

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**FARKLI TÜRDE LİF DONATI KULLANIMININ BETONUN MEKANİK
DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fadime Asya Şahin

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

EYLÜL 2021

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**FARKLI TÜRDE LİF DONATI KULLANIMININ BETONUN MEKANİK
DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Fadime Asya Şahin
(501201012)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hasan Yıldırım

EYLÜL 2021

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501201012 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Fadime Asya ŞAHİN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "FARKLI TÜRDE LİF DONATI KULLANIMININ BETONUN MEKANİK DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Hasan YILDIRIM**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Şenol ATAÖĞLU**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nabi YÜZER

Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 14 Eylül 2021
Savunma Tarihi : 24 Eylül 2021



ÖNSÖZ

Hayatımda en büyük şansım dediğim, bilgeliği ve tecrübeleriyle her zaman yol gösteren, elimden tutarak bir üniversite öğrencisinden kendi ayaklarını üzerinde duran bir kadın yaratan sayın İbrahim TAŞBAŞI'na tüm hayatım boyunca minnettar ve borçlu kalacağım. Maddi ve manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Akademik hayatım süresince desteklerini esirgemeyen, varlığıyla güç veren, üzerimdeki emeği büyük sayın Doç. Dr. Hasan YILDIRIM'a teşekkürlerimi sunarım.

Eylül 2021

Fadime Asya Şahin
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
SEMBOLLER.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI VE GENEL BİLGİLER	3
2.1 Lifler Hakkında Genel Bilgi.....	3
2.1.1 Çelik Lifler	4
2.1.2 Sentetik Lifler	5
2.1.3 Çelik Hasır	5
2.2 Lif Kullanımının Kompozit Malzemeler Üzerindeki Etkisi	7
2.2.1 Enerji Yutma Kapasitesi (Tokluk Değeri)	8
2.2.2 Basınç Dayanımı	8
2.2.3 Eğilme Dayanımı	9
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	11
3.1 Genel Bilgi	11
3.2 Kullanılan Malzemeler	11
3.2.1 Beton Karışımında Kullanılan Su	11
3.2.2 Çimento	12
3.2.3 Mineral (Puzolanik) Katkı	12
3.2.4 Agrega	12
3.2.5 Kimyasal Akışkanlaştırıcı	13
3.2.6 Hasır Çelik Donatı	13
3.2.7 Sentetik (Fiber) Lif.....	14
3.2.8 Kancalı Çelik Lif.....	15
3.2.9 Burgu Çelik	15
3.3 Beton Karışımı	16
3.4 Numunelerin Üretimi	17
3.5 Uygulanan Deneyler.....	18
3.5.1 Çökme Deneyi.....	18
3.5.2 Birim ağırlık deneyi	18
3.5.3 Beton basınç deneyi	18
3.5.4 Eğilme deneyi	19
4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER	21
4.1 Çökme Değerleri	21
4.2 Birim Ağırlık Değerleri	21

4.3 Basınç Dayanımları	22
4.4 Eğilme Deney Sonuçları.....	22
5. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER	33
KAYNAKLAR.....	35
EKLER	37
EK A.....	38
ÖZGEÇMİŞ	43



KISALTMALAR

60	: 60 mm x 80 mm geometride bal peteği şeklinde çift burgu sargılı paralel doğrulta tel örgü
60C	: 60 mm x 80 mm geometride bal peteği şeklinde çift burgu sargılı paralel doğrulta 6mm çelik çubuk döşenmiş tel örgü
80	: 80 mm x 100 mm geometride bal peteği şeklinde çift burgu sargılı paralel doğrulta
120	: 100 mm x 120 mm geometride bal peteği şeklinde çift burgu sargılı paralel doğrulta tel örgü
ASTM	: American Society for Testing and Materials
ICC-ES	: International Code Council-Evaluation Service
TS	: Türk Standardı
EN	: European Norm

SEMBOLLER

gr	: Gram
kg	: Kilogram
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
m	: Metre
km	: Kilometre
sn	: Saniye
dk	: Dakika
MPa	: MegaPaskal



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Sentetik Lif Çeşitleri ve Özellikleri	5
Çizelge 2.2 : Çelik Hasır Türleri	6
Çizelge 2.3 : Lif Takviyesin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi.....	7
Çizelge 2.4 : Farklı Lif Çeşitleri Kullanılmış Karışımların Lif Kullanılmamış Karışımla Tokluk Değerlerinin Karşılaştırılması	8
Çizelge 3.1 : Agregaların Özgül Ağırlıkları.....	12
Çizelge 3.2 : Kullanılan Agreganın Elek Analizi ve Karışımı	12
Çizelge 3.3 : Agregada Hacimce Birleşim Oranları	13
Çizelge 3.4 : Hasır Çelik Donatı Teknik Özellikler.....	14
Çizelge 3.5 : Sentetik Lif Teknik Özellikler	14
Çizelge 3.6 : Kancalı Çelik Lif Teknik Özellikler	15
Çizelge 3.7 : Burgu Çelik Mekanik Özellikler	16
Çizelge 3.8 : Beton Karışımı.....	17
Çizelge 4.1 : Çökme Değerleri.....	21
Çizelge 4.2 : Beton Karışımı Birim Ağırlık Değerleri.....	21
Çizelge 4.3 : Basınç Dayanımları (MPa)	22
Çizelge 4.4 : Eğilme Deneyi Enerji Yutma Kapasitesi Sonuç Grafiği	30
Çizelge 5.1 : Maliyet Kıyaslaması	34
Çizelge A.1 : Elek Analizi Sonuçları	38
Çizelge A.2 : Özgül Ağırlık, Gevşek Birim Ağırlık ve Su Emme Deney Sonuçları ...	38
Çizelge A.3 : İnce Madde Oranı Deney Sonuçları.....	38
Çizelge A.4 : Metilen Mavisini Deney Sonuçları	39
Çizelge A.5 : Don Deneyi Sonuçları.....	39
Çizelge A.6 : Agregada karışım oranı	40
Çizelge A.7 : Kuruma Çekmesi Deneyi.....	40
Çizelge A.8 : Los Angeles Aşınma Deneyi Sonuçları.....	40
Çizelge A.9 : Tane Şekli Deney Sonuçları	41
Çizelge A.10 : Tane Şekli Deney Sonuçları	41
Çizelge A.11 : Alkali -Agrega Reaktivitesi Deney Sonuçları	41
Çizelge A.12 : Agregaların % Boyca Genleşmesi	42



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Lifli Ve Lifsiz Hafif Beton Yük- Deplasman Eğrisi	1
Şekil 2.1 : Farklı Çelik Tipi Örnekleri	4
Şekil 2.2 : Gerilme Şekil Değiştirme Eğrisi.....	7
Şekil 2.3 : Basınç Dayanımı Altında Kullanılan Lif Hacmi İle Değişen Deformasyon Eğrisi	9
Şekil 2.4 : Lif Katkılı Betonlarda Yük Deplasman Eğrisi	10
Şekil 3.1 : Agregaların Granülometrisi	13
Şekil 3.2 : Hasır Çelik Donatı	14
Şekil 3.3 : Sentetik (Fiber) Lif	14
Şekil 3.4 : Kancalı Çelik Lif	15
Şekil 3.5 : 60 - 60C – 80 - 120 'lik Bal Peteği Şeklinde Çelik Tel Örgülü Donatı Geometrisi.....	16
Şekil 3.6 : Deney Numune Örnekleri.....	16
Şekil 3.7 : Numune Detayları.....	18
Şekil 3.8 : Eğilme Deney Düzenegi	19
Şekil 4.1 : Burgu Çelik 60 Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune1).....	22
Şekil 4.2 : Burgu Çelik 60 Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune2).....	23
Şekil 4.3 : Burgu Çelik 60C Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune1).....	23
Şekil 4.4 : Burgu Çelik 60C Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune2).....	24
Şekil 4.5 : Burgu Çelik 80 Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune1).....	24
Şekil 4.6 : Burgu Çelik 80 Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune2).....	25
Şekil 4.7 : Burgu Çelik 120 Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune1).....	25
Şekil 4.8 : Burgu Çelik 120 Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune2).....	26
Şekil 4.9 : Hasır Çelik Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune1).....	26
Şekil 4.10 : Hasır Çelik Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği	27
(Numune2).....	27
Şekil 4.11 : Çelik Lif Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune1).....	27
Şekil 4.12 : Çelik Lif Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune2).....	28
Şekil 4.13 : Sentetik Lif Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune 1).....	28

Şekil 4.14 : Sentetik Lif Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune 2)	29
Şekil 4.15 : Katkısız Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune 1).....	29
Şekil 4.16 : Katkısız Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune 2).....	30



FARKLI TÜRDE LİF DONATI KULLANIMININ BETONUN MEKANİK DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

ÖZET

Beton günümüzde en yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinin başında gelmektedir. Birçok sebeple tercih edilen beton yüksek dayanıma sahiptir ancak gevrek bir malzeme olması sebebiyle eğilme davranışı esnasında betonun enerji yutma kapasitesi (tokluk) beklenen performansı sergilemez. Betonun bu olumsuz özelliğini ortadan kaldırmak için çeşitli katkı malzemeleri kullanılmaktadır; farklı türdeki lifler ve çelik hasır bunlardan bazılarıdır.

Bu çalışmamızda eğilme davranışında, betonun maksimum yük taşıma değerini ve enerji yutma kapasitesini iyileştirmek için sık tercih edilen katkı malzemelerine alternatif olabilecek yeni bir malzemeyi gözlemledik.

Yeni malzememiz olan burgu çeliğin, geometrisi bal peteğini şeklindedir ve farklı boyutlarda (60, 60C, 80, 120) seçilen bu malzeme ile sentetik lif, çelik lif, çelik hasır ve katkısız betonun performansları kıyaslanmıştır.

Bu katkı malzemeleri kullanılarak hazırlanan 60x60x10cm boyutlarındaki numunelerin maksimum yük taşıma kapasitesini ve tokluk değerini belirlemek için 3 noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Araştırma konumuz olan burgu çelik malzemelerimizden içerisinde tek yönde donatı bulunan 60C'nin deney sonuçlarında enerji yutma kapasitesinin çok yüksek olduğu görülmüştür. Hasır çelik hem enerji yutma kapasitesi olarak hem maksimum yük taşıma kapasitesi olarak en iyi performansı göstermiştir, 60C burgu çelik malzememiz ise hasır çeliğe yakın değerler vermiştir ve sentetik lif, çelik lif ile kıyaslandığında maksimum yük taşıma kapasitesinde oldukça iyidir. 60-80-120 burgu çelik malzemelerimiz, katkısız kontrol betonuna göre enerji yutma kapasitesi yüksek olsada performansı diğer katkı malzemelerine kıyasla oldukça düşüktür.



THE USAGE OF DIFFERENT TYPES OF FIBER REINFORCING IN THE MECHANIC BEHAVIOUR OF THE CONCRETE

SUMMARY

Concrete is one of the leading construction materials used widely at present. Its having a lot of properties, it is mostly preferred for various reasons. But as it is a brittle material, during bending, the capacity of the the energy absorption of concrete does not give the full expected performance. In order to avoid this negative impact, many other methods, such as; different forms of fiber and steel mesh, are being used.

In this research, we have observed a new material which can be alternative to the most preferred construction materials used to improve the carry load capacity value and energy absorption of concrete during bending.

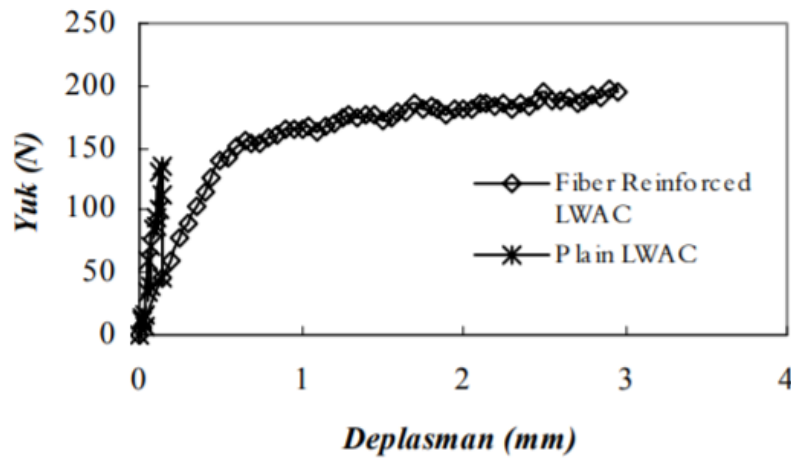
The performance of the new material we are presenting with the name Auger steel which has the geometry of a honeycomb and varied sizes of 60, 60C, 80 and 120, has been compared to chemical fiber, steel fiber , steel mesh and pure concrete.

