

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ULTRA YÜKSEK PERFORMANSLI BETON İLE
ŞEHİR MOBİLYASI ÜRETİLMESİ



Beyda SARGIN

Ekim, 2019

İZMİR

ULTRA YÜKSEK PERFORMANSLI BETON İLE ŞEHİR MOBİLYASI ÜRETİLMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Malzemesi Programı

Beyda SARGIN

Ekim, 2019

İZMİR

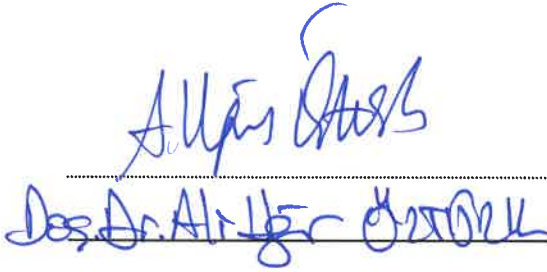
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

BEYDA SARGIN, tarafından **PROF. DR. HALİT YAZICI** yönetiminde hazırlanan **“ULTRA YÜKSEK PERFORMANSLI BETON İLE ŞEHİR MOBİLYASI ÜRETİLMESİ”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

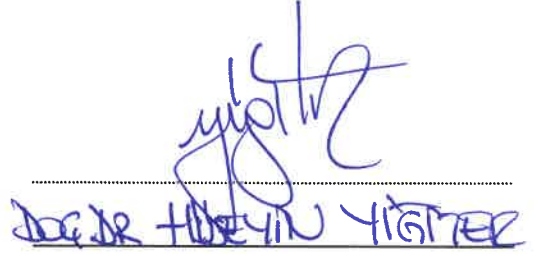


Prof. Dr. Halit YAZICI

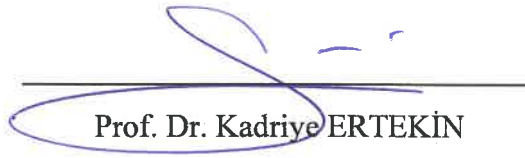
Yönetici



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi birikimi ve tecrübeleri ile destek olan danışman hocam sayın Prof. Dr. Halit YAZICI'ya sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

7150439 nolu 1507 Kobi – Arge Başlangıç Destek Programı projesi ile Arge çalışmamıza destekleri için Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalar süresince yardımları için Dr. Çağlar YALÇINKAYA ve Dr. Ahsen BEGLARIGALE'ye teşekkür ederim.

Proje süresince tüm imkânlarını seferber eden, ekibinin bir parçası olmaktan gurur duyduğum Sargın Prefabrik Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye ve büyük özveri ile proje süresince tüm çalışmalara destek veren Sargın Ekibine teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesindeki katkıları ve motivasyon desteğinden dolayı değerli meslektaşım ve kardeşim Houtan VAHEDI'ye teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olup desteklerini esirgemeyen çok değerli aileme özellikle arge çalışmaları konusunda beni cesaretlendiren ve imkân sağlayan sevgili babama teşekkürü bir borç bilirim. Hayatımın her alanında olduğu gibi, tez çalışmamı hazırlarken de bana yardımcı olan sevgili eşim ve meslektaşım Houtan VAHEDI'ye sonsuz teşekkür ederim.

Beyda SARGIN

ULTRA YÜKSEK PERFORMANSLI BETON İLE ŞEHİR MOBİLYASI ÜRETİLMESİ

ÖZ

Kent mobilyaları, hem tasarım hem üretim materyali açısından son yıllarda önem verilen, hakkında araştırmalar ve uluslararası yarışmalar düzenlenen bir konudur. Sadece bir ihtiyaç değil, aynı zamanda eğitim ve refah seviyesi artan toplumlarda estetiğe ve sanata verilen değerin artması sonucu ortaya çıkan bir arayıştır. İnsanlar, yaşam alanları olarak benimsedikleri park, bahçe, kent merkezi vb kamusal alanlarda kent kimliğini yani o kentin sahip olduğu sosyal, kültürel ve ekonomik özelliklerinin yanı sıra günümüz ihtiyaçlarına hitap edecek teknolojik, kullanımı kolay ve engelsiz donatılar talep etmektedirler. Bu ihtiyaç ve beklentiye, tasarımcılar tasarladıkları ürünlerle cevap verirken farklı materyaller denemiştir. Bu çalışmada Reaktif pudra beton (RPB) ve ultra yüksek performanslı beton (UYPB) ile kent mobilyası üretilmesi konusunda tasarım ve uygulama çalışmaları yapılmıştır. Farklı kalıp malzemeleri ile çalışılarak işlenebilirlik, yüzey görünümü, kalıp performansı üzerine değerlendirmeler yapılmıştır. RPB ve UYPB üstün dayanım ve dayanıklılık özelliklerine sahip yeni nesil kompozitlerdir. Geliştirilen ürünlerde klasik beton yerine RPB ve UYPB karışımları kullanılabilir hale getirilerek, daha estetik, farklı tasarımlara uygulanabilen, zor çevre koşullarına ve vandalizme dayanıklı, uzun ömürlü, daha hafif, hacmi daha az, nakliye ve montajı kolay kent mobilyaları ve donatıları üretme imkânı sunulmuştur. Çalışma boyunca küçük kalıplar kullanılarak geliştirilen RPB ve UYPB karışımlarının dökülmesi ve karıştırma, yerleştirme, vibrasyon ve kürle, ürün yüzey performansına etkisi araştırılmıştır. Ayrıca söz konusu kompozitlerin ürüne göre özelleştirilmesi, fonksiyonellik katma, prototip ürün üretimi ve prototip üründe ürün kalitesi ve performans testleri yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Reaktif pudra beton, ultra yüksek performanslı beton, prefabrik beton elemanları, beton kent mobilyaları

PRODUCTION OF CITY FURNITURE WITH ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETE

ABSTRACT

Urban furniture has been a subject of research and international competitions in recent years. It is not only a need, but also a quest that arises as a result of increasing the value given to aesthetics and art in societies with increasing levels of education and welfare. People are demanding technological, easy-to-use and unobstructed equipment that will address today's needs, as well as the social identity of the city in public spaces such as parks, gardens, city centers, etc., which they adopt as living spaces. While responding to these needs and expectations with the products they designed, the designers tried different materials. In this study, urban furniture design and production studies were carried out with reactive powder concrete (RPB) and ultra high performance concrete (UYPB). Evaluations were made on workability, surface appearance and mold performance by working with different mold materials. Ultra High Performance Concrete (UYPB) are new generation composite with superior strength and durability properties. Developed products with RPC and UHPC instead of classic concrete, more aesthetic, resistant to harsh environmental conditions and vandalism, durable, lighter, less volume, easy to transport and easy to assemble urban furniture are offered to produce. The pouring of RPC and UHPC developed mixtures into small molds and the effect of mixing, placing, vibration and curing on product surface performance was investigated. In addition, RPC and UHPC was customized according to the product, added functionality, prototype product production and product quality and performance tests were performed on the prototype product.

Keywords: Reactive powder concrete, ultra high performance concrete, precast concrete elements, concrete urban furnitures

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi

BÖLÜM BİR - GİRİŞ VE LİTERATÜR TARAMASI..... 1

1.1 UYPB Özellikleri	3
1.2 UYPB Özelliklerini Etkileyen Faktörler	5
1.2.1 Çimentonun Tipinin Etkisi.....	5
1.2.2 Su İçeriğinin Etkisi.....	5
1.2.3 Agregaların Etkisi	6
1.2.4 Mineral Katkıların ve Kür Türünün Etkisi.....	7
1.2.5 Kent Mobilyaları	8

BÖLÜM İKİ - MALZEMELER VE DENEYLER..... 10

2.1 Kullanılan Malzemeler	11
2.1.1 Çimento	11
2.1.2 Puzolan	12
2.1.3 Agregası	14
2.1.4 Kimyasal Katkıları	16
2.1.5 Mikro Lifler.....	17
2.1.6 Kalıplar.....	17
2.2 Karışım Tasarımları.....	19
2.2.1 Su/Bağlayıcı Oranının Araştırılması	22
2.2.2 Agregası-Hamur Fazının Araştırılması.....	23
2.2.3 Farklı Çimento Tiplerinin Araştırılması.....	24

2.2.4	Puzolan İkamesi- Silis Dumanı Oranının Araştırılması.....	24
2.2.5	Puzolan İkamesi- Uçucu Kül Oranının Araştırılması	26
2.2.6	Puzolan İkamesi- Yüksek Fırın Cürufu Oranının Araştırılması	26
2.2.7	Mikro Liflerin Oranlarının Araştırılması	27
2.2.8	Çevresel Etkilere Karşı Dayanıklılığın Araştırılması.....	28
2.3	Kullanılan Cihazlar Ve Yöntem.....	29
2.3.1	Beton Mikserleri.....	29
2.3.2	Yayılma Tablası	31
2.3.3	Basınç ve Eğilme Deneyleri Test Cihazı.....	32
BÖLÜM ÜÇ - DENEY SONUÇLARI		34
3.1	Su/Bağlayıcı Oranının Araştırılması Deney Sonuçları	34
3.2	Agrega-Hamur Fazının Araştırılması Deney Sonuçları	36
3.3	Silis Dumanı Oranının Araştırılması Deney Sonuçları	41
3.4	Uçucu Kül Oranının Araştırılması Deney Sonuçları.....	43
3.5	Yüksek Fırın Cürufu Oranının Araştırılması Deney Sonuçları.....	44
3.6	Mikro Liflerin Oranlarının Araştırılması Deney Sonuçları.....	46
3.7	Çevresel Etkilere Karşı Dayanıklılığın Araştırılması Deney Sonuçları.....	48
BÖLÜM DÖRT - PROTOTİP ÜRÜNÜN TASARLANMASI- ÜRETİMİ- KALIP TÜRÜ VE YÜZEY KALİTESİNİN ARAŞTIRILMASI.....		51
BÖLÜM BEŞ - PROTOTİP ANALİZ VE DENEYLERİ.....		73
5.1	Prototip Analizi	73
5.2	Prototip Deneyleri	78
5.3	Hedeflenen İnceltilmiş Ürünün Üretilmesi	83
BÖLÜM ALTI - SONUÇLAR VE ÖNERİLER		87
KAYNAKLAR		90

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 RPB'nin eğilme davranışı.....	4
Şekil 1.2 Yoğunluk su / bağlayıcı oranı grafiği	6
Şekil 2.1 Deneysel çalışma şeması.....	10
Şekil 2.2 Shore A45 poliüretan kalıp	19
Şekil 2.3 Shore A65 poliüretan kalıp	19
Şekil 2.4 Karışımların deneysel çalışmalarına ait akış şeması.....	21
Şekil 2.5 Buhar Kürü Rejimi.....	21
Şekil 2.6 Hazırlanan beton numuneler	23
Şekil 2.7 40x40x160 mm kalıpların doldurulması.....	25
Şekil 2.8 Beton mikseri- 40 lt	30
Şekil 2.9 Beton mikseri- 250 lt	31
Şekil 2.10 Yayılma Tablası.....	31
Şekil 2.11 Basınç ve eğilme test cihazları.....	32
Şekil 2.12 Numune kalıpları	32
Şekil 2.13 Basınç deneyi.....	33
Şekil 2.14 Eğilme deneyi	33
Şekil 3.1 Tablo 2.14'teki tasarımlara ait basınç dayanım değerleri.....	35
Şekil 3.2 Tablo 2.14'teki tasarımlara ait eğilme dayanım değerleri	36
Şekil 3.3 Agreg a hacmi %40 olan karışımın yayılma değeri.....	37
Şekil 3.4 Agreg a hacmi %55 olan karışımın yayılma değeri.....	37
Şekil 3.5 Tablo 2.15'teki tasarımlara ait basınç dayanım değeri.....	38
Şekil 3.6 Tablo 2.15'teki tasarımlara ait eğilme dayanım değeri	39
Şekil 3.7 Tablo 2.15'teki tasarımlara ait su emme oranları	39
Şekil 3.8 Tablo 2.16'daki tasarımlara ait basınç dayanım değeri.....	40
Şekil 3.9 Tablo 2.16'daki tasarımlara ait eğilme dayanım değeri	41
Şekil 3.10 Tablo 2.17'daki tasarımlara ait basınç dayanım değeri.....	42
Şekil 3.11 Tablo 2.17'daki tasarımlara ait eğilme dayanım değeri	42
Şekil 3.12 Tablo 2.18'deki tasarımlara ait basınç dayanım değeri.....	43
Şekil 3.13 Tablo 2.18'deki tasarımlara ait eğilme dayanım değeri	44
Şekil 3.14 Tablo 2.19'daki tasarımlara ait basınç dayanım değeri.....	45

Şekil 3.15 Tablo 2.19'daki tasarımlara ait eğilme dayanım değerleri	46
Şekil 3.16 %2 oranında 13 mm Lif içeren numunenin deney sonrası görüntüsü	46
Şekil 3.17 Tablo 2.19'daki tasarımlara ait eğilme dayanım değerleri	47
Şekil 3.18 %2 6mm Lif içeriğine sahip numunenin eğilme dayanımı / deplasman eğrisi	47
Şekil 3.19 %2 6mm Lif içeriğine sahip numunenin eğilme dayanımı / deplasman eğrisi	48
Şekil 4.1 Prototip-1 bank tasarımı teknik resmi.....	52
Şekil 4.2 Prototip-1 bank metal kalıbı	53
Şekil 4.3 Prototip-1 bank kalıbından üretilmiş numune.....	53
Şekil 4.4 Bisiklet kilidi teknik çizimi.....	55
Şekil 4.5 Kalıp almak üzere yaptırılmış model.....	55
Şekil 4.6 Polyester malzemeden yaptırılmış 2 parça kalıp	56
Şekil 4.7 Polyester kalıp ile hazırlanan numune	57
Şekil 4.8 Gri renkli epoksi malzemesi	58
Şekil 4.9 Şeffaf epoksi malzemesi	58
Şekil 4.10 Beton yüzeyinde gri renkli epoksi denemesi	59
Şekil 4.11 Beton yüzeyinde şeffaf epoksi denemesi.....	59
Şekil 4.12 0-2 mm kırmızı bazalt.....	60
Şekil 4.13 Yüzeyi renklendirilmiş epoksi ile kaplanmış ürün	60
Şekil 4.14 Bisiklet Kilidinin Fabrika bahçesinde uygulanmış görüntüsü.....	61
Şekil 4.15 Beton araç stoperi	62
Şekil 4.16 Kordon boyunca uygulaması yapılan beton stoperler.....	62
Şekil 4.17 Model olarak kullanılan HPL	64
Şekil 4.18 HPL modelinden elde edilen poliüretan kalıp	65
Şekil 4.19 3D duvar kaplaması ham modeli	66
Şekil 4.20 3D duvar kaplaması modeli - işlenmiş.....	66
Şekil 4.21 PLA'dan alınan poliüretan kalıp.....	67
Şekil 4.22 Poliüretan kalıpla dökülmüş lifsiz beton numunesi	68
Şekil 4.23 Poliüretan kalıpla dökülmüş lifsiz beton numunesi	68
Şekil 4.24 Poliüretan kalıba dökülmüş betonun yüzey görünümü.....	69
Şekil 4.25 Bisiklet kilidi.....	70

Şekil 4.26 Kapı tokmağı.....	70
Şekil 4.27 Satranç tahtası	71
Şekil 4.28 Dekoratif duvar kaplaması.....	71
Şekil 4.29 Dekoratif duvar kaplaması.....	72
Şekil 4.30 Dekoratif duvar kaplaması.....	72
Şekil 5.1 İlk çatlak değeri 11 MPa bulunan beton ile üretilecek C-Bankın 1000 kgf yüklemeye ve gerilme grafiği.....	74
Şekil 5.2 İlk çatlak değeri 11 MPa bulunan beton ile üretilecek C-Bankın 1000 kgf yüklemeye ve deplasman grafiği.....	74
Şekil 5.3 İlk çatlak değeri 11 MPa bulunan beton ile üretilecek revize C-Bankın 1000 kgf yüklemeye ve gerilme grafiği	76
Şekil 5.4 İlk çatlak değeri 11 MPa bulunan beton ile üretilecek revize C-Bankın 1000 kgf yüklemeye ve deplasman grafiği.....	76
Şekil 5.5 İlk çatlak değeri 11 MPa bulunan beton ile üretilecek revize C-Bankın 1250 kgf yüklemeye ve gerilme grafiği	77
Şekil 5.6 İlk çatlak değeri 11 MPa bulunan beton ile üretilecek revize C-Bankın 1250 kgf yüklemeye ve deplasman grafiği.....	78
Şekil 5.7 Prototip-1 bank kalıbından üretilmiş numuneler	79
Şekil 5.8 Bank Prototip 1 yüklemeye deneyi.....	79
Şekil 5.9 Bank Prototip 1 yüklemeye deneyi ilk çatlak	80
Şekil 5.10 Fiziksel testi yapılacak prototipin analizi	81
Şekil 5.11 2004 nolu karışım ve %2 lifle hazırlanan prototip.....	81
Şekil 5.12 Fiziksel testi yapılacak prototipin analizi	82
Şekil 5.13 Ürünlerin eğilme dayanımı-tepe yükü ilişkisi	83
Şekil 5.14 Beton Bankın Dönüşümü.....	83
Şekil 5.15 Yeni bank kalıptan sökme aşaması.....	85
Şekil 5.16 Yeni bank kalıptan sökme aşaması.....	85
Şekil 5.17 Mevcut bank	86
Şekil 5.18 Proje çıktısı UYPB bank.....	86

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1 Normal dayanımlı beton (NDB), Yüksek dayanımlı beton (YDB) ve Reaktif Pudra Betonuna (RPB) ait bazı mekanik özelliklerin karşılaştırılması	4
Tablo 2.1 CEM I 42,5R-SR5 (Batıçim) özellikleri	11
Tablo 2.2 CEM II 42,5R (Batıçim) özellikleri	12
Tablo 2.3 CEM I 52,5R-Süper Beyaz (Çimsa) özellikleri	12
Tablo 2.4 SD'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri	13
Tablo 2.5 YFC'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri	13
Tablo 2.6 UK'nın fiziksel ve kimyasal özellikleri	14
Tablo 2.7 Kuvars agregalarının kimyasal kompozisyonu	15
Tablo 2.8 Kuvars agregalarının elek analizleri	15
Tablo 2.9 Kireçtaşı agregasının kimyasal kompozisyonu	16
Tablo 2.10 Kireçtaşı agregasının elek analizi	16
Tablo 2.11 Hiperakışkanlaştırıcı katkının genel özellikleri	17
Tablo 2.12 Mikro Liflerin genel özellikleri	17
Tablo 2.13 S/B oranı, agrega araştırması, buhar ve su kuru kıyaslamasına konu olan tasarımlar	22
Tablo 2.14 Agrega-Hamur fazı araştırmasına konu olan tasarımlar	24
Tablo 2.15 Farklı çimento tiplerinin araştırmasını konu alan tasarımlar	24
Tablo 2.16 Puzolan ikamesi- SD/B oranı kıyaslamasına konu olan tasarımlar	25
Tablo 2.17 Puzolan ikamesi- UK/B oranı kıyaslamasına konu olan tasarımlar	26
Tablo 2.18 Puzolan ikamesi- YFC/B oranı kıyaslamasına konu olan tasarımlar	27
Tablo 2.19 Mikro lif araştırmasına konu olan tasarımlar	28
Tablo 2.20 Donma çözülme direncinin araştırılmasına konu olan tasarımlar	29
Tablo 3.1 Karışım kodları ve su/bağlayıcı oranları	35
Tablo 3.2 Karışım kodları ve agrega-hamur hacimleri	37
Tablo 3.3 Karışım kodları ve UK/B oranları	43
Tablo 3.4 Karışım kodları ve YFC/B oranları	45
Tablo 3.5 Karışım kodları ve puzolan/bağlayıcı oranları	48
Tablo 3.6 Tablo 2.21'deki tasarımlara ait donma-çözülme deney sonuçları	50

Tablo 4.1 Mevcut ürün ile hedeflenen ürünün karşılaştırılması	51
Tablo 5.1 Farklı oranlarda lif ile prototip üretilmesi.....	82
Tablo 5.2 Mevcut bank ile gerçekleşen proje çıktısı kıyaslaması.....	84



BÖLÜM BİR

GİRİŞ VE LİTERATÜR TARAMASI

Bu yüksek lisans tez çalışması, Tübitak 1507 Kobi – Arge Başlangıç Destek Programı kapsamında, DETTO’nun bilimsel danışmanlık desteğiyle Sargın Prefabrik A.Ş. tarafından yürütülmüş ve başarıyla tamamlanmış bir ar-ge projesidir.

Tübitak tarafından “İleri Malzeme” öncelikli alanında değerlendirilerek onaylanan ar-ge projesinin amacı; C30 ile C50 beton dayanım sınıflarına sahip geleneksel beton ile üretilen, kalın kesitli, ağır, estetik tasarım imkânı kısıtlı olan kent mobilyalarının ileri malzeme olarak tanımlanan yüksek performanslı UYPB ile üretilebilirliğini araştırmaktır.

Çalışma sonucunda, UYPB ile üretilen yeni tasarım kent mobilyaları ile birlikte C30 dayanım sınıfı beton ile üretilmekte olan bir oturma bankının yüzde 40 ile 60 oranında hafifletilerek üretilmesi hedeflenmiştir. Prototip tasarımı yapılan revize oturma bankı, bir analiz programında modellenerek yükleme deneyleri yapılmış, aynı yükleme laboratuvarında hazırlanmış prototiplere uygulanarak sonuçlar kıyaslanmıştır.

Ülkemizde beton kent mobilyalarına rastlamak mümkün olsa da, UYPB ile kent mobilyası üretimi yapan ya da bu konuda uzmanlaşmış herhangi bir firma yoktur. Bu çalışmada, UYPB’yi altyapı sektöründen kurtararak gün yüzüne çıkarmak ve kentlere uzun süre hizmet edecek kabiliyette, dayanımlı, estetik, kullanışlı ve teknolojik ürünler sunabilmenin ilk adımını atmak amaçlanmaktadır. Prefabrik üretim sisteminde malzeme kadar önemli bir diğer konu kalıptır. Kalıp olarak hangi malzeme kullanılırsa kullanılsın betonun kalıba yerleştirilmesi, vibrasyon ve priz alma süreçlerinde deformasyona uğramaması önemlidir. Betonda elde edilecek yüzey ve kalıptan alma sürecinde betonun görünümüne zarar vermeyecek özellikte olması gereklidir. Aynı zamanda ısıtılma küre uygulanacak ise kalıp malzemesinin bu işleme dayanıklı olması beklenmektedir. Literatürde bu sorulara yanıt verebilecek bir araştırma

bulunamamıştır. Farklı kalıp türlerinin betonun yerleşimine, sıkışmasına, yüzey özelliklerine etkisi bu çalışmanın bir diğer amacıdır.

Çeşitli yetersizliklere sahip betonarme elemanlarının mevcut durumunu iyileştirmek için literatürde çeşitli yöntemler önerilmektedir. Mevcut yöntemlerin sahip oldukları eksiklikler nedeniyle yeni yöntemlere her zaman ihtiyaç duyulmaktadır. Ultra yüksek performanslı beton (UYPB): çimento esaslı, çelik ve muadili yüksek dayanımlı lifler içeren, sünekliği geleneksel betona kıyasla yüksek, çevre koşullarına daha dayanıklı, basınç mukavemeti 150 MPa ve üzeri olarak tarif edilen yeni nesil çimento esaslı bir kompozit malzemedir. UYPB'nin dünyada kullanımı geniş açıklıklı köprü kirişleri, mimari tasarımların getirdiği narin kabuk ve döşemeler, geniş açıklıklı stadyum elemanları, görsellikle birleşmiş kent mobilyaları ve rögar kapağı gibi altyapı ürünlerini içeren geniş bir alana yayılmaktadır. UYPB'nin üstün mekanik özelliklerinin yanı sıra durabilitesinin geleneksel çimento esaslı malzemelere kıyasla katbekat yüksek olması, güçlendirme ve onarım amaçlı kullanımı konusunda araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Proje kapsamında UYPB kullanılarak üretilen laminelerin, eğilme veya kesme yetersizliğine sahip betonarme kirişlerin güçlendirilmesinde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Tezde ilgili gerçekleştirilen literatür araştırması 3 ana başlık altında sunulmuştur. Literatür araştırması yapılırken ana amaç çalışmaya ışık tutacak verilerin belirlenerek derlenmesidir.

Literatür araştırmasında öncelikle proje kapsamında kullanılacak betonarme lamine elemanlardaki lif oranlarının belirlenmesine yardımcı olacak kaynaklar taranmıştır. Literatürde yer alan ve Ultra Yüksek Performanslı Beton (UYPB) malzemeleri ile gerçekleştirilen çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Daha sonra UYPB'nin yapısal elemanlarda katkı sağlayan lamine ya da katman şeklinde kullanılmasının incelendiği çalışmalar değerlendirilmiştir. Bu çalışmalardan kiriş uygulamaları öncelikle incelenmiştir. UYPB'nin bu çalışmada olduğu gibi levha şeklinde uygulandığı durumda eski beton ile levhanın bağ davranışı önemlidir. Bağ

davranışı kompozit elemanın nihai davranışını doğrudan etkileyecektir. Bu nedenle biri eski biri de yeni olmak üzere iki betonun birbirine bağlandığı durumları inceleyen çalışmalarda incelenmiş ve bu bölümde özetlenmiştir.

