



T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ATIK ÇELİK LİFLERİN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

MEHMET ALİ ALİBEKİROĞLU

Mart 2019

T. C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ATIK ÇELİK LİFLERİN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

MEHMET ALİ ALİBEKİROĞLU

Yüksek Lisans Tezi

Danışman
Doç.Dr. Fatih ÖZCAN

Mart 2019

Mehmet Ali ALİBEKİROĞLU tarafından **Doç. Dr. Fatih ÖZCAN** danışmanlığında hazırlanan “**Atık Çelik Liflerin Beton Özelliklerine Etkisi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Fatih ÖZCAN, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Cengiz Duran ATIŞ, Erciyes Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Kubilay AKÇAÖZOĞLU, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/...../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

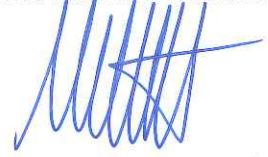
...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR V.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mehmet Ali ALİBEKİROĞLU



ÖZET

ATIK ÇELİK LİFLERİN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ALİBEKİROĞLU, Mehmet Ali
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç.Dr. Fatih ÖZCAN

Mart 2019, 60 sayfa

Bu çalışmada, geri dönüşüme katkı sağlamak amacı ile atık lastiklerden elde edilen çelik tellerin betonun mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Araştırma kapsamında fabrikalarda üretilen standart çelik tel (ST), atık lastiklerden elde edilmiş uzun çelik tel (UAT) ve kısa çelik tel (KAT) olmak üzere üç farklı tip çelik tel kullanılarak lifli betonlar üretilmiştir. Şahit numune üretildikten sonra lifli beton karışımları, beton hacminin % 0.5, % 1, % 1.5, ve % 2 oranlarında çelik lifler kullanılarak hazırlanmıştır. Karışımlarda su/çimento oranı 0,5 olarak sabit tutulmuş ve farklı oranlarda süperakışkanlaştırıcı katkı malzemesi eklenmiştir. Hazırlanan beton numuneler 28 gün boyunca standart küre tabi tutulmuş ve sonrasında birim hacim ağırlık, eğilme, basınç, yarmada çekme, kapiler su emme, elastisite modülü ve ultrases hızı tayini deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan bu uygulamanın ülke ekonomisine ve çevreye katkı sağlayacağı, atık lastiklerden elde edilen tellerin standart çelik tellerin alternatifi olarak lifli beton üretiminde kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: lifli beton, atık lastik teli, çelik tel, atık lastik, basınç dayanımı, elastisite modülü, eğilme dayanımı.

SUMMARY

THE EFFECT OF WASTE STEEL FIBERS ON CONCRETE PROPERTIES

ALIBEKIROGLU, Mehmet Ali
Niğde Ömer Halisdemir University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Fatih ÖZCAN

March 2019, 60 pages

In this study, steel fibers recovered from waste tires that in order to contribute to recycling was investigated on the mechanical properties of concrete. The concrete samples which were tried to be reinforced by the use of standard steel fiber (ST) as well as long steel fiber (UAT) and short steel fiber (KAT) from the waste tires into which were repeatedly added at 0.5 %, 1 %, 1,5 % and 2 % by the volume of the concrete. Superplasticizer admixture was added into concrete at various dosages while keeping the water-cement ratio constant at the rate of 0.5 during the mixing process. Bending, compressive, splitting tensile strength, unit weight, capillary water absorption, modulus of elasticity and ultrasonic pulse velocity tests were performed on the prepared concrete samples after being kept in the concrete curing tanks for 28 days. The experiment result shows that steel fibers recovered from waste tires can be used as an alternative to standard steel fibers in the production of fibrous concrete and this application will contribute to the national economy and environment.

Keywords: fibrous concrete, fiber of waste tires, steel fiber, waste tires, compression strenght, modulus of elasticity, bending strenght.

ÖN SÖZ

Son yıllarda gerek ülkemizde gerekse dünyada geri dönüşüm üzerine araştırmalar yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada, standart çelik telinin yanı sıra atık lastiklerden elde edilmiş çelik teller kullanılarak beton karışımları hazırlanmıştır. Hem geri dönüşüme katkı sağlamak hem de betonun mekanik performansını iyileştirmek amacı ile atık lastiklerden elde edilmiş çelik teller kullanılarak lifli betonlar üretilmiştir. Bu çerçevede atık lastiklerin geridönüşümü ile elde edilen çelik tellerin fabrikalarda üretilen standart çelik teller yerine kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Tez çalışmasında kullandığım atık lastik teli temininde yardımcı olan Devasa Geri Dönüşüm Ltd. Şti. çalışanı Oya DENİZ Hanım'a teşekkür ediyorum

Eğitim öğretim hayatım boyunca üzerimde emekleri çok olan tüm hocalarıma, inşaat mühendisi olarak mezun olduğum Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ndeki değerli hocalarıma, bilhassa yüksek lisans eğitimim boyunca benden bir an olsun bilgisini tecrübesini esirgemeyen, ilgi ve alakasını daima gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Fatih ÖZCAN'a müteşekkirim.

Yüksek lisans tez çalışmam sırasında her zaman yanımda hissettiğim İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, pek kıymetli arkadaşım İnşaat Yüksek Mühendisi Fatih Mehmet AŞIK'a ve diğer inşaat mühendisi arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Vatana millete ve tüm insanlığa faydalı bir birey olarak yetiştirme gayesi ile emeklerini, maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen beni bugünlere getiren aileme minnettarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xi
SİMGE VE KISALTMALAR	xii
BÖLÜM I GİRİŞ	1
BÖLÜM II LİFLİ BETON	4
2.1 Lifli Betonun Kısa Tarihçesi	4
2.2 Lifli Betonun Tanımı	4
2.3 Betonda Kullanılan Lif Çeşitleri.....	5
2.3.1 Çelik lifler	6
BÖLÜM III LİTERATÜR TARAMASI.....	8
3.1 Çelik Lifli Taze Betonun Özellikleri	9
3.1.1 İşlenebilirlik ve kıvam	9
3.1.2 Yerleştirme	10
3.1.3 Perdahlama işlemi.....	11
3.1.4 Kür ve koruma işlemi	11
3.2. Çelik lifli Sertleşmiş Betonun Özellikleri.....	12
3.2.1 Basınç dayanımı.....	13
3.2.2 Çekme dayanımı	15
3.2.3 Eğilme dayanımı	17

3.2.4 Enerji yutma kapasitesi (Tokluk).....	18
3.2.5 Rötire	20
3.2.6 Dayanıklılık (durabilite)	21
3.2.7 Darbe dayanımı.....	22
3.2.8 Elastisite modülü	23
3.3 Atık Lastik Telinin Betonda Kullanımı	24
BÖLÜM IV DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI.....	27
4.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler	27
4.1.1 Agregası.....	27
4.1.2 Çimento.....	28
4.1.3 Standart çelik tel	29
4.1.4 Atık tel	30
4.1.5 Su	30
4.1.6 Akışkanlaştırıcı	31
4.2 Beton Karışım Oranları.....	31
4.3 Beton Numuneler Üzerinde Yürütülen Deneysel Çalışmalar.....	32
4.3.1 Yayılma tablası deneyi ve sonuçları	32
4.3.2 Birim hacim ağırlık deneyi ve sonuçları.....	33
4.3.3 Basınç dayanımı deneyi ve sonuçları	34
4.3.4 Eğilme dayanımı ve tokluk deneyi ve sonuçları.....	35
4.3.5 Yarmada çekme deneyi ve sonuçları	40
4.3.6 Ultrases geçiş hızı deneyi ve sonuçları	43
4.3.7 Kapiler su emme deneyi ve sonuçları.....	44
4.3.8 Elastisite modülü tayini deneyi ve sonuçları	46
BÖLÜM V SONUÇLAR.....	50
KAYNAKLAR	52
ÖZ GEÇMİŞ	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Değişik malzemelerden üretilmiş lifler ve özellikleri.....	6
Çizelge 3.1. Çelik lifli betonun özellikleri.....	12
Çizelge 3.2. Otomobil ve kamyon lastiklerinin bileşimi ve ağırlıkları	25
Çizelge 4.1. Kullanılan agreganın elek analizi	27
Çizelge 4.2. Kullanılan çimentonun kimyasal analizi.....	28
Çizelge 4.3. Çimentoya ait fiziksel test sonuçları.....	28
Çizelge 4.4. Çelik telin özellikleri	29
Çizelge 4.5. Atık lastiklerden elde edilmiş çelik tellerin özellikleri.....	30
Çizelge 4.6. Bir metreküp beton karışımı için malzeme miktarları	31
Çizelge 4.7. Sarsma sonrası yayılma çapları.....	32
Çizelge 4.8. Taze beton birim hacim ağırlıkları	33
Çizelge 4.9. Elastisite modülü değerleri.....	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Çelik lif şekilleri.....	7
Şekil 2.2. Lifli betonun tipik gerilme-şekil değiştirme diyagramı.....	7
Şekil 3.1. Lif içeriğinin gerilme-şekil değiştirme eğrisine etkisi.....	14
Şekil 3.2. Çimento esaslı malzemelerde çekme dayanımı-şekil değiştirme ilişkisi...	16
Şekil 3.3. Çelik lifli betonda tipik eğilmede yük-deplasman eğrisi	18
Şekil 3.4. Tokluk indekslerinin hesabı için çizilmiş gerilme deformasyon eğrisi.....	19
Şekil 3.5. Ucu kancalı çelik liflerin betonun rötresine etkisi.....	21
Şekil 4.1. Sınır değerler ve karışım granülometrisi.....	28
Şekil 4.2. Standart çelik telin fiziksel özellikleri	29
Şekil 4.3. Basınç dayanımları	35
Şekil 4.4. Eğilme deney düzeneği	36
Şekil 4.5. Kiriş eğilme dayanımları	37
Şekil 4.6. Standart tel yük-sehim grafiği	37
Şekil 4.7. Uzun atık tel yük-sehim grafiği.....	38
Şekil 4.8. Kısa atık tel yük-sehim grafiği.....	38
Şekil 4.9. Yük sehim grafiği ve kırılma tokluğu.....	39
Şekil 4.10 Kırılma tokluğu değerleri.....	39
Şekil 4.11 Tüm numunelerin kırılma tokluğu-eğilme dayanımı ilişkisi.....	40
Şekil 4.12. Yarmada çekme deneyi sonuçları.....	41
Şekil 4.13. Tüm numunelerin basınç dayanımı-yarmada çekme dayanımı ilişkisi....	42
Şekil 4.14. Tüm numunelerin eğilme dayanımı-çekme dayanımı ilişkisi.....	42
Şekil 4.15. Ultrases geçiş hızı değerleri.....	43
Şekil 4.16. Standart tel içeren numunelerin su emme miktarları.....	45
Şekil 4.17. Uzun atık tel içeren numunelerin su emme miktarları.....	45
Şekil 4.18. Kısa atık tel içeren numunelerin su emme miktarları.....	46
Şekil 4.19. Standart tel içeren numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği...	47
Şekil 4.20. Uzun atık tel içeren numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.	48
Şekil 4.21. Kısa atık tel içeren numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği..	48

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 3.1. Laserli master kullanarak lifli beton perdahı.....	11
Fotoğraf 3.2. Çelik lifli betonun direk çekme dayanımı deneyi	16
Fotoğraf 3.3. Atık lastiklerin parçalanması süreci	26
Fotoğraf 4.1. Standart çelik tel	29
Fotoğraf 4.2. Uzun atık tel (a) kısa atık tel (b) görünümü	30
Fotoğraf 4.3. Şahit numune ve standart tel içeren numune yayılma tablası deneyi...	32
Fotoğraf 4.4. Beton basınç dayanımı deney düzeneği	34
Fotoğraf 4.5. Kiriş eğilme deney düzeneği	36
Fotoğraf 4.6. Yarmada çekme deney düzeneği ve deney yapılmış numuneler.....	41
Fotoğraf 4.7. Elastisite modülü deney düzeneği.....	47

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
W_0	Kırılma tokluğu

Kısaltmalar	Açıklama
ASTM	Amerikan Deney ve Malzeme Birliği
MPa	Mega Pascal
ST	Standart Çelik Tel
UAT	Uzun Atık Çelik Tel
KAT	Kısa Atık Çelik Tel
TS EN	Türk Standartları Enstitüsü

BÖLÜM I

GİRİŞ

Beton su, çimento, ince ve kaba agreganın belirli oranlarda karışımı ile hazırlanan, zamanla sertleşen heterojen yapıya sahip yapay bir taştır. Kolay temin edilebilmesi, mekanik ömrünün uzun ve ekonomik olması sebebi ile günümüzde en çok tercih edilen yapı malzemesidir. Beton en çok tercih edilen malzeme olsa da tüm mekanik özellikleri ile yeterli bir malzeme değildir. Çekme ve eğilme gibi dayanımlarını artırmak için lif katkılı betonlar üretilmiştir.

Betonun mekanik özelliklerini geliştirmek için mineral ve kimyasal katkıları, sünekliğini artırmak için ise değişik özelliklere sahip lifler taze betona ilave edilmektedir. Ham maddesi başlıca çelik, polipropilen, karbon, cam olmak üzere üretilen lifler taze betona katılarak kullanılmaktadır. Betonda kullanılan mikro ve makro lifler beton içerisine rastgele dağılarak doluluğu artırmak, iç gerilmelerden oluşan çatlakları engellemek, uzun vade kullanım sonunda aşınmaya karşı direnci artırmak, ağır ve sürekli yüklere maruz kalan betonun yorulma mukavemetini iyileştirmek için kullanılır. Betonda kullanılan bu liflerden farklı geometride, farklı kalınlıkta üretilmektedir. Betonda kullanılan liflerden en yaygın olanı çelik liflerdir.

Betonda çelik liflerin ilavesi, çatlak davranışını kontrol altına alma ve gerilme esnasında sünekliğini korumanın bir aracı olarak son yıllarda yaygın olarak araştırılmıştır. Bu liflerin uygun bir dozajda kullanılması yapı elemanlarının davranışını gevrekten sünek hale değiştirebileceği ifade edilmiştir (Faghih, 2017).

Lifli betonların üretilmesindeki ana amaç malzemenin tokluğunun, darbe yüklerine karşı direncinin, eğilme dayanımının vb. arttırılmasına yöneliktir. Belirli özellikleri olan liflerle homojen olarak takviye edilmiş lifli beton, ilk görünüşte normal beton karışımlarına benzemesine rağmen değişik yükler altında gösterdiği davranış ve performans açısından geleneksel betondan oldukça farklı bir özelliğe sahiptir. Liflerin beton içerisinde gelişigüzel dağılmasına rağmen lifli beton yük altında homojen bir davranış gösterir (Güneş, 2011).

Endüstriyel ya da endüstriyel olmayan, atık malzemelerin depolanması, uzaklaştırılması Türkiye ve Dünya’da geleceğin en büyük problemlerinden biri olarak görülmektedir. Bu problemin en mantıksal çözümlerinden biri atık malzemelerin yeniden kullanılabilirliğinin sağlanabilmesidir. Atıkların geri kazanımı konusunda inşaat alanında da çalışmalar yapılmaktadır. Bir zamanların atık malzemesi durumunda olan silis dumanı ve uçucu kül gibi malzemelerin beton özelliklerinde iyileştirme göstermiş olması, bu alana olan ilginin daha da artmasına neden olmuştur. Bu gelişmeler betonun özelliklerini iyileştirdiği gibi atıkların geri kazanılması ve bunlara bağlı sanayi kolları oluşturması açısından da önemlidir (Gönen vd., 2012).

Avrupa Lastik Geri Dönüşüm Derneği'ne göre dünya çapında her yıl yaklaşık 1,5 milyar lastik üretilmekte ve bu miktarın dörtte biri AB ülkelerinde gerçekleşmektedir (Abdulaziz vd., 2018).

Her yıl yaklaşık bir milyar lastik kullanım ömrünü tamamlamaktadır, 2030’a kadar bu sayının yaklaşık beş milyara yaklaşması tahmin edilmektedir. Şimdiye kadar bu miktarlar az olduğu için ya stok sahalarında biriktiriliyordu ya da yakılıyordu. Her yıl bu kadar lastiğin atılması, bu atık lastiklerin depolanması problemini ortaya çıkarmaktadır. Bu atıkların çevreye zarar vermeden geri dönüştürmenin birçok yolu vardır; bunlardan biri çimento fırınlarında yakmak olduğu gibi betona, gerek agrega gerekse bağlayıcı olarak katmaktır (Jalali vd., 2012; Liv vd., 2004; Pelisser vd., 2011; Yılmaz ve Değirmenci, 2009).

Uluslararası Motorlu Araç İmalatçıları Örgütü’ne göre 2014 yılında 90 milyondan fazla motorlu taşıt üretilmiş olup bu sayının gelecek yıllarda daha da artması beklenmektedir. Aynı kuruma göre dünya genelinde 1,2 milyar motorlu araç olduğu tahmin edilmektedir. Atık lastiklerin biriktirilmesi, geri dönüştürülmesi ile ilgili olarak bunları düzenleyen katı kanunların olması, ekonomik faydalarının yanı sıra insanların çevresel olarak da bilinçlenmesinden ötürü Amerika, Avrupa ve Japonya’da atık lastiklerin geri dönüştürülme oranı % 85 civarındadır (Şengül, 2016).

Yüksek ısı enerjisi değerine sahip otomobil lastiği gibi atıkların çöp toplama alanlarında emniyetli olarak muhafaza edilmesi zordur ve beraberinde birçok çevresel problemleri (tutuşma riski, koku problemi, sinekler için üreme ortamı, içme suyu kaynaklarının

kirlenmesi, hava kirliliği vs.) ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle bu ve bunun gibi atıklar, imento fırınlarında yakılmak sureti ile değerlendirilebilmektedir (Gönen vd., 2012).

Son zamanlarda atık lastiklerden elde edilen kauçuk tanelerinin ve elik liflerin beton içerisinde kullanılması konusunda bazı araştırmalar yapılmıştır. Geri dönuştürülmüş elik lifler eklenerek elde edilen betonun özellikle tokluk, çatlama sonrası davranışı ve kırılğan matrisinde iyileşmeler olduğu kanıtlanmıştır (Centonze vd.,2009).

Bu tez çalışmasında su/imento oranı 0,5 seçilmiş, agrega cinsi ve miktarı sabit tutulup bu karışıma iki ucu kancalı hazır üretim olan standart elik tel ile atık lastiklerden elde edilmiş uzun ve kısa iki tip elik teller % 0.5, % 1, % 1.5 ve % 2 oranlarında ayrı ayrı eklenerek lifli betonlar üretilmiştir. Üretilen betonlar 28 gün boyunca standart küre tabi tutulduktan sonra basınç, eğilme, yarmada çekme, elastisite modülü tayini, kapiler su emme ve ultrasonik hız deneyleri yapılarak lif türlerinin ve miktarlarının betonun mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

BÖLÜM II

LİFLİ BETON

2.1 Lifli Betonun Kısa Tarihçesi

Bağlayıcı malzemelerle yapılmış yapı elemanlarında lif kullanılması çok yeni bir fikir değildir. Antik çağlardan beri lifler gevrek malzemelerin donatılandırılması amacı ile kullanılmıştır (ACI 544, 1997). Tarihi yapıların bazılarında, balçık karışımları içerisinde hayvan kıllarının katıldığı bilinmektedir. Benzer şekilde, Mimar Sinan'ın yaptığı eserlerde kullanılan Horasan Harcı içerisinde saman ve keçi kılı kullanıldığı bilinmektedir. Liflerin bağlayıcı içerisinde en sık kullanımı güneşte kurutulan kerpiç bloklar içerisinde saman kullanılmasıdır. Günümüzden yaklaşık 3500 yıl önce Bağdat yakınlarında inşa edilmiş 57 metre yüksekliğindeki “Aqar Quf” kulesinin yapımında güneşte pişirilmiş tuğlalarda saman kullanıldığı tespit edilmiştir (Bentur ve Mindness, 1990).