In order to clarify the maximum loading absorption capacity, a three-dimensional Bending experiment has been done by using samples made up of these construction materials with the dimensions of 60x60x10 cm which had been prepared in advance. Among the materials, the 60C with the donation at one direction has given the results of which are very close to those of steel mesh. In addition to that result, it has been the best in terms of its maximum loading capacity when it is compared with the chemical fiber and the steel fiber. Among the Auger steel materials, 60,80, and 120 have performed better in energy absorption capacity than the control concrete, yet they have given worse performance than the other construction materials. Thus, they are not sufficient enough for different construction projects.



1. GİRİŞ

Beton, çimento, agrega, su ve katkı malzemesinin birleşmesiyle ortaya çıkan yapı malzemesidir. Beton günümüzde düşük maliyeti, işlenebilirliği ve kolay temin edilebilirliği sebebiyle en çok tercih edilen ve birçok alanda kullanılabilen bir malzemedir. Beton taze ve priz almış halde birçok etkiye maruz kalıyor ve zamana bağlı olarak deformasyona uğrayabiliyor. Hava şartları (nem, sıcaklık, rüzgar), kür yöntemleri ve betonun yerleştirilmesi betonun dayanımını önemli ölçüde etkiler; bununla beraber betonun ana malzemeleri iri ve ince agrega, su çimento miktarları beton dayanımı hakkında bize yaklaşık bilgi verir [17]. Gevrek bir malzeme olan beton sünek davranış sergilemez ve donatısız betona çekme gerilmesi uygulandığında beton çatlar. Betonun çekme performansını iyileştirmek için 1800 lü yıllarda donatı çubukları kullanılmaya başlanmıştır. Çelik teller ile betonun mekanik özelliklerinde ve performansında iyileşme sağlanmıştır ve beton yarı sünek davranış sergilemiştir [19]. Bu çalışmalar neticesinde çelik, polipropilen lif, çelik lif üretim kolaylığı ve çekme mukavemeti nedeniyle en çok tercih edilen ürünler haline gelmiştir.



Şekil 1.1 : Lifli Ve Lifsiz Hafif Beton Yük- Deplasman Eğrisi [4]

Bu tez çalışmasında yeni bir katkı malzemesi olan burgu çeliğın betonun performansına olan etkisini görmek için katkı maddesi kullanılmayan beton karışımı ve sıkça tercih edilen sentetik lif, çelik lif, çelik hasır gibi katkı malzemelerimizle hazırladığımız beton karışımları ile kıyaslayarak mekanik özelliklerinden çıkarımlarda bulunulması hedeflenmiştir.



2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI VE GENEL BİLGİLER

2.1 Lifler Hakkında Genel Bilgi

Günümüzde kullanılan lifler, doğal kaynaklardan veya endüstriyel yollarla üretilen yüksek dayanıklılığa ve esnekliğe sahip bükülebilir malzemelerdir. Doğal ve yapay olmak üzere iki farklı çeşit olarak önümüze çıkmaktadır. Doğal yollardan elde edilen lifler (mineral, bitkisel, hayvansal) doğal lif olarak adlandırılır. Makina veya insan eli ile üretilen lifler ise yapal liflerdir ve yapay lifler de geliştirilmek istenen özelliklere göre özel tasarlanabilir [2]. Lifler, beton kompozit malzemesinin zayıf yönlerini iyileştirmek ve güçlendirmek için kullanılmaktadırlar. Beton kompozit malzemesinde eğilme, çekme mekanik özellikleri basınç dayanımına göre zayıf kalmaktadır, betonun kırılma yapısının giderilmesi ve daha sünek bir malzeme haline getirilerek mekanik özelliklerinin güçlendirilmesi için lif donatı kullanılmaktadır [20].

Gevrek yapıya sahip kompozit malzemelerde mekanik özellikleri iyileştirmek için farklı sebeplerden lif kullanılmaktadır. Taşıma kapasitesini artırıp malzemeyi daha sünek bir hale getirmek, malzemenin dayanıklılığı artırmak, malzeme çatlağını azaltmak ve yüzeyi düzgün malzeme üretimi sağlamak bunlardan bazılarıdır [6].

Lif kullanılarak üretilen betonun performansı, karışımın içerisindeki lifin yoğunluğu, uzunluğu, kullanım miktarı, narinliği, malzeme cinsi ve nasıl üretildiğine göre değişkenlik göstermektedir [20]. Lif katkılı kompozit malzeme üretiminde genellikle tercih edilen yöntemler püskürtme, karıştırma ve elyaf kullanımı yöntemleridir [23].







Beton karışımlarında yüksek miktarda lif kullanımı topraklanmaya sebep olacağından betonun işlenebilirliğini azaltmaktadır. Topaklanmanın önüne geçmek için karışım sırasında ayrılabilen ya da suda çözülebilen yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Böylece karışım sırasında bu yapıştırıcılar çözülür ve lifler beton karışım içerisinde homojen olarak dağılır [24].

Betonun mekanik özelliklerini iyileştirmek ve geliştirmek için kullanılan bir diğer katkı malzemesi ise çelik hasırlardır. Çelik hasır, betonun düşey ve yatay darbe anında

gevrek davranış sergileyip ani göçme ve kırılmayı önlediği gibi betonun elastikliğini artırıp sünek bir davranış sergilemesini sağlar [4].

2.1.1 Çelik Lifler

Beton içerisinde süreksiz ve dağınık bir şekilde yerleştirilen çelik teller çatlak oluşumunu önemli ölçüde azalttığı gibi çarpma, yorulma ve çekme dayanımını artırır ve daha sünek bir malzeme haline getirir [1]. Ek olarak çelik tel içeren betonların kesme dayanımlarının normal betonunkine oranla daha yüksek olduğu bilinmektedir [5]. Çelik tel beton içinde hacimsel olarak %0,5 ila %2,5 arasında bulunmaktadır. Bu oranı arttıkça karışım içerisinde topaklanmalar meydana gelmektedir ve homojen bir dağılım göstermediği gözlemlenmiştir bununla birlikte bu topaklanmalar hava boşluğuna sebep olduğu için basınç dayanımı normal betonun basınç dayanımının altında kalmıştır [25]. Çelik lifin tipine ve üretim şekline bağlı olarak çekme dayanımları 345- 2100 MPa arasında, nihai uzamaları ise %0,5-%35 arasında değişmektedir [7]. Çelik lifler yüksek süneklilik ve yüksek çekme mukavemeti sayesinde depreme dayanıklı yapılarda, tünellerde püskürtme beton ile, prekast elemanlarda, yol ve güvenlik yapıları gibi pek çok alanda kullanılabilir.

En kesit	Yuvarlak	
	Yassı	
	Yarı yuvarlak	
Biçim ve deformasyonlar	Düz	
	Dalgalı	
	Kancalı uçlu	
	Genişletilmiş uçlu	
	Çarpık	
	Yassı uçlu	
	Deforme edilmiş	
	Zikzak biçimli	

Şekil 2.1 : Farklı Çelik Tipi Örnekleri [8]

2.1.2 Sentetik Lifler

Lif, bir boyutu diğer boyutuna göre çok büyük olan ve insan eliyle üretilebilen, dayanımları ve elastisite modülleri aynı malzemenin büyük hacimli formuna göre yüksek olan malzemelerdir [13]. Bu lifler 19. Yüzyılın sonunda kullanılmaya başlanmıştır ve kısa süre içinde vazgeçilmez hale gelmiştir [11]. Beton homojen olmayan bir karışımdır ve beton yüzeyinde zaman zaman süreksizliklerden kaynaklı çatlaklar meydana gelmektedir. Beton karışımına ilave edilecek lifler bu çatlakların başlangıcını, yayılmasını ve birleşmesini önler. Bununla birlikte liflerin çekme mukavemetleri sayesinde betonun mekanik özelliklerini iyileştirir [21]. Sentetik liflerin çapları mikron boyutundadır ve narinlikleri önemlidir. Betonun içinde 2 oranda bulunabilirler; düşük oran (Hacimce %0,1 ile %0,3) ve yüksek oran (Hacimce %0,4 ile %0,8) olarak karışımıza çıkar. Tercih edilen ise düşük miktardaki orandır [9].

Sentetik lifler özellikle petro-kimya ve tekstil endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Başlıcaları; naylon, aramid, akrilik, karbon, polyester, polietilen ve polipropilen liflerdir. Sentetik lif çeşitleri ve özellikleri Çizelge 2.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Sentetik Lif Çeşitleri ve Özellikleri [7]

Lif Tipleri	Çap (10 ⁻³ mm)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Elastisite Modülü (GPa)	Nihai Uzama (%)
Akrilik	20-350	1.16-1.18	0.2-1.0	14-19	18537
Aramid (Kevlar)	44540	1.44	2.3-3.5	63-120	2-4.5
Naylon	23-400	1.14	0.75-1.0	4.1-5.2	16-20
Polyester	10-200	1.34-1.39	0.23-1.2	44487	18537
Polietilen	25-1000	0.92-0.96	0.08-0.6	5.00	3-100
Polipropilen	20-400	0.9-0.95	0.45-0.76	3.5-10	15-25

2.1.3 Çelik Hasır

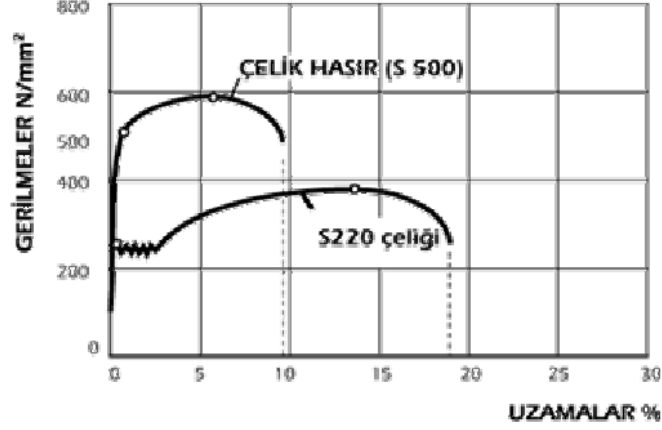
Çelik hasır birbirine dik doğrultuda yerleştirilmiş aynı mekanik ve yüzeysel özelliklere sahip iki dizin çelik çubukların kesişme noktalarında direnç nokta kaynağı veya kelepçelerle birleştirilmesiyle oluşturulmuş hazır beton donatısıdır. Bu çelik çubuklar dairesel kesitli yüzeyi düz veya nervüllüdür [30]. Çelik hasır malzemenin

tasarruf sağlaması, çatlak kontrolü sağlaması, işçilikten ve zamandan tasarruf sağlaması ve kalite üstünlüğü gibi sebeplerden sıkça tercih edilen bir malzeme türüdür [10]. Çelik hasırın yüksek mukavemetli oluşu ve betonda birçok mekanik özelliği iyileştirmesi sebebiyle de pek çok alanda kullanılmaktadır. Başlıca kullanım alanları; betonarme döşeme temellerinde, plak ve kabuk yapılar, saha betonlarında, tekil ve radye temellerde, otoyol ve otoparklarda, su yapılarında ve prefabrike yapı elemanlarıdır [15]. T.S. 4459'a göre çelik hasır tipine ve özelliklerine bağlı olarak minimum çekme dayanımları yaklaşık 550 N/mm^2 , minimum kopma uzaması ise %5-%8 arasındadır.

Çizelge 2.2 : Çelik Hasır Türleri

Birleşme Şekillerine Göre	Kaynaklı Birleşim Kelepçeli Birleşim
Yüzey Özelliklerine Göre	Düz Yüzeyli Nervürlü Yüzeyli Profilli Yüzeyli
Döşemenin Çalışma Şekline Göre	R Tipi Standart Çelik Hasır Q Tipi Standart Çelik Hasır Ters R Tipi Standart Çelik Hasır

Çelik hasır kullanımı normal donatı kullanımına göre birçok avantaj sağlar. Çelik hasırın plakalar şeklinde olması sebebiyle kullanımı kolaydır ve zamandan tasarruf sağlamaktadır. Aynı zamanda demir donatıda olduğu gibi bağlama, kesme, yerleştirme vb iş yüklerini de hafifletir. Çelik hasırın en önemli avantajı demir donatıya göre ~%40 hafif olmasıdır. Beton içinde düzgün dağılması sebebiyle çekme kuvvetini homojen yayar ve çatlak oluşumunu yüksek ölçüde engeller [10].



