

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**NAYLON 66 LİF KULLANIMININ BETONDA MEKANİK
PARAMETRELER VE RÖTREYE ETKİSİ**

SARTUKAM DOĞAÇ ÖZSAR

KOCAELİ 2017

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NAYLON 66 LİF KULLANIMININ BETONDA MEKANİK
PARAMETRELER VE RÖTREYE ETKİSİ

SARTUKAM DOĞAÇ ÖZSAR

Doç.Dr. Burcu AKÇAY ALDANMAZ

Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Prof.Dr. Nabi YÜZER

Jüri Üyesi, Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Adnan ÖNER

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Burcu Akçay

Nabi Yüzer

Adnan Öner

Tezin Savunulduğu Tarih: 18.12.2017

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada betona eklenen naylon liflerin beton rötresi ve kırılma mekaniğine etkileri deneysel yönden incelenmektedir.

Öncelikle tüm bilgi birikimi ve tecrübesiyle bana her konuda rehberlik eden ve paylaştığı fikirleriyle bugün olduğum kişi olmamda büyük pay sahibi olan danışman hocam Doç. Dr. Burcu AKÇAY ALDANMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bunun yanında tez çalışmam boyunca benden yardımlarını esirgemeyen kuzenim Makine Müh. Orsal Özgür ÖZSAR'a, lisans öğrenimim boyunca bana yol gösteren Arş. Gör. Muhammed Yasin DURGUN'a, laboratuvar çalışmalarım boyunca sağladıkları yardımlar için başta Dr. Fatih ÖZALP olmak üzere tüm İSTON A.Ş. Ar-Ge departmanına, malzeme temini için Nuh Çimento A.Ş. ve Kordsa'ya teşekkürleri bir borç bilirim.

Hayatımın her aşamasında yanımda olduklarını bildiğim aileme, arkadaşlarıma, kardeşim Saltık Doğa ÖZSAR'a ve kız arkadaşım Ieva KALĒJA'ya ayrıca teşekkür ederim.

Kasım – 2017

Sartukam Doğaç ÖZSAR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
GİRİŞ	1
1. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
1.1. Lifli Beton	3
1.1.1. Lifli beton kullanım alanları	8
1.1.2. Lifli betonun mekanik özellikleri	8
1.1.3. Naylon lifli betonların mekanik özellikleri.....	12
1.2. Rötire	13
1.2.1. Rötire çeşitleri.....	14
1.2.1.1. Plastik rötire	14
1.2.1.2. Kuruma rötiresi.....	15
1.2.1.3. Otojen rötire	15
1.2.1.4. Termal rötire.....	16
1.2.1.5. Numune içi nem değişimi	16
1.2.1.6. Karbonatlaşma rötiresi.....	16
1.2.2. Naylon lifin beton rötiresine etkisi	16
2. DENEYSEL ÇALIŞMA	17
2.1. Çalışmanın Amacı.....	18
2.2. Deneyde Kullanılan Yöntem ve Malzemeler.....	18
2.2.1. Çimento	18
2.2.2. Akışkanlaştırıcı katkı	19
2.2.3. Agregası	19
2.2.4. Lif	21
2.2.5. Numune özellikleri ve deney yöntemi	22
3. DENEY BULGULARI	26
3.1. Taze Beton Deneyleri	26
3.2. Betonun Mekanik Özellikleri.....	26
3.2.1. Beton basınç deneyi.....	27
3.2.2. Beton yarmada çekme deneyi.....	28
3.2.3. Dört noktalı eğilme deneyi	29
3.3. Beton Rötire Sonuçları	31
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	33
KAYNAKLAR	34
EKLER.....	38
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	56
ÖZGEÇMİŞ	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Lif sınıflandırması.....	3
Şekil 1.2.	Lif/matris çalışma prensibi	5
Şekil 1.3.	Lif katkısının enerji yutma kapasitesine olan etkisi.....	7
Şekil 1.4.	Lif elastisite modülündeki değişimin, lifin çimento matrisi ile olan aderansına yaptığı etki.....	7
Şekil 1.5.	Basınç kuvveti altındaki numune ve lif yönelimleri	9
Şekil 1.6.	Lifli betonun yük altındaki şekil değiştirme grafiği	10
Şekil 1.7.	0,45 s/ç oranına sahip numunenin tel içeriği ve narinliğe bağlı yarmada çekme dayanımları	11
Şekil 1.8.	0,70 s/ç oranına sahip numunenin tel içeriği ve narinliğe bağlı yarmada çekme dayanımları	11
Şekil 1.9.	Gerilme – Birim şekil değiştirme eğrisi.....	12
Şekil 1.10.	Farklı lif katkıları altında değişen çatlak uzunlukları	17
Şekil 2.1.	Naylon 66 ve Naylon 6 liflerin atomik bağları	21
Şekil 2.2.	Naylon liflerin fiziksel görüntüsü	21
Şekil 2.3.	Yük-Sehim eğrisi örneği.....	24
Şekil 2.4.	Dört noktalı eğilme deney düzeneği şematik gösterimi.....	25
Şekil 2.5.	Dört noktalı eğilme deney düzeneği	25
Şekil 2.6.	Basınç deneyi deney düzeneği	25
Şekil 3.1.	Betonların ortalama basınç dayanımları karşılaştırması	27
Şekil 3.2.	Betonların ortalama yarmada çekme dayanımlarının karşılaştırılması	29
Şekil 3.3.	Betonların yük-sehim eğrileri	30
Şekil 3.4.	Betonların 0,5 mm'ye kadar olan yük-sehim eğrileri	30
Şekil 3.5.	Betonların ortalama kırılma enerjileri.....	31
Şekil 3.6.	Betonların ortalama net eğilme dayanımları.....	31

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1.	Lifli beton özelliklerinin, yalın matris özelliklerine oranlanmış, artış yüzdeleri.....	5
Tablo 1.2.	Lifli çimento esaslı kompozitlerin yalın malzeme özelliklerine etkisinin farklı lif türleriyle karşılaştırılması.....	6
Tablo 1.3.	Kompozitlere eklenen lifler ve kullanım alanları	8
Tablo 2.1.	Kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	18
Tablo 2.2.	Sika Viscocrete SF 18 teknik özellikleri.....	19
Tablo 2.3.	Glenium 51 teknik özellikleri	19
Tablo 2.4.	Kırma taş A granülometresi.....	20
Tablo 2.5.	Kırma taş B granülometresi	20
Tablo 2.6.	Doğal kum granülometresi.....	20
Tablo 2.7.	Deneyde kullanılan naylon 66 liflerin özellikleri	21
Tablo 2.8.	Betonların karışım içerik miktarları. (36 dm ³).....	23
Tablo 3.1.	Beton birim hacim ağırlık deney sonuçları.....	26
Tablo 3.2.	Betonların mekanik özellikleri.....	27
Tablo 3.3.	Üretilen betonların serbest ve otojen rötre ölçümleri	32

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_{lig}	: Etkin kesit alanı, (m^2)
B	: Numune kesit genişliği, (mm)
D	: Numune kesit yüksekliği, (mm)
f_{ct}	: Yarmada çekme dayanımı, (MPa)
f_{net}	: Net eğilme dayanımı, (MPa)
g	: Yer çekimi ivmesi, (m/sn^2)
G_F	: Kırılma enerjisi, (J/m^2)
L	: Mesnetlerin birbirlerine olan uzaklıkları, (mm)
L_N	: Numune kesit uzunluğu, (mm)
m	: Kirişin mesnetler arasında kalan ağırlığı, (kg)
P	: Kırılma yükü, (N)
V_f	: Tel içeriği, (kg/m^3)
W_0	: Yük-sehim eğrisinin altındaki alan, (Nm)
δ_0	: Kirişin göçmeden önceki son sehim değeri, (m)

Kısaltmalar

ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerikan Deney ve Materyaller Birliği)
EN	: European Norm (Avrupa standartları)
LVDT	: Linear Variable Differential Transformer (Doğrusal değişken türevsel dönüştürücü)
PET	: Polyethylene Terephthalate (Polietilen tereftalat)
REF	: Referans
RILEM	: Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, Systèmes de Construction et Ouvrages (Uluslararası Laboratuvarlar ve Yapı Malzemeleri, Sistem ve Yapı Uzmanları Birliği)
s/ç	: Beton Su/Çimento Oranı
TS	: Türk Standartları

NAYLON 66 LİF KULLANIMININ BETONDA MEKANİK PARAMETRELER VE RÖTREYE ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışmada naylon 66 liflerle takviye edilmiş betonun mekanik özellikleri, kırılma parametreleri ve kuruma ile otojen rötre davranışları araştırılmıştır. İlk deney grubunda hacimce %1 oranında makro boyutta 0,55 mm çapında ve 54 mm uzunluğunda naylon 66 lifler, su/çimento oranı sırasıyla 0,28, 0,35 ve 0,42 oranlarında karışımlarda denenmişlerdir. Daha sonra 0,05 mm çapında ve 12 mm uzunluğundaki mikro lifler 0,35 ve 0,42 su/çimento oranındaki karışımlara eklenmiştir. Son olarak 0,42 su/çimento oranına sahip karışıma makro liften hacimce %1 ve mikro liften hacimce %0,5 olmak üzere eklenen lifler ile karma bir karışım elde edilmiştir. Deney sonucunda üretilen kırıntı numunelerde dört noktalı eğilme testi uygulanmış, yük-şekil değiştirme ve yük-çatlak genişliği eğrileri elde edilmiştir. Bunun yanı sıra üretilen betonların kuruma ve otojen rötreleri de ölçülmüştür.

Deney sonuçları, su/çimento ve lif oranlarının değişiminin numuneler üzerinde önemli ölçüde etkileri olduğunu göstermiştir. Düşük su/çimento oranı ve makro liflerin kullanıldığı örneklerde lifler, yük taşıma kapasitelerinin aşılması sonucu kopmuşlar ve bu liflerin matristen sıyrılmaya uğramadan ayrıldığı görülmüştür, bunun yanında ise kırılma sünekliğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Diğer yandan 0,42 su/çimento oranında hazırlanan numunelerde lif sıyrılmaya mekanizması daha sık karşımıza çıktığı gibi, gerilme-çatlak genişliği eğrileri de daha dik olduğu görülmüştür. Sabit su/çimento oranı altında hem basınç hem de eğilme testlerinde mikro lifler makro liflerden daha yüksek değerler vermişlerdir. Ancak eğilme altındaki toplam kırılma enerjileri hemen hemen aynı olarak gözlemlenmiştir. Her iki lif türü de rötre üzerinde azaltıcı etki gösterirken mikro liflerin otojen rötre üzerinde özellikle de erken yaş döneminde olmak üzere daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kırılma Davranışı, Lif Geometrisi, Naylon Lif, Rötre.

EFFECTS OF NYLON 66 FIBRES ON MECHANICAL PARAMETERS AND SHRINKAGE OF CONCRETE

ABSTRACT

In this study, mechanical properties, fracture behaviour, and drying and autogenous shrinkage behaviours of nylon fibre reinforced concretes were investigated. First series, 1 volume percent of nylon macro fibres with a diameter of 0,55 mm and length of 54 mm were added three concretes with variable water to cement ratios. Then, 0,5 volume percent of micro fibres with a diameter of 0,05 mm and length of 12 mm added the concretes. In a third series, hybrid fibre reinforced concrete produced. The load-crack width and load-displacement at the mid-span curves of beam specimens were simultaneously recorded with using displacement controlled bending tests. In addition, drying and autogenous shrinkage of concretes were measured.

It is shown that both the size of nylon fibres and water to cement ratio have significant effects on the residual stresses in the post-peak response of concretes in bending. In concrete with low water to cement ratio and with macro fibres, the cracks usually cut the fibres without pull-out mechanism, and fracture tends to be less ductile in nature. On the other hand, concrete with water to cement ratio of 0,42, fibre pull-out mechanisms was found to be more effective, and steeper gradients of the stress-crack width curves were obtained. It was found that the compressive and bending strengths were higher in concretes with micro fibres than in those with macro fibres. Concretes with two types of fibres have similar total fracture energy under bending. Both of fibre types had a diminishing effect on the shrinkage of concretes.

Keywords: Fibre Geometry, Fracture Energy, Nylon Fibre, Shrinkage.

GİRİŞ

Beton, inşaat sektöründeki en önemli yapı malzemesi olmasına rağmen bazı kusurlar içerdiği bilinmektedir. Kompozit bir malzeme olan betonda bu kusurları en aza indirmek veya gidermek için içerisine farklı malzemeler eklenebilir ve/veya çıkartılabilir. Bu bağlamda betona lif eklenmesi sıklıkla gördüğümüz bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Lif ilavesinin etkisi, yalın beton tasarımına bağlı olduğu gibi kullanılan liflerin malzemesine, geometrisine, miktarına ve liflerin varsa reaksiyon özellikleri gibi parametrelere de bağlı olduğu görülmüştür. Lif genel anlamda betonun kırılma tokluğuna, rötreye, yüzey gerilmelerine ve çatlak gelişiminin engellenmesine olumlu katkılarda bulunmaktadır. Betonun en büyük problemlerinden biri olarak karşımıza çıkan kırılma davranışının gevrek oluşu lif katkısıyla azaltılıp istenilen seviyelere getirilebilmiştir [1, 2]. Fakat lifin türü bu noktada sonuçlara farklı etki etmeye başlayabildiği görülmüştür. Kullanılan lifin su emme oranı, betonla girdiği reaksiyonlar gibi parametreler, lifin olumlu katkılarının yanında olumsuz sonuçlara da yol açabilmektedir [3]. Bu gibi sorunların önüne geçmek için optimum tasarım ilkesine uygun hareket edilmeli ve amaca uygun beton tasarımı yapılmalıdır. Lif kullanımının bir diğer olumlu etkisi betonun erken ve ileri yaşlardaki rötresini önlemede görülmüştür [2, 4, 5]. Beton içerisinde kullanılan lifin çalışma prensibi, betonda oluşan çatlakları henüz oluşma aşamasındayken engellemek ve eğer çatlak oluşumu başladıysa bu çatlağın gelişmesini ve büyümesini önlemek üzerine olmuştur [6].

Rötre çimentolu malzemede çeşitli nedenlerden dolayı oluşan gerilmelere verilmiş olan isimdir. Rötre nedeniyle meydana gelen çatlaklar, betonda kusurlu bir yapı oluşumuna neden olduğu görülmüştür. Lif, küçük rötre çatlakları da dahil olmak üzere yük taşıyıcı özeliğini devreye sokarak yüzeydeki gerilmelerin bir kısmını kendi üzerine aldığı bilinmektedir. Lifler çekme gerilme kapasitesini betonun karşılayamayacağı bölgelerde kullanarak çatlak oluşum ve ilerlemesini engellemeye yönelik kullanılır. Liflerin beton davranışına etkisi, lif özellikleri ve kullanılan lif miktarına bağlı olduğu bilinmektedir. Rötre ve kırılma mekaniğine yaptığı

katkılardan dolayı genel anlamda lif, betonun sünek bir davranış sergilemesine olumlu yönde katkıda bulunmuştur. Fakat yapılan bazı çalışmalar, farklı boyut ve malzemedeki lif katkısının betonun kırılma davranışında birbirinden farklı sonuçlara neden olduğundan dolayı bu kısım henüz tartışmalara açık kalmıştır [7]. Yaptığımız çalışmada bu noktaya değinerek lifin katkısının, Naylon 66 lif özelinde betonun sünekliğine ve rötresine yaptığı etkiler araştırıldı.

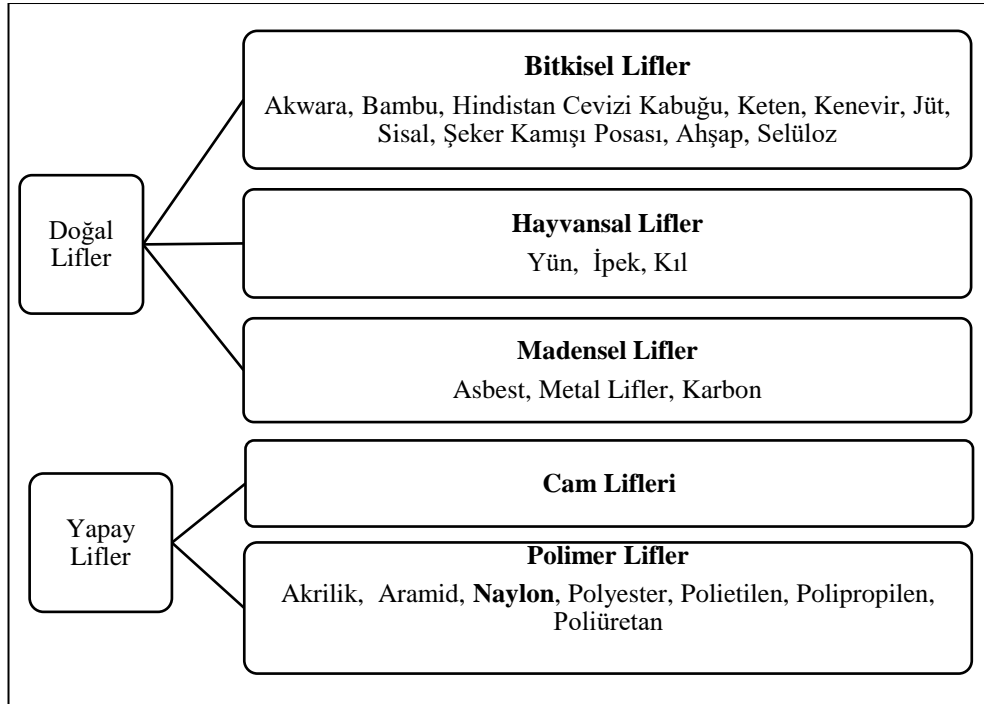


1. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Lifli Beton

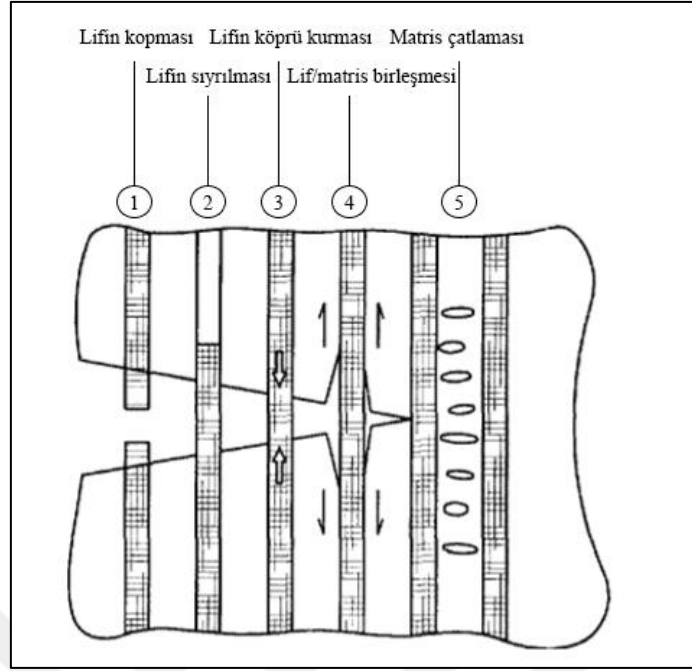
Lifin, bir boyutu diğerine göre çok küçük, çekme dayanımı yalın betonun çekme dayanımına göre yüksek olan, yapay yollarla üretilebilen veya doğada bulunabilen malzemelere verilen isim olduğu bilinmektedir. Lif katkılı beton üretimi, betonun basınç ve eğilme dayanımlarının yanı sıra rötire, yangın dayanımı ve sünme gibi özelliklerinin artırılması istendiğinde, betonun lif takviyesi ile modifiye edilmesi işlemidir. Lif seçim metodolojisi, istenilen betonun özelliklerine, ekonomik koşullara, lifin bölgedeki bulunabilirliği ve kullanım kolaylığına göre çeşitlilik gösterdiği bilinmektedir.