Beton ve çeliğin birlikte kullanılması fikrini ilk ortaya atan kişi ABD’li T. Hyatt olmuştur. Hyatt, 1850’lerden itibaren betonarme üzerinde sürdürdüğü çalışmalarını 1877 yılında yayımlamış, bunu Avrupa’da bu alanda yapılan birçok çalışmanın sonuçlarının yayınlaması izlemiştir. Teller ve liflerle donatılı betonlarla ilgili ilk çalışmalar yine J. Lambot’un 1847 yılındaki patentlerine dayanmaktadır. Lifli betonla ilgili çalışmalar ise 1960’lı yıllarda A.Berard tarafından yapılmıştır (Kurt, 2006).

2.2 Lifli Betonun Tanımı

Geleneksel beton içerisinde narinliği, (boyuna uzunluğunun çapına oranı ($l/d > 10$)) yüksek olan ve beton içerisinde üç boyutlu olacak şekilde rastgele ya da yönelmiş şekilde karbon, çelik, aramid, polipropilen vb. katılması ile elde edilen beton çeşididir (Caf, 2012).

Beton herhangi bir lifle takviye edildiğinde, donatılı kompozit malzemeler sınıfına girmektedir. Bu tür kompozitler, malzemenin mekanik direncini arttırmak, çatlama ve gevrek kırılmayı önlemek amacı ile tasarlanır. Belirli özellikleri olan liflerle homojen

hazırlanmış betonlar, ilk görünüşte normal beton karışımına benzemesine rağmen, değişik yükler altında gösterdiği davranış ve performans açısından geleneksel betondan oldukça farklı bir özelliğe sahiptir (Uyan, 1985; Şimşek, 2004).

Literatürde çelik lifli beton, çimento, su, ince ve iri agrega karışımına kısa çelik liflerin katılmasıyla üretilen kompozit bir malzemedir. Günümüzde lifli betonlarda karışıma gereken durumlarda mineral ve/veya kimyasal katkıları da katılmaktadır. Beton içerisine katılan çelik lifler rastgele dağılmaktadır (ACI 544.3R- 93; Bentur ve Mindes, 1990).

Son yıllarda beton teknolojisinde önemli gelişmeler kaydedilmiştir. 30-40 yıl öncesinde betonun basınç dayanımı en fazla 40 MPa iken, günümüzde basınç dayanımı 60-115 MPa arası değişen yüksek dayanımlı betonlar üretilmektedir. Yüksek dayanımlı beton, üstün özelliklerine rağmen gevrek olan bir yapı malzemesidir. Bu durum betonun enerji yutma kapasitesini azaltmaktadır. Bu olumsuz özelliği ortadan kaldırmak için yüksek performanslı betonlara çeşitli lifler katılması fikri ortaya çıkmıştır. Yüksek performanslı beton üretiminde çelik lifler, sentetik lifler, polimer esaslı lifler ve cam lifleri gibi lifler kullanılmaktadır. Bu liflerin eklenmesiyle betonun mekanik özellikleri önemli ölçüde değişmektedir. Lifli betonda lifsiz betona göre oluşan en önemli performans artışı, kırılma esnasında enerji yutma kapasitesinin artmasıdır (Çakır, 2013).

2.3 Betonda Kullanılan Lif Çeşitleri

Betonun mekanik özelliklerini geliştirmek için mineral ve kimyasal katkıları, sünekliğini artırmak için ise değişik özelliklere sahip lifler kullanılmaktadır. Betonda kullanılan mikro ve makro lifler beton içerisine rastgele dağılarak doluluğu artırmakta, değişik aşamada oluşan çatlakları sınırlandırarak onların büyümesini engellemekte, oluşan iç gerilmeleri dağıtmaktadır. Liflerin bu olumlu etkileri, betonun mekanik özellikleri ile özellikle maksimum yük sonrası kırılma davranışını olumlu etkilemektedir. Betona katılan lifler genel olarak çelik, karbon, polipropilen, cam ve plastik gibi değişik malzemelerden farklı çap ve boylarda üretilmektedir. Betonda kullanılan liflerin etkinliği; lifin türüne, tipine, uzunluğuna, çapına, geometrik yapısına, lifin çekme dayanımına ve kullanım oranına bağlı olarak değişmektedir (Yiğiter, 2002).

Lifli betonların üretiminde kullanılan değişik liflerin özellikleri Çizelge 2.1’de verilmektedir. Lifli betonlar çelik, cam, karbon, naylon, polipropilen vb. liflerin betona katılmasıyla üretilmektedir. Çelik lifli betonlar, 1960’lı yılların başında beton teknolojisine girmiştir. Çelik lifli betonlar üzerinde yapılmış olan teorik ve uygulamaya yönelik çalışmalar, bu betonların kullanımını diğer liflerle üretilmiş betonlardan daha cazip kılmaktadır. Çelik lifli betonların ilk kullanım alanları plaklar, yol kaplamaları, tünel kaplamaları ve değişik onarım uygulamalarıdır (Bentur ve Mindess, 1990; Zeynal, 2008).

Çizelge 2.1. Değişik malzemelerden üretilmiş lifler ve özellikleri

Lif Cinsi	Çap (µm)	Özgül Ağırlık	Elastisite Mod. (GPa)	Çekme Day.(GPa)	Uzama (%)
Çelik	5-500	7.84	200	0.5-2.0	0.5-3.5
Cam	9-15	2.60	70-80	2-4	2-3.5
Karbon	9	1.90	230	2.6	1.0
Naylon	-	1.1	4.0	0.9	13.0-15.0
Selüloz	-	1.2	10	0.3-0.5	-
Polietilen	-	0.95	0.3	0.7×10^{-3}	10
Polipropilen	20-200	0.9	5-77	0.5-0.75	8.0
Akrilik	18	1.18	14-19.5	0.4-1.0	3
Astbest	0.02-0.4	3.4	164-196	3.1-3.5	2.0-3.0
Ağaç	-	1.5	71.0	0.9	-

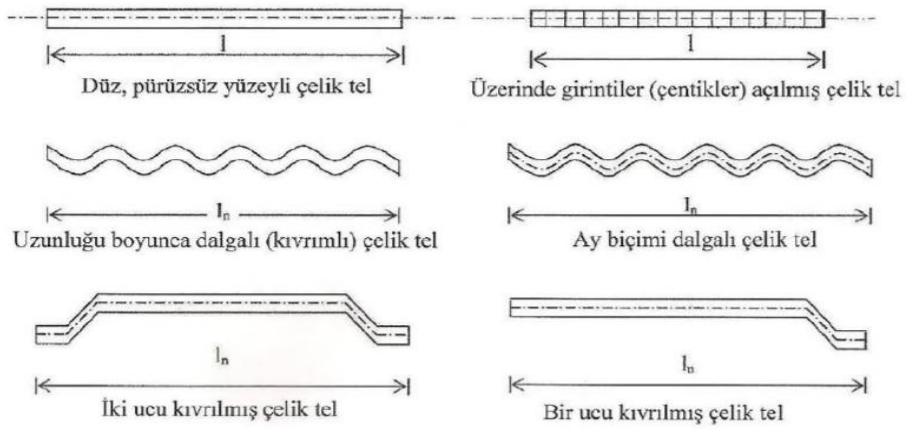
ACI (Amerikan Beton Enstitüsü) komitesi 544, bir lifi tanımlayan en iyi nümerik parametrenin lif boyunun eşdeğer lif çapına bölünmesiyle elde edilen “boy/çap” (aspectratio) oranı olduğunu kabul eder. Bu orana kısaca “narinlik oranı” da denilmektedir. Lif tanımlayan diğer etkenler ise lifin geometrik yapısı ve çekme gerilmesidir (Ünal vd., 2007).

2.3.1 Çelik lifler

Çelik, çekme dayanımı yüksek olan ve betonla birlikte yüksek performans gösteren bir yapı malzemesidir. Bu sebepten dolayı beton içerisinde en çok kullanılan lif türü çelik liflerdir. Beton takviyesinde kullanılacak çelik lifleri sınıflandıran ve özelliklerini belirten Amerikan Standardı ASTM A 820-96’ da çelik lifler; soğuk ve haddelenip çekilmiş, plakadan kesilmiş ve diğer çelik lifler olmak üzere 4 değişik şekilde sınıflandırılmıştır. Bu lifler sadece oluşma biçimine göre sınıflandırılmıştır. TS EN

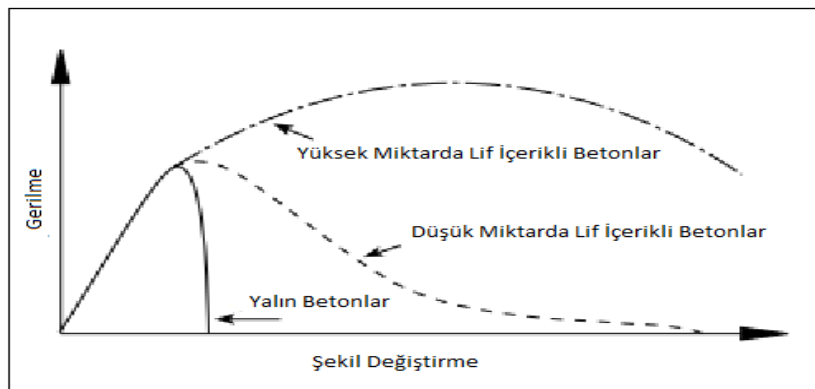
14889-1 (2006)'ya göre lifler; düz, pürüzsüz yüzeyle, bütün uzunluğunca deforme olmuş ve sonu kancalı lifler (v.b.) olmak üzere sınıflandırılmış ve Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

TS EN 14889-1 (2006)'de çelik liflerin özellikleri ile ilgili iki önemli parametre vardır. Bu parametrelerden birincisine göre liflerin çekme-kopma dayanım ortalaması en az 345 N/mm^2 olmalı ve bir lif için çekme-kopma dayanım 310 N/mm^2 'den az olmamalıdır. İkincisine göre ise $16 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lik ortamda, 3.18 mm 'lik bir iç çap çevresinde yapılan lif eğilme deneyine tabi tutulan liflerin % 90'ının kırılmaksızın 90° eğilme yapabilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.1 Çelik lif şekilleri

Lifler betona katıldıkları zaman betonda çatlakların oluşmasını engeller, çekme ve eğilme dayanımlarını, çarpma dayanımını, durabiliteyi, tokluğu artırır ve gevrek kırılmayı engeller. Lifli betonun tipik gerilme şekil değiştirme diyagramı Şekil 2.2'de görülmektedir (Hannat,2003).



Şekil 2.2. Lifli betonun tipik gerilme şekil değiştirme diyagramı

BÖLÜM III

LİTERATÜR TARAMASI

Centonze vd. (2012), tarafından yapılan bir çalışmada yaklaşık olarak 2000 adet atık lastiklerden elde edilmiş çelik teller incelenmiştir. Çapları ve uzunlukları mikrometre yardımı ile ölçülüp kaydedilmiş, çatlak sonrası performansı, basınç dayanımı ve döşemenin eğilme dayanımını araştırmak amacı ile hacimce % 0.23 ve % 0.46 oranlarında geri dönüştürülmüş lastiklerden elde edilen atık teller ile standart çelik tel ayrı ayrı olmak üzere katılarak karışım hazırlanmıştır. 28 günlük kür sonucunda beton kırımı gerçekleştirilmiş ve ilk olarak atık tel katılan numunelerde basınç dayanımının arttığı, standart teller katılarak hazırlanan numunelerde ise azaldığı gözlemlenmiştir. Basınç dayanımındaki bu artışın narinlik oranı ve çelik tel yüzdesi ile alakalı olabileceği değerlendirilmiştir. Atık çelik lifin betona katılması sonucunda beton iki farklı basınç dayanımı davranışı gösterir. Uzunluğu 30 mm den kısa ise az bir azalma olur, yaklaşık 60 mm uzunluğunda çelik lifler katılmışsa basınç dayanımını etkilemez ancak araştırmacılar genel olarak beton basınç dayanımının pek etkilenmediği görüşündedirler. Eğilme dayanımı ölçmek için 150x150x600 mm'lik kiriş numuneleri hazırlanmıştır. Çatlama sonrası betonun tokluğu iki katına kadar çıktığı, tokluğun endüstriyel tel ile benzer özellikte olduğu sonucuna varılmıştır. Döşemenin eğilme dayanımında atık çelik tel içeren numunenin standart tel içeren numuneye oranla % 18 oranında az olduğu görülmüştür.

Lif tipinin ve miktarının basınç ve eğilme altındaki betonun mekanik özelliklerine etkisi üzerine yapılan çalışmada narinlik oranı 60 olan ve iki ucu kancalı çelik tel kullanılmıştır. Lif ilavesi ile işlenebilirlik azaldığı için çökme süresi artmıştır. Betonda kullanılan çelik lifler, lifsiz betonun gerilme şekil değiştirme yeteneğini ve tokluğunu önemli derecede artırırken basınç dayanımına hem olumlu hem olumsuz etki yapmıştır. En önemli artış eğilme dayanımında olmuştur. Beton içerisine ilave edilen çelik lifler sayesinde lif miktarına bağlı olarak betonun basınç altındaki şekil değiştirme yeteneği ve tokluğu; eğilme dayanımı ve eğilme altındaki davranışı lifsiz betonunkinden daha fazla olmuştur. Betona kazandırılan bu özellik sayesinde deprem kuşağı üzerinde bulunan yapılarıdaki betonların sünekliği de önemli derecede artırılmış olacaktır. Bu

sayede gerek can kaybı gerekse binaların yıkılmasından dolayı oluşacak olan ekonomik kayıplar da daha aza indirilecektir (Ünal vd., 2007).

Karahan vd. (2016) yapmış oldukları çalışmada haddelenmiş çelik telleri betona ilave ederek elde ettikleri lifli betonlar üzerinde basınç, eğilme ve yarmada çekme dayanımı deneyleri yapmışlardır. Şahit numuneye kıyasla basınç dayanımının % 7-9 oranında azaldığını, eğilme dayanımının ve yarmada çekme dayanımının ise % 40-60 oranında arttığını ifade etmişlerdir.

Konya bölgesi agregaları ile lifsiz beton ve 20 kg/m³ ve 40 kg/m³ oranlarda çelik lif kullanılarak, orta trafik şiddeti düşünülerek C 35 beton sınıfı hedeflenerek yol betonları üretilmiş ve betonların mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. İki ucu kıvrılmış, tutkalla birleştirilmiş ve soğuk çekilmiş tipte çelik lif kullanılarak yapılan deneyde betonların su/çimento oranı 0.50 seçilmiştir. 300 kg/m³, 325 kg/m³, 350 kg/m³ ve 400 kg/m³ dozajlarda CEM I 42,5 çimento kullanılmıştır. Deney sonuçlarında çelik lif ilave edilmesinin beton basınç dayanımını hem olumlu hem de olumsuz etkilediği, dozaj miktarı arttıkça yarmada çekme dayanımının arttığı, aynı dozajdaki karışımlara bakıldığında ise lif artışına paralel olarak dayanımın arttığı, dozaj miktarı arttıkça eğilme dayanımının arttığı, aynı dozajdaki karışımlara bakıldığında ise lif artışına paralel olarak eğilme dayanımının arttığı görülmüştür. Eğilme dayanımında; lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında % 1-11 arasında artış, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise % 7-19 arasında artış meydana geldiği sonucuna varılmıştır (Açıkel ve Yaka, 2011).

3.1 Çelik Lifli Taze Betonun Özellikleri

3.1.1 İşlenebilirlik ve kıvam

Betonun içerisine çelik liflerin katılması sonucu taze beton özelliklerinde birtakım değişiklikler görülür. Betonda çelik lif kullanımı, betonun hazırlanma, taşınma, yerleştirme ve sıkıştırma sürecini ifade eden işlenebilirliğini önemli oranda etkiler. Yapılan çalışmalarda lif kullanımının betonda işlenebilirliği azalttığı görülmüştür. Bu azalma üzerindeki en önemli parametre lif tipi, lif hacmi ve lif görünüm oranıdır. Lif

hacmi ve lif görünüm oranı (l/d) artıkça işlenebilirliğin düştüğü bilinmektedir (Bentur ve Mindness, 1990).

Swamy (1975), çelik lifli betonların özelliklerini araştırmak amacıyla yaptığı çalışmada lifli beton kompozitlerinin durabilitesi ve çimento matrisi arasındaki ilişkinin önemini belirtmektedir. Yapılan çalışmada hacim artışından dolayı dışarıda kalan lifler dikkate alınmazsa, liflerin karışım içerisinde gelişi güzel dağıldığını belirtmektedir. Yapı elemanları üretiminde; lifli betonun kullanılması halinde işlenebilmeyi kolaylaştırmak amacıyla karışıma uçucu kül katılması lifli betonun aderans dayanımını artırdığı belirtilmektedir.

Uğurlu (1994), yaptığı çalışmada değişik lif hacimleri ile üretilen betonlarda yeterli işlenebilirliği sağlamak için değişik oranlarda akışkanlaştırıcı katkı kullanmış ve katkı miktarının artmasıyla işlenebilirlikte iyileşme olduğunu görmüştür. Özellikle çimento ağırlığının % 0,3 'ü oranındaki katkı miktarından sonra işlenebilirlikte önemli artışlar elde edildiği ifade edilmiştir. Araştırmacı tarafından yapılan Ve-Be ve ters koni deneylerinden elde edilen bilgilere göre betonda hacimce % 0.6 – % 0.8 oranlarının üzerinde lif kullanımı ile işlenebilmenin zorlaştığı sonucuna varılmıştır.

3.1.2 Yerleştirme

Çelik lifli betonun yerleştirilmesi işleminde en önemli unsur, lifli betonun yararlı etkilerini azaltmamak için betonun su/çimento oranı seçimine özen göstermektir. Çelik lifli betonların s/ç oranı 0.35 ile 0.50 arasında olduğu takdirde üretilen betondan optimum fayda elde edilebilir. Su/çimento oranının daha düşük değerler alması işlenebilme ve beton doluluğunda azalmalar yapabilir. Buna karşın su/çimento oranının yüksek seçilmesi de matrisi zayıflatacağından liflerin etkililiğini sınırlayarak beton performansını olumsuz etkiler. Yerleştirme işlemi kolaylaştırmak için ilave edilen ekstra su, betonda kalite azalışı ile kanama ve segregasyon riskini de arttıracaktır (Bentur ve Mindness, 1990; Taşdemir, 2003).

Çelik lifli taze betonların yerleştirme işlemi sırasında geleneksel betondaki işlemlerin dışında özel bir işleme gerek yoktur. Geleneksel beton yerleştirme işleminde geçerli olan kurallar, lifli betonlar için de geçerlidir. Burada dikkat edilecek en önemli nokta,

lifli betonun yerleştirilmesi esnasında beton içerisinde liflerin düzgün dağılım göstermesine özen göstermektir. Bu nedenle mikserdeki karıştırma süresine dikkat edilmeli, gereğinden fazla vibrasyon uygulanmamalı, betona fazladan su ilave edilmemelidir. Dar kesitli elemanlara beton dökümü sırasında yerleştirme işleminde zorluk yaşanmaması için seçilecek agrega boyutları ve lif uzunlukları küçültülmelidir (Arslan ve Aydın, 1999).

3.1.3 Perdahlama işlemi

Çelik lifli betonlara yapılacak perdah işlemi elle ya da perdah makineleri ile yapılabilir. Düzgün yüzey elde etmek ve liflerin beton içine daha iyi gömülmesi için magnezyum kanatlı perdah makinelerinin kullanılması tavsiye edilir. Ahşap kanatlı perdah aletleri ile yapılan perdahlama işleminde yüzeyde yırtılmalar olabilir (ACI 544.3R-93, 1998).

Fotoğraf 3.1’de yapılan lifli beton perdah çalışması görülmektedir (Zeynal,2008).



Fotoğraf 3.1. Laserli master kullanarak lifli beton perdahı

3.1.4 Kür ve koruma işlemi

Çelik lifli betonlar hidrasyon sürecinde kuru, soğuk veya sıcak hava koşullarından korunmalıdır. Çelik lifli betonlara da geleneksel betona uygulanan kür ve koruma

yöntemleri aynen uygulanır. Çelik lifli betonlar, çimento miktarlarının normal betona göre daha fazla olmasından dolayı, özellikle saha betonlarında, plastik büzülme çatlaklarının oluşmasında daha hassastırlar. Bu nedenle çelik lifli betonlar, kür süresi boyunca sıcak ve rüzgarlı havalarda sürekli nemli tutularak çeşitli kür teknikleri kullanılarak iyi bir şekilde korunmalıdır (ACI 544.3R-93,1998).