Şekil 2.2 : Gerilme Şekil Değişirme Eğrisi

2.2 Lif Kullanımının Kompozit Malzemeler Üzerindeki Etkisi

Lif katkı malzemesi taze ve sertleşmiş beton üzerinde birçok etkiye sahiptir. Taze betonda lifin karışımdaki oranı ve hacmine bağlı olarak betonun işlenebilirliğini azaltmakta ve karışım içerisinde homojen dağılımında sorunlar yaşandığı gözlemlenmiştir. Bu problemler liflerin topaklaşma probleminden kaynaklanmaktadır ve çözümü için genelde beton karışımına süper akışkanlaştırıcı ilave edilmektedir [12]. Sertleşmiş betonda ise betonun yetersiz olan birçok özelliğini güçlendirerek mekanik özelliklerini iyileştirir. Çizelge 2.3 de yaklaşık değerler gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 : Lif Takviyesin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi [14]

Betonun Özeliği	Artış (%)
Tokluk	100-1200
Darbe dayanımı	100-1200
İlk Çatlak Dayanımı	25-100
Çekme Dayanımı	25-150
Basınç Dayanımı	± 25
Yorulma Dayanımı	50-100
Şekil değiştirme oranı	50-300
Eğilme Çekme Dayanımı	25-200
Kavitasyon-Erezyon Direnci	200-300
Elastisite Modülü	± 25

2.2.1 Enerji Yutma Kapasitesi (Tokluk Değeri)

Enerji yutma kapasitesi betonun yük-deplasman eğrisinin altında kalan bölge alanının hesaplanması sonrası elde edilir. Betonun şekil değiştirme potansiyelini iyileştirip malzemeyi yarı sünek / sünek hale getirmek için farklı katkı malzemeleri kullanılmaktadır. Hasır çelik ve lif katkı malzemeleri ile betonun sünekliliğini ve eğilme dayanımını arttırarak betonun ilk çatlama sonrası enerji yutma kapasitesini diğer bir deyişle tokluk değeri iyileştirmek istenmektedir [3].

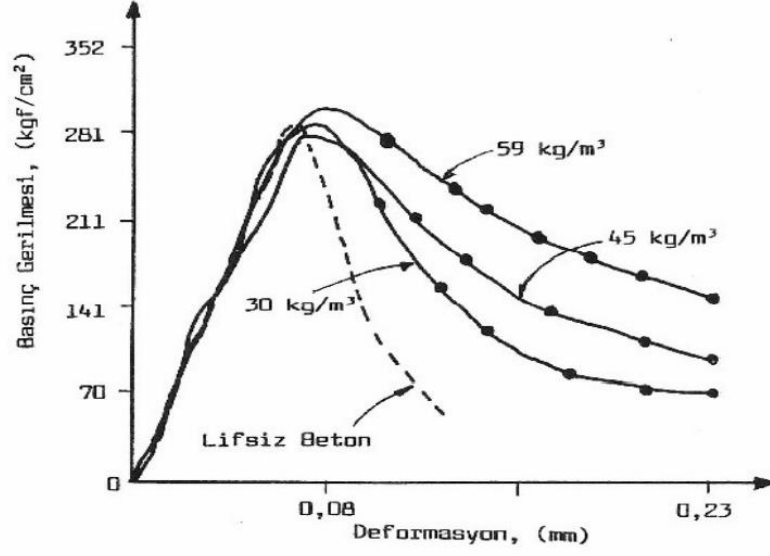
Çizelge 2.4 : Farklı Lif Çeşitleri Kullanılmış Karışımların Lif Kullanılmamış Karışımla Tokluk Değerlerinin Karşılaştırılması [3]

Kompozit	Hacimsel lif yüzdesi	Görelî tokluk*
BETON		
Çelik	0.5	2.5-4.0
Çelik	1.0	4.0-5.5
Çelik	1.5	10-25
Cam	1.0	1.7-2.0
Polipropilen	0.5	1.5-2.0
Polipropilen	1.0	2.0-3.5
Polipropilen	1.5	3.5-15.0
HARÇ		
Çelik	1.3	15.0
Asbest	3-10	1.0-1.5
ÇİMENTO HAMURU		
Cam	4.5	2.0-3.0
Mika	2.0-3.0	3.0-3.5

* Bu değerler sadece örnek değerlerdir ve test metodları, özel üretimler ve karışımlardaki farklılıklara bağlı olarak değişebilirler.

2.2.2 Basınç Dayanımı

Hasır çelik ve lif katkı malzemelerinin kullanılması basınç dayanımında olumlu bir etki yaratmaktadır.

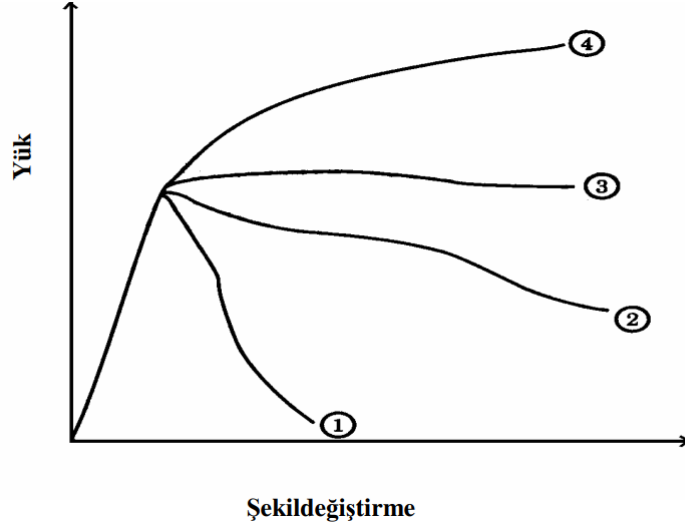


Şekil 2.3 : Basınç Dayanımı Altında Kullanılan Lif Hacmi İle Değişen Deformasyon Eğrisi [12]

2.2.3 Eğilme Dayanımı

Lif katkılı betonların yük-deplasman eğrisi katkısız betona göre farklılık göstermektedir. Lif katkılı betonlarda maksimum yük taşıma kapasitesi artar bu da enerji kapasitesinin artmasını ve eğilme dayanımının yükselmesine etki eder.

Lif kullanılan betonların eğilme dayanımları, katkısız betonlara nazaran ~%50-%100 artış gözlenmektedir. Betonun eğilme dayanımına karışımda kullanılan lifin geometrisi, miktarı ve cinsi etki eder [22].



Şekil 2.4 : Lif Katkılı Betonlarda Yük Deplasman Eğrisi [22]

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Genel Bilgi

Bu deneysel çalışmada farklı katkı malzemelerinin betonun mekanik davranışları üzerine etkisi araştırılması hedeflenmiştir. Bu sebeple çelik hasır, çelik lif, sentetik lif ve yeni bir malzeme olan burgu çelik kullanılmıştır. Burgu çelik malzememizin geometrisi bal peteği şeklindedir ve bu malzemenin farklı boyutlardaki formları deneylere tabi tutulmuştur. Yeni olan bu malzememizi, betonun performansını iyileştirmek için en sık tercih edilen katkı malzemeleri ile kıyaslayarak performansı hakkında çıkarım da bulunulmuş ve gözlemlenmiştir.

Deney çalışmamıza başlarken önceliğimiz beton üretiminde kullandığımız malzemelerin özellikleri incelemek olmuştur. Daha sonra bu malzemelerimizden uygun koşullar altında beton üretimini gerçekleştirip kontrol amaçlı her birinden 2'şer numune alınmıştır. Deney sonuçları bu numunelerin ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir.

Deneyde kullanılan katıkı malzemelerimizin betonun mekanik davranışına etkisini irdelemek için farklı deneylere tabi tutulmuştur. Slump deneyi, birim ağırlık deneyi, beton basınç deneyi ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Betonun işlenebilirliği, basınç dayanımı, enerji yutma kapasiteleri hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Elde edilen bulgular kıyaslanarak yeni olan malzeme burgu çelik değerlendirilmiştir.

3.2 Kullanılan Malzemeler

3.2.1 Beton Karışımında Kullanılan Su

Betonda kullanılan su içilebilecek kalitede, temiz ve ilgili TS EN 1008 standardına uygun sudur.

3.2.2 Çimento

Beton üretimlerinde çimento standartlarına uygun CEM I 42.5 R kalitesinde Akçansa Çimento Fabrikasının yoğunluğu 3.17 g/cm^3 olan çimentosu kullanılmıştır.

3.2.3 Mineral (Puzolanik) Katkı

Beton üretiminde Oyak Çimento Fabrikasından temin edilelen Ereğli öğütülmüş yüksek fırın curufu kullanılmıştır. Yüksek fırın curufunun özgül ağırlığı 2.89 gr/cm^3 ve özgül yüzey alanı $5100 \text{ cm}^2/\text{gr}$ 'dir.

3.2.4 Agregas

Beton üretiminde İshakoğlu Taş Ocağı (Boğaziçi Beton San. ve Tic. A.Ş.) firmasının kırma taş agregaları (kırma kum ve kırma taş 1) ayrıca Akpınar Köyünde çıkarılan Kuzey İstanbul firmasına ait doğal kul kullanılmıştır. Bu agregalarla ilgili özgün ağırlıklar Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Agregaların Özgül Ağırlıkları

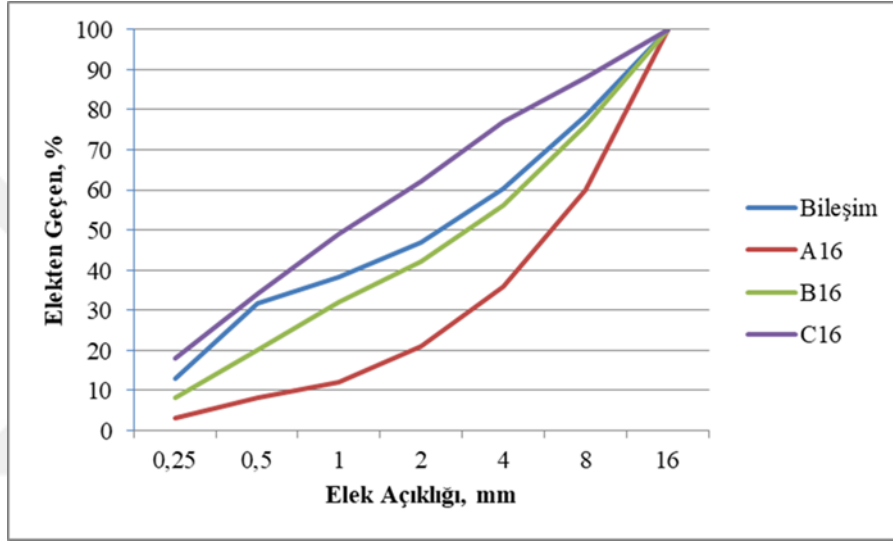
Agrega Özgül Ağırlıkları (gr/cm^3)	
Doğal Kum	263%
Kırmataş Kumu	271%
Kırmataş 1	2,717

Çizelge 3.2 : Kullanılan Agreganın Elek Analizi ve Karışımı

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elekten Geçen Malzeme (%)			
	Doğal Kum	Kırmataş Kum	Kırmataş 1	Karışım
16	100	100	100	100
8	100	100	46	78
4	100	95	5	60
2	100	60	2	47
1	99	37	1,6	38
0,5	94	23	0,5	31,8
0,25	34,4	12,3	0	12,9
İncelik Mod.				3,32

Çizelge 3.3 : Agrega Hacimce Birleşim Oranları

	Bileşim Oranları
Doğal Kum (0-2 mm)	25%
Kırma Kum (0-5 mm)	35%
Kırma Taş (4-16 mm)	0,4



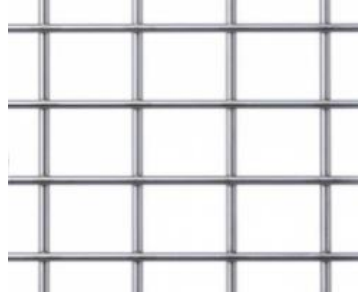
Şekil 3.1 : Agregaların Granülometrisi

3.2.5 Kimyasal Akışkanlaştırıcı

Deney çalışmasında akışkanlaştırıcı olarak naftalin formaldehit sülfanat esaslı süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Akışkanlaştırıcının özgül ağırlığı 1.19 gr/cm³ olup beton üretiminde çimento ve curuf ağırlığının %1.30 oranında kullanılmıştır.