Son olarak deneysel elemanların performanslarını değerlendirmek, çatlama mekanizmalarını oluşum anında ve süresince neden ile ilgili önceki çalışmalar incelenmiştir. Gerçekleştirilen literatür çalışması UYPB üzerine güncel malzeme çalışmaları, Lifli betonların çeşitli yetersizliklere sahip kırılganlığa uygulanması konusundaki çalışmalar ilgili çalışmalar başlıkları altında aşağıda özetlenerek verilmiştir.

1.1 UYPB Özellikleri

1990'lı yılların başlarında Bouygues firması tarafından Reaktif Pudra Betonu olarak isimlendirilen bir tür çimento esaslı kompozit geliştirilmiştir (Richard ve Cheyrezy, 1995). RPB'lerin küp basınç dayanımları 200 – 800 MPa arasında, çekme dayanımları 25 – 150 MPa arasında ve kırılma enerjileri ise yaklaşık 30000 J/m² ve birim ağırlıkları 2500–3000 kg/m³ civarındadır (Richard and Cheyrezy, 1995). RPB ileri mekanik özelliklere, üstün fiziksel karakteristiklere, mükemmel sünekliğe ve çok düşük geçirimsizliğe sahip ultra yüksek dayanımlı çimento esaslı kompozitlerdir (Walraven, 1999; Matte ve Moranville, 1999). Reaktif pudra betonlarının içyapısı daha sıkı tane düzenine sahip olup, mikroyapısı yüksek performanslı betonlara kıyasla en kuvvetli çimentolu hidrate ürünlerin varlığı ile güçlendirilmektedir (Walraven, 1999; Richard ve Cheyrezy, 1995).

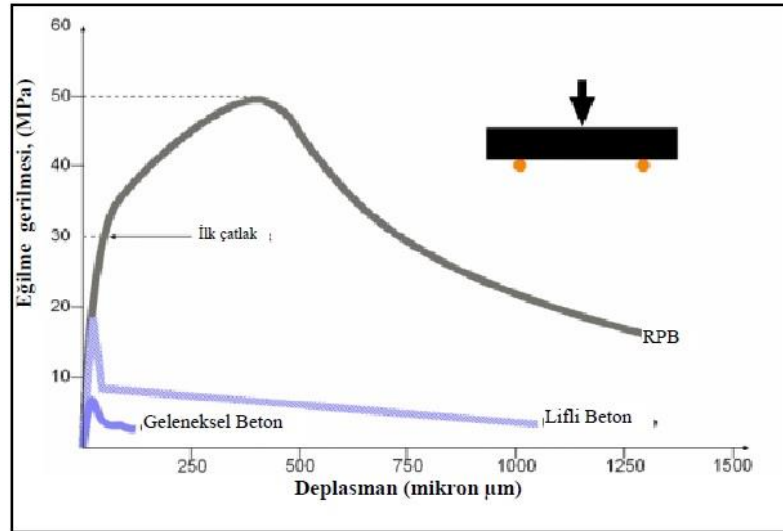
Mekanik özellikler açısından RPB' de oluşan C-S-H jel yapısının kuvvetlenmesiyle kompozitin yoğun matris yapısı basınç dayanımı en üst değere taşımaktadır. Bu yüksek dayanım RPB' nin yapılarda çelik donatı olmaksızın kullanılmasını sağlamıştır. Kırılma enerjisi açısından bakıldığında ise RPB' nin normal harç numunelere oranla 240 kat daha fazla bir enerjiyi karşıladığı görülmüştür. Bu da özellikle deprem etkileri altında enerji yutma kapasitesi düşük olan gevrek beton malzemenin tokluğunun artması demektir. Böylece RPB kullanılan yapılarda sünekliği artan yapısal elemanlar

depreme karşı daha dayanıklı bir davranış gösterebilmektedir (Topçu ve Karakurt, 2005).

Tablo 1.1 Normal dayanımlı beton (NDB), yüksek dayanımlı beton (YDB) ve reaktif pudra betonuna (RPB) ait bazı mekanik özelliklerin karşılaştırılması (Taşdemir ve Bayramov, 2000)

Mekanik Özellikler	NDB	YDB	RPB
Basınç dayanımı (MPa)	20-60	60-115	200-800
Elastisite modülü (GPa)	20-30	35-40	60-75
Eğilme dayanımı (MPa)	4-8	6-10	50-140
Kırılma enerjisi (J/m ²)	100-120	100-130	1200-40000

Bu şekilde ulaşılan mekanik özelliklerden basınç dayanımı 200–800 MPa, kırılma enerjisi 1200-40000 J/m² arasında değerler alırken, nihai çekme birim deformasyonu %1 mertebelerine kadar çıkartılabilir (Feylessoufi, 2001). Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, ince liflerinde kullanımı ile 50 MPa kadar olağanüstü eğilme dayanımları elde edilebilir. Yüksek oranda enerji yutabilmesi ile düktilite açısından metallere yakın değerler göstermektedir.



Şekil 1.1 RPB'nin eğilme davranışı (Richard ve Cheyresy, 1998)

Şekil 1.1’de geleneksel beton ve RPB 200’ün (Basınç dayanımı 200 MPa) basit kiriş halindeki mekanik davranışını göstermektedir. Reaktif pudra betonunun büyük bir

şekil değiştirme sertleşmesi sergilediği görülmektedir. Eğilme dayanımı ilk çatlamadaki gerilmenin yaklaşık iki katı kadar yüksektir. Maksimum gerilmedeki deplasman ilk çatlaktaki deplasmandan yaklaşık 10 kat daha büyüktür (Richard ve Cheyrezy, 1995).

1.2 UYPB Özelliklerini Etkileyen Faktörler

1.2.1 Çimentonun Tipinin Etkisi

Karışım için öncelikle C_3A içeriği ve tane dağılımı başlıca kontrol etkenleridir. Karma oksit bileşimi çimento inceliği ve azaltılmış hidrasyon ısısı erken ve nihai dayanımı yönlendiren karakteristiklerdir. İnceliğin yüksek olması su ihtiyacını değiştirecektir. Çok daha ince çimento tipi kullanmak su bağlayıcı oranını arttıracığından iyi sonuçlar vermeyebilir. Kimyasal kompozisyonunda düşük C_3A içeriği olan çimentolar dayanım değerlerinde daha iyi sonuçlar vermektedir (Pierre ve Cheyrezy, 1994).

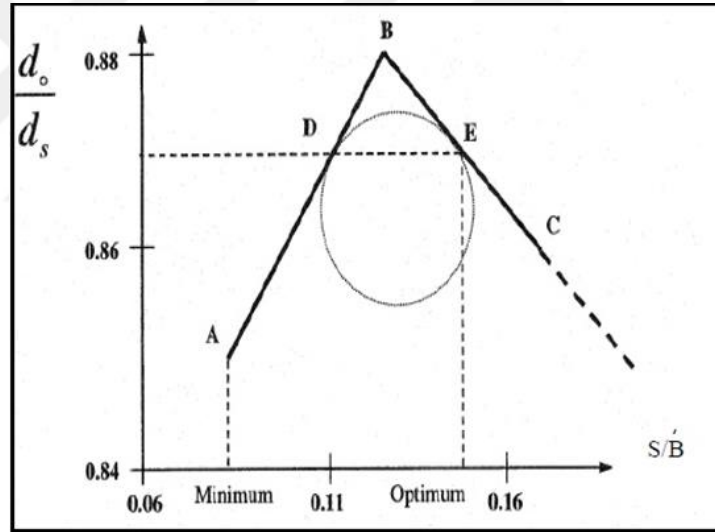
1.2.2 Su İçeriğinin Etkisi

UYPB’de granüler matrisin performansını ve kalitesini belirlemede ana parametrelerinden biri de su içeriğinin, işlenebilirliğini sağlayan en düşük oranın belirlenmesidir. En düşük su / bağlayıcı oranı (bağlayıcı olarak çimento ve mikro silika malzemeleri) yoğun RPB karışımlarında 0,08 olarak belirlenmiştir (Pierre ve Cheyrezy 1994).

Bağıl yoğunluk, yoğunluğa bağlıdır ve d_0/d_s şeklinde ifade edilir. d_0 prizi alamamış betonun yoğunluğunu ifade ederken d_s ise granüler matriste su ve hava dışındaki katı malzeme yoğunluğudur (Pierre ve Cheyrezy, 1994).

Şekil 1.2’de bağıl yoğunluğun su / bağlayıcı (S/B) ile değişimi ve optimum değerleri ifade edilmektedir (Pierre ve Cheyrezy, 1994). Şekil 1.2’den görüleceği üzere, A noktasında minimum S/B oranıdır. Sisteme ilave edilen su ile sıkışmış hava

boşlukları azalmakta, S/B oranı ve karışım hacmi artmaktadır. Kütle artarken bununla birlikte hacim sabit kalmaktadır. Böylelikle d_0 artması ile d_0/d_s oranı da artmaktadır. B noktasına ulaşıldığında karışım sıkışmış ve sürüklenmiş hava boşluğu kalmamıştır. Su miktarı arttırıldıkça, S/B oranının artmasıyla, karışım hacmi artmakta ancak bağıl yoğunluk azalmakta ve C noktasına ulaşılmaktadır. Şekil 2’de görüldüğü üzere, en uygun değeri veren D ve E noktaları görülmektedir. E noktasındaki karışımın verdiği mekanik özelliklerin D noktasına göre daha iyi olduğu gözlenmiştir. E noktasında daha az sıkışmış hava bulunması daha çok su ile katı fazın hidrate olması, reolojik karakterlerinin üstünlüğü ve kalıba yerleştirmedeki kolaylığı sebebiyle, bu nokta optimum su içeriğinin olduğu nokta olarak düşünülmüştür (Richard ve Cheyrezy, 1994). Böylelikle maksimum bağıl yoğunluğa karşılık gelen su içeriği, teorik olarak uygun değer su içeriğini göstermektedir.



Şekil 1.2 Yoğunluk su / bağlayıcı oranı grafiği (Richard ve Cheyrezy, 1994)

1.2.3 Agregaların Etkisi

Mikro yapıda maksimum yoğunluğu elde etmek amacıyla karışımındaki bütün tanelerin hassas biçimde düzenlenmesi ile en büyük doluluğu sağlayacak biçimde optimize edilmesi gerekir. Bu optimizasyonda mikro yapıda bazı dane çaplarının olmaması, diğer bir değişle kesikli granülometri esasına dayanarak matrisin oluşturulması ile en fazla doluluk sağlanmalıdır (Taşdemir ve diğer., 2005).

Aydın, Yazıcı, Yardımcı, ve Yiğiter (2010) tarafından yapılan çalışmada farklı agregalar kullanılarak (kuvars, boksit, kireçtaşı, bazalt, granit, korund) RPB'ler üretilmiş ve agrega türünün mekanik özelliklere önemli etkileri olduğu ortaya konmuştur. Kireçtaşı agregası ile de UYPB sınıfında kompozitler üretilebileceği fakat 400 MPa gibi çok yüksek dayanımlara ancak boksit gibi daha özel agregalarla ve priz aşamasında basınç altında sıkıştırma uygulanmasıyla ulaşılabileceği gözlenmiştir. RPB'de toz boyuttaki agregaya 8 mm iri kuvars agregası ikamesi sonucu basınç performansının azalmadığı, donatı-beton aderansının arttığı belirlenmiştir (Collepari, Cappola, Troli, ve Collepari, 1997).

1.2.4 Mineral Katkıların ve Kür Türünün Etkisi

Mikro boyutta agregaların kullanılması, tane çapı ve miktarının optimizasyonu, CaO/SiO₂ oranının silisçe zengin bileşenler ile düşürülmesi, üstün nitelikteki akışkanlaştırıcılar kullanılarak su/çimento oranının düşürülmesi, sıcaklık ve basınç altında kür, çelik liflerin katılması prensipleri ile UYPB'lerin özellikleri geliştirilebilmektedir. Dokuz Eylül Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı bünyesinde yürütülen araştırma sonucunda yüksek fırın cürufu veya uçucu kül gibi puzolanik malzemelerin yüksek oranda kullanılabileceği, böylelikle RPB'nin geleneksel betonun çimento dozajlarında üretilmesinin mümkün olduğu saptanmıştır (Yalçinkaya, 2015).

Yazıcı, Yardımcı, Aydın, ve Karabulut (2009), kür türünün (standart su, buhar ve otoklav) ve mineral katkı ikamesinin RPB'nin mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda basınç dayanımı 200 MPa'yı aşan, eğilme dayanımı 38 MPa'ya ulaşan RPB'ler üretilmiştir. Yazıcı, Yiğiter, Karabulut, ve Baradan (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışmada mineral katkıların RPB üretiminde silis dumanı yerine kullanımı araştırılmıştır. Uçucu kül veya yüksek fırın cürufunun bu amaçla kullanılabileceği, uygun CaO/SiO₂ molar oranı ile performansı arttırılabileceği görülmüştür. Basınç dayanımı 300 MPa'yı aşan RPB'ler, normalden çok daha düşük çimento içeriğiyle elde edilmiştir. Yazıcı (2007)'nin araştırmasında yüksek oranda

uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren çok yüksek dayanımlı betonların farklı kür koşullarındaki basınç dayanımları belirlenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, düşük çimento dozajlı yüksek mineral katkılı betonlarda otoklav kürü ile çok yüksek basınç dayanımları elde edilebileceği görülmüştür (Yalçınkaya, 2015). Wille ve Boisvert-Cotulio (2015) UYPB tasarımında mekanik özellikleri ve maliyeti optimize etmek için hamur fazı, çimentolu matris fazı ve lifli kompozit fazı olmak üzere üç fazda çalışma yürütmüştür. İzlenen yöntemin UYPB tasarımı için kullanılabilirliği ortaya konulmuş, 155 ila 200 MPa basınç dayanımında ekonomik karışımlar elde edilmiştir.

Hamur araştırması sonuçlarına göre yüksek oranda YFC ikamesi (%50) önemli oranda akışkanlaştırıcı katkı tasarrufu sağlamaktadır. Büzülmeyi azaltma noktasında UK ikamesi daha başarılıdır. Akıcı UYPB üretiminde %50 YFC veya %30 UK ikamesi önerilmektedir. Su, buhar ve otoklav kürleri sonucu %2 lif takviyesi ile 146 – 200 MPa, %3 lif takviyesi ile 162 – 206 MPa basınç dayanımı değerlerine ulaşılmıştır. Basınç dayanımı açısından ısıtılma kürleri, özellikle otoklav kürü, performansı belirgin derecede yükseltmektedir. Otoklav kürü ile basınç, su kürü ile eğilme yükleri altındaki performans artmaktadır. Basınç dayanımları ısıtılma işlemi içeren kürlerde puzolan ikamesi ile azalırken, UK ikamesi otoklav kürü altında, YFC ikamesi su kürü altında eğilme dayanımını arttırmıştır (Yalçınkaya, 2015).

1.2.5 Kent Mobilyaları

Kent, mekânların oluşturduğu bir bütündür. Mekân içinde tasarlanan, özgünleştirilen donatı elemanları mekânı düzenlerken aynı zamanda kent içindeki donatı alanları için de bir sistematik oluşturmalıdır. Mekân ölçeğinde başlayan tasarım çalışmaları planlama aşamasında kent içinde aktivite çeşitliliği oluşturmaktadır. Mekânı donatma kavramı ile başlayan tasarım süreci kent ölçeğinde kentsel alanların yayılmasını sağlamaktadır. Donatı elemanları için gerekli bir takım tasarım ölçütleri vardır. Bunlar doğru ve uygun olarak kullanıldığında kent konforunu ve yaşam kalitesini artırıcı tasarımlar ortaya çıkmaktadır. Bu tasarım sürecinde oluşturulan donatı elemanları kentlerin kimliğini, mimarî yapı ile uyumunu ve imgesel özelliklerini bünyesinde bulunduracaktır (Sakal, 2007).

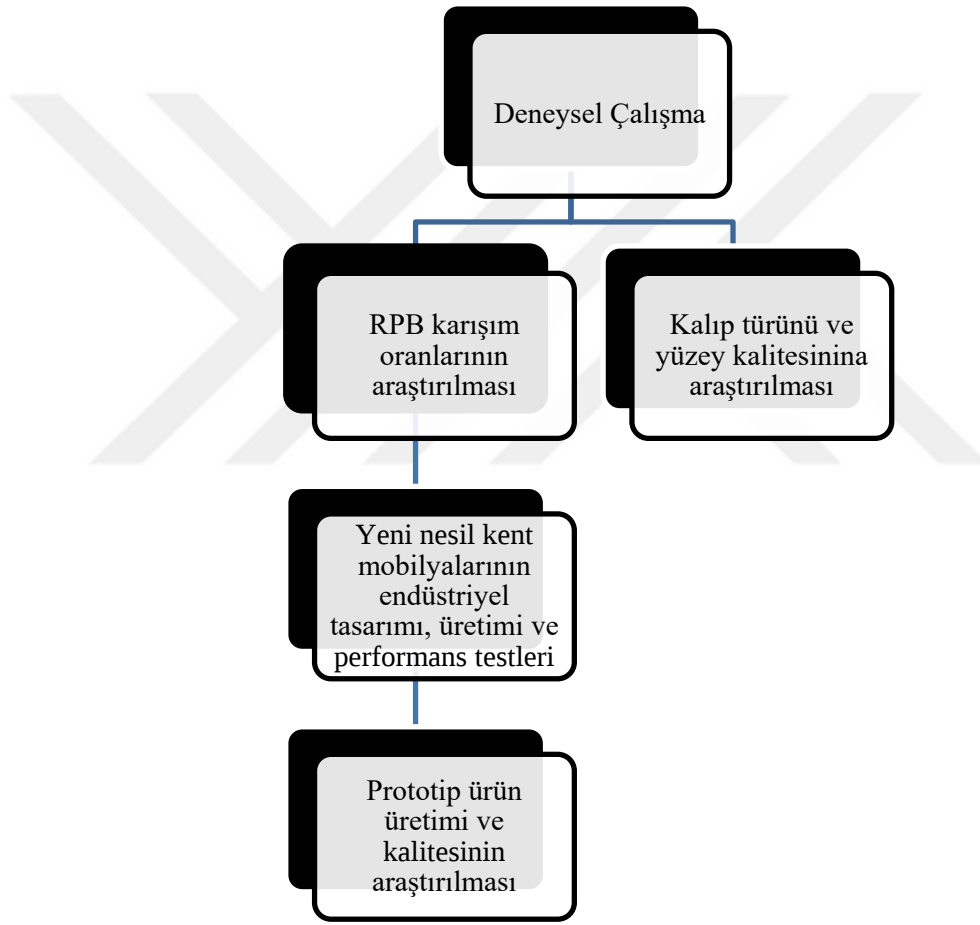
Kentlerin kimliğinin bir parçası olan yapısal elemanlar sosyal ve kültürel özellikler ile doğal faktörler sonucu şekillenmektedir. Kentlerde görsel çevrenin kalitesinin arttırılması ve daha yaşanabilir mekânlar oluşturulmasında peyzaj mimarları canlı malzemeler olan bitkiler kadar cansız malzemelerden de yararlanmaktadırlar. Estetik algı kişiden kişiye değışmekle birlikte kültür ortaklığıyla kent kimliğinin bir parçası olan yapay elemanların şekillenmesinde rol oynar (Özer ve diğer., 2010).

Çevre kalitesinin artırılması ya da mekânsal standartların yükseltilmesine yönelik istem ve toplumsal baskıların oluşumu; doğrudan bilgi birikimi, ekonomik güç, sosyal ve kültürel kimlik gibi dengelerinin kurulmasına bağlıdır. Donatı elemanı tasarımı, üretimi, pazarlaması ve alana yerleştirilmek üzere seçiminde; çevre bilinci, görsel ve mimarî bütünlük, insancıl yaklaşımların yanı sıra; ekolojik farklılaşmaları tolere edecek malzeme kullanımı, toplumsal gereksinimleri karşılamaya yönelik çok yönlü durum değerdendirmelerinin yapılması, uygulamanın başarısı için gerekmektedir (Başal, 2002).

BÖLÜM İKİ

MALZEMELER VE DENEYLER

RPB ve UYPB karışımları geleneksel karışımlara göre daha yüksek dayanıma ve göz alıcı durabiliteye sahip oldukları son dönem araştırmalarda gözlemiştir. Bu konuya istinaden, bu çalışma kapsamında farklı çimento tipleriyle, farklı agrega kullanarak prototip ürünler üretilmiştir. Deneysel çalışma aşamaları Şekil 2.1’da gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Deneysel çalışma şeması

2.1 Kullanılan Malzemeler

2.1.1 Çimento

Bu çalışma kapsamında üç farklı çimento kullanılmıştır. CEM I 42,5R–SR5 ve CEM II 42,5R Batıçım'den ve CEM I 52,5 Çimsa'dan temin edilmiştir, sırasıyla kimyasal özellikleri Tablo 2.1, Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'te gösterilmiştir.

Tablo 2.1 CEM I 42,5R-SR5 (Batıçım) özellikleri

Kızdırma Kaybı (%)	3,98
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,24
SO ₃ (%)	2,75
Cl ⁻ (%)	0,0043
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,10
Özgül Yüzey (Blaine) (cm ² /gr)	3445
Priz Başlangıcı (dk.)	180
Hacim Genişlemesi (mm)	1,0
C ₃ A (%)	2,14

Tablo 2.2 CEM II 42,5R (Batiçim) özellikleri

Kızdırma Kaybı (%)	5,75
Çözünmeyen Kalıntı (%)	-
SO ₃ (%)	3,49
Cl ⁻ (%)	0,0085
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2,98
Özgül Yüzey (Blaine) (cm ² /gr)	4330
Priz Başlangıcı (dk.)	180
Hacim Genişlemesi (mm)	2,5
Çimento Bileşeni- Katkı (%)	30,65

Tablo 2.3 CEM I 52,5R-Süper Beyaz (Çimsa) özellikleri

Kızdırma Kaybı (%)	3,17
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,16
SO ₃ (%)	3,47
Çözünen Cr ⁺⁶ (ppm)	0,50
Cl ⁻ (%)	0,0082
Beyazlık (CIE Sist.Y Değ.) (%)	86
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3
0,045 mm Elekte Dağılım (%)	0,8
Özgül Yüzey (Blaine) (cm ² /gr)	4783
Priz Başlangıcı (dk.)	110
Hacim Genişlemesi (mm)	1,5

2.1.2 Puzolan

Silis dumanı (SD), BASF firmasının tedarik edilen Meyco MS610 kodlu üründür. SD'nin özgül ağırlığı 2,2'dir. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu (YFC), ADANA Çimento Sanayi T.A.Ş. İskenderun Tesisleri ürünü olup özgül ağırlığı 2,9'dur. Soma Termik Santralı atığı olan uçucu kül (UK), ASTM C-618'e göre C sınıfı, TS EN 197-1'e göre W sınıfı olan yüksek kireç içerikli bir uçucu küldür. UK'nın özgül ağırlığı 2,3'tür. SD'nin, YFC'nin ve UK'nın üreticiler tarafından verilen fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri sırasıyla Tablo 2.4, Tablo 2.5 ve Tablo 2.6'da sunulmaktadır.

Tablo 2.4 SD'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Kompozisyon	(%)
SiO ₂	92,26
Al ₂ O ₃	0,89
Fe ₂ O ₃	1,97
CaO	0,49
MgO	0,96
Na ₂ O	0,42
K ₂ O	1,31
SO ₃	0,33
Cl ⁻	0,09
Fiziksel Özellikler	-
Özgöl yüzey m ² /kg*	≈20000
Puzolanik aktivite indeksi, ASTM C-311 (28 gün), (%)	95

Tablo 2.5 YFC'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Kompozisyon	(%)
SiO ₂	39,32
Al ₂ O ₃	9,36
Fe ₂ O ₃	0,90
CaO	36,61
MgO	6,38
SO ₃	0,16
SO ₄	0,19
Cl ⁻	0,013
Özgöl yüzey m ² /kg	599
Puzolanik aktivite indeksi, ASTM C-311 (28 gün), (%)	120

Tablo 2.6 UK'nın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Kompozisyon	(%)
SiO ₂	47,15
Al ₂ O ₃	20,42
Fe ₂ O ₃	4,15
CaO	20,47
MgO	1,51
Na ₂ O	0,59
K ₂ O	1,36
SO ₃	2,08
SO ₄	-
Cl-	0,015
Serbest CaO	1,2
Kızdırma kaybı	0,97
Fiziksel Özellikler	-
Özgül yüzey m ² /kg	292
Puzolanik aktivite indeksi, ASTM C-311 (28 gün), (%)	83

2.1.3 Agregat

Çalışmada ilk olarak 2 farklı tip agregat kullanılmasına karar verilmiştir. Bunlardan ilki Pomza Export firmasından temin edilen, İzmir yöresine ait kuvars agregasıdır. Üç farklı boyutta temin edilen kuvarsların boyutları; 0-0,4, 0,6-1,2 ve 1-3 mm aralığındadır. Kuvars agregasının tüm boyutları için özgül ağırlığın 2,65, su emmenin 0,12 olduğu belirlenmiştir. Kuvars agregasının bazı kimyasal özellikleri Tablo 2.7’de, elek analizleri Tablo 2.8’de sunulmaktadır. İkinci tip olarak da firmada mevcut üretimlerde kullanılan ve kuvars agregasına göre maliyeti düşük olan kireçtaşı agregası kullanılacaktır. Kireçtaşı agregasının boyutu 0-3 mm, özgül ağırlığı 2,70, su emme oranı ise 1,1 olarak belirlenmiştir. Kireçtaşının bazı kimyasal özellikleri Tablo 2.9’da, elek analizi Tablo 2.10’de gösterilmiştir.