Lifler kendi içlerinde sınıflara ayrılabilir. Bu sınıflandırma genel olarak doğal ve yapay lif çeşitleri ana başlığı altında birleşir ve alt dallara göre kendi içinde özelleşmişlerdir. Bu başlıklar altında liflerin sınıflandırılması Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Lif sınıflandırması [8]

Gelişen lif üretim teknolojisi sonucu farklı lif türleri beton karışımlarında kullanılmakta ve sınıflandırmayı geliştirmektedir. 2013 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi'nde hazırlanan yüksek lisans düzeyindeki bir tez çalışmasında pirinç kabuğu katkısının betonda lif olarak kullanılması bunun bir örneği olarak gösterilebilir ve sınıflandırma bu bağlamda genişletilebilir [9]. Liflerin beton özelliklerine katkısı, kullanılan lif türü ve miktarına göre değişkenlik gösterebilmektedir. Bu bağlamda naylon lifler doğrusal poliamid olup beton sektöründe katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Betonda kullanılması için özelleştirilen naylon 6 ile naylon 66 olarak adlandırılan iki farklı lif kullanılmaktadır. Naylon liflerin betonda hacimce %0,1-0,2 aralığında kullanılması, beton hidrasyon ve işlenebilirliğine etki etmemesinden dolayı avantaj sağlar. Naylon lifler diğer lifler ile ekonomik anlamda karşılaştırıldığında daha pahalı olduğundan başlıca olumsuz özelliği bu noktada ortaya çıkmıştır [10]. Kullanılan lifler, bir veya birden fazla özeliğe etki edip yeni modifiye betonun karakteristik özelliklerini değiştirebilirler. Geliştirilmesi istenen birden fazla özellik bulunması durumunda farklı lifler kullanılarak farklı ihtiyaçlar giderilebilir. Bu gibi durumlarda farklı türden karma lif karışımı betonlar üretmenin sakıncası olmadığı gibi istenilen özelliklerin kazanılmasıyla da karma karışımların üretimi avantaja çevrilmiş olur. Liflerin çimento esaslı kompozitlerin tokluğu üzerindeki etkisi genel anlamda arttırıcı düzeyde olduğu görülmüştür [11]. Tokluk, betonun enerji yutma kapasitesini ifade edip, yük-şekil değiştirme eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile elde edilen değerdir. Bunun dışında lifler darbe dayanımı, basınç dayanımı, yorulma dayanımı gibi özelliklere de etki ettikleri gibi her lif türü her özeliğe katkı sağlayamaz. Lifli betonlarda lifler arasında gerilme transferini sağlayan çimento hamuru yapısına matris denir. Üretilen betonun kalitesi life bağlı olduğu kadar matris özelliklerine de bağlıdır. Belirli yük değerleri altında çatlayan matris yük taşıma işlevini kaybeder ve bu noktadan sonra bu görevi liflere devreder. Şekil 1.2 çatlamaya başlamış bir matriste lif davranışını göstermektedir. Şekil soldan sağa doğru lifin kopma, sıyrılma, köprü kurma, lif matris yüzeyinin birleşmesi ve matrisin çatlaması aşamalarını temsil etmektedir. Gösterilen mekanizmalar, lif mesafelerine bağlı olmamakla birlikte etkili özellik göstermektedir. Lifler tek tek bakıldığında önemsiz miktarda yük aktarımı sağladıkları görülse bile birlikte çalışan aynı çatlak etrafındaki lifler bu miktarı önemli bir biçimde arttırabilmişlerdir [12].



Şekil 1.2. Lif/matris çalışma prensibi [12]

Lifli betonların beton özelliklerine yaptığı katkı lif özelinde değişse de genel anlamda bir sınıflandırmaya gitmek mümkündür. Tablo 1.1, bu sınıflandırmayı göstermekte olup, beton özeliğindeki artışı belirli bir aralık içerisinde bırakarak göstermektedir.

Tablo 1.1. Lifli beton özelliklerinin, yalın matris özelliklerine oranlanmış, artış yüzdeleri [10]

Beton Özelliği	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-Erozyon Direnci	200-300
Elastisite Modülü	± 25

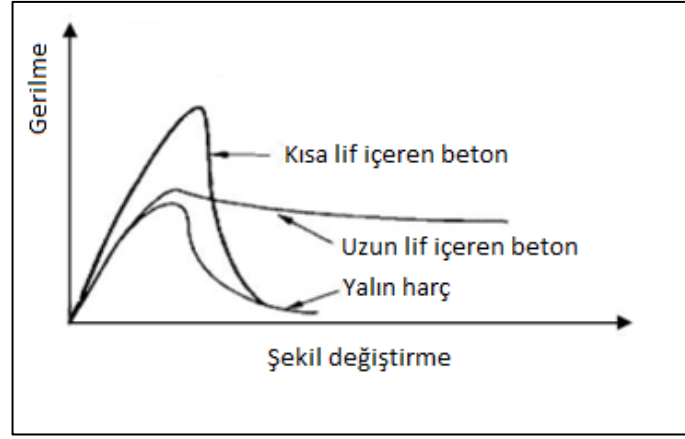
Lifli betonda her lifin katkısının farklı olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda betonun düşük tokluk değerinin problem oluşturması nedeniyle bu özellik üzerindeki farklı lif çeşitlerinin etkisi büyük önem taşır. Tablo 1.2, farklı lif türlerinin çimento esaslı kompozitlerin tokluğu üzerindeki etkisini sınıflandırmaktadır.

Tablo 1.2. Lifli çimento esaslı kompozitlerin yalın malzeme özelliklerine etkisinin farklı lif türleriyle karşılaştırılması [13]

Kompozit Türü	Lif Türü	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

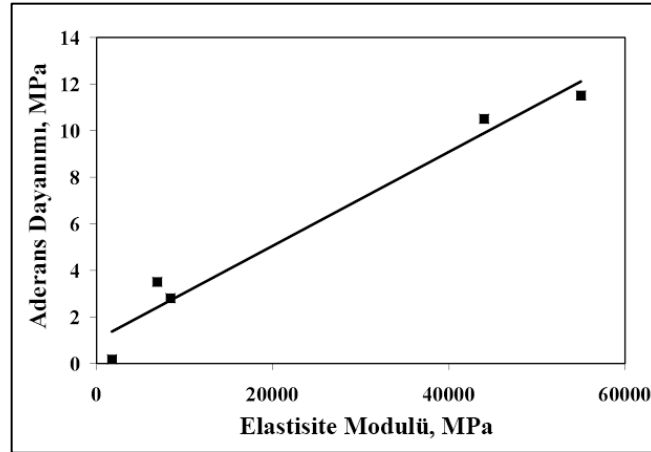
*Değerler örnek değerler olup karışım dizayn ve üretimine göre değişkenlik gösterebilir.

Liflerin boyut etkisi, çatlak oluşum sürecine farklı etki etmektedir. Kısa boylu lifler mikro çatlaklar ile etkileşime girip çatlağın başlamasını engellediği gibi çatlak oluşumu sonrasında da yük taşıma yetisiyle eğilme dayanımına katkı sağlar. Uzun boylu lifler ise çatlaklar makro boyuta ulaştıktan sonra kırılma enerjisine etki ederek tokluğu arttıracak yönde katkıda bulunmuşlardır [14, 15]. Lifsiz beton kırılma davranışı, çatlağın başlamasından sonra yük taşıma kapasitesinin azalarak nihai kırılmaya ulaşmasıyla sona erer. Diğer yandan lif içeren betonlarda matristeki çatlak oluşumu ancak çatlak, bir lif ile karşılaşıncaya kadar ilerleyebilir. Lif ile karşılaşan çatlak, lifin taşıma gücü sayesinde lif kapasitesi kadar enerjiyi yutar ve lifin kopması veya matristen sıyrılması ile sona erer. Lifsiz betonda çatlağın ilerlemesini engelleyecek bir yapı olmadığından lifli betonun bundan farkı, kırılma bir çatlağın oluşmasına bağlı olarak değil, birden fazla çatlakların lif taşıma kapasitelerini aşmasından dolayı gerçekleşir. Bu durum betona eğilme dayanımı açısından olumlu katkı yapacaktır. Normal beton ve lif takviyeli betonun yük-şekil değiştirme eğrilerine bakıldığında normal betonun hemen kırıldığı görülürken lif takviyeli beton enerji yutma kapasitesi açısından farklılık göstermiştir [16]. Şekil 1.3 lif katkısının enerji yutma kapasitesine etkisini göstermektedir [17].



Şekil 1.3. Lif katkısının enerji yutma kapasitesine olan etkisi [17]

Lif boyutunun yanı sıra, lifin elastisite modülü de önemli bir parametre oluşturmaktadır. Lifin betona etkin oranda etki edebilmesi için elastisite modülü değerinin çimento kompozitinin matrisinin elastisite modülünden büyük olması gerekir. Bunun sağlanmadığı durumlarda çatlak oluşumu beton rijitliğinde azalmaya neden olmuştur [18]. Şekil 1.4, lifin elastisite modülündeki artışın, lif ile matris arasındaki aderans kuvvetine olumlu yönde olan katkısını göstermektedir. Şekildeki her bir kare, farklı elastisite modülüne sahip bir lifi temsil etmektedir. Lifin elastisite modülü arttıkça çimento matrisiyle arasındaki aderans kuvveti güçlenmekte ve betonun mekanik özelliklerine olumlu katkıda bulunmaktadır [19].



Şekil 1.4. Lif elastisite modülündeki değişimin, lifin çimento matrisi ile olan aderansına yaptığı etki [19]

1.1.1. Lifli beton kullanım alanları

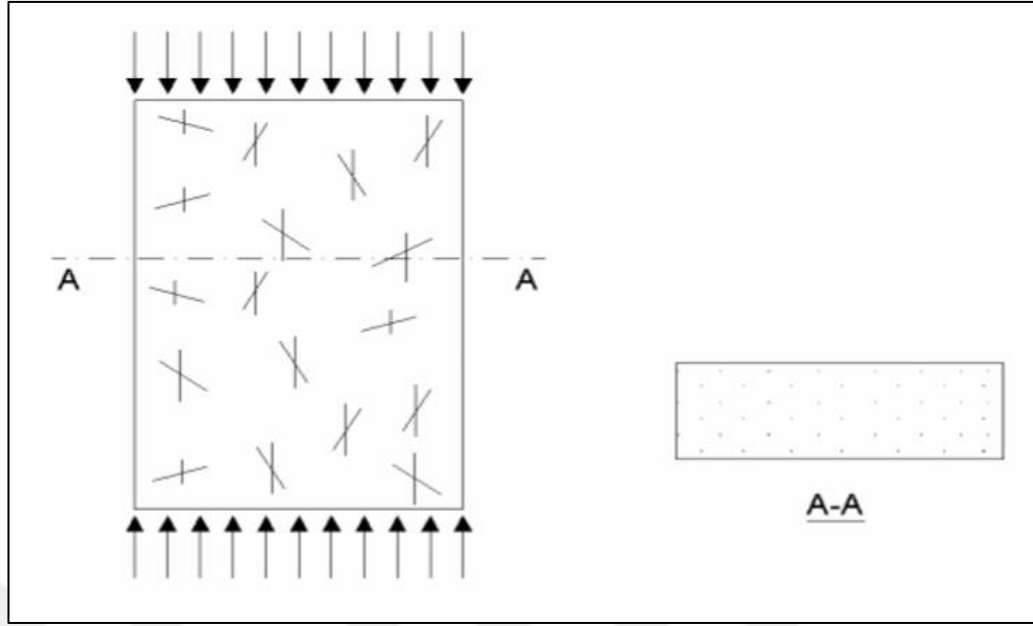
Lifli betonların endüstriyel döşemelerde, su yapılarında, tünel ve köprülerde, askeri amaçla üretilmiş patlama dirençli yapılarda, uçak pistlerinde, drenaj borularında ve prefabrike elemanların üretilmesinde yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür [20]. Lif tiplerinin farklı özelliklere olan katkısından dolayı farklı lif tiplerinin, farklı alanlarda etkili olması kaçınılmazdır. Bu kullanım alanları Tablo 1.3 üzerinden görülebilir.

Tablo 1.3. Kompozitlere eklenen lifler ve kullanım alanları [13]

Lif Tipi	Kullanım Alanı
Cam	Prekast paneller, giydirme cephe kaplamaları, kanalizasyon boruları, ince beton çatılar ve beton blokların sıvasında.
Çelik	Çatı uygulamalarında kullanılan gözenekli betonlar, kaldırımlar, köprü döşemeleri, ateşe dayanıklı elemanlar, beton borular, havalimanları, rüzgara dayanıklı yapılar, tünel kaplamaları, gemi omurgaları.
Polipropilen, Naylon	Temel kazığı, ön gerilmeli kazıklar, kaplama panelleri, yürüyüş yolları, marinaların iskele elemanları, yol yamaları, büyük çaplı sualtı borularının kaplamaları
Asbest	Saç, boru, levhalar, yangına dayanıklı malzemeler ve yalıtım malzemeleri, kanalizasyon boruları, oluklu ve düz çatı levhaları, duvar kaplamaları
Karbon	Dalgalı şekilli çatı kaplama elemanları, tek veya çift kat ince membran yapılar, tekne omurgaları, yapı iskelesi tahtaları.
Mika	Çimento esaslı levhalarda kısmen asbestin yerine, beton borular, tamirat malzemeleri.

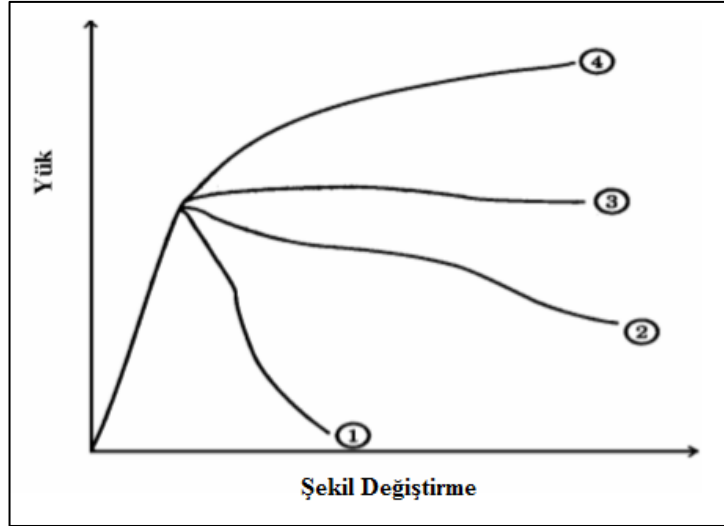
1.1.2. Lifli betonun mekanik özellikleri

Lifli betonun basınç kuvveti altındaki davranışı çoğu zaman dayanım arttırıcı katkı sağlamakta olsa bile her zaman olumlu yönde bir etkiyle sonlanmamaktadır. Basınç etkisi altında liflerin beton içerisindeki yönelimleri bu davranışa doğrudan etki etmektedir. Şekil 1.5'den görülebilen lif yönelimleri, çelik liflerle yapılmış bir çalışmadan örnektir. Yükleme düzlemine dik olarak yönlenmiş lifler basınç dayanımına herhangi bir katkı yapmazlarken en büyük katkıyı bu düzleme paralel yerleşmiş olan lifler sağlamıştır [21].



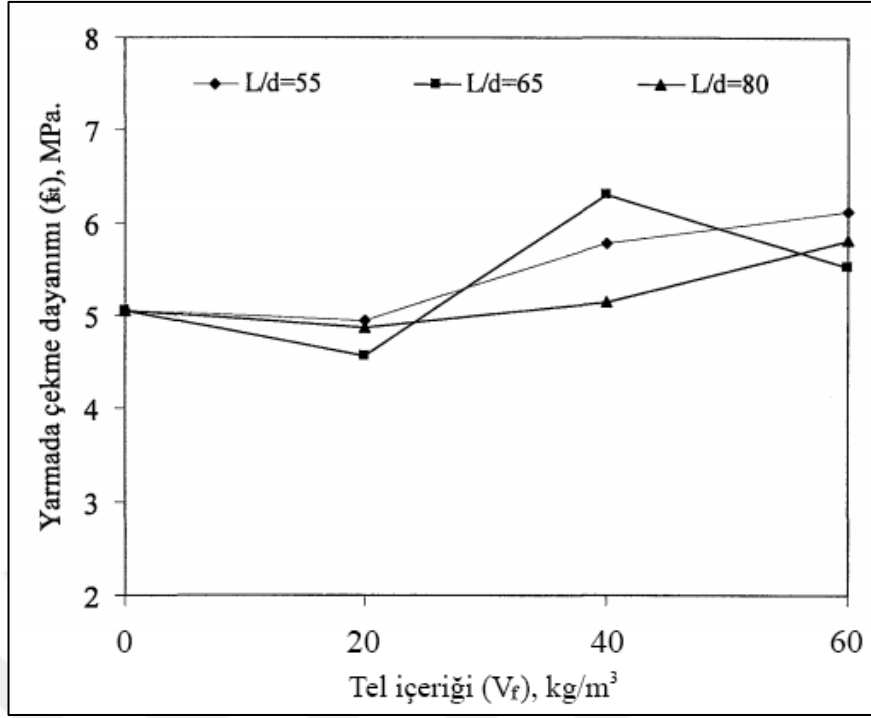
Şekil 1.5. Basınç kuvveti altındaki numune ve lif yönelimleri [21]

Lifli betonun kırılma davranışı matris içerisinde mikro çatlakların oluşmasıyla başlar. Matrisin çatladığı bölgelerde kaybedilen taşıma gücü yüksek gerilmeleri kaldırabilen liflere aktarılmaya başlar. Bu noktada önemli olan durumlardan biri liflerin matristeki homojen dağılımıdır. Basınç etkisinde olduğu kadar eğilme altındaki davranışta da yönelimler önemlidir. Lif çalışma prensibi matrisin yükü kaldıramadığı noktalarda lifin devreye girmesiyle başladığı gibi yükün diğer liflere aktarımı da yine matris üzerinden sağlanır. Bu noktada matrisin önemi tekrar ortaya çıkmış olur. Lifler oluşacak olan kılcal çatlakların önüne geçer homojen bir şekilde matrisi doldurur ve bu boşluklardaki zafiyetleri giderir ve/veya yavaşlatır. Bunun sonucu olarak ani bir göçmenin önüne geçilir ve sünek bir davranış gözlenir [22]. Şekil 1.6 farklı miktarda lif içeren betonların eğilme altındaki davranışını göstermektedir [23]. 4 numaralı numune en fazla lif oranına sahip olmakla birlikte 1 numaraya giderken oran kademeli olarak azalmıştır. Yüksek oranda lif içeren 4 numaralı numunede liflerin yük kapasitesi matrisinkinden daha büyük olmakta ve bu nedenden dolayı nihai kırılma diğer numunelere göre geç ve daha sünek gerçekleşmiştir. Bunun yanında 1 ve 2 numaralı numunelerdeki liflerin yük kapasiteleri matrisinkinden az ve 3 numaralı numunenin ise matrisinkiyle aynı değere sahip olduğu görülmüştür. Deney sonucunda lif oranındaki belirli bir artışın yük taşıma kapasitesini arttırdığını göstermiştir. Lif oranının artırılması sonucunda ayrıca eğrilerin altındaki kalan alanın arttığını yani numunelerin tokluğunun arttığı da gözlemlenmiştir [23].

