



**POLİAMİD VE ÇELİK LİF İLE
ÜRETİLEN BETONLARIN YOL ÜSTYAPISINDA
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Asaf ASATEKİN

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ulaştırma Bilim Dalı
Dr. Öğr. Üyesi Osman Ünsal BAYRAK
2019
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**POLİAMİD VE ÇELİK LİF İLE ÜRETİLEN BETONLARIN YOL
ÜSTYAPISINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Asaf ASATEKİN

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Ulaştırma Bilim Dalı**

**ERZURUM
2019**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

POLİAMİD VE ÇELİK LİF İLE ÜRETİLEN BETONLARIN YOL
ÜSTYAPISINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Dr. Öğretim Üyesi Osman Ünsal BAYRAK danışmanlığında, Asaf ASATEKİN tarafından hazırlanan bu çalışma 05.../09.../2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı – Ulaştırma Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği/oy çokluğu (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Mahir GÖKDAĞ

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Osman Ünsal BAYRAK

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Yasin ÇODUR

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 12...09...2019 tarih ve 36.../...71... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

POLİAMİD VE ÇELİK LİF İLE ÜRETİLEN BETONLARIN YOL ÜSTYAPISINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Asaf ASATEKİN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ulaştırma Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Osman Ünsal BAYRAK

Bağlayıcı, agrega ve süreksiz liflerin su ile karıştırılmasıyla elde edilen lifli betonlarda çoğunlukla çelik, propilen, cam ve poliamid gibi lifler kullanılmaktadır. Lifli betonlar; beton yollar, endüstriyel zeminler, kaldırımlar ve park sahaları gibi geniş uygulama alanlarına sahiptir. Klasik beton uygulamalarının; gevreklik, rötire çatlakları, eğilme direncinin zayıflığı, donma çözünme dayanımının azlığı ve ufalanma gibi dezavantajlarını önemli bir ölçüde giderdiği için lifli betonların gelişen malzeme teknolojisi ile birlikte kullanım alanını daha da arttıracakları görülmektedir.

Bu çalışmada, yol üst yapısında kullanılmakta olan betonların poliamid ve çelik liflerle güçlendirilip mekanik özelliklerinin artırılması araştırılmıştır. Bu amaçla, su/bağlayıcı oranı (0.35, 0.45, 0.50), silis dumanı (%0, 5, 10 bağlayıcı ikamesi olarak), poliamid (%0, 0.5, 1) ve çelik lif (%0, 1, 1.5) karışım değişkenleri olarak belirlenmiştir. 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları ölçülmüş ve Taguchi metodu kullanılarak ideal değişkenler saptanmıştır. Deney sonuçları gözlemlendiğinde, çelik liflerin basınç ve eğilme deneylerinde olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir. Optimum koşullarda sırasıyla 68.85 MPa ve 4.85 MPa'lık basınç ve eğilme dayanımları elde edilmiştir.

2019, 56 sayfa

Anahtar Kelimeler: Rijit üstyapı, Çelik lif, poliamid lif, Taguchi metodu.

ABSTRACT

MS Thesis

INVESTIGATION of the USABILITY of POLYAMIDE AND STEEL FIBER in CONCRETE PAVEMENT

Asaf ASATEKİN

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Department of Transportation

Supervisor: Assist. Prof. Osman Ünsal BAYRAK

In fibrous concrete obtained by mixing binders, aggregates and discontinuous fibers with water mostly fibers such as steel, propylene, glass and polyamide are used. Fibrous concrete; has wide application areas such as concrete roads, industrial floors, pavements and parking areas. Classical concrete applications, fracture, shrinkage cracks, weakness of bending resistance, low resistance to freezing and degradation, such as shrinkage significantly reduces the disadvantage of fiber concrete with the developing material technology is seen to increase the area of use.

In this study, the improvement of the concrete used in the road pavement with polyamide and steel fibers and increasing the mechanical properties were investigated. For this purpose, water / binder ratio (0.35, 0.45, 0.50), silica fume (0, 5, 10% instead of cement), polyamide (0, 0.5, 1) and steel fiber (0, 1, 1, 5) has been determined as mixture variables. Flexural and compressive strengths of 28 days were measured and optimum variables were determined by using Taguchi method. When the experiment results were observed, it was determined that the steel fibers had positive effects on the compression and flexural tests. Maximum 68.85 MPa and 4.85 MPa compressive and flexural strengths were obtained in optimum conditions respectively.

2019, 56 pages

Keywords: Rigid pavement, steel fiber, polyamide fiber, Taguchi method

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her safhasında ilgi, teşvik ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Osman Ünsal BAYRAK’a

Desteklerini hiçbir konuda esirgemeyen Muş Alparslan Üniversitesi Rektörü Sayın Prof. Dr. Fethi Ahmet POLAT’a ve Muş Alparslan Üniversitesi Genel Sekreteri Sayın Harun DEMİR’e,

Deneyisel tasarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Halim Ferit BAYATA’ya

Deneyisel çalışmalarda ve malzeme temininde yardımcı olan İnşaat Mühendisi Sahir GÜR ve Muhammed SOYUŞEN’e teşekkür ederim.

Asaf ASATEKİN

Eylül, 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Karayolları Üstyapıları	1
1.2. Beton Yollar	1
1.2.1. Beton yol çeşitleri.....	2
1.2.2. Beton yolların ömrünü etkileyen hususlar.....	6
1.2.3. Beton yolların avantajları ve dezavantajları	8
1.3. Çalışmanın Amacı	9
2. KAYNAK ÖZETLERİ	10
2.1. Lifli Beton	10
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	18
3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	18
3.1.1. Çimento	18
3.1.2. Betonda kullanılan lifler	19
3.1.2.a. Poliamid lif	19
3.1.2.b. Çelik lif.....	21
3.1.3. Silis dumanı.....	22
3.1.4. Agregası	22
3.1.5. Karışım suyu.....	22
3.1.6. Süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi	22
3.2. Deneylerde kullanılan aletler.....	23
3.2.1. Elekler	23
3.2.2. Betoniyer	23
3.2.3. Numune Kapları	24
3.2.4. Pres	25

3.2.5. Eğilme test cihazı	25
3.2.6. Su kürü havuzu	26
3.3. Yöntem	27
3.3.1. Agrega karışım oranları	27
3.3.2. Beton karışım hesapları	28
3.3.3. Beton üretim aşamaları	29
3.3.4. Taze betonun birim ağırlığı	31
3.3.5. Basınç ve eğilme dayanımı tayini yöntemi	32
3.3.6. Taguchi metodu	33
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	37
4.1. Basınç Mukavemeti Deneyi Değerleri	37
4.1.1. Basınç mukavemeti sonuçlarının değerlendirilmesi.....	40
4.2. Eğilme Mukavemeti Deneyi Sonuçları	43
4.2.1. Eğilme dayanımı sonuçlarının değerlendirilmesi.....	45
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	51
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Üstyapı tabakaları	1
Şekil 1.2. Rijit üstyapı (derzli donatısız)	3
Şekil 1.3. Rijit üstyapı (derzli donatılı).....	3
Şekil 1.4. Rijit üstyapı (derzsiz donatılı)	4
Şekil 1.5. Rijit üstyapı (ön germeli).....	4
Şekil 1.6. Rijit üstyapı (silindirle sıkıştırılan).....	5
Şekil 1.7. Rijit üstyapı (kompozit kaplama)	5
Şekil 1.8. Beton yollarda hasarında etkili olan alt modellerin girişimleri	6
Şekil 1.9. Esnek üstyapı ve rijit üstyapı.....	7
Şekil 3.1. Poliamid Lif	19
Şekil 3.2. Çelik lif	21
Şekil 3.3. Betoniyer	24
Şekil 3.4. Numune Kapları.....	24
Şekil 3.5. Pres	25
Şekil 3.6. UTEST marka eğilme test presisi.....	26
Şekil 3.7. Su kürü havuz	27
Şekil 3.8. Kullanılan agreganın gradasyon eğrisi	28
Şekil 3.9. Hazırlanmış beton karışımı.....	30
Şekil 3.10. Karışımın kalıplara yerleştirilmesi	30
Şekil 3.11. Hazırlanan beton numuneleri.....	31
Şekil 3.12. Beton kür havuzu.....	31
Şekil 3.13. Deney numunesinin yükleme düzeneği	33
Şekil 4.1. Su/Bağlayıcı oranı istatistikleri	40
Şekil 4.2. Silis Dumanı performans istatistikleri	41
Şekil 4.3. Poliamid Lif oranı performans istatistikleri.....	42
Şekil 4.4. Çelik Lif oranı performans istatistikleri	43
Şekil 4.5. Su/Bağlayıcı oranı istatistikleri	46
Şekil 4.6. Silis Dumanı oranı istatistikleri	47
Şekil 4.7. Poliamid lif oranı istatistikleri	48

Şekil 4.8. Çelik Lif oranı istatistikleri.....	49
Şekil 4.9. Eğilme deneyi sonrası prizmatik numuneler	50



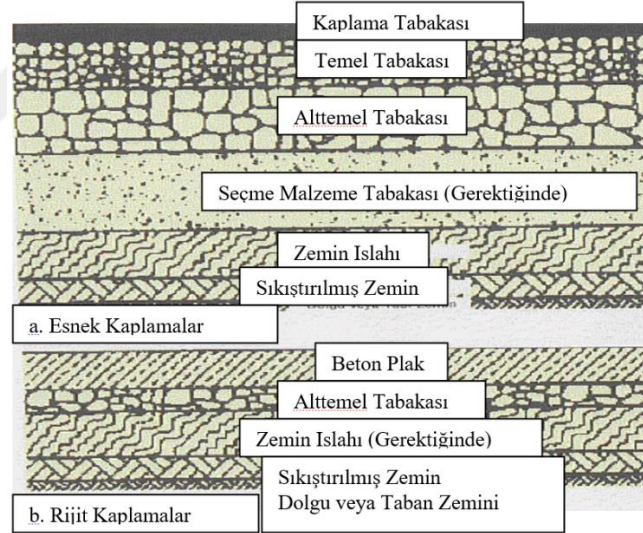
ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal analizi	18
Çizelge 3.2. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri	19
Çizelge 3.3. Poliamid lifin teknik özellikleri	20
Çizelge 3.4. Çelik lifin teknik özellikleri	21
Çizelge 3.5. Silis Dumanı teknik özellikleri	22
Çizelge 3.6. DARACEM 1018 M'nin teknik özellikleri	23
Çizelge 3.7. UTEST eğilme test presi teknik özellikleri	26
Çizelge 3.8. Agrega özgül ağırlıkları	28
Çizelge 3.9. L9 ortogonal dizisi	35
Çizelge 3.10. Parametre ve seviyeleri	36
Çizelge 3.11. Karışım oranları	36
Çizelge 4.1. Taze beton deney sonuçları	37
Çizelge 4.2. Basınç mukavemeti deney sonuçları	38
Çizelge 4.3. S/N etkileri çizelgesi	39
Çizelge 4.4. Performans öngörülleri çizelgesi	39
Çizelge 4.5. 28 günlük eğilme mukavemeti deney sonuçları	44
Çizelge 4.6. Ortalama S/N etkileri	44
Çizelge 4.7. Performans tahminleri	45

1. GİRİŞ

1.1. Karayolları Üstyapıları

Karayolu üstyapıları trafik yüklerini zemine ileten ve çevre etkilerine karşı dayanıklı olan mühendislik yapılarıdır. Kabaca, çimento betonu ile yapılan kaplamalara rijit üstyapılar, bağlayıcı olarak asfalt kullanılanlara ise esnek üstyapılar denilmektedir. Üstyapılar, trafik türü, hacmi ve ileriye dönük beklentiler ile sürüş güvenliği ve konforu, zemin ve çevre koşulları gibi faktörlere bağlı olarak tasarlanır. Şekil 1. 1’de görüldüğü gibi üstyapılar esnek veya rijit oluşlarına bağlı olarak farklı tabakalar içerirler (Tunç 2001). Esnek olanlarda tabaka sayısı fazladır. Tabaka kalınlıkları üstyapı tipine ve tasarım yüküne bağlı olarak değişir.



Şekil 1.1. Üstyapı tabakaları

1.2. Beton Yollar

Beton kaplamalar, çok yüksek trafik hacmine ve ağır trafiğe sahip karayollarında ve havaalanlarında taşıtlar için gerekli sürüş konforu ve sürüş emniyetini temin etmek amacıyla yapılan yüksek standartlı rijit üstyapılardır. Şehir içi ve şehirlerarası genellikle

ağır trafik yükünün olduğu yollarda iyi bir performans sergileyen beton yollar 1990'lı yılların başlarında ülkemizde kullanılmaya başlanmıştır. Çoğunlukla asfalt yolların bulunduğu ülkemizde asfaltın ham madde olarak ithal edilmesi, çabuk deforme olması, bakım maliyetlerinin fazla olması gibi sebeplerle bir alternatif olan beton yollar dikkat çekmeye başlamıştır. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de beton yolların geliştirilmesi için AR-GE çalışmaları hız kazanmıştır.

Beton yol kaplamaları gerçekte elastik zemine oturan geniş bir kiriş olarak düşünülebilirler (Akman 1998). Zorlanmaları, eğilme şeklindedir ve donatısız olduklarından onlarda aranacak özellikler normal betonarme betonunkinden farklıdır. Betonarme betonunda iyi işlenebilirlik ile yeterli basınç dayanımı arandığı halde, yol betonunda ise bunlar yerine yüksek bir eğilme dayanımı, yüksek bir kompasite ve dış etkilere karşı dayanım söz konusudur. Bileşim bakımından normal betondan birinci farkları, kapalı bir yüzey elde edilebilmesi için gereken miktardan daha fazla kum içermeleri, ikinci farkları da karma suyu miktarının minimum seviyede tutulmasıdır. Bu nedenlerle yol betonu daha kuru kıvamlıdır ve güçlü vibrasyon gereçleri ile sıkıştırılmayı gerektirir. Bu kuru kıvamlı ve iri agreg a yüzdesi fazla betonun uygulanması ancak çok güçlü vibratörlerle sıkıştırılması sayesinde mümkün olabilmekte ve çimento dozajı da bu sayede makul sınırlar içerisinde tutulabilmektedir. Betonun kalitesi, eğilme dayanımı yolu ile ölçüldüğünden ve eğilme dayanımı üzerine karışımın su/çimento oranının yanı sıra agreganın da cinsi ve yüzey karakteristikleri özelliklerinin etkisi olduğundan, yol betonu karışımları ancak laboratuvar deneylerine dayanılarak saptanabilirler.

