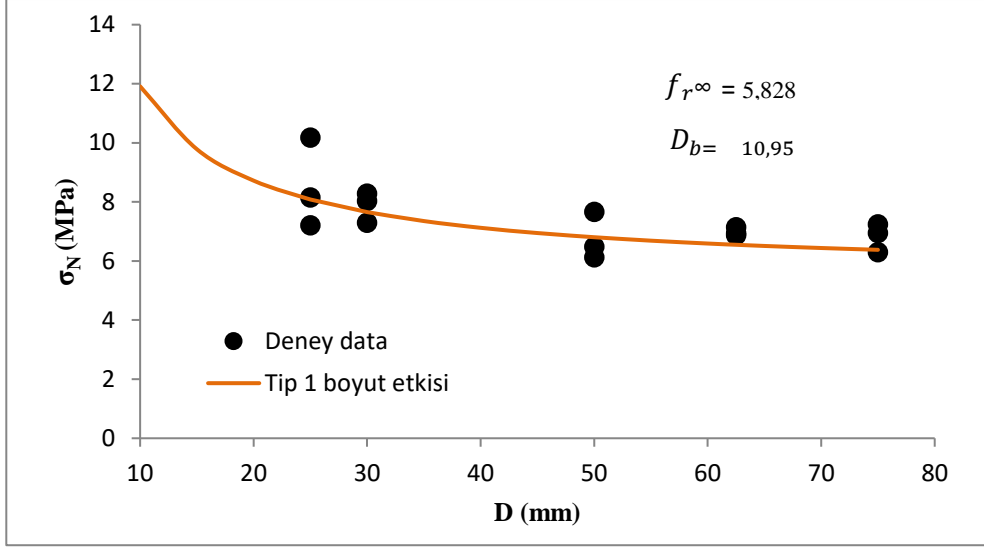
$$\sigma_N = 5,828 + 63,840/D \quad (4)$$

Eşitlik 1’in linneerleştirilmesiyle elde edilen $Y = AX + C$ ile uyumlu lineer regresyon modelindeki C ’nin pozitif ve sıfırdan farklı olması gerekmektedir (Şekil 11).



Şekil 11. Üçgen numune Plakalarda lineer regresyon eğrisi

Plakalarda Lifli üçgen numunelerin çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisi daha iyi anlaşılabilmesi için Eşitlik 3’te verilen Tip I boyut etkisi bağıntısı lineer regresyonlar ile düzenlenerek elde edilen katsayılar doğrultusunda X eksenini için D ve Y eksenini için σ_N değerleri kullanılarak aşağıdaki eğri elde edilmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Plakalarda boyut etkisi eğrisi

Şekil 12’de görüldüğü gibi deney numuneleri plaka kalınlıkları artarsa çekme dayanımlarında azalma görülür. Sonuç olarak deney sonuçları üzerinde yapılan boyut etkisi analizleri, lifli harçların çekme dayanımı üzerinde boyut etkisinin olduğu söylenebilir.

IV. SONUÇ

Değişik boyut ve kesitlerde 0,42 su-çimento oranına sahip çelik lifli toplamda 21 adet üçgen plaka test edilmiştir. Yük altındaki göçme yükleri ile yer değiştirme sonuçlarından aşağıdaki sonuçlarına ulaşılabılır.

- Bu çalışmanın sonucunda ÜP numunelerde net boyut etkisi elde edilmiştir.
- Deney sonuçları Bazant’ın Type 1 boyut etkisi yasası kullanılmasının uygun olduğunu göstermiştir.
- Tüm ÜP numunelerde boyut etkisi görülmüştür.
- Plakalarda numunelerin kalınlığı (t) arttığında plakalarda gerilmelerin azalması, yüklerde ise artış meydana gelmiştir.
- Tüm umunelerde kırılmalar sünek bir şekilde meydana gelmiştir.