3.2.6 Hasır Çelik Donatı

Beton plaka üretimlerinde standartlara uygun Q 188/188 özellikli hasır çelik donatı kullanılmış olup özellikleri Çizelge 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.2 : Hasır Çelik Donatı

Çizelge 3.4 : Hasır Çelik Donatı Teknik Özellikler

Hammadde	Uzunluk	Çekme Gerilmesi	Çubuk Aralıkları	Çap	Elastisite Modülü	Yoğunluk
Çelik	60mm	550 N/mm ²	150mm/150mm	6mm	200 GPa	7850 kg/m ³

3.2.7 Sentetik (Fiber) Lif

Kullanılan lifler EN, ASTM standartlarına uygun olup özellikleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.3 : Sentetik (Fiber)Lif

Çizelge 3.5 : Sentetik Lif Teknik Özellikler

Hammadde	Uzunluk	Çekme Gerilmesi	Yüzey Dokusu	Fiber Sayısı/kg	Yoğunluk	Elastisite Modülü	Ergime Noktası	Yanma Noktası
Modifiye Edilmiş Olefin	54mm	580MPa	Sürekli Kabartma	37000	0,90-0,92 g/cm ³	12 Gpa	150-165 °C	450°C

3.2.8 Kancalı Çelik Lif

Beton üretiminde, EN 14889 - 1, ASTM A820 Tip III, ISO 13270 standartlarına uygun özellikte çelik lif kullanılmış olup lifin teknik özellikleri aşağıda Çizelge 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.4 : Kancalı Çelik Lif

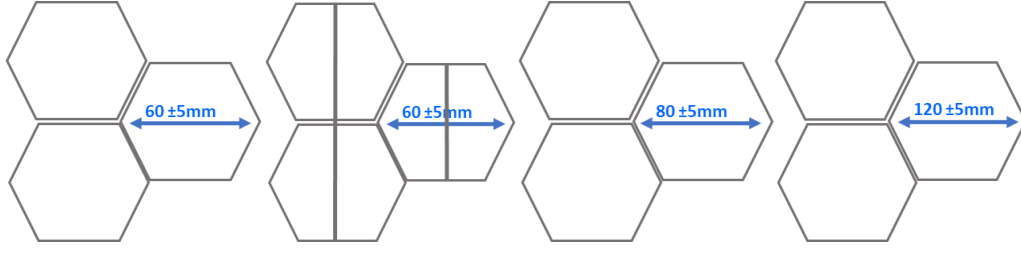
Çizelge 3.6 : Kancalı Çelik Lif Teknik Özellikler

Hammadde	Uzunluk	Çekme Gerilmesi	Fiber Sayısı/kg	Yoğunluk	Elastisite Modülü
Çelik	60mm	1600 N/mm ²	3109	7850 g/cm ³	200 GPa

3.2.9 Burgu Çelik

Bu araştırmada kullandığımız beton katkı malzelerinden biri de burgu çeliktir, bal peteği şeklinde olan malzememiz farklı geometrilere seçilmiştir. Boyutlarına göre 60C,60,80,120 olarak adlandırdığımız burgu çeliklerimizin montajı kalıp boyutlarına uygun yapılmıştır.

Şekil 3.5 de deneyde kullanılan burgu çeliklerin yapıları ve geometrileri gösterilmiştir.



Şekil 3.5 : 60 - 60C – 80 - 120 'lik Bal Peteği Şeklinde Çelik Tel Örgülü Donatı Geometrisi

Çizelge 3.7 : Burgu Çelik Mekanik Özellikler

Fiber Tipi	Çekme Gerilmesi (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson oranı	Çap (mm)	L (mm)	En Boy oranı
Tel Örgü (60C/60/120)	748.54	200000	0.3	1.98	220	111.11



Şekil 3.6 : Deney Numune Örnekleri

3.3 Beton Karışımı

Üretilen numunelerin 1 m³ içerisindeki beton bileşenlerinin Özgül Ağırlık, Ağırlık ve Hacim olarak oranları Çizelge 3.8’de verilmiş.

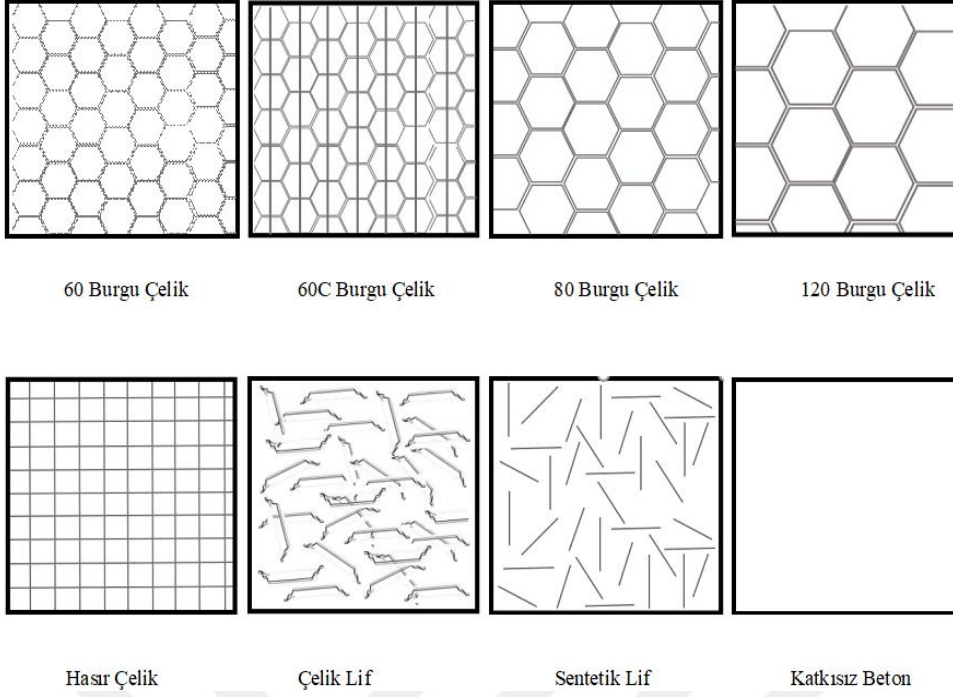
Çizelge 3.8 : Beton Karışımı

Bileşen	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)
Doğal Kum	2,629	430	163,5
Kırmataş Kumu	2,705	629	232,1
Kırma Taş 1	2,717	711	261,4
Çimento	3,17	250	78,86
Mineral (Puzolanik) Katkı	2,89	100	34,72
Su	1	208	208
Kimyasal Akışkanlaştırıcı	1,19	4,55	3,82
Hava			18

3.4 Numunelerin Üretimi

Numune üretiminde kullandığımız çimento, agrega, su, mineral katkı ve süperakışkanlaştırıcı katkı malzemelerin ölçümleri yapılmıştır. Bu malzemeler belirlenen oranlarda sırasıyla 50 litre kapasiteli betonyer kullanılarak karıştırılmıştır. Beton üretimi tamamlandıktan sonra önceden yağlanıp hazırlanmış, hasır ve burgu çelik sürekli donatıları yerleştirilmiş olan 60x60x10cm plak kalıplara dökülmüştür. Bu kalıplar betonun yerleştirilmesi için sarsma tablasına konulmuştur ve ardından masterlanmıştır. Sentetik ve çelik lifler homojen bir şekilde dağılması için beton karışıma dahil edilip karıştırılmıştır. 1 m³ beton karışımının içine hacimce 20 kg tek kancalı çelik fiber ve 4 kg sentetik fiber kullanılmıştır. Üretilen beton plak numunelerimizin detayları Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Her bir katkı malzemesi için kontrol amaçlı 2’şer numune ile deney yürütülmüştür.

Numunelerin hazırlanması sırasında slump deneyi ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Basınç deneyleri için ilave numune alınmıştır.



Şekil 3.7 : Numune Detayları

3.5 Uygulanan Deneyler

3.5.1 Çökme Deneyi

Çökme (slump) deneyleri TS EN 12350-2 [26] standartına uygun olacak şekilde lifsiz beton, çelik lifli beton ve sentetik lifli beton karışımları için yapılmıştır. Bu deneyin amacı betonun işlenebilirliğini gözlemlemektir.

3.5.2 Birim ağırlık deneyi

Birim ağırlık deneyleri TS EN 12350-6 [27] standartına uygun olacak şekilde yapılmıştır. Deneyde hacmi belli olan kanın içine doldurulan etonun ağırlı tespit edilir. Beton ağırlığı hacime oranlanarak birim ağırlık bulunur.

3.5.3 Beton basınç deneyi

Beton basınç mukavemeti deneyi TS EN 12390-3 [29] standartına göre, 15x15x15cm boyutundaki kalıplar kullanılarak yapılmıştır. Lifsiz beton, çelik lifli beton ve sentetik lifli beton karışımları için numune alınmış ve 28 günlük basınç mukavemetleri ölçülmüştür.

3.5.4 Eğilme deneyi

EFNARC ve BS EN 14488-5 [28] standardına uygun olarak yapılan deneyde MTS yüksek kapasiteli hidrolik test sistemi cihazı kullanılarak 3 noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. 60x60x10cm boyutlarında hazırlanan Katkısız, hasır çelik, sentetik lif, çelik lif ve burğu çelik (60,60C,80,120) içeren beton plak numunelerimiz 50x50cm kare çelik mesnet üzerine ortalanarak yerleştirilmiştir. Mesnet açıklığı sabit 34cm olacak şekilde numunenin altına iki adet LVDT (deplasman ölçer) yerleştirilmiştir. Eğilme mukavemeti deneyi 0,6 mm/dak. deplasman hızında uygulanmıştır ve bu şekilde yük değeri alınmıştır.

Daha sonra elde edilen verilere göre yük-deplasman ilişkisi incelenerek numunelerin enerji yutma kapasiteleri (Tokluk değerleri) belirlenmiştir. Şekil 3.8'de eğilme deneyi esnasında çekilmiş fotoğraflar paylaşılmıştır.



Şekil 3.8 : Eğilme Deney Düzeneği



4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

4.1 Çökme Değerleri

Lifsiz beton, çelik lifli beton ve sentetik lifli beton karışımları için yapılan deneyde slump değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Deneyde kullanılan katkı malzemeleri; sentetik lif ve çelik lif malzemeleri, lifsiz beton ile karşılaştırıldığında betonun slump değerini düşürmüştür. Karışımların işlebilirliklerini gözlemlediğimizde çelik lifli betonun işlenebilirliği düşmüştür ancak sentetik lifli beton homojen ve iyi yerleşmiştir.

Çizelge 4.1 : Çökme Değerleri

Lif Tipi	Lifsiz	Çelik Lif	Sentetik Lif
Çökme Değeri (cm)	21	14	15

4.2 Birim Ağırlık Değerleri

Lifsiz beton, çelik lifli beton ve sentetik lifli beton numunelerinin birim ağırlık değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Lifsiz ve lifli beton karışımlar için benzer birim ağırlıklar hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2 : Beton Karışımı Birim Ağırlık Değerleri

Beton Bileşimi (Lif Tipi)	Lifsiz	Çelik Lif	Sentetik Lif
Birim Ağırlık (gr/cm ³)	2,345	2,374	2,372

4.3 Basınç Dayanımları

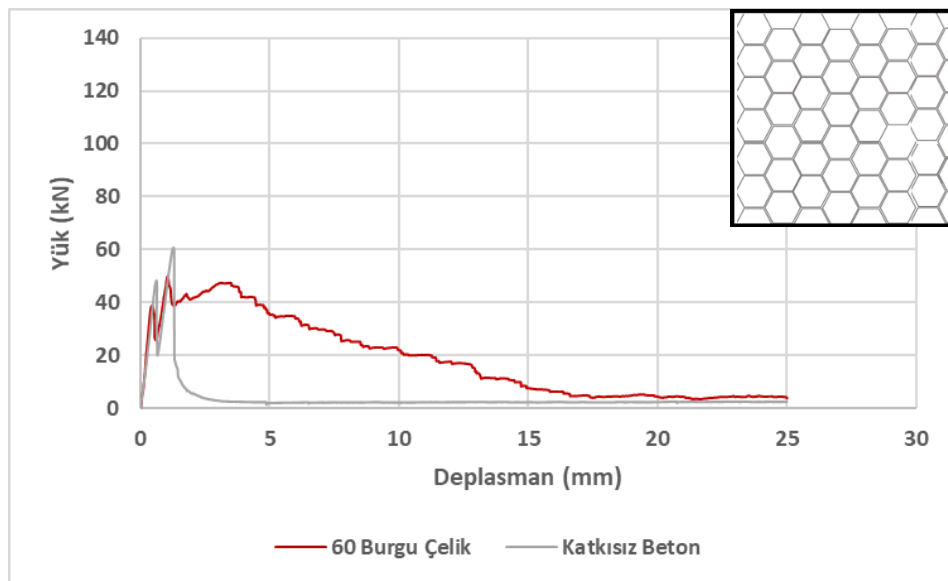
Lifsiz beton, çelik lifli beton ve sentetik lifli beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları Çizelge 4.3’de verilmiştir. Lif kullanımını dayanımda ciddi bir değişikliğe sebep olmamıştır.