1.2.1. Beton yol çeşitleri

Beton yollar yapım şekline göre üç çeşittir;

a) Rijit Üstyapı (Derzli donatısız); Şekil 1.2'de derzli donatısız beton yollar görülmektedir.



Şekil 1.2. Rijit üstyapı (derzli donatısız)

b) **Rijit Üstyapı (Derzli donatılı);** Şekil 1.3'te derzli donatılı beton yollar görülmektedir.



Şekil 1.3. Rijit üstyapı (derzli donatılı)

d) **Rijit Üstyapı (Derzsiz donatılı);** Şekil 1.4'te derzsiz donatısız beton yollar görülmektedir.



Şekil 1.4. Rijit üstyapı (derzsiz donatılı)

Beton kaplama yollar yapım tekniğine göre de 3 farklı biçimi vardır;

a-) Rijit Üstyapı (Ön germeli); öngermeli yapılan beton yollara örnek Şekil 1.5’te gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Rijit üstyapı (ön germeli)

b-) Rijit Üstyapı (Silindirle sıkıştırılan); Şekil 1.6'da silindirle sıkıştırılan beton yol örneği gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Rijit üstyapı (silindirle sıkıştırılan)

c-) Rijit Üstyapı (Kompozit kaplama); Şekil 1.7'de kompozit kaplama örneği gösterilmiştir.

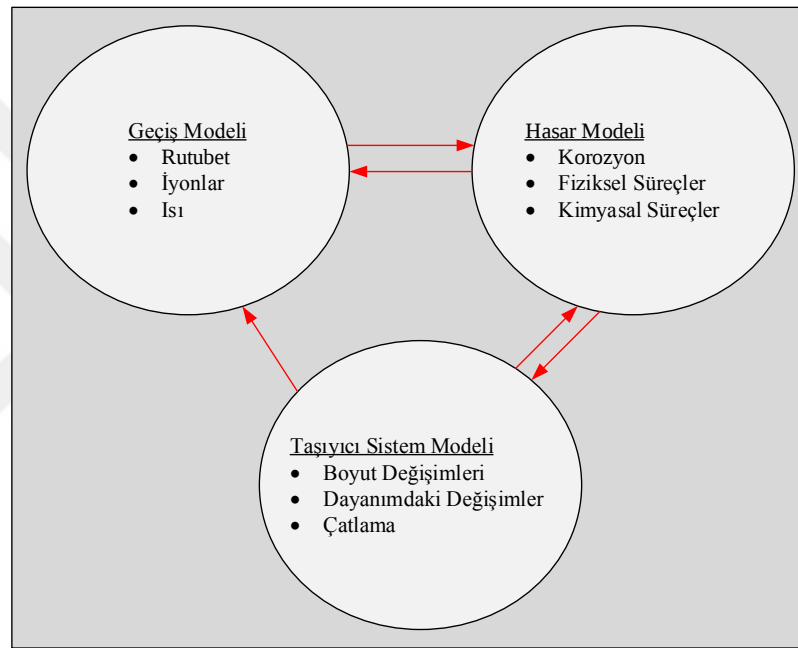


Şekil 1.7. Rijit üstyapı (kompozit kaplama) (İMO 427-2003/5).1.3.2 Beton yolların ömrünü etkileyen hususlar

1.2.2. Beton yolların ömrünü etkileyen hususlar

Genellikle dış etkilere bağlı olan beton yolların ömrü bu dış değişkenlerin birbirleri ile olan ilişkisi servis ömrünü daha da olumsuz etkilemektedir. Dış etkenler yolu kullanan taşıtların yüklerinin olabileceği gibi mevsimsel ve çevresel etkenlerde olmaktadır.

Servis ömrünü etkileyen durumlar Şekil 1.8’de belirtilmektedir.



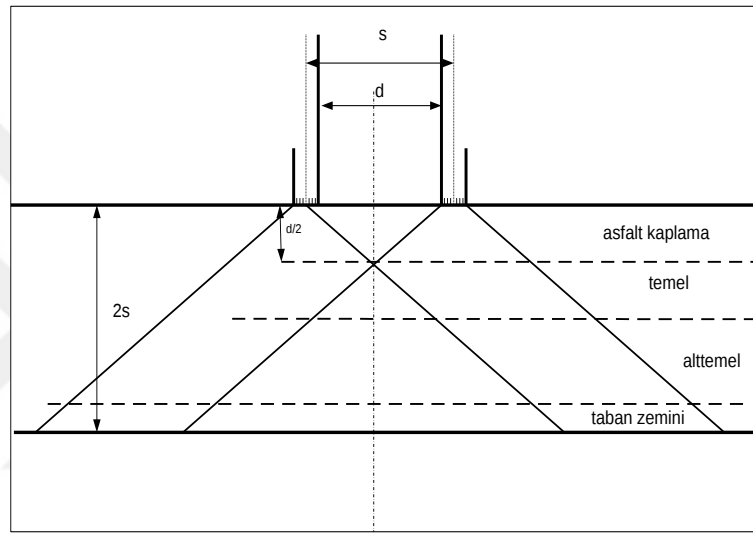
Şekil 1.8. Beton yollarda hasarında etkili olan alt modellerin girişimleri (Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2010)

Aldığı yükleri geniş bir yüzeye yükleyerek plak halinde inşa edilir rijit kaplamalar. Bu kapsamda üstüne oturduğu zeminin taşıma gücünü aşmamalı ve bunu yaparken kendi içerisinde de bozulmalara yol açmamalıdır. Rijit kaplamaların deformasyonu karmaşık olmakla beraber önemli iki sebebi vardır (Ağar 1998).

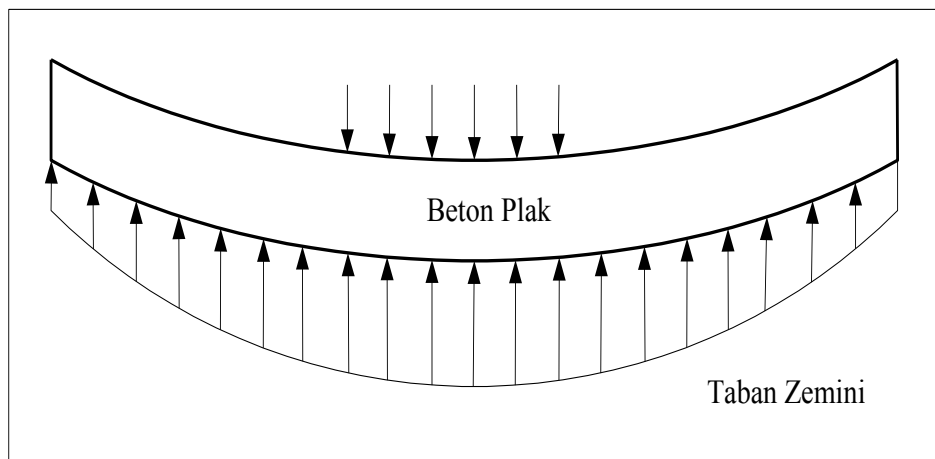
- Rijit iç yapının yol katmanlarındaki gerilmelerin malzemenin maksimum gerilme değerini aşması.
- Zeminde meydana gelen oturmaların üst tabakada çatlaklar ve kopmalara yol açması.

Esnek kaplamaların rijit kaplamalara göre en büyük dezavantajı elastisite modüllerinden dolayı gelen yükü geniş bir alana yayamamaları ve düşük mukavemet göstermeleridir (Ağar 1998) (Şekil 1.9).

Rijit kaplamalar zeminde bir deformasyon meydana gelmediği takdirde plak davranışı gösterir lakin zeminde bir deformasyon meydana gelirse kiriş gibi çalışırlar Bolat (2010).



a) Esnek Üstyapı



b) Rijit Üstyapı

Şekil 1.9. Esnek Üstyapı ve Rijit Üstyapı

1.2.3. Beton yolların avantajları ve dezavantajları

- Kayma sürtünme katsayıları yüksek olduğundan dolayı kayma dirençleri fazladır. Yol yüzeyi düz olduğundan yağış suları daha kolay akabilmekte ve yüzeyleri daha çabuk kurumaktadır.
- Rijit üstyapıların yuvarlanma sürtünme katsayıları düşük olduğu için harekete karşı fazla direnç göstermez. Bu sebepten dolayı araçların gerek yakıt kullanımı gerekse mekanik ömürlerini olumlu yönden etkilemektedir.
- Kalitesine oranla esnek yollara göre daha ekonomiktir. Ayrıca dayanım açısından daha iyi performans sergilemektedir.
- Betonun doğal renginden dolayı ışığı az emer, kolay görünür, yağışlı havalarda far ışığı yansımalarına sebep olmaz.
- Zayıf zeminler üzerinde iyi performans gösterir. Ondülasyonlara sebebiyet vermez.
- Asfalt betonun aksine yapım mevsimi ve şartları daha geniştir.
- Hammadde açısından üretimi tamamen yerli imkanlarla yapılabilmektedir.
- İşçilik ve proje hatası toleransı, esnek üstyapılara göre daha azdır.
- Hem döküm hem de tamir işleri betonun prizine bağlı olup, zaman almaktadır. Ayrıca trafik altında tamir işlemi mümkün olmamaktadır.
- Beton yolların altındaki doğalgaz, kanalizasyon gibi altyapıların arıza tespiti esnek yollara göre daha zordur. Tamir amaçlı yapılan kazılardan sonra beton yolların yamayan kısımları normal yola göre zayıf kalmaktadır.
- Derzli beton yollarda işçilik kalitesi çok önemli olup, bu tür yollarda sürüş konforu olumsuz etkilenebilmektedir.
- Gün içindeki ısı değişimlerinden, betonun alt ve üst kısmı farklı zamanlarda etkilendiği için iç gerilmelere sebep olmaktadır. Bu durum havanın sıcak ve soğuk olması durumunda beton yolda farklı hareketlere yol açmaktadır. Sıcak havalarda plağın ortası kabarırken üst kısım çekmeye çalışır; soğuk havalarda plağın kenarları kabararak alt kısım çekmeye çalışır.

1.3. Çalışmanın Amacı

Poliamid ve çelik liflerle yapılan çalışmalarda daha çok darbe ve şok dalgalarını absorbe özelliklerinin geliştirilmesi için mikro boyuttaki poliamid liflerin etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada, yapılan çalışmalardan farklı olarak poliamid lifin 54 mm uzunluğunda ve 0,55 mm çapındaki versiyonu üzerinde çalışılmıştır. Poliamid lifin bu versiyonunun çelik lif ile hibrit kullanılması durumunda betonun basınç dayanımı ve eğilme dayanımına etkileri incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, su/çimento oranı, silis dumanı, poliamid lif oranı ve çelik lif oranı parametreleri üçer seviyeli olarak seçilmiş, bu parametreler kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerine basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Taguchi deney tasarımı kullanılarak L9 ortogonal dizisi yardımıyla değerlendirilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Lifli Beton

Beton kullanımının artması geleneksel beton üzerindeki araştırma ve geliştirme çalışmalarını da artmaya teşvik etmektedir. Bu çalışmalar genelde betonun içerisine liflerin konması halinde olmaktadır. Liflerin geleneksel betona katılmasıyla lifli beton elde edilmektedir. Betonda en zayıf nokta çimento harcı ve agregaya yüzeyi arasındaki kısımdır. Bu kısımda oluşan çatlaklar yüke maruz kalınması durumunda daha büyük çatlaklara ve ilerisinde kırılmalara sebep olmaktadır. Liflerin geleneksel betona katılmasıyla bu muhtemel çatlaklar minimize edilmekte beton dayanımını arttırmaktadır. Bu dayanım sadece eğilme ve çekme dayanımını kastetmeyerek darbe etkisine karşı dayanımı da muhteva etmektedir (Tunçel 2018).

Geleneksel betona katılan lifler genel olarak rötre çatlaklarının azaltılmasını, priz süresince meydana gelen su kaybının azaltılmasını, geçirimsizliğin artırılmasını mukavemetin artırılmasını ve betonun kalitesinin artırılmasını sağlar. (Anonim 2012)

Betterman vd (1995) yaptıkları çalışmada lif boyunun beton dayanımına etkisine vurgu yapmaktadır. Kısa liflerin uzun liflere oranla daha iyi mukavemet gösterdiğini lakin şekil değiştirmede çok ileri gidemediğini göstermiştir. Uzun liflerin ise mukavemete etkisinin daha az ama büyük şekil değiştirmelerle beton tokluğunu daha çok arttırdığını gözlemlemiştir. Betterman bu durumu mikro ölçekteki çatlakların en önce meydana gelmesine bağlamaktadır. Özet olarak kısa liflerin mikro çatlaklara müdahalesinin daha iyi olduğu ama makro çatlaklara boyutlarından dolayı müdahale de zayıf kaldığı; uzun liflerin mikro çatlaklara müdahale de zayıf kaldığı ama tam tersine makro boyuttaki çatlaklarda köprü oluşturarak sünek bir davranış sergilediğini göstermektedir.

Sağlık ve Kocabeyler (1998) yaptıkları çalışmada betonda propilen lif kullanılması halinde çekme dayanımında ciddi bir etki görülmediğini lakin kohezyonda artış ve çatlaklarda azalma olduğunu gözlemlemiştir.

Aulia (2002) yaptığı çalışmada propilen lif kullanmış bunun beton yangın direncini arttırdığını rötre çatlaklarını azalttığını fakat elastisite modülünü ve basınç dayanımını çok daha etkilemediğini gözlemlemiştir.

Karahan (2006) yaptığı çalışmada kullanılan propilen lif miktarındaki artışın beton birim ağırlığında düşüşe sebep olduğunu gözlemlemiştir. Çelik lif kullandığında ise birim ağırlıkta artış olduğunu gözlemlemiştir. Propilen liflerin beton işlenebilirliğini çelik liflere oranla daha çok arttırdığını gözlemlemiştir. Propilen liflerin basınç dayanımına etkisi olmadığını gözlemlemiştir lakin çelik liflerin basınç dayanımına olumlu yönde etkisinin olduğunu gözlemlemiştir. Propilen lifin yüzde 0,05 oranında kullanıldığında betonun elastisite modülünü arttırdığı yüzde 0,05 daha fazla kullanıldığında elastisite modülünün düştüğünü gözlemlemiştir. Numunelerde çelik lif miktarının artması elastisite değerlerinin düştüğü gözlemlemiştir.

Can vd (2009) yaptıkları çalışmada, aşınmaya maruz kalan beton yol kaplamalarında kullanılan betonlara çelik ve polipropilen lif katarak normal betonlara göre aşınma dirençlerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, 100x200x20 cm boyutlarında kalıplar hazırlanarak kontrol, çelik ve polipropilen katkılı olmak üzere üç farklı tipte beton dökmüşlerdir. Bu plaklar üzerinden 10x20 cm ebatlarında karotlar alınarak aşınma dayanımını incelemişlerdir. Sonuç olarak, çelik ve polipropilen lif kullanımının beton aşınma direncini arttırdığı gözlemlemiştir.