Sonuç olarak üçgen plaka deney yönteminin lifli betonların iki yönlü çekme dayanımı üzerinde boyut etkilerini belirlemede kullanılabileceği gösterildi. Ancak ÜP numunelerin çekme dayanımı, kırılma mekanizmaları, gerilme ve deformasyon dağılımları üzerindeki numune geometrisi, mestnetleme koşulları, sınır koşulları ve çatlak parametreleri etkilerinin detaylı incelenmesi için sonlu eleman analizlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmalarda kullanılan çelik lif temini için başta Mehmet YERLİKAYA olmak üzere Bekaert İzmit Kord Sanayi ve Ticaret A.Ş’ye, çimento ve standart kum temini için Yüksek İnşaat Mühendisi Ahmet Hilmi Aytaç olmak üzere Bursa Beton A.Ş’ye yazarlar teşekkür ederler.

V. KAYNAKLAR

- [1] S. Şener, Y. Çağlar ve Ç. M. Belgin, “Size effect tests for Type I and Type II,” 11th Inter. Conf. on Advances in Civil Engineering (ACE 2014), İstanbul, Türkiye, 2014.

- [2] P. Z. Bazant, Q. Yu, “Universal size effect law and effect of crack depth on quasi-brittle structure strength,” *Journal of Engineering Mechanics*, c. 135, s. 2, ss. 78-84, 2009.
- [3] A. S. Ali, Z. Riyadh, “Experimental and Numerical Study on the Effects of Size and type of Steel Fibers on the (SIFCON) Concrete Specimens”, *International Journal of Applied Engineering Research*, c.13, s. 2, ss. 1344-1353, 2018.
- [4] V. Koç, F. Birinci, “Lifli betonda boyut etkisi tokluk ve kırılma enerjisi,” *SDU International Technologic Science*, c. 4, s. 3, ss. 24-40, 2012.
- [5] C. G. Hoover, Z. P. Bazant, “Comprehensive concrete fracture tests: size effects of Types 1 & 2, crack length effect and postpeak,” *Engineering Fracture Mechanics*, c. 110, ss. 281-289, 2013.
- [6] G. Kennedy, C. H. Goodchild, Practical Yield Line Design, the Concrete Centre, TCC, 03, 3, ISBN 1-904818-08-0, GU17 9AB, Camberley, Surrey, 2004.
- [7] H. T. Türker, “Çimento Esaslı Malzemelerin Çekme Dayanımlarını Bulabilmek İçin Yeni Bir Yöntem Önerisi Üçgen Plaka Yöntemi,” *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Dergisi*, c. 30, ss. 693-699, 2015.
- [8] Ş. Yazıcı, “Çelik lif boyu ve kullanım oranının çelik lifli betonun özelliklerine etkisi,” 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Baku, Azerbaijan, 2017, ss. 1866-1872.
- [9] G. Zi, J. Kim, Z. P. Bazant, “Size Effect on Biaxial Flexural Strength of Concrete,” *ACI Materials Journal*, c. 111, s. 3, ss. 319-326, 2014.
- [10] S. Şener, K. C. Şener, “Universal size effect of concrete specimens and effect of notch depth,” *Challenge Journal of Structural Mechanics*, c. 3, s. 1, ss. 47-51, 2017.
- [11] C. G. Hoover, Z. P. Bazant, “Comprehensive concrete fracture tests: Size effects of Types 1 & 2, crack length effect and postpeak,” *Engineering Fracture Mechanics*, c. 110, ss. 281-289, 2013.
- [12] S.Y. Çetin, R. İnce, “Küp numunelerin yarmada-çekme dayanımında agrega granülometrisinin boyut değişimi üzerine etkisi,” *Mühendislik dergisi*, c. 8, s. 3, ss. 443-451, 2016.
- [13] ASTM C1550, “Standard Test Method for Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete (Using Centrally Loaded Round Panel),” *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 14 pp, 2010.
- [14] *Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları*, Türk Standartlar Enstitüsü TS 802, ICS 91.100.30, 2009.
- [15] Z. P. Bazant, Q. Yu, “Universal size effect law and effect of crack depth on quasi-brittle structure strength,” *Journal of Engineering Mechanics*, c. 135, s. 2, ss. 78-84, 2009.