

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME KİRİŞSİZ DÖŞEME SİSTEMLERİNİN ZİMBALAMA
DAYANIMI ÜZERİNDE DÜŞÜK LİF HACMİ VE MİKRO LİF
TİPİNİN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdulkerim ARI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kâzım TÜRK

NİSAN-2025

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME KİRİŞSİZ DÖŞEME SİSTEMLERİNİN ZİMBALAMA
DAYANIMI ÜZERİNDE DÜŞÜK LİF HACMİ VE MİKRO LİF
TİPİNİN ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdulkerim ARI
(36223621921)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kâzım TÜRK

NİSAN-2025

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında benden hiçbir yardımını esirgemeyen, bilgi ve deneyimi ile yanımda olan ve kıymetli vaktini ayırarak beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Kâzım TÜRK'e,

Çalışmanın ilerlemesinde katkısı olan değerli arkadaşlarım Öğr. Gör. Metin KATLAV ve Öğr. Gör. İzzeddin DÖNMEZ'e,

Bu günlere gelmemde en büyük motivasyon kaynağım ve destekçim olan başta annem, babam, eşim ve çocuklarım olmak üzere tüm aile fertlerime

teşekkür ederim.

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Birimi (FYL-2023-3287) tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne ve deneysel çalışmalar için sağladıkları desteklerden dolayı SİKA Yapı Kimyasalları A.Ş.'ye teşekkürü borç bilirim.

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Betonarme Kirişsiz Döşeme Sistemlerinin Zımbalama Dayanımı Üzerinde Düşük Lif Hacmi ve Mikro Lif Tipinin Etkisi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Abdulkerim ARI



İÇİNDEKİLER

ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	4
2.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tanımı ,Tarihçesi Ve Özellikleri	4
2.2. KYB Reolojisi	5
2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tasarımı	6
2.4. İşlenebilirlik Deneyleri	8
2.4.1. Çökme-yayılma deneyi ve T500 süresi	9
2.4.2. J-halkası deneyi.....	10
2.4.3. V-hunisi deneyi.....	11
2.5. İnovatif Beton Karışımlarına Lif Katılması	13
2.6. Döşeme Kolon Birleşim Elemanlarının Zımbalama Dayanımı.....	14
3. DENEYSEL PROGRAM VE YÖNTEM.....	17
3.1. Malzemeler	17
3.1.1. Çimento.....	17
3.1.3. Agregası.....	18
3.1.4. Karışım suyu	18
3.1.5. Kimyasal katkı	19
3.1.6. Donatı.....	19
3.1.7. Lifler	20
3.2. Karışım Tasarımı	22
3.2.1. Taze KYB karışımlarının hazırlanması	24
3.3. Taze Beton Deneyleri	25
3.3.1. Çökme-yayılma ve T500 deneyi.....	25
3.3.2. J-halkası deneyi.....	26
3.3.3. V-hunisi deneyi.....	27
3.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri	28