Çizelge 4.3 : Basınç Dayanımları (MPa)

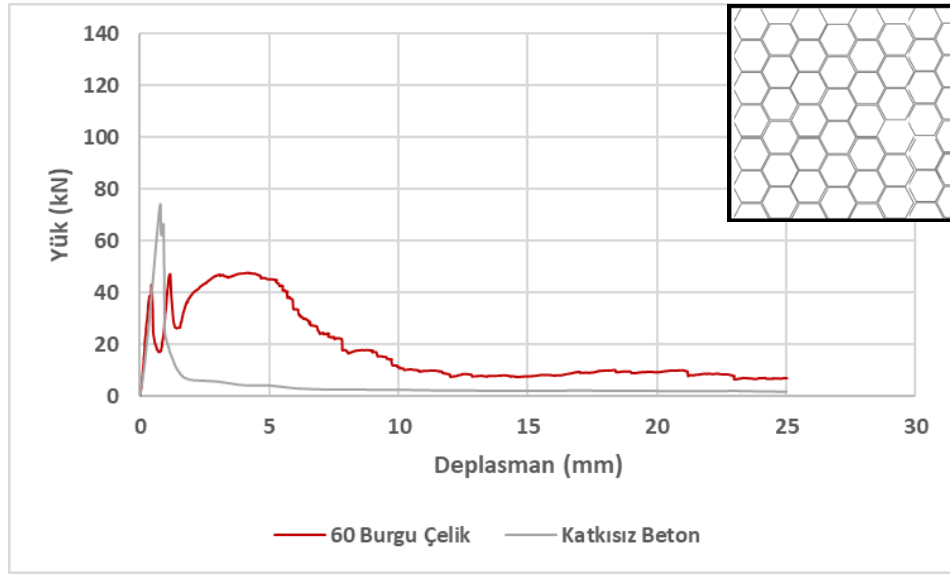
Numune	Lifsiz	Çelik Lif	Sentetik Lif
1	43,245	46,51	47,645
2	53,573	43,638	50,186
3	46,235	49,362	45,952
Ortalama	47,684	46,503	47,928

4.4 Eğilme Deney Sonuçları

Burgu çelik 60 katkı malzemesi ile üretilen beton plak numunenin maksimum eğilmede çekme dayanımı 49,948 kN ve 47,733 kN olarak gözlemlenirken, 25 mm deplasmana karşılık gelen enerji yutabilme kapasiteleri 465 Joule ve 447 Joule olarak hesaplanmıştır. Burgu Çelik 60 Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

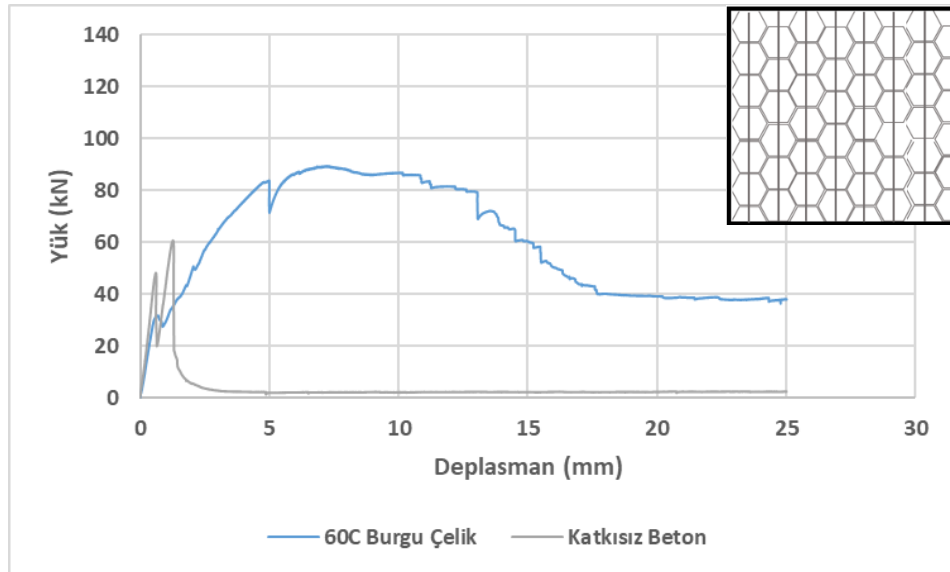


Şekil 4.1 : Burgu Çelik 60 Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune 1)

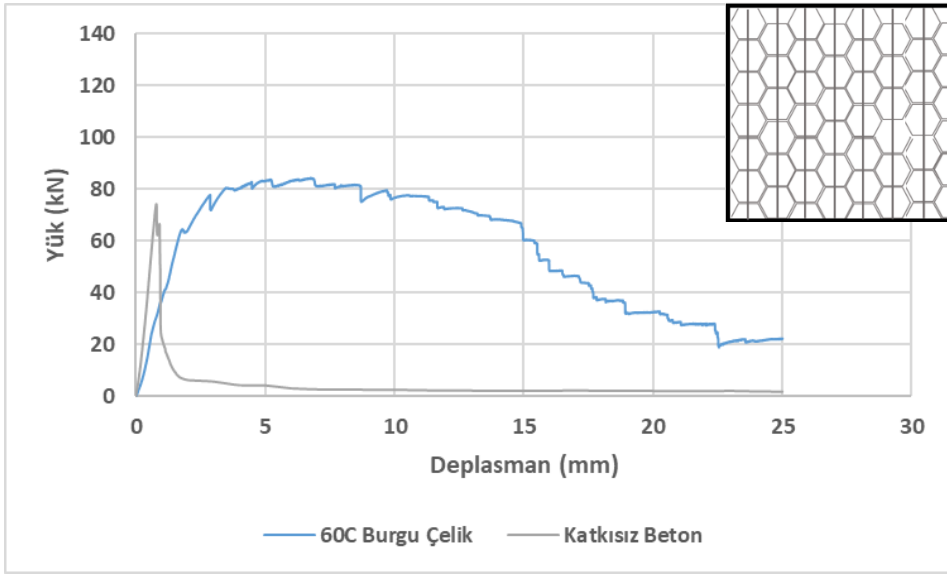


Şekil 4.2 : Burgu Çelik 60 Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune 2)

Burgu çelik 60C katkı malzemesi ile üretilen beton plak numunenin maksimum eğilmede çekme dayanımı 112,528 kN ve 119,267 kN olarak gözlemlenirken, 25 mm deplasmana karşılık gelen enerji yutabilme kapasiteleri 1412 Joule ve 1496 Joule olarak hesaplanmıştır. Burgu Çelik 60C Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de gösterilmiştir.

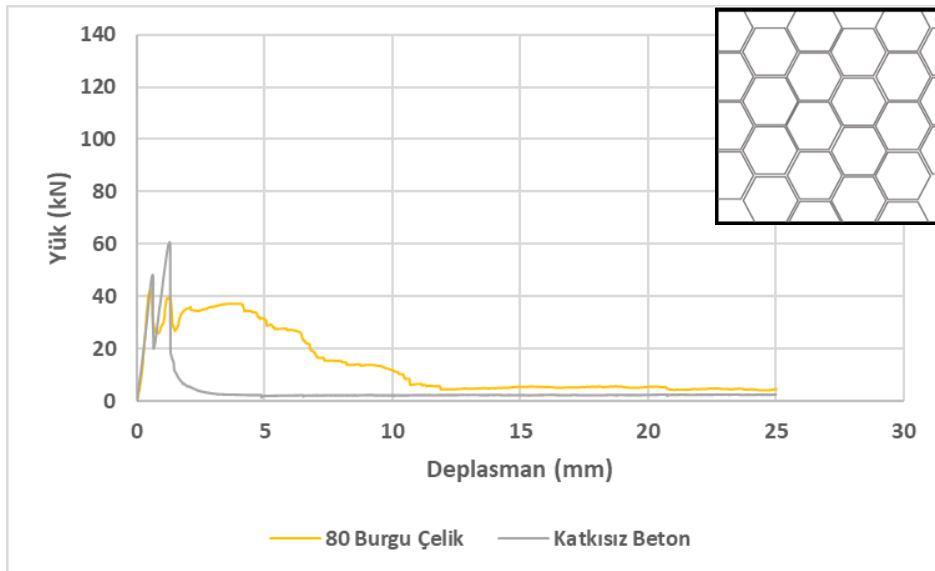


Şekil 4.3 : Burgu Çelik 60C Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune 1)

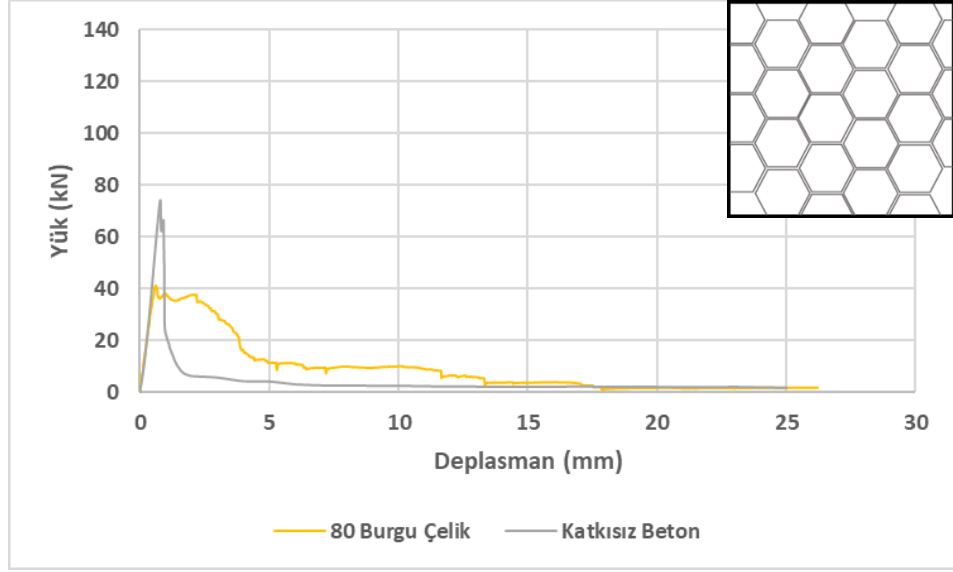


Şekil 4.4 : Burgu Çelik 60C Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune 2)

Burgu çelik 80 katkı malzemesi ile üretilen beton plak numunenin maksimum eğilmede çekme dayanımı 42,485 kN ve 41,135 kN olarak gözlemlenirken, 25 mm deplasmana karşılık gelen enerji yutabilme kapasiteleri 337 Joule ve 239 Joule olarak hesaplanmıştır. Burgu Çelik 80 Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da gösterilmiştir.