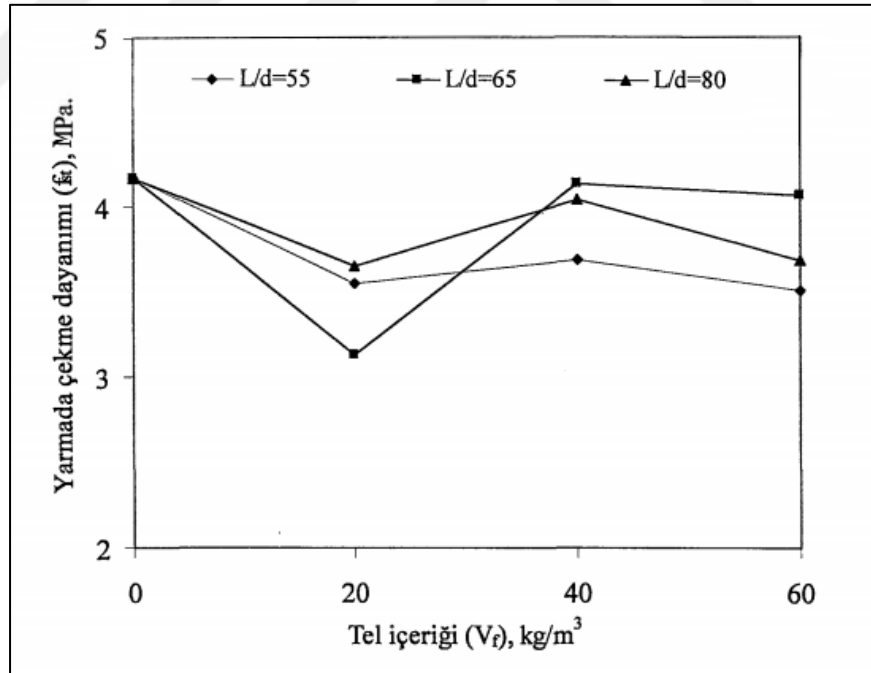


Şekil 1.6. Lifli betonun yük altındaki şekil değiştirme grafiği [23]

Çelik lifli betonlar genellikle yarmada çekme dayanımlarına olumlu katkıda bulunurlar. Bu çekme dayanımına etki eden parametreler, çelik lif miktarı, narinlik ve çelik lif matris özellikleri olarak sıralanabilir. Farklı s/ç oranındaki çelik lif narinlik ve inceliğinin etkisi ile ilgili yapılmış bir çalışmaya ait sonuçlara bakıldığında, lif içeriği yüksek s/ç oranlarında yarmada çekme dayanımına olumsuz katkı yapabilecekleri gözlemlenmiştir. Deneylere ait grafikler Şekil 1.7 ve Şekil 1.8 de görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan 0,45 s/ç oranı 20 kg/m³ lif içeriği yarmada çekme dayanımına olumlu bir katkı yapmamışken, 40 kg/m³ ve 60 kg/m³ lif içeriklerinde ise bu dayanımda artış gözlenmiştir. Fakat karışımın s/ç oranı 0,70 seviyesine çıkarıldığında, tüm miktarlardaki lif içeriği yarmada çekme dayanımını düşürmüştür [1].



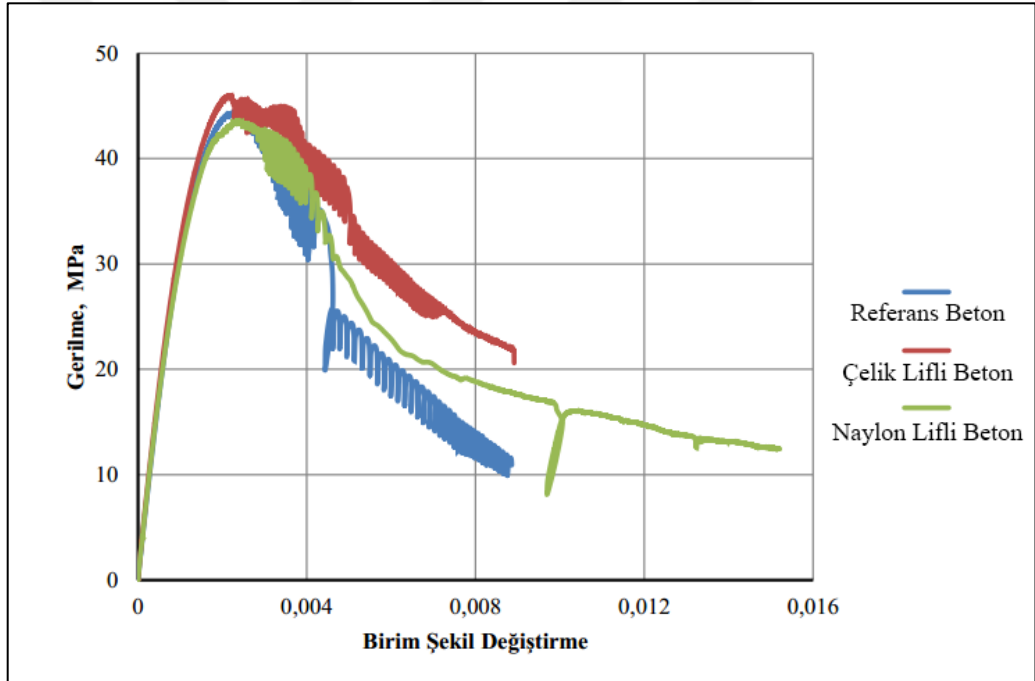
Şekil 1.7. 0,45 s/ç oranına sahip numunenin tel içeriği ve narinliğe bağlı yarmada çekme dayanımları [1]



Şekil 1.8. 0,70 s/ç oranına sahip numunenin tel içeriği ve narinliğe bağlı yarmada çekme dayanımları [1]

1.1.3. Naylon lifli betonların mekanik özellikleri

Sentetik bir lif olan naylonun betona eklenmesi belirgin bir şekilde eğilme dayanımı ve kırılma enerjisine etki eder. Bunun yanı sıra basınç ve yarmada çekme dayanımlarına önemli ölçüde bir katkı sunmamaktadır. Katkıya etki eden parametrelerden biri betona eklenen naylon lif miktarıdır. Bu parametre ile kırılma enerjisi arasında doğrudan bağlantı bulunmaktadır. Fakat naylon lif eklenmiş beton çelik lif eklenmiş betonla kıyaslandığında bu özelliklere katkısı düşük kalmaktadır. Çelik lif ve naylon lif eklenmiş betonların performansları yalın betonla referans karşılaştırma çalışması sonucunda naylon veya çelik lif eklemenin betonun basınç dayanımına önemli bir katkısı olmadığı ancak betonun tokluğunun artmasında her iki lif türünün farklı davrandığı Şekil 1.9’da gösterilmiştir [24].



Şekil 1.9. Gerilme – Birim şekil değiştirme eğrisi [24]

Yaşar [24] yaptığı çalışmada betona lif katılması ve elastisite modülü ilişkisi incelendiğinde lif türünden bağımsız olarak elastisite modülünde kayda değer bir artış olmadığını belirtmiştir [24]. Aynı zamanda çelik lifli beton, naylon lifli betondan yaklaşık 1,5 kat daha fazla kırılma enerjisine sahip olduğunu göstermiştir. [24].

Lifli betonun, betondaki sünekliği arttırmasındaki bir diğer mekanizma ise matris ve lif arasındaki aderans kuvvetidir. Bu kuvvet güçlü olduğu sürece lifin matristen sıyrılması daha zor bir hal almaktadır. Matristen sıyrılmayan lif, yük taşımaya devam eder ve taşıma kapasitesi aşıldığında bu durum sona erer. Oysa sıyrılmamanın meydana geldiği durumlarda lif maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmadan matristen ayrılır ve çatlak matris boyunca ilerlemeye devam eder. Bu durum göze alındığında yapılan çalışmalar naylon lifin olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir [25]. Naylon lifler kanca uçlu çelik liflerle kıyaslandığında bile sıyrılmama mekanizmasında daha olumlu sonuçlar vermişlerdir. Naylon lif güçlü bir aderans sağlayarak matrisle arasındaki bağı ancak taşıma kapasitesinin aşımına bağlı kopma sonucu kaybettiği görülmüş ve bu da üzerindeki yükü son ana kadar dağıtmasına sebep olup, matris ve diğer lifler arasındaki köprü vazifesi işlevini görmüştür. Oysa kanca uçlu çelik lifler yüksek taşıma gücüne ulaşmasına karşın sıyrılmama mekanizmasından dolayı liften beklenen süneklik kapasitesini tam olarak yerine getirememiştir. Kancalı olması avantaj sağlamasına rağmen naylon lifler bu problem karşısında iyi sonuçlar vermişlerdir [25].

1.2. Rötire

Beton prizini alırken çimento esaslı malzeme hacminde meydana gelen azalma sonucu oluşan büzölmeye rötire adı verilir. Rötirenin oluşum sebepleri, beton içindeki su kaybının ana etkenini oluşturduğu, makro, mikro ve jel boşluklarının içinde bulunan suyun buharlaşması veya beton içerisinde oluşan hidrasyon ürünlerinin var olan suyu tutması olarak bilinir. Betonun kaybettiği su miktarı betondaki toplam hacim değişimine eşit değildir. Betondaki serbest su ilk aşamada kaybolur. Beton kurumaya devam ederken emilmiş su betonu terk etmeye başlar. Emilmiş su kapiler boşluklardaki hidrostatik gerilim ile bünyede tutulmaktadır. Su kaybının başlaması ile betonda çekme gerilmeleri oluşur ve betonun büzölmesine sebep olmuştur [26]. Beton karışım tasarımı, beton kürü, çevresel şartlar ve elemanların geometrisi rötreye doğrudan etkileyen faktörler olarak sıralanmıştır [27]. Betonun serbest bir eleman olarak hazırlanan numuneleri, kurumaya bırakıldığında rötire yapar. Kısıtlanmış durumdaki beton elemanlar ise çekme gerilmeleri oluşturur. Betonun var olan çekme direnci düşük olduğundan dolayı, rötire sonucu oluşan çekme gerilmeleri çatlaklara sebebiyet verir. Çatlakların nihai sonucu beton mekanizmasında kusur meydana

getirerek yük taşıma kapasitesinin azalmasına neden olmaktadır. Bir diğer problem ise donatı korozyonuna sebep olması ve sülfat etkisi ve alkali-silis reaksiyonlarının oluşma ihtimalini arttırmasıdır. Bu nedenlerin hepsi toplandığında elemanın servis ömrü azalmakta ve dürabilite problemleri ortaya çıkmaktadır. Bu durumdaki rötre çatlaklarının bağlı olduğu sebepler, serbest rötre, malzeme özellikleri, sünme gevşemesi, rötre oranı ve kısıtlanma derecesi olarak sıralanmıştır [28].

Rötreyi azaltmak için uygulanabilecek yöntemler, gereksiz çimento artırımından kaçınmak ve seçilen çimentonun az rötre yapan bir çimento olmasına dikkat etmek, fazla karışım suyu eklemekten kaçınmak, agrega özelliklerine dikkat etmek ve elastisite modülü yüksek agrega kullanmak, döküm işleminden sonra beton kürünü eksiksiz bir şekilde uygulamak, katkı maddelerini kullanmadan önce rötreye etkilerini araştırmak olarak sıralanmıştır [29].

1.2.1. Rötreye çeşitleri

1.2.1.1. Plastik rötre

Plastik rötre betonun sertleşmeye başlamasından önce betonda oluşan nem kaybıdır. Eğer beton yüzeyinde bulunan suyun buharlaşması, beton içerisindeki suyun beton üst yüzeyine yükselme hızından daha çabuk meydana geliyorsa bunun sonucu olarak beton yüzeyi kurumaya, yüzey gerilmeleri artmaya ve büzülme ortaya çıkmaya başlamaktadır. Alt kısımda kalan beton yüzeyde oluşan çekme gerilmelerine uyum sağlayamaz ve betonun üst kısmında oluşan çekme gerilmeleri betonun düşük çekme gerilme kapasitesinden dolayı çatlak oluşumunu başlatır. Bu çatlaklar plastik rötre çatlaklarını oluşturmaktadır ve beton yüzeyinde genelde 2-3 mm aralığında gözlemlenmektedir. Çatlağın devamı izlendiğinde çatlak genişliği yüzey altına inildikçe azalmaya başlar. Bu çatlaklar 10 mm'yi aşmamaktadırlar fakat tüm numune derinliği boyunca azalarak devamlılıklarını sürdürürler. Plastik rötre oluşumu mekanizması bu çatlakların tüm derinlik boyunca devam etmelerini açıklayamamaktadır. Bu ilerlemenin sebepleri kuruma rötresi ile ilişkilendirilebileceği gibi betona yapılan daha sonraki yüklemelerin de sebepler arasında sayılabileceği düşünülmüştür [30].

Plastik rötre çatlakların ortaya çıkma sebebi olan beton yüzeyindeki suyun buharlaşmasının hızlı bir şekilde gerçekleşmesine etki eden nedenler ise, yüksek rüzgar hızı, düşük rölatif nem ve yüksek sıcaklıklarda yapılan beton dökümü ile yüksek hidrasyon sıcaklıklarının açığa çıkmasıdır. Bu nedenler buharlaşma hızına direkt olarak etki ettiğinden dolayı herhangi birinde meydana gelen artış plastik rötre çatlaklarının oluşumunu hızlandırır. Sentetik lif kullanımı plastik rötre çatlaklarını önleme yollarından biridir. Polimer lifler erken yaş rötresinin oluşturduğu çatlakları engellediği gibi bu liflerin makro boyutlarda kullanılması da hem erken hem de sonraki yaşlardaki çatlakları engeller [31, 32].

1.2.1.2. Kuruma rötresi

Kuruma rötresi betondaki kurumunun etkisi altında beton hacmindeki değişikliktir. Kurumaya bırakılmış yük taşımayan numunede ölçülen sabit sıcaklıktaki zamana bağlı bulunan lineer deformasyon olarak tanımlanmıştır [29].

Geri dönen kuruma rötresi, ıslanma ve kuruma çevirimleri arasında oluşan rötrenin bir parçasına verilmiş addır [33]. Geri dönmeyen kuruma rötresi ise daha sonra gözlenen ıslanma ve kuruma çevirimleri esnasında tekrar etmeyen ilk kuruma çevirimi sırasındaki toplam kuruma rötresinin bir parçası olarak oluşmaktadır. Geri dönmeyen kuruma rötresinin bağlı olduğu nedenler kalsiyum silika hidratlar ile diğer hidrate ürünlerin oluşmasıdır. Bu çeşit rötre betonda çatlak oluşumuna sebebiyet verir. Çatlaklar kısıtlanmış elemanın meydana getirdiği çekme gerilmelerinden etkilenir, elastisite modülü, sünme ve beton çekme gerilmesine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği görülmüştür [34].

1.2.1.3. Otojen rötre

Beton karışımına eklenen çimento ve karışım suyu, hidrasyon reaksiyonu sonucunda azalır ve bunun sonucu olarak rötre meydana gelir. Otojen rötre kapiler boşluklardaki suyun çimento hidrasyon reaksiyonuna bağlı olarak kaybı olarak tanımlanmıştır [35]. Otojen rötre hidrasyon reaksiyonunun yapısında mevcut olduğundan dolayı tamamen önlenmesi mümkün değildir. Diğer rötre çeşitlerine göre daha az miktarda meydana gelir. Otojen rötrenin oluşması nem miktarının az veya

değişmemesi ile sebeplendirilir ve beton içyapısına önemli etkileri vardır. Otojen rötreyi arttıran faktörler yüksek sıcaklık ve yüksek miktarda kullanılan çimentodur.

1.2.1.4. Termal rötre

Hidratasyon sonucu açığa çıkan ısı küçük yapılarda hızla dağılırken buna karşın büyük yapılarda dağılması uzun zaman alır. Dağılan bu fazladan ısı malzeme özelliklerinin gelişimini hızlandırdığı gibi betonun bu yüksek sıcaklıkta kalmasını da sağlar. Beton veya çimento pastası kurumaya başladığında betonun iç sıcaklığına bağlı olarak orantısal olarak büzülmeye başlar ve beton içinde ortaya çıkan sıcaklık farkı çatlamalara yol açar. Mevsimsel ve hatta günlük sıcaklık değişimleri bile termal rötreye sebep olduğu görülmüştür [36].

1.2.1.5. Numune içi nem değişimi

Betonun kurummasının numune boyutu ve parabolik diferansiyel bir denklem ile ifade edilebilen nemin yayılma sürecinden etkilenebildiği görülmüştür [37]. İnce numunelerde nem kolay bir şekilde yayılırken büzülme hızlı bir şekilde gerçekleşebilir. Bu nem içeriğinin değişmesi hem hacim değişikliği hem de büzülmeyle sonuçlanabildiği gözlemlenmiştir [38].

1.2.1.6. Karbonatlaşma rötresi

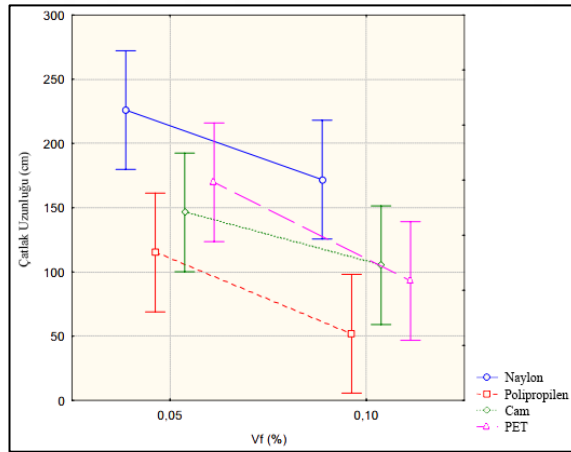
Bu tür rötre beton yüzeyinde hidrate olmuş çimentonun atmosferdeki karbondioksit ile reaksiyona girmesi ile yavaş bir şekilde gerçekleşir. Karbonatlaşma rötresi, bağıl nem %50 dolaylarına ulaşması ve beton kuruma ve ıslanma döngülerine maruz kalması sonucunda dikkate değer ölçüde yüksek miktarlara ulaşabilir. Karbonatlaşma genel anlamda bir dürabilite problemi olarak ele alınıp etkisi uzun yıllar sonucunda ortaya çıkar ve birkaç yılın ardından betonda problemlere yol açmaya başladığı görülmüştür [39].

1.2.2. Naylon lifin beton rötresine etkisi

Polimer lifler ve çelik lifler karşılaştırmaya tabii tutulduğunda mekanik özelliklere katkısı bakımından çelik liflerin gerisinde kalır. Bunun yanında polimer lifler, plastik rötre karşısında çok etkili olmaktadır. Polimer lifler betonun enerji yutma

kapasitesini arttırsa bile bu çelik liflerle kıyaslandığında düşük kalmaktadır. Polimer liflerin beton üzerinde etkili olduğu alan, özellikle rötre çatlaklarını önlediği görülmüştür [7].

Liflerin beton içindeki dağılımının homojenliği, etkinin betonun her kısmında görülmesi ve tüm bu kısımlardaki çatlakların önüne geçilmesi açısından önem arz eder. Lif dağılımının homojen olması taze beton açısından plastik rötreye olumlu katkı yaparken, prizini tamamlamış betonda ise bu liflerin beton içindeki homojen yerleşimi mikro çatlakların makro boyutlara ulaşmasını engeller ve eğer oluşmuş makro çatlaklar bulunuyorsa bunlar üzerinde köprüleme yapıp betonun dağılmasının önüne geçer. Bu açıdan bakıldığında naylon lifler, beton karışım işlemi boyunca yeterli bir dağılma yeteneğine sahip olduğundan, betonun hem priz öncesi hem de priz sonrası özelliklerine olumlu etkilerde bulunmuştur [4]. Şekil 1.10 farklı tür lif katkısı sonucunda oluşan çatlak uzunluklarını karşılaştıran bir çalışmayı göstermektedir. Naylon lifler çatlak boyutunu küçültmede diğer liflere göre daha düşük sonuçlar vermekle birlikte PET lifler yerine kullanılabilir bir alternatif olarak kullanılabilirliği belirtilmiştir [31].



Şekil 1.10. Farklı lif katkıları altında değişen çatlak uzunlukları [31]

Literatür araştırması sonucunda naylon lif katkılı betonların mekanik parametreleri ve rötre ölçümlerinin, farklı su/çimento ve lif oranı içeren karışım dizaynları ile test edilmesine karar verilerek deneysel çalışma bu yönde yürütülmüştür.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Çalışmanın Amacı

Çalışmada Naylon 66 liflerin kullanımının betonun mekanik dayanımına, enerji yutma kapasitesine ve rötre davranışına etkisinin belirlenmesi amaçlandı. Naylon liflerin boyutlarının farklılaşmasının aranan parametreler üzerindeki etkileri, deneyin ilk değişkenini oluşturmaktadır. Deneysel çalışma tasarımı, ayrıca farklı miktarda kullanılan liflerin aranan parametrelere etkilerini de incelemekte, bu nedenle değişik oranlarda mikro, makro ve karma lifli karışımlar hazırlanıp liflerin beton üzerindeki etkileri test edildi. Deneysel çalışmanın bir diğer değişkeni ise farklı oranlarda denenmiş olan s/ç oranlarıdır.

2.2. Deneyde Kullanılan Yöntem ve Malzemeler

2.2.1. Çimento

Çalışmada TS EN 197-1:2012 standardına göre Nuh Çimento Hereke Üretim Tesisinden üretilen CEM I 42,5R çimentosu kullanıldı. Üreticinin verdiği bilgilere göre çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2.1'de gösterildiği gibidir.