3.4.1.	Basınç dayanımı.....	28
3.4.2.	Yarmada çekme dayanımı	29
3.4.3.	Eğilmede çekme dayanımı.....	30
3.5.	Büyük Ölçekli Döşeme-Kolon Birleşim Elemanlarının Üretimi ve Deney Düzenegi.....	32
3.5.1.	Numunelerin üretimi.....	32
3.5.2.	Büyük ölçekli numunelerin test düzeneği.....	38
4.	DENEYSEL BULGULAR ve TARTIŞMA	40
4.1.	Hibrit Lif Takviyeli KYB Karışımların Taze Beton Özellikleri	40
4.1.1.	Çökme-yayılma ve T500 deneyi.....	40
4.1.2.	J-halkası deneyi.....	41
4.1.3.	V-hunisi deneyi.....	42
4.2.	Hibrit Lif Takviyeli KYB Karışımların Sertleşmiş Beton Özellikleri	43
4.2.1.	Basınç dayanımı.....	44
4.2.2.	Yarmada çekme dayanımı	45
4.2.3.	Eğilmede çekme dayanımı.....	46
4.3.	Hibrit Lif Takviyeli Büyük Ölçekli Döşeme-Kolon Birleşim Elemanlarının Zımbalama Performansı Üzerinde Düşük Lif Hacmi ve Mikro Lif Tipinin Etkisi	51
4.3.1.	Döşeme-kolon birleşim elemanlarının zımbalama dayanımı	51
4.3.2.	Döşeme-kolon birleşim elemanlarının yük-açıklık ortası sehim ve yük-rölatif yer değiştirme davranışı.....	53
4.3.3.	Döşeme-kolon birleşim elemanlarının enerji yutma kapasitesi	56
4.3.4.	Döşeme-kolon birleşim elemanlarının süneklik indeksi.....	57
4.3.5.	Döşeme-kolon birleşim elemanlarının göçme modu ve çatlak modelleri	59
5.	SONUÇLAR ve ÖNERİ	63
	KAYNAKÇA.....	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1: KYB karışımları için uygulanan deneyler (EFNARC, 2002).....	8
Çizelge 2.2: EFNARC (2005)'e göre yayılma çapı sınıfları	10
Çizelge 2.3: KYB karışımlarının VSI tanımlaması	10
Çizelge 2.4: EFNARC (2005)'e göre VF sınıfları.....	12
Çizelge 3.1: Çimentoya ait teknik veriler	17
Çizelge 3.2: Uçucu küle ait teknik veriler.....	17
Çizelge 3.3: Donatının mekanik özellikleri	19
Çizelge 3.4: Liflerin geometrik ve mekanik özellikleri	21
Çizelge 3.5: Karışım oranları (kg/m ³).....	23
Çizelge 3.6: Büyük ölçekli numunelere ait geometrik boyutlar ve zımbalama tedbiri.....	33
Çizelge 4.1 : Karışımlara ait işlenebilirlik test sonuçları	40
Çizelge 4.2: Sertleşmiş beton numunelerine ait test sonuçları.....	44
Çizelge 4.3: Büyük ölçekli döşeme-kolon elemanlarına ait deney bulguları.....	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: KYB tasarımında temel yaklaşım (Okamura ve Ozawa, 1995)	4
Şekil 2. 2: Bingham kayma gerilmesi-kayma hızı ilişkisi grafiği	6
Şekil 2. 3: Taze haldeki KYB'nin üç temel özelliği için tasarımda alınacak önlemler	6
Şekil 2.4: Geleneksel Beton İle KYB Oranlarının Karşılaştırılması	7
Şekil 2.5: Çökme-yayılma ve T500 deney düzeneği (Korkmaz, 2011).....	9