Akkaş vd (2010) yapmış oldukları çalışmada, yarı hafif betonlarda polimer kullanarak betonun basınç dayanımı üzerindeki olumlu ve olumsuz etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak polimer katkının betonun işlenebilirliği üzerinde büyük ölçüde etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Normal betonların basınç dayanımı deneyinde meydana gelen kırılma ve parçalanmaların, polimer katkılı betonlarda oluşmadığı sadece çatlakların meydana

geldiğini söylemişlerdir. Bununla birlikte, polimer katkılı betonlarda çatlakların oluşmasına karşın hala yük taşımaya devam ettiğini belirtmişlerdir.

Soroushian ve Bayasi (1990) yaptıkları çalışmada, sertleşmiş çimento bağlayıcılı kompozitler üreterek çekme ve eğilme mukavemetlerini incelemişlerdir. Bu amaçla üretilen betonlarda, mikro-silika çimento, rastgele dağılmış poliamid lifler ve uçucu kül kullanmışlardır. Sonuç olarak, gerilmeye maruz kalan sistemlerde malzemenin dayanımını arttırmakta poliamid liflerin önemli bir derecede katkısı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Jeon vd (2016) yaptıkları çalışmada hem poliamid hem çelik liflerle güçlendirilmiş püskürtme betonunun basınç ve eğilme mukavemetleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Aynı zamanda poliamid lifle güçlendirilmiş betonların enerji yutma kapasitelerini de incelemişlerdir. Sonuç olarak, poliamid lifin hacimsel olarak %0.6 - %0.8 oranlarında betonda kullanılması durumunda eğilme sünekliğinin, enerji yutma kapasitesinin ve nihai taşıma yükünün arttığını belirtmişlerdir.

Kim vd (2019) yaptıkları çalışmada poliamid liflerin gerilme dayanımının çelik liflere göre daha düşük olduğu fakat gerilme kapasitesinin ve tokluğunun çelik liflerden daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kim vd (2015) yaptıkları çalışmada poliamid liflerin yüksek hızlı darbelerde şok dalgalarını absorbe ettiği ve etkilerini hafiflettiğini gözlemlemişlerdir.

Topçu ve Boğa (2005) çalışmalarında beton boruların mekanik özelliklerinin geliştirilmesi açısından uçucu kül ve çelik liflerin kullanımının etkisini araştırmışlardır. Bu çalışma kapsamında 200 mm çapında üç adet lifli beton boru üretilmiş olup dozajları sırasıyla 300, 350 ve 400'dür. Karışımlarda ilave çelik lif ağırlıkça %0.4 oranında, uçucu kül ise çimento dozajının ağırlıkça %15'i oranında katılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde uçucu kül ve çelik lifin aynı anda kullanılması oldukça etkin olup mekanik özelliklerin artışında sırasıyla %16, %54, %100 ve %130 oranlarında artış meydana getirdiği

gözlemlenmiştir.

Yaprak vd (2004) yaptıkları çalışmada 0.5, 0.75, 1.0 ve 1.25 kg/m³ oranında cam lifini uçucu kül ve çelik lif muhteva eden karışıma katıp; cam liflerinin bu malzemeler ile kullanıldığı taktirde betonun mekanik özelliklerinin değişimini incelemiş ve mekanik özelliklerin olumlu yönde arttığını tespit etmişlerdir.

Bayrak (2007) yaptığı çalışmada betona farklı tip ve boyutlarda çelik lif ilave edip betonun mekanik özellikleri üzerinde nasıl bir etkisi olduğunu irdelemişlerdir. En büyüğü 22 mm olan 4 farklı agrega çapı kullanılmıştır. Karışıma katılan su bağlayıcıya oranla 0,6 olarak katılmış ve bu Su/Çimento oranı sabit tutulmuştur. Numunelerinde narinlik açısından 2 farklı lif kullanmış olup, bu narinlik oranı 80 ve 60'tır. Kg/m³ cinsinden 0, 15, 30, 45 ve 60 olacak şekilde 5 farklı karışım hazırlanmıştır. Ø150x300 mm boyutunda silindir kaplar ve 100x100x350 mm boyutunda prizmatik kaplar kullanılmıştır. Farklı iki boyutta numune kabının kullanılmasının sebebi ise prizmatik numune üzerinde eğilme dayanımı deneyi, silindir numune üzerinde ise basınç dayanımı deneyinin yapılmak istenmesidir. Deney sonuçları irdelendiğinde ilave edilen liflerin betonun mekanik özelliklerini geliştirdiğini gözlemlemişlerdir.

Yıldız vd (2010) yaptıkları çalışmada beton sınıfı olarak C30'u referans almışlardır. Katkı maddesi olarak cam elyaf kullanmışlardır. Cam elyafın betonun mekanik özelliklerinin üzerindeki etkisini ve ultrases geçiş hızı üzerindeki etkisini gözlemlemek istemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda cam lif kullanımı 5 ve 10 kg/m³ oranında kullanılması halinde basınç dayanımında artış tespit etmişlerdir ayrıca ultrases geçiş hızında ise düşüş tespit etmişlerdir.

Karabulut (2017) yaptığı çalışmada sentetik lif katkılı ultra yüksek dayanımlı betonun kirişte kullanıldığı takdirde, kirişin eğilme açısından nasıl bir durum sergilediğini incelemiştir. 100x150x1500 mm boyutlarında 14 adet numune üzerinde dört noktalı eğilme dayanımı deneyi yapmıştır. Bazalt lif ve poliamid lif kullanılmış olup iki farklı donatı oranı üzerinde uygulama yapmıştır. Lifler üç farklı oranda kullanılmıştır. Eğilme

davranışı, deplasman, taşıma kapasitesi, eğrilik süneklikleri, çatlak genişlikleri ve dağılımları irdelenmiştir. Çatlak sayısı ve genişliği açısından sentetik lifin daha iyi bir performans gösterdiğini gözlemlemiştir. Ayrıca lif oranının artmasıyla dayanımlardaki rijitliğin azaldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak betona lif katılmasının çatlak oluşumuna engel olduğu ve eğilme sünekliğinin arttığı tespit edilmiştir.

Tongarlak (2018) yaptığı çalışmada polipropilen liflerin liflerin donatı ve beton arasındaki aderansa etkisini incelemiştir. Polipropilen lif hacimsel olarak %1, %0,50 %0,25 ve %0 oranında karışıma katılmıştır. Bu karışım Ø10 donatının düşey olarak yerleştirildiği kaplara konmuştur. Beton kürü tamamlandıktan sonra numunelerin içindeki donatılara çekme kuvveti uygulanarak donatıların betondan sıyrılması incelenmiştir. Deney sonuçlarında polipropilen lif kullanımının olumlu bir etkisi olmadığı aksine aderansı azalttığı tespit edilmiştir.

Türker vd (2016) yaptıkları çalışmada ultra yüksek performanslı lifli beton içeren kirişlerde çelik lif tipinin etkisini incelemişlerdir. Bir adet lifsiz dört adet ise farklı tip çelik lif içeren toplam beş adet 100x150x1500 mm boyutlarında kiriş numunesi üzerinde testler yapılmıştır. Hacimce %1,5 oranında lif kullanılmıştır. Kullanılan lif türleri düz mikro(F6), tek kancalı makro(F30), tek kancalı makro(F60_1) ve çift kancalı(F60_2) lifleridir. Deney değerlendirme parametreleri yer değiştirme sünekliği, yük taşıma kapasitesi ve çatlak özellikleridir. Deney sonuçları incelendiğinde çift kancalı lifin yük taşıma ve çatlak sınırlandırma bakımından en etkin olduğu süneklik açısından ise düz mikro lifin en etkin olduğu tespit edilmiştir.

Altun (2006) yaptığı çalışmada Dramix RC-80/60-BN çelik lif kullanmıştır. Dozaj olarak 400 dozajlı hafif betona çelik lifleri 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 kg/m³ oranında katmıştır. Basınç dayanımı, tokluk değeri ve elastisite modülüne çelik liflerin katkısını irdelemiştir. Sonuç olarak kullanılan çelik liflerin sadece tokluk değerini değiştirdiğini ve arttırdığını tespit etmiştir.

Karataş ve Güneş (2015) yaptıkları çalışmada polipropilen ve çelik lif kullanılan kendiliğinden yerleşen betonun mekanik özelliklerini irdelemiş ve polipropilen ve çelik

lif kullanımının betonun mekanik özellikleri üzerinde olumlu etkiler doğurduğu sonucuna varmışlardır.

Erten vd (2017) yaptıkları çalışmada ultra yüksek performanslı betonlarda uçucu kül ve mikro çelik lif kullanımının erken yaşta (ilk 24 saat) oluşacak çatlakları azalttığı dolayısıyla betonarme içindeki donatının korozyondan daha az etkilendiğini gözlemlemişlerdir.

Çivici ve Eren (2004) yaptıkları çalışmada lifli beton ile lifsiz betonu doğrudan çekme testine tabi tutmuş ve test sonuçları irdelendiğinde lifli numunelerin taşıma gücünü lifler sıyrılıncaya kadar devam ettirdiği, lifsiz numunelerin ise gevrek davrandığı sonucuna varmışlardır. Bu sebepten dolayı lif kullanımının betonun çekme dayanımına önemli derecede arttırdığını tespit etmişlerdir.

Alyousif (2010) yaptığı çalışmada çelik lif ilave edilen kendiliğinden yerleşen betonun basınç dayanımını, çekme dayanımını, tokluk enerjisi ve yüzey aşınma dayanımını irdemiştir. Yaptığı testler sonucunda bahsedilen mekanik özelliklerin tamamında çelik lif ilavesinin iyileştirici etkisi olduğunu tespit etmiştir.

Yıldırım vd (2007) yaptıkları çalışmada kendiliğinden yerleşen betonun işlenebilirliğine polipropilen lif ve çelik liflerin etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla dört farklı numune betonu üretmişlerdir. Bu numunelerde hem çelik lif hem polipropilen lif için biri referans kabul edilerek çalışmışlardır. Bütün numunelerde su/bağlayıcı 0,47 oranında kullanılmıştır. 21 karışım, taze beton deneylerine tabi tutularak işlenebilirlik kaybı incelenmiş olup ayrıca basınç, eğilme, ultrases geçiş hızı ve elastisite modülü deneyleri de yapılmıştır. Deneylerin sonucu aşağıda verilmiştir.

- Kendiliğinden yerleşen beton numunesinde lif ilavesi arttıkça işlenebilirliğini arttırmak için süperakışkanlaştırıcı miktarının artırılması gerekmektedir.
- Karışımdaki lif miktarının artması beraberinde süper akışkanlaştırıcı miktarını arttırdığı için segregasyon sorununa sebep olmaktadır.

- Ortamda donatının olması halinde polipropilen lif kullanımının maksimum 3.5 kg/m³ olması gerekmektedir. Bu oranın altında lif kullanımının işlenebilirliğe ciddi etkisi olmadığı lakin bu oranın üstünde bir kullanım betonda ciddi yerleşme sorunu ortaya çıkaracağı görülmektedir. Çelik liflerde ise lifin boyutu belirleyici olup donatı aralığı buna göre hesaplanarak farklı sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir.
- 0,47 su/bağlayıcı oranındaki numunelerde polipropilen lif miktarının basınç dayanımı ve elastisite modülüne önemli bir derecede etki etmediği tespit edilmiştir.
- Üç noktalı eğilme dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde lifsiz numunelerin gevrek, lifli numunelerin ise daha sünek davrandığı sonucuna varılmıştır.

Ünal vd (2003) yaptıkları çalışmada su/çimento oranı 0,47 olan yol betonuna çelik lif ve polipropilen lif ilave edip bu karışımın mekanik özelliklerini irdelemişlerdir. Narınlığı 67 olan çelik lifler 20 kg/m³ ve 40 kg/m³ oranlarında kullanılmıştır. Polipropilen lif ise 300 g/m³ ve 600 g/m³ oranlarında kullanılmıştır. Beton numuneleri çeşitli testlere tabi tutularak; basınç dayanımı, elastisite modülü, eğilme dayanımı, donma-çözünme direnci, aşınma direnci ve kuruma rötresi irdelenmiştir. Deneyler sonucunda;

- Liflerin betonun basınç dayanımına ciddi bir etkisinin olmadığı,
- İlk çatlak yükü ve eğilme dayanımında artışlar meydana geldiği,
- Betonun tokluk değerinin yükseldiği,
- Çelik lif ve karma lif kullanımının aşınma direncini arttırdığı,
- Polipropilen lif kullanımının aşınma direncine olumsuz etki ettiği,
- Çelik liflerin donma-çözünme dayanımını arttırdığı,
- Lif kullanımının kuruma rötresi değerlerini azalttığı gibi bulgular tespit edilmiştir.

Kozak ve Osman (2014) yaptıkları çalışmada beton travers uygulamasında bazalt agregası kullanılması halinde çelik lif katıldığı taktirde nasıl bir sonuç verdiği araştırmışlardır. En büyük agrega boyutu ve katılan lif miktarı değiştirilerek altı farklı karışım hesaplanmıştır. Her bir karışım için iki adet beton travers ve dört adet küp numune hazırlanmış ve uygun şartlarda kür işlemi yapılmıştır. Travers numuneleri üzerinde eğilme deneyleri ve ultrases hızı deneyleri yapılmış olup küp numuneler üzerinde ise

basınç deneyleri, taze beton deneyleri, ultrases hızı deneyleri ve donma-çözünme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde çelik lifin eğilme dayanımını olumlu yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Korkut vd (2017) yaptıkları çalışmada kendiliğinden yerleşen betonlara çelik ve sentetik lif katkısı halinde taze ve sertleşmiş beton özelliklerini nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Bu amaçla 13 farklı karışım hazırlamışlardır. Karışımlarda su/bağlayıcı oranı 0,4 olarak sabit tutulmuştur. Çelik ve sentetik lifler ise karışıma hacimce %0,25, %0,50, ve %0,75 oranında ilave edilmiştir. Numuneler üzerinde taze beton ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde karışımdaki lif oranının yükselmesi durumunda kendiliğinden yerleşen betonların işlenebilirliği oldukça olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir. Lif kullanılan numunelerde basınç dayanımında ciddi artışlar gözlenmemekle birlikte çekme ve eğilme dayanımlarının kayda değer bir oranda arttığı görülmüştür.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu kısımda kullanılan poliamid lif, çelik lif, silis dumanı, çimento, süperakışkanlaştırıcı, agrega ve karışım suyundan bahsedilmiştir.