Tablo 2.1. Kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özgül Ağırlık		3140 kg/m ³							
Blaine Özgül Yüze		3420 cm ² /g							
Priz Başlangıç		179 dakika							
Priz Son		200 dakika							
Hacim Sabitliği (Le Chatelier)		1,05 mm							
7 Günlük Basınç Dayanımı		47,5 MPa							
28 Günlük Basınç Dayanımı		58,1 MPa							
Minerolojik Bileşim (%)									
C ₃ S		C ₂ S		C ₃ A			C ₄ AF		
63,17		10,46		5,99			11,43		
Kimyasal Bileşim (%)									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Çözünmeyen Kalıntı	Kızdırma Kaybı	Serbest Kireç	Toplam Alkali
22,10	4,37	3,30	65,63	1,20	2,62	0,68	2,64	1,25	0,58

2.2.2. Akışkanlaştırıcı katkı

Akışkanlaştırıcı katkı olarak üçüncü nesil yüksek performanslı Sika ViskocreteSF 18 süper akışkanlaştırıcı ve polikarboksilat esaslı yeni nesil süper akışkanlaştırıcı olan Glenium 51 kullanıldı. Bu katkıların teknik özellikleri Tablo 2.2 ve Tablo 2.3 üzerinde gösterildiği gibidir.

Tablo 2.2. Sika Viscocrete SF 18 teknik özellikleri

Teknik Bilgi	
Kimyasal Yapı	Modifiye polikarboksilat esaslı polimer
Yoğunluk	1,10+0,02 kg/l, 20 °C
pH Değeri	3 – 7
Donma Noktası	-10 °C
Suda Çözünebilir Klorür Yüzdesi	Maksimum 0,1%, klorür içermez

Tablo 2.3. Glenium 51 teknik özellikleri

Teknik Özellikleri	
Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik eter esaslı
Renk	Amber
Yoğunluk	1,082 – 1,142 kg/litre
Klor İçeriği % (EN 480-10)	< 0,1
Alkali İçeriği % (EN 480-12)	< 3

2.2.3. Agregata

Deney gruplarının hazırlanmasında kullanılan agregalar, doğal kum, kırma taş A ve kırma taş B olarak sınıflandırıldı. Kireçtaşı kökenli kırma taşlar ile kuvarz kumu karışımlarda kullanıldı. Yıkanmış kırma taş A, kırma taş B ve doğal kumun özgül ağırlıkları doymuş yüzey kuru halde sırası ile 2720, 2610 ve 2400 kg/m³ iken su emme değerleri sırası ile % 1,1, 1,2 ve 2,1 olarak belirlendi [42, 43]. Bu malzemelere ait elek analizi sonuçları Tablo 2.4, Tablo 2.5 ve Tablo 2.6'da gösterildiği gibidir.

Tablo 2.4. Kırma taş A granülometresi

Kırma Taş A				
Elek	Toplam Elekte Kalan (kg)	Elekte Kalan (kg)	Toplam Elekte Kalan (%)	Toplam Elekten Geçen (%)
16 mm	0	0	0	100
8 mm	1,05	1,05	35	65
4 mm	2,95	1,90	98,33	1,67
2 mm	2,99	0,04	99,67	0,33
1 mm	3	0,01	100	0
0,5 mm	3	0	100	0
0,25 mm	3	0	100	0
0,125 mm	3	0	100	0
0,063 mm	3	0	100	0
Elek Altı	3	0	100	0

Tablo 2.5. Kırma taş B granülometresi

Kırma Taş B				
Elek	Toplam Elekte Kalan (kg)	Elekte Kalan (kg)	Toplam Elekte Kalan (%)	Toplam Elekten Geçen (%)
16 mm	0	0	0	100
8 mm	0,01	0,01	0,33	99,67
4 mm	0,49	0,48	16,33	83,67
2 mm	1,89	1,40	63	37
1 mm	2,55	0,66	85	15
0,5 mm	2,9	0,35	96,67	3,33
0,25 mm	2,98	0,08	99,33	0,67
0,125 mm	2,99	0,01	99,67	0,33
0,063 mm	3	0,01	100	0
Elek Altı	3	0	100	0

Tablo 2.6. Doğal kum granülometresi

Doğal Kum				
Elek	Toplam Elekte Kalan (kg)	Elekte Kalan (kg)	Toplam Elekte Kalan (%)	Toplam Elekten Geçen (%)
16 mm	0	0	0	100
8 mm	0	0	0	100
4 mm	0,19	0,19	6,33	93,67
2 mm	0,88	0,69	29,33	70,67
1 mm	1,51	0,63	50,33	49,67
0,5 mm	2,12	0,61	70,67	29,33
0,25 mm	2,62	0,50	87,33	12,67
0,125 mm	2,88	0,26	96	4
0,063 mm	2,97	0,09	99	1
Elek Altı	3	0,03	100	0

Tablo 2.7. Deneyde kullanılan naylon 66 liflerin özellikleri

Özellik	Düz Mikro Lif	Düz Makro Lif
Ham Madde	Poliamid 66	Modifiye Edilmiş Poliamid 66
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	1,14	1,14
Uzunluk (mm)	12	54
Çap (mm)	0,05	0,55
Boy / Çap Oranı	240	98,18
Çekme Gerilmesi (MPa)	900	900
Alkali Direnci	Çok İyi	Çok İyi
Korozyon Direnci	Çok İyi	Çok İyi
Erime Sıcaklığı (°C)	260	260
Fiber Adedi / Kg	111 Milyon	88200

2.2.5. Numune özellikleri ve deney yöntemi

Deney için 6 farklı döküm gerçekleştirilmiş ve bu dökümler sonucu 100 mm çapında ve 200 mm yüksekliğinde silindir numuneler basınç dayanımlarını ölçmek için, 100×100×500 mm boyutlarındaki prizma numuneler eğilme ve yarmada çekme dayanımlarını ölçmek için, 70×70×280 mm boyutlarındaki prizma numuneler ise rötre ölçümleri için kullanıldı. Dökülen numunelerde DS-1 hariç akışkanlaştırıcı katkı olarak Glenium 51 kullanılırken, DS-1 numunesi için Viskocrete SF 18 katkısı kullanıldı.

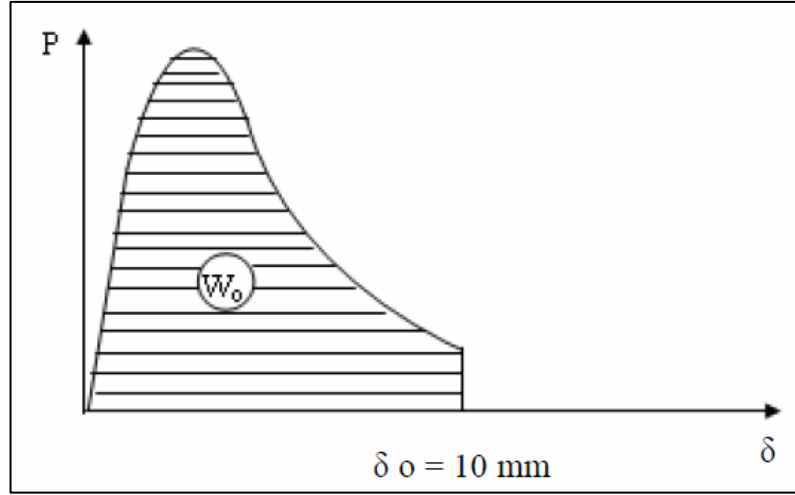
Karışımlar hazırlanırken her dökümde aynı kıvamı yakalamak için farklı miktarlarda akışkanlaştırıcı katkı kullanıldı. Her döküm sonunda birim hacim ağırlık deneyi yapılmış ve üretilen betonların birim ağırlıkları tespit edildi. Üretilen betonlar kalıplara yerleştirilirken şişleme yapılmış ve kalıplara dışarıdan vurularak betonların yerleşmesi sağlandı. Deney gruplarında çimento oranı sabit tutulmuş olup değişkenler lif oranı, lif boyutu ve s/ç oranlarıdır. Deney sonucunda farklı s/ç oranında hazırlanan numunelerdeki lif oranı ve liflerin boyut ve narinlik etkisinin betonun eğilme tokluğuna, basınç, yarılmada çekme ile net eğilme dayanımına ve rötre davranışına etkilerinin gözlemlenmesi amaçlandı. Tablo 2.8'de beton deney grupları içerisindeki malzemelerin miktarları görülebilmektedir.

Tablo 2.8. Betonların karışım içerik miktarları (36 dm³)

Karışım Kodu	DS-1	DS-2	DS-3	DS-4	DS-5	DS-6
Makro Lif İçeriği (%)	1	1	1	-	-	1
Mikro Lif İçeriği (%)	-	-	-	0,5	0,5	0,5
s/ç	0,28	0,35	0,42	0,35	0,42	0,42
Çimento (kg)	18	18	18	18	18	18
Su (kg)	5,04	6,3	7,56	6,3	7,56	7,56
Doğal kum (kg)	13,80	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54
Kırma taş B (kg)	24,32	22,11	22,11	22,11	22,11	22,11
Kırma taş A (kg)	31,27	28,43	28,43	28,43	28,43	28,43

Karıştırma işlemi için betonyer kullanıldı, önce kuru malzemeler karıştırılmaya başlandı. Su, karışımın homojen bir yapıya sahip olması için kademeli olarak eklendi. Lifler karışım suyunun ve akışkanlaştırıcı katkının tamamı karışıma eklendikten sonra ilave edildi. Hazırlanan beton numuneler kalıplara yerleştirilmeden önce birim hacim ağırlık deneyine tabi tutuldu. Her deney grubu kalıplara yerleştikten 24 saat sonra kalıplardan çıkarıldı, rötne ölçümünde kullanılacak numuneler hariç diğer tüm numunelere 20°C sıcaklıktaki kirece doyurulmuş su tanklarında standart kür prosedürü uygulandı. Numuneler test gününe kadar kür havuzunda bekletildiler.

Kırılma enerjisini belirlemek için yapılan deneyler İstanbul İSTON Fabrikaları Ar-Ge Laboratuvarı'nda dört noktalı eğilme deneyi olarak yapıldı. Kırılma enerjisi değerleri RILEM'in önerdiği şekilde, her numune için Şekil 2.3 üzerinde örneklendirilmiş yük-sehim eğrileri çizilerek, denklem (2.1) yardımıyla bulunurken net eğilme dayanımı değerleri için denklem (2.2) kullanıldı [41]. Basınç değerleri için maksimum basınç dayanımları ölçüldü ve bu değerler ile değerlerin ortalaması alınarak tablo haline getirildi. Yarmada çekme deneyi için değerler, eğilme deneyinde kullanılan kirişlerin belirlenen bir kesiti üzerindeki kırılma yükü değerlerinin denklem (2.3) üzerinde gösterilen formülasyonda kullanılmasıyla hesaplandı.



Şekil 2.3. Yük-Sehim eğrisi örneği

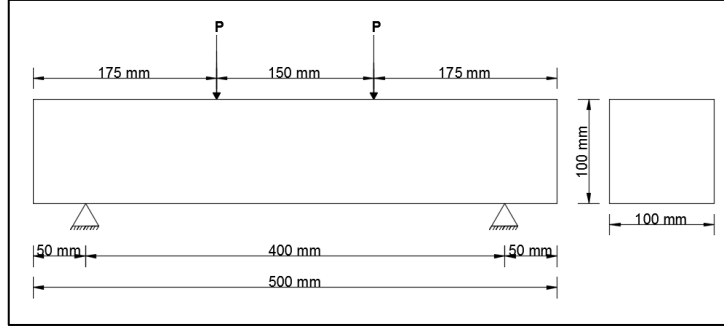
$$G_F = (W_0 + mg\delta_0) / A_{lig} \quad (2.1)$$

$$f_{net} = (3PL)/2BD^2 \quad (2.2)$$

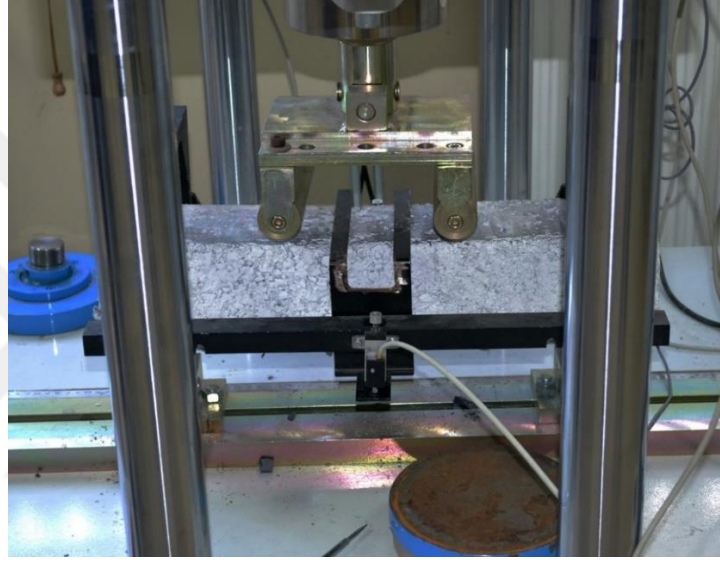
$$f_{ct} = P/LNB \quad (2.3)$$

Dört noktalı eğilme deneyinin şematik deney düzeneği Şekil 2.4'te görülebilir. Numune üzerinde meydana gelen deformasyon lineer deplasman dönüştürücü (LVDT) yardımıyla ölçüldü. Yükleme 100 kN yükleme kapasitesine sahip deney aleti yardımıyla yapıldı. Kırılma enerjisi testi için hazırlanan numuneler 500 mm uzunluğunda ve 100×100 mm kesit genişliğinde prizma numunelerden oluşmaktadır ve yükleme 400 mm açıklığa sahip mesnetler üzerine oturtularak yapıldı. Bu deney düzeneğine ait görsel Şekil 2.5'te görüldüğü gibidir. Basınç deneyi standart hidrolik basınç deney aleti altında yükleme ile yapıldı. Basınç deney düzeneği Şekil 2.6'da görüldüğü gibidir.

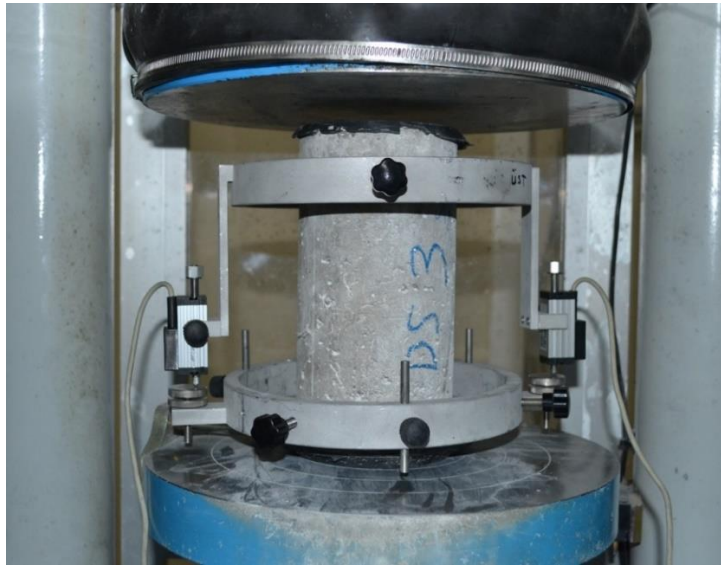
Rötre ölçümleri için üretilen 70×70×280 mm boyutlarındaki numunelerden her deney grubu için 6 adet üretildi ve bu numuneler iki gruba ayrıldı. Her seriden üç numunede oda sıcaklığında rötre ölçümleri yapılırken diğer üç numune alüminyum folyo ile izole edilerek otojen rötre ölçümleri yapıldı. Her iki grup beton örneklere pimler yerleştirilmiş ve bu pimler arasındaki 200 mm uzaklık 0,001 m/m hassasiyetle 24 saatlik çevirimlerde ölçüldü.



Şekil 2.4. Dört noktalı eğilme deney düzeneği şematik gösterimi



Şekil 2.5. Dört noktalı eğilme deney düzeneği



Şekil 2.6. Basınç deneyi deney düzeneği

3. DENEY BULGULARI

3.1. Taze Beton Deneyleri

Taze beton ile yapılan hava içeriği ve birim hacim ağırlık deneylerinin sonuçları Tablo 3.1 üzerinde verildiği gibidir. Tabloda görüldüğü üzere makro boyutlu lif kullanmak mikro lif kullanımına göre kullanılan süper akışkanlaştırıcı miktarı ile ilişkili olarak betondaki hava miktarını arttırmaktadır. Beton birim ağırlıklarında lif katkısının direkt bir etki yapmadığı da görülmektedir.

Tablo 3.1. Beton birim hacim ağırlık deney sonuçları

Numune Kodu	DS-1	DS-2	DS-3	DS-4	DS-5	DS-6
Hava İçeriği (%)	10,4	9,2	7,3	8,1	6,7	6,3
Birim Ağırlık (kg/m ³)	2530	2408	2551	2563	2521	2474

3.2. Betonun Mekanik Özellikleri

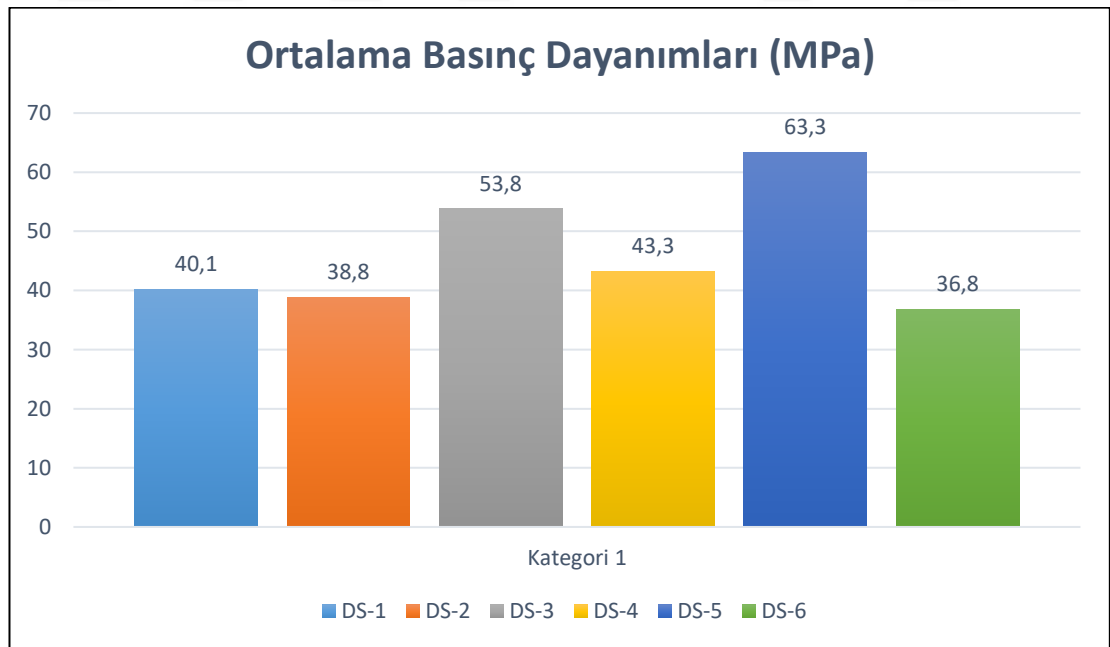
Lif katkısı betonun belirgin olarak mekanik özelliklerine etki ettiği bilinmektedir. Tablo 3.2 bu mekanik özelliklerin değişen beton dizaynıyla nasıl değiştiğini göstermektedir. Beton üretiminde lif katkısının optimum düzeye çıkması için betonun homojen bir şekilde yerleşmesi gerekmektedir. Lifli beton üretimi sırasında kaliteli akışkan katkı kullanılması ve s/ç oranının optimum seviyede tutulması büyük önem arz etmektedir. Genel anlamda makro liflerin kırılma enerjisine olumlu katkısı, yük altında çatlak gelişiminin makro düzeyde olmasından kaynaklanmaktadır. Makro çatlaklar düzeyinde köprülemeler için mikro lifler kısa kalmakta ve fayda gösterememektedirler. Bu parametre yükleme hızı ve yük miktarı ile doğrudan ilgilidir fakat kırılmanın makro çatlakların oluşumundan sonra ortaya çıkacağı bilindiğinden makro lifler yük altında mikro liflerden daha avantajlı konumdadırlar.