Şekil 2.6: J-Halkası deney düzeneği	11
Şekil 2.7: V-hunisine ait test aparatı ve boyutları	12
Şekil 3.1: Agregaların gradasyon eğrisi ve Fuller sınır değerleri	18
Şekil 3.2: Büyük ölçekli numunelerde kullanılan donatıların çekme testi.....	20
Şekil 3.3: Büyük ölçekli numunelerde kullanılan lifler	21
Şekil 3.4: Karışımların hazırlanma aşamaları	24
Şekil 3.5: Tüm karışımlar için uygulanan KYB taze beton deneyleri	25
Şekil 3.6: Çökme -yayılma ve T500 deneyi.....	26
Şekil 3.7: J-halkası deneyi	26
Şekil 3.8: V-hunisi deney düzeneği	27
Şekil 3.9: Karışımlarda uygulanan KYB sertleşmiş beton deneyleri.....	28
Şekil 3.10: Basınç Deneyi	29
Şekil 3.11: Yarmada çekme dayanımı deneyi.....	30
Şekil 3.12: Eğilmede çekme dayanımı deneyi	30
Şekil 3.13: Dört Noktalı eğilmeye maruz kirişin kesme kuvvet ve moment diyagram	31
Şekil 3.14: Döşeme-kolon birleşim elemanlarının geometrisi ve donatı detayları.	32
Şekil 3.15: Üretilen döşeme-kolon birleşim elemanlarının donatı detaylandırması; (a) donatıların hazırlanması, (b) Döşeme donatısı detaylandırması, (c) kesme kamasız numune donatı detayı, (d) kesme kaması donatısı (e) kesme kaması donatılı numune donatı detayı, (f) kesme kamalı numune donatı detayı.....	34
Şekil 3.16: Döşeme-kolon birleşim elemanları gerinim pulu detayları; (a) donatılara yüzey hazırlığının yapılması, (b) gerinim pulu montajı (c) kesme kaması gerinim montajı yüzey hazırlığı.....	35
Şekil 3.17: Büyük ölçekli döşeme-kolon birleşim elemanları için beton dökümü.	36
Şekil 3.18: Büyük ölçekli döşeme-kolon birleşim elemanları numuneleri (a) Döşemesi ve alt kolonu dökülen döşeme-kolon birleşim elemanı, (b), üst kolon beton dökümü (c), dökümü tamamlanan döşeme-kolon birleşim elemanları (d), Numunelerin kür edilmesi ..	37
Şekil 3.19: Büyük ölçekli test düzeneği.....	38
Şekil 3.20: Numunelerin çatlak modellerinin oluşturulması.....	39
Şekil 4.1: Karışımların çökme-yayılma ve T500 değerleri.....	41
Şekil 4.2: J-halkası yayılma ve ΔH değerleri.....	42
Şekil 4.3: V-hunisi akış süresi değerleri	43
Şekil 4.4: Basınç dayanımı değerleri	45
Şekil 4. 5: Yarmada çekme dayanımı değerleri	46
Şekil 4. 6: Eğilmede çekme dayanım değerleri.....	47
Şekil 4. 7 : 7 günlük prizmatik kiriş numunelerin yük-sehim eğrileri	48
Şekil 4. 8 : 28 günlük prizmatik kiriş numunelerin yük-sehim eğrileri	49
Şekil 4. 9 : 56 günlük prizmatik kiriş numunelerin yük-sehim eğrileri	49
Şekil 4. 10 : Tipik bir lifli beton için yük-sehim eğrisi (Kim ve diğ, 2008)	50