Tablo 2.7 Kuvars agregalarının kimyasal kompozisyonu

Kimyasal Kompozisyon	(%)
SiO ₂	99,79
Al ₂ O ₃	0,06
Fe ₂ O ₃	0,02
CaO	0,02
MgO	0,01
Na ₂ O	0,02
K ₂ O	0,01
SO ₃	-
Cl ⁻	-

Tablo 2.8 Kuvars agregalarının elek analizleri

Elek Açıklığı (mm)	1 – 3 mm	0,5 – 1 mm	0 – 0,4 mm
8	100	100	100
4	100	100	100
2	53	100	100
1	0	74	100
0,500	0	0	100
0,250	0	0	76,0
0,125	0	0	8,4
0,090	0	0	5,9
0,075	0	0	4,0
0,063	0	0	2,1
0,053	0	0	1,7
Elek altı	0	0	0,0

Tablo 2.9 Kireçtaşı agregasının kimyasal kompozisyonu

Kimyasal Kompozisyon	(%)
SiO ₂	0,59
Al ₂ O ₃	0,05
Fe ₂ O ₃	6,05
CaO	52,76
MgO	0,95
Na ₂ O	0,022
K ₂ O	0,023

Tablo 2.10 Kireçtaşı agregasının elek analizi

Elek Açıklığı (mm)	0 – 3 mm
8	100
4	99,0
2	75,4
1	46,4
0,5	32,3
0,25	21,1
0,063	12,7
Elek altı	0,0

2.1.4 Kimyasal Katkılar

Deneysel çalışmanın başında tek bir hiperakışkanlaştırıcı kullanılmasına karar verilmiştir. BASF firmasının geliştirdiği Glenium ACE 450 kullanılacaktır. Bu katkının üretici tarafından beyan edilen genel özellikleri Tablo 2.11’de sunulmaktadır.

Tablo 2.11 Hiperakışkanlaştırıcı katkının genel özellikleri

Özellik	Açıklama
Malzemenin yapısı	Polikarboksilik eter esaslı
Renk	Kahverengi
Yoğunluk	1,082-1,142 kg/litre
Klor içeriği % (EN480-10)	< 0,1
Alkali içeriği % (EN 480-12)	< 3

2.1.5 Mikro Lifler

Çalışmada 6 mm ve 13 mm uzunluğunda olmak üzere 0,20 mm çapında ve pirinç kaplı iki çeşit mikro çelik lif kullanılmıştır. Bekaert firmasından tedarik edilen Dramix markalı mikro liflerin genel özellikleri Tablo 2.12’de sunulmaktadır.

Tablo 2.12 Mikro Liflerin genel özellikleri

Lif türü	Uzunluk (mm)	Çap (mm)	Narinlik (uzunluk/çap)	Çekme dayanımı (MPa)	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Geometri
6 mm	6	0,20	30	2750	7,17	—
13 mm	13	0,15	87	3000	7,17	—

2.1.6 Kalıplar

Çalışmada beton kalıbı olarak metal, polyester ve poliüretan olmak üzere üç farklı malzeme kullanılmıştır. Poliüretan, kimyasal bir üründür ve genelde iki tip sıvının karıştırılıp istenen model üzerine dökülerek, fırça ile sürülerek ya da sprey püskürtülerek uygulanır ve kür edilerek elde edilmektedir. Elde edilmek istenen yüzey detayına göre farklı sertlik (shore) değerlerinde kullanılmaktadır. Sertlik dereceleri Shore A20 ile shore A90 arasında değişmektedir. Şekil 2.2’de görülen A45 değeri yumuşak ve esnek bir malzemedir, shore değeri arttıkça sertleşen malzemenin en sert değeri ise A90’dır.

Malzemenin yumuşaklığı, yüzeyde oluşturulmak istenen dokunun daha detaylı ve düzgün elde edilmesini sağlarken, sertleşmiş betonun kalıptan almasını da kolaylaştırmaktadır. Sertleşmiş betonun dışındaki yumuşak kalıp malzemesi bir kabuk gibi soyularak betona zarar vermeden çıkarılabilmektedir. Ancak hassas bir malzeme olduğundan aynı kalıpta yapılacak döküm sayısı çok düşüktür. Üç boyutlu modeller için önerilen sertlik değeri Şekil 2.2’de görülen shore değeri A45 olan malzemedir, bu sertlik değeriindeki kalıplar da betondan esnetilerek çıkarılabilir. Doku olarak verilecek detay biraz daha kısıtlıdır. Beton prekast eleman üretiminde en yaygın kullanılan sertlik değeri ise shore değeri A65 olan ve Şekil 2.3’de görülen malzemedir, diğer ikisine kıyasla daha sert ancak daya dayanıklı bir malzemedir. Beton panel duvar, ses bariyer duvar, mimari paneller, beton tezgahlar ve GFRC elemanlarında kullanılan malzemedir. Genel olarak iki boyutlu ürünler için uygundur.



Şekil 2.2 Shore A45 poliüretan kalıp (Polytek, b.t)



Şekil 2.2 Shore A45 poliüretan kalıp (Polytek, b.t)

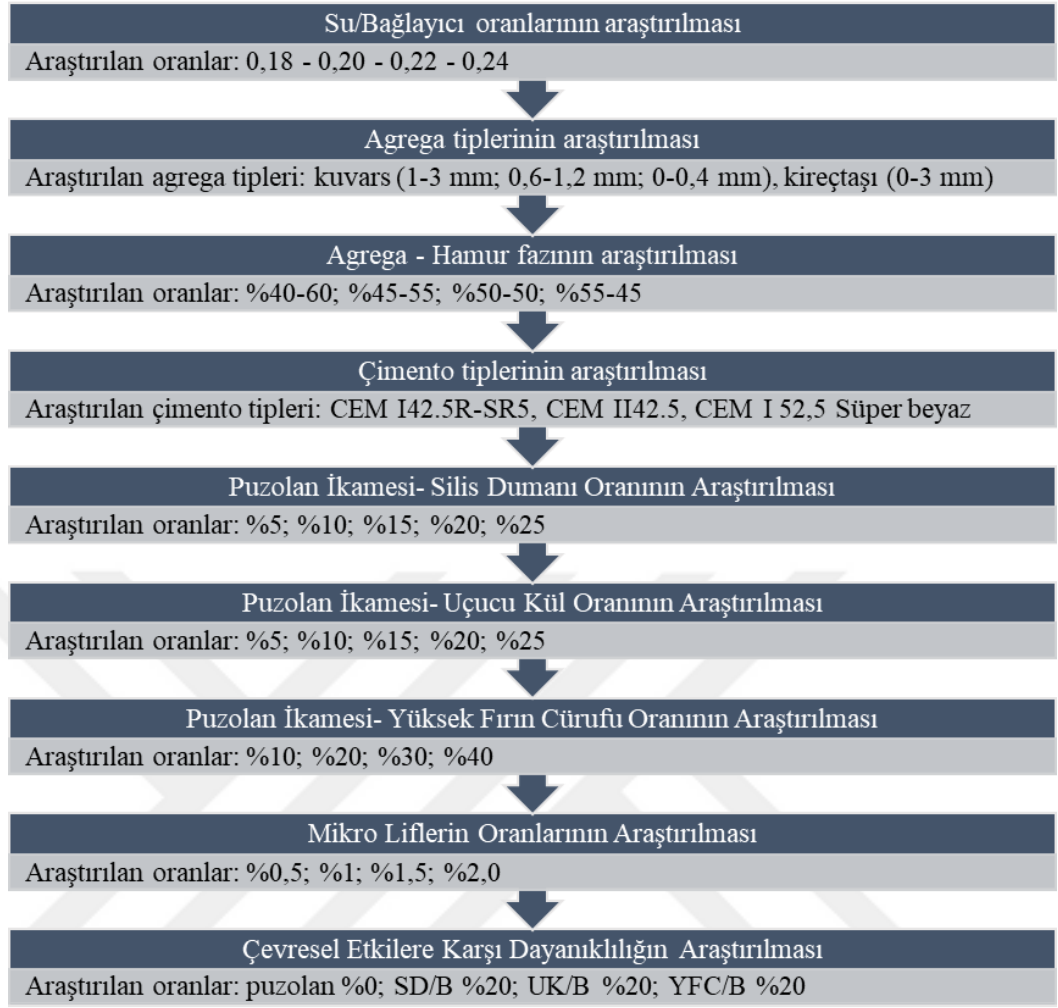


Şekil 2.3 Shore A65 poliüretan kalıp (Polytek, b.t)

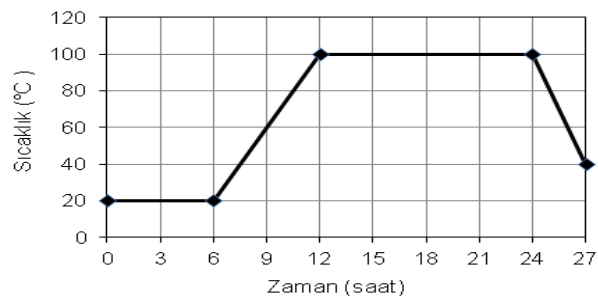
2.2 Karışım Tasarımları

Karışımların düşük S/B oranlarda üretilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda 0.18, 0.20, 0.22, 0.24 S/B oranları olarak denenmiştir. İşlenebilirliğinin ayarlanması ise süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı ile yapılmıştır. Amaca uygun olarak eğilme ve basınç dayanımı, işlenebilirlik ve akışkanlaştırıcı katkı ihtiyacı gibi parametreler

dikkate alınarak, optimum S/B oranı belirlenmiştir. Aynı zamanda agrega-hamur fazlarının oranları araştırılmıştır. Agrega-hamur fazı olarak %40-%60, %45-%55, %50-%50, %55-%45 oranları incelenmiştir. S/B ve hamur fazı oranı belirlendikten sonra farklı çimentoların bağlayıcı olarak kullanımı araştırılmıştır. Deniz kıyısına yakın bölgelerde Sülfata dayanıklı çimento olarak tanımlanan CEM I 42,5R–SR5 kullanımı talep edilmektedir. CEM I 42,5R–SR5 daha az C3A içerdiği için klor tutma kapasitesi düşüktür ve dolayısıyla donatı korozyon riski artmaktadır. Uçucu kül, silika dumanı, yüksek fırın cürufu gibi puzolanların çimentonun belirli bir kısmının yerine ikamesinin araştırılmıştır. Bu amaçla uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun çimento yerine kullanılarak, performansları ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Silika dumanı ise %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında denenmiştir. Ayrıca, silis dumanının RPB karışımlarındaki önemi dolayısıyla çimento dozajını azaltmadan denenmiştir. Bağlayıcı faz araştırmasından sonra temin edilen agregaların geliştirilen RPB karışımlarında kullanılmış ve performansları irdelenmiştir. Farklı agrega kombinasyonların RPB karışımının taze hal özelliklerine, basınç ve eğilme dayanımına, yüzey özelliklerine ve görsel özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında mikro çelik liflerin karışımlarda kullanılması denenmiş ve optimum kullanım oranı çalışması yapılmıştır. Son olarak farklı puzolanlar içeren karışımlara ait numuneler üzerinde donma çözünme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Karışım deneylerinde izlenen akış şeması Şekil 2.4’de gösterilmiştir. Çalışmada 28 gün standart su kürü ve 12 saat buhar kürü akabinde 28. Güne kadar havada bekletilmesi yöntemleri uygulanmıştır. Uygulanan buhar kürü rejimi Şekil 2.5’te şematize edilmiştir. Numuneler döküm sonrası kalıbıyla birlikte buhar kürü kabine konulmuştur. Buhar kürü kabinde 6 saat $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ neme doymun ortamda bekleme sonrası cihaz otomatik olarak ısıtma sürecini başlatmıştır. 6 saat ısınma ile 100°C ’ye çıkılmış, 12 saat bu sıcaklıkta kürden sonra ısıtma durdurulmuş ve kapaklar otomatik olarak az miktarda aralanarak tedrici soğuma safhası başlamıştır. Buhar kürünün 100°C ’de 12 saat uygulanması ile gerçek üretimde kullanılabilecek, makul bir kür yöntemi oluşturulması amaçlanmıştır.



Şekil 2.4 Karışımların deneysel çalışmalarına ait akış şeması



Şekil 2.5 Buhar kürü rejimi

2.2.1 Su/Bağlayıcı Oranının Araştırılması

Su/Bağlayıcı oranının araştırılması ile başlanan deneysel çalışmalarda, her adımda elde edilen sonuçlar değerlendirilerek belirlenen optimum kriterlere göre bir sonraki adıma geçilmiştir. Farklı agrega türlerinin araştırılmasında iki tür agrega üzerinde çalışılmasına karar verilmiştir; bu agregalardan ilki RPB karışımlarda tercih edilen kuvars, ikincisi ise bölgeye yakın kaynaklarda bulunabilen ve maliyeti kuvarsa göre oldukça düşük olan kireçtaşı agregasıdır.

Tablo 2.13 S/B oranı, Agrega araştırması, buhar ve su kürü kıyaslamasına konu olan tasarımlar

Hammadde (kg/m ³)	Karışımlar							
	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008
Çimento (kg)	728	728	728	728	728	728	728	728
Su (kg)	218	218	191	182	182	182	173	173
Silis Dumanı (kg)	182	182	182	182	182	182	182	182
Kuvars 1-3 (kg)	437	-	477	-	482	-	485	-
Kuvars 0,6-1,2 (kg)	383	-	417	-	398	-	425	-
Kuvars 0-0,4 (kg)	273	-	298	-	325	-	303	-
Kireçtaşı 0-3 (kg)	-	1106	-	1182	-	1189	-	1213
Kimyasal Katkı (kg)	24	21	24	22	30	29	36	32
SD/Bağlayıcı	20	20	20	20	20	20	20	20
S/B	0,24	0,24	0,22	0,22	0,20	0,20	0,18	0,18
S/Ç	0,30	0,30	0,26	0,27	0,25	0,25	0,24	0,24
Katkı Oranı (%)	4,95	4,40	3,30	3,02	4,12	3,98	4,95	4,40

Tablo 2.13’de yapılan tasarımlarda CEM I 42,5R-SR5 olmak üzere tek bir tür çimento kullanılmıştır. Dökümlerde katkı miktarı değiştirilerek yayılma çapı sabit tutulmuştur. Her tasarım için basınç dayanımı deneyi için 50x50x50 mm boyutlarında 12 adet küp numune, eğilme dayanımı deneyi için 40x40x160 mm boyutlarında 12 adet prizmatik numune hazırlanmıştır. Hazırlanan beton numunelerine ait fotoğraflar Şekil 2.6’da sunulmuştur.



Şekil 2.6 Hazırlanan beton numuneler (Kişisel arşiv, 2016)

2.2.2 Agreg a-Hamur Fazının Araştırılması

Yüksek oranda bağlayıcı ve düşük oranda su/bağlayıcı oranına sahip RPB’lerde agreg a yüksek dayanımı ve boyutsal kararlılığı ile betonun mekanik özellikleri ve büzülme davranışı ilişkisinde kilit rol oynamaktadır. Bu konuda yapılan bir araştırmada, agreg a hacmi %48 olduğunda mekanik özellikler açısından en iyi performans sağlanmış, agreg a hacmi arttıkça erken yaş bünyesel ve kuruma büzölmeleri, ayrıca uzun dönemli büzölmeler önemli oranda kısıtlanmış ancak işlenebilirliğin azaldığı görölmüş tür (Yalçınkaya ve Yazıcı, 2011). Agreg a hamur fazı araştırmasında önceki çalışmalarda kullanılan kuvars agreg ası yerine kireçtaş ı agreg ası kullanılmış ve sonuçları irdelenmiştir. Agreg a hamur fazına konu olan tasarımlar Tablo 2.14’de gösterilmiştir.

Tablo 2.14 Agreg-a-Hamur fazı araştırmasına konu olan tasarımlar

Hammadde (kg/m ³)	Karışım lar			
	1009	1010	1011	1012
Çimento (kg)	1082	990	896	617
Su (kg)	216,4	198	179	142
Kireçtaşı 0-3 mm (kg)	1063	1196	1331	1496
Kimyasal Katkı (kg)	21,6	27,3	27,9	28,6
Agrega Hacmi %	40	45	50	55
S/B	0,20	0,20	0,20	0,20
Katkı Oranı %	2,00	2,75	3,11	4,63
Yayılma (cm)	24	25	27	26

2.2.3 Farklı Çimento Tiplerinin Araştırılması

Tablo 2.15 Farklı çimento tiplerinin araştırmasını konu alan tasarımlar

Hammadde (kg/m ³)	Karışım
	1013
Çimento (kg)	1085
Su (kg)	217
Kuvars 0,6-1,2 (kg)	583
Kuvars 0-0,4 (kg)	477
Kimyasal Katkı (kg)	20
Agrega Hacmi %	45
S/B	0,20
Katkı Oranı %	1,85
Yayılma (cm)	27

2.2.4 Puzolan İkamesi- Silis Dumanı Oranının Araştırılması

Çimento yerine farklı oranlarda silis dumanı ikame edilerek basınç ve eğilme altındaki performansların araştırılması yapılmıştır. Tablo 2.16’da belirtildiğı üzere, %0, %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında silis dumanı ikame edilerek ve

yayılmaları da katkı miktarının artırılıp azaltılması şeklinde sabit tutulan altı farklı döküm yapılmıştır.

Tablo 2.16 Puzolan İkamesi- SD/B oranı kıyaslamasına konu olan tasarımlar

Hammadde (kg/m ³)	Karışımlar					
	KL	2001	2002	2003	2004	2005
Çimento (kg)	967	912	859	810	767	728
Su (kg)	193	192	189	186	184	182
Silis Dumanı (kg)	0	46	86	122	154	182
SD/B (%)	0	5	10	15	20	25
Kuvars 0,6-1,2 (kg)	663	663	663	663	663	663
Kuvars 0-0,4 (kg)	530	530	530	530	530	530
Kimyasal Katkı (kg)	21	21	23	26	28	30
Yayılma (cm)	30	30	30	30	29	29

SD/B oranı kıyaslamasına konu olan tasarımların tamamı için 280 ila 300 mm kendiliğinden yayılma döküm kolaylığı açısından uygun görülmüştür. Tüm karışımlar içinde bu yayılma 10 mm yaklaşık olarak sağlanmıştır. Karışımlar işlenebilirliklerini 20 dakika kadar muhafaza etmiştir. Her tasarım için basınç dayanımı deneyi için 50x50x50 mm boyutlarında 12 adet küp numune, eğilme dayanımı deneyi için 40x40x160 mm boyutlarında 12 adet prizmatik numune hazırlanmıştır.



Şekil 2.7 40x40x160 mm kalıpların doldurulması (Kişisel arşiv, 2016)

2.2.5 Puzolan İkamesi- Uçucu Kül Oranının Araştırılması

Çimento yerine farklı oranlarda uçucu kül ikame edilerek basınç ve eğilme altındaki performansların araştırılması için, %0, %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında uçucu kül ikame edilerek ve yayılmaları da katkı miktarının artırılıp azaltılması şeklinde sabit tutulan altı farklı döküm yapılmıştır. Hazırlanan karışımlar Tablo 2.17’de gösterilmiştir.

Tablo 2.17 Puzolan ikamesi- UK/B oranı kıyaslamasına konu olan tasarımlar

Hammadde (kg/m ³)	Karışımlar					
	KL	2006	2007	2008	2009	2010
Çimento (kg)	967	912	859	810	767	728
Su (kg)	193	192	189	186	184	182
UK (kg)	0	45,6	86,2	122,6	155,5	185,3
UK/B (%)	0	5	10	15	20	25
Kuvars 0,6-1,2 (kg)	663	663	663	663	663	663
Kuvars 0-0,4 (kg)	530	530	530	530	530	530
Kimyasal Katkı (kg)	21,3	21,1	20,9	20,7	20,5	20,3
Yayılma (mm)	300	290	290	300	300	290

Karışımlar kalıba yerleştirildikten sonra üst katmanda ince siyah renkte bir karbon tabakası oluşmaktadır. Her ne kadar perdah yapılsa da bu giderilememiştir. Bu katman uçucu kül miktarı arttırıldığında daha koyu bir hal almaktadır. Her tasarım için basınç dayanımı deneyi için 50x50x50 mm boyutlarında 12 adet küp numune, eğilme dayanımı deneyi için 40x40x160 mm boyutlarında 12 adet prizmatik numune hazırlanmıştır.

2.2.6 Puzolan İkamesi- Yüksek Fırın Cürufu Oranının Araştırılması

Çimento yerine farklı oranlarda yüksek fırın cürufu ikame edilerek basınç ve eğilme altındaki performansların araştırılması için %0, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında yüksek fırın cürufu (YFC) ikame edilerek ve yayılmaları da katkı miktarının artırılıp azaltılması şeklinde sabit tutulan dört farklı döküm yapılmıştır.

Tablo 2.18’da hazırlanmış karışım gösterilmiştir. Numuneler hazırlanırken herhangi bir vibrasyon uygulanmamıştır. Her tasarım için basınç dayanımı deneyi için 50x50x50 mm boyutlarında 12 adet küp numune, eğilme dayanımı deneyi için 40x40x160 mm boyutlarında 12 adet prizmatik numune hazırlanmıştır.

Tablo 2.18 Puzolan ikamesi- YFC/B oranı kıyaslamasına konu olan tasarımlar

Hammadde (kg/m ³)	Karışımlar				
	KL	2011	2012	2013	2014
Çimento (kg)	967	875	801	738	684
Su (kg)	194	192	192	192	192
YFC (kg)	0	87,5	162,2	221	274
YFC/B (%)	0	10	20	30	40
Kuvars 0,6-1,2 (kg)	663	663	663	663	663
Kuvars 0-0,4 (kg)	530	530	530	530	530
Kimyasal Katkı (kg)	21,3	21,2	20,9	20,7	20,5
Yayılma (cm)	29	29	31	30	30

2.2.7 Mikro Liflerin Oranlarının Araştırılması

Farklı lif oranlarının eğilme ve basınç dayanımı parametreleri üzerindeki etkisi, yayılma değerleri üzerindeki etkisi ve son olarak su emme değerlerinin üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sadece lif oranının eğilme üzerindeki etkisinin araştırılmasına yönelik olarak kontrol karışımı seçilmiş ve bu kontrol karışımına %0,5, %1, %1,5 ve %2 oranlarında iki tip çelik lif eklenerek Tablo 2.19’daki karışımlar hazırlanmıştır. Her tasarım için eğilme dayanımı deneyi için 40x40x160 mm boyutlarında 6 adet prizmatik numune hazırlanmıştır.

Tablo 2.19 Mikro Lif araştırmasına konu olan tasarımlar

Hammadde (kg/m ³)	Karışımlar								
	KL	3001	3002	3003	3004	3005	3006	3007	3008
Çimento (kg)	967	967	967	967	967	967	967	967	967
Su (kg)	194	194	194	194	194	194	194	194	194
Kuvars 0,6-1,2 (kg)	663	663	663	663	663	663	663	663	663
Kuvars 0-0,4 (kg)	530	530	530	530	530	530	530	530	530
Kimyasal Katkı (kg)	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3
Mikro Lif 6mm (kg)	-	39,5	79	118,5	158	-	-		
Mikro Lif 13mm (kg)	-	-	-	-	-	39,5	79	118,5	158
Mikro Lif Oranı (%)	-	0,5	1	1,5	2	0,5	1	1,5	2

2.2.8 Çevresel Etkilere Karşı Dayanıklılığın Araştırılması

Çevresel etkilere karşı dayanıklılığın araştırılması için basınç ve eğilme dayanımlarını belirlenen farklı reçetelerin donma-çözülme direncinin belirlenmesi ve farklı puzolanların bu özellik üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Buna göre dört farklı karışım hazırlanmıştır. Birinci karışım olarak mineral katkısız kontrol karışımı kullanılmış, diğer üç karışım da çimentoya ikame olarak %20 oranında sırasıyla silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanılmıştır.

Amaç doğrultusunda dört farklı karışımdan 40x40x40 mm ölçülerinde numuneler alınmıştır. Bu numuneler daha önce eğilme deneylerinde kullanılan 40x40x160 mm ölçülerindeki numunelerin köşe kısımlarından kesilerek alınmıştır. Tüm numuneler bir gün suda bekletilerek tam doygun ağırlıkları alınmış sonrasında etüvde bir gün bekletilip etüv kurusu ağırlıkları ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Numuneler yeniden suya alındıktan sonra bir gün bekletilmiş ardından derin dondurucuda dondurulmuştur. Deneyin devamında numuneler günde iki çevrim olarak çözülmeye tabi tutulmuştur ve 50 çevrim sonunda deney sonlandırılmıştır. Yayılma oranları sabit tutulmuş (300 mm) katkı miktarı buna göre optimize edilmiştir.