Tablo 3.2. Betonların mekanik özellikleri

	DS-1	DS-2	DS-3	DS-4	DS-5	DS-6
s/ç	0,28	0,35	0,42	0,35	0,42	0,42
Makrolifiçeriği (%)	1	1	1	-	-	1
Mikro lif içeriği (%)	-	-	-	0,5	0,5	0,5
Basınç dayanımı (MPa)	40.11	38,79	53,79	43,27	63,31	36,75
Yarmada çekme dayanımı (MPa)	7.24	5,26	5,83	5,7	5,5	4,77
Kırılma enerjisi (N/m)	848	2356	2139	892	1099	2654
Net eğilme dayanımı (MPa)	4.91	3,75	5,58	4,12	5,35	3,58

3.2.1. Beton basınç deneyi

Beton silindir numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi sonrası elde edilen değerlerin karşılaştırması Ek-D ve tüm numunelere ait veriler Ek-E'de verilmektedir. Bazı numune setlerinde çıkan basınç dayanımı farkı, yerleştirme kaynaklı hatalardan dolayı meydana gelmektedir.



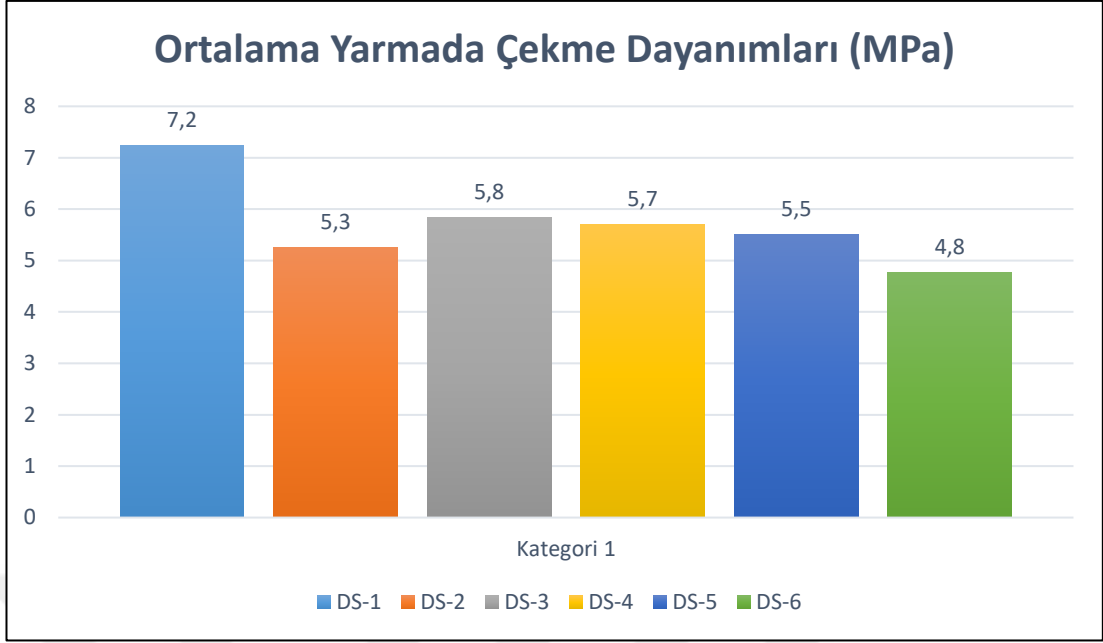
Şekil 3.1. Betonların ortalama basınç dayanımları karşılaştırması

Görüleceği üzere basınç dayanımı en yüksek çıkan DS-5 numune seti %0,5 mikro lif içeren settir. Mikro boyuttaki lifin erken çatlaklara olan etkisi numunelerde

kusurların oluşmasını engellemiş, boşluklu mikro yapılar üzerinde köprüleme yaparak çatlak gelişiminin ve oluşumunun önüne geçmektedir. Bunun yanında makro lif eklendiğinde kıvam tutturmak için arttırılan akışkanlaştırıcı katkı miktarının hava sürüklenme etkisi, beton içindeki kusurlu yapılara neden olduğu tahmin edilmektedir. DS-4 setinin daha düşük s/ç oranına rağmen aynı lif içeriğine sahip DS-5 numunesinden düşük basınç dayanımına sahip olması, yine betonun kalıplara yerleşme aşamasında ortaya çıkan problemten kaynaklanmaktadır. Düşük s/ç oranı sonucu kıvamı daha yoğun olan beton, yerleşme aşamasında boşluklu yapılar oluşturmaktadır. En düşük basınç dayanımına sahip karma lif içeren karışım olan DS-6 sürüklenen hava ve ayrıca kıvam için gerekli olan daha yüksek s/ç oranından etkilenmektedirler. Şekil 3.1, betonlar arasındaki basınç dayanım farkını grafiksel olarak ortaya koymaktadır.

3.2.2. Beton yarmada çekme deneyi

Beton yarmada-çekme deneyi sonuçları Ek-F üzerinden görülebilir. Şekil 3.2’de ise değerlerin karşılaştırılmalı grafiksel anlatımı mevcuttur. Yarmada çekme dayanımında düşük s/ç oranına sahip olan DS-1’in en yüksek sonucu verdiğini görebiliyoruz. Bunun yanında makro boyuttaki lif kullanımının, mikro boyutlara göre yarmada çekme dayanımına daha olumlu katkı yaptığı görülmektedir. Karma lifli karışımın yarmada çekme dayanımı açısından en kötü sonucu ortaya koyduğu görülmektedir. Sonuç olarak makro ve mikro liflerin ayrı ayrı kullanımı yarmada çekme dayanımını arttırdığı gibi makro liflerin mikro liflerle kıyaslandığında daha iyi sonuç verdiği de görülmektedir. Bunun dışında 2011 yılında yüksek lisans düzeyinde yapılmış, karma lif takviyesi ile güçlendirilen numunelerin çekme değeri üzerindeki etkisinin irdelendiği bir çalışmada naylon lifler çelik liflerle birlikte kullanılmış ve bunun sonucunda karma lifli karışımların sadece naylon lif kullanılan karışımlara oranla çekme dayanımı açısından önemli sayılabilecek bir katkıda bulunmadığı görülmüştür [24].

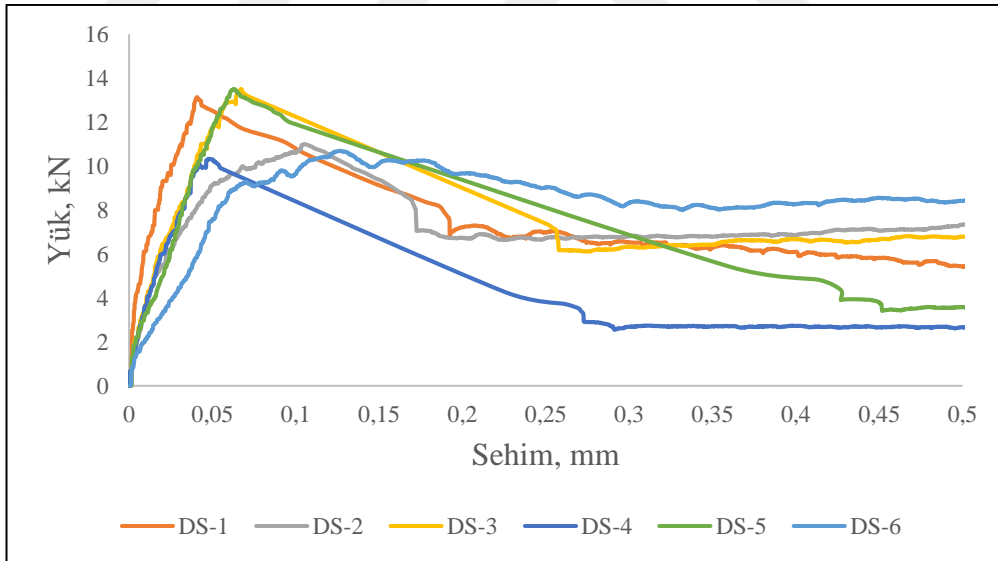
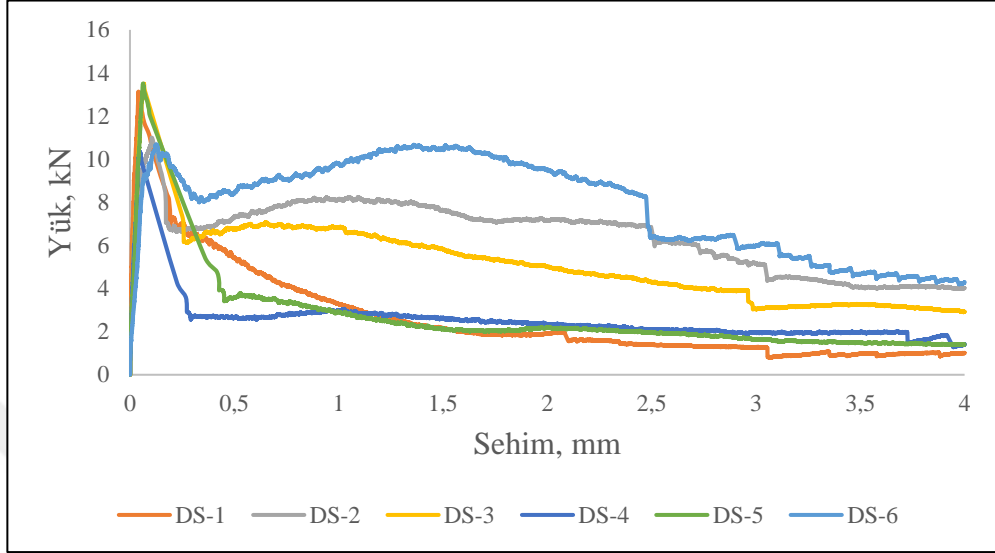


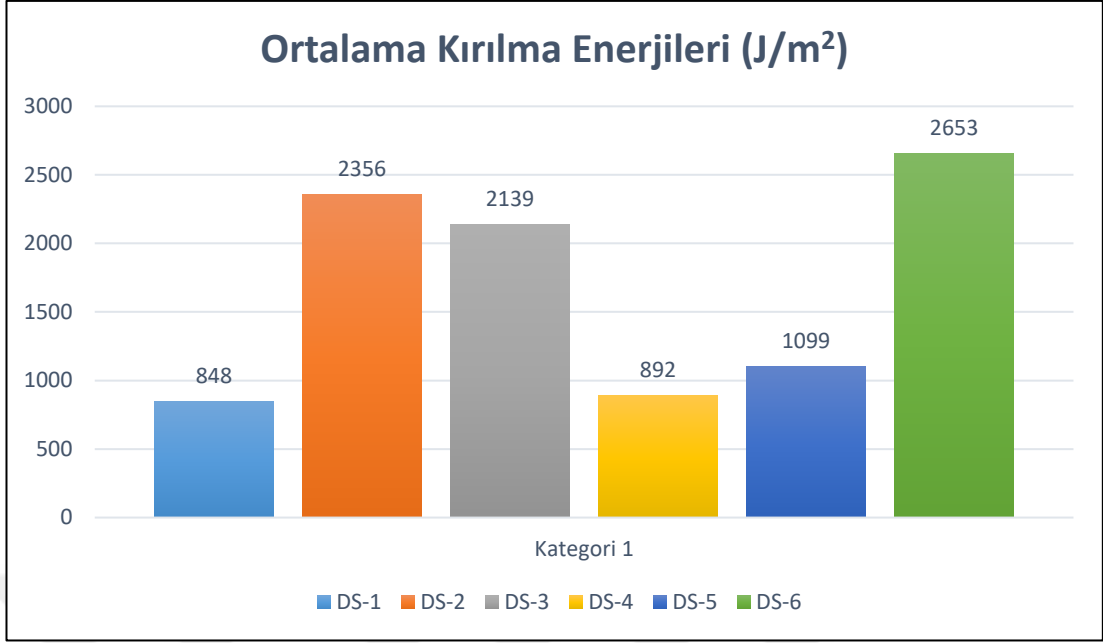
Şekil 3.2. Betonların ortalama yarmada çekme dayanımlarının karşılaştırılması

3.2.3. Dört noktalı eğilme deneyi

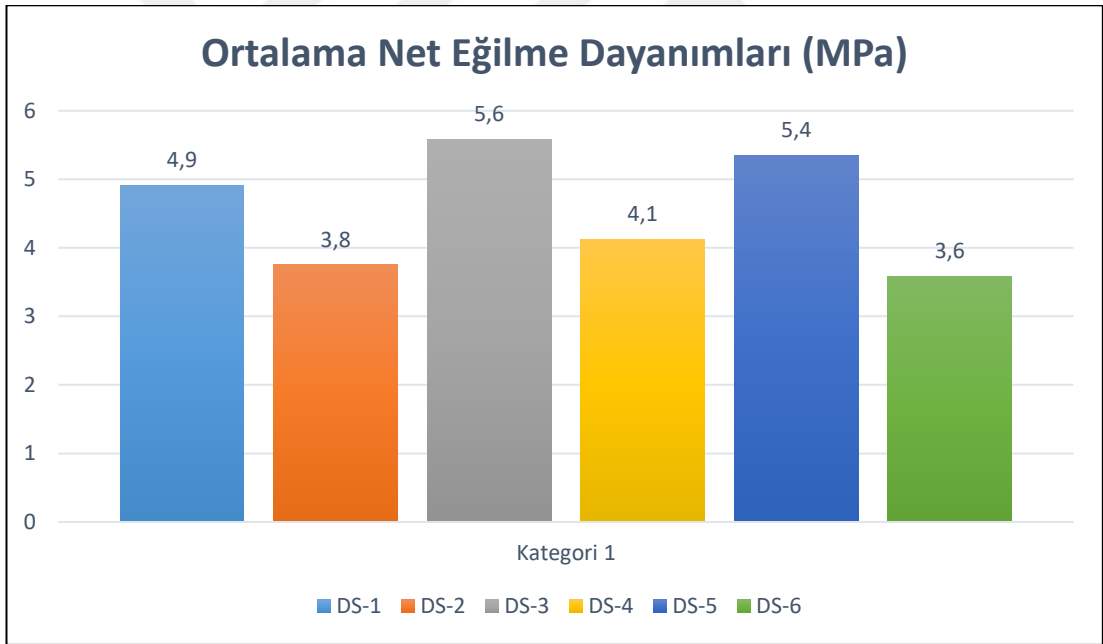
Prizma numuneler ile yapılan dört noktalı eğilme deneyi sonucunda elde edilen tüm numunelere ait kırılma enerjileri Ek-B, eğilme dayanımları karşılaştırması Ek-C ve tüm net eğilme dayanımı değerleri Ek-G kısmında verilmektedir. Lif katkısının betonda en fazla etki ettiği parametre olarak kırılma enerjisi göze çarpmaktadır. Şekil 3.3'te görüldüğü üzere ilk çatlak oluşumundan sonra beton sünek bir özellik göstererek yük taşıma kapasitesini tepe yükünden sonra da arttırma eğilimine gitmektedir. Makro lif katkılı betonların kırılma enerjisine yaptığı katkının mikro lifle karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te numunelere ait yük-sehim grafiği detaylı olarak görülebilir. Bunun yanında en iyi sonucun karma lifli numunelerden alındığı gözlemlenmektedir. Mikro çatlakların mikro lifler ile ve makro çatlakların makro lifler ile engellenmesi ile karma lifler beton sünekliğine olumlu katkıda bulunmakta, köprüleme görevlerini yerine getirmektedirler. Oluşan mikro ve makro çatlaklar, bu boylardaki lifler sayesinde boyutlarının büyümesi engellenmekte ve köprüleme yapan lifler sayesinde yük taşımaya devam etmektedirler. Makro lifin olumlu sonuç vermesinin nedeni, uygulanan yük altındaki çatlakların makro düzeyde oluşmasıdır. Makro lifler bu koşullar altında mikro liflere göre daha iyi sonuç vermekte ve yük taşımanın devamlılığını sağlamaktadır. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 üzerinden de kırılma enerjileri ve

net eğilme dayanımları karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Karma lifli karışımın kırılma enerjisinin en yüksek olduğu belirgin bir şekilde görülmektedir. Bunun dışında tüm numunelere ait yük-sehim eğrileri Ek-A üzerinden görülmektedir.





Şekil 3.5. Betonların ortalama kırılma enerjileri



Şekil 3.6. Betonların ortalama net eğilme dayanımları

3.3. Beton Rötire Sonuçları

Beton rötresiyle ilgili yapılan serbest rötire ve otojen rötire ölçümlerinin sonuçları Tablo 3.3'te görülmektedir. Karma lifli karışımın hem serbest hem de otojen rötire üzerinde en iyi sonuçları verdiğini görmekteyiz. Bunun nedeni olarak liflerin mikro ve makro düzeyde oluşan veya oluşmaya elverişli kusurlar üzerinde birlikte çalışıp çatlak başlangıcından önce ve/veya çatlak oluşumu oluştuktan sonra

engellemeleridir. Bunun yanında tüm lif katkıları, beton rötresi üzerinde istisnasız olumlu sonuçlar vermektedir. Özellikle mikro liflerin otojen rötreyi önlemede diğer liflere göre çok daha başarılı olduğu görülmektedir. Mikro liflerin mikro boyuttaki çatlaklara müdahalesi ve rötrenin mikro çatlak düzeyinde başlaması bu sonuçların önemli parametrelerinden biridir. Yük uygulaması dışında gelişen çatlakların mikro lif katkısıyla önüne geçilebileceği gözlemlenmektedir. Makro lifler de aynı şekilde olumlu katkılarda bulunmuş fakat mikro lif performansından geri kalmış durumdadırlar. Naylon lif ilavesinin rötreyi önlemede başarılı ve uygulanabilir bir çözüm olduğu görülmektedir.

Tablo 3.3. Üretilen betonların serbest ve otojen rötre ölçümleri (m/m)

	Beton	DS-2	DS-3	DS-4	DS-5	DS-6	REF	REF	
	Yaşı (gün)						0,35	0,42	
Serbest Rötre	7	332	358	396	405	205	482	505	
	28	546	552	661	619	296	725	788	
	90	685	759	759	855	456	1004	1098	
	Beton	DS-2	DS-3	DS-4	DS-5	DS-6	REF	REF	
	Yaşı (gün)						0,35	0,42	
	Otojen Rötre	7	220	169	188	155	98	330	252
		28	429	271	278	189	156	607	340
90		576	381	459	302	229	813	605	

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deney verileri irdelendiğinde elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Mikro naylon liflerin beton basınç dayanımına katkısı, farklı s/ç oranlarında da değişmemekle birlikte makro naylon liflere oranla daha olumlu sonuçlar vermektedir,
- Makro naylon liflerin kullanımı kırılma enerjisini arttırmaya yönelik mikro liflerden daha fazla katkı vermektedirler,
- Karma naylon lifli karışımlar, yüksek miktarda lif içerdiğinden dolayı yarmada çekme ve basınç dayanımı değerleri diğer karışımlara göre düşük kalmaktadır; bununla birlikte kırılma enerjisi diğer tüm serilerden daha yüksek sonuç vermektedir,
- Mikro ve makro naylon liflerin kullanımı betonun otojen ve kuruma rötresini azaltmak için kullanılabilir bir yöntem olduğu görülmektedir,
- Mikro naylon lifin otojen rötreyi önlemede makro life göre daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Sonuçlar irdelendiğinde bu alanda yapılabilecek gelecek çalışmalarda naylon lif katkılı betonun işlenebilirliği irdelenebilir ve bu bağlamda optimum tasarım ilkeleri üzerine çalışmalar yürütülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Köksal F., Çelik Tel Donatılı Betonların Mekanik Davranışı ve Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2004, 175857.
- [2] Bentur A., Mindness, S., *Fiber Reinforced Cementitious Composites*, 2nd ed., E & FN Spon, Abingdon, United Kingdom, 2007.
- [3] ACI Committee 544, Report on Fiber Reinforced Concrete, *American Concrete Institute*, ACI 544.1R-96, 1996.
- [4] Song P.S., Hwang S., Sheu B.C., Strength properties of nylon- and polypropylene-fiber-reinforced concretes, *Cement and Concrete Research*, 2005, **35**(8), 1546-1550.
- [5] Taşdemir M.A., Bayramov F., Kocatürk A.N., Yerlikaya M., Betonun Performansa Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler, *Beton Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 10-12 Haziran 2004.
- [6] Taşdemir M.A., Çelik Tel Donatılı Betonlar, *Seminer Notları*, İzmir, Türkiye, 2003.
- [7] Acun S., Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Katkıların İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2000, 101059.
- [8] Chawla K.K., *Fibrous Materials*, 1st ed., Cambridge University Press, United Kingdom, 1998.
- [9] Uçarkoşar B., Pirinç Kabuğu Katkılı Yüksek Dayanımlı Betonun Yüksek Sıcaklık Performansı, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2013, 343872.
- [10] Ersoy H.Y., *Kompozit malzeme*, 1. Baskı, Literatür yayınları, İstanbul, Türkiye, 2001.
- [11] Aral M., Karma Lif içeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı Bir Optimum Tasarım, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2006, 222138.
- [12] Zollo R.F., Fibre-reinforced Concrete: an Overview after 30 years of Development, *Cement and Concrete Composites*, 1997, **19**(2), 107-122.