3.2 Çelik Lifli Sertleşmiş Betonun Özellikleri

Geleneksel beton içerisine farklı miktarlarda ve belirli özelliklerde çelik liflerin katılması ile normal betonun zayıf olarak bilinen birçok özelliğinin geliştirildiği, performansının arttırıldığı bilinmektedir. Çelik lifli betonlara lifsiz betona kıyasla geliştirilen özellikler ve bunların yaklaşık artış oranları Çizelge 3.1’de özetlenmiştir (Uğurlu, 1994).

Çizelge 3.1. Çelik lifli betonun özellikleri

Beton Özelliği	Artış (%)
Tokluk	100-1200
Darbe dayanımı	100-1200
İlk Çatlak Dayanımı	25-100
Çekme Dayanımı	25-100
Nihai Eğilme Dayanımı	50-100
Yorulma Dayanımı	50-100
Deformasyon Kapasitesi	50-100
Basınç Dayanımı	±25
Elastisite Modülü	±25

Statik hesaplamalarda çelik lifler, eğilme momentini alan çubuk veya hasır donatı gibi görülmemelidir. Çelik lifler betonun yapısını değiştiren ve onu plastik davranışa zorlayan bir malzeme olarak görülebilir. Çelik lifli betonun özelliği, arttırılmış elastikiyet ve enerji yutma özelliğidir (Uğurlu, 1994; Aydoğan, 2001).

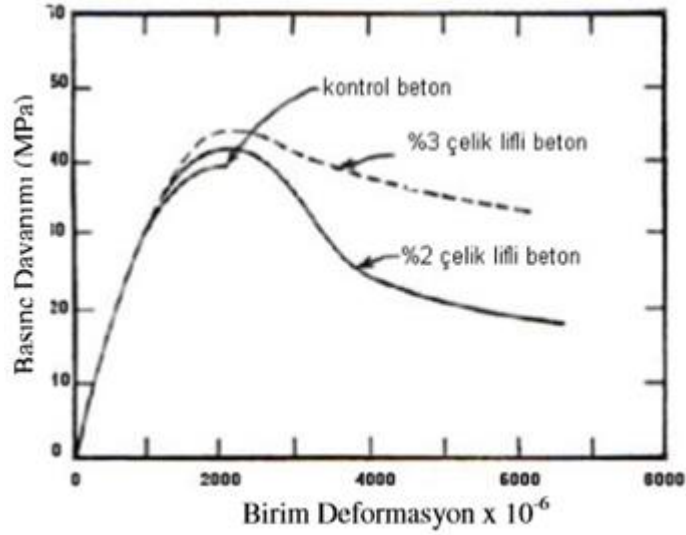
Çelik lifli beton geleneksel betondan oldukça farklı bir davranış gösterir. Yük altındaki bu farklı davranış sonucunda betonun kırılma mekaniği değişerek, gerilme deformasyon özelliğine duyarlı elastisite, tokluk, deformasyon yapma, sünme gibi özellikler de değişir. Çelik liflerin beton içerisindeki işlevi ile betonda kullanılan asıl donatının işlevi hiçbir zaman birbirine karıştırılmamalıdır. Birçok yerde donatı ve çelik lif belli bir yere

kadar aynı işlevi görebilir. Fakat bunlar arasındaki en önemli fark, beton içerisindeki fonksiyonları ve buradaki çatlakların kontrolünü nasıl ve ne zaman yaptıklarıdır. Beton içerisinde ana donatılar belirli yönde sürekli olarak bulunarak yük aktarıırken çelik lifler beton içerisinde süresiz ve rasgele dağılım göstererek değişik yönlerde bulunurlar (Bentur ve Mindess, 1990; Aydoğan, 2001; Şimşek 1999).

3.2.1. Basınç dayanımı

Çelik lifli betonlarda genel olarak % 1.5 oranına kadar kullanımlarda beton basınç dayanımında etkili bir artışa neden olmadığı bilinmektedir. Çelik lifli betonlar üzerinde yapılan değişik araştırmalara göre, çelik liflerin betonun basınç dayanımını \pm %25 oranlarına kadar etkilediği ifade edilir. Liflerin basınç dayanımına etkisi, liflerin beton içerisindeki yönelimleri ile yakından ilgilidir. Betona uygulanan yüklemenin düzlemine dik olan lifler basınç dayanımına bir etkide bulunmazlar. Beton içerisinde yükleme düzlemine paralel yerleşmiş lifler ise basınç dayanımının artmasına neden olurlar. Şekil 3.1’de genel olarak çelik lifli betonlarda çelik lif kullanım oranı ile beton basınç dayanımının nasıl etkilendiği ve bu tür betonların gerilme-şekil değiştirme davranışlarının nasıl olduğu görülmektedir (Bentur ve Mindess, 1990).

Şekil 3.1’de verilen grafikten görüleceği üzere, betonda çelik lif kullanımı ile beton basınç dayanımı çok fazla değişmemektedir. Betonda çelik lif kullanımının asıl etkisi betonun basınç yükü altındaki deformasyon yapma yeteneğini geliştirmesinde olmaktadır. Kontrol betonu aksenal basınç tesirinde nihai kırılma anında gevrek bir şekilde kırılmakta iken çelik lifli betonlar nihai yükten sonra halen yük taşıyarak ve deformasyon yaparak daha düktil bir davranış sergilemektedir. Bu davranışa betonda çelik lif kullanım oranının etkisi daha büyüktür. Yani lif oranı arttıkça bu davranış daha etkili olarak artmakta ve betonun tokluğu yükselmektedir.



Şekil 3.1. Lif içeriğinin gerilme-şekil değiştirme eğrisine etkisi

Song ve Hwang (2004), yüksek dayanımlı çelik lifli betonların mekanik özelliklerini inceleyen bir çalışma yapmıştır. Beton karışımlarında hacimce % 0.5, % 1.0, % 1.5 ve % 2.0 oranlarında narinliği 64 olan çelik lif kullanılmıştır. Üretilen betonların basınç dayanımlarının çelik lif miktarının % 1.5'e kadar artması ile arttığı ve maksimum dayanımın artışının % 15.2 mertebesinde % 1.5 çelik lif içeren betonda elde edildiği ifade edilmiştir. % 2.0 oranında çelik lif kullanılması durumunda ise basınç dayanımının kontrol betonuna kıyasla az da olsa düştüğü belirtilmiştir.

Yıldırım (1994), yapmış olduğu bir çalışmada; hafif ve yarı hafif betonlarda çelik lif kullanımının betonun basınç mukavemetine etkisinin oldukça düşük boyutta olduğunu ve değişik tip liflerde de bunun değişmediğini belirtmiştir.

Lee (2002), ağırlıkça % 20 oranında uçucu kül ve hacimce % 0, % 0.5, % 1 ve % 2 oranlarında narinliği 60 olan çelik lifler kullanarak betonlar üretmiştir. Yapılan basınç deneyleri sonucunda; betonda kullanılan çelik lif oranı arttıkça basınç dayanımlarının arttığını ve bu artışın % 2 çelik lif kullanılması durumunda normal betona kıyasla % 16'ya kadar yükseldiği belirtilmiştir.

Ünal vd. (2003), tarafından yapılmış olan çalışmada polipropilen ve çelik lif içeren lifli betonların mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada, üretilen betonların su/çimento oranı 0.47 olarak sabit tutulmuş, betonlara 20 kg/m³ ve 40 kg/m³ oranlarında RC65/60 BN tipi iki ucu kancalı çelik lif ve 300 gr/m³ ve 600 gr/m³ oranlarında polipropilen lif

katılarak 5 grup ayrı ve karma lifli betonlar üretilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, polipropilen lif içeren betonların basınç dayanımlarında kontrol betonuna kıyasla % 3'lük bir artış olurken, çelik lif içeren betonların basınç dayanımlarında ise bu artışın % 7 mertebesinde olduğu belirtilmiştir.

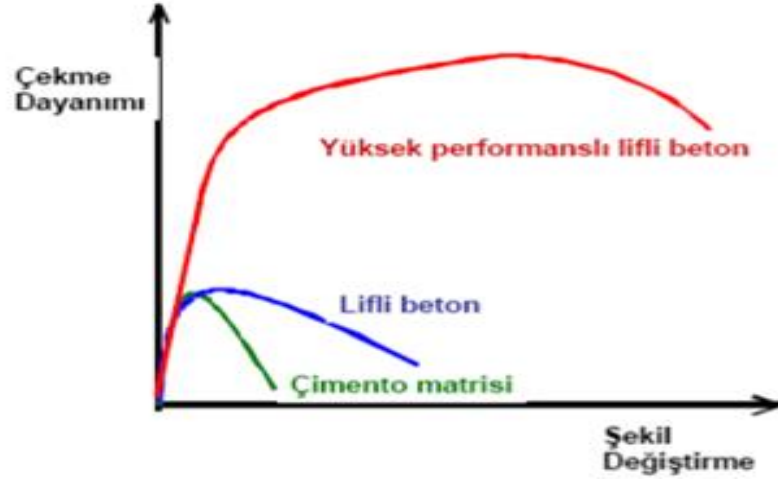
Betonun, basınç dayanımının % 9-10 oranında çekme dayanımına sahip olması nedeniyle beton elemanlarının tasarımında statik çekme gerilmelerinden kaçınılır. Ancak dinamik yükleme durumlarında çekme gerilmelerinden kaçınılamaz. Çekme gerilmeleri ise bir çatlaktan pek çok çatlağın yayılmasına neden olarak betonda göçmeye neden olur. Bu dağılı çatlaklar ise boyut etkisini doğurur. Çatlak gelişimine karşı betonun direncini ve sünekliğini artırmak için betonun liflerle güçlendirilmesi etkili bir yoldur (Kozak, 2013).

3.2.2. Çekme dayanımı

Çelik lifli betonların çekme dayanımları geleneksel betonlara göre daha yüksektir. Çelik lifli betonların çekme dayanımlarındaki artış, lif şekline, lif miktarına, narinliğe, liflerin beton içerisinde dağılımına ve lif-matris aderansına göre normal betona kıyasla yaklaşık olarak % 5-133 arasında değişen oranlarda daha yüksektir (Bentur ve Mindess, 1990; Uğurlu, 1994).

Kayali vd. (2003), tarafından yapılmış bir çalışmada yüksek dayanımlı liflerle güçlendirilmiş hafif agregalı betonların bazı mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda üretilen betonlarda yarmada çekme dayanımlarında % 0.56 oranında polipropilen lif kullanımı ile % 90, % 1.7 oranında çelik lif kullanılması ile de % 118 oranında artışlar elde edildiği rapor edilmiştir.

Şekil 3.2'deki grafikte, çimento matrisi, lifli beton ve yüksek performanslı lifli betonunun çekme gerilmesi altındaki davranışı görülmektedir. Liflerin olmadığı durumda çimento matrisinin çekme dayanımı çok düşük olmakta ve gevrek davranış göstermektedir. Liflerin betonda kullanılmasıyla çekme dayanımında az da olsa artış olmakta ve özellikle süneklik iyileşmektedir. (Taşdemir ve Bayramov, 2002).



Şekil 3.2. Çimento esaslı malzemelerde çekme dayanımı-şekil değiştirme ilişkisi

Pierre vd. (1999), 3 mm uzunluğunda, çekme dayanımı 600 MPa olan mikroçelik lifleri hacimce % 0, % 2.5 ve % 5 oranlarında kullanarak, üç değişik kum/bağlayıcı oranına ve üç değişik kum gradasyonunda harçlar üretmiştir. Üretilen örnekler üzerinde yapılan çekme deneyleri sonucunda; hacimce % 2.5 ve % 5 oranlarında mikroçelik lif içeren harçların çekme dayanımları çimento hamuruna kıyasla sırasıyla % 64 ve % 66 oranlarında artış gösterdiği ifade edilmiştir.

Çelik lifli betonun direk çekme dayanımının ölçülmesi üzerine yapılan deneysel çalışmada Fotoğraf 3.2'deki gibi çelik lifli ve çelik lif katkısız deney numuneleri üretilmiş, çekme dayanımı ölçülmüştür. Çelik lifli betonun çekme dayanımı şahit betona oranla yaklaşık % 20 daha fazla olduğu görülmüştür (Çivici ve Eren, 2004).

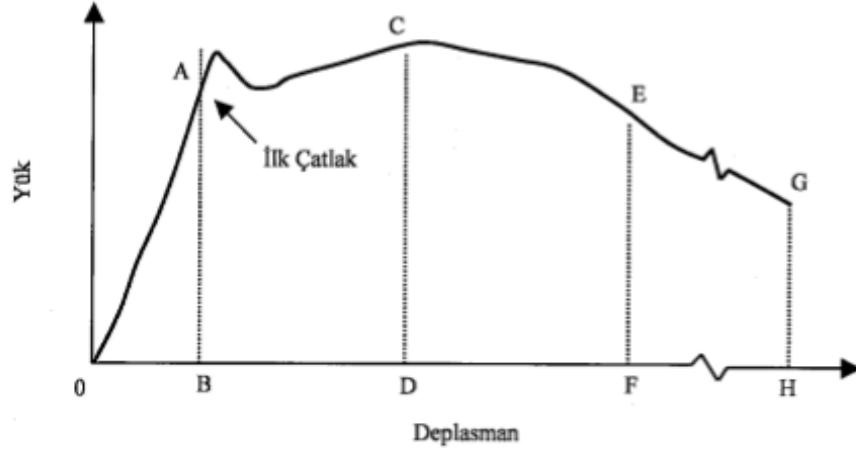


Fotoğraf 3.2. Çelik lifli betonun direk çekme dayanımı deneyi

3.2.3 Eğilme dayanımı

Çelik lifin betonun eğilme dayanımı üzerine etkisi çekme dayanımına olan etkisinden daha belirgindir. Çelik lifli betonların nihai eğilme dayanımları normal betonlara göre % 50-100 arasında artış göstermektedir. Bu artış, çelik liflerin yüksek çekme dayanımları ile ilişkilidir. Çimento hamuru matrisinin çatlamasından sonra çatlak uçlarından gerilme transferi ve dağılımı yapması nedeniyle yük, ilk çatlaktan sonra bir miktar daha artmaktadır. Bu durumda maksimum eğilme yükü normal betonlara göre daha fazla olabilmektedir (Uğurlu, 1994).

Yazıcı vd. (2007), tarafından yapılan bir çalışmada çelik lif görünüm oranının (l/d) ve lif hacminin (V_f) betonun mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, görünüm oranı 45, 65 ve 80 olan üç farklı çelik lif, % 0, % 1 ve % 1.5 oranlarında kullanılarak 10 farklı kompozisyonda çelik lifli beton üretilmiştir. Çelik lif kullanımı betonun eğilme dayanımını; yaklaşık olarak % 3 ile % 81 arasında değişen değerlerde arttırdığı ve özellikle lif görünüm oranı ve lif hacmi arttıkça liflerin eğilme dayanımına etkisinin arttığı tespit edilmiştir. Tipik yük-sehim eğrisinde iki tip eğilme dayanımdan bahsedilmektedir. Şekil 3.3'de A noktası ile gösterilen yük-sehim eğrisinin lineerlikten çıktığı değer, ilk çatlak eğilme dayanımı olarak adlandırılır. Bu noktada numunede ilk çatlak oluşumu gerçekleşir. Diğer eğilme dayanımı ise C noktası ile gösterilen dayanımın maksimum değere ulaştığı nihai eğilme dayanımıdır. İlk çatlak eğilme dayanımı, betonun çekme dayanımına bağlı olarak gelişir. Nihai eğilme dayanımı, betonda bulunan liflerin içeriğine ve görünüm oranlarına bağlıdır. Lif içeriği hacimce % 0.5'den, görünüm oranı 50 değerinden az olursa, liflerin betonun statik özellikleri üzerindeki etkisi düşük olmaktadır. Ucu kancalı veya kıvrımlı liflerin betonda kullanımının, iyi aderans sağlaması nedeniyle, eğilme dayanımını % 100 oranında arttırdığı görülmüştür. Ucu kancalı, çentikli veya kıvrımlı liflerin sağladığı dayanım artışı aynı yüzdelerde olsalar da, düz liflere göre daha fazladır. Diğer bir değişle aynı dayanımı sağlamak için kullanılması gereken lif içeriği, düz liflerde, diğerlerine göre daha fazla olacaktır (ACI 544.4R88, 1999).



Şekil 3.3. Çelik lifli betonda tipik eğilmede yük-deplasman eğrisi

Kirişlerde eğilme dayanımına standart tellerin ve geri dönüştürülmüş lastiklerden elde edilmiş tellerin etkisini incelemek için çalışma yapılmıştır. Tel oranları % 0,45 % 0,60 ve % 0,9 seçilerek karışım hazırlanıp kirişlere üç noktalı eğilme testi uygulanmıştır. Standart tel katılarak hazırlanan kiriş numunelerinin eğilme dayanımını geri dönüştürülmüş lastiklerden elde edilmiş teller ile hazırlanan kirişlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumun sebebi tellerin karakterleri ve geometrileri ile alakalı olduğu düşünülmektedir (Martinelli vd., 2015).

3.2.4 Enerji yutma kapasitesi (tokluk)

Çelik lif donatılı betonları karakterize eden en önemli özelliklerden birisi, onun tokluğu, başka bir deyişle, enerji yutma kapasitesidir. Tokluk, beton içindeki çelik liflerin rolüne bağlıdır ve lifli betonların işlevselliği değerlendirilirken esas alınan bir parametredir. Bu özellik, çelik lifli betonun lif miktarı, narinlik oranı, lif boyu, lif geometrisi, yükleme hızı ve numune boyutları gibi faktörlerden etkilenir. Enerji yutma kapasitesi yük-deformasyon eğrisi altında kalan alanın hesaplanması ile bulunur. Lifli betonlarda yük taşıma, maksimum yükten sonra betonun taşıma gücü azalsa da bir süre daha sürdürülmektedir (Uğurlu, 1994).

Yük -deformasyon eğrisinde ilk çatlama görülen A noktasına kadar yük-deformasyon eğrisinin altında kalan AOB üçgeninin alanı ile belirlenen tokluk indeksi, çelik lifli betonların elastik-plastik davranışlarını açıklayabilmek amacıyla belirlenmiş bir

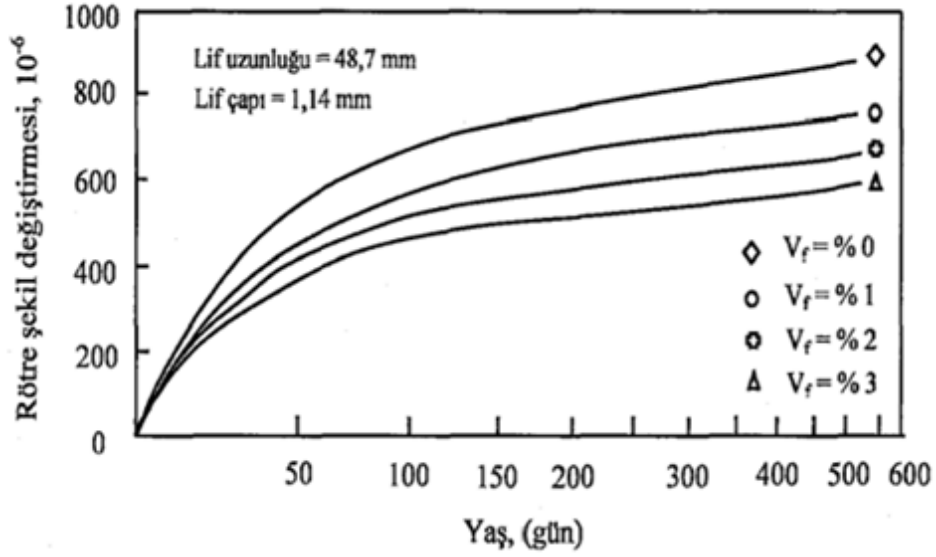
- Aynı lif içeriğinde yüksek dayanımlı betonun tokluğu normal betonlara göre biraz daha azdır.
- 30 kg/m³ lif içeriğinden sonra betonun tokluğundaki artış önemli ölçüde artmaktadır.