Tablo 2.20 Donma çözölme direncinin araştırılmasına konu olan tasarımlar

Hammadde (kg/m ³)	Karışımlar			
	KL	3009	3010	3011
Çimento (kg)	967	777	767	801
Su (kg)	193	187	184	192
SD (kg)	-	153,4	-	-
UK (kg)	-	-	155,5	-
YFC (kg)	-	-	-	160,2
Kuvars 0,6-1,2 (kg)	663	663	663	663
Kuvars 0-0,4 (kg)	530	530	530	530
Kimyasal Katkı (kg)	21,3	20,5	28,3	23,3

2.3 Kullanılan Cihazlar ve Yöntem

2.3.1 Beton Mikserleri

Çalışma kapsamında iki farklı mikser kullanılmıştır. Karışım oranlarının araştırılması için laboratuvar ortamında hazırlanan betonlar yüksek devirli ve yoğun karışımlara uygun olarak güçlendirilmiş 40 litre kapasiteli bir mikser kullanılmıştır. Kullanılan mikserin fotoğrafı Şekil 2.8’da sunulmuştur. Planet mikser prensibiyle çalışan laboratuvar mikseri manuel hız ayarı sayesinde kuru karışım ile betonun düşük veya yüksek viskozite hallerinde sorunsuz çalışma sağlamıştır. Mikser, mikro lifsiz karışımlarda 20 litre karıştırma kapasitesi sunarken, mikro lifli karışımlarda özellikle 13 mm lif kullanıldığında bu kapasitenin yarı yarıya azaldığı saptanmıştır.



Şekil 2.8 Beton mikseri- 40 lt (Kişisel arşiv, 2016)

Laboratuvar çalışmalarındaki edinilen tecrübeler neticesinde prototip ve seri üretim için gerekli olan mikserin kapasitesinin kullanılacak beton tasarımlarıyla birebir bağlantılı olduğu anlaşılmıştır. Çalışmanın sonucunda üretilmesi hedeflenen revize oturma bankı için tasarım yapılmış ve gerekli olan mikser kapasitesi hesaplanmıştır.

Farklı çalışmalar ve yurtdışı mikser üreticileri araştırılması neticesinde RPB üretimi için kullanılabilecek bir mikser tasarımı yapılmıştır. Yerel bir beton santrali üreticisi ile görüşülerek tasarım tamamlanmış ve üretime geçilmesi için çalışmalar yapılmıştır.

Prototip UYPB üretimlerinde kullanılacak yüksek devirli, hız ayarlı, ince maddenin yoğun olduğu karışımlarda yeterli karıştırma kapasitesine sahip hem paletin hem de kazanın dönme hareketi yaptığı 250 litre kapasiteli mikserin üretimi tamamlanarak Fabrikaya nakledilerek montajı yapılmıştır. Prototip üretiminde kullanılan mikser ‘da gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Beton mikseri- 250 lt (Kişisel arşiv, 2016)

2.3.2 Yayılma Tablası

Karışımların işlenebilirlik kapasitesinin araştırılması için Şekil 2.10’de görülen harç yayılma tablası kullanılmıştır. Kendiliğinden yerleşen beton elde etmek istenildiği için vibrasyon veya sarsma uygulanmamıştır. Çoğunlukla bir yayılma değeri hedeflenerek katkı miktarında değişiklikler yapılarak hedeflenen yayılma değerine ulaşılmaya çalışılmıştır.



Şekil 2.10 Yayılma tablası (Kişisel arşiv, 2016)

2.3.3 Basınç ve Eğilme Deneyleri Test Cihazı

Numunelerin basınç ve eğilme deneyleri için Fabrikada bulunan Şekil 2.11'deki 3000 kN kapasiteli basınç ile 200 kN kapasiteli eğilme test cihazları kullanılmıştır. Basınç deneyleri için 50x50x50 mm boyutlarında küp metal kalıplar kullanmıştır. Üç noktalı eğilme deneyleri için de 40x40x160 mm boyutlarında prizmatik metal kalıplar kullanılmıştır. Kalıpların fotoğrafları Şekil 2.12'da sunulmuştur.



Şekil 2.11 Basınç ve Eğilme Test Cihazları (Kişisel arşiv, 2016)



Şekil 2.12 Numune kalıpları (Kişisel arşiv, 2016)



Şekil 2.13 Basınç deneyi (Kişisel arşiv, 2016)



Şekil 2.14 Eğilme deneyi (Kişisel arşiv, 2016)

BÖLÜM ÜÇ

DENEY SONUÇLARI

3.1 Su/Bağlayıcı Oranının Araştırılması Deney Sonuçları

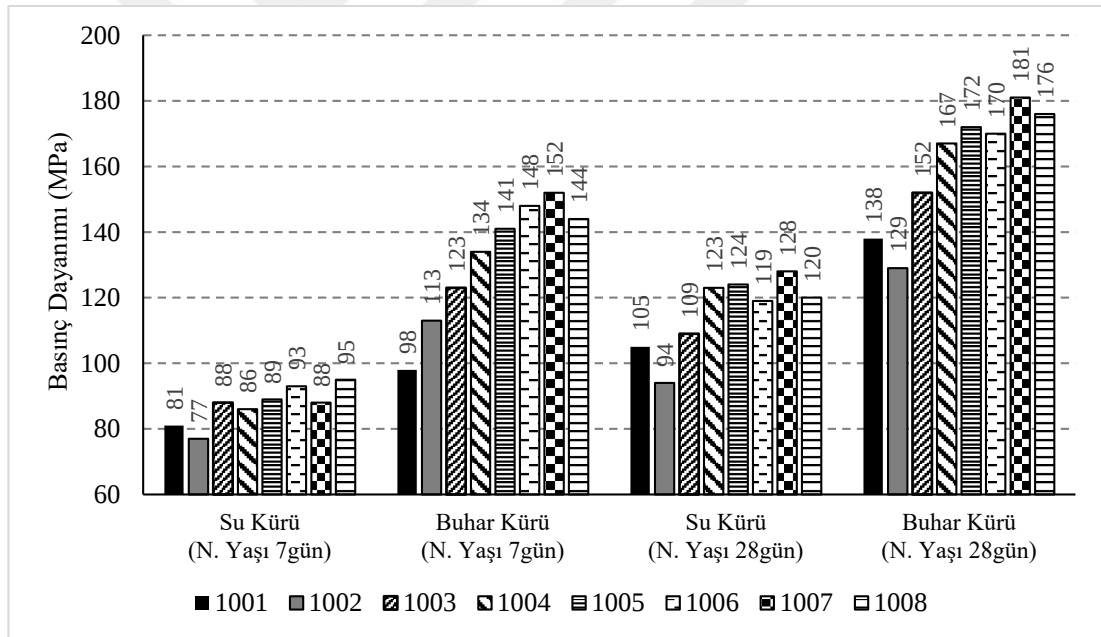
Tablo 2.13'te yer alan tasarımlara 8 farklı karışım ile elde edilen numuneler 7 ve 28. günlerde basınç ve eğilme deneylerine tabi tutulmuştur.

Basınç ve eğilme dayanımlarında beklendiği gibi su kürüne tabi tutulmuş numunelerde 7 günlük değerler en düşük değerlerdir. Elde edilen basınç ve eğilme değerleri karşılaştırıldığında, kuvars ve kireçtaşı ile dökülen karışımlarda, S/B oranı aynı olmak koşuluyla çok büyük farklılıklar oluşmadığı gözlemlenmiştir. Hedef eğilme dayanımına (15 Mpa) ulaşılması, maliyet, kaynağa yakınlık vb. kriterler göz önüne alınarak prototip denemelerinde kireçtaşı ile devam edilmesine karar verilmiştir. Bununla birlikte, bundan sonraki dizaynlarda, optimum maliyet/performans nedeniyle kimyasal katkı miktarına göreceli olarak daha az ihtiyaç duyulan S/B oranı 0,20 kullanılmıştır. Beklendiği üzere Şekil 3.1'de gösterildiği gibi, basınç deneyinde elde edilen sonuçlara göre su bağlayıcı oranının azalmasıyla basınç dayanımının artması gözlenmiştir. Ek olarak buhar kürünün basınç dayanımındaki etkisi de gözükmemektedir. Yeni nesil seri üretimlerde gerekten hızlı ve kaliteli üretim için, buhar kürünün büyük bir avantaj göstermektedir. Bu karışımlarda kullanılmış olan agrega kökenlerine kıyasladığımızda, basınç dayanımlarında büyük bir fark gözlenmemiştir. Örnek olarak 1007 ve 1008 karışımların 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımlardaki fark oranının %6 geçmediği gözlenmiştir. Karışımların eğilme dayanım performansları Şekil 3.2'de sunulmuştur. Karışımların iki farklı kür çeşitliyle 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları incelenmiştir. Beklediğimiz üzere su bağlayıcı oranı düşük olan karışımların eğilme dayanımı, su bağlayıcı oranı yüksek olan karışımlara göre daha performanslı olduğu gözlenmiştir. Ek olarak çeşitli agreganın eğilme dayanıma çok düşük oranda etki gösterdiği gözükmemekte olup ve fark oranının yüzde 8 geçmediği gözlenmiştir.

Tablo 3.1 Karışım kodları ve su/bağlayıcı oranları

	Karışımlar							
	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008
S/B	0,24	0,24	0,22	0,22	0,20	0,20	0,18	0,18
S/Ç	0,30	0,30	0,26	0,27	0,25	0,25	0,24	0,24
Kuvars	X		X		X		X	
Kireçtaşı		X		X		X		X

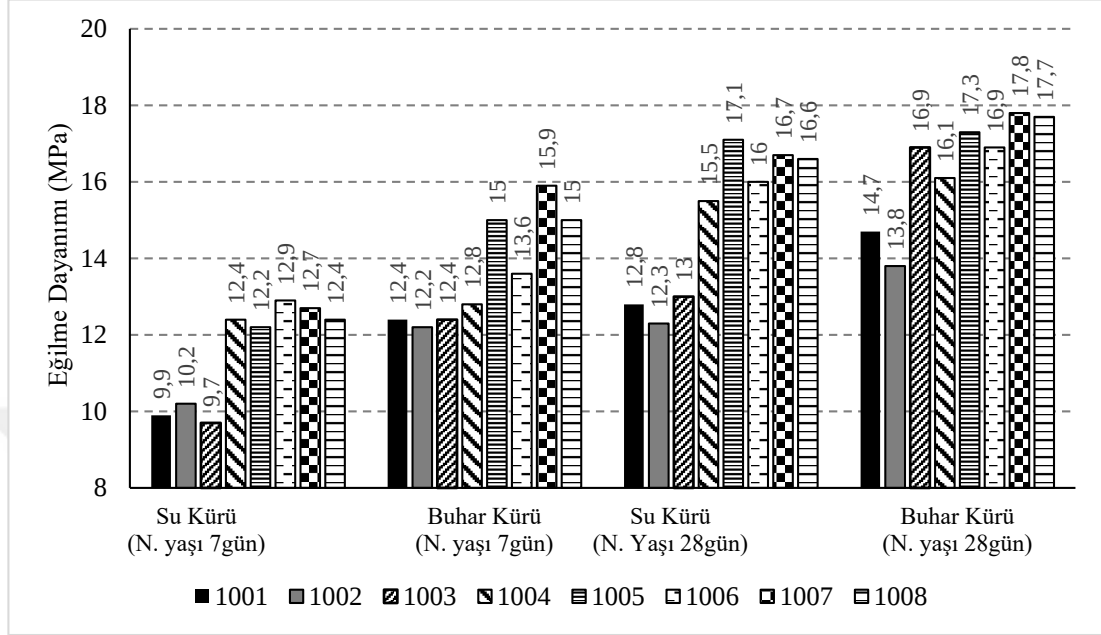
Sonuçlardan görüleceği üzere 7 günlük numunelerde su/bağlayıcı oranı düşük olan buhar kürüne tabii tutulan numunelerde 144 ila 152 MPa basınç dayanımları elde edilmiştir. 28 günde buhar kürü uygulanmış numunelerde hem kuvars ve hem kireçtaşı agregalarına sahip karışımlarda su/bağlayıcı oranları düşük olanlarda 181 MPa değerinde basınç dayanım değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3.1 Tablo 2.13'teki tasarımlara ait basınç dayanım değerleri

Şekil 3.2'te görüleceği üzere buhar kürü uygulanan numunelerde eğilme dayanımları 7 günde 12 – 16 MPa arasında değişirken, su kürü uygulanan numunelerde 10 – 13 MPa arasında bulunmuştur. 28 günde hem su kürü hem buhar küründe 18 MPa en yüksek değer olarak gerçekleşmiştir. Basınç ve eğilme dayanımlarında agrega

tipine bağı olarak değişkenlik gözardı edilebilecek kadar düşüktür. Bu sonuca göre RPB karışımlarında genel olarak kullanılan kuvars yerine kireçtaşı da seçilebilir.



Şekil 3.2 Tablo 2.13'teki tasarımlara ait eğilme dayanım değerleri

3.2 Agrega-Hamur Fazının Araştırılması Deney Sonuçları

Yapılan karışımlarda basınç ve eğilme dayanımı deneyleri için küp ve prizmatik numuneler hazırlanmış aynı zamanda metal kalıplar ve poliüretan kalıplarda dökümler yapılarak işlenebilirlik ile kalıba yerleşme denemeleri yapılmıştır. Yüzey dokusu düz olmayan kalıplarda yerleştirmede sıkıntı yaşanmış, yüzeylerde çok miktarda hava boşluğu kaldığı tespit edilmiştir. Proje başında kabul edilen 200-220 mm yayılma değerlerinin yeterli gelmediği tespit edilmiş ve yayılma değerinin arttırılmasına karar verilmiştir. 270-280 mm yayılma değerleri ile denemelere devam edilmiştir.

Agrega-Hamur fazının araştırılması için hacimce %40, %45, %50 ve %55 oranlarında karışımlar hazırlanmıştır (Tablo 2.14). Tüm karışımlarda 0-3 mm kireçtaşı kullanılmıştır. Numuneler üzerinde 7. ve 28. günlerde basınç ve eğilme testleri yapılmıştır. Karışım kodları Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Hazırlanan numunelerin üst

tabakaları çatlamaların oluşmasını engellemek için az miktarda nemlendirilmiştir. Numunelere sadece buhar kürü uygulanmıştır.

Tablo 3.2 Karışım kodları ve agrega-hamur hacimleri

	Karışımlar			
	1009	1010	1011	1012
Agrega - Hamur %	40-60	45-55	50-50	55-45
Yayılma (cm)	28	28	28	24



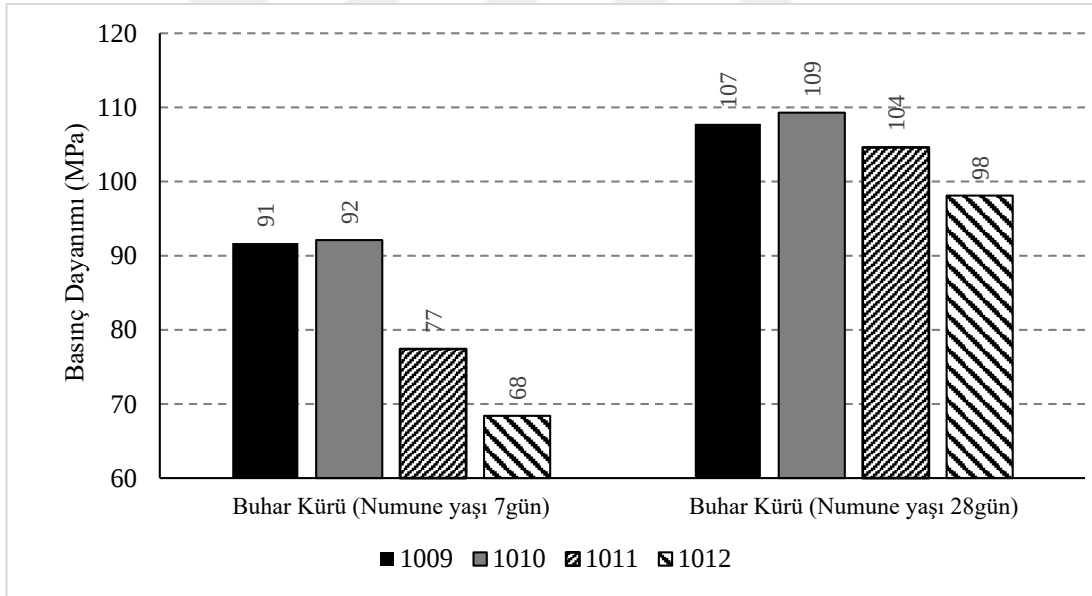
Şekil 3.3 Agregası hacmi %40 olan karışımın yayılma değeri (Kişisel arşiv, 2016)



Şekil 3.4 Agregası hacmi %55 olan karışımın yayılma değeri (Kişisel arşiv, 2016)

Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te agrega – hamur fazların yayılmaları aralarındaki farklar gözükmemektedir. Sırasıyla hamur oranının fazla olması, yayılmaya büyük bir etki

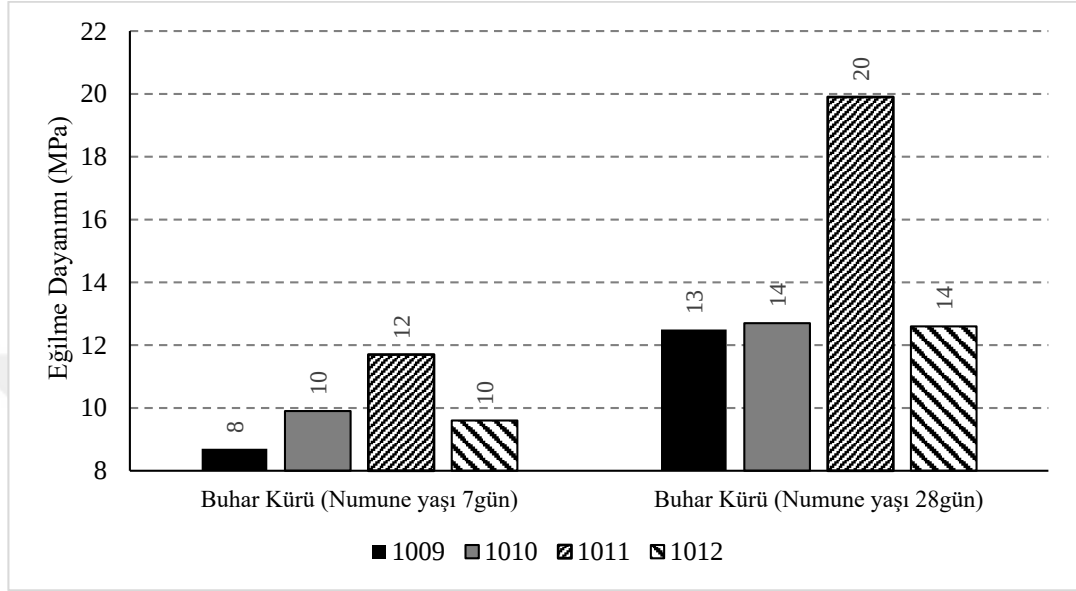
gösterdiği gözükmemektedir. Diğer yandan hamur oranının fazla olması beton yüzeyindeki gözenek oranında yüksek oranda azalması ve pürüzsüz bir desen sağladığı gözlenmiştir. Diğer yandan işlenebilirlikte artış olduğu gözükmemektedir. Şekil 3.5'te karışımların basınç dayanım incelenmiştir sonuçlara bağlı olarak hamur oranının yüksek olan karışımda 7 günlük basınç dayanımı diğer karışımlara göre daha fazla olmaktadır. Halbuki 28 günlük basınç dayanımlarda fark oranı daha düşük seviyede olduğu gözlenmiştir. Bağlayıcı oranının yüksek olması ve çimento matrisinin daha kuvvetli olmasına neden olmaktadır. 7 günlük numunelerin çimento reaksiyonu tamamen bitmediği ve agrega ve çimento arasındaki aderansın 28 günde sonuçlara göre daha düşük olması, hamur oranının yüksek olan karışımın diğer karışımlara göre daha yüksek basınç dayanımı olmasına büyük bir etken göstermiştir. Diğer yandan 28 günlük deney sonucuna göre kıyaslama yaparsak zaman akışına göre karışımların dayanımdaki farklılıkların azalmakta olduğunu görebilmekteyiz.



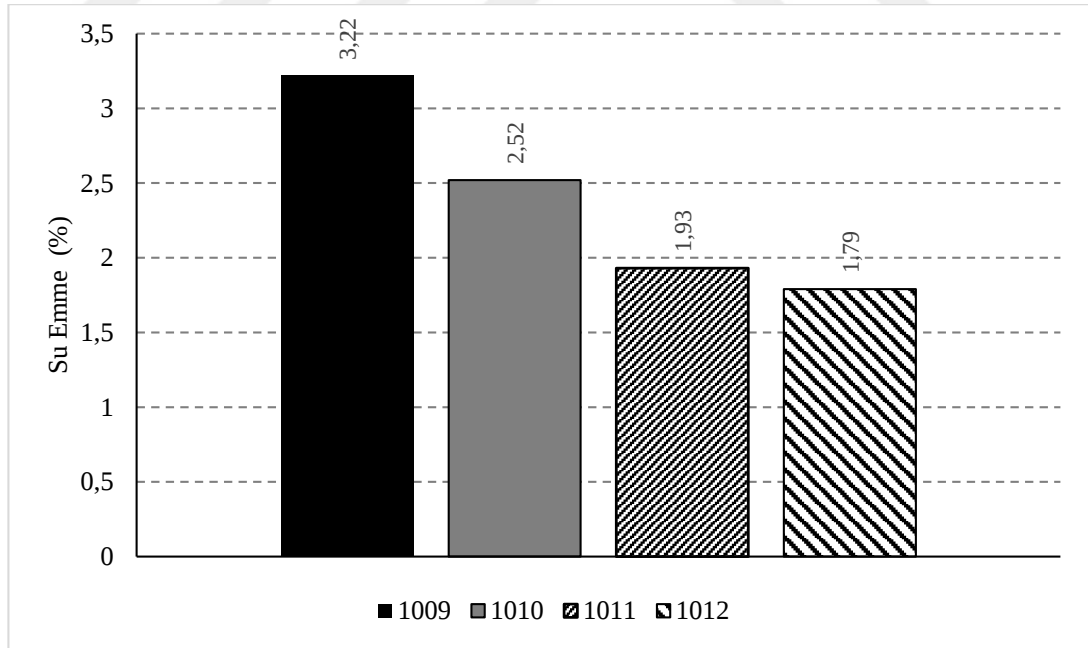
Şekil 3.5 Tablo 2.15'teki tasarımlara ait basınç dayanım değerleri

Eğilme dayanımında 7 günde 12 MPa en yüksek değer olarak elde edilmiş, 28 günde ulaşılan değerlerde bir karışım haricinde ciddi bir artış elde edilememiştir. Agrega-hamur hacmi %50-50 olan karışımda ise eğilme dayanımı 20 MPa değere ulaşmıştır. Agrega hacminin artışıyla buhar küründe mikro çatlakların azaldığı, bu yüzden eğilme dayanımı artışının belirgin olduğu söylenebilir. Ancak son karışımda

kullanılan %55 oranında agrega kullanımı, yerleşebilirlikteki zorluklar, yetersiz bağlayıcı miktarı ve artan arayüzey geçiş bölgesi sebebiyle eğilme dayanımı agrega hacmi doğrusal ilişkisini bozmuştur.



Şekil 3.6 Tablo 2.15'teki tasarımlara ait eğilme dayanım değerleri

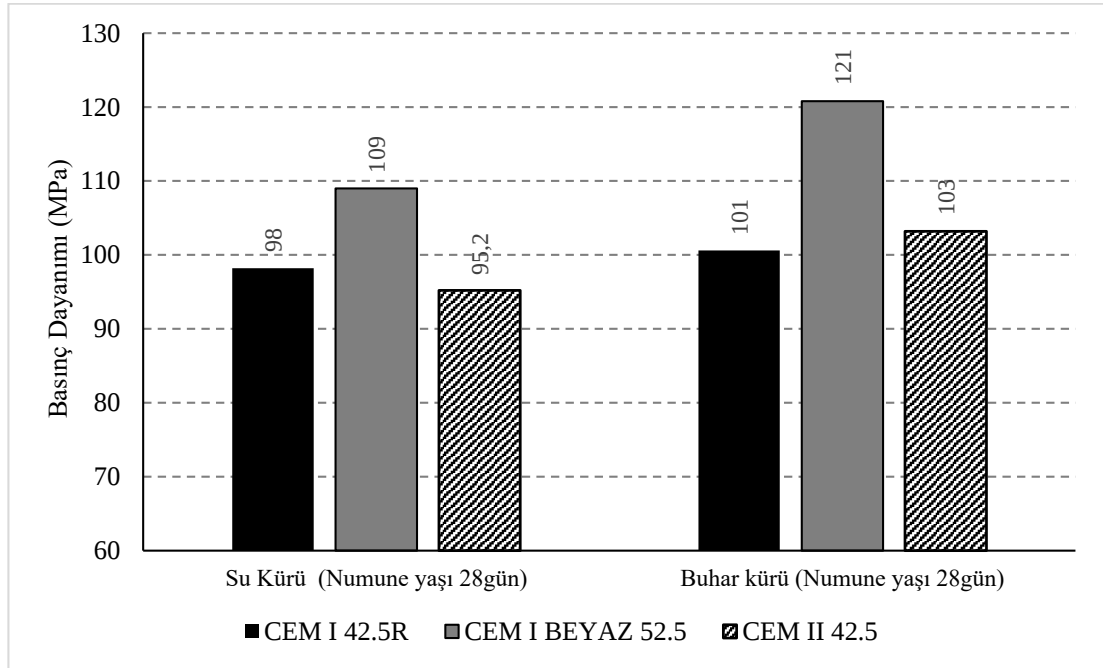


Şekil 3.7 Tablo 2.15'teki tasarımlara ait su emme oranları

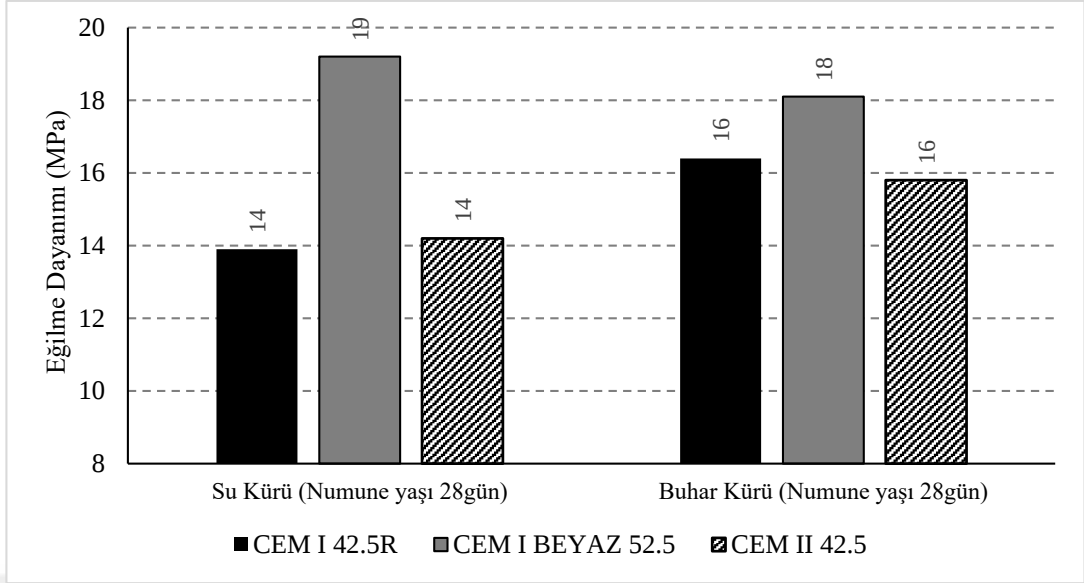
Şekil 3.7’deki sonuçlar, agrega miktarı arttıkça su emme miktarının azaldığını göstermektedir. Buna bağlı olarak da çevresel etkilere dayanımın artacağı düşünülebilir. Hamur oranının artması su emme oranının artışına etki gösterdiği gözükmemektedir bunun nedenini hamur matrisindeki kapiler boşluklar olduğunu var sayılabilir. Agrega hacmi artışının mikro çatlak boylarını azaltabildiği, aynı zamanda AGB miktarını artırarak sistemin porozitesini arttırabileceği literatürde vurgulanmaktadır (Grassl, Wong, ve Buenfeld, 2010). Bu çalışmadaki etkiye bakarak, agrega oranının artmasıyla su emme oranında yüksek oranda azalmasını su emmenin büyük oranda hamura bağlı olduğunu sonucuna varabilmekteyiz.