- [13] Beaudoin J.J., CBD-223. Fiber-reinforced concrete, *Canadian Building Digest*, 2003.
- [14] Taşdemir M., High performance fiber-reinforced cement based composites and their applications, *İMO-JSCE Joint Symposium On Concrete Engineering*, İstanbul, Türkiye, 9-10 Haziran 2010.
- [15] Peled A., Sueki S., Mobasher B., Bonding in Fabric-Cement Systems: Effects of Fabrication Methods, *Cement and Concrete Research*, 2006, **36**(9), 1661-1671.
- [16] Arısoy B., Lifli Hafif Betonların Optimum Karışım Tasarımı, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Mart 2005.
- [17] Qian C., Stroven P., Dalhuisen D.H., Moczko A., Fracture Properties and Acoustic Emission Response of Hybrid Polypropylene-Steel Fibre Reinforced Concrete, *Fifth RILEM Symposium on Fibre-Reinforced Concretes (FRC)*, Lyon, France, 13-15 September 2000.
- [18] State-of-the-Art Report of RILEM Technical Comitee, Textile Reinforced Concrete, Germany, 2009.
- [19] Peled A., Bentur A., Geometrical Characteristics and Efficiency of Textile Fabrics for Reinforcing Cement Composites, *Cement and Concrete Research*, 2000, **30**(5), 781-790.
- [20] Uğur A., Lif Donatılarının Yüksek Dayanımlı Betonlarda Yarma Dayanımı-Basınç Dayanımı İlişisine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2007, 185609.
- [21] DSİ., Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton, *Devlet Su İşleri*, Ankara, Türkiye 1994.
- [22] Şengül C., Kendiliğinden Yerleşen Çelik Lif Donatılı Betonların Mekanik Davranışına Su/İnce Malzeme Oranı ve Lif Dayanımının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2005, 166270.
- [23] Naaman E., A., Fibre Reinforcement for Concrete: Looking Back, Looking Ahead, *Fifth RILEM Symposium on Fibre-Reinforced Concretes (FRC)*, Lyon, France, 13-15 September 2000.
- [24] Yaşar D., Naylon Lif Donatılı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2011, 350382.
- [25] Hongseop K., Gyuyong K., Nenad G., Jeongsoo N., Joongkyu J., Assessment of flexural toughness and impact resistance of bundle-type polyamide fiber-reinforced concrete, *Composites Part B: Engineering*, 2015, **78**, 431-446.

- [26] Neville A., *Properties of Concrete*, 4th ed., John Wiley & Sons Inc, New Jersey, U.S.A., 1981.
- [27] Almudaiheim J.A., Hansen W., Effect of Specimen Size and Shape on Drying Shrinkage of Concrete, *ACI Materials Journal*, 1987, **84**(2), 130-135.
- [28] Shah S.P., Weiss J., Yang W., Shrinkage Cracking-Can It Be Prevented, *Concrete International*, 1998, **20**(4), 51-55.
- [29] Yatağan S., Beton ve Harçlarda Agrega Dane Boyutunun Rötreye Durabiliteye Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2010, 315377.
- [30] Transportation Research Board, Transportation Research Circular E-C 107, Control of Cracking in Concrete, *Transportation Research Board*, Washington, DC, U.S.A., 2006.
- [31] Pelisser F., Neto A.B.S.S., La rovere H.L., Pinto R.C.A., Effect of the addition of synthetic fibres to concrete thin slabs on plastic shrinkage cracking, *Construction and Building Materials*, 2010, **24**(11), 2171-2176.
- [32] Chavooshi A., Madhoushi M., Mechanical and physical properties of aluminum powder/MDF dust/polypropylene composites, *Construction and Building Materials*, 2013, **44**, 214-220.
- [33] Mehta P. K., Monteiro P.J.M., *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*, 4th ed., The McGraw-Hill Companies, U.S.A., 2006.
- [34] Suzuki K., Ohno Y., Nakagawa T., Test Method for Cracking of Concrete Due to Drying Shrinkage, Creep and Shrinkage of Concrete, *Proceedings of the Fifth International RILEM Symposium*, Barcelona, Spain, 1993.
- [35] Holt E.E., Janssen D.J., Influence of Early Age Volume Changes on Long-Term Concrete Shrinkage, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1998, **1610**, 28-32.
- [36] Akçay B., Effects of Lightweight Aggregates on Autogenous Deformation and Fracture of High Performance Concrete, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye 2007, 223721.
- [37] Bendoudjema F., Meftah F., Torrenti J.M., Drying creep; An elastoplastic damage approach of the structural effect, *Proc. Fourth Int. Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures (Framcos)*, Cachan, France, 28 May- 2 June 2001.
- [38] Weiss J.W., Prediction of early age shrinkage cracking in concrete, PhD Thesis, Northwestern University, Illinois, U.S.A., 1999.
- [39] Holt E.E., Early ages autogenous shrinkage of concrete, PhD Thesis, University of Washington, Washington, U.S.A., 2001.

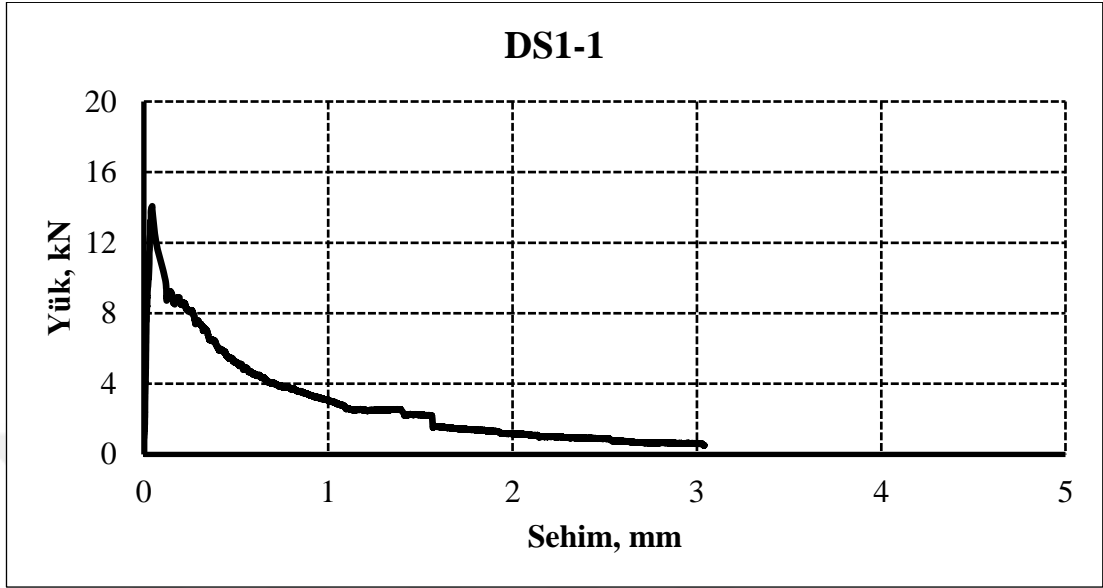
- [40] http://wikipedia.org/wiki/nylon_66, (Ziyaret tarihi: 10 Ekim 2017).
- [41] RILEM TC-50 FMC, Recommendation Determination of the fracture energy of mortar and concrete by means of three-point bend test on notched beams, *Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, Systèmes de Construction et Ouvrages*, Paris, France, 1985.
- [42] ASTM C127, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, U.S.A., 2015.
- [43] ASTM C128, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate, *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, U.S.A., 2015.