Betonda yeterli dozajda çelik liflerin varlığı hem dayanım hem de enerji yutma kapasitesini geliştirir. Lif miktarı ve lif narinliğinin çelik lifli betonun eğilme dayanımı, kırılma enerjisi ve tokluğu üzerinde önemli bir etkisi vardır. Lif miktarı ve narinliğindeki artışla eğilme dayanımı, kırılma enerjisi ve tokluk belirgin artış gösterir. Literatürde çelik lifli betonun sünekliği yalın betonun sünekliğinin yaklaşık 50 katı olduğu belirtilmektedir (Yardımcı, 2007).

3.2.5 Rötire

Hacimsel büzülme anlamına gelen rötire, betonda zati termik, plastik, kuruma ve karbonatlaşma olarak beş farklı şekilde ortaya çıkmaktadır. Rötire, betonda değişik priz süreçlerinde farklı nedenlerle meydana gelen çatlakların artarak ve gelişerek çoğalmasından kaynaklanır. Bu nedenle priz süresi ve daha sonraki süreçte ortaya çıkan çekme gerilmelerini beton matrisinde karşılayabilecek ve gerilmeyi çatlak olmayan bölgelere aktarıp dağıtacak liflere ihtiyaç bulunmaktadır. Kritik yapılarda ve güçlü büzülmelerin olabileceği yerlerde çelik lifler rötreyi kısıtlamak veya azaltmak için kullanılabilir (Taşdemir vd., 2004).

Yapılan araştırmalarda özellikle çentikli çelik liflerin, betonun rötresini % 40 oranında azalttığı belirtilmiştir. Rötire miktarındaki bu azalma, çelik liflerin beton içindeki kullanım miktarına ve lifin geometrisine bağlıdır. Lif hacminin ve narinlik oranının artması, rötire miktarını azaltır. Ayrıca, kullanılan liflerin geometrisinin çentikli ya da ucu çengelli olması düz liflere nazaran rötreyi azaltıcı bir başka unsurdur. Şekil 3.5'de betonda değişik oranlarda kullanılan çelik lifin rötire üzerindeki etkisi görülmektedir (Bentur ve Mindness, 1990).



Şekil 3.5. Ucu kancalı çelik liflerin betonun rötresine etkisi

3.2.6 Dayanıklılık (Durabilite)

Yapıştırıcı ile tutturulmuş demetler halinde bulunan çelik liflerin karışım esnasında tek tek tanelere ayrılamamasından, topaklaşmasından ve dolayısıyla betonda boşluklar oluşturmasından dolayı çelik lifli betonlarda boşluk oranının artması sorunu görülebilir. Bu şekilde boşluklar içeren betonlarda geçirgenlik olumsuz etkilenmektedir. Geçirgenliğin artması da çelik lifin korozyona uğramasına veya oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucunda bozulmalarına sebep olabilmektedir. Çelik lifli betonlarda iyi yapılan karışım, yerleştirme, sıkıştırma ve kür işlemleri lifli betonların dayanıklılık performansını yükseltmektedir (Erbaş, 2003).

Çelik liflerin, betonun donma-çözülme direncine etkisi önemli düzeyde değildir. Buna karşılık çelik lifler mikroçatlak oluşumunu ve yayılmasını geciktirir. Buna bağlı olarak donma-çözülme esnasında betonun göçme ve hasar görmesini yavaşlatır. Göçme modundaki bu iyileşme çelik lifin çatlak köprüleme etkisine ve çatlak tutma becerisine bağlı olmaktadır. Dolayısıyla çelik lifli betonların donma-çözülme etkisinde kütle kaybı, normal betonlardakine benzer olmaktadır. Çelik lifler genel olarak betonların aşınma, erozyon ve kaviteasyon dirençlerini ise arttırmaktadır (Ersoy, 2001).

Rapoport vd. (2002), çalışmalarında çelik lifli betonların çatlak genişliği ile geçirimsizlik arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Deneylede lifsiz, hacimce % 0.5 ve % 1.0 oranlarında çelik lif içeren betonlar hazırlanmıştır. Silindir numunelerde 0, 100, 200, 300, 400 ve 500 µm seviyelerinde çatlaklar oluşturularak numunelerde düşük basınçlı su geçirimsizlik deneyi yapılmıştır. Deneylede sonunda çelik liflerin çatlak genişliğini düşürüp çok sayıda durabilite açısından önemsiz küçük çatlaklar oluşmasına sebep olduğu görülmüştür. Ayrıca % 1.0 lif içerikli numuneler, % 0.5 lif içerikli numunelerden daha az geçirimsizlik göstermiştir. Çatlak genişliğinin 100 µm olması durumunda geçirimsizlik en az seviyede olmuştur.

3.2.7 Darbe dayanımı

Betonun ani olarak dinamik bir yükte yüklenmesine karşı gösterdiği dirence “darbe dayanımı” denir. Lifli betonlardaki darbe dayanımı normal betonlara göre % 100-1200 arasında artış göstermektedir. Çelik lifler, matris üzerine gelen dinamik yükleri kendi üzerlerine alarak, matrisin çarpma etkilerine karşı daha yüksek bir çarpma direnci göstermesini sağlar. Bu nedenle darbe dayanımı, betonun tokluğu ve kırılma enerjisi ile doğrudan ilgilidir (Arslan, 1993).

Stratejik öneme sahip yapılarda (tam korumalı askeri yapılar, hastaneler, köprüler, okullar, harekât merkezleri, hava yolları gibi) veya afet durumlarında (deprem, sel, kasırga vb.) ayakta kalması istenilen yapılarda, yapıya sünek özellik ve darbe dayanımı kazandıracak çelik liflerin betonda kullanımı, çelik lifli betonun yüksek kırılma enerjisine sahip olması nedeniyle büyük avantaj sağlamaktadır (Zeynal, 2008).

Çelik lifli betonlarda, lif oranının, lif içeriğinin artması ve ayrıca lif şeklinin kancalı veya kıvrımlı olması, kırılma enerjisini arttıran unsurlardır. Çelik lifli betonun kırılma enerjisinin belirlenmesinde, çelik liflerin çekme dayanımı da önemli rol oynar. Normal betonlarda kırılma enerjisi (Gf), 100 – 150 J/m² arasındadır. Bu kırılma enerjisi, çelik lifli betonlarda 4000 J/m² değerine kadar çıkabilmektedir (Özyurt vd., 2002).

Betonun darbe yükleri altındaki davranışını tanımlayabilmemiz için en önemli parametreler betonun dayanımı ve kırılma enerjisidir. Betonun darbeli yüklere karşı direnci drop –weight denen ağırlık düşürme deneyi ya da darbe etkisi yaratan bir alet ile

dinamik çekme, eğilme veya basınç yükü uygulanarak yapılır. Ağırlık düşürme deneyinde, ilk çatlak anındaki darbe sayısı ve malzemenin kırılma anındaki darbe sayısı normal betona göre yorumlanır. Diğer kıyaslama yöntemi ise çelik lifli betonun darbe yükü altındaki davranışı ile statik yükleme altındaki davranışının karşılaştırılmasıdır (ACI 544. 1R-96).

Zeynal (2008), yaptığı çalışmada çelik lif ve s/ç oranlarının çelik lifli betonların darbe mukavemetine ve mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Betonda sadece hacimce % 0.4, % 0.8 ve %1.2 oranında uzun çelik lif kullanımı ile basınç dayanımlarında % 2 ile % 10, yarmada çekme dayanımında % 13 ile % 42, eğilme dayanımında % 14 ile % 115 ve kırılma oluşturan darbe sayılarında ise 3.5 kat ile 23.9 kat arasında değişen değerlerde artış elde edildiği sonucuna varmıştır.

Yıldırım (2003), araştırmasında kontrol betonun yanı sıra, cam lif içeren ve ayrıca çelik ile cam liflerin beraber kullanıldığı karma lifli betonlar hazırlamıştır. Darbe dayanımı testlerini 100 mm ayrıtlı küp örnekler üzerinde 380 mm düşü yüksekliği, 14 kg düşü ağırlıklı deney düzeneği ile yapmıştır. Çelik liflerin hacimsel yüzde oranlarının cam liflerden daha fazla ve çelik liflerin uçlarının kıvrık olması kırılmayı geciktirmiştir. Sadece cam lif eklenmiş betonlarda lif hacminin düşük olmasına karşın kırılma darbe sayılarında lifsiz betona göre % 100 artış sağlanmıştır. Liflerin beraber kullanımı, artan lif sayısı ile birlikte kırılma darbe sayısını doğru orantılı olarak arttırmıştır.

3.2.8 Elastisite modülü

Altun vd. (2004), standart çelik lif katkılı (iki ucu kırık) C20 betonun mekanik özelliklerini araştırmak için su/çimento oranını 0,58 de ve çökme değeri 150 mm \pm 20 mm'de sabit tutarak silindir beton numuneler üretmişlerdir. Çelik lif katkısı 30 kg/m³, 40 kg/m³, 50 kg/m³, 60 kg/m³ oranlarında kullanılmıştır. Çelik lif artışı ile basınç dayanımının % 10 oranında arttığı görülmüştür. Enerji yutma kapasitelerini 2.5 kat artırarak betonun sünek davranışını olumlu yönde etkilemiştir. Çelik lif katkısı ile numunelerin elastisite modüllerinde azalma meydana gelmiştir.

3.3 Atık Lastik Telinin Betonda Kullanımı

Dünya genelinde hammadde ve doğal kaynak tüketimi bakımından en dikkat çeken sektörlerden biri otomotiv sektörüdür. Her yıl küresel ölçekte milyonlarca araç üretilmekte, buna paralel olarak yaklaşık olarak 1 milyar adet araç lastiği atık lastik olarak kullanımdan çıkmaktadır (Frigo vd., 2014).

Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2016 yılında yayınlamış olduğu çevre durum raporuna göre Türkiye'de 2014 yılında ömrünü tamamlamış atık lastik miktarı yaklaşık 120 bin tondur (Türkiye Çevre Durum Raporu, 2016).

Dünya çapında ömrünü tamamlamış lastiklerin sayısı ve bir lastiğin içerdiği çelik tel miktarı dikkate alınacak olursa bir yılda yaklaşık olarak 1 milyon ton çelik tel, atık lastiklerden elde edilebilir.

Araç satışlarının artmasıyla birlikte atık lastikler bir problem olmaya başlamıştır. Atık lastiklerin ortadan kaldırılması insanlar için ciddi problemler ortaya çıkarmaktadır. Günümüzde sadece atık lastik parçalarının betonda kullanım değil, atık lastik tellerinde betonda kullanımı araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda atık lastik parçacıklarının ve atık lastik tellerinin beton içinde kullanımını araştırılmıştır. Betona hem lastik parçacıkları ve çelik teller farklı oranlarda katılmasıyla çatlak kontrolünde, basınç dayanımında eğilme ve çekme dayanımlarında iyileşmelerin olduğu görülmüştür. Ayrıca, eğilme ve çekme dayanımlarının atık lastik parçacıklarının ve atık lastik tellerinin katkısıyla pozitif olarak etkilendiği görülmüştür. Atıkların yüzde olarak fazla eklenmesiyle çekme dayanımı artmış ancak hem atık lastik parçacıklarının hem de atık lastik tellerinin atıklarının ilavesiyle betonun işlenebilirliği negatif olarak etkilenmiştir (Koroğlu, 2016).

Günümüz beton teknolojisinde, atık malzemelerle mineral ve kimyasal katkı maddeleri kullanılarak basınç dayanımı ve dayanıklılıktan ödün vermeden beton imali yapılabilmektedir. Hatta bir kısım atıkların betonun bazı özelliklerini geliştirdikleri görülmüştür. Sonuç olarak; atık döküm kumu, plastikler, arıtma çamuru, poliüretan köpük, boya atıkları ve araba lastiği gibi endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanılması; istenilen nitelikte beton üretiminin yanında, doğal çevrenin ve doğal

kaynakların korunmasına yardımcı olabilecek niteliktedir. Beton sektöründe bu atıkların değerlendirilmesi ile birlikte, geri dönüşümün; toplama, kırma, parçalama, öğütme ve ayrıştırma gibi evreleri yeni bir iş kolu oluşturabilecektir (Gönen vd., 2012).

Çizelge 3.2’de otomobil ve kamyon lastiklerinin bileşimi gösterilmiştir (Brentin, 2011).

Çizelge 3.2. Otomobil ve kamyon lastiklerinin bileşimi ve ağırlıkları

Bileşim (Ağırlıkça %)	Otomobil Lastiği	Kamyon Lastiği
Doğal Kauçuk	14	27
Yapay Kauçuk	27	14
Karbon Siyahı	28	28
Çelik	9,6-15	9,6-15
Diğer Maddeler (Bez kuşak,dolgu maddesi vs.)	16-17	16-17
Ortalama Ağırlık (kg)	6,5-10	54

Hurda lastikler mekanik işlem veya piroliz tekniği ile geri dönüştürülebilir. Mekanik yöntemde; lastiklerdeki çelik kablolar zımba benzeri bir mekanizma ile dışarı çekilir, lastik parçalanır ve kalan çelik manyetik ayırıcılar ile toplanır. Mekanik yöntemin uygulanması farklılık gösterebilir. Mekanik işlemler sonunda kırıntı kauçuk (kauçuk granülleri) ve çelik teller elde edilir. Bununla birlikte piroliz metodu yani termokimyasal işlem kullanılarak da lastikler geri dönüşüm için ayrıştırılabilir. Piroliz metodu ile çeliğe ek olarak karbon siyahı ve yağı elde edilir. Geri dönüştürülmüş ürünlerden bazıları yeni malzeme üretiminde kullanılabilir. Örneğin geri kazanılmış kauçuk, paspas ve oyun alanı yüzey malzemesi üretiminde kullanılır. (Şengül, 2016).

Atık lastikleri ayrıştırma süreci Fotoğraf 3.3’te görülmektedir (Zamanzadeh vd., 2015).



a

b

c

Fotoğraf 3.3. Geri dönüştürülecek atık lastikler (a), kauçuk parçalara ayrılmış atık lastikler (b), tellerin lastiklerden ayrılması (c)

Yapılan bazı araştırmalarda referans beton ile atık lastik parçacıkları katılarak üretilen taze betonların birim hacim ağırlığı bulunmuştur. Bulunan sonuçlara göre atık lastiğın birim hacim ağırlıklarının agregaya göre daha düşük olduğu için betonun birim ağırlığını da düşürdüğü gözlemlenmiştir. Bu özelliğe sahip lastik agregası kullanımıyla da hafif betonlar üretilmektedir (Aiello vd., 2010; Kocataşkın, 1985).

Şengül (2016), atık lastiklerden elde edilmiş çelik tellerin beton ile kullanıldığında betonun mekanik özelliklerine etkisini incelemek için bir araştırma yapmıştır. Bir şahit numune, standart tel içeren numune ile birlikte ortalama çapları 0.3, 0.6, 1.4 mm, ortalama uzunlukları ise 6 cm olan atık lastiklerden elde edilmiş çelik liflerden farklı oranlarda kullanılarak beton üretilmiştir. İlk olarak çelik liflerin işlenebilirliği azalttığı gözlemlenmiştir. Şahit numuneye bakılarak numunelerin basınç dayanımını önemli ölçüde değiştirmeyen ($\pm\% 7$) hem olumlu hem olumsuz olarak etkilenmiştir. Bu artışlar ve azalışlar lifin beton içerisinde dağılımından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çelik tel içeriği ve kalınlığı arttıkça eğilme dayanımının da arttığı gözlemlenmiştir. Ancak genel olarak atık lastiklerden elde edilmiş tellerin beton içerisinde kullanımı betonun basınç, eğilme ve çekme dayanımına önemli ölçüde etki etmemiştir. Geri dönüştürülmüş çelik tel içeren betonun standart tel içeren betona kıyasla yük-deplasman eğrileri benzerdir. Tüm sonuçlar dikkate alındığında atık lastiklerden elde edilen çelik teller standart çelik tellerin yerine beton içerisinde kullanılabilir olduğu ifade edilmiştir.

BÖLÜM IV

DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI

Bu bölümde yapılan deneysel çalışmalar, deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin karışım oranları, malzeme miktarları ve numune özellikleri hakkında bilgi verilmektedir.

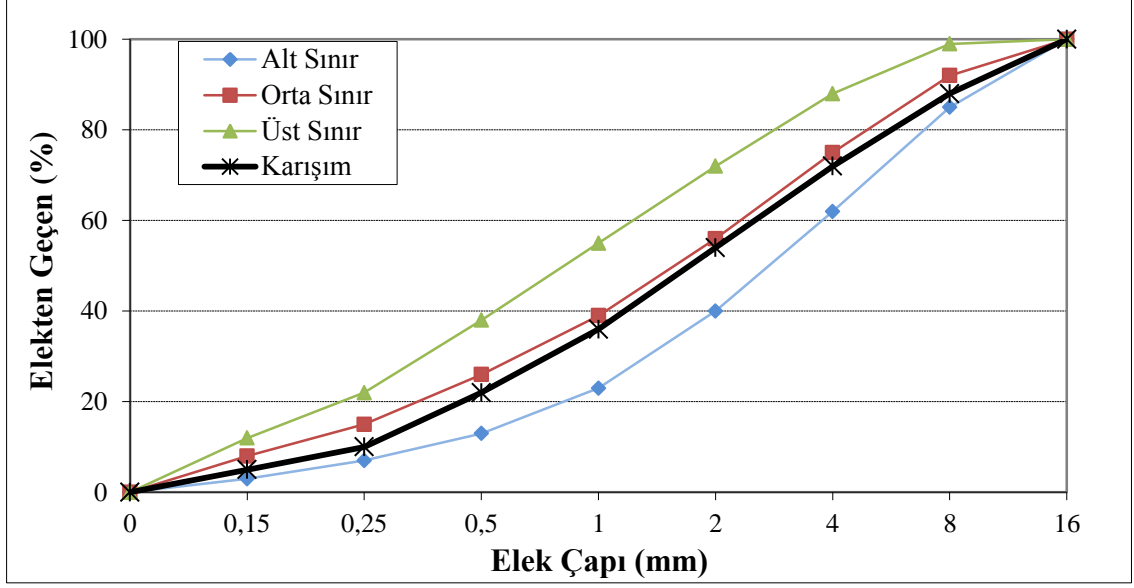
4.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

4.1.1 Agregası

Deneylerde kırma çakıl ve doğal kum olmak üzere iki farklı tip agregası kullanılmıştır. Tüm deney numunelerinde iri agregası olarak % 25 oranında çakıl, ince agregası olarak % 75 oranında kum olmak üzere en büyük dane çapı 8 mm olan agregası karışımı oluşturulmuştur. İri agregasının özgül ağırlığı 2,6 kg/cm³, ince agregasının özgül ağırlığı 2,4 kg/cm³ olarak tespit edilmiştir. Agregaların su emme kapasitesi iri agregası için % 1,4, ince agregası için % 1,8 olarak bulunmuştur. Su emme kapasitesi ve özgül ağırlık deneyleri TS EN 1097-6'ya göre yapılmıştır. Çizelge 4.1'de kullanılan agregasının elek analizi, Şekil 4.1'de ise TS 802 2016'ya göre sınır değerler ve karışım granülometrisi görülmektedir.