3.3 Farklı Çimento Tiplerinin Araştırılması Deney Sonuçları

Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da beklediğimiz üzere beyaz çimentolu karışımın basınç ve eğilme dayanımları diğer karışımlara göre daha yüksek olması gözlenmiştir. Cem I ve Cem II çimentoların 28 günde dayanımları aynı olduğu gözlenmiştir. Cem I çimento ilk gün mekanik özellikleri Cem II’ye göre daha yüksek olduğunu ve 28 günün sonunda aynı basınç değerlerine sahip oldukları gözlenmiştir.



Şekil 3.8 Tablo 2.15’deki tasarımlara ait basınç dayanım değerleri

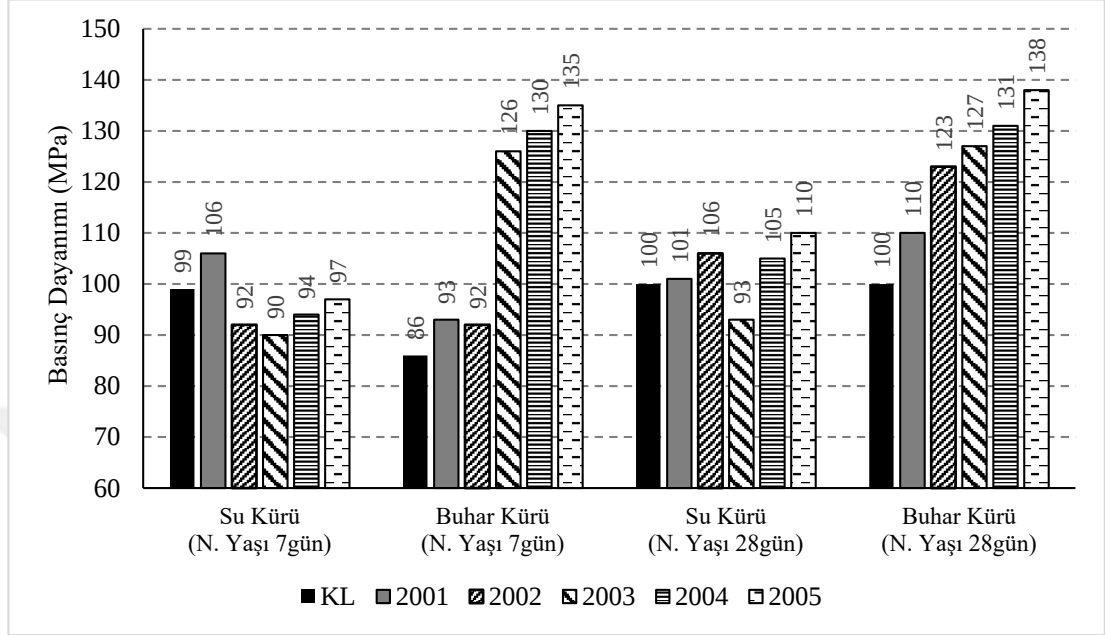


Şekil 3.9 Tablo 2.15'deki tasarımlara ait eğilme dayanım değerleri

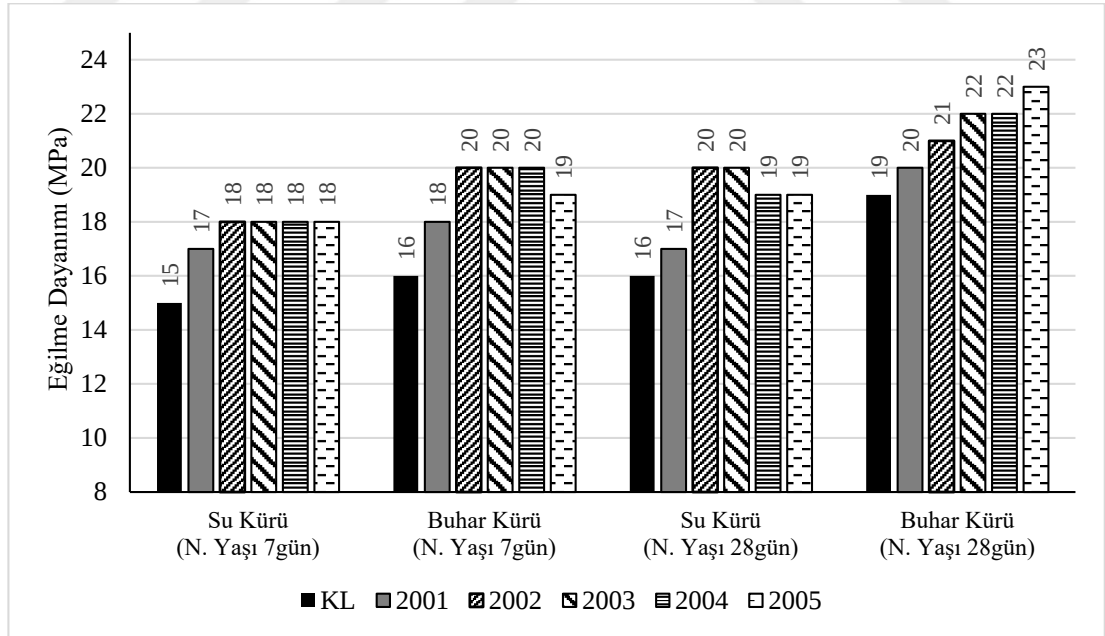
3.4 Silis Dumanı Oranının Araştırılması Deney Sonuçları

Silis dumanının betonun mekanik özelliklerine etkisi araştırılmış, Şekil 3.10'da gösterildiği gibi 7 ve 28 günde su ve buhar kürü uygulanan numuneler deneye tabii tutulmuştur. 7 günlük karışımlarda sırasıyla bağlayıcı yüzdesinin %0, %5, %10, %15, %20 ve %25 silis dumanı kullanılmış olup, yüzde 25 olan karışımda en yüksek basınç dayanımı gözükmemektedir. Betona buhar kürü uygulandıktan hemen sonra nihai dayanımın %85 ila %90 oranına ulaştığı kabul edilmektedir halbuki buhar kürü uygulanmış ve daha sonra 28. Güne kadar normal hava şartlarında bekletilmiş numunede %25 oranında basınç dayanımı artmıştır. Bunun nedeni silis dumanının reaksiyonunun buhar kür sayesinde hızlanması ve ileriki günlerde devam etmesidir. Ayrıca, buhar kürü uygulanan karışımlarda silis dumanı oranı arttıkça dayanımlarda artış gözlenmiştir, buhar kürünün yüksek sıcaklığı sayesinde ince silis tozları reaksiyona destek vermiş ve dayanımları arttırmıştır. Sonuç olarak üretimden sonra buhar kürü görmüş olan ve yüzde 25 silis dumanına sahip olan karışımın 28 günlük basınç dayanımı, silis dumanı içermeyen kontrol numunesine göre %18 daha yüksektir. Eğilme dayanım sonuçları Şekil 3.11'de sunulmuştur, 28 günlük su küründeki karışımlar, eğilme dayanımları maksimum olarak sonuçlanmıştır. Ek olarak 7 günlük ve 28 günlük buhar kürü karışımların deney sonuçlarının aralarında bir fark

olmadığı gözlenmiştir. Buna istinaden seri üretimler için 28 günlük dayanımı fabrika ortamında buhar kürüyle sağlanabilir.



Şekil 3.10 Tablo 2.16'daki tasarımlara ait basınç dayanım değerleri



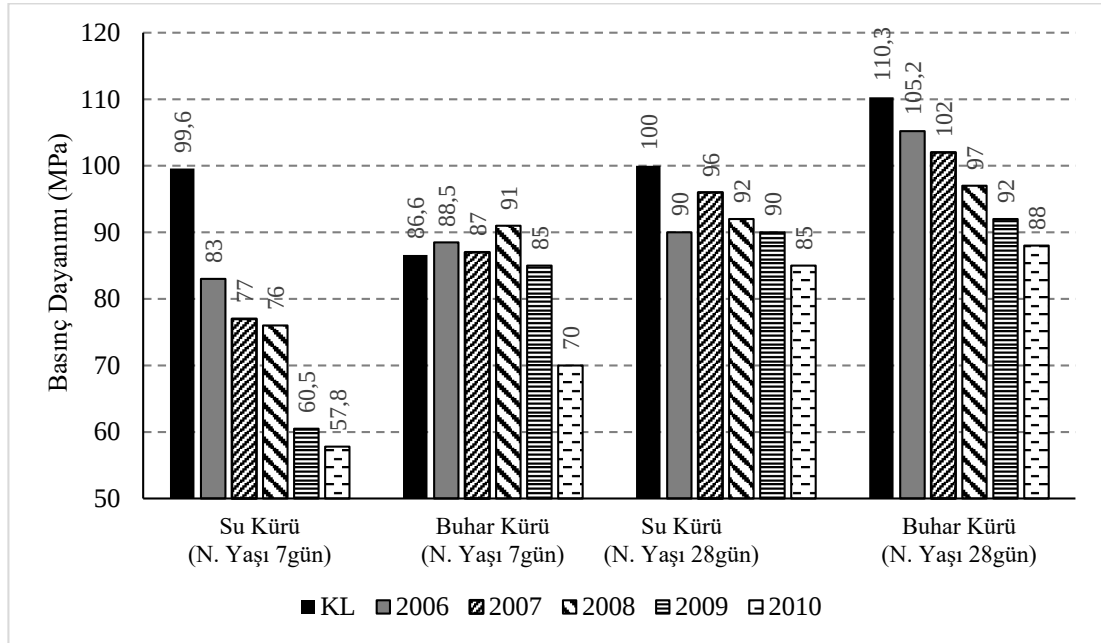
Şekil 3.11 Tablo 2.16'daki tasarımlara ait eğilme dayanım değerleri

3.5 Uçucu Kül Oranının Araştırılması Deney Sonuçları

Bölüm 2.2.5 'te kullanılmış karışımların uçucu kül/bağlayıcı oranları özet olarak Tablo 3.3'te verilmiştir. Karışımlara ait basınç dayanımı deney sonuçları Şekil 3.12'de gösterilmektedir. Basınç dayanımı olarak en yüksek değer buhar kürü uygulanmış uçucu kül içermeyen kontrol numunesinin 28 günde elde edilmiştir, 110 MPa bulunan değere en yakın basınç dayanımı ise 105 MPa ile %5 oranında uçucu kül içeren ve buhar kürü uygulanan 28 günlük numunedir. 7 günlük su küründe bekletilen 6 çeşit karışım sırasıyla uçucu külün oranının artışıyla, basınç dayanımlarında azalma gözlenmiştir. Yüksek oranda dayanım kaybının puzolanların reaksiyonların tamamlanmaması bağlıdır. 28 günlük, buhar kürü uygulanmış olan karışımlarda şahit karışımı en yüksek basınç dayanımı gözlenmiştir. Uçucu kül ikame oranının artmasıyla basınç dayanımında orantılı olarak düşüş gözlenmiştir.

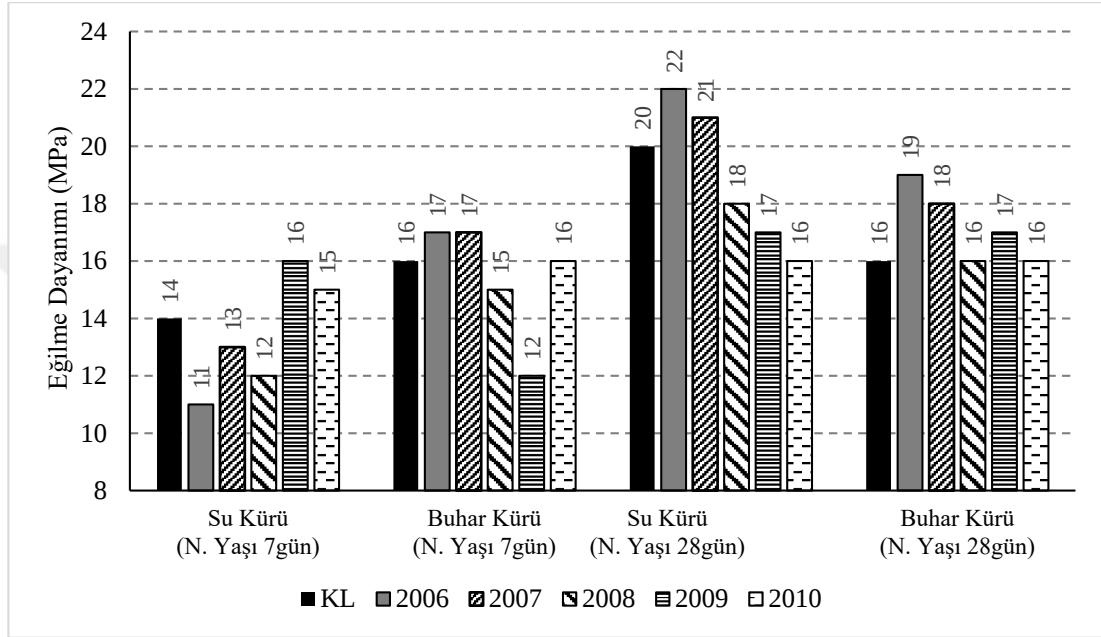
Tablo 3.3 Karışım kodları ve UK/B oranları

	Karışımlar					
	KL	2006	2007	2008	2009	2010
UK/B (%)	0	5	10	15	20	25



Şekil 3.12 Tablo 2.17'deki tasarımlara ait basınç dayanım değerleri

Eğilme dayanımı sonuçlarında en iyi performansı %5 uçucu kül içeren ve su kürüne tabi tutulan 28 günlük numune vermiştir; 22 MPa olan eğilme dayanımını sırasıyla 28 günde su kürü uygulanan %10 uçucul kül içeren ve kontrol numuneleri izlemiştir. Buhar kürü uygulanan numunelerde eğilme dayanımların bir dayanım farkı gözlenmemiştir.



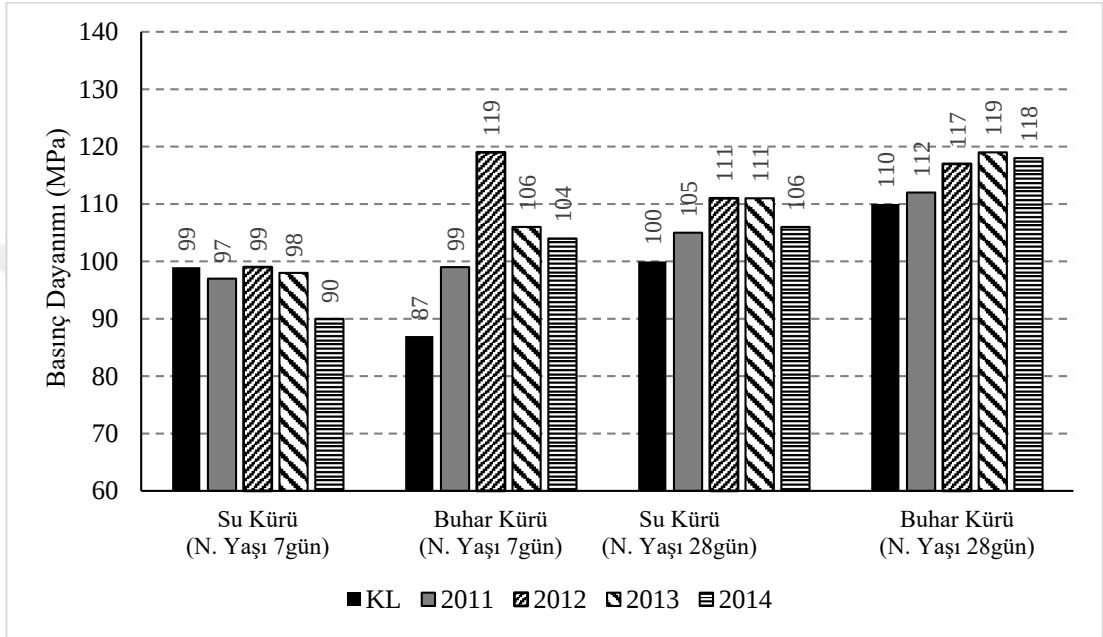
Şekil 3.13 Tablo 2.17'deki tasarımlara ait eğilme dayanım değerleri

3.6 Yüksek Fırın Cürufu Oranının Araştırılması Deney Sonuçları

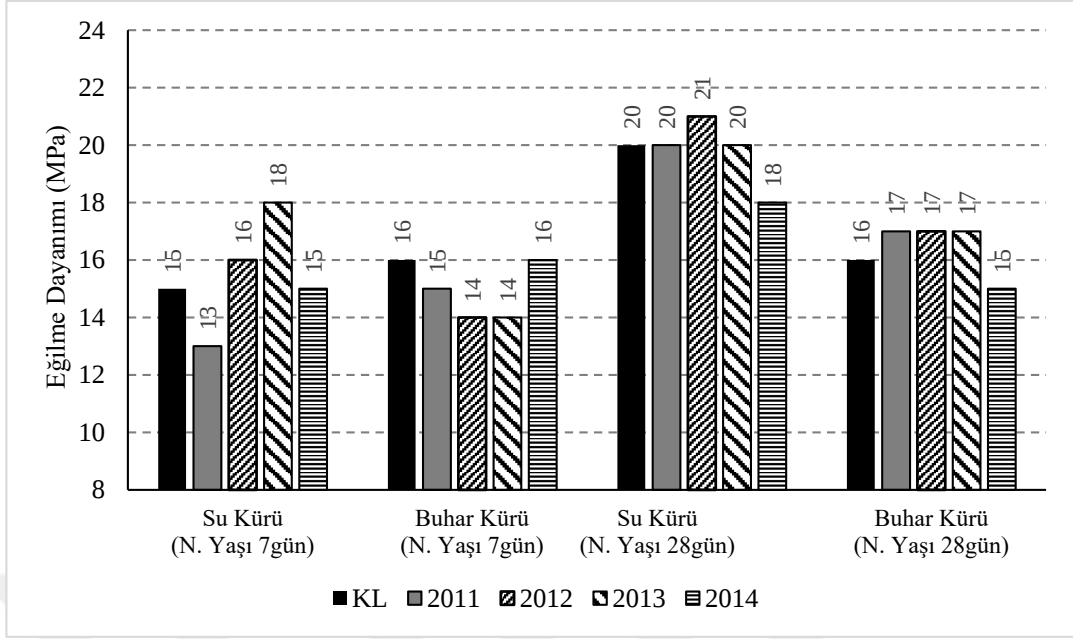
Bölüm 2.2.6 'da kullanılmış karışımların yüksek fırın cürufu/bağlayıcı oranları özet olarak Tablo 3.4'te verilmiştir. 7 günde en iyi basınç dayanım performansı 119 MPa olarak %20 YFC oranıyla buhar kürüne tabi tutulmuş numunede elde edilmiştir. 28 günde değerlerde de yakın değerler elde edilmiş ve su kürü ve buhar küründe yakın değerlere ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Eğilme dayanımında en iyi performansı 21 MPa ile %20 YFC içeren ve su kürüne tabi tutulan 28 günlük numunelerde elde edilmiştir. Su kürü uygulanan karışımlarda buhar kürü uygulanan karışımlara göre daha iyi sonuçlar alınmıştır, bunun nedeni puzolanların erken dayanımdan sonra hidratasyona devam etmesi ve bu sürede su küründe suya doymun bir ortamda bulunmasıdır.

Tablo 3.4 Karışım kodları ve YFC/B oranları

	Karışımlar				
	KL	2011	2012	2013	2014
YFC/B (%)	0	10	20	30	40



Şekil 3.14 Tablo 2.19'deki tasarımlara ait basınç dayanım değerleri



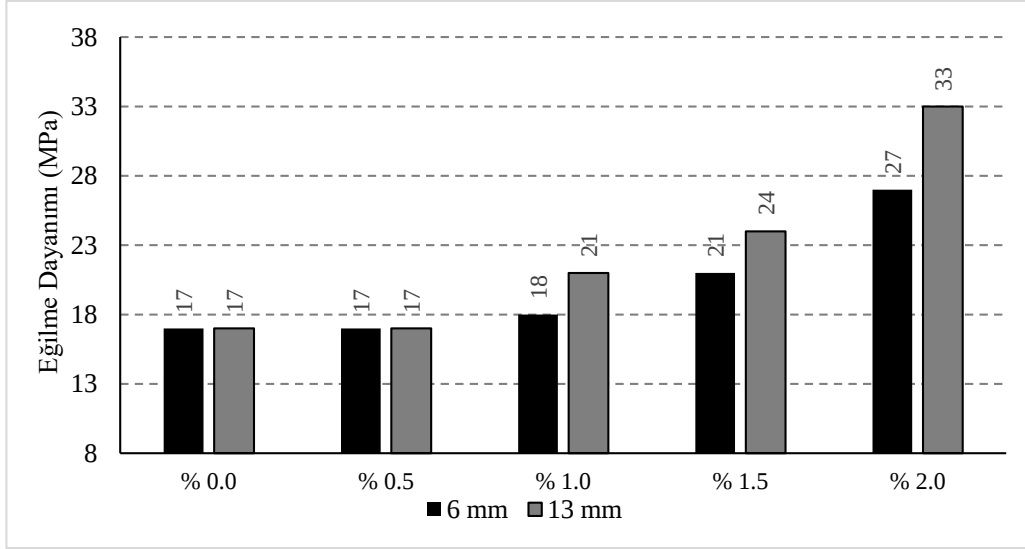
Şekil 3.15 Tablo 2.19'daki tasarımlara ait eğilme dayanım değerleri

3.7 Mikro Liflerin Oranlarının Araştırılması Deney Sonuçları

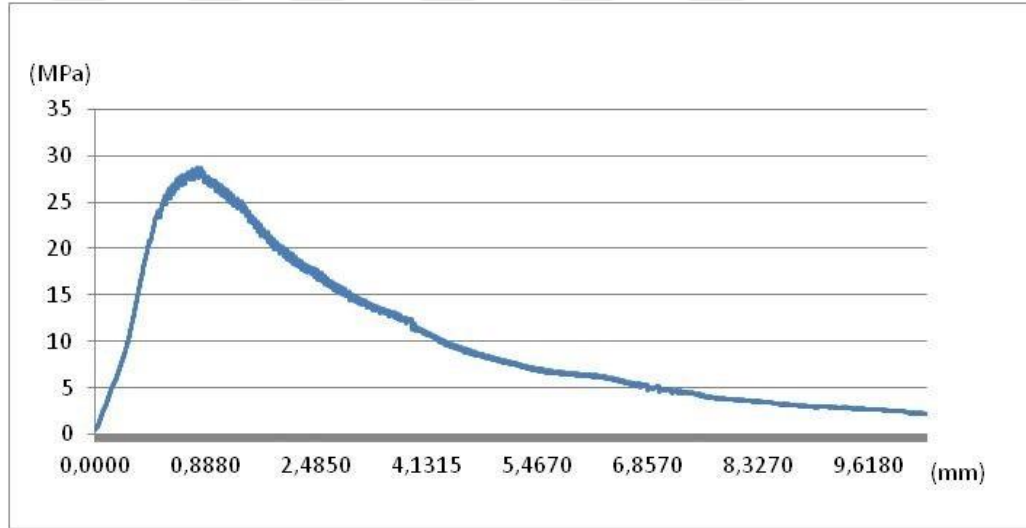


Şekil 3.16 %2 oranında 13 mm Lif içeren numunenin deney sonrası görüntüsü (Kişisel arşiv, 2016)

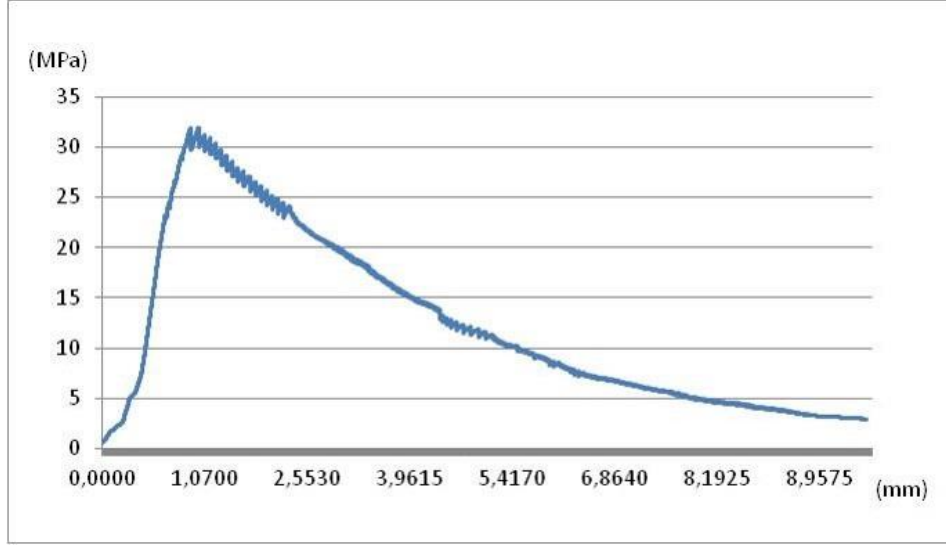
Mikro lifler beklendiği üzere eğilme performansına büyük katkı sağlamışlardır. %2 oranında lif eklendiğinde eğilme dayanımlarında iki katına yakın bir artış görülmüştür. Ancak lif oranının artması taze betonda işlenebilirliği düşürmektedir. Bununla birlikte özellikle 13 mm liflerin döküm sırasında karışıma eklenmesi oldukça sıkıntılı olmuştur. Topaklanmaya neden olan lifler elle yavaş yavaş serpmeye işlemi uygulanarak eklenmiştir.