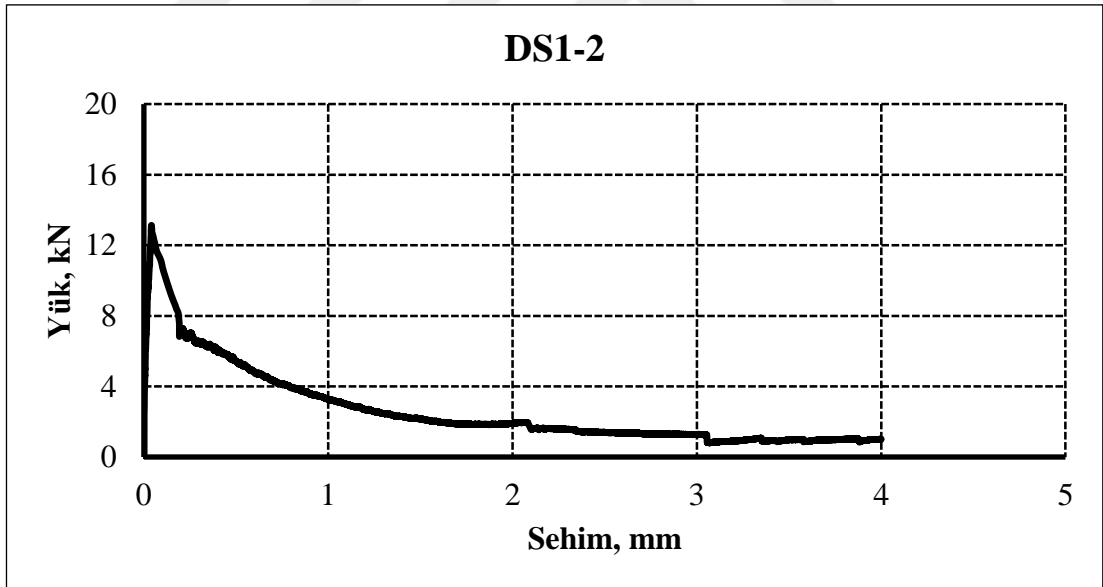


EKLER

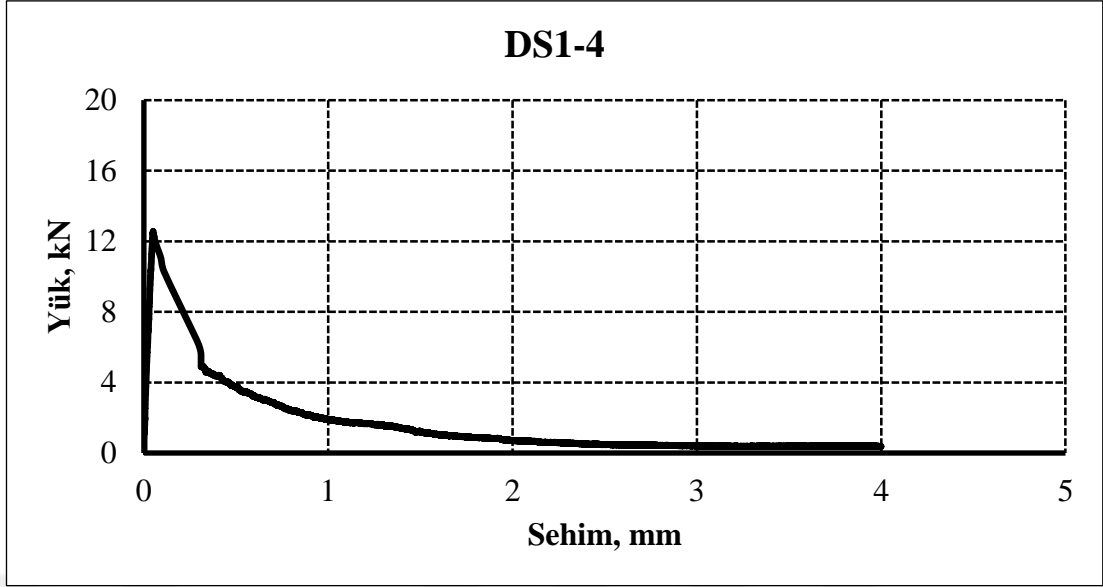
Ek-A Numunelerin yük-sehim eğrileri



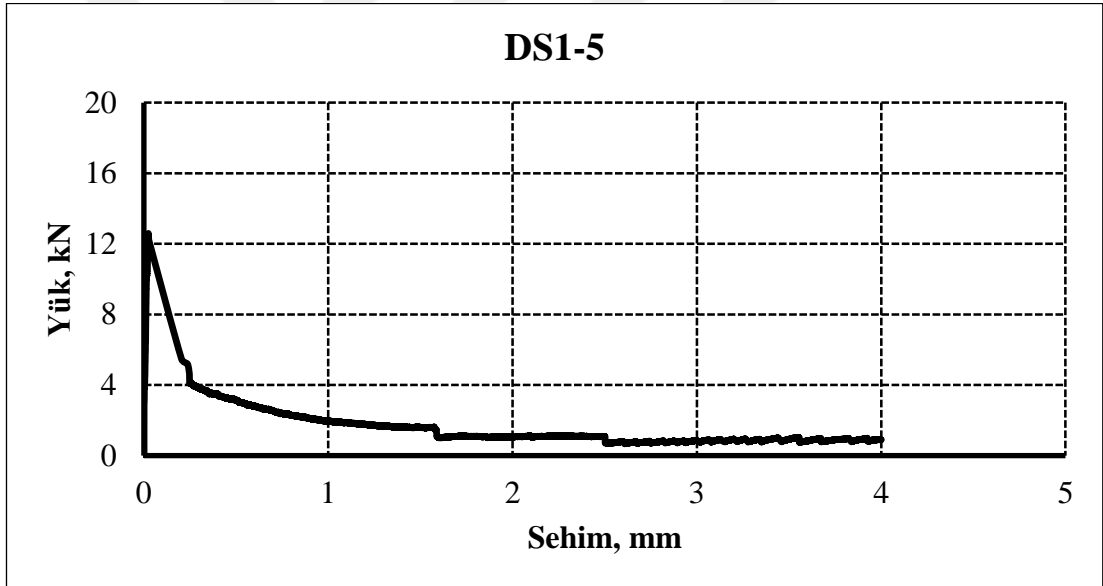
Şekil A.1. DS1-1 yük-sehim eğrisi



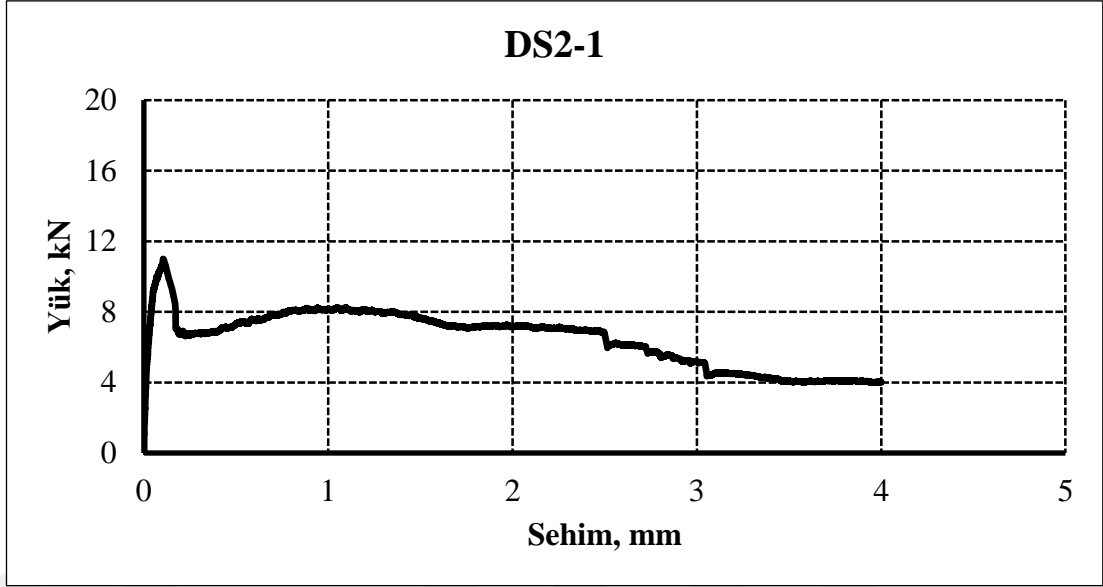
Şekil A.2. DS1-2 yük-sehim eğrisi



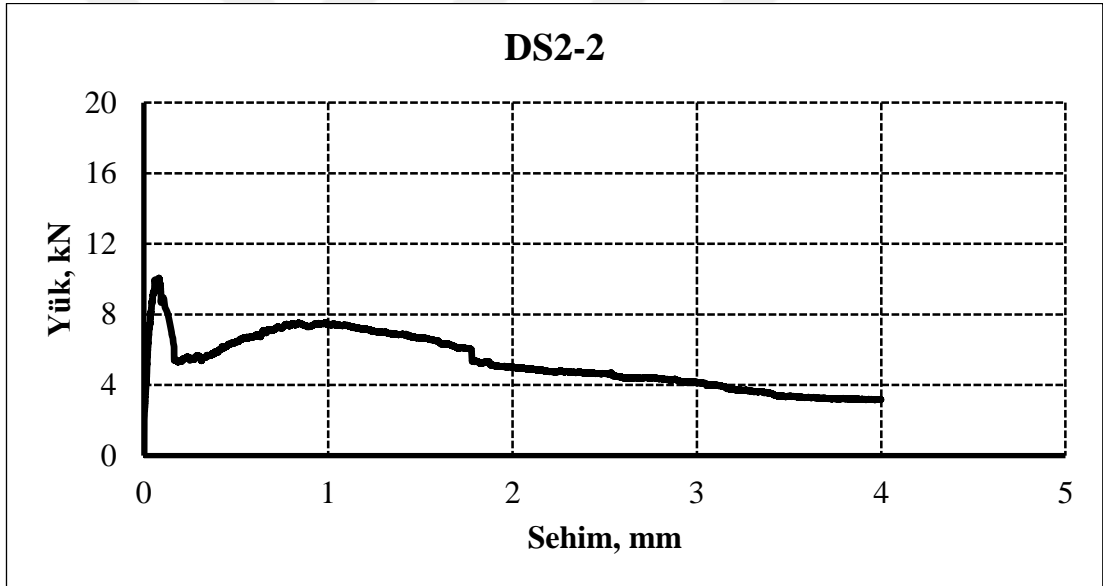
Şekil A.3. DS1-4 yük-sehim eğrisi



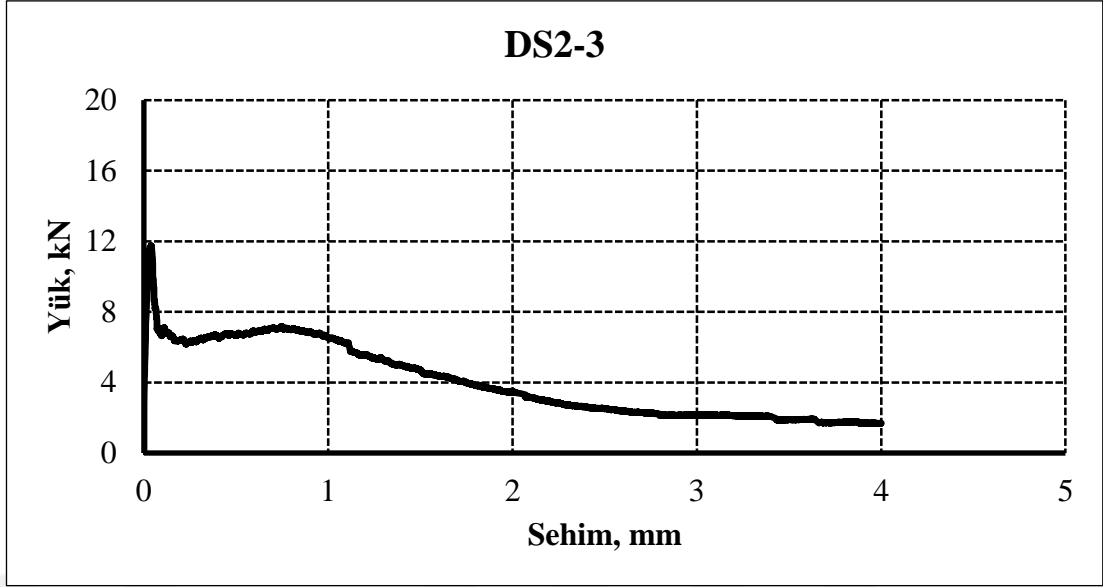
Şekil A.4. DS1-5 yük-sehim eğrisi



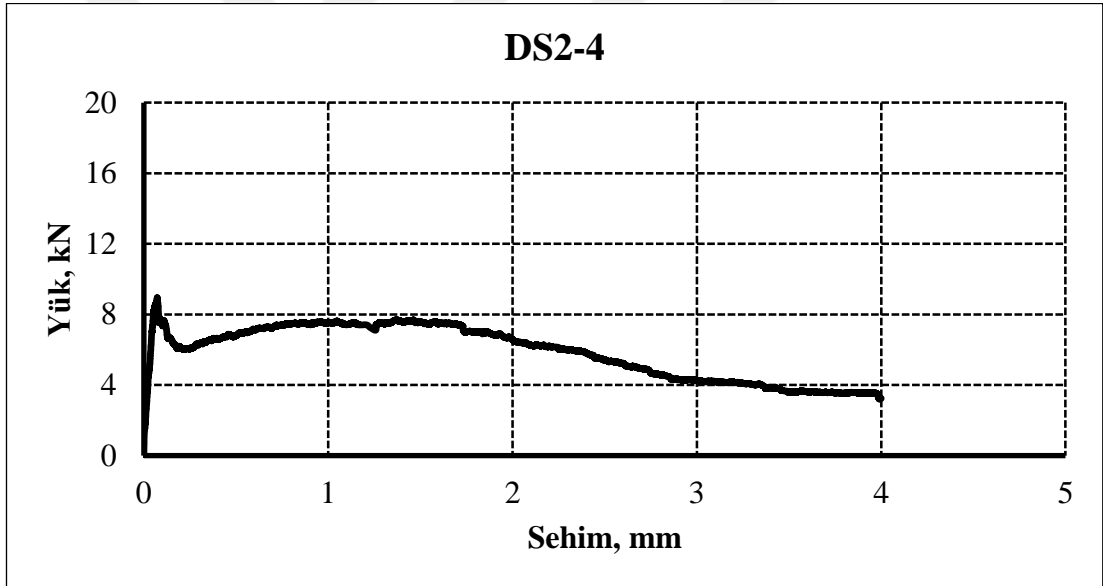
Şekil A.5. DS2-1 yük-sehim eğrisi



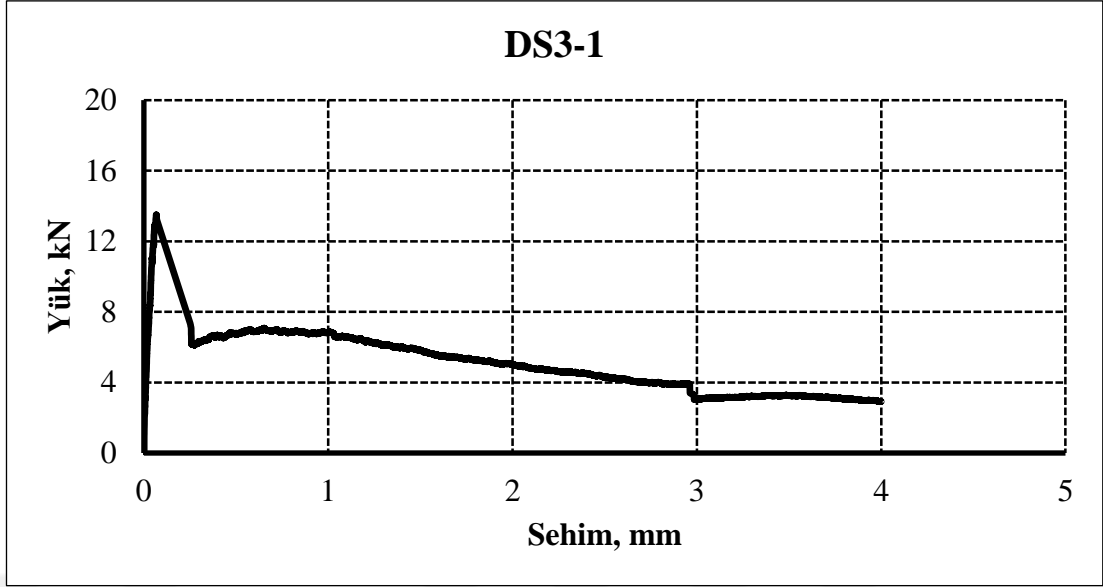
Şekil A.6. DS2-2 yük-sehim eğrisi



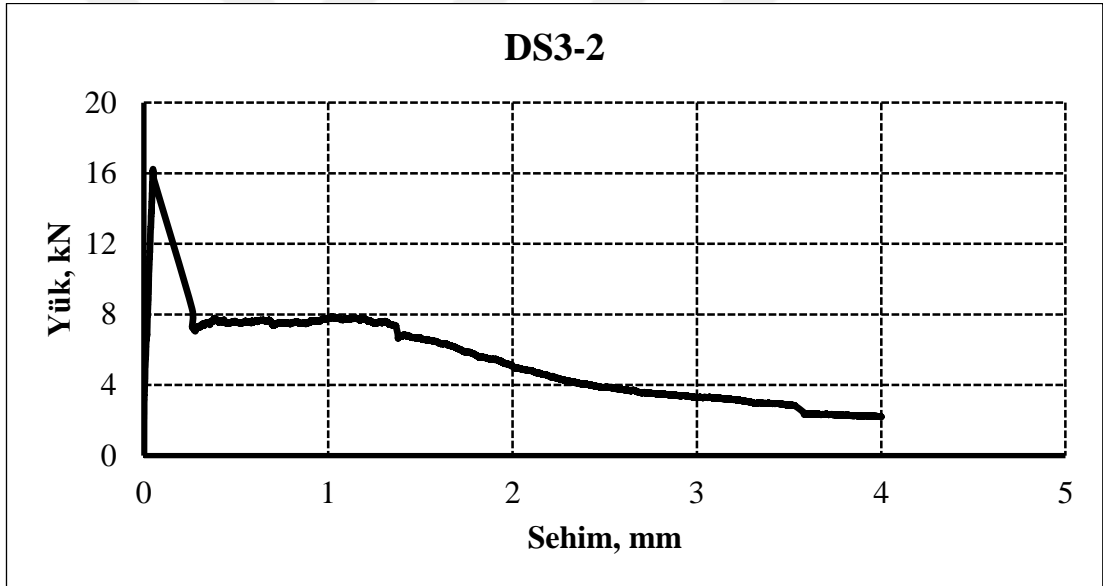
Şekil A.7. DS2-3 yük-sehim eğrisi



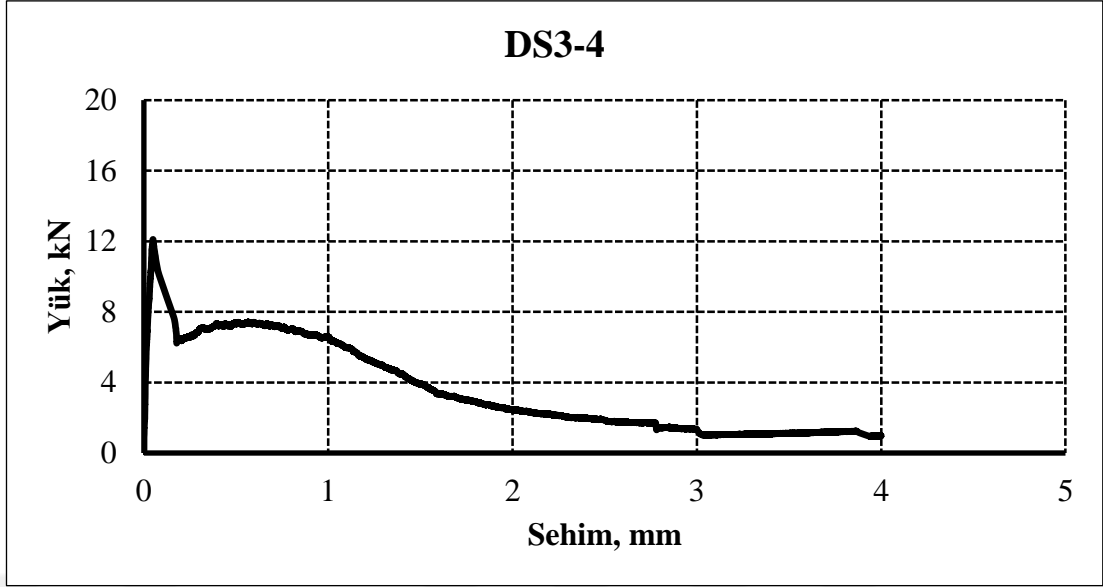
Şekil A.8. DS2-4 yük-sehim eğrisi



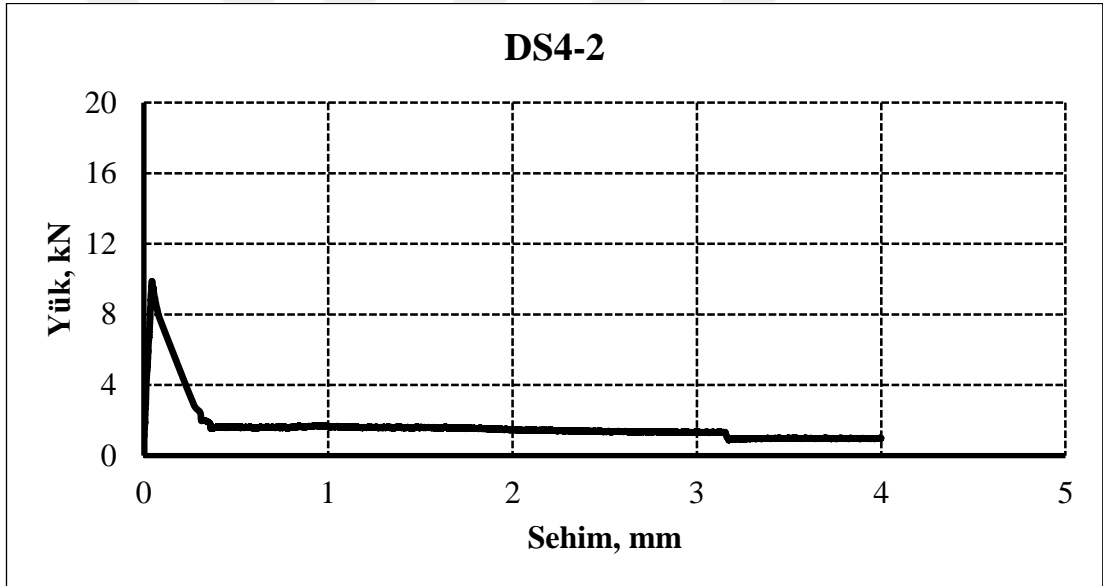
Şekil A.9. DS3-1 yük-sehim eğrisi



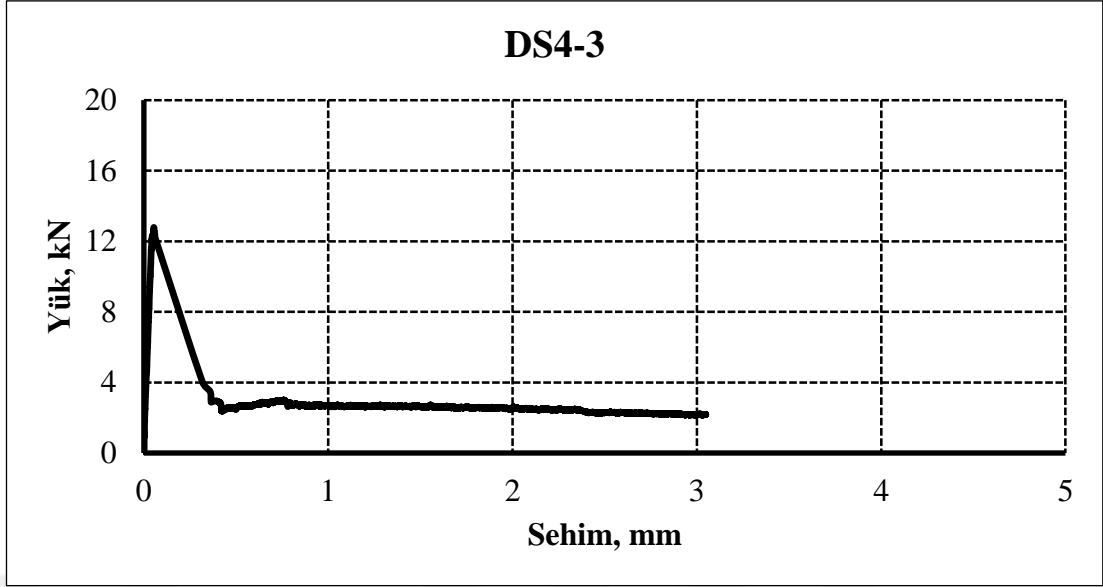
Şekil A.10. DS3-2 yük-sehim eğrisi



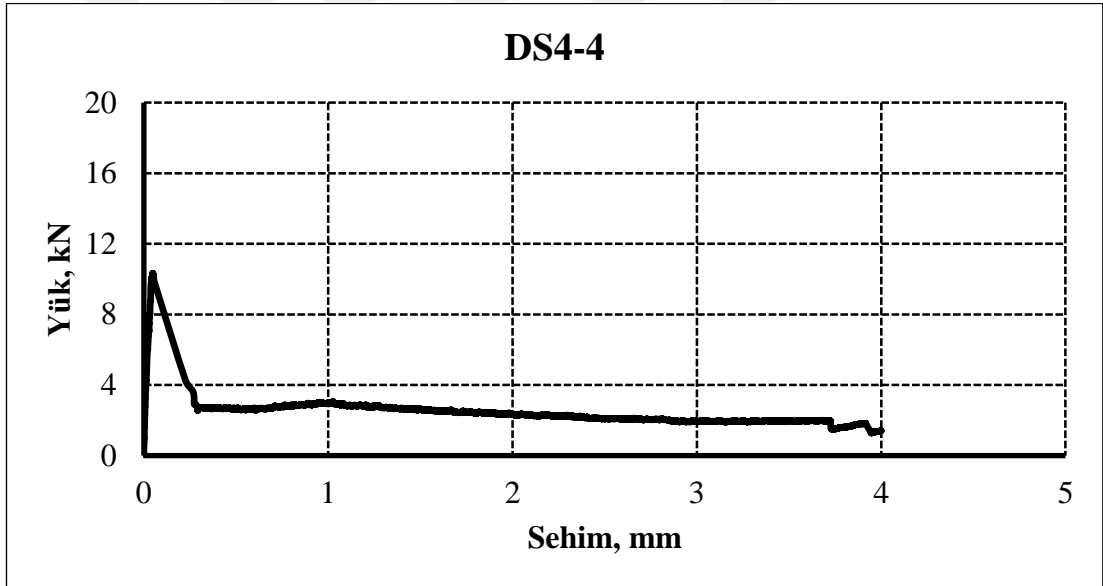
Şekil A.11. DS3-4 yük-sehim eğrisi



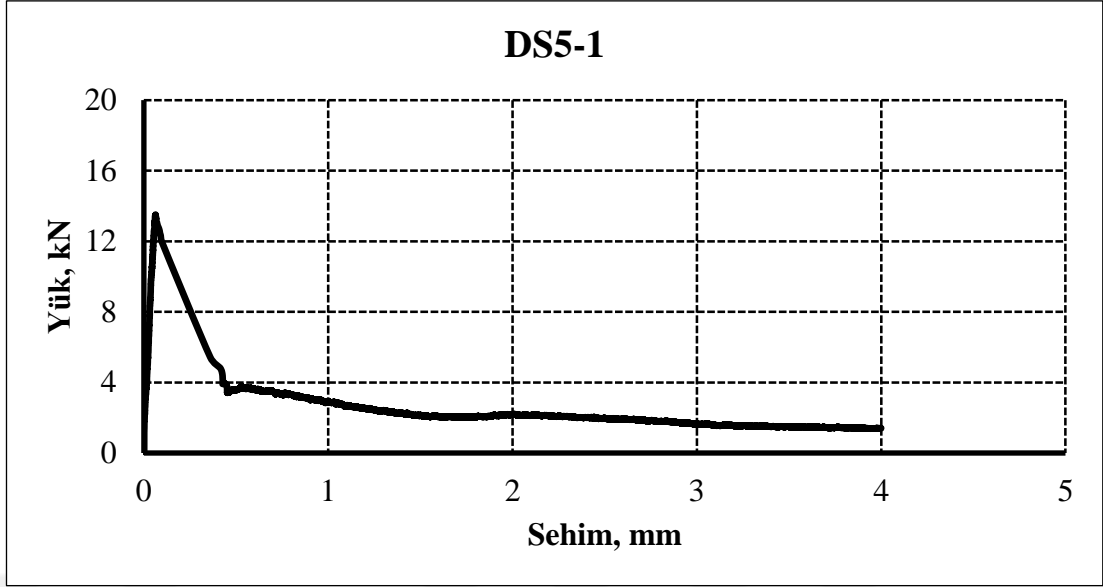
Şekil A.12. DS4-2 yük-sehim eğrisi



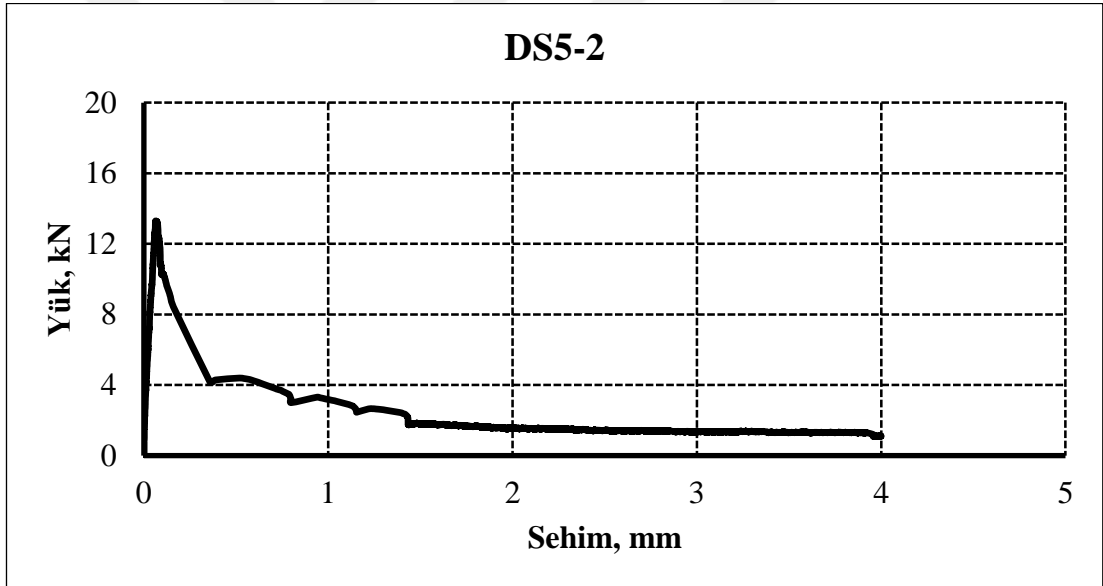
Şekil A.13. DS4-3 yük-sehim eğrisi



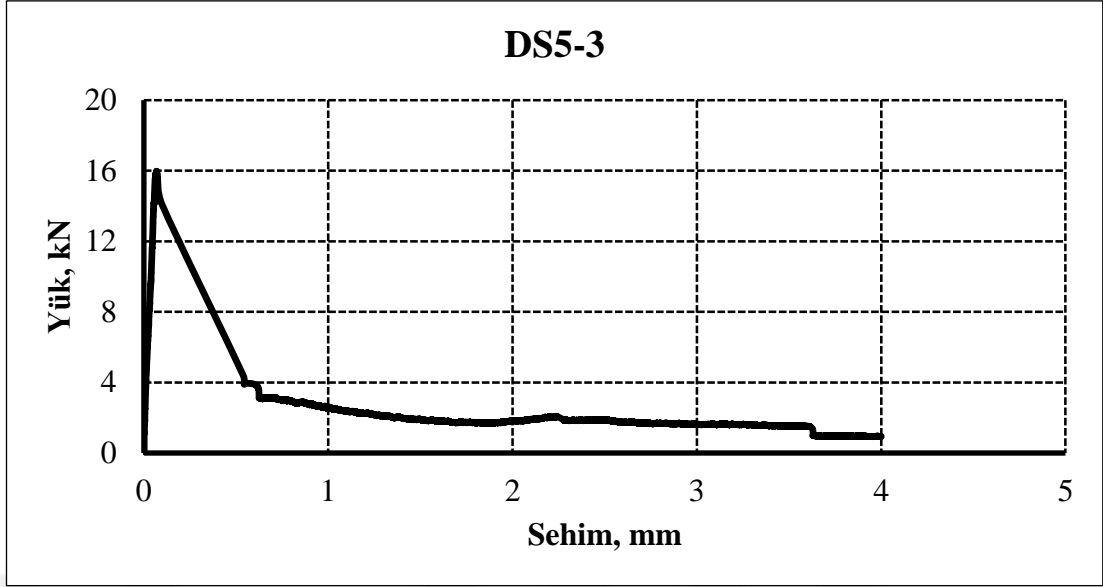
Şekil A.14. DS4-4 yük-sehim eğrisi



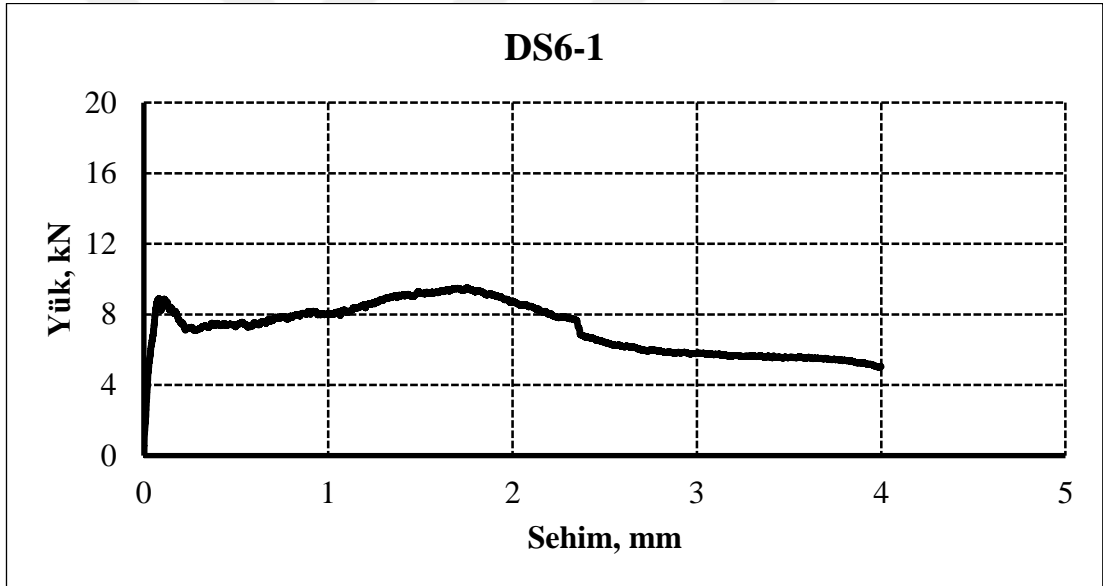
Şekil A.15. DS5-1 yük-sehim eğrisi



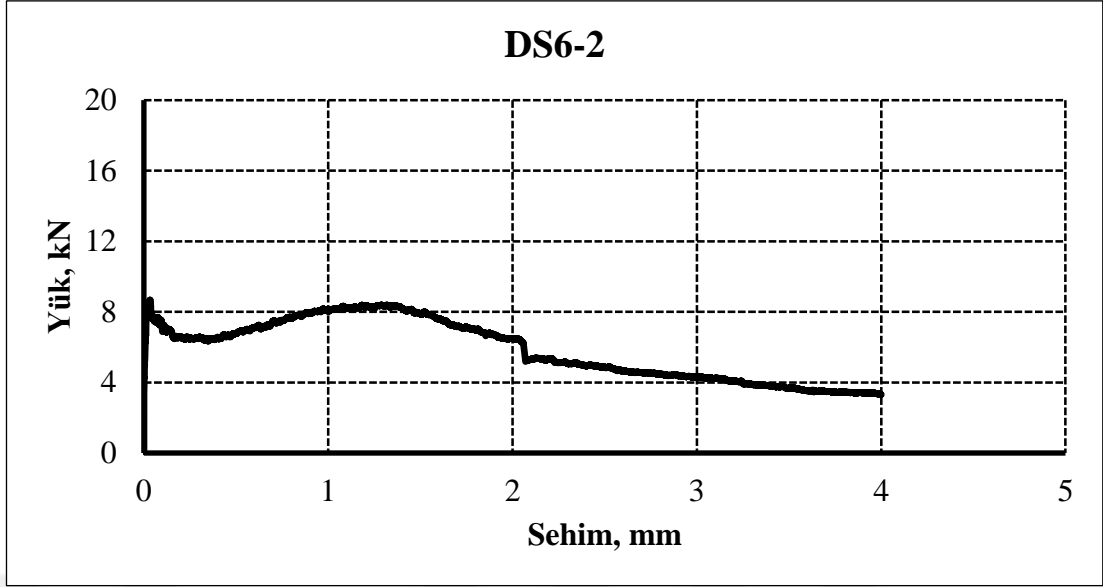
Şekil A.16. DS5-2 yük-sehim eğrisi



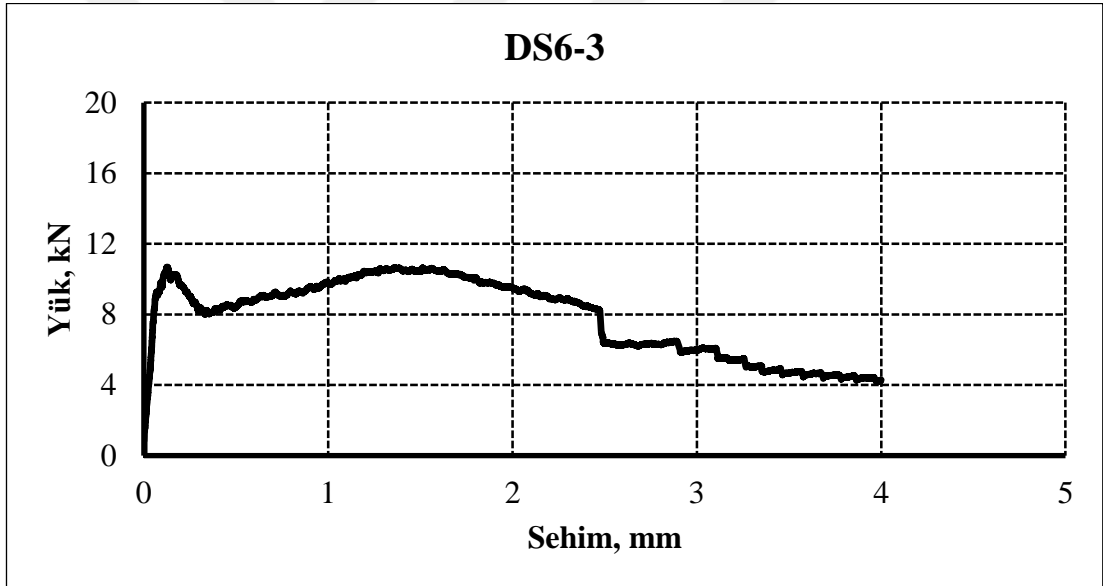
Şekil A.17. DS5-3 yük-sehim eğrisi



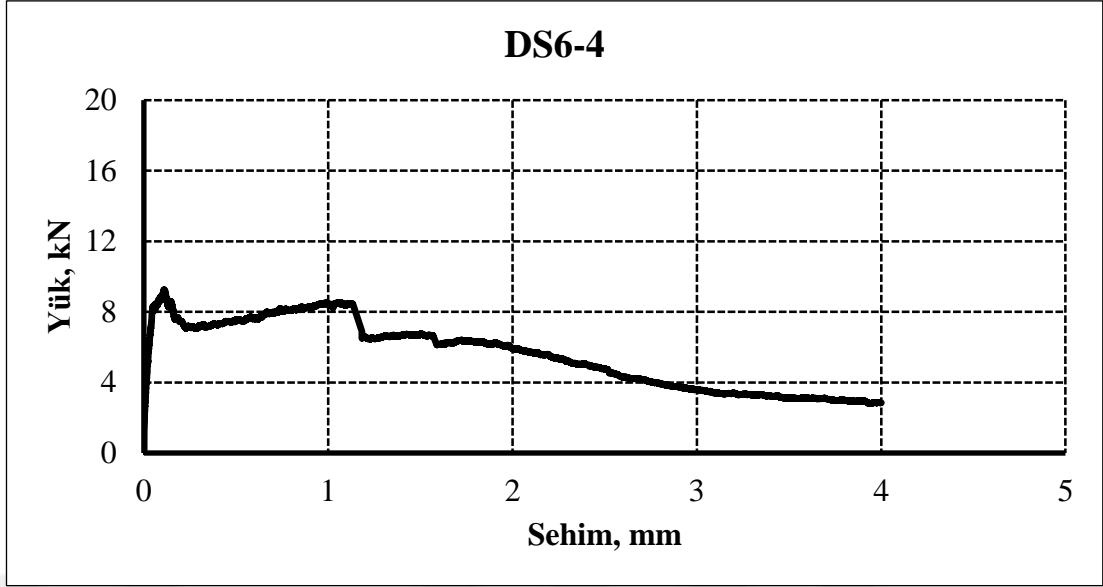
Şekil A.18. DS6-1 yük-sehim eğrisi



Şekil A.19. DS6-2 yük-sehim eğrisi

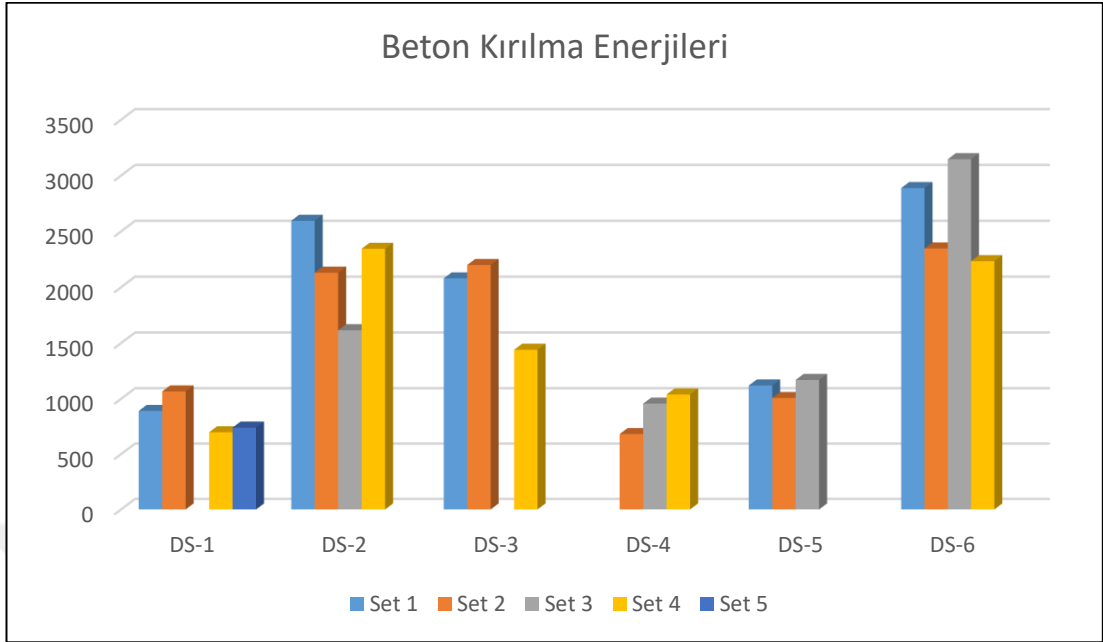


Şekil A.20. DS6-3 yük-sehim eğrisi



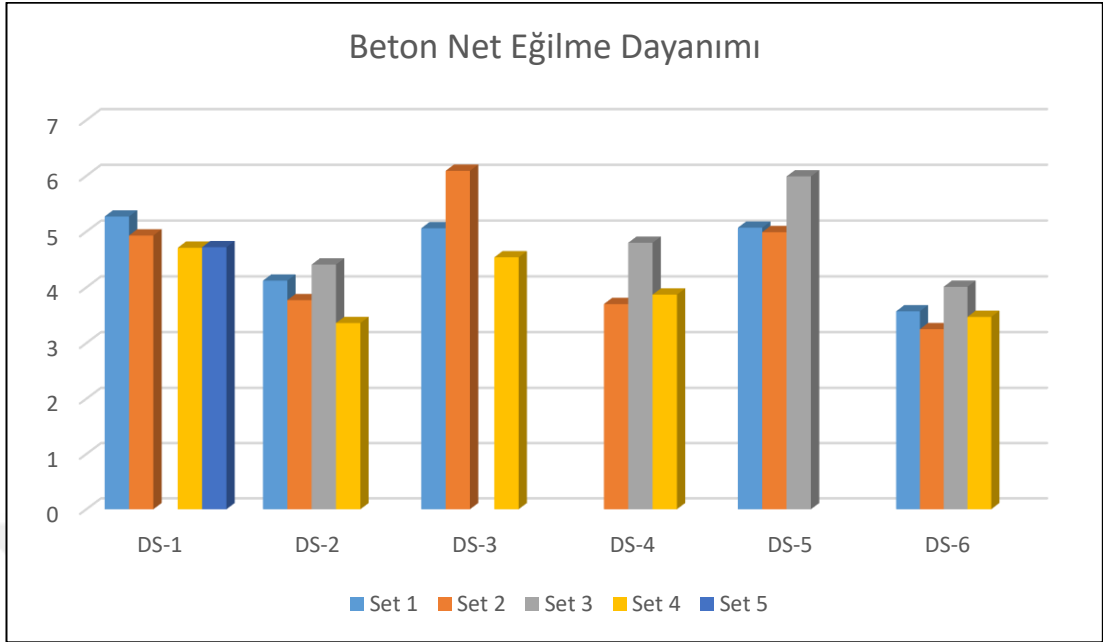
Şekil A.21. DS6-4 yük-sehim eğrisi

Ek-B Beton kırılma enerjileri karşılaştırması



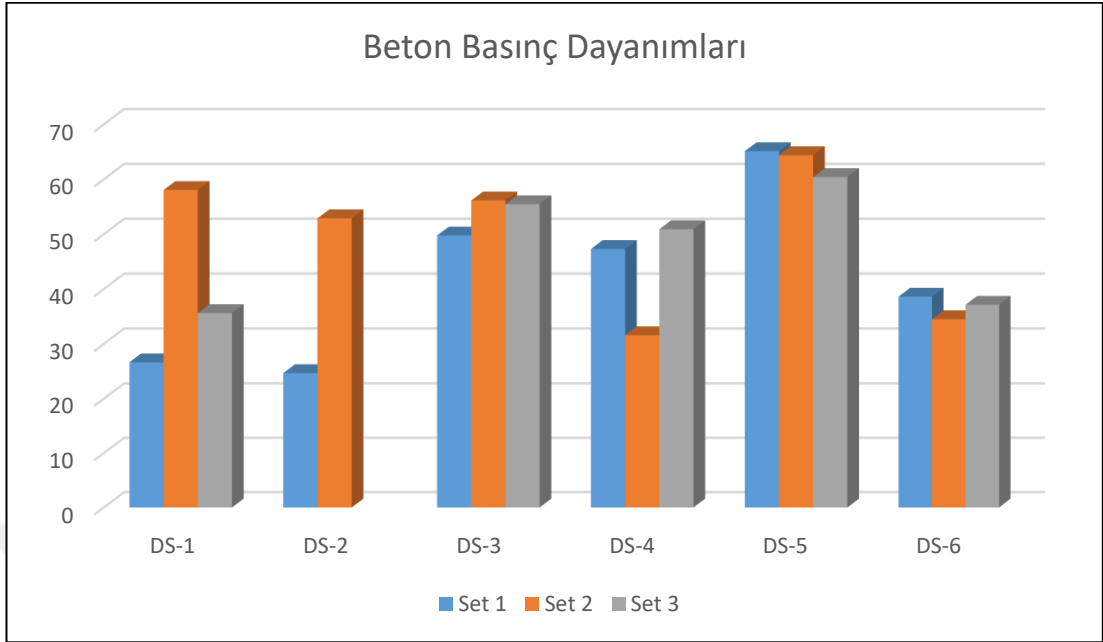
Şekil B.1. Beton kırılma enerjileri

Ek-C Beton net eğilme dayanımları karşılaştırması



Şekil C.1. Beton net eğilme dayanımı

Ek-D Beton basınç dayanımları karşılaştırması



Şekil D.1. Beton basınç dayanımları

Ek-E Beton basınç dayanım değerleri

Tablo E.1. Beton basınç dayanım değerleri

Numune Kodu	Kırılma Yüğü (kN)	Kesit Alanı (cm²)	Basınç Dayanımı (MPa)
DS1-1	209,2	78,5	26,65