3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Çimento

Yapmış olduğumuz çalışmada Muş YURTÇİM Çimento Fabrikasında üretilen ve TS EN 197-1'e uygun, CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. CEM I 42.5 R Kimyasal özellikler Çizelge 3.1'de, fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 3.2'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal analizi

Kimyasal Analizler %	
SiO ₂	18,10
Al ₂ O ₃	4,48
Fe ₂ O ₃	3,09
CaO	63,65
MgO	2,58
SO ₃	2,84
Kızdırma kaybı	3,90
K ₂ O	0,62
Na ₂ O	0,21
Cl	0,015
Ölçülemeyen	0,52
Toplam	100
CaO (sebest kireç)	0,44
Çözünmeyen kalıntı	0,55

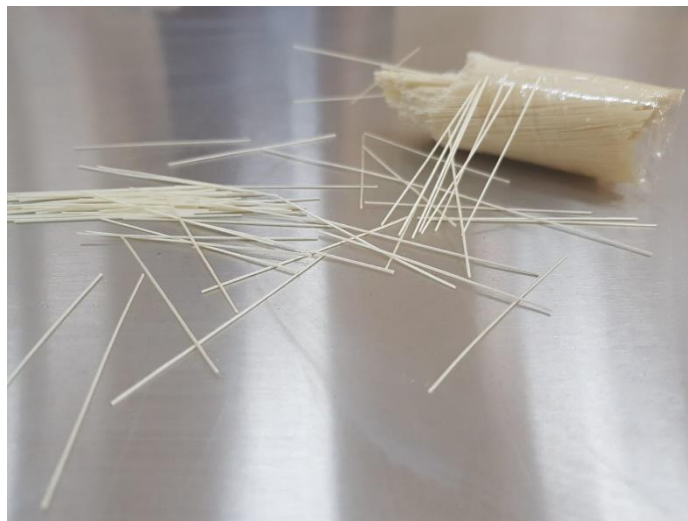
Çizelge 3.2. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel ve mekanik testler	
İncelik 45 m elek üstü %	7,15
Özgöl ağırlık (g/cm ³)	3,12
Özgöl yüzey (cm ² /g)	3698
Piriz başı (Saat-dakika)	2 sa-31 dk
Piriz sonu (Saat-dakika)	3 sa-11 dk
Hacim genleşmesi (mm)	1
Basınç dayanımı 2 Gün (MPa)	27,9
Basınç dayanımı 28 Gün (MPa)	58,0
Su ihtiyacı (%)	29,5

3.1.2. Betonda kullanılan lifler

3.1.2.a. Poliamid lif

Poliamid peptid bağları ile meydana gelen bir polimerdir. Doğal yollarla oluşabildiği gibi suni olarak da üretilirler. Poliamid 6.6 mekanik ve fiziksel olarak diğer naylon malzemelerden daha üstün özellikler gösterir. Poliamid lif Şekil 3.1’de gösterilmiş teknik özellikleri ise Çizelge 3.3’te verilmiştir.

**Şekil 3.1.** Poliamid Lif

Çizelge 3.3. Poliamid lifin teknik özellikleri

Mekaniksel Özellikler	Polamid 66
Su Emme Oranı (%)	3
Yoğunluk (g/cm ³)	1.14
Kopma Mukavemeti (MPa)	66-86
Kopma Uzaması (%)	30-300
Eğilme Mukavemeti (MPa)	80-105
Basma Mukavemeti (MPa)	70-100
Elastik Modül (çekmede) (MPa)	1000-2800
Elastik Modül (eğilmede) (MPa)	2000-3400

Sertlik	
Rockwell R	108-120
Rockwell M	83-89
Shore D	-
Sürtünme Katsayısı	0.15-0.42
Havadan Aldığı Nem (%)	2.4-3.0
Sudaki Doygunluk (%)	8.0-8.5

Lif Uzunluğu	54 mm
Çap	0,55 mm
Termal Özellikler	
Kristal Erime veya Amorf Yumuşama Noktası (°C)	255-265
Yük Altında Deformasyon Sıcaklığı (°C)	75-105
Maksimum Çalışma Sıcaklığı (°C) Uzun-kısa süre	90-180
Spesifik Isı (cal/gr °C)	0.40-0.41
Isıl Genleşme Katsayısı (x10 ⁶ cm/cm °C)	70-100
Isıl İletkenlik Katsayısı (x10 ⁴ cal / sn. cm. °C)	4.8 - 5.8
Yanıcılık	V2
Yanma Hızı	Kendi Kendine Söner

3.1.2.b. Çelik lif

Erzurum da bulunan Sancak Kimya A.Ş.'den temin ettiğimiz RC 80/60 BN isimli kanca uçlu, düşük karbon seviyesine sahip ve kaplama yapılmamış çelik lif kullanılmamıştır. Çelik lif hacimce %0, %0.01, %0.015 oranlarında olmak üzere üç farklı dozajda betona katılmıştır. Çelik lifler Şekil 3.2'de gösterilmiş olup, teknik özellikleri Çizelge 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Çelik lif

Çizelge 3.4. Çelik lifin teknik özellikleri

Lif Tipi	RC 80/60 BN
Boy (mm)	60
Çap (mm)	0,75
Narinlik (l/d)	80
Performans sınıfı	80
Min. Çekme Day. (N/mm ²)	1050
Birim Adet (lif/kg)	4600

3.1.3. Silis dumanı

Deneylerde kullanılan silis dumanı temini Dost Kimya firması tarafından sağlanmıştır. ASTM C-1240 standartlarına uygundur. Teknik özellikler Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Silis Dumanı teknik özellikleri

Şekilsiz SiO ₂	min%93 (gerçek %96,1)
H ₂ O (nem)	max%0,3 (gerçek %0,19)
Kızdırma Kaybı	(L.O.I max %3,5) (gerçek %1,81)
+45 mikron üzeri	max %2.5 (gerçek %0,58)
Hacim Yoğunluğu	0,55-0,65 kg/dm ³ (D)
BET	min. 1 5-28 m ² /gr (gerçek 23,36 m ² /gr)

3.1.4. Agregası

Çalışmada kullanılan agrega kırmataş olup, Muş ili sınırları içerisindeki Güzeltepe Köyü yakınlarındaki Cengizler Hazır beton firmasına ait agrega tesisinden getirilmiştir.

3.1.5. Karışım suyu

Bu çalışmada kullanılan karışım suyu, Muş Alparslan Üniversitesi içme suyu kuyularından temin edilmiş olup betonda herhangi bir kimyasal bozulmaya yol açacak bileşen bulundurmamaktadır.

3.1.6. Süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi

Deneylerde GCP Applied Technologies firmasının DARACEM 1018 M Süper akışkanlaştırıcı beton katkısı karışıma katılmıştır. TS EN 934-2 standartlarına uygundur. Teknik özellikler Çizelge 3.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. DARACEM 1018 M'nin teknik özellikleri

Adı	GCP DARACEM 1018 M
Tipi	Polikarboksilik Eter Esaslı
Renk	Kahverengi, homojen ve sıvı
Yoğunluk (kg/m ³)	1089±20
pH Değeri	Yaklaşık 5-7
Alkali İçeriği	≤ 3.00
Klor İyon İçeriği %	≤ 0.10

3.2. Deneylerde kullanılan aletler

3.2.1. Elekler

TS1227 ISO 3310-1'ye uygun toplama kabıyla TS1226 ISO 3310-2'ye uygun 0,063 mm, 0,125 mm, 0,25 mm, 0,50 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm, 16 mm ve 32mm göz açıklıklı kare delikli tel elekler kullanılmıştır.

3.2.2. Betoniyer

Çalışmada Muş Alparslan Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarları Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan betoniyer kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Betoniyer

3.2.3. Numune Kapları

Bu çalışmada, $7 \times 7 \times 28$ cm boyutlarında imal edilmiş çelik kap ve $15 \times 15 \times 15$ cm boyutlarında standart küp numune kabı kullanılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Numune Kapları

3.2.4. Pres

Bu çalışmada Muş Alparslan Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarları Uygulama ve Araştırma Merkezinin, UTEST marka tek pistonlu UTC 4131 model basınç deneyi presi kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Pres

3.2.5. Eğilme test cihazı

Bu çalışmada Muş Alparslan Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarları Uygulama ve Araştırma Merkezinin, UTEST marka tek pistonlu UTC 5544 model eğilme deneyi presi kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. UTEST marka eğilme test presi

Çizelge 3.7. UTEST eğilme test presi teknik özellikleri

		UTC-5544
Kapasite		600 kN
Sınıf 1 doğruluk aralığı		12-6000 kN
Çözünürlük		1/ 65.000
Piston Hareket Mesafesi		350 mm
Maksimum Dikey Açıklık		930 mm
Maksimum Yatay Açıklık		640 mm
Alt Mesnetler Arası		2000 mm
Maksimum Açıklık		
Gövde		UTC-5800
Boyutlar - Yaklaşık	Gövde	1100x2000x2650 mm
	Güç Ünitesi	370x400x920
Ağırlık Yaklaşık	Gövde	2750 kg
	Güç Ünitesi	85 kg

3.2.6. Su kürü havuzu

Çalışmamızda üretilen numuneler 28 gün boyunca Muş Alparslan Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarları Uygulama ve Araştırma Merkezinde suyun sıcaklığını $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de sabit tutulabilen su kürü havuzunda bekletilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Su kürü havuz

3.3. Yöntem

Bu kısımda, agregalar analiz edilmiş, miktarı belirlenmiş, ve deney metotları gösterilmiştir. Bu bölümde, kırmataş agregası özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler, bu agregalarla üretilen betonların karışım oranlarının belirlenmesi, beton üretimi, taze ve sertleşmiş beton deneylerinde kullanılan yöntemler ve sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan Taguchi yöntemi açıklanmıştır.

Deneyisel çalışmalarda gerek agregası deneylerinde gerekse beton üretim ve kırılmalarının tamamında TSE (Türk Standartları Enstitüsü) standartları çerçevesinde hareket edilmiş, ilgili standartlar göz önüne alınarak titiz bir şekilde uygulama yapılmıştır.

3.3.1. Agregası karışım oranları

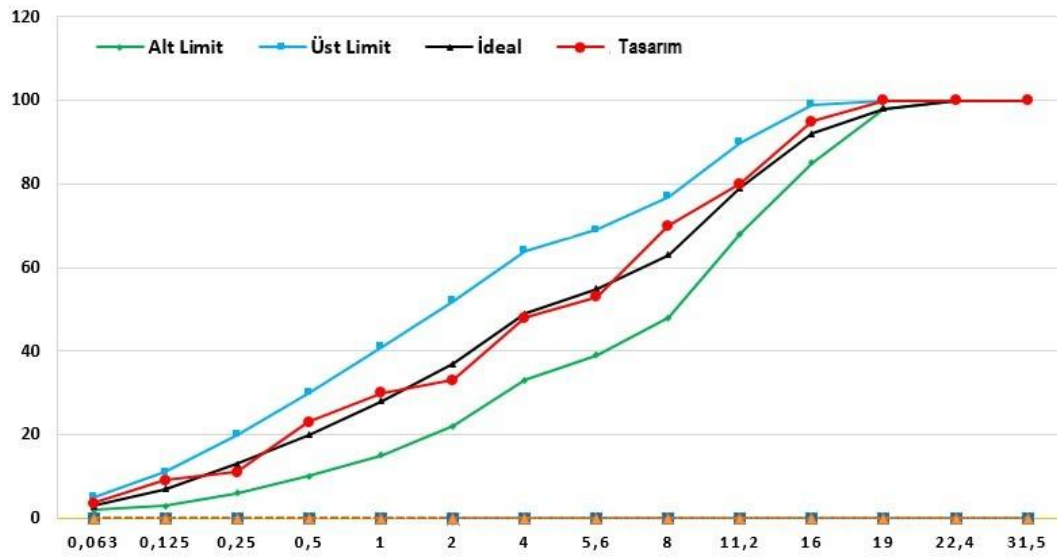
Deney numunelerinde, Cengizler Hazır beton tarafından kullanılan ve Muş ili sınırlarındaki tesislerinde her elek boyutundaki agregalar temin edilmiştir. Agregası granülometrisinin betonun özellikleri üzerine etkisi olduğundan (Baradan 1994,

Ekmekyapar ve Örüng 1993) laboratuvara getirilen agregalar, TS 706’da verilen standart eğrilere göre ayarlanmış ve kullanılan agreganın granülometri eğrisi Şekil 3.8’de verilmiştir.

Agregaların özgül ağırlıkları Çizelge 3.8’de belirtilmiştir;

Çizelge 3.8. Agrega özgül ağırlıkları

Malzeme	Özgöl Ağırlığı (kg/dm ³)
İnce	2.63 g/cm ³
İri	2.62 g/cm ³



Şekil 3.8. Kullanılan agreganın gradasyon eğrisi

3.3.2. Beton karışım hesapları

Beton karışım hesapları yapılırken TS 802 – 2016 standardından faydalanılmıştır. Çalışmada, Yurtçim Çimento Fabrikasında üretilmiş CEM I 42,5 R tipi çimento, Cengizler Hazırbeton tesislerinde üretilen kırma taş kullanılmıştır. Sabancı holding bünyesinde bulunan KordSA Teknik Tekstil A.Ş. tarafından üretilen poliamid lif, Sancak Kimya A.Ş. tarafından temin edilen çelik lif, Dost Kimya firmasından temin silis dumanı

ve GCP Applied Technologies firmasından temin edilen DARACEM 1018 M süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Araştırmalar sonucunda çalışma için karışım oranları hesaplanmıştır. Çimento dozajı sabit olup, silis dumanı, su/bağlayıcı oranı, poliamid lif ve çelik lif oranları değişken olarak belirlenmiştir.

Karayolları beton yollar teknik şartnamesine göre, yollarda kullanılan betonlar için çimento dozajının 300 kg/m³'ten fazla olması istenmektedir (Beton yollar teknik şartnamesi 2016). Bu sebepten, 350 kg/m³ çimento dozajı olarak belirlenmiş, çimento ağırlığının %0, %5 ve %10 oranlarında silis dumanı çimento yerine ilave edilmiştir. Poliamid lif %0, %0,5, %1 oranında kullanılmıştır. Çelik lif %0, %1, %1,5 olarak katılmış ve süper akışkanlaştırıcı yüzdesi sabit tutularak %1,5 olarak ilave edilmiştir. Su/bağlayıcı 0,35, 0,45 ve 0,50 oranında kullanılmıştır. Hacimsel olarak çimento, süper akışkanlaştırıcı, hava ve silis dumanı 1000 dm³'den çıkarılarak agrega hacmine ulaşılmış ve bu hacim tane sınıflarına ayrılmıştır.

$$V_{\text{agrega}} = 1000 - \left(\frac{W_c}{\gamma_c} + \frac{W_{su}}{\gamma_{su}} + V_{\text{hava}} + \frac{W_{sd}}{\gamma_{sd}} + \frac{W_{sa}}{\gamma_{sa}} \right)$$

Agrega özelliklerini belirlemek için gerekli olan nem yüzdesi, özgül ağırlık tayini deneyleri ince ve iri agrega sınıflarına göre ayrı ayrı yapılmıştır.