Şekil 3.17 Tablo 2.19'daki tasarımlara ait eğilme dayanım değerleri



Şekil 3.18 %2 6mm Lif içeriğine sahip numunenin eğilme dayanımı / deplasman eğrisi



Şekil 3.19 %2 6mm Lif içeriğine sahip numunenin eğilme dayanımı / deplasman eğrisi

3.8 Çevresel Etkilere Karşı Dayanıklılığın Araştırılması Deney Sonuçları

Çevresel etkilere karşı dayanıklılığın araştırılması konusunda donma-çözülme deneyi yapılmış ve karışım tablosu Tablo 2.20’de sunulmuştur. Karışım olarak herhangi bir puzolan içermeyen ve sırasıyla SD, UK ve YFC içeren tasarımlar yapılmıştır. Karışım kodları ve puzolan/bağlayıcı oranlarını gösteren özet tablo Tablo 3.5’te gösterilmiştir.

Tablo 3.5 Karışım kodları ve puzolan/bağlayıcı oranları

	Karışımlar			
	KL	3009	3010	3011
SD/B (%)	-	20	-	-
UK/B (%)	-	-	20	-
YFC/B (%)	-	-	-	20

Tüm numuneler bir gün suda bekletilerek tam doygun ağırlıkları alınmış sonrasında etüvde bir gün bekletilip etüv kuru ağırlıkları ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Numuneler yeniden suya alındıktan sonra bir gün bekletilmiş ardından derin dondurucuda dondurulmuştur. Deneyin devamında numuneler günde iki çevrim olarak çözülmeye tabi tutulmuştur ve 50 çevrim sonunda deney sonlandırılmıştır. Deney

sonunda silis dumanı içeren numuneler dışındaki hiçbir numunede ağırlık kaybı olmamıştır. Silis dumanı içeren numunelerdeki ağırlık kaybı da %0,2'nin altında çok küçük bir değer olarak hesaplanmıştır. Sonuçlara bakıldığında donma-çözülme öncesi ve sonrasında bir fark görülmemiştir. Boşluk oranı çok düşük olduğundan su geçirme özelliği neredeyse yok denecek UYPB'lerde çevresel etkilere karşı dayanıklılık performansı çok iyidir ve kentsel alanlarda kullanılmak üzere iyi bir seçenektir.



Tablo 3.6 Tablo 2.20'deki tasarımlara ait donma-çözülme deney sonuçları

Numune No	Puzolan İçeriği	Donma – Çözülme Öncesi			Donma – Çözülme Sonrası			
		Doygun Ağırlık (gr)	Etüv Kurusu Ağırlık (gr)	Su Emme (%)	Doygun Ağırlık (gr)	Etüv Kurusu Ağırlık (gr)	Su Emme (%)	Kaybolan
KL-1	-	146,1	137,8	6,02	143,5	138,9	3,31	-1,1
KL-2		146,9	138,6	5,99	144,2	139,5	3,37	-0,9
KL-3		143,2	134,9	6,15	140,3	135,7	3,39	-0,8
KL-4		150,5	142,0	5,99	146,9	142,8	2,87	-0,8
KL-5		146,5	138,0	5,93	144,4	139,4	3,59	-1,1
KL-6		147,0	138,7	5,98	143,0	139,4	2,58	-0,7
Ortalama		146,7	138,4	6,01	143,7	139,3	3,19	-0,9
3009-1	SD	147,9	142,8	3,57	145,6	142,7	2,03	0,1
3009-2		153,6	147,9	3,85	151,0	147,7	2,23	0,2
3009-3		143,5	138,4	3,68	141,1	138,3	2,02	0,1
3009-4		152,9	147,7	3,52	150,3	147,5	1,90	0,2
3009-5		157,3	151,8	3,62	154,6	151,7	1,91	0,1
3009-6		148,2	142,9	3,71	145,5	142,7	1,96	0,2
Ortalama		150,6	145,3	3,70	148,0	145,1	2,00	0,2
3010-1	UK	135,8	128,7	5,52	133,6	129,3	3,33	-0,6
3010-2		129,6	122,7	5,62	126,6	123,2	2,76	-0,5
3010-3		137,2	129,7	5,78	133,8	130,4	2,61	-0,7
3010-4		132,5	125,4	5,66	130,3	126,0	3,41	-0,6
3010-5		135,0	127,0	6,30	132,8	128,7	3,19	-1,7
3010-6		139,7	132,4	5,51	136,8	132,9	2,93	-0,5
Ortalama		135,0	127,7	5,70	132,3	128,4	3,00	-0,8
3011-1	YFC	151,5	143,3	5,72	148,2	144,5	2,56	-1,2
3011-2		149,3	140,9	5,96	146,0	142,2	2,67	-1,3
3011-3		148,5	140,6	5,62	145,3	141,6	2,61	-1,0
3011-4		152,2	144,2	5,55	148,8	145,1	2,55	-0,9
3011-5		140,7	133,2	5,63	137,3	134,0	2,46	-0,8
3011-6		141,1	132,4	6,57	137,2	133,6	2,69	-1,2
Ortalama		147,2	139,1	5,80	143,8	140,2	2,60	-1,1

BÖLÜM DÖRT

PROTOTİP ÜRÜNÜN TASARLANMASI- ÜRETİMİ- KALIP TÜRÜ VE YÜZEY KALİTESİNİN ARAŞTIRILMASI

Farklı alternatif kalıp malzemeleri ile ilgili bilgiler toplanmış, özellikle daha önce kullanılmayan malzemeler ile ilgili çeşitli doküman ve çalışmalar incelenmiştir. Farklı kalıp malzemelerinden laboratuvar tipi küçük kalıplar yapılmıştır. Betonun kalıba yerleşmesi, malzemenin yüzey performansına etkisi ve betonun kalıbı doldurma yeteneğine göre gerekli yayılma değerleri belirlenmiştir.

Projenin ilk hedefi olarak belirlenen mevcut kent mobilyasının inceltilmesi, hafifletilmesidir. Bu amaçla Bank 20 MPa teorik eğilme dayanımı ve orjinal bankın taşıma kapasitesi göz önünde bulundurularak olabildiğince narin bir şekilde, yükseklik ve uzunluk sabit tutularak ince kesitli bank tasarlanmıştır. Bankın ilk halinin hacmi 0,26 m³ (588kg) gelmektedir. Yeni tasarlanan bank ile bu hacim 0,13 m³ (300 kg)’a düşürülmüştür. Ulusal veya Uluslararası herhangi bir beton kent donatısı standardı yoktur. Referans olarak, mevcut dayanımı kanıtlanmış banklar, Neufert Yapı Tasarım Kitabı (Neufert, 2000), ağırlık, ekonomi, durabilite (Ekonomik ömrü) göz önüne alınmıştır.

Tablo 4.1 Mevcut ürün ile hedeflenen ürünün karşılaştırılması

Teknik Özellik	Mevcut Bank	Hedeflenen Proje Çıktısı
Kalınlık	135 mm	40 – 60 mm
Ağırlık	588 kg	280-300 kg
Çevresel etkilere karşı direnç	Servis ömrü 50 yıldan düşük	Servis ömrü 50 yıldan fazla
Eğilme dayanımı	6 MPa	20 MPa

Çok sayıda döküm yapılacağı için çalışmanın kolay olması açısından 1/3 ölçeğinde prototip tasarlanmıştır. Prototip teknik çizimi ve kalıp tasarımı Şekil 4.1’de sunulmuştur. İlk prototip kalıbı metal malzemeden yapılmıştır.

Technical drawing of a two-tier display stand. The drawing includes a front view, a side view, and a 3D perspective view.

Front View Dimensions:

- Total Width: 500
- Total Height: 490
- Top Tier Width: 390
- Top Tier Height: 40
- Bottom Tier Height: 80
- Side Panel Height: 265

Side View Dimensions:

- Top Tier Width: 390
- Top Tier Height: 40
- Bottom Tier Height: 80
- Side Panel Height: 265
- Angle: 135°

3D View Dimensions:

- Total Width: 500
- Total Height: 490
- Top Tier Width: 390
- Top Tier Height: 40
- Bottom Tier Height: 80

Oturma bankı için 1 numaralı prototip kalıbı Şekil 4.2’de sunulmuştur. Malzemenin en önemli özelliği kendini ve içindeki taze betonu şekil değişikliğine uğramadan taşıyabilmesidir. Uygun reçete ile brüt beton görünümü elde edilebilir.

52

bir desen verilememesi, kenarlarda birleşim yerleri tam kapatılmazsa şerbetin dışarı sızması ve kenarlarda renk bozularak görselliği olumsuz etkilemesi yaşanabilmektedir.



Şekil 4.2 Prototip-1 bank metal kalıbı (Kişisel arşiv, 2017)



Şekil 4.3 Prototip-1 bank kalıbından üretilmiş numune (Kişisel arşiv, 2017)

Şekil 4.3’de görüleceği üzere, kalıbın iyi temizlenmemesi ya da uygun kalıp yağı kullanılmaması gibi nedenlerle yüzeyde lekeye neden olmaktadır. Aynı zamanda kalıbın dikkatlice yağlanmamış olması ve yetersiz yağ kullanılması beton parçalarının kalıba yapışmasına ve ürünün bozulmasına neden olmuştur.

Betonun homojen olmaması, yeterli karışmaması ve katkı – su dengesinden kaynaklı yüzeyde bozuk görünüm oluşmasına neden olmaktadır. Diğer kalıp türleriyle çalışmalarda bu hususlara dikkat edilecek ve karşılaştırma yapılacaktır. Bununla birlikte daha homojen ve doku farkına neden olmayan karışımlar elde edilmeye çalışılacaktır.

Polyester farklı sektörlerde oldukça yaygın kullanılan bir malzemedir. Hafif ve metale göre ucuz olan polyesterin kalıplama süreci farklıdır. İstenen ürünün elinizde olması gerekir ki model olarak kullanılarak kalıp alınabilsin. Öncelikle tasarım yapılan ürünün modeli yaptırılır, bunun için CNC tezgahlarında işlenebilen çeşitli malzemeler kullanılabilir. Model malzemesi seçimi elbette ki ürününüzün tasarımına bağlıdır. Olumsuz tarafı ek bir maliyet getirmesidir. Yapılan işleme ve malzemeye göre fiyatlar çok değişkendir.

Bu proje kapsamında tasarımı yapılan bir ürünün kalıbının polyesterden yapılmasına karar verilmiştir. Teknik çizimi Şekil 4.4'te gösterilmekte olan ürün Solidworks programında hazırlanmış ve ilk önce model olarak yaptırılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.6 Polyester malzemedan yaptırılmış 2 parça kalıp (Kişisel arşiv, 2017)

Polyester malzemedan yaptırılan kalıp Şekil 4.6’te gösterilmektedir. Metal malzemedan elde edilemeyecek veya yüksek maliyetlere neden olacak geometrik şekiller polyesterden rahatça elde edilebilmektedir. Bununla birlikte malzemenin hafif olması kullanma ve işçilik kolaylığı sunmaktadır. Bir diğer avantajı da sert bir malzeme olmasından dolayı başka bir destek malzemesine ihtiyaç duymamasıdır.

Polyester kalıbın olumsuz yanı ise metal gibi dayanıklı olmamasından dolayı hızlı yıpranması, bir kalıptan alınabilecek ürün sayısının metal kalıba kıyasla oldukça düşük olmasıdır. Çoğunlukla tamir edilemezler.



Şekil 4.7 Polyester kalıp ile hazırlanan numune (Kişisel arşiv, 2017)

Polyester kalıp ile beyaz çimentolu %1 mikro lif içeriğine sahip 3004 numaralı karışım hazırlanmıştır. Şekil 4.7’te kalıp sökme aşaması görülmektedir. Kalıbın hazırlanması, betonun kalıba yerleşimi kolaydır. Boşluksuz, güzel ve temiz bir yüzey görünümü elde edilmiştir. Kalıp malzemesinin iç yüzeyinin pürüzsüz olması sayesinde elde edilen ürünün yüzeyi düzgün ve parlaktır. Ayrıca birbirine kilitlenebilen kalıp sayesinde kenar boşlukları tamamen kapatılabilmektedir bu sayede kenarlarda herhangi bir şerbet sızması yaşanmamıştır. Yüzey veya kenarlarda düzeltme işlemi yapılmasına gerek duyulmamıştır.

Bitmiş üründe yüzey işlemi olarak, ekstra parlaklık verecek veya rengini değiştirecek işlemler uygulanmıştır. Kaplama olarak zemin kaplamalarında yoğunlukla kullanılan epoksi uygulaması tercih edilmiştir. Epoksi kullanım kolaylığı, sağlam ve düzgün bir oluşturması ve maliyetinin farklı kaplama malzemelerine göre uygun olması gibi sebeplerden tercih edilmiştir. Bu uygulama için üç farklı epoksi türü

denenmiştir. Bu ürünlerin gri renkte olanları istenildiği gibi renklendirilemediği için amaca uygun bulunmamıştır. Şeffaf epoksi düzgün olan beton görünümünü olduğu gibi göstereceğinden veya pigment ile renklendirilip uygulanabileceğinden tercih edilmiştir.

Öncelikle kaplama denemeleri için geniş ve parlak yüzeyli beton numuneler hazırlanmıştır ve denemeler üzerinde yapılmıştır. İki farklı epoksi türü denenmiştir. Bu ürünlerin gri renkte olanları (Şekil 4.8) istenildiği gibi renklendirilemediği için amaca uygun bulunmamıştır (Şekil 4.10). Şeffaf epoksi (Şekil 4.9) düzgün olan beton görünümünü olduğu gibi göstereceğinden veya pigment ile renklendirilip uygulanabileceğinden tercih edilmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.8 Gri renkli epoksi malzemesi (Kişisel arşiv, 2016)



Şekil 4.9 Şeffaf epoksi malzemesi (Kişisel arşiv, 2016)



Şekil 4.10 Beton yüzeyinde gri renkli epoksi denemesi (Kişisel arşiv, 2017)



Şekil 4.11 Beton yüzeyinde şeffaf epoksi denemesi (Kişisel arşiv, 2017)

Beton yüzeyin rengini değiştirmek amacıyla Şeffaf epoksi ile kullanılan 0-2 mm kırmızı bazalt agregasının görüntüsü Şekil 4.12’de sunulmuştur. Kırmızı tonlarda bir kaplama malzemesi elde edilmiş ve bisiklet kilidi ürününün yüzeyine fırça ile uygulanmıştır. Şekil 4.13’de görüleceği üzere beton yüzeyi üzerinde renk dalgaları oluşmuştur, bu da malzemenin işçiliği konusunda özenli olunması ve homojen bir görüntü elde etmek için püskürtme işleminin tercih edilmesi gerektiğini göstermiştir.

Bisiklet parkı için, S/B oranı 0,20 olan ve %1 6 mm lif içeriği olan 3002 kodlu tasarım beyaz çimento ile hazırlanmıştır. Ayrıca renkli bir karışım da denenmiş, renk vermek için kırmızı bazalt kullanılmıştır. Karışımlar kırmızı bazalt, kireç taşı ve kuvars kumu ile denenmiştir. Kırmızı bazalt ile hazırlanan karışımlar diğer karışımlara göre çok daha viskoz ve yayılma değeri düşük olmuştur. Katkı ilavesi durumunda da çok iyi sonuçlar alınamamıştır. Kırmızı bazalt ile yapılan dökümlerde vibrasyon kullanılmış ve yüzey görünümü olarak benzer sonuçlar elde edilmiştir. Polyester

kalıpta lifler yüzey görünümünü bozmamıştır. Kırmızı bazalt ile dökülmüş ürüne ait görsel Şekil 4.13'te, uygulanmış ürün de Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.12 0-2 mm kırmızı bazalt (Kişisel arşiv, 2016)



Şekil 4.13 Yüzeyi renklendirilmiş epoksi ile kaplanmış ürün (Kişisel arşiv, 2017)



Şekil 4.14 Bisiklet Kilidinin Fabrika bahçesinde uygulanmış görüntüsü (Kişisel arşiv, 2017)

Çalışma devam ederken İzmir Büyükşehir Belediyesinin Kordon'un otopark alanlarında gerçekleştirilen bir projesi kapsamında Şekil 4.15'da gösterilen beton stoperler polyester kalıp ile üretilerek yerinde uygulanmıştır (Şekil 4.16). Polyester kalıp kullanılarak üretilen beton araç stoperinin karışım tasarımı S/B oranı 0,22, SD/B oranı %5, agrega hacmi %55 olarak kireçtaşı olacak şekilde dizayn edilmiş ve %1,5 oranında 13 mm mikro lif kullanılmıştır.



Şekil 4.15 Beton araç stoperi (Kişisel arşiv, 2017)



Şekil 4.16 Kordon boyunca uygulaması yapılan beton stoperler (Kişisel arşiv, 2017)

Son olarak denenmiş kalıp malzemesi poliüretan. Poliüretan, kimyasal bir üründür ve genelde iki tip sıvının karıştırılıp istenen model üzerine dökülerek, fırça ile sürülerek ya da sprey püskürtülerek uygulanır ve kür edilerek elde edilmektedir. Elde edilmek istenen yüzey detayına göre farklı sertlik (shore) değerlerinde kullanılmaktadır. Sertlik dereceleri Shore A20 ile shore A90 arasında değişmektedir.

A20 değeri yumuşak ve shore değeri arttıkça sertleşmekte A90 değerindeki en sert poliüretan malzeme olmaktadır.

Üç boyutlu modeller için önerilen sertlik değeri A45'dir. Bu sertlik değerindeki kalıplar da betondan esnetilerek çıkarılabilir. Doku olarak verilecek detay biraz daha kısıtlıdır. Poliüretan kalıpların zayıf tarafları gerilmelere karşı stabil olmamalarıdır. Kalıba taze beton döküldüğü zaman deformasyona uğrama eğilimindedirler bu nedenle özellikle büyük hacimli dökümlerde dış kısmına metal vb. destekler yapılması gerekebilir.

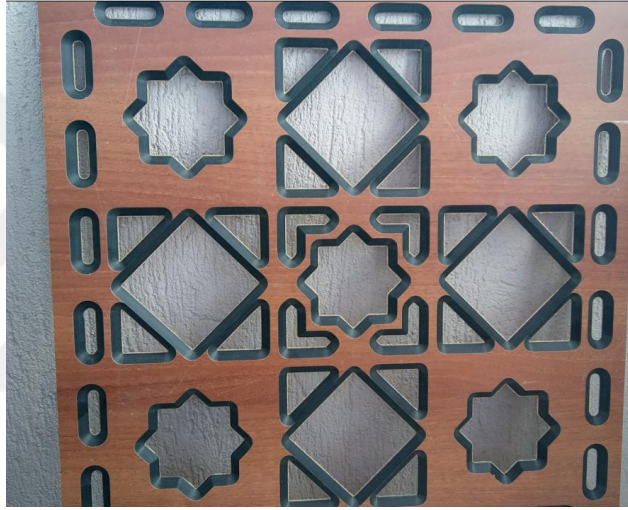
Poliüretan kalıp kullanımında da polyester malzemede olduğu gibi model kullanma zorunluluğu vardır. Bu da çok değişken olarak maliyetlerin artmasına neden olmaktadır. Bir diğer önemli kriter modelin yapılacağı malzeme seçimidir. Çalışma süresince dört farklı model malzemesi kullanılmıştır.

İlk denenen malzeme maliyet avantajı nedeniyle strafor köpüktür. Cnc tezgahta işlenen malzemenin iki dezavantajı farkedilmiştir. Birincisi, strafor köpük boşluklu bir malzeme ve yüzeyi parlak olmadığından dolayı, poliüretan da sıvı bir karışım olduğundan ve hassas yerleşme kabiliyetinden dolayı yüzeyin tüm pürüzünü almasının yanında kimi boşlukları doldurarak bozuk bir yüzey kalıbı ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Böyle bir kalıpta yapılan beton dökümü tüm yüzeysel kusurların olduğu gibi beton yüzeyinde oluşmasına neden olmakta ve parlak olmayan bir yüzey elde edilmesine sebep olmaktadır. İkinci dezavantajı ise, kalıp alma sürecinde modele yeterli kalıp yağı püskürtülse dahi yağı emdiği için poliüretanın sertleştikten sonra kısmi olarak modele yapışmasının önüne geçilememekte ve modelin kalıptan çıkarılırken bozulmasına hatta parçalanmasına sebep olmaktadır. Bu da modelin tek kullanımlık olmasına neden olmaktadır.

İkinci denenen malzeme ahşaptır. Cnc tezgahta işlenen ahşapta istenen boyut ve dokular elde edilebilmektedir ancak işleme maliyetleri çok yüksektir. Diğer bir dezavantajı, sıvıyı emme özelliği olduğu için hem köpükteki gibi yapışma olmaması hem de yüzeydeki çiziklerin doldurularak parlak bir yüzey elde edilmesi için kalıp

yağından önce özel bir macunla tüm yüzeyin kaplanması gereklidir. Bu da ilave maliyet ve işçiliğe neden olmaktadır. En büyük avantajı modelin bozulma ihtimalinin çok düşük olmasıdır ve iyi bakım yapılarak bir modelden çok miktarda kalıp alınabilir.

Üçüncü olarak denenen model malzemesi HPL’dir (Şekil 4.17). “Yüksek basınçlı laminat (HPL), melamin reçinesi ile emprenye edilmiş kraft kağıt katmanlarının, dekoratif kağıt ve koruyucu kaplama ile kaplandığı ve elde edilen laminatın, yüksek basınç ve sıcaklıklarda alt tabakalara tutturulduğu dekoratif bir laminat şeklindedir.” (Tesla Mimarlık, 2018)



Şekil 4.17 Model olarak kullanılan HPL (Kişisel arşiv, 2016)



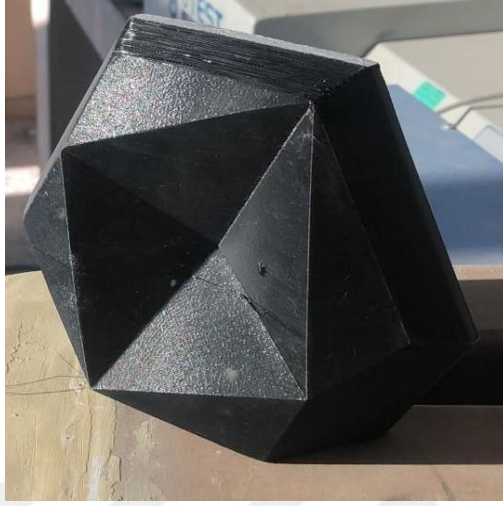
Şekil 4.18 HPL modelinden elde edilen poliüretan kalıp (Kişisel arşiv, 2016)

Dördüncü denenen model malzemesi 3 boyutlu yazıcı ile kullanılan PLA'dır. "PLA veya Poliaktik Asit bio bazlı materyallerden çıkarılan dekstroz (şeker)'dan yapılmaktadır. PLA, en iyi şekilde PET-A ile karşılaştırılabilir ve aynı hatlarda dönüştürülebilir (şişirme kalıp, ISBM ve termoform). Enjeksiyon kalıplama uygulamalarında kolaylıkla kullanılabilen, Polistiren (PS) yerine kullanılabilen daha yüksek MFI sınıfları da vardır" (Resinex, 2019).