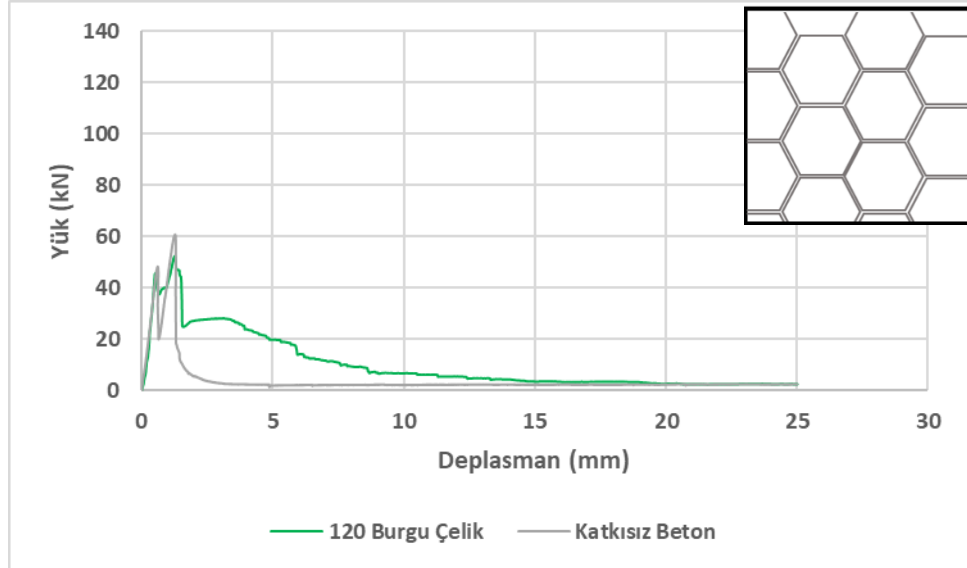


Şekil 4.5 : Burgu Çelik 80 Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune 1)

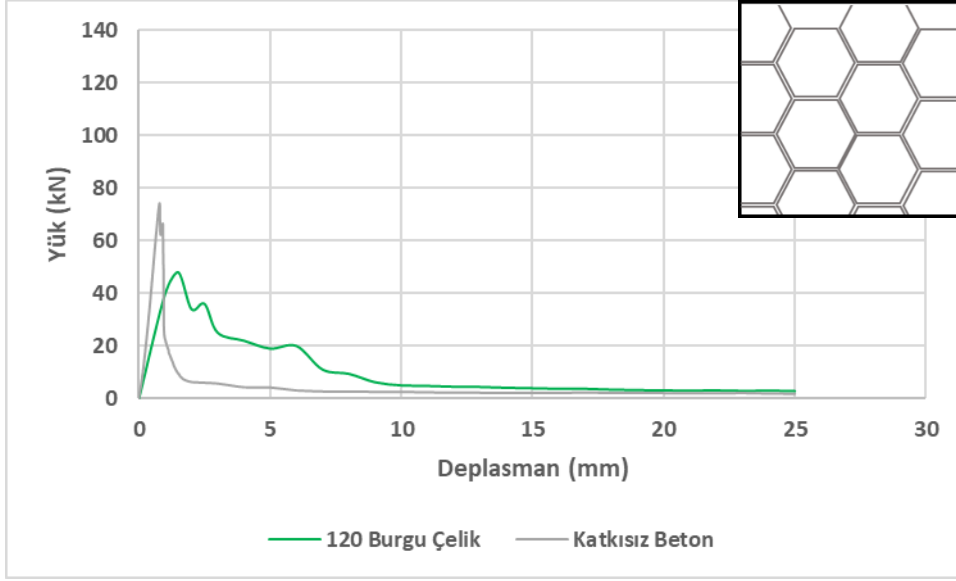


Şekil 4.6 : Burgu Çelik 80 Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune 2)

Burgu çelik 120 katkı malzemesi ile üretilen beton plak numunenin maksimum eğilmede çekme dayanımı 52,284 kN ve 48,000 kN olarak gözlemlenirken, 25 mm deplasmana karşılık gelen enerji yutabilme kapasiteleri 252 Joule ve 253 Joule olarak hesaplanmıştır. Burgu Çelik 120 Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

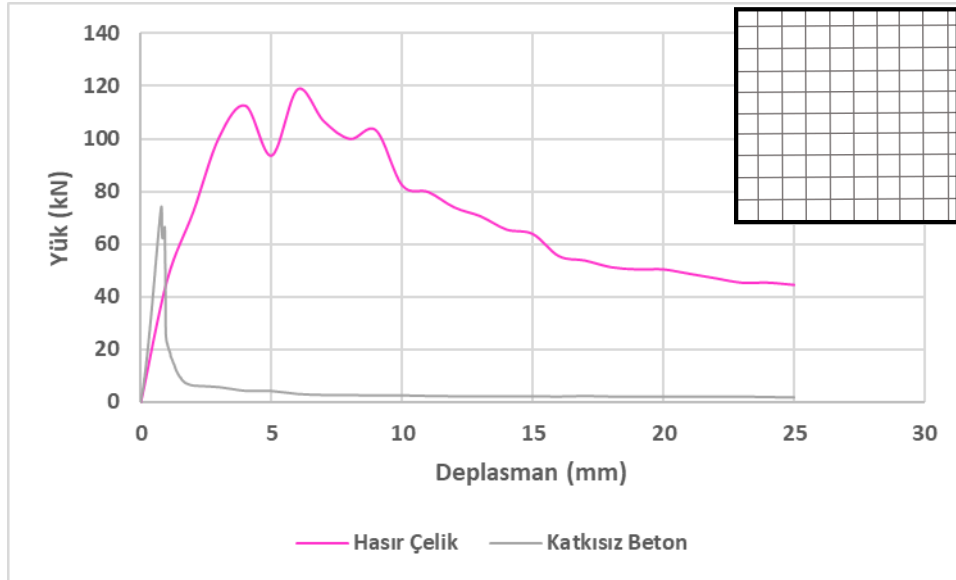


Şekil 4.7 : Burgu Çelik 120 Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune 1)

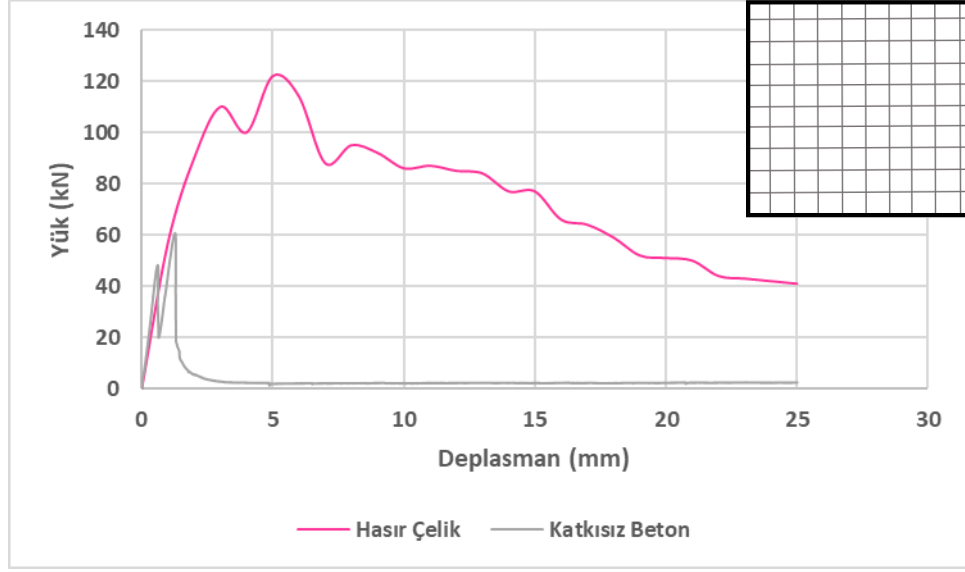


Şekil 4.8 : Burgu Çelik 120 Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune 2)

Hasır çelik katkı malzemesi ile üretilen beton plak numunenin maksimum eğilmede çekme dayanımı 118,800 kN ve 122,000 kN olarak gözlemlenirken, 25 mm deplasmana karşılık gelen enerji yutabilme kapasiteleri 1782 Joule ve 1876 Joule olarak hesaplanmıştır. Hasır Çelik Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'de gösterilmiştir.

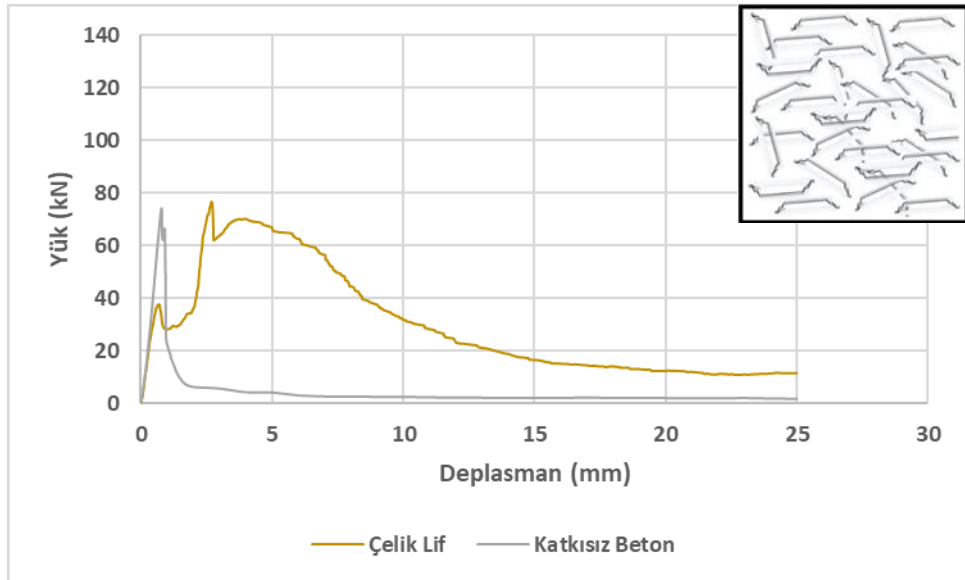


Şekil 4.9 : Hasır Çelik Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune 1)

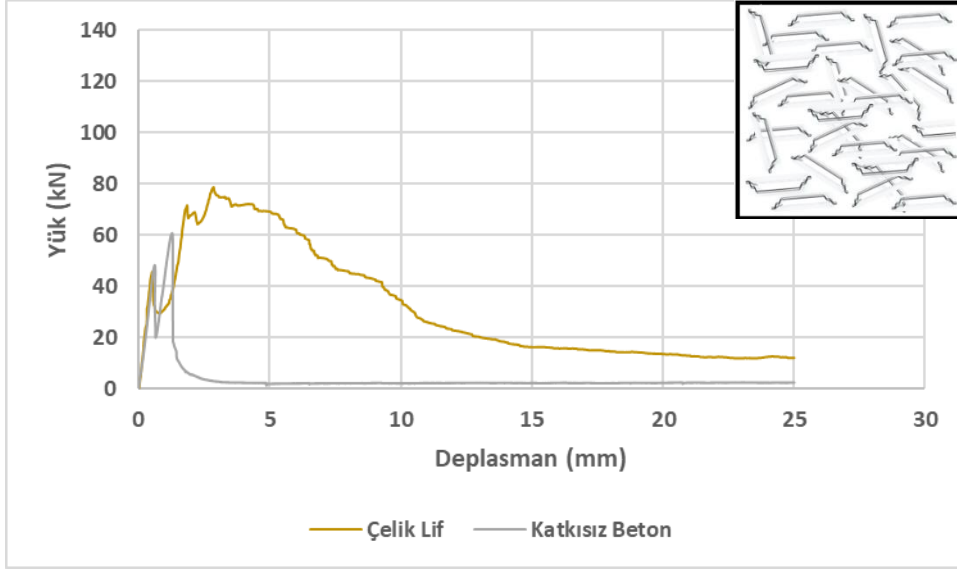


Şekil 4.10 : Hasır Çelik Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune 2)

Çelik lif katkı malzemesi ile üretilen beton plak numunenin maksimum eğilmede çekme dayanımı 78.599 kN ve 76,683 kN olarak gözlemlenirken, 25 mm deplasmana karşılık gelen enerji yutabilme kapasiteleri 792 Joule ve 747 Joule olarak hesaplanmıştır. Çelik Lif Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

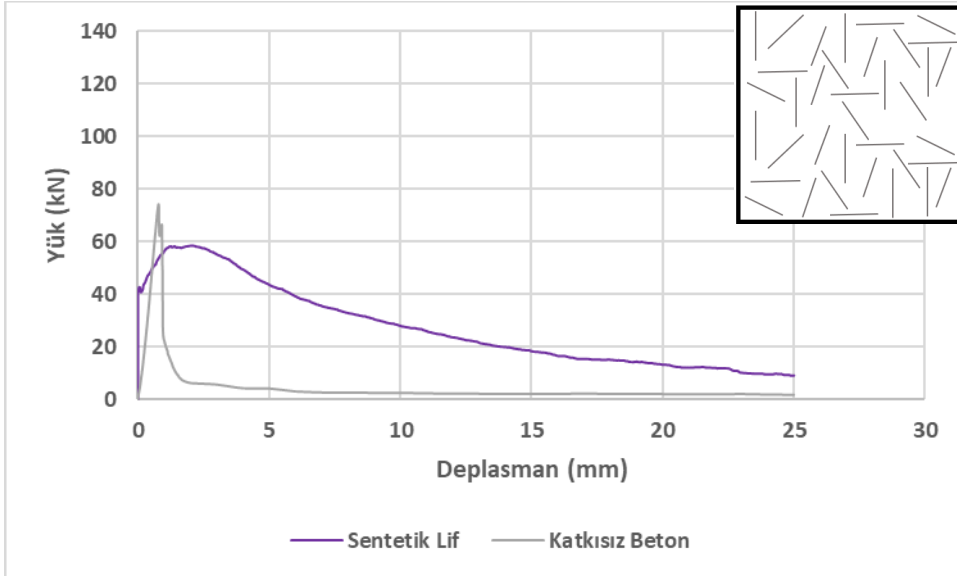


Şekil 4.11 : Çelik Lif Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune 1)