3.3.3. Beton üretim aşamaları

Hassas terazi ile ölçümleri yapılmış, tartılan malzemeler betoniye yerleştirilmiştir. Önce silis dumanı, çimento ve agrega sonra karışım suyu ve süperakışkanlaştırıcı ilave edilmiştir. Son olarak lifler ilave edilmiştir (Şekil 3.9). Yağlanmış numune kaplarına dökülen karışım uygun bir şekilde sıkıştırılarak yerleştirilmiştir (Şekil 3.10). Yirmi dört saat uygun şartlarda bekletilmiştir (Şekil 3.11). Sonra numuneler kür havuzuna yerleştirilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.9. Hazırlanmış beton karışımı



Şekil 3.10. Karışımın kalıplara yerleştirilmesi



Şekil 3.11. Hazırlanan beton numuneleri



Şekil 3.12. Beton kür havuzu

3.3.4. Taze betonun birim ağırlığı

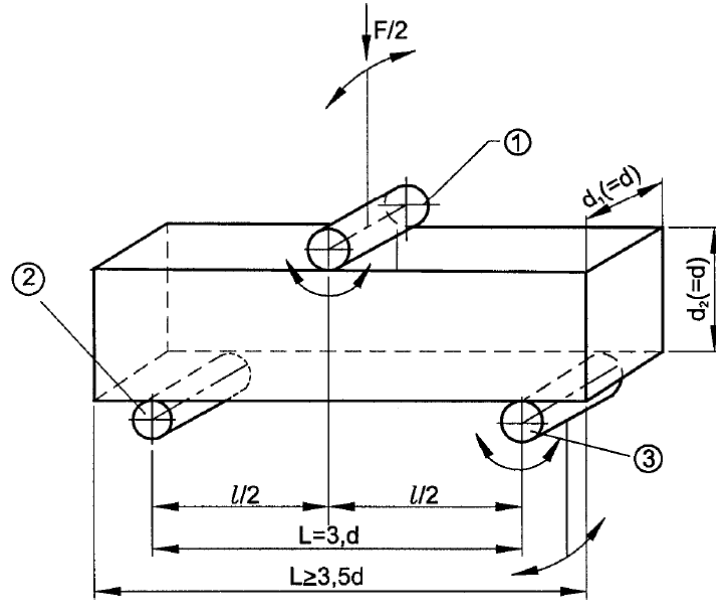
TS EN 12350-1 standartlarına göre numuneler alınmış, 10 dakika içerisinde taze birim ağırlık değerleri elde edilmiştir. Bu işlem yapılırken, hacmi ve ağırlığı bilinen bir kap kullanılmıştır. Karışım bu kaba yerleştirilmiş, iyice sıkıştırılmış ve hassas tartı yardımıyla tartılmıştır. Bu işlem sonucunda gerekli hesaplamalar yapılarak, betonun taze birim

ağırlığı belirlenmiştir. Ölçülen birim ağırlıklar Çizelge 4.1’de verilmiştir. Yoğunluğu tespit edilen beton tekrar betoniyere ilave edilmiştir. Numune döküm kapları olarak 150x150x150 mm ve 70x70x280 mm boyutlarındaki kaplar kullanılmıştır. Beton kalıplara dökülürken sıkıştırma standartlarına uyulmuş olup 3 tabaka şeklinde yerleştirilmiş ve bu tabakalar ayrı ayrı 25 defa şişlenmiştir. Yerleştirmesi ve sıkıştırılması yapılmış olan betonun üst yüzeyi mala ile düzeltilmiş ve uygun şartlarda 24 saat bekletilmiştir. 24 saat sonra kalıplardan çıkarılan numuneler kül havuzuna alınmıştır. Numuneler 28. günde testlere tabi tutulmuştur.

3.3.5. Basınç ve eğilme dayanımı tayini yöntemi

Çalışmada yapılan deney numunelerinin basınç dayanımları 28. günde belirlenmiştir. Sonrasında küp numuneler için basınç dayanımı deneyi, kiriş numuneler için eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. TS EN 12390-3 (2010)’e göre yükleme hızı 0,2 MPa/s ile 1,0 MPa/s arasında olmalıdır. Beton numunelerinin kırma işlemi, yükleme hızı 0,4 MPa/s seçilerek yapılmıştır.

Betonun eğilme dayanımı tayini TS EN 12390-5 (2002) ve TS 10515 (1992) standartlarına göre bu deney metodunda açıklığın orta noktasından beton numunelerde basit kiriş metodu ile yapılmıştır. Eğilme dayanımları tayini için 70x70x280 mm’lik kiriş numuneleri üretilmiştir. Deneye başlamadan önce eğilme deneyi düzeneğinin mesnetleri ayarlanarak numuneler Şekil 3.13’te gösterildiği gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 3.13. Deney numunesinin yükleme düzeneği (TS EN 12390 – 5)

Eğilme dayanımı, aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$f_{cf} = \frac{3FL}{2d_1 d_2^2}$$

f_{cf} : Eğilme dayanımı, MPa

P: En büyük yük, N

L: Mesnetler arası açıklık, mm

b,d: Numunenin en kesiti, mm

3.3.6. Taguchi metodu

Tam faktöriyel deney tasarımı yapılırken, bir faktör değiştirildiğinde diğer faktörler sabit tutulmaktadır. Faktör ve seviyeler arttığında çok fazla deney sayısı çıkmakta ve bunun pratik olarak yapılması çok mümkün olmamaktadır. Bununla birlikte, faktörler arasında iç etkileşimin olması durumunda ise elde edilen optimum şartlar gerçek durumu yansıtmayabilmektedir. Dolayısıyla araştırmacılar, deney sayılarını azaltmak için farklı

yöntemler kullanmışlardır. Bu yöntemlerden bir tanesi de Taguchi yöntemidir.

Taguchi metodunda, optimizasyon kriteri olarak performans istatistikleri kullanılmaktadır. En büyük-en iyi, en küçük-en iyi veya nominal-en iyi olmak üzere üç farklı performans istatistiği kullanılmaktadır. Bu performans istatistiklerini kullanabilmek için, deneylerden elde edilen sonuçlar, S/N (Signal / Noise) değerlerine çevrilmiştir. Yapılan çalışmada, basınç ve eğilme mukavemetlerinin maksimum olması istendiğinden en büyük-en iyi performans istatistiği kullanılmış ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$SN_L = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right]$$

Burada;

SN_L : Performans istatistiği

n : Bir deney kombinasyonunda yapılan tekrar sayısı

Y_i : i. deneyin sonucu.

Burada optimum değer SN_L 'yi en yüksek veren değer olup bu değer in yapılan deneylerde elde edilmeme olasılığı mevcuttur. Ancak Taguchi Metoduna optimum parametre seviyelerini veren deney yapılmamış olabilir. Bu gerekçeden ötürü optimum değer aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır (Bayrak 2002).

$$Y_t = \mu + X_i + e_i$$

Burada;

μ : Performans değerinin genel ortalaması,

X_i : Deneydeki parametre-seviye kombinasyonun sabit etkisidir.

e_i : i. deneydeki rassal hata

Y_t değeri bir öngörü olup deney sonuçlarına binaen hesaplamalar yardımı ile bulunmaktadır. Tahmin olan bu Y_t değeri tekrar doğrulanmak üzere deneye tabi tutulmalı ve bu deney sonuçlarının belirli bir güven aralığında olması beklenmelidir. Seçilen güven aralığını ise,

$$\mu \pm \sqrt{F_{\alpha;1,SD_{MSe}} MSe \left[\frac{1+m}{N} + \frac{1}{n_t} \right]}$$

denklemleri ile bulunur. Burada;

F : Tablo değeri,

α : Hata seviyesini,

SD_{MSe} : Hata kareler ortalamasının serbestlik derecesi toplamını,

N : Toplam deney sayısı

n_t : Doğrulama deneylerindeki tekrar sayısını göstermektedir.

Çalışmada, her biri üç seviyeli dört parametre seçilmiştir. Parametre ve seviyeleri dikkate alındığında, L9 ortogonal dizisinin uygun olduğu görülmüştür. L9 ortogonal dizisine göre belirlenen deney planı Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9. L9 ortogonal dizisi

Parametre / Seviye	Su/Bağlayıcı	Silis Dumanı (%)	Poliamid (%)	Çelik Lif (%)
Deney 1	0.35	0	0	0
Deney 2	0.35	5	0,5	1
Deney 3	0.35	10	1	1,5
Deney 4	0,45	0	0,5	1,5
Deney 5	0,45	5	1	0
Deney 6	0,45	10	0	1
Deney 7	0,50	0	1	1
Deney 8	0,50	5	0	1,5
Deney 9	0,50	10	0,5	0

Bu çalışma, 9 deney grubu üzerinde yapılmıştır. Parametreler ve bunların seviyeleri Çizelge 3.10 ve Çizelge 3.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.10. Parametre ve seviyeleri

Parametreler	Seviyeler		
	1	2	3
(A) Su/bağlayıcı oranı	0.35 (A1)	0.45 (A2)	0.50 (A3)
(B) Silis Dumanı (%)	0 (B1)	5 (B2)	10 (B3)
(C) Poliamid (%)	0 (C1)	0.5 (C2)	1(C3)
(D) Çelik Lif (%)	0 (D1)	1 (D2)	1,5 (D3)

Çizelge 3.11. Karışım oranları

Grup No	Su/Bağlayıcı	Silis Dumanı %	Poliamid (%)	Çelik Lif (%)
1	A1	B1	C1	D1
2	A1	B2	C2	D2
3	A1	B3	C3	D3
4	A2	B1	C2	D3
5	A2	B2	C3	D1
6	A2	B3	C1	D2
7	A3	B1	C3	D2
8	A3	B2	C1	D3
9	A3	B3	C2	D1

Yukarıdaki verilere göre karışım oranları hesaplanarak numuneler hazırlanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu kısımda Taguchi Metodu kullanılarak basınç ve eğilme mukavemeti deneylerinin sonuçları irdelenmiştir. Çıkan sonuçlar tablo ve şekiller ile güçlendirilmiş, daha anlaşılabilir hale getirilerek sunulmuştur.

4.1. Basınç Mukavemeti Deneyi Değerleri

Çizelge 4.1’de taze beton deneyi sonuçları, Çizelge 4.2’de basınç mukavemeti deneyi sonuçları yer verilmiş olup, metot kısmında değinildiği gibi ele alınmıştır.

Çizelge 4.1. Taze beton deney sonuçları

Deney No	Su/çimento Oranı	Silis Dumanı (%)	Poliamid Lif Oranı (gr/m ³)	Çelik Lif Oranı (gr/m ³)	Birim Ağırlık (Teorik) (kg/m ³)	Birim Ağırlık (Ölçülen) (kg/m ³)
1	A1	B1	C1	D1	2468.18	2568.285
2		B2	C2	D2	2545.71	2579.192
3		B3	C3	D3	2584.23	2573.149
4	A2	B1	C2	D3	2590.88	2666.447
5		B2	C3	D1	2473.41	2522.936
6		B3	C1	D2	2533.83	2606.746
7	A3	B1	C3	D2	2557.58	2578.044
8		B2	C1	D3	2579.01	2638.319
9		B3	C2	D1	2461.53	2532.005

Çizelge 4.2. Basınç mukavemeti deney sonuçları

Deney No	Deney Sonucu (MPa)	Performans İstatistiği S/N
1	50.8	34.117
2	53.7	34.599
3	25.4	28.095
4	42.21	32.508
5	53.59	34.582
6	60.44	35.627
7	37.41	31.460
8	47.4	33.516
9	40.82	32.217

Basınç mukavemeti deney sonuçları değerlendirilirken, öncelikle performans istatistiklerinin (Signal/Noise (S/N)) belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, Çizelge 3.11’de verilen deney planına göre hazırlanan numuneler kırılarak basınç mukavemeti değerleri MPa birimine göre elde edilmiştir. Daha sonra bu değerler kullanılarak eşitlik 1 yardımıyla S/N değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. Parametrelerin optimum seviyelerinin belirlenmesi için ortalama S/N etkilerinin hesaplanması gerekmektedir. Ortalama S/N etkileri Çizelge 3.11 ve 4.2 kullanılarak, her bir parametrenin ilgili seviyelerine karşılık gelen S/N değerlerinin ortalamalarının alınmasıyla hesaplanmaktadır. Örneğin, Çizelge 4.3’te verilen su/bağlayıcının birinci seviyesi olan 32,270 değeri, Çizelge 4.2’deki Su//bağlayıcının birinci seviyesi olan birinci, ikinci ve üçüncü deneylerin S/N’lerinin ortalamasının alınmasıyla elde edilmiştir $((34,117+34,599+28,095)/3=32,270)$. Benzer şekilde diğer değerler de elde edilerek ortalama S/N etkileri Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3. S/N etkileri çizelgesi

Ortalama S/N Etkileri				
	Su/Bağ	SD	Poliamid	Çelik Lİf
1. Seviye	32,270	32,695	34,420	33,639
2. Seviye	34,239	34,232	33,108	33,895
3. Seviye	32,398	31,980	31,379	31,373