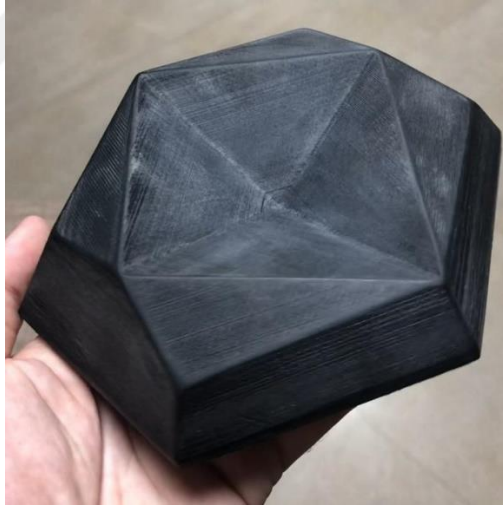
Doğada son bulan atıkların biyobozunmasının gerçekleşmesi için topraktaki organizmaların yapısı ve çevre etkisi önem taşır. Mısır, bezelye, bitkisel yağ veya mikrobiyaya gibi yenilenebilir hayvansal ve bitkisel kaynaklardan üretilen plastiklere, doğada çözünmeleri daha kolay gerçekleştiği ve zararsız olduğu için Biyobozunur Plastik denir. Biyobozunur plastik ambalaj malzemelerinden üretilen ürünlerin küresel ısınmaya sebep olan sera gazı salınımı oranı oldukça azdır. Bu nedenle ABD ve AB ülkelerinde toprakta eriyebilen bu plastik ambalaj malzemelerinin kullanımı artmaktadır. Biyobozunur plastikler, toprakta 1-6 ay gibi kısa bir süre içerisinde çürüyüp doğaya karışmaktadır (Copunesahipcik, 2019).

Üç Boyutlu yazıcı kullanılarak 3 boyutlu duvar kaplama ürün modelleri hazırlanmıştır (Şekil 4.19). Park bir kalıp elde etmek amacıyla yüzeye zımpara işlemi

yapılmıştır (Şekil 4.20). Daha sonra poliüretan malzemesi ile kullanılan kalıp ayırıcı sprej püskürtülerek kalıp alma işlemi yapılmıştır. Bu modelden elde edilen kalıp Şekil 4.21’da gösterilmiştir.



Şekil 4.19 3D duvar kaplaması ham modeli (Kişisel arşiv, 2019)



Şekil 4.20 3D duvar kaplaması modeli - işlenmiş (Kişisel arşiv, 2019)



Şekil 4.21 PLA'dan alınan poliüretan kalıp (Kişisel arşiv, 2019)

Görsel ürünlerde çok önemli bir kıstas de karışımın doldurma kabiliyetidir. Narin desenler, ince kesitlerin sahip kalıplarda beton her yeri iyice doldurmalıdır ki elde edilmek istenen desenler ortaya çıkabilsin. Karışımların doldurma kabiliyeti araştırması için Şekil 4.18'daki kalıp kullanılarak lifsiz ve mikro lifli karışımlar denenmiştir. Denemelerde vibrasyon kullanılmamıştır. 27 cm ve üzerindeki yayılma değerleri için yüzey görünümü ve yerleşme hızları açısından oldukça iyi sonuçlar alınmıştır. Karışımların yayılma değerleri 25 cm'nin altına düşmeye başladıkça yüzeylerde gözenekler görülmeye başlanmıştır. Karışımlar kırmızı bazalt, kireç taşı ve kuvars kumu ile denenmiştir. Kırmızı bazalt ile hazırlanan karışımlar diğer karışımlara göre çok daha viskoz ve yayılma değeri düşük olmuştur. Katkı ilavesi durumunda da çok iyi sonuçlar alınamamıştır. Kırmızı bazalt ile yapılan dökümlerde vibrasyon kullanılmış ve yüzey görünümü olarak benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.22 Poliüretan kalıpla dökülmüş lifsiz beton numunesi (Kişisel arşiv, 2017)



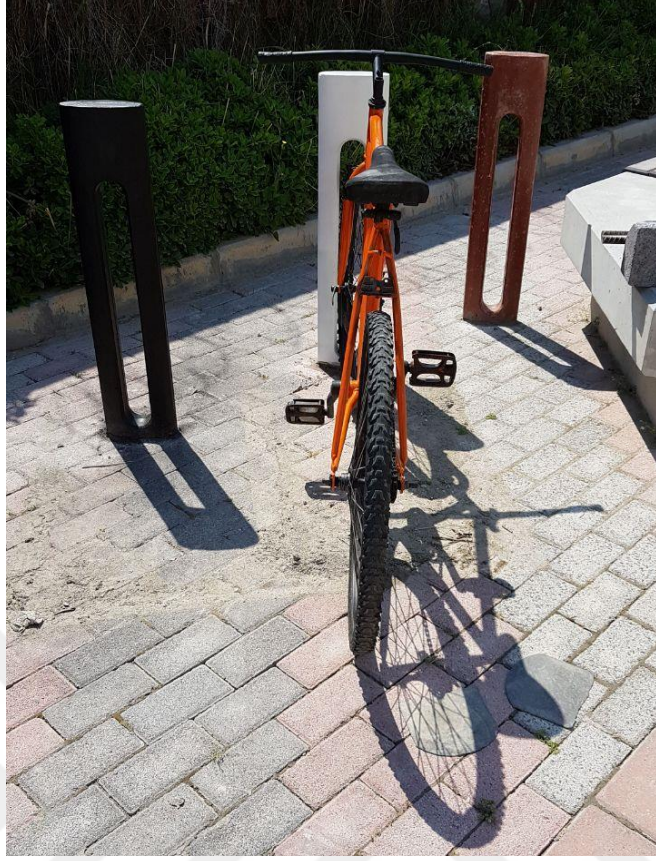
Şekil 4.23 Poliüretan kalıpla dökülmüş lifsiz beton numunesi (Kişisel arşiv, 2017)

Poliüratan malzeme yeterince sert olmadığından çelik lifler yüzeyde bozuk bir görüntü bırakmıştır (Şekil 4.24). Çelik kalıpta yüzey oldukça düzgündür ve lifler sorun teşkil etmemektedir.



Şekil 4.24 Poliüretan kalıba dökülmüş betonun yüzey görünümü (Kişisel arşiv, 2017)

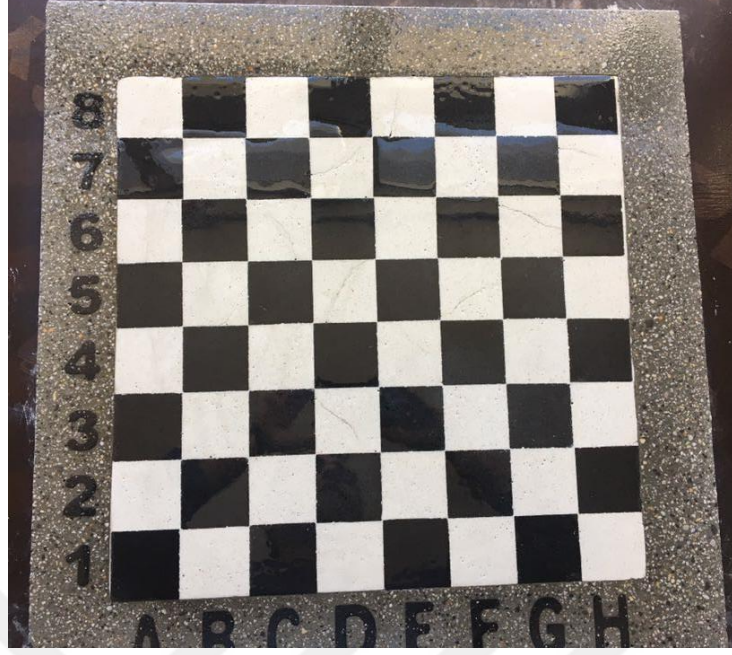
Yapılan denemelerin bir kısmına ait fotoğraflar Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da sunulmuştur.



Şekil 4.25 Bisiklet kilidi (Kişisel arşiv, 2019)



Şekil 4.26 Kapı tokmağı (Kişisel arşiv, 2019)



Şekil 4.27 Satranç tahtası (Kişisel arşiv, 2019)



Şekil 4.28 Dekoratif duvar kaplaması (Kişisel arşiv, 2019)



Şekil 4.29 Dekoratif duvar kaplaması (Kişisel arşiv, 2019)



Şekil 4.30 Dekoratif duvar kaplaması (Kişisel arşiv, 2019)

BÖLÜM BEŞ

PROTOTİP ANALİZ VE DENEYLERİ

Prototip için öncelikle tasarım çalışması yapılmıştır.

Şekil 5.1’de görülen ilk çalışma yapısal analiz edilerek elde edilen sonuç neticesinde yapısal iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Son olarak Şekil 5.3’te görülen kesitin yeterli olduğuna karar verilerek üretim çalışmalarına başlanmıştır.

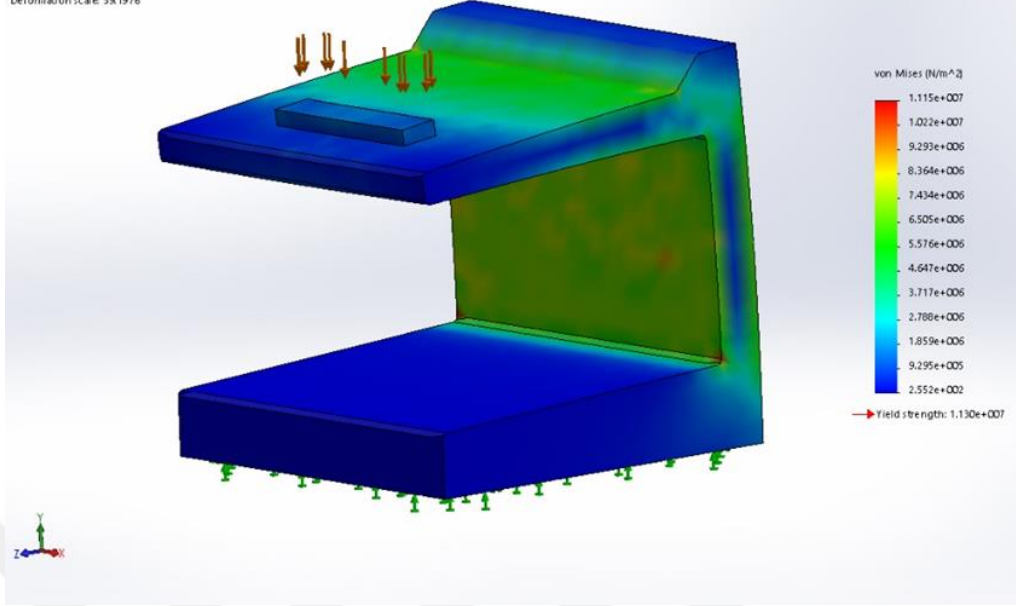
Prototip deneyleri için yüksek performans gösteren silis dumanı ve mikro lif içeriği olan karışımlar seçilmiştir. Sırasıyla 2002, 2003 ve 2004 numaralı karışımlara %1 veya %2 lif eklenerek denemeler yapılmıştır. Mikro lif olarak da daha iyi performans gösteren 13 mm lif kullanılmıştır.

Çalışmanın son aşamasında maliyeti yüksek olan silis dumanının kullanımı iptal edilerek KL karışımına sırasıyla %0, %0,5, %1 ve %2 oranında lif eklenerek denemeler yapılmıştır.

5.1 Prototip Analizi

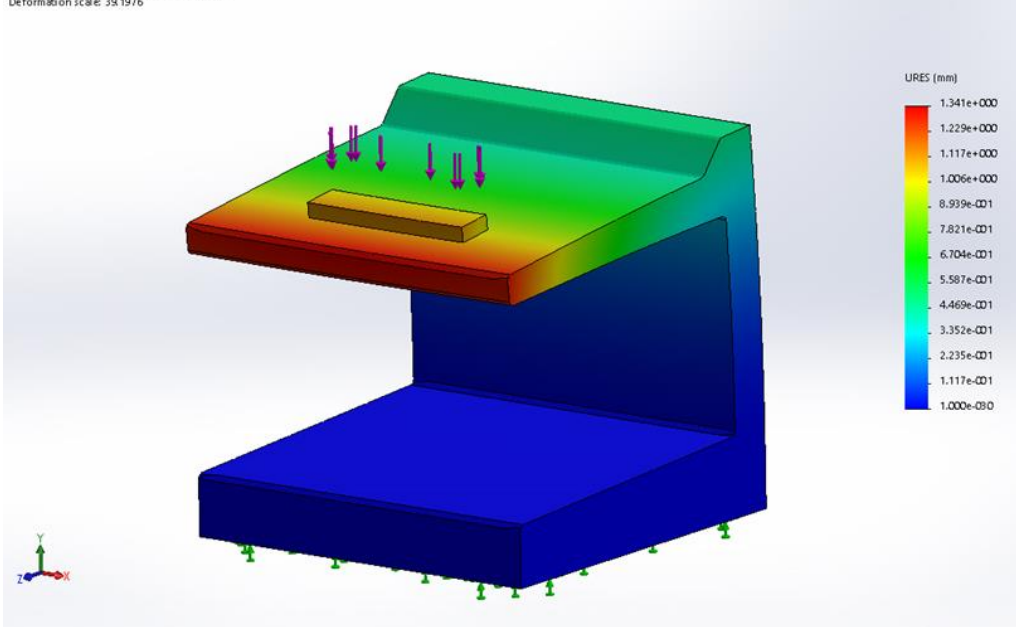
Solidworks programında prototip üzerinde statik analiz yapılmıştır. Analiz yapılırken malzemenin özellikleri olan eğilme, direk çekme, basınç deneylerinden çıkan veriler tanımlanmış, döküm sırasında alınan laboratuvar numuneleri üzerinde yapılan eğilme deneylerinde ilk çatlak yükü sisteme malzemenin akma dayanımı olarak verilmiştir. Programda yükleme en narin bölge olan oturma biriminin ucuna yakın (konsolun serbest ucuna yakın) bölgeden yüklenmiştir. Analiz sonucu ürünün gerilme grafiği incelenmiş, kritik gerilmeler ve kritik bölgeler tespit edilmiştir. Aynı zamanda deplasman bulunmuştur.

Model name: C_BANK_V2_50CM
Study name: Static 1 (varsayılan)
Plot type: Static nodal stress: Stress1
Deformation scale: 39.1976



Şekil 5.1 İlk çatlak değeri 11 MPa bulunan beton ile üretilecek C-Bankın 1000 kgf yükleme ve gerilme grafiği

Model name: C_BANK_V2_50CM
Study name: Static 1 (varsayılan)
Plot type: Static displacement: Displacement1
Deformation scale: 39.1976



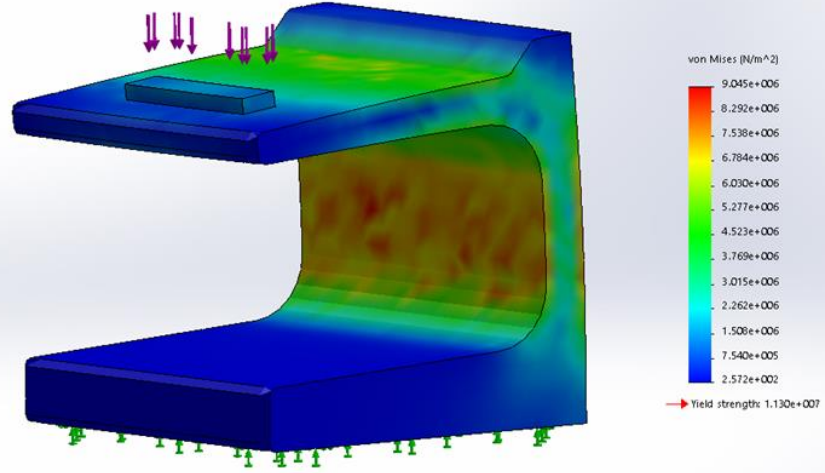
Şekil 5.2 İlk çatlak değeri 11 MPa bulunan beton ile üretilecek C-Bankın 1000 kgf yükleme ve deplasman grafiği

Aynı yükleme prototip üzerinde gerçekleştirilmiştir. İlk çatlak, analiz programıyla paralel olarak üst mesnet dış bölgesinde meydana gelmiştir. Prototip 850 kgf değerinde çatlamıştır. Sapmanın nedeni, analiz programının malzemeyi homojen olarak değerlendirmesinden kaynaklandığı gibi betonun kalıba efektif şekilde yerleştirilemediğinden de kaynaklandığı düşünülmektedir. Beton heterojen bir malzemedir ve aynı zamanda yükleme yapılan örnekte yüzeyde çok sayıda hava boşluğu bulunmaktadır.

Tüm bunlara rağmen analiz ile yükleme deneyinin yakın sonuçlar vermesi olumludur. Bu deney örneklerinin sayısı çoğaltılarak aradaki sapmanın değerine ulaşılması ve tasarımlarda deneme yanılma metodu yerine gerçeğe yakın sonuçlar veren analiz programı kullanılarak zaman ve maliyet tasarrufu sağlanması amaçlanmaktadır.

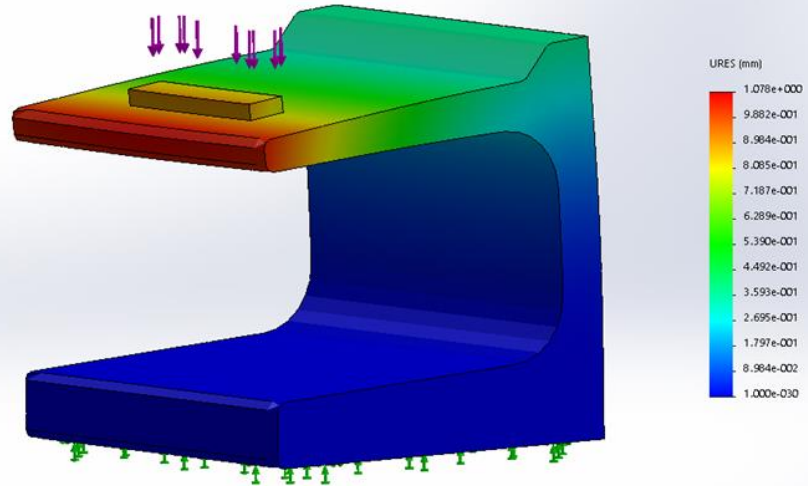
Aynı beton sınıfını kullanarak, analiz programında tasarımın üzerinde değişiklik yapılmış ve narin olan bölgelerin radüsleri büyütülmüş ve aynı yükleme tekrar yapılmıştır. Beklendiği gibi, 1000 kgf'ta çatlak oluşan ürün yeni haliyle bu yükü güvenle taşımaktadır. Bununla ilgili diyagramlar aşağıdadır.

Model name: 2C_BANK_V2_50CM
Study name: Static 2i(Varsayilan)
Plot type: Static nodal stress Stress1
Deformation scale: 48.5297



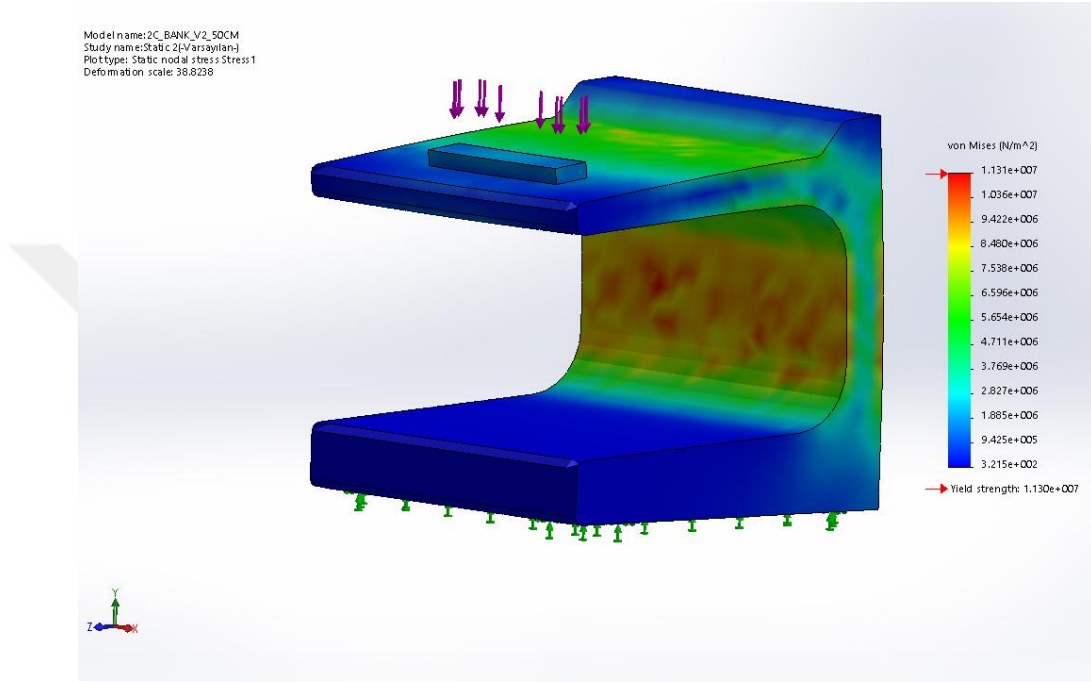
Şekil 5.3 İlk çatlak değeri 11 MPa bulunan beton ile üretilecek revize C-Bankın 1000 kgf yükleme ve gerilme grafiği

Model name: 2C_BANK_V2_50CM
Study name: Static 2i(Varsayilan)
Plot type: Static displacement Displacement1
Deformation scale: 48.5297



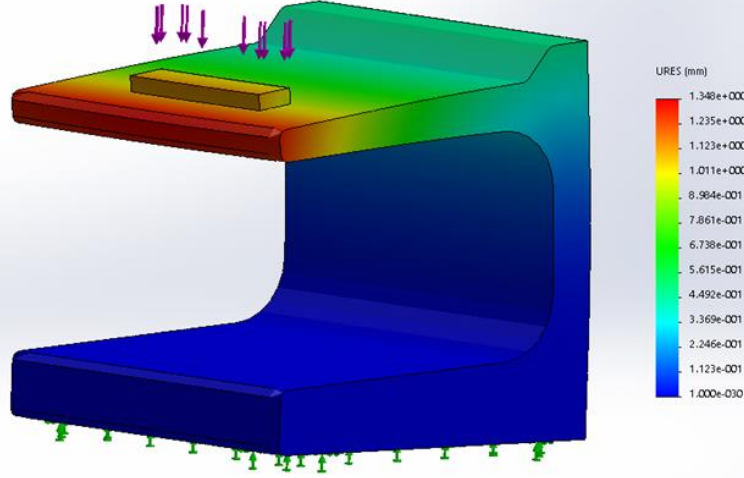
Şekil 5.4 İlk çatlak değeri 11 MPa bulunan beton ile üretilecek revize C-Bankın 1000 kgf yükleme ve deplasman grafiği

Grafikten de görüldüğü gibi eleman üzerinde oluşan pik gerilme 9 MPa'dır. İlk çatlak gerilmesine ulaşmadığından elemanın 1000kgf'u taşıyacağı varsayılır. Bunun bir diğer anlamı ise elemanın taşıyacağı yük değeri artmıştır. Yeni tasarım için yükleme değeri %25 arttırılarak 1250 kgf yapılmıştır. Bununla ilgili yükleme diyagramları şöyledir:



Şekil 5.5 İlk çatlak değeri 11 MPa bulunan beton ile üretilecek revize C-Bankın 1250 kgf yükleme ve gerilme grafiği

Model name: 2C_BANK_V2_SDCM
Study name: Static 2d(Varying)-j
Plot type: Static displacement Displacement1
Deformation scale: 38.8238



Şekil 5.6 İlk çatlak değeri 11 MPa bulunan beton ile üretilecek revize C-Bankın 1250 kgf yükleme ve deplasman grafiği

Bu çalışmalar göstermiştir ki, aynı beton sınıfı ile sadece elemanın tasarımı üstünde küçük bir değişiklik yaparak %25 oranında dayanım sağlanabilir. Projenin hedefinin en uygun maliyetlerle yenilikçi ve rekabet edebilir ürünler üretmek olduğu göz önüne alındığında dayanım için sadece malzeme üzerine çalışmak yerine hem malzeme hem de tasarımın beraber değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

5.2 Prototip Deneyleri

Farklı karışımlarla prototip ürün hazırlanarak teste tabi tutulmuştur (Şekil 5.7). Ürünlerde uygulanan deney düzeneği Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Prototip-1 bank kalıbından üretilmiş numuneler (Kişisel arşiv, 2016)

500 mm genişliğinde bir prototip 2002 numaralı 0,20 S/B ve %10 oranında SD/B içeriğine sahip olan karışıma %1 oranında 13 mm lif eklenerek hazırlanmıştır. Aynı dökümden 40x40x160 mm numuneler alınarak eğilme deneyi yapılmış ve analiz programına girilmiştir. Uygulanan yükleme sonucu, öngörülen ilk çatlak yükü 6,32 kN ve öngörülen maksimum yük 6,45 kN olarak hesaplanmıştır.

Prototipe Şekil 5.8'deki yükleme yapılmış ve Şekil 5.9'da görüldüğü gibi ilk çatlak oluştuğunda yük değeri kaydedilerek deney sonlandırılmıştır. Fiziksel deneyde çatlama yükü olarak bulunan yük değeri 6,45 kN'dur.