Çizelge 4.1. Kullanılan agregasının elek analizi

Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen Miktar (%)			
	Alt Sınır	Orta Sınır	Üst Sınır	Kullanılan Agregası
16	100	100	100	100
8	85	92	99	88
4	62	75	88	72
2	40	56	72	54
1	23	39	55	36
0,5	13	26	38	22
0,25	7	15	22	10
0,15	3	8	12	5
0	0	0	0	0



Şekil 4.1. Sınır değerler ve karışım granülometrisi

4.1.2 Çimento

Deney çalışmasında kullanılan çimento, Çimsa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasının Niğde fabrikasında üretilmiş olup TS EN 197-1:2012 standartlarında Cem I 42,5 R-Portland çimentosudur. Kullanılan çimentoya ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.2’de, fiziksel test sonuçları ise Çizelge 4.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Kullanılan çimentonun kimyasal analizi

Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	K.K.	Cl
%	21,16	5,79	2,65	60,61	1,28	3,10	0,50	0,67	1,8	0,01

Çizelge 4.3. Çimentoya ait fiziksel test sonuçları

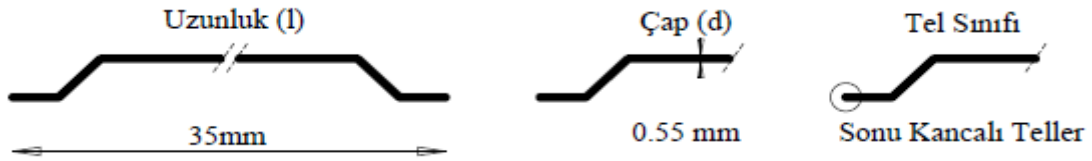
Özgül Ağırlık (gr/cm³)		3.13
Priz süresi	İlk (Dakika)	110
	Son (Dakika)	140
İncelik	Özgül yüzey (cm ² /gr)	3380
	0.040 mm elek kalıntı (%)	11.13
	0.090 mm elek kalıntı (%)	0.79
Basınç Dayanımı (MPa) 2 gün		27.70
Basınç Dayanımı (MPa) 28 gün		50.50

4.1.3 Standart çelik tel

Çalışmada Kemerli Metal San. ve Tic. A.ş. firması tarafından TS EN 14889-1 standartlarına göre üretilen KMX 65/35 BG ürün kodlu iki ucu kancalı standart çelik tel kullanılmıştır. Standart çelik telin özellikleri Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Çelik telin özellikleri

Tip	Soğuk çekilmiş-tutkallı
Tel Sınıfı	Sonu kancalı teller
Uzunluk (l)	35 mm
Çap (d)	0,55 mm
Narinlik oranı (l/d)	65
Çekme Mukavemeti	1500 Mpa
Birim Hacim Ağırlık	7,2 gr/cm ³



Şekil 4.2 Standart çelik telin fiziksel özellikleri

Deney çalışmasında çelik telin fiziksel özellikleri Şekil 4.2’de, kullanılan çelik tel ise Fotoğraf 4.1’de görülmektedir.



Fotoğraf 4.1. Standart çelik tel

4.1.4 Atık tel

Deneysel çalışmada taşıtların atık lastiklerinin geri dönüşüm tesisinden temin edilen çelik teller kullanılmıştır. Lastiklerin mekanik ve fiziksel parçalanması sonucu elde edilmiş teller uzun ve kısa olmak üzere iki farklı tipte kullanılmıştır. Kullanılan atık lastiklerden elde edilmiş çelik teller için ortalama değerler Çizelge 4.5'te verilmiştir. Deneyde kullanılan atık çelik teller Fotoğraf 4.2'de görülmektedir.

Çizelge 4.5. Atık lastiklerden elde edilmiş çelik tellerin özellikleri

	Uzun Atık Tel	Kısa Atık Tel
Ortalama uzunluk (l)	30-40 mm	20-25 mm
Ortalama çap (d)	0,25 mm	0,25 mm
Narinlik oranı (l/d)	120-160	100
Birim hacim ağırlık	6,1 gr/cm ³	6,1 gr/cm ³



Fotoğraf 4.2. Uzun atık tel (a) ve kısa atık tel (b) görünümü

4.1.5 Su

Deneysel çalışmada beton karışım suyu ve kür havuz suyu olarak Niğde şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

4.1.6 Akışkanlaştırıcı

Taze betona çelik lif ilavesi işlenebilirliği azaltacağı için, yeterli işlenebilirliği sağlamak amacı ile BASF Türk Kimya San. ve Tic. Ltd. Şti.'nin üretmiş olduğu Master Glenium SKY 608 polikarboksilik eter esaslı süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Kullanılan süperakışkanlaştırıcının ph değeri 5-7, özgül ağırlığı ise 1,1 gr/cm³tür.

4.2 Beton Karışım Oranları

Yapılan çalışmada bir metreküp beton içerisinde bulunan malzeme miktarları Çizelge 4.6'da verilmektedir. Karışım miktarlarının hesabı TS 802'de verilen mutlak hacim metoduna göre yapılmıştır. Hesaplamalarda su/çimento oranı 0.5 alınmış olup bağlayıcı miktarı sabit tutularak 400 kg/m³ olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.6. Bir metreküp beton karışımı için malzeme miktarları (kg/m³)

Numune Kodu	Çimento	İri Agregata	Kum	Su	Çelik Tel			Akışkanlaştırıcı (%-kg)
					ST	UAT	KAT	
Şahit	400	421,9	1167,8	200	0	0	0	0,5-2,0
% 0,5 ST	400	421,9	1167,8	200	36	0	0	0,5-2,0
% 1 ST	400	421,9	1167,8	200	72	0	0	0,6-2,4
% 1,5 ST	400	421,9	1167,8	200	96	0	0	0,6-2,5
% 2 ST	400	421,9	1167,8	200	144	0	0	0,75-3,0
% 0,5 UAT	400	421,9	1167,8	200	0	30,5	0	0,6-2,4
% 1 UAT	400	421,9	1167,8	200	0	61	0	0,6-2,4
% 1,5 UAT	400	421,9	1167,8	200	0	91,5	0	0,75-3,0
% 2 UAT	400	421,9	1167,8	200	0	122	0	0,75-3,0
% 0,5 KAT	400	421,9	1167,8	200	0	0	30,5	0,6-2,4
% 1 KAT	400	421,9	1167,8	200	0	0	61	0,6-2,4
% 1,5 KAT	400	421,9	1167,8	200	0	0	91,5	0,6-2,4
% 2 KAT	400	421,9	1167,8	200	0	0	122	0,75-3,0

4.3 Beton Numuneler Üzerinde Yürütülen Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları

4.3.1 Yayılma tablası deneyi ve sonuçları

Yapılan deneysel çalışmada taze beton numuneler üzerinde TS EN 12350-5'e göre yayılma tablası deneyi yapılmıştır. Şahit ve standart tel içeren numuneye yapılan yayılma tablası deneyi Fotoğraf 4.3'te görülmektedir. Deney sonundan tüm numunelerden elde edilmiş sarsma sonrası yayılma çapları Çizelge 4.7'de verilmiştir.



a

b

Fotoğraf 4.3. Şahit numune (a) ve standart tel içeren numune (b) yayılma tablası deneyi

Çizelge 4.7. Numunelere ait yayılma çapları

Numune Kodu	Yayılma Çapı (cm)
Şahit	56
% 0,5 ST	53
% 1 ST	50
% 1,5 ST	45
% 2 ST	30
% 0,5 UAT	51
% 1 UAT	30
% 1,5 UAT	26
% 2 UAT	Ölçülemedi
% 0,5 KAT	52
% 1 KAT	34
% 1,5 KAT	29
% 2 KAT	27

Uzun atık tel içeren karışım hazırlanırken özellikle % 1 tel içeriğinden sonraki karışımlarda teller birbiri içine girerek topaklanmış yayılma çapı bu yüzden düşük çıkmıştır. Bu durum kısa atık tel içeren karışımlarda da gözlemlenmiştir. Standart çelik tel içeren karışımlarda telin doğrusal olması sebebi ile böyle bir durumla karşılaşılmamıştır.

4.3.2 Birim hacim ağırlık deneyi ve sonuçları

Birim ağırlık, hazırlanan beton karışımındaki malzemelerin içinde bulunan boşluklar da dâhil ölçülen ağırlığının numune hacmine bölünmesiyle bulunur. Hazırlanan karışımlardan alınan numunelerin TS EN 12350-6 (2010) uygun olarak birim hacim ağırlıkları tespit edilmiştir.

Taze beton numunelerinin birim hacim ağırlıkları Çizelge 4.8’de görülmektedir.

Çizelge 4.8. Taze beton birim hacim ağırlıkları

Numune Kodu	Birim Hacim Ağırlıkları (gr/cm³)
Şahit	2,22
% 0,5 ST	2,32
% 1 ST	2,34
% 1,5 ST	2,36
% 2 ST	2,39
% 0,5 UAT	2,27
% 1 UAT	2,33
% 1,5 UAT	2,34
% 2 UAT	2,36
% 0,5 KAT	2,26
% 1 KAT	2,33
% 1,5 KAT	2,35
% 2 KAT	2,36

Standart tel ilave edilen numunelerin birim hacim ağırlığı uzun ve kısa atık tel katılan numunelere göre fazla çıkmıştır. Bu farklılığın standart telin yoğunluğunun atık tellerden fazla olmasından ve standart tel içeren karışımın uzun ve kısa atık tellere göre daha boşluksuz yerleşmesinden dolayı olduğu düşünülmektedir.

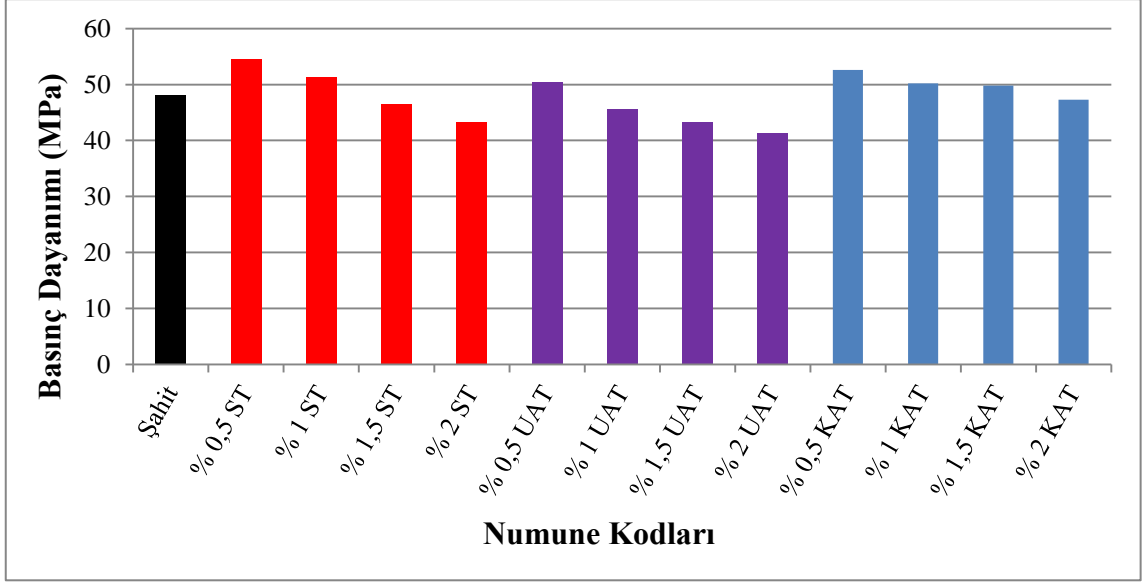
4.3.3 Basınç dayanımı deneyi ve sonuçları

Sertleşmiş beton numunelerinin basınç dayanımını ölçmek için tüm taze beton karışımlarından 100x100x100 mm ebatlarında küp kalıplara örnekler alınmış, 24 saat sonunda kalıplardan sökülerek kür havuzunda bekletilmiş ve 28 gün sonunda TS EN 12390-4 (2002) standardına uygun olarak deneyler yapılmıştır. Deney düzeneği Fotoğraf 4.4’ te görülmektedir.



Fotoğraf 4.4. Beton basınç dayanımı deney düzeneği

Beton basınç deneyleri üç numune otalaması alınarak kaydedilmiştir ve sonuçlar Şekil 4.3’te sunulmuştur.

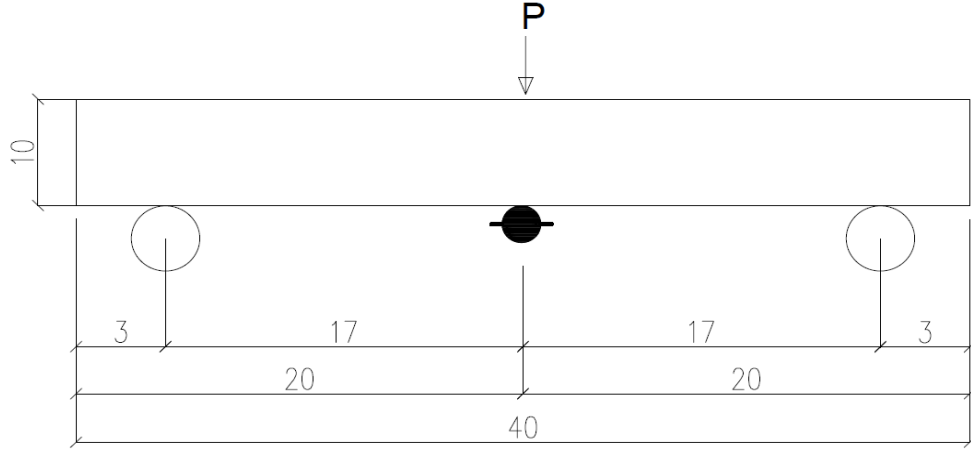


Şekil 4.3. Basınç dayanımları

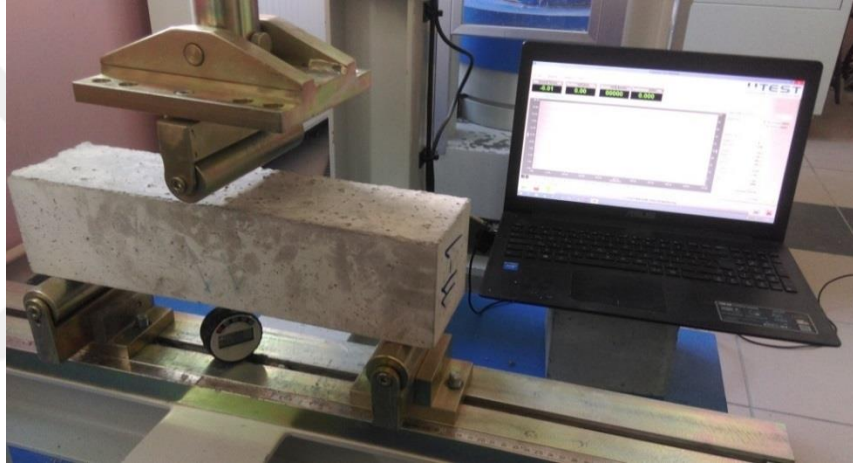
Basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde düşük lif içeriği olan numunelerde artma meydana geldiği görülmektedir. Öte yandan lif içeriği arttıkça dayanım azalması söz konusudur. Kısa atık teller uzun atık tellere göre daha yüksek basınç daya sergilemiştir. Literatürde, lif ilavesinin basınç dayanımına hem olumlu hem olumsuz etki ettiğini gösteren çalışmalar vardır (Song ve Hwang, 2004; Lee, 2002).

4.3.4 Eğilme dayanımı ve tokluk deneyi ve sonuçları

Tüm beton numunelerinin eğilme dayanımlarını belirlemek için 100x100x400 mm boyutlarındaki kiriş numuneler kullanılmıştır. Eğilme dayanımı deneyi TS EN 12390-5'e (2010) uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu deney yönteminde numuneler her iki kenarından 30 mm mesafede mesnetlenmiş, kiriş orta noktasından tek noktadan yükleme yapılmıştır. Ayrıca kiriş numunesinin orta noktasına komparatör yerleştirilmiş ve sehim değerleri kaydedilerek basit kiriş metodu yöntemiyle eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.4'te kullanılan deney sisteminin kesiti, Fotoğraf 4.5'te ise deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Eğilme deney düzeneği (cm)



Fotoğraf 4.5. Kiriş eğilme deney düzeneği

Kiriş numunelere ait eğilme dayanımı değerleri, kiriş eğilme deneyi basit kiriş deney denklemlerinden formülize edilerek denklem (4.1) yardımıyla bulunmuştur.

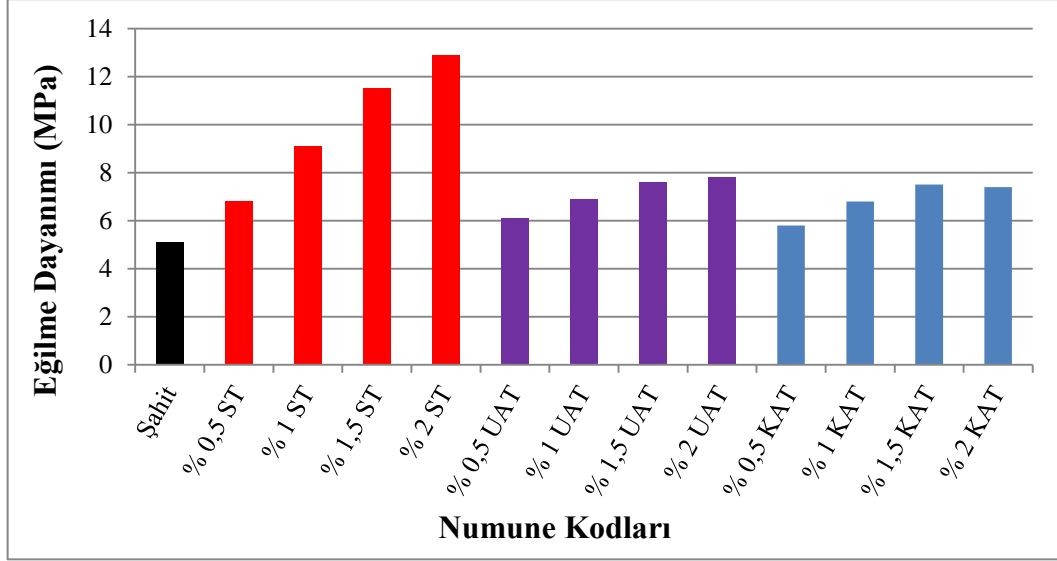
$$\sigma_s = 0,51 \times 10^{-3} \times P \quad (4.1)$$

Burada;

σ_s : Eğilme dayanımı (N/mm²)

P : Kırılma yükü (N)

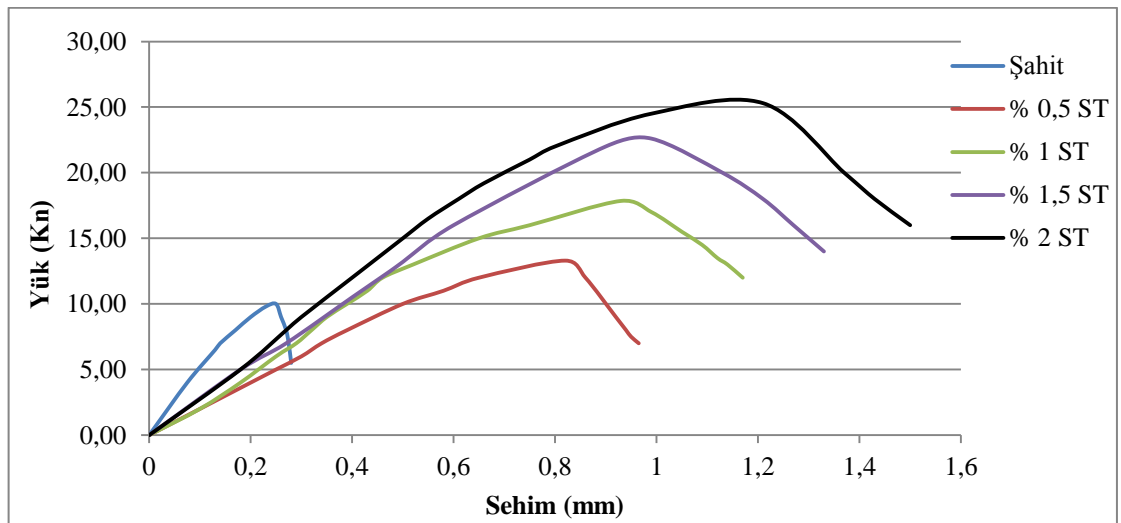
Eğilme deney sonuçları Şekil 4.5'te görülmektedir.