Çizelge 4.4. Performans öngörülleri çizelgesi

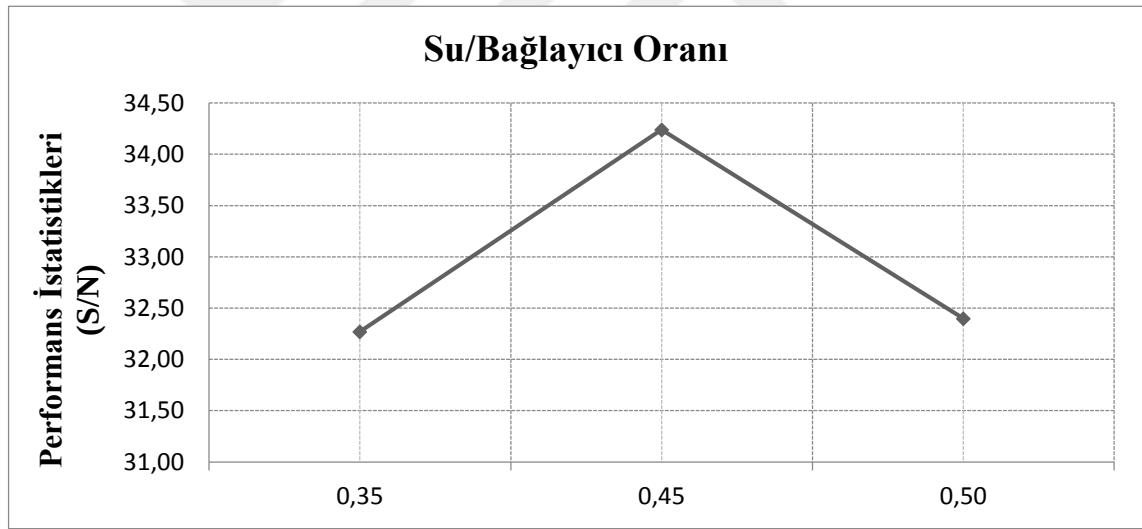
Faktörler	Seviye	S/N'e olan katkısı
Su/Bağ	A2	1,270
SD	B2	1,263
Poliamid Lif	C1	1,451
Çelik Lif	D2	0,926
Tüm Faktörlerin Katkısı (S/N)		4,910
Ortalama Performans İstatistiği (S/N)		32,969
Optimum Şartlarda Beklenen Değer (S/N)		37,879
Doğrulama Deneyi Sonucu (S/N) / (MPa)		13,71 / 4,85
Güven Aralığı ($\alpha=95\%$) (S/N)		36,672 - 39,086

Deney sonuçları irdelendiğinde, maksimum basınç mukavemetinin yani optimum karışım oranlarının A2 (su/bağlayıcının ikinci seviyesi), B2 (silis dumanının ikinci seviyesi), C1 (poliamid lifin birinci seviyesi), D2 (çelik lifin ikinci seviyesi) karışımından elde edildiği tespit edilmiştir. Çizelge 4.4'e bakıldığında basınç dayanımı üzerine etki eden parametrelerin sırasıyla; poliamid lif, su/bağlayıcı oranı, silis dumanı ve çelik lif oranının olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan deney grupları göz önüne alındığında (Çizelge 3.12) basınç mukavemetini maksimum yapan karışım oranlarının, deney planında yer almadığı saptanmıştır. Dolayısıyla A2, B2, C1, D2 oranlarına göre yeni bir numune hazırlanarak 28 gün uygun kür şartlarında korunup tekrar teste tabi tutulmuştur. Yapılan doğrulama deneyi sonucunda ortaya çıkan basınç dayanım değeri ortalama 68,85 MPa olup buna

denk gelen S/N değeri 36,758'dir. Ancak bu bir nokta tahmindir. Deney sonucunun anlamlı olup olmadığına karar verebilmek için %95 güven aralığında ($S/N = 36,672 - 39,086$) olması gerekmektedir. Elde edilen 36,758 S/N değerine sahip doğrulama deneyi sonucunun %95 güven aralığı içerisinde olduğu görülmüştür.

4.1.1. Basınç mukavemeti sonuçlarının değerlendirilmesi

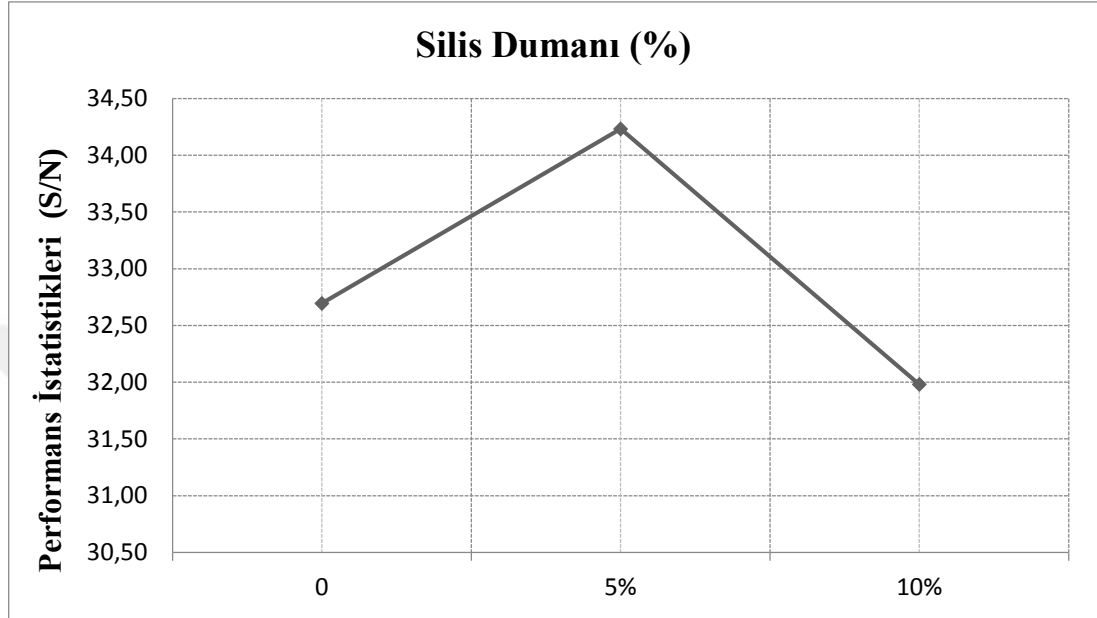
28 günlük basınç dayanımı deney sonuçları ele alındığında, su/bağlayıcı oranının ikinci seviyede, silis dumanının ikinci seviyede, çelik lif oranının ikinci seviyede ve poliamid lif oranının birinci seviyede en iyi dayanım değerini karşıladığı gözlemlenmektedir. Değişkenlerin dayanım üzerindeki etkileri Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Su/Bağlayıcı oranı istatistikleri

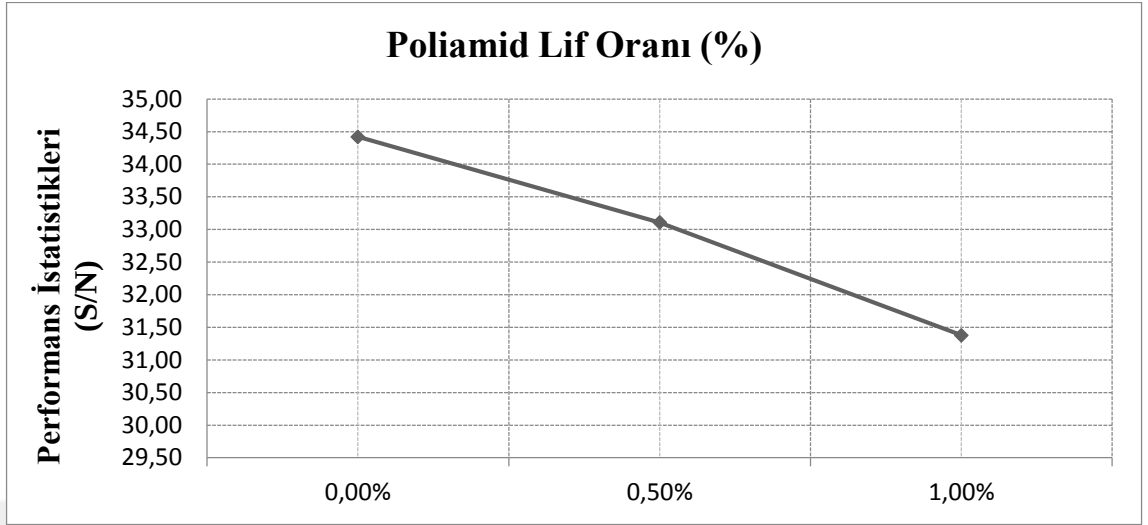
Şekil 4.1'de de görüldüğü üzere işlenebilirlik açısından Su/Bağlayıcı yüzdesinin artmasıyla birlikte işlenebilirliğe paralel olarak beton mukavemetinin optimum seviyeye kadar arttığı gözlemlenmektedir. Ancak Su/Bağlayıcı oranının optimum yüzdesinden sonraki artışı, mukavemeti azaltıcı yönde etki ettiği görülmektedir. Bunun sebebi ise su oranının priz için gerekli miktarın üstüne çıkması ve dolayısıyla karışımdaki boşlukların artmasıdır. Şekilden de anlaşılacağı üzere Su/Bağlayıcı oranının artması belli bir seviyeye

kadar olumlu sonuç vermekte iken, bu seviyenin üstünde olumsuz sonuçlara neden olmaktadır.



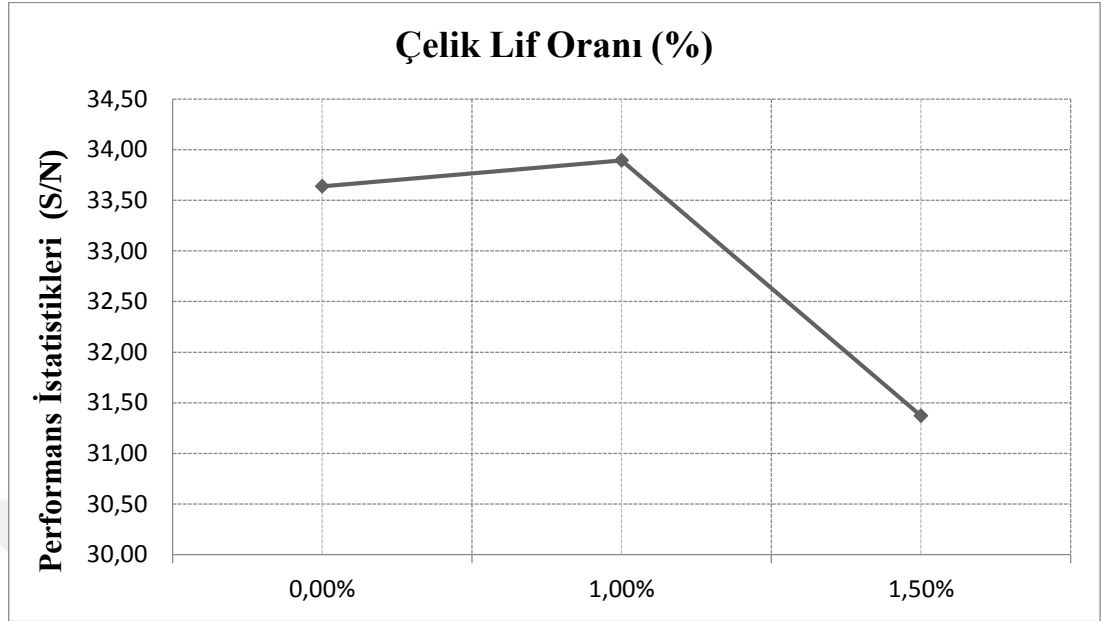
Şekil 4.2. Silis Dumanı performans istatistikleri

Silis dumanının karışıma katıldığı yüzdelere ve performansına bakıldığında maksimum seviyesine %5 değerinde ulaştığı görülmektedir. Bu değer daha altında da daha üstünde de olması halinde basınç mukavemetinin olumsuz etkilendiği görülmektedir. %5 değerinin altında düşük performans sergilemesinin sebebi ince taneli olmasından kaynaklanmaktadır. Çimentodan daha küçük yapıda olan silis dumanının daha az boşluklu bir betona imkân tanımaktadır. Ancak optimum seviyeden sonraki durumda ince taneli yapısından dolayı su ihtiyacı fazla olan silis dumanı karışıma daha fazla su muhtevasına yol açtığı için basınç dayanımında düşüşe yol açmaktadır. Silis dumanının çok az kullanılması da çok fazla kullanılması da basınç mukavemeti açısından olumsuz sonuç doğurmaktadır.



Şekil 4.3. Poliamid Lif oranı performans istatistikleri

Şekil 4.3'e bakıldığında poliamid lif oranının birinci seviyesinde maksimum değeri verdiği görülmektedir. C1 seviyesinde ise karışıma hiç poliamid lif katılmadığı görülmektedir. Dolayısıyla basınç mukavemeti üzerinde olumlu etkisi olmadığı anlaşılmaktadır. Bunun sebebi olarak ise işlenebilirliği zorlaştırdığı için betonun içinde boşlukların meydana gelmesidir. Poliamid lifin çelik liften farklı olarak su ile çok az bile olsa bir ilişkisinin olduğu, belli bir su emme yüzdesinin olduğu göz önünde bulundurulduğunda mukavemete olumsuz yönde etki ettiği görülmektedir. Eve vd. (2006) yaptıkları çalışmada, poliamid liflerin su ve kalsiyum iyonlarını absorbe ettiğini, bu da matrisin potansiyel hidrasyonunun yaklaşık %20 azalmasına neden olduğunu söylemişlerdir.



Şekil 4.4. Çelik Lif oranı performans istatistikleri

Çelik liflerin basınç mukavemeti üzerindeki maksimum olumlu etkisi D2 yani karışıma %1 oranında katıldığı seviyesidir. Çelik liflerin % 1'den daha fazla kullanıldığı halde işlenebilirliği olumsuz etkilediği dolayısıyla boşluklu bir yapıya yol açtığı ve mukavemeti düşürdüğü görülmektedir.