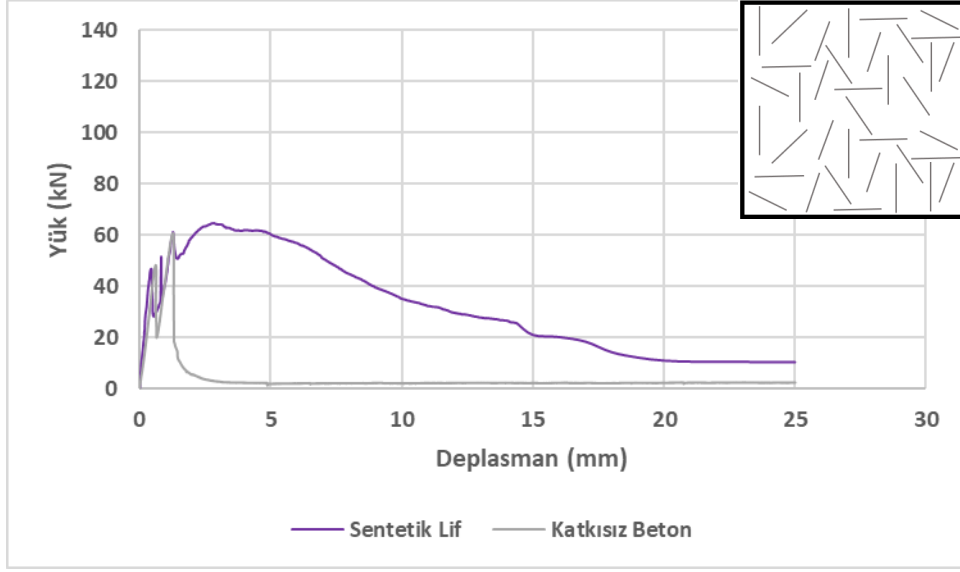


Şekil 4.12 : Çelik Lif Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune 2)

Sentetik lif katkı malzemesi ile üretilen beton plak numunenin maksimum eğilmede çekme dayanımı 64,608 kN ve 58,543 kN olarak gözlemlenirken, 25 mm deplasmana karşılık gelen enerji yutabilme kapasiteleri 791 Joule ve 684 Joule olarak hesaplanmıştır. Sentetik Lif Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de gösterilmiştir.

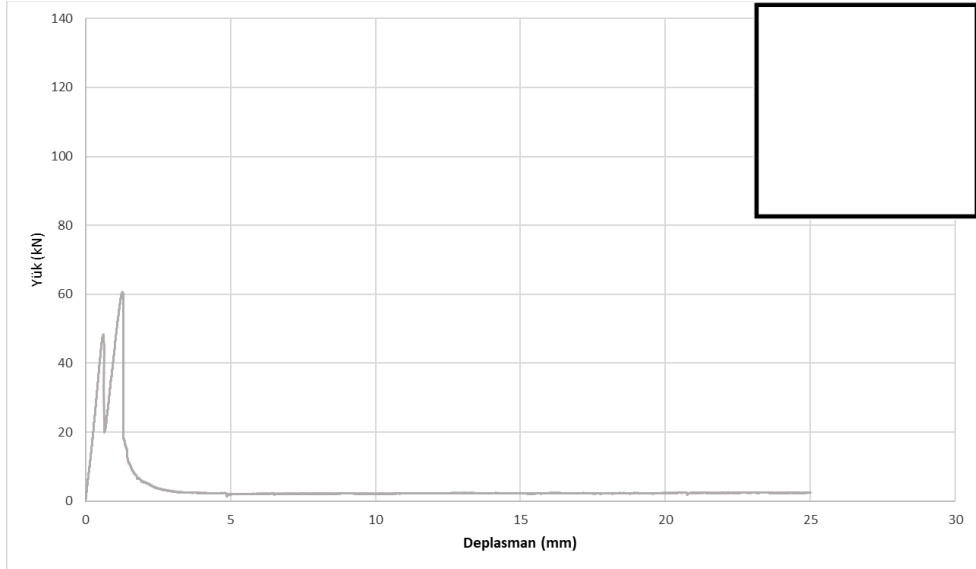


Şekil 4.13 : Sentetik Lif Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune 1)

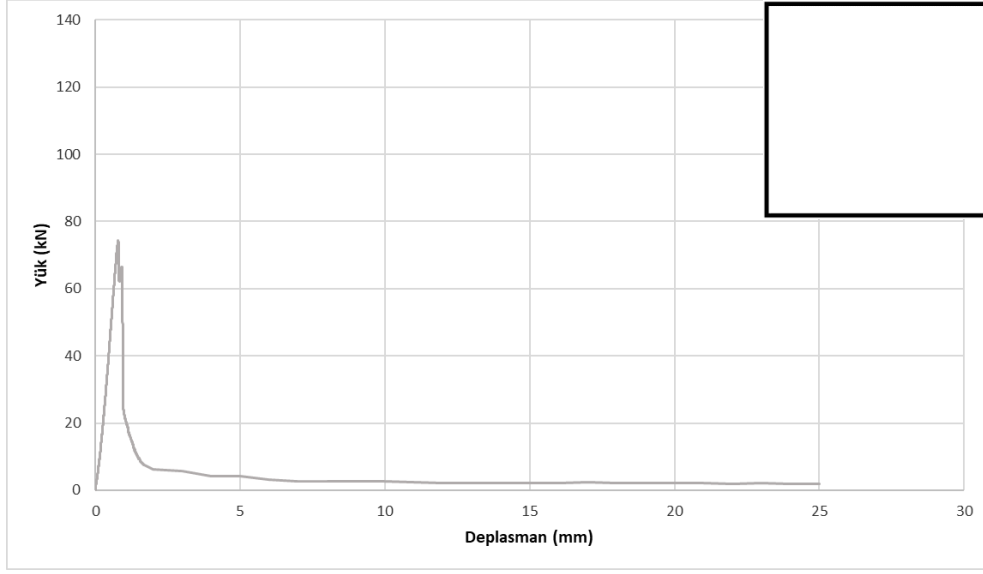


Şekil 4.14 : Sentetik Lif Katkılı Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune 2)

Katkı malzemesi olmadan kontrol amaçlı üretilen beton plak numunenin maksimum eğilmeye çekme dayanımı 60,741 kN ve 74,254 kN olarak gözlemlenirken, 25 mm deplasmana karşılık gelen enerji yutabilme kapasiteleri 104 Joule ve 112 Joule olarak hesaplanmıştır. Katkısız Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.15 : Katkısız Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune 1)



Şekil 4.16 : Katkısız Beton Plaka Eğilme Deneyi Sonuç Grafiği (Numune 2)

Çizelge 4.4 : Eğilme Deneyi Enerji Yutma Kapasitesi Sonuç Grafiği

Numune Türü	Enerji(Joule)		
	Numune 1	Numune 2	Ortalama
Burgu Çelik 60	465	447	456
Burgu Çelik 60C	1412	1496	1454
Burgu Çelik 80	337	239	288
Burgu Çelik 120	252	253	252.5
Çelik Hasır	1782	1876	1829
Çelik Lif	792	747	769.5
Sentetik Lif	791	684	737.5
Katkısız Beton	104	112	108

Yukarıdaki sonuçlar incelendiğinde tezimizin asıl araştırma konusu olan burgu çelik malzememizin farklı çeşitleri deneylere tabi tutulmuştur, özellikle içerisinde tek yönde donatı olan burgu çelik 60C malzememizin çok yüksek tokluk değeri verdiği görülmüştür. Bunun dışındaki burgu çelikler 60-80-120 nispeten katkısız kontrol betonuna göre toklukları yüksek olsada bu değerler inşaat projeleri için yetersiz olduğundan, farklı uygulamalarında çift sıra kullanılması durumunda işe yarayacağı açıktır.

Burgu çelik malzemesinin mekanik yönden yük taşıyıcılığı dışında özellikle rötre çatlamalarını önlediği de gözlemlenmiştir [16].

Bu sonuçlara göre araştırma konumuz burgu çelik malzemelerimizden tek yönde donatılı burgu çelik 60C malzememiz uygulamalarda kullanıldığında enerji yutma kapasitesini iyileştirdiğinden kendine uygula alanı olanı olarak yer açacaktır.





5. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER

Deneysel çalışmada, araştırma konumuz olan burgu çelik malzememizin ve bunların yanında farklı fiber çeşitlerinin betonun mekanik davranışlarına etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;

- Denejde kullanılan katkı malzemeleriyle (fiber/donatı) üretilen beton numunelerin tümü, enerji yutma kapasiteleri ile değerlendirildiğinde, bu numuneler katkısız beton numuneye göre daha iyi performans sergilemişlerdir.
- Burgu çelik 60-80-120 katkı malzememizin kullanıldığı numunelerin ilk çatlak yükü, katkısız beton numuneye göre daha düşük sonuçlar vermiştir.
- 60-80-120 Burgu Çelik bulunan numunelerimizi birbiri ile kıyasladığımızda açık 120 lik burgu çelik enerji yutma kapasitesini değerlendirdiğimizde en düşük sonucu verirken en iyi sonucu 60 Burgu Çelik vermiştir.
- Burgu çelik 60 malzememize tek yönde ilave edilen donatılar ile oluşturduğumuz 60C yeni katkı malzememiz; betonun hem maksimum yük taşıma kapasitesini olarak hem de enerji yutma kapasitesini geliştirerek betonun mekanik özelliklerini iyileştirmiştir.
- Hasır çelik içeren numune hem enerji yutma kapasitesi olarak hem maksimum yük taşıma kapasitesi olarak en iyi performansı göstermiştir
- 60C Burgu Beton hasır çelik ile kıyaslandığında hem maksimum yük taşıma kapasitesi hem de enerji yutma kapasitesi olarak daha düşük değerler versede diğer sentetik ve çelik fibere göre oldukça iyi yüksek değerler vermiştir.
- Sentetik lif ve çelik lif ile üretilen numuneler ile yapılan basınç deneyi ve eğilme deneyi kıyaslamalarında, mekanik özellikleri bakımından benzer özellikler göstermiş ve yaklaşık benzer sonuçlar vermiştir. Ancak sentetik lif beton yerleşmesi ve işlenebilirliği açısından çelik life kıyasla (denejde kullanılan oranlarda) daha iyi olduğu görülmüştür.

- Deneyde kullanılan malzemelerimizin tümünü kıyasladığımızda 60C Burgu çelik, hasır çelik, sentetik, çelik fiber kullanılarak üretilen numunelerin enerji yutma kapasitesi, Karayolları Teknik Şartnamesinde yer alan değerin (700Joule) üstüdedir [18].
- Deneyde kullanılan katkı malzemelerini günümüz ekonomik şartlarındaki güncel maliyetlerini göz önünde bulundurarak kıyasladığımızda malzemelerin maliyetleri aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

(20cm kalınlığında 1 m² bir alanda 60C ve Hasır çelik malzemelerimizi tek sıra halinde kullanıldığı takdirde)

Çizelge 5.1 : Maliyet Kıyaslaması

Malzeme	Maliyet
Hasır Çelik	~50₺
60C Burgu Çelik	~37₺
Sentetik Lif	~40₺
Çelik Lif	~63₺

Çizelgeyi incelediğimizde en avantajlı maliyeti 60C Burgu çelik malzememiz vermektedir.