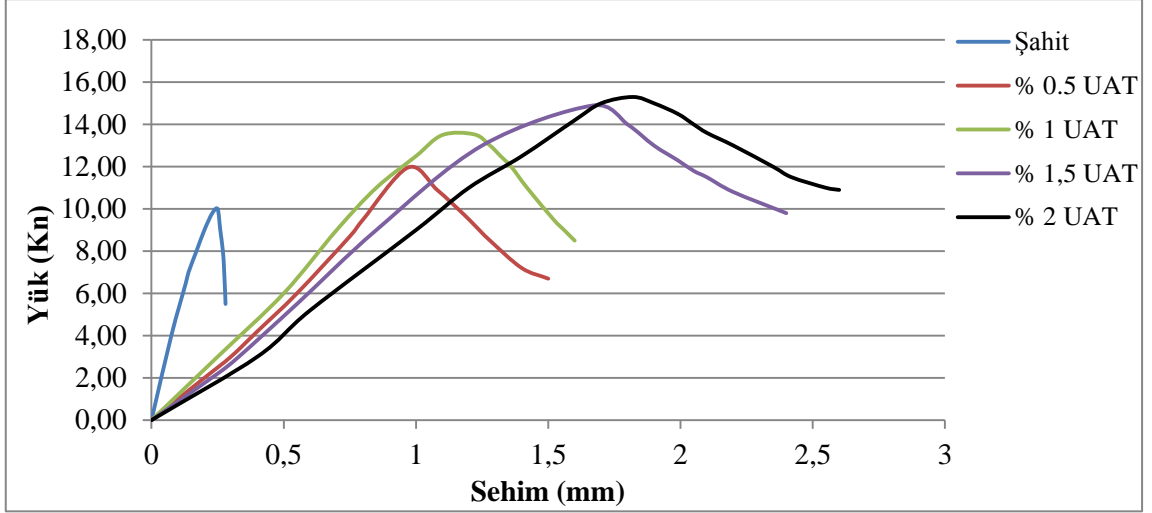
Şekil 4.5. Kiriş eğilme dayanımları

Genel olarak betona çelik lif eklenmesi şahit numuneye kıyasla eğilme dayanımını artırmıştır. Standart tel içeren karışımların eğilme dayanımlarının uzun atık tel içeren karışımlara oranla % 20-40 oranında, kısa atık tel içeren karışımlara göre ise % 30-50 oranında daha fazla olduğu görülmüştür. Atık tel içeren karışımların eğilme dayanımında şahit numuneye göre % 10-50 arası bir artış olduğu sonucuna varılmıştır.

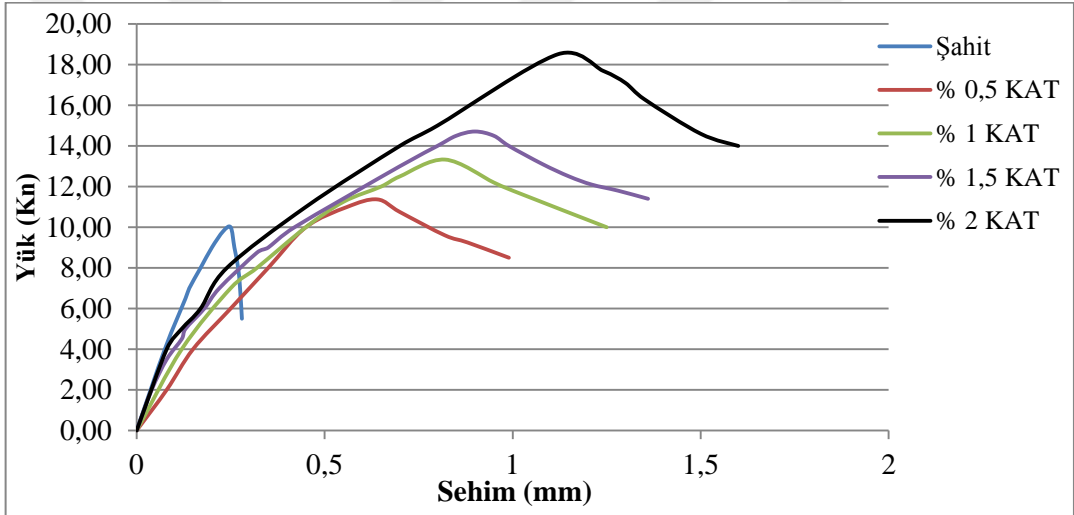
Yük-deplasman değerleri Fotoğraf 4.5'te görüldüğü üzere hazırlanmış düzenek kullanılarak elde edilmiş, deney anında görüntülü kayıt cihazı ile kayıt yapılmıştır. Daha sonra bu kayıt sayesinde veriler tek tek yazılarak yük sehim eğrileri çizilmiştir.



Şekil 4.6. Standart tel yük-sehim grafiği



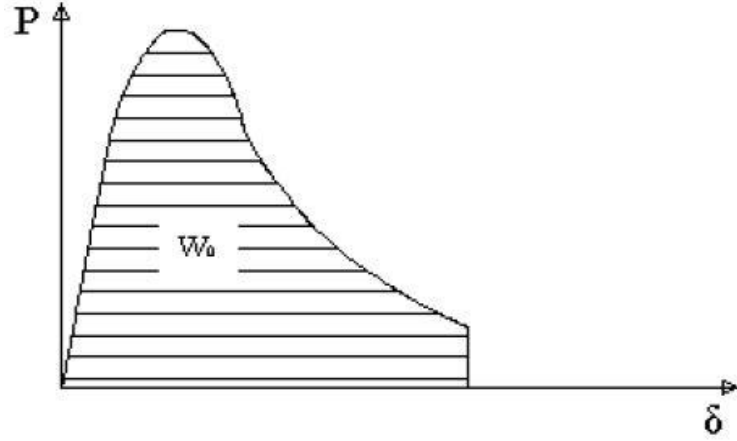
Şekil 4.7. Uzun atık tel yük-sehim grafiği



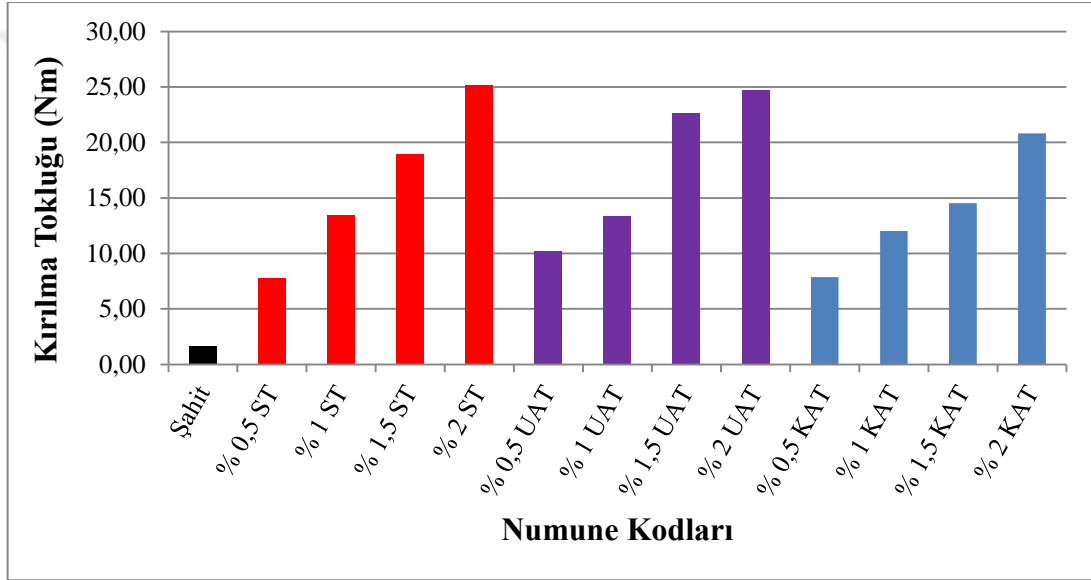
Şekil 4.8. Kısa atık tel yük-sehim grafiği

Kırılma tokluğunu bulmak için numunelerin eğilme dayanımı ve sehim miktarları kullanılmıştır. Elastik şekil değiştirme verileri kullanılarak ASTM C1018'e (1989) göre numunelerin tokluk değerlendirmesi numunelerin eğilme dayanımı deneyinden elde edilen Şekil 4.9'da tipik olarak verilen yük sehim eğrisi altında kalan alanın hesabı ile bulunur. Bu düzensiz şeklin alanı küçük yamuklara bölünerek Simpson matematik yöntemi yardımı ile hesaplanmıştır.

Kırılma tokluğu değerleri Şekil 4.10'da görülmektedir.

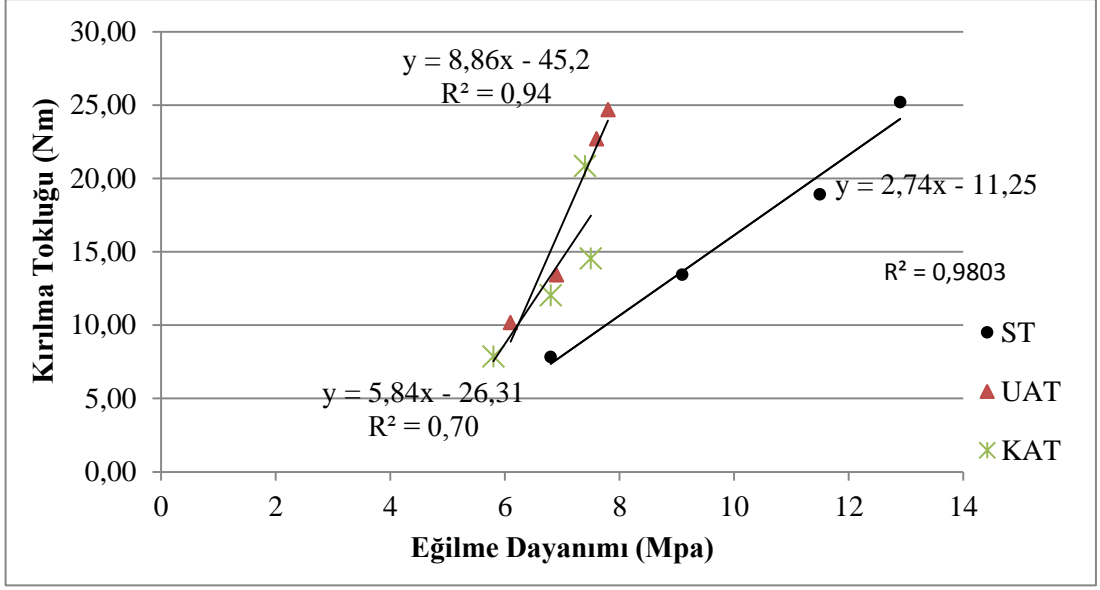


Şekil 4.9. Yük sehim grafiği ve kırılma tokluğu



Şekil 4.10. Kırılma tokluğu değerleri

Genel olarak lif ilavesi tüm numunelerde kırılma tokluğu değerlerini artırmıştır. Kırılma tokluğu değerleri en yüksek % 2 tel içeren numunelerde meydana gelmiştir. Elde edilmiş değerlerin lif yüzdesi aynı olan numunelerde birbirine yakın olduğu görülmektedir. Beton içindeki çelik lifler yüksek çekme dayanımları ve beton matrisle arasındaki aderans nedeni ile betonun tokluğunu artırdıkları değerlendirilmektedir.



Şekil 4.11. Tüm numunelerin kırılma tokluğu-eğilme dayanımı ilişkisi

Tüm numuneler için kırılma tokluğu ve eğilme dayanımı ilişkisi Şekil 4.11’de görülmektedir. Korelasyon eğrilerindeki R^2 değerleri sonuçların yakın ilişkili olduğunu göstermektedir.

4.3.5 Yarmada çekme deneyi ve sonuçları

Yarmada çekme deneyi için her karışımdan 100x200 mm ebatlarında silindir kalıplarda numuneler üretilmiştir. Deneysel çalışma TS EN 12390-6 standartlarına uygun olarak 28 günlük numuneler üzerinde yapılmıştır. Yarmada çekme deneyi değerleri ve denklem (4.2) kullanılarak hesaplanmıştır ve tüm numuneler için sonuçlar Şekil 4.11’de verilmiştir.

$$\sigma = \frac{2P}{\pi LD} \quad (4.2)$$

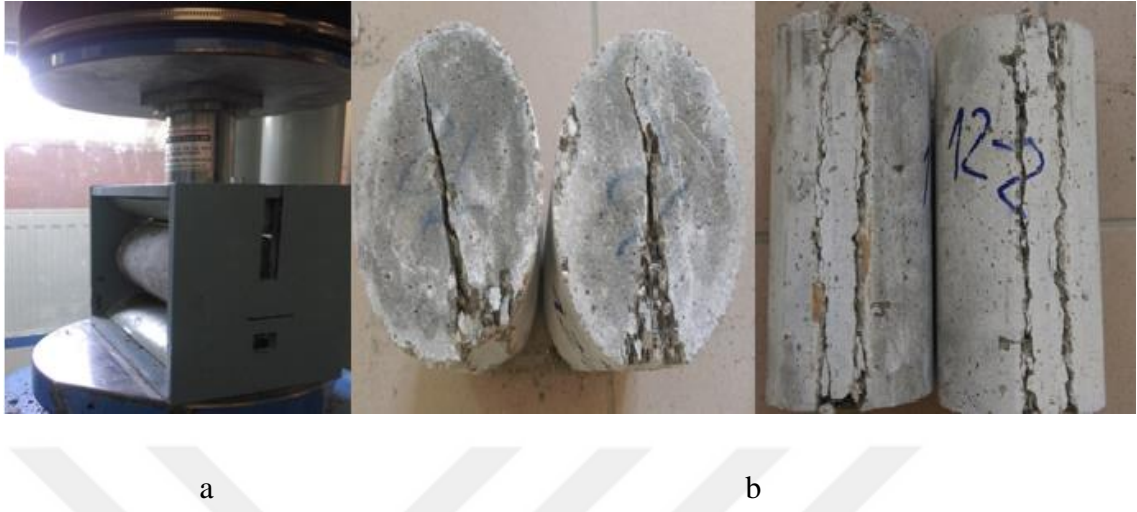
Burada;

σ : Yarmada çekme dayanımı (N/mm^2)

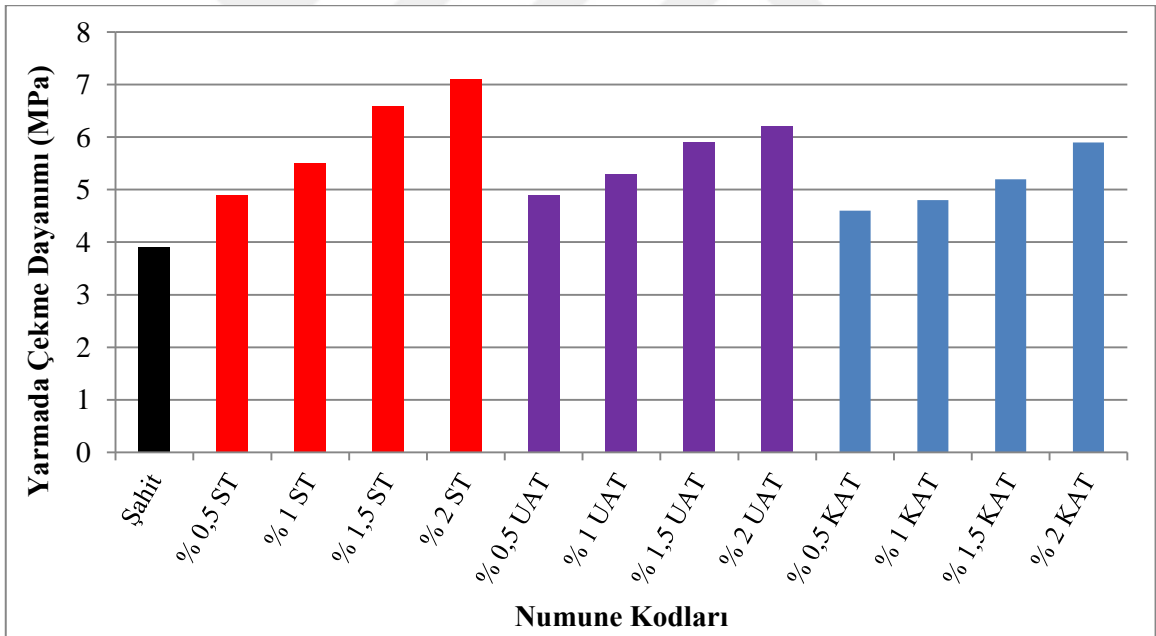
P: Kırılma yükü (N)

D: Silindir örneğin çapı

Çalışmada kullanılan deney düzeneği ve deney yapılmış numuneler Fotoğraf 4.6'da görülmektedir.



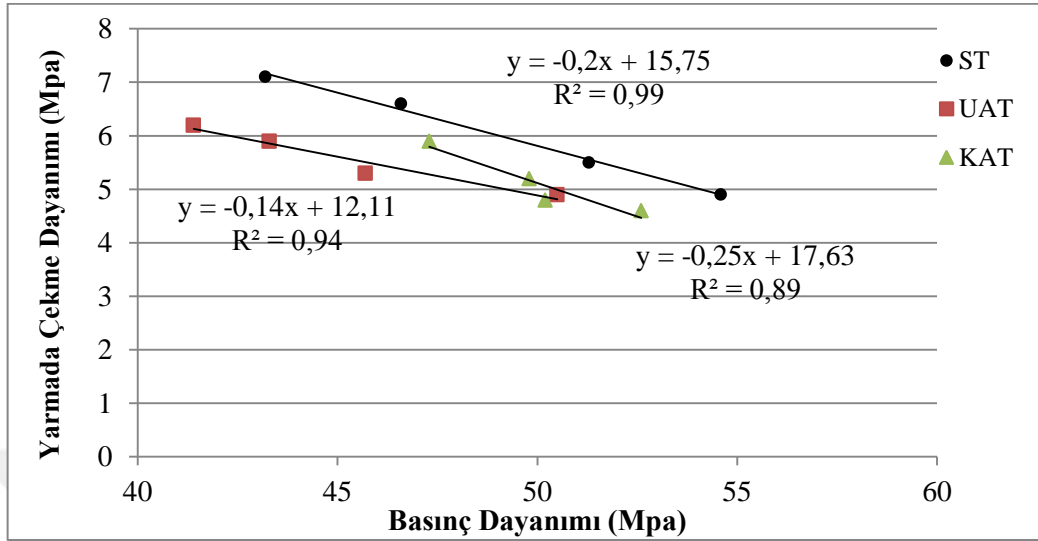
Fotoğraf 4.6. Yarmada çekme deney düzeneği (a) ve deney yapılmış numuneler (b)



Şekil 4.12. Yarmada çekme deneyi sonuçları

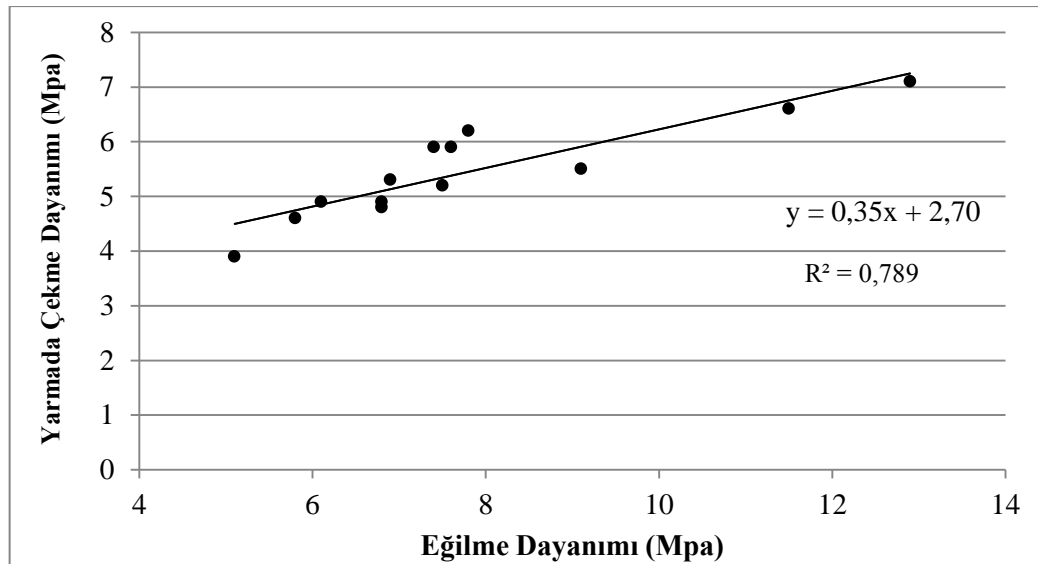
Şekil 4.12'de verilen deney sonuçlarına göre, lif ilavesinin tüm numunelerde çekme dayanımlarını artırdığı ve lif miktarı arttıkça da gerilme dayanımının arttığı anlaşılmaktadır. En fazla artışın % 80 oranında artışla % 2 standart tel içeren karışımda

olduğu görülmektedir. % 2 uzun atık tel içeren karışımda şahit numuneye kıyasla % 60 dayanım artışı olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.13. Tüm numunelerin basınç dayanımı-yarmada çekme dayanımı ilişkisi

Tüm numuneler için yarmada çekme dayanımı-basınç dayanımı ilişkisi Şekil 4.13'te görülmektedir. Genel olarak basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımı arasında oldukça güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir.