4.2. Eğilme Mukavemeti Deneyi Sonuçları

28 günlük eğilme mukavemeti deneylerinin sonuçları Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. 28 günlük eğilme mukavemeti deney sonuçları

Deney No	Deney Sonucu (MPa)	Performans İstatistiği (S/N)
1	3,05	9,686
2	3,54	10,980
3	2,01	6,064
4	4,15	12,361
5	3,7	11,364
6	4,33	12,730
7	3,36	10,527
8	5,05	14,066
9	3,58	11,078

Çizelge 4.5'te verilen eğilme mukavemeti deney sonuçları, eşitlik 1 yardımıyla S/N değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.5'de verilmiştir. Parametrelerin optimum seviyelerinin belirlenmesi için ortalama S/N etkilerinin hesaplanması gerekmektedir. Ortalama S/N etkileri Çizelge 3.11 ve 4.5 kullanılarak, her bir parametrenin ilgili seviyelerine karşılık gelen S/N değerlerinin ortalamalarının alınmasıyla hesaplanarak Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Ortalama S/N etkileri

	Su/Bağ	SD	Poliamid Lif	Çelik Lif
1. Seviye	8,910	10,858	12,161	10,709
2.Seviye	12,152	12,137	11,473	11,412
3.Seviye	11,890	9,957	9,318	10,830

Eğilme mukavemetini maksimum yapan parametre seviyeleri ve bunların katkı yüzdeleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Performans tahminleri

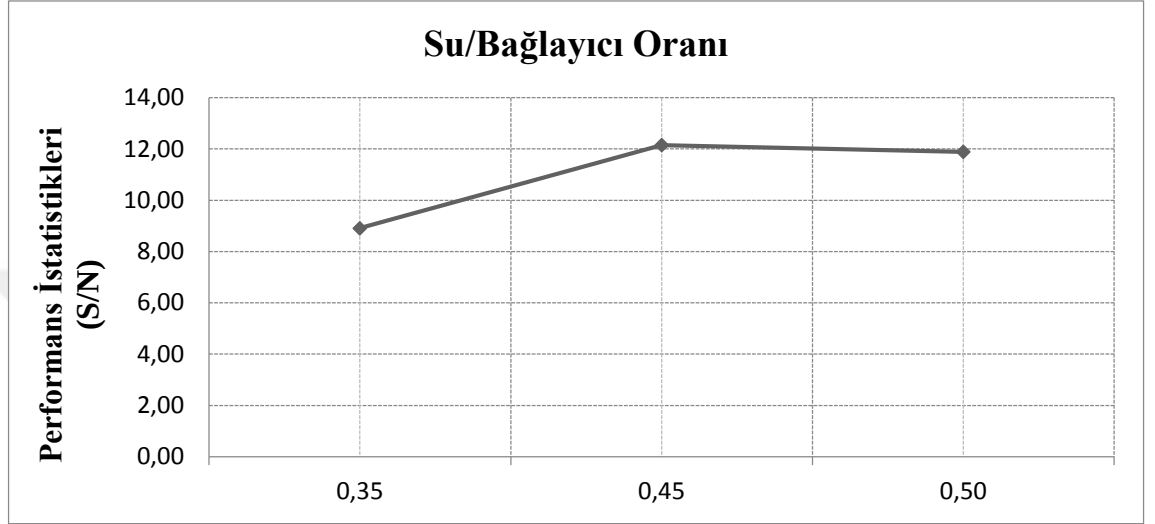
Factors	Levels No	Contribution to the S/N
Su/Bağ	A2	1,168
SD	B2	1,153
Poliamid Lif	C1	1,177
Çelik Lif	D2	0,428
Tüm Faktörlerin Katkısı (S/N)		3,926
Ortalama Performans İstatistiği (S/N)		10,984
Optimum Şartlarda Beklenen Değer (S/N)		14,910
Doğrulama Deneyi Sonucu (S/N) / (MPa)		13,71 / 4,85
Güven Aralığı ($\alpha=95\%$) (S/N)		13,703 - 16,117

Deney sonuçları incelendiğinde, en yüksek eğilme dayanımı sağlayan parametrelerin A2, B2, C1, D2 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde eğilme mukavemeti üzerine en büyük etkisi olan parametrelerin sırasıyla Poliamid lif, Su/Bağlayıcı oranı, Silis Dumanı ve Çelik lif olduğu görülmektedir. Çizelge 3.12’de verilen deney planına bakıldığında, eğilme mukavemetini en yüksek yapan tasarımın olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla, elde edilen bu sonucun doruluğunu belirlemek için A2, B2, C1, D2 kombinasyonunu içeren doğrulama deneyinin yapılması gerekmektedir. En yüksek dayanımı veren kombinasyonun numuneleri hazırlanmış, 28 gün uygun kür şartlarında muhafaza edilmiş ve testlere tabi tutulmuştur. Testlerin neticesinde ortalama 4,85 MPa eğilme mukavemeti elde edilmiştir. Bu değer S/N karşılığı 13,715’tir. Ancak, bu değer bir nokta tahmini olduğundan, bu değer bir güven aralığı içerisinde olması gerekmektedir. %95 güven seviyesi göz önünde bulundurulduğunda hesaplanan S/N değerinin 13,703 ile 16,117 arasında olması gerekmektedir. 13,715’lik S/N değerinin %95 güven seviyesinde doğru olduğu görülmüştür.

4.2.1. Eğilme dayanımı sonuçlarının değerlendirilmesi

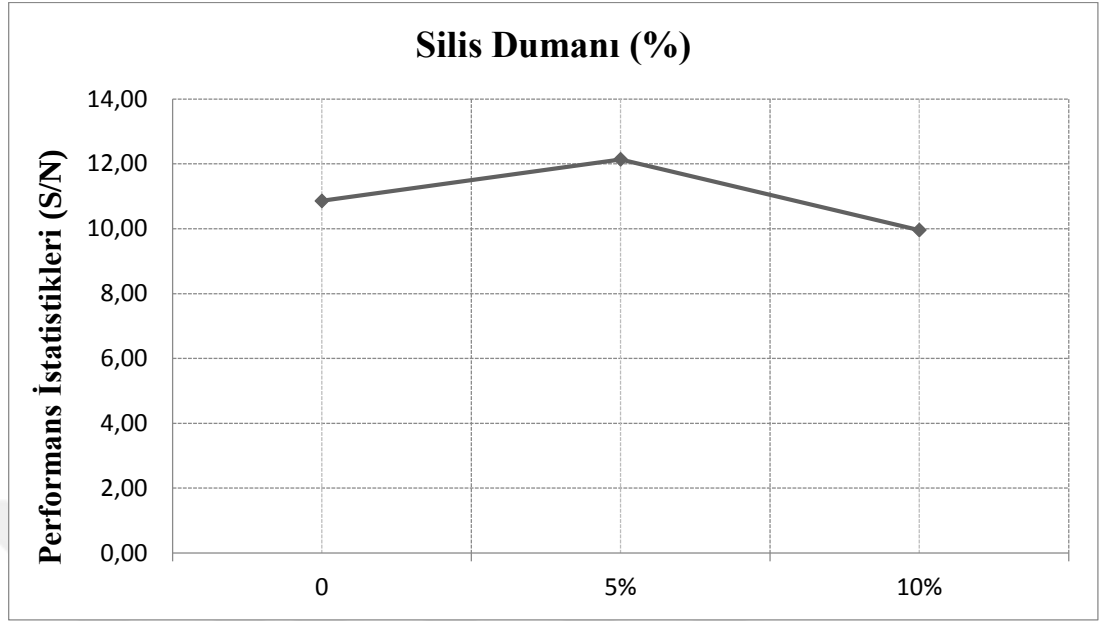
Yapılan eğilme mukavemeti değerlerine bakıldığında maksimum eğilme mukavemetinin sağlandığı seviyelerin Su/Bağlayıcı oranı için 2. seviyede, silis dumanı için 2. seviyede,

poliamid lif için 1. seviyede ve çelik lif için 2. seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Numune grupları üzerinde yapılan eğilme mukavemeti testlerinin sonuçları her parametrede ayrı değerlendirilmek üzere Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



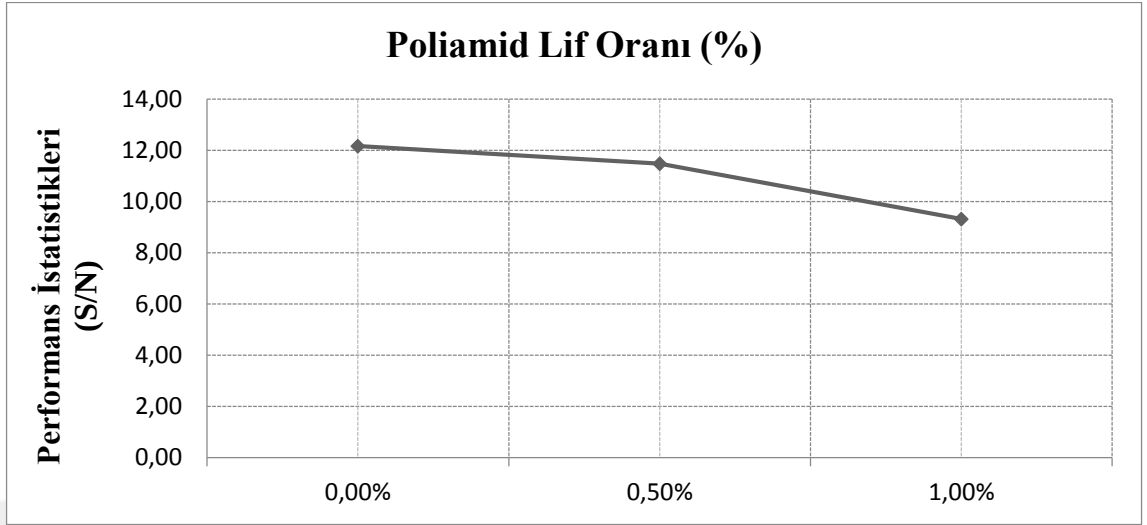
Şekil 4.5. Su/Bağlayıcı oranı istatistikleri

Su/Bağlayıcı oranının eğilme mukavemeti üzerindeki etkisini gösteren Şekil 4.5 incelendiğinde en yüksek değeri veren oranın 0,45 olduğu görülmektedir. Su/Bağlayıcı oranının işlenebilirlik üzerindeki olumlu etkileri ve betonda boşluğa yol açma gibi olumsuz etkileri birlikte değerlendirildiğinde Su/Bağlayıcı oranının az ya da fazla olması durumlarının her ikisinde de olumsuz sonuçlara yol açacağı kaçınılmazdır. Ancak, 0.45 ile 0.50 değerlerine ait S/N değerleri birbirlerine çok yakın olduğundan, her iki seviyenin de kullanılabileceği söylenebilir.



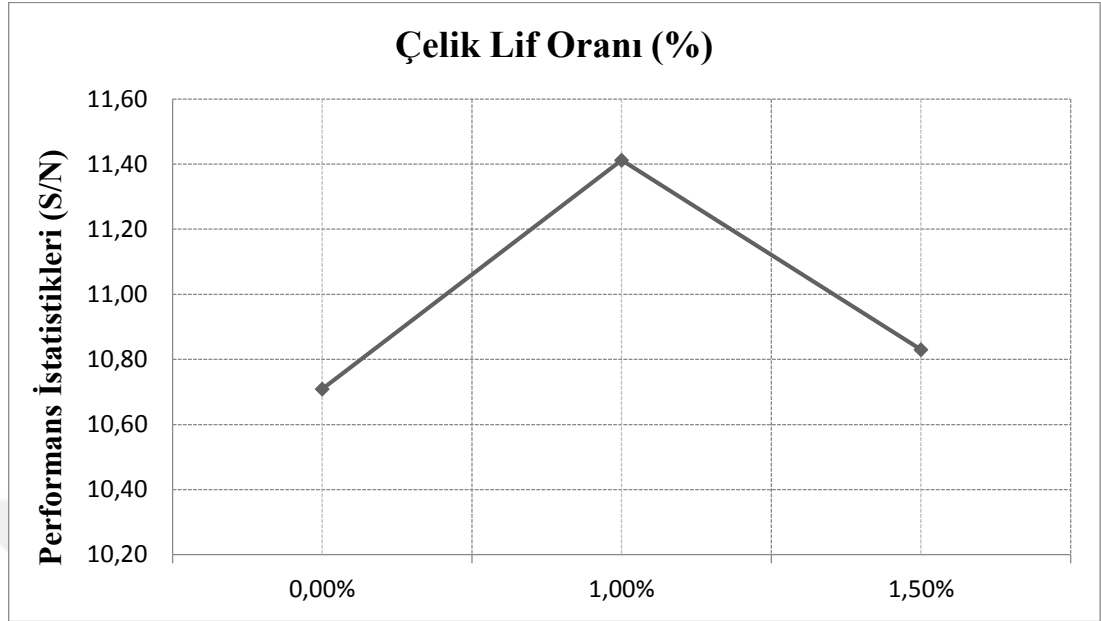
Şekil 4.6. Silis Dumanı oranı istatistikleri

Silis dumanının eğilme dayanımı üzerindeki en yüksek katkısı %5 oranında gözlemlenmektedir. Oranın %5'in altında olması halinde betondaki küçük gözeneklerin tam doldurulamamasına yol açtığı için eğilme dayanımını düşürmektedir. %5'den fazla silis dumanının kullanılması ise malzemenin suya olan ihtiyacından ötürü karışıma fazla su girmesi durumuna yol açıp eğilme dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Test sonuçlarına bakıldığında Su/Bağlayıcı oranının 0,45 silis dumanının ise %5 olduğu grupta maksimum değer elde edildiği görülmüştür. Aynı zamanda, deneylerde kullanılan Poliamid lif, bünyesine su aldığından, ortamda hidratasyon için yeterli su bulunamayacaktır. Bu nedenle silis dumanının üçüncü seviyesi olan %10 maksimum mukavemeti vermediği düşünülmektedir.



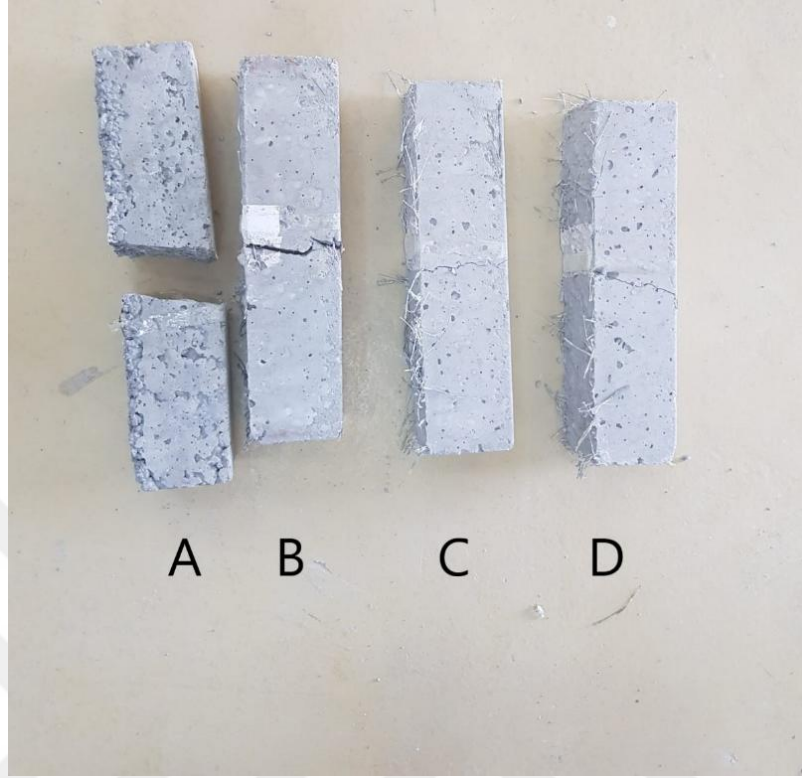
Şekil 4.7. Poliamid lif oranı istatistikleri

Şekil 4.7 incelendiğinde poliamid lifin en yüksek eğilme mukavemet değerini birinci seviyesinde sağladığı görülmektedir. Poliamid lifin işlenebilirlik üzerindeki olumsuz etkileri ve su emme ihtiyacının fazla olması bir araya getirildiğinde karışımda kullanılmasının eğilme mukavemeti üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu göstermiştir. Polipropilen lifler ile yapılan beton karışım test sonuçları incelendiğinde, betonun mekanik özellikleri üzerine belli bir seviyede katkı sağladığı görülmüştür (Tunçel 2018). Ancak, bu çalışmada yapılan testler sonucunda, poliamid liflerin olumlu etkisi gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.8. Çelik Lif oranı istatistikleri

Çelik lifler göz önüne alındığında eğilme mukavemetinin en yüksek değerinin D1 seviyesinde yakalandığı görülmektedir. %1 oranında çelik lif kullanıldığı takdirde maksimum eğilme dayanımı elde edilmiştir. %1'in üzerinde çelik lif kullanımı işlenebilirlik açısından zorluk teşkil etmekte, dolayısıyla betonda boşluklara sebebiyet verdiği için eğilme dayanımını olumsuz etkilemektedir.