- 60C Burgu çelik ve Sentetik lif malzemelerinin maliyeti birbirine yakın olsa da enerji yutma kapasiteleri olarak kıyasladığımızda burju çelik malzemesi yaklaşık 2 katı değer vermiştir.
- 60C burju çelik malzememizin Türkiyede üretildiği, maliyetinin diğer lif ve hasır çeliğe kıyasla daha uygun olduğu düşünüldüğünde ülkemizin ekonomisi açısından tercih edileceği sonucu ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **ACI Commitee 544**, Guide for Specifying, Mixing, Placing and Finishing Steel Fibre Reinforced Concrete, ACI Proceedings, March, pp. 140-146.
- [2] **Acun S.**, (2000). *Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Katkıların irdelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [3] **Aral, M.**, (2006). *Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı Bir Optimum Tasarım* (Yüksek Lisans Tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- [4] **Arısoy, B.**, (2005). Lifli Hafif Betonların Optimum Karışım Tasarımı, Deprem Sempozyumu, Kocaeli 23-25 Mart
- [5] **Arslan A. ,Aydın A.C.**, Lifli Betonların Darbe Etkisi Altındaki Genel Özellikleri, Çelik Tel Takviyeli Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Davranışı, Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, Sabancı Center, 30 s
- [6] **Avar, D.**, (2006). *Karma Lifli Betonların Mekanik Davranışına Buhar Kürü Etkisi*, (Yüksek Lisans Tezi), İ.T.Ü. Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- [7] **Bentur, A. ve Mindess, S.** (2007). Fibre Reinforced Cementitious Composites, 2nd Edition Taylor&Francis Group.
- [8] **Çakır, C.**, (2013) “*Makrosentetik ve Çelik Lif Donatılı Betonların Mekanik Davranışı*” (Yüksek Lisans Tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- [9] **Cement&Concrete Institute**, (2010). Fibre Reinforced Concrete, Cement & Concrete Institute, Midrand.
- [10] **ÇESAN.**, (1975). Beton çelik hasır uygulaması, İstanbul. 89
- [11] **Chawla K.K.**, (1998). Fibrous Materials, Cambridge University Pres, Cambridge.
- [12] **DSİ.**, (1994). Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton, Devlet Su İşleri , Ankara.
- [13] **Ekincioglu, Ö.** , (2003). *Karma lif içeren çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı bir optimum tasarım*, (Yüksek Lisans Tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- [14] **Ersoy, H.Y.**, (2001). Kompozit malzeme, Literatür yayınları:66, İstanbul, Türkiye
- [15] **Gürkan, G.**, (1988). Çelik hasır tanıtım ve kullanım semineri, İ.M.O., Harbiye, İstanbul.
- [16] **Gürsesli Y.S.**, (2019). *Farklı Fiberlerin Betonun Kuruma Büzülmesi Davranışına Ve Betonda Plastik Rötire Sonucu Oluşan Çatlaklara Etkisi* (Yüksek Lisans Tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

- [17] **Haydar Alparslan & Ali Saglam**, (2006). Analysis Concrete Performance with Process Sand, Water, Cement, Quantities by Fuzzy Logic. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/303914>
- [18] **Karayolları Teknik Şartnamesi**, (2013). 4
- [19] **Koksal, F.**, (2004). “*Çelik Tel Donatılı Betonların Mekanik Davranışı ve Optimum Tasarımı*”, (Doktora Tezi), İstanbul, Türkiye,
- [20] **Kurt, G.**, (2006). *Lif İçeriği ve Su/Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışına Etkileri*, (Yüksek Lisans Tezi), İ.T.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] **Sahmaran, M., Yurtseven, A., Yaman, I.O.**, Workability of Hybrid Fiber Reinforced Self-Compacting Concrete, *Building and Environment*, 40, 1672- 1677.
- [22] **Shah, S.P. and Balaguru, P.N.**, (1992). *Fiber-Reinforced Cement Composites*, McGraw-Hill Inc., Singapore..
- [23] **Shilang, X., and Qianghua, L.**, An Experimental Study on Bending Behaviour of Cementitious Composites Reinforced in Combination with Carbon Textile and Short-Cut PVA Fiber, Department of Civil Engineering, Dailan University of Technology, China.
- [24] **Soroushian, P. And Bayasi, Z.**, (1991). Fiber-Type Effects on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete, *ACI Materials Journal*, V.88, No.2, March/April.
- [25] **Taşdemir M.A.**, (2000). Teknik Rapor 1-Beksa Çelik Kord Sanayi ve Ticaret A.Ş. Tarafından getirilen Dramix Çelik Tel Donatılı Beton Plaklar Üzerinde Yapılan Deneyler ile İlgili, Proje No:2000/323, Nisan 2000, İstanbul, 9 s.
- [26] **TS EN 12350-2** (2010). Beton – Taze beton deneyleri – Bölüm 2: Çökme (slump) Deneyi
- [27] **TS EN 12350-6** (2010). Beton – Taze beton deneyleri – Bölüm 2: Birim Ağırlık Deneyi
- [28] **TS EN 12390-3** (2006). Testing sprayed concrete Determination of energy absorption capacity of fibre reinforced slab specimens.
- [29] **TS EN 12390-3** (2010). Beton – Sertleşmiş beton deneyleri – Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini.
- [30] **TS-4559**, (1985). Beton Çelik Hasırları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

EKLER

EK A: Doğal kum, Kırma kum, Kırmataş No 1 ve Kırmataş No 2 agregaların fiziksel ve kimyasal özellikleri



EK A

1- ELEK ANALİZİ (GRANÜLOMETRİ) DENEYİ

Deney, TS 3530 (EN 933-1) standardına göre yapılmıştır.
Elekten geçen, % Elek göz boyutları, (mm)

Çizelge A.1 : Elek Analizi Sonuçları

Agrega Cinsi	31.5	22	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125
Doğal Kum (Kuzey İstanbul)	100	100	100	100	100	100	98	94	27	0.9
Kırmataş Kumu (Boğaziçi)	100	100	100	100	85	51	30	20	9.3	
Kırmataş 1 (Boğaziçi)	100	100	100	54	2.2	0.1	0	0	0	
Kırmataş 2 (Boğaziçi)	100	100	55	2	0.3	0	0	0	0	

2. ÖZGÜL AĞIRLIK, GEVŞEK BİRİM AĞIRLIK VE SU EMME DENEYİ

Deney, TS EN 1097-6 ve TS EN 1097-3 standartlarına göre yapılmıştır.

Çizelge A.2 : Özgül Ağırlık, Gevşek Birim Ağırlık ve Su Emme Deney Sonuçları

Agrega Cinsi	Suya Doygun Yüzey Kuru Özgül Ağırlık (kg/m ³)	Ağırlıkça Su Emme (%)	Gevşek Birim Ağırlık (kg/m ³)
Doğal Kum (Kuzey İstanbul)	2630	1.0	1390
Kırmataş Kumu (Boğaziçi)	2700	1.3	1660
Kırmataş 1 (Boğaziçi)	2720	0.6	1470
Kırmataş 2 (Boğaziçi)	2720	0.4	1465

3. İNCE MADDE ORANI DENEYİ

Deney, TS 3527 standartına göre yapılmıştır.

Çizelge A.3 : İnce Madde Oranı Deney Sonuçları

Agrega Cinsi	Ağırlıkça İnce Madde Oranı (%)	Kategori
Doğal Kum (Kuzey İstanbul)	0,5	f ₃
Kırmataş Kumu (Boğaziçi)	3,8	f ₁₀
Kırmataş 1 (Boğaziçi)	0.3	f _{1.5}
Kırmataş 2 (Boğaziçi)	0.3	f _{1.5}

4. METİLEN MAVİSİ DENEYİ

Deney, TS EN 933-9 standardına göre yapılmıştır.

Çizelge A.4 : Metilen Mavisi Deney Sonuçları

Agrega Cinsi	Metilen Mavisi Deneyi (gr/kg)
Doğal Kum	0,6
Kırma Kum	1,0

5. KUM EŞDEĞERLİLİĞİ DENEYİ

Deney, TS EN 933-8 standardına göre yapılmıştır.

Doğal kum agregasının kum eşdeğerliliği SE= % 83

Kırma kum agregasının kum eşdeğerliliği SE= %67 olarak bulunmuştur.

6. HUMUS MUHTEVASININ TAYİNİ (ORGANİK MADDE) DENEYİ

Deney, TS EN 1744-1 standardına göre yapılmıştır. Doğal kum ve Kırmataş kumu agregasında yapılan deneyde %3' lük NaOH çözeltisi kullanılmıştır ve çözeltinin "RENKSİZ" olduğu gözlemlenmiştir.

7. DON DENEYİ (MgSO₄ ÇÖZELTİSİ İLE)

Deney, TS EN 1367-2 standardına göre yapılmıştır.

Çizelge A.5 : Don Deneyi Sonuçları

Agrega Cinsi	Geçen Elek Açıklığı (mm)	Kalan Elek Açıklığı (mm)	Deneyden Sonra İnce Elekten Geçen Miktar Yüzdesi (%) -1	Granülometri (%) -2	Düzeltilmiş Kayıp Yüzdesi (%) (1x2)
Doğal Kum (Kuzey İstanbul)	0.59	0.3	9,4 (Kategori MS18)	100	9.4
Kırmataş 1 ve 2 Karışımı (Boğaziçi)	14	10	2.5 (Kategori MS18)		

8. KURUMA ÇEKMESİ TAYİNİ DENEYİ

8.1 Agregalar

Kullanılan agregaların elekten geçen (%) miktarları aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge A.6 : Agrega karışım oranı

Numune Adı	Karışım Oranı	Elek Çapı (mm)							
		0.25	0.5	1	2	4	8	16	25
Kırmetaş II	0.29	0	0	0	0	0.3	2	55	100
Kırmetaş I	0.35	0	0	0	0.1	2.2	54	100	100
Kırma kum	0.20	9.3	20	30	51	85	100	100	100
Doğal Kum	0.16	27	94	98	100	100	100	100	100

8.2 Kuruma Çekmesi

Deney, 10x10x50cm boyutlarında üretilen 3 'er adet numune ile yapılmıştır.

Çizelge A.7 : Kuruma Çekmesi Deneyi

Numune No	Kuruma Çekmesi (%)	
	Doğal Kum	Kırmetaş 1-2
1	0,032	0,035
2	0,029	0,034
3	0,03	0,037
Ortalama	0,03	0,035

9. LOS ANGELES AŞINMA DENEYİ

Deney, TS EN 1097-2 standardına göre yapılmıştır.

Çizelge A.8 : Los Angles Aşınma Deneyi Sonuçları

Kırmetaş 1 ve Kırmetaş 2 Karışımı	
Elek Açıklığı (mm)	10--14
500 Devir Sonunda Los Angeles Katsayısı, LA	18,5 (Kategori LA20)

10. TANE ŞEKLİ – YASSILIK ENDEKSİ DENEYİ

TS EN 933-3 standartlarına göre yapılmıştır.

Çizelge A.9 : Tane Şekli Deney Sonuçları

	Kırmataş 1	Kırmataş 2
Yassılık Endeksi (%)	13 (Kategori FL15)	12 (Kategori FL15)
Şekil Endeksi (%)	11 (Kategori SL15)	12 (Kategori SL15)

14. KİMYASAL ÖZELLİKLER

Deney, TS EN 1744-1 standartına göre yapılmıştır.

a) Klor-Sülfat içeriği :

Çizelge A.10 : Tane Şekli Deney Sonuçları

	Doğal Kum	Kırmataş 1 ve 2 Karışımı
Klorür oranı; Cl	0,00059%	0,00022%
Sülfat oranı (içeriği) SO ₄	% 0.0038 (Kategori AS _{0,2}).	% 0.0029 (Kategori AS _{0,2})
Kükürt oranı (içeriği) S	% 0.001248 (Kategori AS _{0,2})	0,00093%

b1) Alkali-Agrega Reaktivitesi Deneyi:

Deney, TS 2517 standartına göre yapılmıştır.

Çizelge A.11 : Alkali -Agrega Reaktivitesi Deney Sonuçları

	Doğal Kum	Kırma Kum
Alkali agregası azalması	63 mmol/ litre	77 mmol/ litre
çözünen silis (SiO ₂)	1 milimol/ litre	20 milimol/ litre

Sonuçlar neticesinde numune üretiminde kullanılan agregalar zararsızdır.

b2) Alkali-Agrega Reaktivitesi Deneyi

Deney, ASTM C1260 standardına göre yapılmıştır. Bu deneyde % 25 doğal kum %75 kırmataş kumu karıştırılarak bir harç hazırlanmıştır. Bu harçta $Na_2O_{eq} = \%0,74$ olan CEMI 42,5 çimento kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler $80^{\circ}C$ sıcaklıktaki NaOH çözeltisi içinde bekletilmiş ve 14 gün sonunda boy değişimleri ölçülmüştür. % 0,20' den büyük değerler zararlı sınıfında yer almaktadır.

Çizelge A.12 : Agregaların % Boyca Genleşmesi

	14.Gün Boyca Genleşme (%)
Doğal Kum	0,14
Kırmataş 1 ve 2 Karışımı	0,17

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Fadime Asya Şahin

ÖĞRENİM DURUMU :

- **Lisans** : 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi6, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