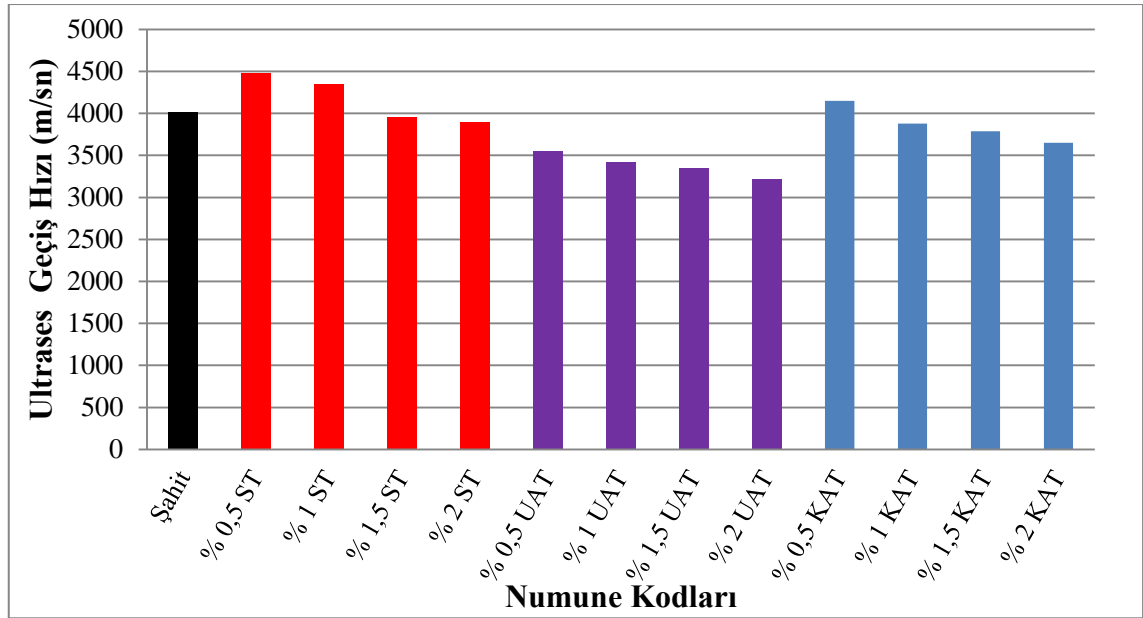


Şekil 4.14. Tüm numunelerin eğilme dayanımı-yarmada çekme dayanımı ilişkisi

Tüm numuneler için yarmada çekme dayanımı-eğilme dayanımı ilişkisi Şekil 4.14’de görülmektedir. Eğilme dayanımı ile yarmada çekme dayanımı arasında R^2 değeri 0,79 olan doğrusal ilişki olduğu tespit edilmiştir.

4.3.6 Ultrases geçiş hızı deneyi ve sonuçları

Bu deney beton dayanımını ölçmek için kullanılan hem oldukça basit hem de yaygın bir metoddur. 28 gün kür havuzunda bekletilmiş 100x100 mm ebatlarındaki küp beton numuneler üzerinde ultrases geçiş hızlarının belirlenmesi amacıyla ASTM C597-16’ya (2016) uygun olarak deney yapılmıştır. Ultrases geçiş hızı (m/sn) deneyi ultrasonik dalganın numunenin bir ucundan diğer ucuna ulaştığı süreyi ölçmektedir. Ultrasonik dalgaların geçiş sürelerinin ölçülmesinde numune yüzeyindeki pürüzlerin oluşturduğu boşluklardan dolayı oluşacak problemler için numunelerin ölçüm yapılacak yüzeylerine ultrasonik jel sürülerek deney yapılmıştır. Deney düzeneğinde dalgaları gönderen alıcı-verici hücreler numunelerin düzgün yüzeylerine yerleştirilerek, direkt iletim metodu kullanılarak cihazdan değerler okunmuştur. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.15’de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Ultrases geçiş hızı değerleri

Betonda çelik lif miktarı arttıkça ultrases hızının düştüğü görülmektedir. Standart tel içeren karışımların ultrases değerlerinin fazla olmasının sebebi beton karışımının

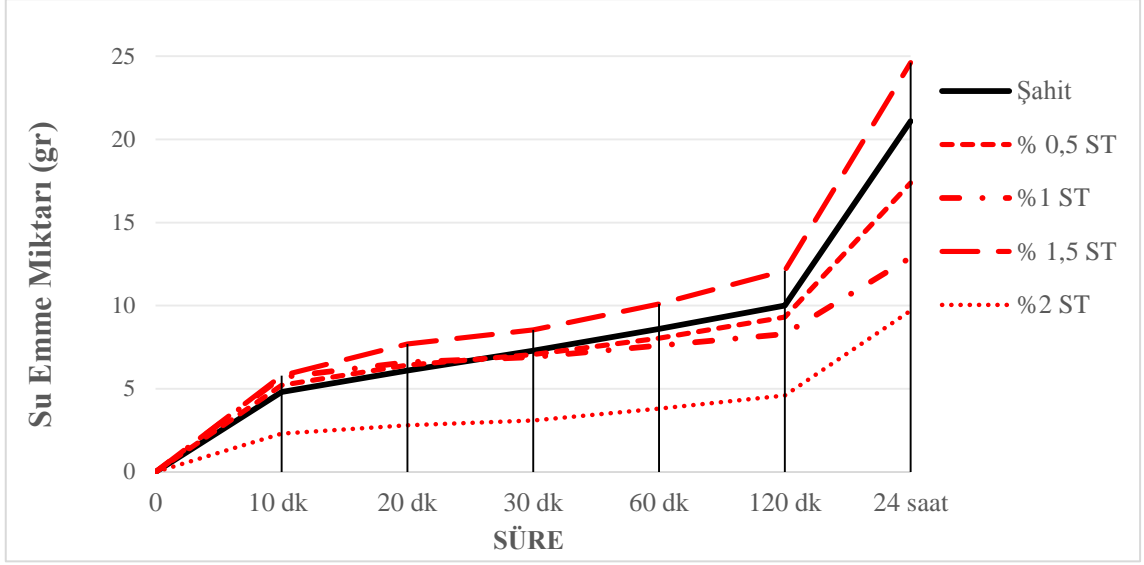
topaklanma olmadığı için atık tellere göre daha boşluksuz yapıda olması olarak açıklanabilir.

Standart çelik lifli betonun ultases değerlerinin atık lif ilavesi olan numunelere göre fazla olduğu görülmektedir. Standart çelik lif ilavesi olan numuneler atık lif içeren numunelere kıyasla topaklanmadan yerleştikleri ve böylece daha boşluksuz oldukları için ultrases değerlerinin fazla olduğu anlaşılmaktadır.

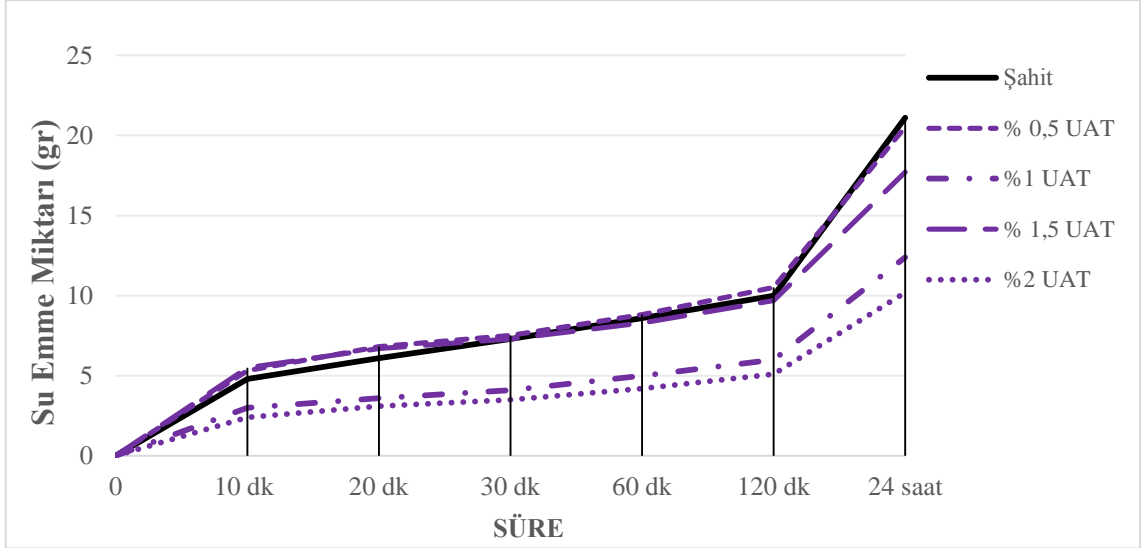
4.3.7 Kapiler su emme deneyi ve sonuçları

Kılcal su emme deneyi, numunelerin kılcal su emme miktarını belirlemek için kullanılan bir deney metodudur. Kılcal su emme deneyi 100x100x100 mm boyutlu küp numuneler üzerinde TS EN 772-11'e (2011) uygun olarak yapılmıştır. 28 gün sonunda mukavemetini kazanan küp deney numuneleri 24 saat boyunca 100±5 °C'lik etüvde kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan numuneler ortam sıcaklığına gelinceye kadar bekletilmiştir. Daha sonra ise numunelerin su emmeye bırakılacak yüzeyinin yan kenarları parafin ile sıvanmıştır. Deney numunelerinin ilk olarak kuru durumdaki ağırlığı 0,1 gr duyarlılıktaki hassas terazi ile tartılmıştır. Deney numuneleri 5 mm yükseklikte su tabakasıyla temas edecek biçimde içerisinde 20±2°C'lik su bulunan özel tasarlanan bir havuz içerisine konulmuştur. Daha sonra su içerisine bırakılmış olan numunelerden 10., 20., 30., 60., 120. dakikalardaki ve 24 saat sonraki ağırlıkları belirlenmiştir.

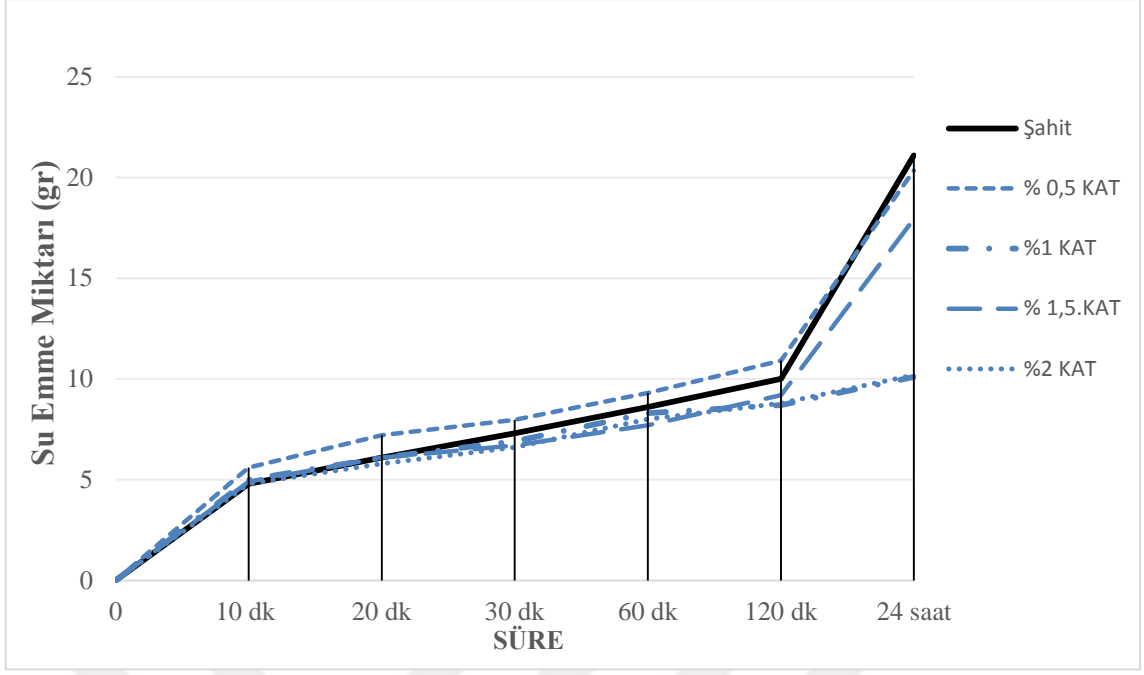
Deney sonucunda numunelerin su emme miktarları standart tel içeren beton numuneleri için Şekil 4.16'da, uzun atık tel içeren beton numuneleri için Şekil 4.17'de, kısa atık tel içeren numuneleri için Şekil 4.18'de gösterilmektedir.



Şekil 4.16. Standart tel içeren beton numunelerinin su emme miktarları



Şekil 4.17. Uzun atık tel içeren beton numunelerinin su emme miktarları



Şekil 4.18. Kısa atık tel içeren beton numunelerinin su emme miktarları

Genel olarak çelik tel ilavesi hemen hemen tüm karışımlarda kapiler su emme değerini düşürmüştür ve en az su emme miktarının % 2 çelik tel ilavesi olan karışımlarda olduğu görülmüştür.

4.3.8 Elastisite modülü tayini deneyi ve sonuçları

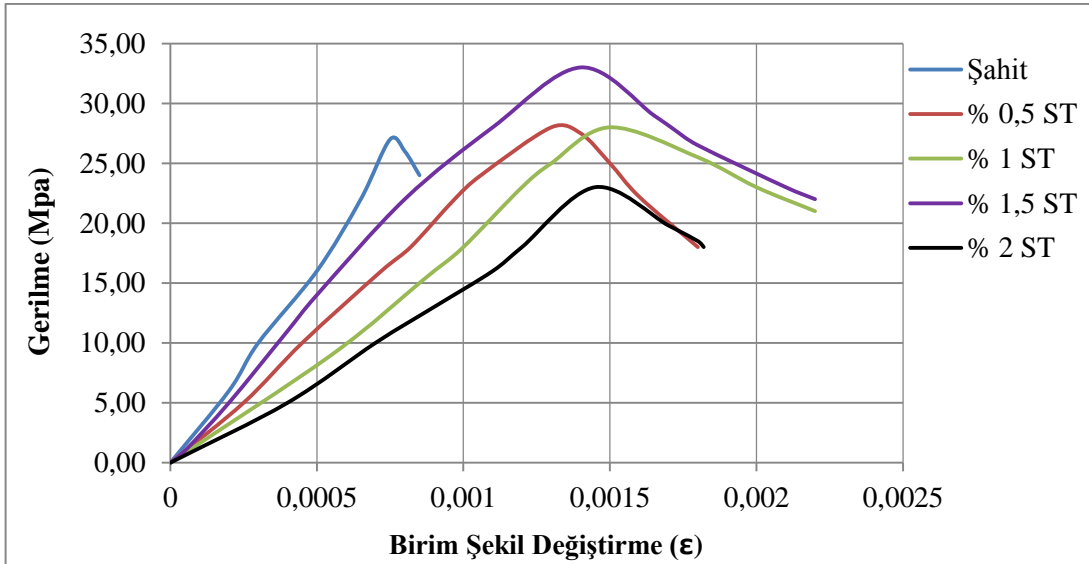
Elastisite Modülü, malzemeye uygulanan gerilmenin, uygulanan gerilmeden dolayı meydana gelen birim şekil değişimine oranıyla elde edilir. Bir malzemenin elastisite modülü ne kadar yüksek ise plastik yani kalıcı şekil değişimine uğramadan dayanabileceği kuvvet o kadar yüksektir. Elastisite modülü; malzemenin rijitliğini gösteren bir değerdir. Elastisite modülü ne kadar büyükse malzeme o kadar rijittir ve elastik birim şekil değiştirmesi ise o kadar küçüktür.

Bu deneysel çalışmada elastisite modülü tayini için ilk önce 150 mm çapında 300 mm yüksekliğinde silindirik beton numuneleri üretilmiştir. Tüm numuneler 28 günlük süre sonunda deneye tabi tutulmuştur. Deney TS 13632 (2014) standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Numunenin etrafına birim deformasyonu ölçmek için metal elastisite modülü çerçevesi sabitlenip bu çerçeveye deformasyonu ölçmek için otomatik basınç dayanım deney presine bağlı olan lvdt sensörleri ilk deplasman sıfır olacak

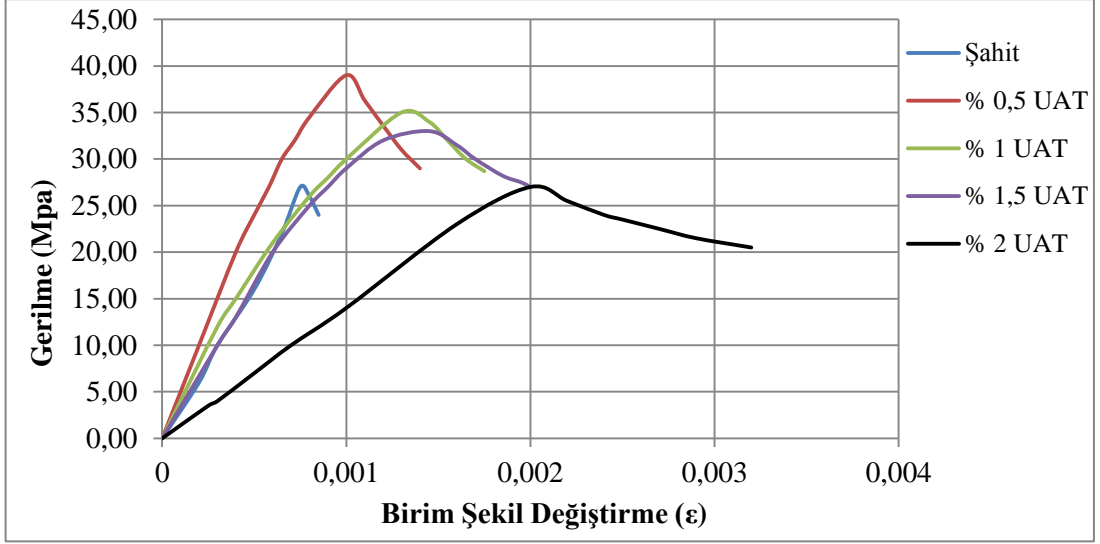
şekilde yerleştirilerek Fotoğraf 4.7’de görüldüğü gibi deney düzeneği kurulmuştur. Her bir numune için deney sonlandığında kuvvet ve deplasman verileri bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Yine her bir numune için ortalama yüke karşılık gelen gerilmeler hesaplanarak gerilme-birim deplasman eğrisi çizilmiştir ve sonuçlar Şekil 4.18-20’ de görülmektedir.