Şekil 4.9. Eğilme deneyi sonrası prizmatik numuneler

Şekil 4.9 incelendiğinde maksimum yük taşıma değerlerinden sonraki deformasyonları görülmektedir. Bu numunelerden A numunesi lifsiz, B numunesi çelik lifli, C numunesi poliamid lifli, D numunesi ise hem çelik hem poliamid liflidir. A numunesinde lif olmadığı için beton gevrek olarak kırılmıştır. B, C ve D numunelerinde gerek çelik lif, gerekse poliamid lif betonun gevrek kırılmasını önlemiş, sünekliliğini artırmıştır. Maksimum eğilme dayanımları farklı olsa bile poliamid lif kullanılan numunelerde deformasyonun ve çatlak boyutlarının minimum olduğu sünek bir davranış gözlemlenmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Gelişen malzeme teknolojisiyle birlikte ülkemizde ve dünyada beton kullanımı artan bir öneme sahiptir. Beton kullanımının önemli olduğu alanlardan birisi de beton yollardır. Ülkemizin asfalt ham maddesi olan petrol açısından dışa bağımlı olması göz önüne alındığında, beton yolların yaygınlaşması dışa bağımlılığı azaltmak açısından önem arz etmektedir. Asfalt yollar ile karşılaştırıldığında dezavantajları ve avantajları olduğu görülmektedir. Asfalt yol kaplamaları esnek kaplama olduğu için üzerine gelen yükleri beton yollara göre daha yüksek değerlerde alt yapıya iletmektedir. Bu durum asfalt yollarda çabuk deformasyona sebebiyet vermektedir. Beton yollarda ise betonun yapısı gereği rijit davranış sergilediği için dingil yüklerinin zemine daha az iletmektedir. Böylece altyapıda yüklerden kaynaklı deformasyonları minimuma indirmektedir. Beton yollar bu davranışı sergilerken bir kiriş gibi performans göstermektedir. Dolayısıyla lif katkısı olmayan ya da donatısız beton yollarda eğilme dayanımının düşük olması sebebiyle çatlamalara ve işlev kayıplarına rastlanmaktadır. Betonun bu dezavantajını ortadan kaldırılması için çalışmalar hızla devam etmektedir. Bu çalışmada ise betonun eğilme mukavemetinin geliştirilmesi amaçlanmış olup bunu da silis dumanı, poliamid lif ve çelik lif kullanarak testlere tabi tutulmuştur. Benzer çalışmalarda kullanılan bu malzemelerin farklı oranlarda kullanılması ile optimum kullanım oranı tespit edilmeye çalışılmıştır. Optimum değerlerin hesaplanabilmesi için Taguchi Metodundan faydalanılmıştır. Yapılan çalışmaların neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- En yüksek basınç dayanımı değeri, Taguchi Metodu yardımıyla öngörülen optimum karışım deneyinde 68,85 MPa ile elde edilmiştir. Bu deneyde, silis dumanı %5, Su/Bağlayıcı 0,45 ve çelik lif %1 oranlarında kullanılmıştır.
- En yüksek eğilme dayanımı ise 4,85 MPa ile optimum şartları veren deney kombinasyonu ile elde edilmiştir.
- Optimum basınç ve eğilme dayanımlarında poliamid lif kullanılmamıştır. İşlenebilirliğe olumsuz etkileri olduğu ve beton içinde boşluklara yol açtığı aynı zamanda bünyesine su aldığı için basınç mukavemetini olumsuz yönde etkilemiştir.

- Su/Bağlayıcı oranı maksimum basınç ve maksimum eğilme mukavemeti karışımında 0,45 olarak kullanılmıştır.
- Maksimum değerleri sağlayan karışımında silis dumanı %5 oranında kullanılmıştır. Silis dumanının bu oranın altında ve üstünde kullanıldığı takdirde gerek eğilme gerekse basınç mukavemetini düşürdüğü tespit edilmiştir.
- Optimum çelik lif oranı %1 olup bu değer üstünde veya altında bir değerde kullanıldığında dayanımların azaldığı gözlemlenmiştir.
- Basınç mukavemetinde ve eğilme mukavemetinde en etkin parametre olarak poliamid lif kullanımı tespit edilmiştir. Poliamid lifin karışıma katılım yüzdesi arttıkça dayanımlarda azalma gözlemlenmiştir.
- Eğilme deneyine tabi tutulan numuneler incelendiğinde maksimum gerilme altında; lifsiz numunede tamamen kırılma, çelik lif kullanılan numune de eğilme çatlaklarının maksimum seviyede olduğu, poliamid liflerin kullanıldığı numunelerde her ne kadar düşük dayanım göstermiş olsa bile en az eğilme çatlaklarına rastlanılmıştır.
- Optimum şartlarda basınç mukavemetinde %35'lik bir artış elde edilirken eğilme mukavemetinde ise %59'luk bir artış gözlemlenmiştir.
- Karışımında sadece çelik lif kullanıldığında, eğilme mukavemetinde %8'lik bir artış gözlemlenmiştir.
- Karışımında maksimum oranda sadece poliamid lif kullanılması durumunda ise eğilme mukavemetinde yaklaşık %28'lik bir azalma gözlemlenmiştir.
- Karışımında %0,5 poliamid lif ve %1 çelik lif kullanılması durumunda ise eğilme mukavemetinde herhangi bir artış veya azalış gözlemlenmemiştir. Aynı karışıma %5 oranında silis dumanı katılması durumunda ise eğilme mukavemetinin %16 oranında arttığı gözlemlenmiştir.
- Karışımında sadece çelik lif kullanıldığında, basınç mukavemetinde %3'lük bir artış gözlemlenmiştir.
- Karışımında maksimum oranda sadece poliamid lif kullanılması durumunda ise basınç mukavemetinde yaklaşık %30'luk bir azalma gözlemlenmiştir.
- Karışımında %0,5 poliamid lif ve %1 çelik lif kullanılması durumunda ise basınç mukavemetinde %12'lik bir azalma gözlemlenmemiştir. Aynı karışıma %5 oranında silis

dumanı katılması durumunda ise basınç mukavemetinin %5 oranında arttığı gözlemlenmiştir.

- Neticelerin literatürle uyuşmuş olması, poliamid ve çelik liflerin kullanıldığı yol betonları tasarımında taguchi metodunun uygulanabilirliğini göstermektedir.

Bu çalışmada 3 farklı Su/Bağlayıcı oranında, 3 farklı silis dumanı oranında, 3 farklı poliamid oranında ve 3 farklı çelik lif oranında numuneler üzerinde deneyler yapılmış olup sonraki çalışmalarda bu bileşenlerin farklı karışım oranlarında farklı dayanımlar test edilebilir. Ayrıca bu çalışmada poliamid lif tasarımın içerisine 54 mm uzunluğundaki parçalar halinde kullanılmıştır. Bunun yerine poliamidin farklı boyutları kullanılarak boyut etkisi test edilebilir.

KAYNAKLAR

- Ağar, E., Süttaş, İ. ve Öztaş, G., 1998. Beton Yollar, 1. Baskı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, 339, İstanbul
- Akkaş, A., Alpaslan, L., Arabacı, S., & Başıyigit, C. (2010). Polipropilen Lif Katkili Yarı Hafif Betonların Basınç Dayanımı Özellikleri. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 2(1), 9-14.
- Akman, M.S., 1998. İleri Beton Teknolojisi Ders Notları, s 115, İstanbul.
- Altun, F., 2006. Experimental Investigation Of Lightweight Concrete With Steelfiber. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 12(3), 333-339.
- Alyousif, A. (2010). *Design and Testing of Fiber Reinforced Self Compacting Concrete* (Doctoral dissertation, Eastern Mediterranean University (EMU)).
- Aulia, T.B., 2002. Effects of Polypropylene Fibers on the Properties of High- Strength Concretes. *Lacer No.7*:43-59.
- Baradan, B., Yazıcı H. ve Ün H., 2002. Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite). Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Yayın no 298, 282s, İzmir.
- Betterman, L.R., Quyang C., and Shah S.P. (1995). Fiber-Matrix Interaction in Microfiber-Reinforced Mortar, *Adv. Cem. Bas.*, 2,s:53-61.
- Bayrak, O.Ü., 2002. Uçucu Kül Ve Silis Dumanı İçeren Yol Betonu Karışımlarının Bazı Mekanik Özelliklerinin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum.
- Can, O., Durmuş, G., Subaşı, S., Yıldız, K., & Arslan, M. (2009). Lif katkılı betonların aşınma direnci üzerindeki etkileri. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09). Lif Katkılı Betonların Aşınma Direnci Üzerindeki Etkileri, 2009, Karabük
- Çivici, F., & Eren, İ. (2004). Çelik lifli betonun direkt çekme dayanımının ölçülmesi üzerine deneysel bir çalışma. *Türkiye mühendislik haberleri sayı 434-2004*, 6.
- Dmaks DARACEM 1018 M'nin teknik özellikleri. 2018
- Erdoğan, Turhan Y. Erdoğan ISBN 975-7064-67-X 1. Concrete I. Title TA439.E73
- Erten, E., Yalçinkaya, Ç., Beglarigale, A., Yiğiter, H., & Yazıcı, H., 2017. Erken yaş büzülme çatlaklarının lif içeren/içermeyen ultra yüksek performanslı betona gömülü donatı korozyonuna etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(4).
- İMO Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 427-2003/**
- Eve, S., Gomina, M., Hamel, J., & Orange, G. (2006). Investigation of the setting of polyamide fibre/latex-filled plaster composites. *Journal of the European Ceramic Society*, 26(13), 2541-2546.
- Jeon, J., Kim, W., Kim, G., & Jeon, C., 2016. Polyamide fiber reinforced shotcrete for tunnel application. *Materials*, 9(3), 163.
- Karabulut, M. Y., 2017. *Sentetik lifin ultra yüksek dayanımlı betonarme kirişlerin eğilme davranışına etkisinin incelenmesi* (Master's thesis), Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

- Karahan, O., 2006, Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu küllü Betonların Özellikleri, Adana, Doktora Tezi
- Karatas, M., & Gunes, A. (2015). Engineering properties of self-compacting concrete produced by polypropylene and steel fiber. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 59(2), 95-102
- Korkut, F., Türkmenoğlu, Z. F., Taymuş, R. B., & Güler, S., 2017. Çelik ve Sentetik Liflerin Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 560-570.
- Kozak, M., & Osman, Ü. N. A. L. 2014. Bazalt Agregası ile Üretilen Beton Travers de Çelik Lifin Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(3), 15-21
- Kim, H., Kim, G., Gucunski, N., Nam, J., & Jeon, J., 2015. Assessment of flexural toughness and impact resistance of bundle-type polyamide fiber-reinforced concrete. *Composites Part B: Engineering*, 78, 431-446.
- Kim, H., Kim, G., Lee, S., Son, M., Choe, G., & Nam, J. (2019). Strain rate effects on the compressive and tensile behavior of bundle-type polyamide fiber-reinforced cementitious composites. *Composites Part B: Engineering*, 160, 50-65.
- Osman, Ü. N. A. L., Uygunoğlu, T., & Gençel, O., 2007. Çelik Liflerin Beton Basınç ve Eğilme Özelliklerine Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1), 23-30.
- Sağlık, A., & Kocabeyler, M. F. (1998). Polipropilen Lifle Güçlendirilmiş Betonların Performans Özellikleri. Beton-Çimento ve Boya Sempozyumu, Ankara, 133-148.
- Soroushian, P., & Bayasi, M. Z. (1990). U.S. Patent No. 4,902,347. Washington, DC:U.S. Patent and Trademark Office.
- Tongarlak, İ. (2018). *Polipropilen liflerin beton ve donatı arasındaki aderansa etkisi/Polypropylene fibers between concrete and equipment adherence effect* (Doctoral dissertation)
- Topçu, İ. B., & Boğa, A. R. (2005). Uçucu kül ve çelik liflerin beton ve beton borularda kullanımı. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(2), 1-14.
- Tunç, A., 2001. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları (Kaplama ve Zeminin Islahı – Dizayn ve Yapım Metotları), Atlas Yayın Dağıtım yayını, s. 44, İstanbul.
- Tunçel, M.U., 2018. Polipropilen Lif ve Kevlar ile Üretilen Yol Betonlarının Taguchi Metoduyla Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi. Erzurum.
- Türker, K., Birol, T., Yavaş, A., & Hasgöl, U. (2016). Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton İçeren Kirişlerde Etkin Çelik Lif Tipi İncelemesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3), 776-785.
- Ünal, B., Köksal, F., & Eyyubov, C. (2003). Polipropilen ve Çelik Liflerin Yol Kaplama Betonlarının Mekanik ve Dürabilite Özelliklerine Etkisi. *Türkiye İnşaat Mühendisliği On Yedinci Teknik Kongre ve Sergisi, İstanbul*.
- Yaprak, H., Şimşek, O., & Aydın, Ö. N. E. Ş. (2004). Cam ve çelik liflerin bazı beton özelliklerine etkisi. *Politeknik Dergisi*, 7(4), 353-358.
- Yıldırım, H., Sertbaş, B., & Berbergil, V. (2007). Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Polipropilen ve Çelik Lif Kullanılmasının İşlenebilirliğe Etkisi. *7. Ulusal Beton Kongresi*, 28-30

Yıldız, S., Bölükbaş, Y., & Keleştemur, O. (2010). Cam Elyaf Katkısının Betonun Basınç ve Çekme Dayanımı Üzerindeki Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 13(3), 239-243.



ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Muş'ta doğdu. İlköğretimini ve lise öğretimini Muş'ta tamamladı. 2006 yılında yerleştiği İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2011 yılında mezun oldu. 2012 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