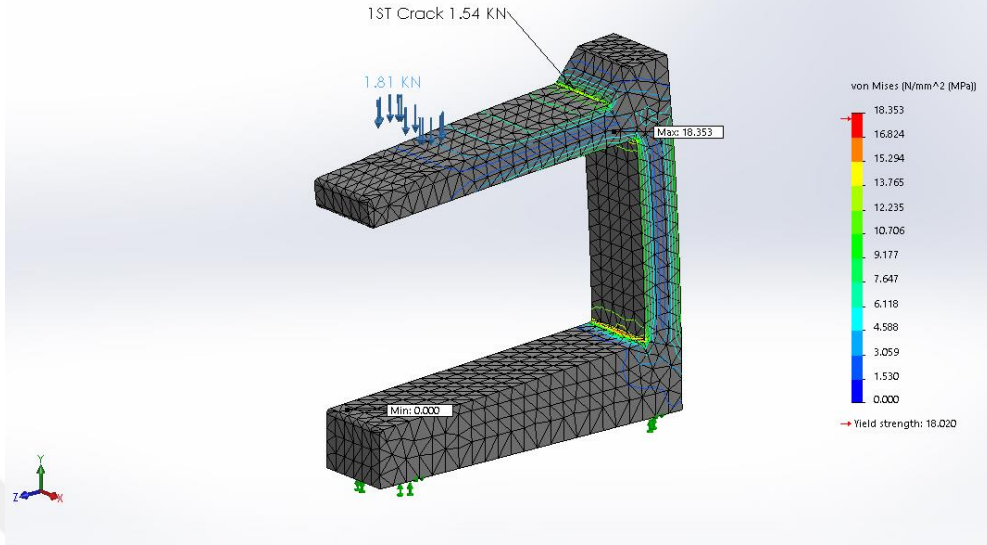
Şekil 5.8 Bank Prototip 1 yükleme deneyi (Kişisel arşiv, 2016)



Şekil 5.9 Bank Prototip 1 yükleme deneyi ilk çatlak (Kişisel arşiv, 2016)

112 mm genişliğinde bir prototip 2004 numaralı 0,20 S/B ve %20 oranında SD/B içeriğine sahip olan karışıma %2 oranında 13 mm lif eklenerek hazırlanmıştır. Analiz programında uygulanan yükleme sonucu, öngörülen ilk çatlak yükü 1,54 kN ve öngörülen maksimum yük 1,81 kN olarak hesaplanmıştır. Fiziksel deneyde çatlama yükü olarak bulunan yük değeri 1,85 kN'dur.

Model name: C_BANK_V2_112CM
Study name: Static 1(-Yarışlan-)
Plot type: Static nodal stress Stress1
Deformation scale: 35.4278



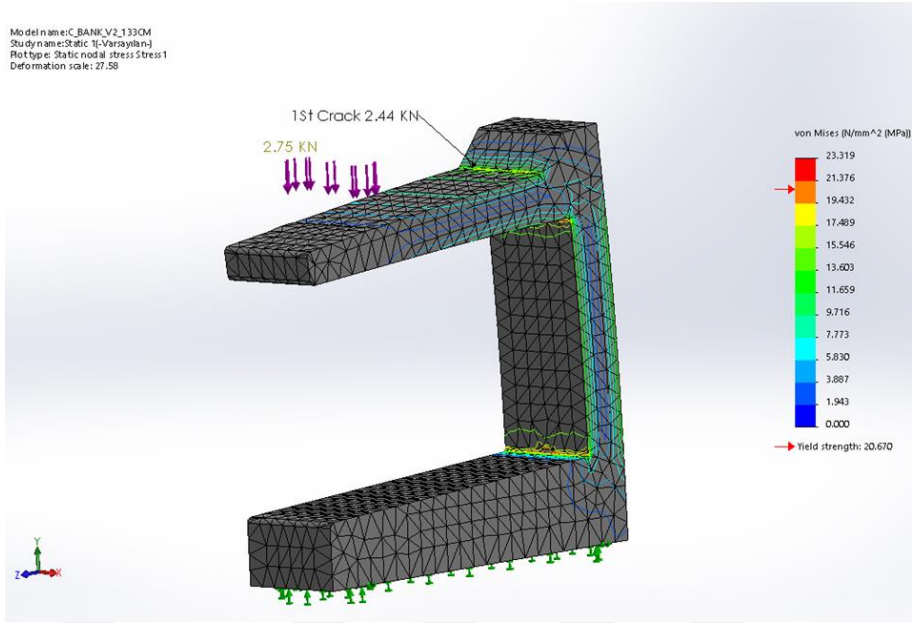
Şekil 5.10 Fiziksel testi yapılacak prototipin analizi



Şekil 5.11 2004 nolu karışım ve %2 lifle hazırlanan prototip (Kişisel arşiv, 2016)

Analiz programında ilk çatlağın oluşacağı bölge Şekil 5.10’da gösterilmektedir. Fiziksel deneyde ilk çatlağın oluştuğu bölge aynı olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.11).

133 mm genişliğinde bir prototip 2003 numaralı 0,20 S/B ve %15 oranında SD/B içeriğine sahip olan karışıma %2 oranında 13 mm lif eklenerek hazırlanmıştır. Analiz programında uygulanan yükleme sonucu, öngörülen ilk çatlak yükü 2,44 kN ve öngörülen maksimum yük 2,75 kN olarak hesaplanmıştır. Fiziksel deneyde çatlama yükü olarak bulunan yük değeri 2,77 kN’dur.



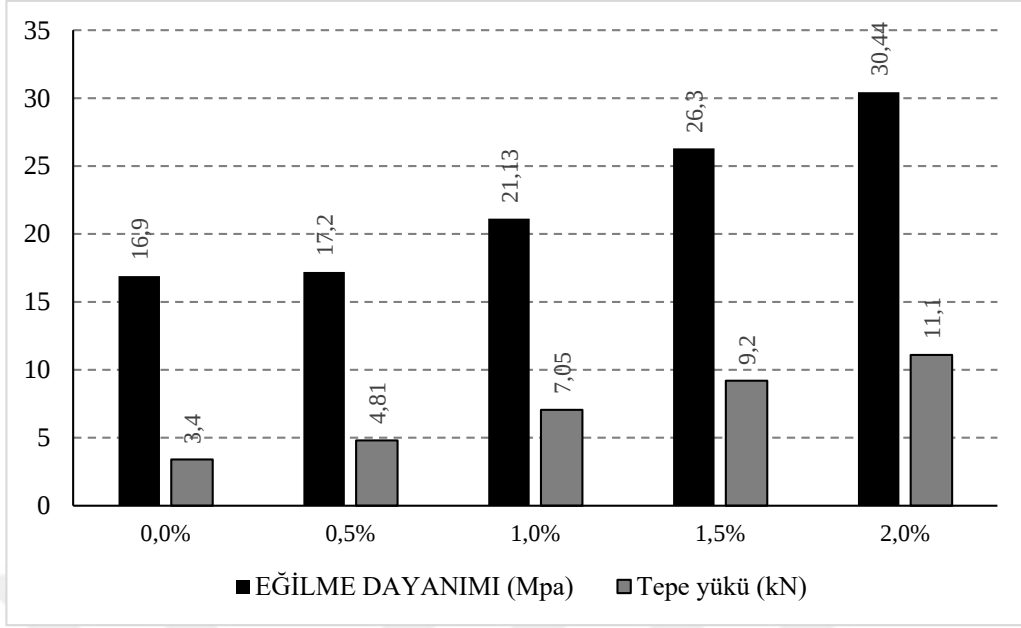
Şekil 5.12 Fiziksel testi yapılacak prototipin analizi

Analiz – fiziksel gerçekleşen çatlak değerlerinin birbirine oldukça yakın çıkması kent mobilyalarında yapısal modellemenin yapılabileceğine işaret etmektedir. Bu konuda ayrı bir çalışma yapılmalı ve çok miktarda deneylere ihtiyaç duyulmaktadır.

Son olarak, silis dumanı iptal edilerek KL karışımına farklı lif oranlarıyla deneyler tamamlanmıştır.

Tablo 5.1 Farklı oranlarda lif ile prototip üretilmesi

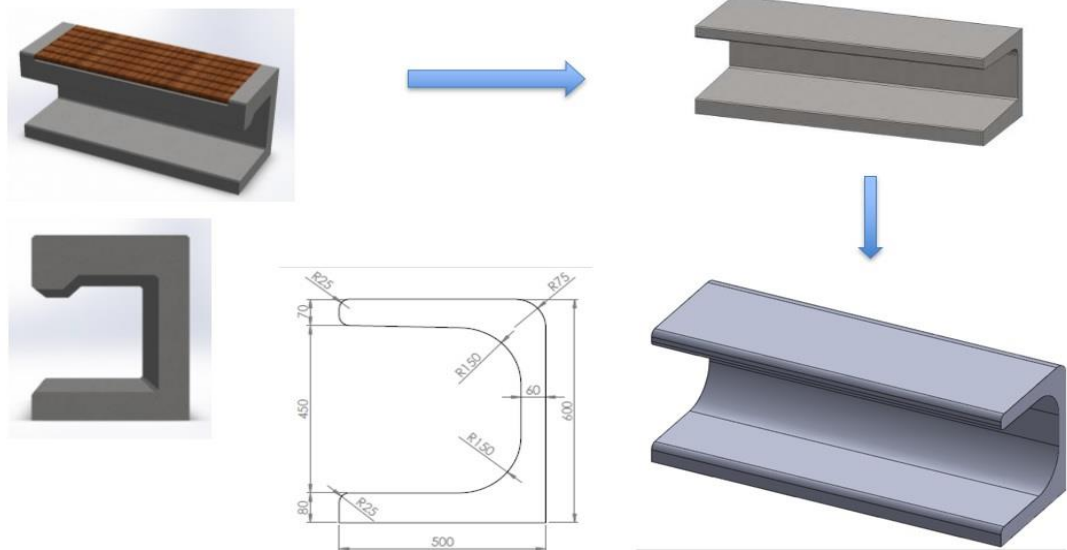
Hammadde	Karışımlar			
	KL0	KL0,5	KL1	KL2
Çimento (kg)	967	967	967	967
Su (kg)	193	193	193	193
Kuvars 0,6-1,2 (kg)	663	663	663	663
Kuvars 0-0,4 (kg)	530	530	530	530
Kimyasal Katkı (kg)	21,3	24,2	27,1	32,8
Mikro Lif 13mm	0	39,5	79	158



Şekil 5.13 Ürünlerin eğilme dayanımı-tepe yükü ilişkisi

Şekil 5.13'teki grafikten eğilme dayanımı – tepe yükü arasında doğrusal bir ilişki olabileceği anlaşılmaktadır. Eğilme dayanımı arttıkça tepe yükü kapasitesinin arttığı görülmektedir. Kesin bir kanı oluşması için çok sayıda deney yapılmasına ihtiyaç vardır.

5.3 Hedeflenen İnceltilmiş Ürünün Üretilmesi



Şekil 5.14 Beton Bankın Dönüşümü

Bank tasarımı tez çalışması boyunca edinilen tecrübeye göre birçok defa değiştirilmiştir. Hedeflenen inceliğe ve hafifliğe ulaşmak için sadece malzemenin yüksek dayanımlı olması değil tasarımın da doğru yapılması gerektiği anlaşılmıştır.

Tablo 5.2 Mevcut bank ile gerçekleşen proje çıktısı kıyaslaması

Teknik Özellik	Mevcut Bank	Gerçekleşen Proje Çıktısı
Kalınlık	135 mm	60 mm
Ağırlık	588 kg	293 kg
Çevresel etkilere karşı direnç	Servis ömrü 50 yıldan düşük	Servis ömrü 50 yıldan fazla
Eğilme dayanımı	6 MPa	22 MPa

Bankın en ince kesiti 60 mm'ye kadar azalmıştır. Bu incelik avantajlarının yanında dezavantajlara da sebep olmaktadır. Şöyle ki, dış mekanlarda özellikle deniz kıyısı bölgelerde deniz suyunun sıçrama bölgeleri gibi olumsuz hava şartlarında ulusal standartlara göre donatı paspayları 50 ila 75 mm'ye kadar çıkmaktadır. Bu durumlarda donatı kullanılması imkansızdır. Bu da böyle bir ürünün geleneksel bir beton ile üretilmesini olanaksız kılmaktadır. UYPB bu gibi durumlarda tercih edilmesi gereken bir kompozittir.

Bankın hacimce fazla olması taze betonu formu bozulmadan taşıyabilecek bir kalıpla çalışılmasını gerektirmiştir, bu nedenle üretim için metal kalıp hazırlanmıştır. Metal kalıp aynı zamanda liflerin poliüretan kalıbın aksine yüzeyde betondan sıyrılmasını engellemektedir. Görünür her noktası düzgün olması istendiği için tersten döküm yapılmıştır. Tasarımın geometrisi gereği betonun uçlara doğru gitmesi ve uç bölgelerde kalan hava kabarcıklarını atması oldukça zordur. Bu nedenle doldurma kapasitesi çok iyi olan kendiliğinden yerleşebilir kıvamda olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 5.15 Yeni bank kalıptan sökme aşaması (Kişisel arşiv, 2016)



Şekil 5.16 Yeni bank kalıptan sökme aşaması (Kişisel arşiv, 2016)



Şekil 5.17 Mevcut bank (Kişisel arşiv, 2016)



Şekil 5.18 Proje çıktısı UYPB bank (Kişisel arşiv, 2016)

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmadaki hedefimiz yeni nesil betonların son tüketiciye ulaşmasını sağlamaktır. 21. yy'ın en önemli konusu tartışmasız olarak çevre duyarlılığı ve çevreyi koruma bilincidir. Bunu sağlamanın en önemli kriterlerinden biri şüphesiz ki daha az atık, daha az plastik ve daha az karbon salınımıdır. Bunu başarmanın da yolu çevre dostu ürünler kullanmak, üretilen ürünlere atık malzemeleri de ekleyip atıkların bertaraf edilmesine katkı sağlamak ve en önemlisi servis ömrü uzun ürünler üreterek tüketimi azaltabilmektir.

Bu kapsamda oturma gruplarında yaptığımız çalışmalarda zorlu çevre şartlarında uzun yıllar servis verebilme kapasitesi olan ürünler üretmek amaçlanmıştır. Yüksek dayanım sayesinde geometri kabiliyeti kazanacak beton ürünlerde estetik anlayışı gelişirken karşı karşıya kaldıkları vandalizme de dayanabilecek hale geleceklerdir. Yüksek durabilite sayesinde servis ömrünü 100 yıla kadar çıkarırken deniz kıyısı gibi deniz suyu sıçrama bölgeleri ya da yüksek alanlardaki donma çözülme etkileri gibi olumsuz çevre koşullarına bir bakıma bağışıklık kazanmış olacaklardır. Deneme karışımları yaptığımız uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi atık maddeler kullanılarak kent mobilyaları çevre dostu ürünler hale gelebileceklerdir.

Betonun homojen bir kompozit olmamasından dolayı özellikle karışıma mikro lifler girdiği zaman analizin nasıl yapılacağı sorunsalı henüz geniş çapta çözülebilmemiş değildir. Özellikle bu tez çalışmasına konu olan küçük ürünler için çalışmalar yok denecek kadar azdır. Bu çalışmada bank için Solidworks programında yapısal analiz çalışması yapılmış ve fiziksel sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Sonuçlar birbirleriyle tutarlı çıkmıştır. Bu konuda detaylı çalışma yapılmalıdır.

Su/Bağlayıcı Oranının Araştırılmasında 7 günlük numunelerde su/bağlayıcı oranı düşük olan buhar kürüne tabii tutulan numunelerde 144 ila 152 MPa basınç dayanımları elde edilmiştir. 28 günde buhar kürü uygulanmış numunelerde hem kuvars ve hem kireçtaşı agregalarına sahip karışımlarda su/bağlayıcı oranları düşük olanlarda

181 MPa değerinde basınç dayanım değerleri elde edilmiştir. En iyi performans su/bağlayıcı oranı 0,18 olan, kuvars kullanılan ve buhar kürü uygulanan karışımlardan elde edilmiştir. %20 oranında silika dumanı kullanılan tasarımlarda erken dayanımdan sonra hidrasyonun devam ettiği ve buhar krnn yüksek sıcaklığı sayesinde ince silis tozlarının reaksiyona destek verdiği söylenebilir. Eğilme dayanımı değerlerine bakıldığında ise 28 günde su ve buhar kürü uygulanmış numunelerin dayanım değerleri birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bunun sebebi sıcaklık etkisinin karışımlarda mikro çatlak oluşturmasıdır. Ayrıca, buhar kürü ile arayüzey geçiş bölgesinin su krne kıyasla daha zayıf olduğu bilinmektedir. Yine su/bağlayıcı deneyi sırasında kullanılan iki farklı tipteki agreganın dayanımlar üzerinde birbirine kıyasla büyük oranda farklılık yaratmadığı grlmştir. UYPB için yaygın olarak kullanılan kuvars agregası yerine kireçtaşı da kullanılabilir.

Agrega- hamur fazı deneylerinde en iyi sonuç %50-50 oranında elde edilmiştir. Hem taze hal özellikleri hem de mekanik değerleri için optimum hacim %50'dir. Agreg aacminin artışıyla buhar krnde mikro çatlakların azaldığı, bu yüzden eğilme dayanımı artışının belirgin olduğu söylenebilir.

Puzolanlarla yapılan çalışmalarda, silis dumanının buhar kürü uygulamalarında reaksiyona katılması ile dayanımların arttığı gözlemlenmiştir. UK ve YFC kullanılan karışımlarda ise 28 gündeki dayanımların 7 güne göre arttığı ve su krnde daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Mikro lifler beklendiği üzere eğilme performansına büyük katkı sağlamışlardır. %2 oranında lif eklendiğinde eğilme dayanımlarında iki katına yakın bir artış grlmştir. Ancak lif oranının artması taze betonda işlenebilirliği düşürmektedir. Bununla birlikte özellikle 13 mm liflerin döküm sırasında karışıma eklenmesi oldukça sıkıntılı olmuştur.

Yapılan donma-çözülme deneyinde silis dumanı içeren numuneler dışındaki hiçbir numunede ağırlık kaybı olmamıştır. Silis dumanı içeren numunelerdeki ağırlık kaybı da %0,1 in altında çok küçük bir değer olarak hesaplanmıştır. Sonuçlara bakıldığında

donma-çözülme öncesi ve sonrasında bir fark görülmemiştir. Boşluk oranı çok düşük olduğundan su geçirme özelliği neredeyse yok denecek UYPB’lerde çevresel etkilere karşı dayanıklılık performansı çok iyidir ve kentsel alanlarda kullanılmak üzere iyi bir seçenektir.

Kalıp türü olarak polyester, poliürotan kaplama ve çelik malzeme denenmiştir. Poliürotan malzeme yeterince sert olmadığından çelik lifler yüzeyde bozuk bir görüntü bırakmıştır. Çelik kalıpta yüzey oldukça düzgündür ve lifler sorun teşkil etmemektedir. Ancak çelikte desen veya doku çalışması yapılamamaktadır. Tek bir kalıp malzemesiyle çalışmak yerine, ürün tasarımına ve detayına göre kalıp malzemesi seçilmelidir. Bazı durumlarda beraber de kullanılabilirler.

Bir yapısal modelleme programında tasarlanan prototiplere analizler yapılmış aynı şekilde üretilen prototiplere fiziksel deneylerde aynı yükler uygulanmıştır. Analiz – fiziksel gerçekleşen çatlak değerlerinin birbirine oldukça yakın çıkması kent mobilyalarında yapısal modellemenin yapılabileceğine işaret etmektedir. Bu konuda ayrı bir çalışma yapılmalı ve çok miktarda deneylere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bank tasarımı tez çalışması boyunca edinilen tecrübeye göre birçok defa değiştirilmiştir. Hedeflenen inceliğe ve hafifliğe ulaşmak için sadece malzemenin yüksek dayanımlı olması değil tasarımın da doğru yapılması gerektiği anlaşılmıştır. Bankın kesiti 135 mm’den 60 mm’ye kadar inceltilmiş, ağırlıkça %50 oranında hafifletilmiştir. Mevcut banka çift sıra uygulanan inşaat demiri tamamen iptal edilerek sadece mikro liflerle eğilme dayanımında %365 oranında artış elde edilmiştir.

Kent mobilyalarını hem çevre şartlarından koruyacak hem de yüzey görünümünü iyileştirecek kaplamalar uygulanabilir. Çalışmada denemeleri yapılan epoksi malzemesi tatmin edici sonuçlar vermiştir. Şeffaf epoksiye yeterli miktarda pigment ilavesi ile istenilen renkler verilebilir. Ayrıca pigment eklenmeden kullanımı da betona daha doğal bir görünüm vermektedir. Epoksi kaplama için oldukça basit, kalıcı ve düşük maliyetli bir çözümdür.

KAYNAKLAR

- Aksu, Ö. (2012). Kent mobilyaları tasarımında özgün yaklaşımlar. *Inonu University Journal of Art and Design*, 2(6), 373-386.
- Aydın, S., Yazıcı, H., Yardımcı, M. Y. ve Yiğiter H. (2010). Effect of aggregate type on the mechanical properties of RPC. *ACI Materials Journal*, 107(5), 441-449.
- Başal, M. (2002). *Donatı elemanları*, Basılmamış ders notları, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Ankara.
- Colleparadi, S., Coppola, L., Troli, R. ve Colleparadi, M. (1997). Mechanical properties of modified reactive powder concrete. *Fifth CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and other Chemical Admixtures in Concrete*, 1-21.
- Feylessoufi, F., Cohen T., Morin V., ve Richard P. (2001). Early age shrinkage mechanisms of ultra- high performance cement-based materials. *Cement and Concrete Research*, 31(11), 1573-1579.
- Grassl, P., Wong, H. S., Buenfeld, N. R., (2010). Influence of Aggregate Size and Volume Fraction on Shrinkage Induced Micro-Cracking of Concrete and Mortar. *Cement and Concrete Research*, 40, 85-93.
- HPL – Kompakt Laminat Mobilya Kaplaması Nedir? (b.t.). 18 Mayıs 2019, <https://www.teskamimarlik.com/mobilya-kaplamalari/hpl-kompakt-laminat-mobilya-kaplamalari/>
- Matte, V. ve Moranville M. (1999). Durability of reactive powder composites influence of silica fume on the leaching properties of very low water/binder pastes. *Cement and Concrete Composites*, 21(1), 1-9.

Neufert, E. (2000). *Yapı tasarım bilgisi*. (G. Tercüme, Çev.) İstanbul: Beta Basım Yayın Dağıtım A.Ş.

Özer, S., Aklıbaşında, M. ve Zengin, M. (2010). Erzurum kenti örneğinde kullanılan kuşatma elemanlarının kent imajı üzerindeki etkileri. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(2), 123-130.

PLA – Biopolimer polilaktik asit (b.t.). 18 Mayıs 2019,
<https://www.resinex.com.tr/polimer-turleri/pla.html>

Polytek – Concrete mold making & casting (b.t.). 18 Mayıs 2019,
<https://www.polytek.com/application/concrete-casting>

Richard, P. ve Cheyrezy, M. (1994). Reactive powder concretes with high ductility and 200-800 MPa compressive strength, P.K. Mehta (Ed.), *Concrete Technology: Past, Present and Future: Proceedings of the V. Mohan Malhotra Symposium* (1st ed.) (507-518). S. Francisco: American Concrete Institute.

Richard, P. ve Cheyrez M. (1995). Composition of reactive powder concretes. *Cement and Concrete Research*, 25, 17-18.

Sakal, A.N. (2007). *Ankara’ da kentsel donatıların peyzaj planlama ve tasarımı açısından analizi ve değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.

Taşdemir, M.A. ve Bayramov, F. (2002). Yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı. *İtü Dergisi* (1) 125-144.

Topçu, İ.B. ve Karakurt, C., Reaktif Pudra Betonları. *İMO, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi* (TMH), 3(437), 25-30.

Walraven, J. (1999), The evolution of concrete, structural concrete, *Journal of International Federation for Structural Concrete*, (Pl), 3-11.

Wille, K. ve Boisvert-Cotulio, C. (2015). Material efficiency in the design of ultra-high performance concrete. *Construction and Building Materials*, 86, 33-43.

Yalçinkaya, Ç. (2015). *Yüksek performanslı çimentolu kompozitlerin erken ve ilerlemiş yaşlarda boyutsal stabilitesinin araştırılması*. Doktora Tezi, DEÜ, İzmir.

Yalçinkaya, Ç., Yazıcı, H. (2011). Agrega Hacminin Reaktif Pudra Betonunun Mekanik ve Büzülme Özelliklerine Etkileri. *THBB Hazır Beton Kongresi, İstanbul*, 1-10.

Yazıcı, H. (2007). The effect of curing conditions on compressive strength of ultra high strength concrete with high volume mineral admixtures. *Building and Environment*, 42(5), 2083-2089.

Yazıcı H., Yiğiter H., Karabulut A. Ş. ve Baradan B. (2008). Utilization of fly ash and ground granulated blast furnace slag as an alternative silica source in reactive powder concrete. *Fuel*, 87(12), 2401-2407.

Yazıcı, H., Yardımcı, M., Aydın, S. ve Karabulut, A. Ş. (2009). Mechanical properties of reactive powder concrete containing mineral admixtures under different curing regimes. *Construction and Building Materials*, 23(3), 1223-1231.