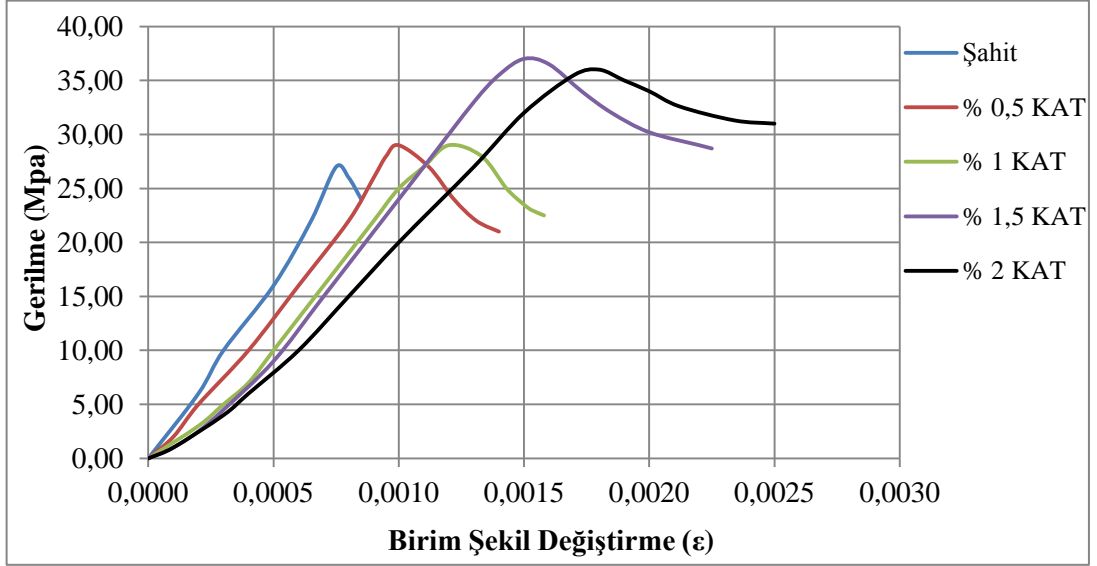
Fotoğraf 4.7. Elastisite modülü deney düzeneği



Şekil 4.19. Standart tel içeren numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.20. Uzun atık tel içeren numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.21. Kısa atık tel içeren numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

Elastisite modülü, sekant modülü yardımıyla en yüksek gerilme değerinin % 40'ı olan nokta grafik üzerinde belirlenmiş ve bu noktanın başlangıç noktasına göre eğimi bulunarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.9. Elastisite modülü değerleri

Numune Kodu	Elastisite Modülü (Mpa)
Şahit	33750
% 0,5 ST	21538
% 1 ST	16470
% 1,5 ST	27619
% 2 ST	13731
% 0,5 UAT	52000
% 1 UAT	40000
% 1,5 UAT	31478
% 2 UAT	14594
% 0,5 KAT	25777
% 1 KAT	21886
% 1,5 KAT	21791
% 2 KAT	18461

Elastisite modülleri genel olarak çelik lif tipine göre pek fazla değişim göstermemekle beraber özellikle % 0,5 ve % 1 UAT ilavesi elastisite modülü değerlerinde artış sergilemiştir.

BÖLÜM V

SONUÇLAR

Bu tez çalışması sonunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında lifli beton karışımları hazırlanırken beton karışımına katılan çelik lifler işlenebilirliği azaltmıştır. İşlenebilirlik en çok uzun atık telli beton karışımlarında azalmıştır ve bunun sebebinin özellikle uzun atık tellerin birbirine girerek topaklanmaya sebebiyet vermesi olduğu düşünülmektedir.

Şahit numuneye göre % 0,5 çelik lif kullanılan tüm karışımlarda % 5-10 oranında basınç dayanımı artışı olmuştur. Genel olarak tüm lif tiplerinde lif yüzdesi arttıkça basınç dayanımının kendi içinde azaldığı görülmüştür. Diğer numunelerde önemli değişiklik gözlemlenmemiştir.

Tüm lifli betonların eğilme dayanımı şahit betona göre fazla olduğu ve çelik lif miktarı arttıkça eğilme dayanımının arttığı görülmüştür. Ayrıca tüm oranlarda standart çelik lifli betonun eğilme dayanımı kısa ve uzun atık life göre fazla olduğu tespit edilmiştir. Özellikle % 2 oranında standart çelik lif kullanılan karışımda şahit numuneye göre % 150 oranında bir artış olmuştur. Bunun sebebinin kullanılan standart telin kalınlığının atık tellere göre daha fazla oluşu ve sonu kancalı tel olmasından dolayı betona daha iyi aderans sağlamasından olduğu düşünülmektedir. % 2 kısa ve uzun atık çelik tel katılarak elde edilen betonlarda şahit betona göre ortalama olarak % 45-50 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir. Standart tel içeren karışımların eğilme dayanımları uzun atık tel içeren karışımlara oranla % 20-40 oranında, kısa atık tel içeren karışımlara göre ise % 30-50 oranında daha fazla olduğu görülmüştür. Uzun atık tel içeren karışımların eğilme dayanımları kısa atık tel içeren karışımlara göre kıyas edildiğinde ise kayda değer bir farklılık olmadığı anlaşılmıştır.

Yük-deplasman eğrileri incelendiğinde tüm çelik lifli betonların şahit betona göre aniden göçmeyip sehim yapmaya devam ettikleri gözlemlenmiştir. Standart çelik tel içeren numunelerin maksimum yükü atık çelik tellere göre fazla olmasına rağmen sehim miktarı daha azdır. Bunun sebebi yük miktarı arttıkça standart çelik telin uçlarının

kıvrımlı olmasından dolayı beton ile daha fazla aderans yapmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. En fazla sehim, uzun atık tel içeren numunelerde meydana gelmiştir.

Yarmada çekme deneyi sonuçları incelendiğinde şahit betona göre lifli betonlarda % 25 ile % 80 arasında artış olduğu, şahit numuneye göre en yüksek sonucun % 80 artış ile % 2 standart çelik tel içeren lifli betonda olduğu gözlemlenmiştir. Standart tel içeren beton karışımının yarmada çekme dayanımı uzun atık tel içeren karışıma oranla % 10, kısa atık tel içeren karışımlara oranla % 10-20 daha fazla olduğu görülmüştür. Uzun atık tel içeren karışımların kısa atık tel ilavesi olan karışımlara göre %5-10 oranında daha fazla çekme dayanımına sahip oldukları sonucuna varılmıştır. Atık tel içeren karışımların şahit numuneye göre dayanımları yaklaşık olarak % 25-55 arası değerlerde artış göstermiştir.

% 1.5 standart çelik tel ve % 0.5 kısa atık tel hariç olmak üzere genel olarak betona çelik tel ilavesi, şahit betona göre kapiler su emme miktarını azalttığı gözlemlenmiştir. Bu duruma betonun içerisindeki hava boşluklarını azaltan çelik tellerin sebep olduğu düşünülmektedir.

Gerilme-şekil değiştirme grafikleri incelendiğinde şahit betona oranla tüm lifli betonların maksimum gerilme noktasından sonra deformasyon yapmaya devam ettiği görülmüştür. Standart tel içeren numunelerde birim şekil değiştirme yaklaşık olarak aynı olurken maksimum gerilme değeri % 1,5 oranında tel içeren numunede elde edilmiştir. Uzun ve kısa atık teller katılarak elde edilmiş numunelerin tümünde lif miktarı arttıkça birim şekil değiştirme de artmıştır. Deney kapsamında incelenmiş tüm numuneler göz önüne alındığında maksimum birim şekil değiştirmenin % 2 uzun atık tel içeren lifli betonda olduğu görülmüştür.

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen tüm veriler göz önünde bulundurulduğunda betona geri dönüştürülen atık lastiklerden elde edilen çelik tellerin ilavesi betonun mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilediği, bu uygulamanın ülke ekonomisine ve çevreye katkı sağlayacağı ve atık tellerin standart çelik tellerin alternatifi olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir

KAYNAKLAR

ACI Committee 544.3R-93, “Guide for Specifying Proportioning, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete”, *ACI Journal* 90, 94-10, 1998.

ACI Committee 544.4R-88, “Design Consideration for Steel Fiber Reinforced Concrete”, *ACI Journal* 88 (1), 18, 1999.

ACI Committee 544.1R-96, “State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete”, *ACI Journal*, 729-74, 1973.

Açikel, H., ve Yaka, S., “Konya bölgesi agregaları ile üretilen yol betonlarının mekanik özellikleri”, *Engineering Sciences* 6, 4, 2011.

Aiello, M. A. and Leuzzi, F., “Waste tyre rubberized concrete: Properties at fresh and hardened state”, *Waste Management* 30, 1696–1704, 2010.

Alsaifi, A., Koutas, L., Bernal, S.A., Guadagnini, M. and Pilakoutas, K., “Mechanical performance of steel fibre reinforced rubberised concrete for flexible concrete pavements”, *Construction and Building Materials* 172, 533-543, 2018.

Altun, F., Özcan, M., Vekli, M. ve Karahan, O., “Çelik lif katkılı C20 betonun mekanik özelliklerinin deneysel araştırılması”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 4, 31-40, 2004.

Arslan, A., “Çelik Lifli Betonların Özellikleri ve Kullanım Potansiyeli”, *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi* 369, 29,1993.

Arslan, A. ve Aydın, A.C., ”Lifli Betonların Genel Özellikleri”, *Hazır Beton Dergisi* 36,67-75,1999.

ASTM C1018, Standard test method for flexural toughness and first crack strength of fiber reinforced concrete, *American Society For Testing And Materials*, USA, 1989.

ASTM C597-16, Standard test method for pulse velocity through concrete, *American Society for Testing and Materials, ASTM International*, West Conshohocken, Pennsylvania, United States, 2016.

Aydoğan, M., “Çelik Lifli Betonların Mekanik Özelliklerine Silis Dumanın Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2001.

Bentur, A. and Mindness, S., “Fiber Reinforced Cementitious Composites”, *Elsevier Applied Science*, London and NewYork, 1990.

Brentin, R. and Sarnacke, P., “A market opportunity study”, *Rubber Compounds*, September, 2011.

Caf, M., “Polipropilen ve çelik lifli betonların darbe dayanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum,2,2012.

Centonze, G., Aiello, M.A., Leuzzi and F., Maffezzoli, “Use of steel fibres recovered from waste tyres as reinforcement in concrete: Pull-out behaviour, compressive and flexural strength”, *Waste Management* Vol. 29, 1960-1970, 2009.

Centenzo,G., Leone, M. and Aiello, M.A., “Steel fibers from waste tiars as reinforcement in concrete: A mechanical characterization”, *Construction and Building Materials* Vol.36,46-57,2012.

Çakır, C., “Makrosentetik ve çelik lif donatılı betonların mekanik davranışı”,Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2013.

Çivici, F. ve Eren, İ., “Çelik lifli betonun direkt çekme dayanımının ölçülmesi üzerine deneysel bir çalışma”, *Türkiye Mühendislik Haberleri* 434, 49-53,2004.

Erbaş. M., “Polipropilen Lifler ve Betonun Durabilitesine Etkisi”, **5. Ulusal Beton Kongresi**, İstanbul, 593-603,2003.

Ersoy, H.Y, Kompozit Malzeme, **Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama San. ve Tic.Ltd. Şti.**, İstanbul, 227,2001.

Eyyubov, C., Köksal, F. ve Ünal, B., “Polipropilen ve Çelik Liflerin Donama-Çözülme ve Aşınma Dirençlerine Ortak Etkisi”, **5. Ulusal Beton Kongresi (Betonun Dayanıklığı)**, İstanbul,345-354, 01-03 Ekim 2003.

Faghih, F., Das, D. ve Ayoup, A. “Siesmic Behavior of Fiber Reinforced Steel-Concrete Composite Systems” **Procedia Engineeringn** 171, 899-908,2017.

Frigo, S., Seggiani, M., Puccini, M. And Vitolo, S., “Liquid fuel production from waste tyre pyrolysis and its utilisation in a Diesel engine” **Fuel** 116,399-408, 2014.

F. Pacheco-Torgal, Jalali S. ve Ding Y, “Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles): An overview”, **Construction and Building Materials** 30, 714–724,2012.

Gönen, T., Onat, O., Cemalgil, S.,Yılmaz ve B., Altuncu, Y.T.,”Beton teknolojisi için yeni atık malzemeler üzerine bir inceleme”, **Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi** 8,36-43,2012.

Güneş, A., “Kendiliğinden yerleşen lifli betonların mühendislik özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 6, 2011.

Hannant, D.J., **Advanced Concrete technology**, Elsevier Ltd.,2003.

Karahan, O., Ozbay, E., D. Atış, C., Lachemi, M., and M.A. Hossain, K., “Effect of Milled Cut Steel Fibers on the Properties of Concrete”, **Structural Engineering** 20, 2783-2789,2016.

Kayali O., Haque, M. N. and Zhu, B., “Some Characteristics of High Strength Fiber Reinforced Lightweight Aggregate Concrete”, *Cement and Concrete Composites* 25, 207-213, 2003.

Kocataşkın, F., “Beton Özelliklerinin Kompozit Malzeme Kuralları ile İncelenmesi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Seminerleri*, İstanbul, 1985.

Kozak, M., “Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması” *SDU Teknik Bilimler Dergisi* 5,26-35, Isparta, 2013.

Köroğlu, M. A., “Mechanical characterization of recycled tires in concrete”, *Selçuk Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 4, 4, 2016.

Kurt, G., “Lif İçeriği ve Su/Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışına Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2006.

Lee, I., “Complete Stress-Strain Characteristic of High Performance Concrete” *New Jersey Institute of Technology*, PhD. Thesis, New Jersey, 119,2002.

Li G., Huang B., Abadie C., Garrick G., Eggers J. and Stubblefield M.A., “Development of waste tire modified concrete”, *Cement and Concrete Research* 34, 2283–2289,2004.

Martinelli, E., Caggiano, A. and Xargay, H., “An experimental study on the post-cracking behaviour of Hybrid Industrial/Recycled Steel Fibre-Reinforced Concrete”, *Construction and Building Materials* 94, 290-298,2015.

Mansur, M.A, Chin, M.S. and Wee T.H., “Stres-Strain Relationship of High Strength Fiber Concrete in Compression”, *Journal of Materials in Civil Engineering* 11 (1), 21-29, 1999.

Özyurt, N., İlki, A., Taşdemir, C., Taşdemir, M.A. and Yerlikaya, M., ”Mechanical Behavior of High Strength Steel Fiber Reinforced Concrete with Various Steel Fiber

Contents”, *Proceeding International Congress on Advances in Civil Engineering*, ITU, September, s. 885-894,2002.

Pelisser F., Bernardin A.M., Zavarise N. and Longo T.A., “Concrete made with recycled tire rubber: Effect of alkaline activation and silica fume addition”, *Journal of Cleaner Production* 19, 757-763, 2011.

Pierre, P., Pleau, R. and Pigeon, M., “Mechanical Properties of Steel Microfiber Reinforced Cement Pastes and Mortars” , *Journal of Materials in Civil Engineering* 11 (4), 317-324,1999.

Rapoport, J., Aldea, C.M., Saha, S.P., Ankenman, B. and Karr, A., ”Permeability of Cracked Steel Fiber-Reinforced Concrete”, *Journal of Materials in Civil Engineering* 14 (4): 355-358,2002.

Sengul, Ö., “Mechanical behavior of concretes containing waste steel fibers recovered from scrap tires”, *Construction and Building Materials* 122, 649-658, 2016.

Song, P.S. and Hwang, S., “Mechanical Properties of High-Strength Steel Fiber-Reinforced Concrete”, *Construction and Building Materials* 18 (9),669- 673,2004.

Swamy, R.N., “Fiber Reinforced Cement and Concrete”, *Rilem Materiaux et.Cons.* 9,53,1975.

Şimşek, O., “Beton ve Beton Teknolojisi”, *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, 247,2004.

Şimşek, O., “İleri Beton Teknolojisi, Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton”, *G.Ü. Yapı Eğitimi Bölümü*, Yüksek Lisans Ders Notları, Ankara,1999.

Taşdemir, M.A. ve Bayramov, F., “Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı”, *İTÜ Dergisi/d Mühendislik* 1 (2), 1-11,2002.

Taşdemir, M.A. ve Yerlikaya, M.,”Çelik Tel Donatılı Betonlar”, *Seminer, İMO Ankara Şubesi*, 2003.

Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Kocatürk, A.N. ve Yerlikaya, M., “Betonun Performansa Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler”, *Beton 2004 Kongresi Bildirileri*, İstanbul,2004.

“The Automobile Pocket Guide”, *The European Automobile Manufacturers Association*, pp. 78,2015.

Tokyay, M., Ramyar, K. ve Turanlı, L., “Polipropilen ve Çelik Lifli Yüksek Dayanımlı Betonların Basınç ve Çekme Yükleri Altındaki Davranışları”, *2. Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, s.303-311., 1991.

TS EN 14889–1, Lifler-Betonda kullanım için Bölüm 1: Çelik lifler-Tarif, özellik ve uygunluk kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2006.

TS EN 1097-6, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2013.

TS EN 197-1, Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2012.

TS EN 14889–1, Lifler-Betonda kullanım için Bölüm 1: Çelik lifler-Tarif, özellik ve uygunluk kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2016.

TS EN 12350-6, Beton-Taze beton deneyleri Bölüm 6: Yoğunluk, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2010.

TS EN 12350-6, Beton-Taze beton deneyleri Bölüm 6: Yoğunluk, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2010.

TS EN 12390, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 4: Basınç dayanımı - Deney makinelerinin özellikleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2002.

TS EN 12390-5, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinde eğilme dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2010.

TS EN 12390-6, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2010.

TS 802, Beton karışım tasarım esasları, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2016. TS EN 772-11, Kâgir birimler-Deney yöntemleri Bölüm 11: Betondan, gaz betondan, yapay ve doğal taştan yapılmış kâgir birimlerde kapiler su emme tayini, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2011.

TS 13632, “Dinamik elastisite modülünün ölçülmesi için deney yöntemi”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2014

Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, **Çevre Durum Raporu**, Ankara, 2016.

Uğurlu, A., “Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Betonun Özellikleri ve Su Yapılarında Kullanılması”, **DSİ Teknik Bülteni** 80, 17-25, 1994.

Uyan, M., “Lifli Betonların Genel Özellikleri ve Gelişimi”, **İTÜ İnşaat Fakültesi Malzeme Semineri, İstanbul**, 121-132, 1985.

Ünal, O., Uygunoğlu, T. ve Gençel, O., “Çelik liflerin beton basınç ve eğilme özelliklerine etkisi”, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi** 1, 23-30, Denizli, 2007.

Yardımcı, M. Y., “Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı”, Doktora Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, 2007.

Yazıcı, Ş., İnan, G. and Tabak, V., “Effect of Aspect Ratio and Volume Fraction of Steel Fiber on the Mechanical Properties of SFRC”, **Construction and Building Materials**, 21(6), 2007.

Yıldırım, M.A., “Hafif ve Yarı Hafif Betonlarda Çelik Lif Kullanımının Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 64,1994.

Yıldırım, S.T., “Lifli Betonlarda Yorulma Tesirlerinin Araştırılması”, *Kocaeli Deprem Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Kocaeli, s. 294. 2003.

Yiğiter, H., “Yüksek Performanslı Betonların Süneklik Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *DEÜ Fen bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 2002.

Yılmaz A. ve Degirmenci N., “Possibility of using waste tire rubber and fly ash with Portland cement as construction materials, Waste Management”, *Arin*, 29, 1541–1546, 2009.

Zamanzadeh, Z., Lourenço, L. and Barros, J., “Recycled Steel Fibre Reinforced Concrete failing in bending and in shear”, *Construction and Building Materials* 85,195-207, 2015.

Zeynal, E., “Çelik lif ve s/ç oranlarının çelik lifli betonların darbe mukavemetine ve mekanik özelliklerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Ali ALİBEKİROĞLU 1990 yılında Osmaniye’de doğdu. İlköğretim ve liseyi bu şehirde tamamladıktan sonra 2008 yılında girmiş olduğu Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 2013 yılında mezun oldu. 1 yıl süre özel sektörde inşaat mühendisi olarak çalıştıktan sonra Hatay’da vatani görevini yerine getirdi. 2015 yılında Sağlık Bakanlığı Niğde taşra teşkilatı Kamu Hastaneler Birliği Genel Sekreterliği’ne mühendis olarak atandı. Çeşitli sağlık tesislerinin projelerinin hazırlanmasında ve yapımında görev yaptı. 2016 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2018 yılından itibaren Osmaniye İl Sağlık Müdürlüğü yatırım ve inşaat biriminde görev yapmaktadır.