DS1-2	455,8	78,5	58,06
DS1-3	279,6	78,5	35,62
DS2-1	193,8	78,5	24,69
DS2-2	415,2	78,5	52,89
DS3-1	390,6	78,5	49,76
DS3-2	440,7	78,5	56,14
DS3-3	435,4	78,5	55,46
DS4-1	371,3	78,5	47,30
DS4-2	248	78,5	31,59
DS4-3	399,6	78,5	50,90
DS5-1	511,2	78,5	65,12
DS5-2	505,6	78,5	64,41
DS5-3	474,2	78,5	60,41
DS6-1	303,1	78,5	38,61
DS6-2	270,9	78,5	34,51
DS6-3	291,5	78,5	37,13

Ek-F Beton yarmada çekme dayanımı değerleri

Tablo F.1. Beton yarmada çekme dayanımı değerleri

Numune Kodu	Kırılma Yüğü (Kg)	Kesit Alanı (cm ²)	Yarma-Çekme Dayanımı (MPa)
DS1-1	10610	100	6,63
DS1-2	12080	100	7,55
DS1-3	12070	100	7,54
DS2-1	8260	100	5,16
DS2-2	8590	100	5,37
DS3-1	8600	100	5,37
DS3-2	10520	100	6,57
DS3-3	8860	100	5,54
DS4-1	9300	100	5,81
DS4-2	6220	100	3,89
DS4-3	8930	100	5,58
DS5-1	10240	100	6,40
DS5-2	8690	100	5,43
DS5-3	8930	100	5,58
DS6-1	7490	100	4,68
DS6-2	8320	100	5,20
DS6-3	7110	100	4,44

Ek-G Beton net eğilme dayanımı değerleri

Tablo G.1. Beton yarmada çekme dayanımı değerleri

Numune Kodu	Numune Ağırlık (gr)	Kesit Alanı (cm ²)	Kırılma Enerjisi (J/m ²)	Net Eğilme Dayanımı (MPa)
DS1-1	11536	100	890	5,27
DS1-2	12420	100	1066	4,93
DS1-4	11357	100	697	4,71
DS1-5	11570	100	739	4,72
DS2-1	10922	100	2595	4,12
DS2-2	11220	100	2130	3,77
DS2-3	11379	100	1615	4,41
DS2-4	11030	100	2344	3,36
DS3-1	11645	100	2079	5,06
DS3-2	11526	100	2199	6,09
DS3-4	11827	100	1440	4,54
DS4-2	11437	100	681	3,70
DS4-3	11933	100	956	4,80
DS4-4	11737	100	1039	3,87
DS5-1	11828	100	1120	5,07
DS5-2	12081	100	1007	4,99
DS5-3	12129	100	1170	5,99
DS6-1	11165	100	2888	3,57
DS6-2	10813	100	2347	3,25
DS6-3	11385	100	3146	4,01
DS6-4	11014	100	2233	3,47

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] **Ozsar D.S.**, Ozalp F., Yilmaz H.D., Akcay B., Effects of Nylon Fibre and Concrete Strength on the Shrinkage and Fracture Behaviour of Fibre Reinforced Concrete, *4th International Conference on Strain-Hardening Cement-Based Composites*, Dresden, Germany, 18-20 September 2017.



ÖZGEÇMİŞ

Sartukam Doğaç ÖZSAR 12.07.1991 tarihinde Sakarya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Akyazı'da tamamladı. Lisans eğitimini Bartın Üniversitesi'nde tamamladıktan sonra 2015 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.