Şekil 4. 11: Döşeme-kolon birleşim elemanlarının zımbalama dayanımı değerleri	52
Şekil 4.12: Büyük ölçekli numunelere ait yük-sehim eğrileri	53
Şekil 4.13: Büyük ölçekli numunelere ait yük-rölatif yer değiştirme eğrileri	55
Şekil 4.14: Büyük ölçekli numunelere ait yük-rölatif yer değiştirme değerleri.....	55
Şekil 4.15: Döşeme-kolon birleşim elemanlarının enerji yutma kapasitesi değerleri.....	56
Şekil 4.16: Süneklik için yük-sehim diyagramının şematik grafiği (Naman ve Jeong, 1995)	58
Şekil 4.17: Döşeme-kolon birleşim elemanlarının süneklik indeksi değerleri.	58
Şekil 4.18: Döşeme-kolon birleşim elemanlarının çatlak modelleri	62



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing Materials
EFNARC	: European Federation of National Trade Associations
LVDT	: Linear variable differential transformers
VSI	: Visual Stability Index
KYB	: Kendiliğinden yerleşen beton
τ_0	: Eşik kayma değeri
μ	: Plastik viskozite
γ	: Kayma hızı
τ	: Kayma gerilmesi
T₅₀₀	: Yayılma süresi
T_{500j}	: J-halkalı yayılma süresi
ΔH	: Yükseklik farkı
D_ç	: Çökme-yayılma çapı
D_j	: J-halkalı çökme-yayılma çapı
S/B	: Su/Bağlayıcı oranı
PC	: Portland çimentosu
UK	: Uçucu kül
MAK	: Makro çelik lif (65/60)
MİK6	: Mikro çelik lif (OL 6/.16)
MİK13	: Mikro çelik lif (OL 13/.16)
PP	: Polipropilen sentetik lif
DYK	: Doygun yüzey kuru
$f_{yç}$	: Yarmada çekme dayanımı
M	: Açıklık ortasına ait maksimum moment
P	: Maksimum yük
L	: İki mesnet arasındaki hesap açıklık
b	: Numunenin genişliği
h	: Numunenin yüksekliği
y	: Tarafsız eksen derinliği (Prizma numuneler için)
I	: Kesitin atalet momenti
P	: Kesitin taşıyabileceği maksimum yük
L	: Numunenin uzunluğu
D	: Numunenin çapı
σ	: Eğilme dayanımını
Ø	: Donatı çapı
mm	: Milimetre
LOP	: Orantı sınırı
MOR	: Kırılma Modülü
Δ_{cr}	: İlk çatlak yüküne karşılık gelen sehim
Δ_p	: Pik yüke karşılık gelen sehim
Δ_f	: Göçme yüküne karşılık gelen sehim

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BETONARME KİRİŞSİZ DÖŞEME SİSTEMLERİNİN ZİMBALAMA DAYANIMI ÜZERİNDE DÜŞÜK LİF HACMİ VE MİKRO LİF TİPİNİN ETKİSİ

Abdulkerim ARI

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

72+X sayfa

2025

Danışman: Prof. Dr. Kâzım TÜRK

Kirişsiz döşeme-kolon birleşim elemanları estetik ve kullanışlı olması, kalıp maliyetlerinin azalması, betonun daha rahat yerleştirilmesi gibi avantajlara sahipken kirişsiz yapıların zımbalama etkisinden meydana gelen göçmelerin de yaşanabileceği bilinmektedir. Bu tez çalışması kapsamında kirişsiz teşkil edilen döşemelerin zımbalama dayanımı performansının artırılması amacıyla farklı zımbalama tedbirleri (herhangi bir zımbalama tedbiri içermeyen kontrol, kesme kaması, tekli lifli ile, ikili ve üçlü hibrit lifli KYB) içeren büyük ölçekli döşeme kolon birleşim elemanlarının test edilmesini içeren deneysel çalışma programı yürütülmüştür. Bu amaçla; lifsiz KYB (Kontrol ve kesme kamalı numuneler için), bir adet sadece makro çelik lifli KYB ile makro ve farklı tip mikro lifler (6mm ve 13 mm mikro çelik lif ile polipropilen (PP) lif) içeren üç adet ikili ve iki adet üçlü hibrit lifli KYB karışımı olmak üzere 7 adet KYB karışımı tasarlanmıştır. Bu tasarlanan lifsiz ve lifli KYB karışımları için EFNARC 2005 esas alınarak çökme yayılma, J-halkası ve V- hunisi işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra elde edilen karışımlardan basınç, yarmada çekme ve eğilmede çekme dayanımı testleri için numuneler üretilip 7, 28 ve 56 gün kür edildikten sonra bu numuneler üzerinde bahsi geçen dayanım testleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra taze ve sertleşmiş beton özellikleri belirlenmiş olan lifsiz ve lifli KYB karışımlarından toplam 8 adet büyük ölçekli döşeme-kolon birleşim elemanları üretilmiştir. 56 gün kür edildikten sonra büyük ölçekli döşeme-kolon birleşim elemanları büyük çerçeve test düzeneği kullanılarak deplasman kontrollü olarak test edilmiştir. Testten elde edilen yük-sehim verileri kullanılarak numunelere ait yük taşıma kapasitesi, yük-sehim davranışı, tokluk ve süneklik değerlerinin hesaplanmasının yanı sıra numunelerin alt kısmında oluşan çatlak dağılımları çizilmiştir. Sonuçta hacimce toplamda %0.75 lif içeren ikili hibrit çelik lif takviyeli karışımlar (6 mm ve 13 mm mikro çelik lif içeren) ile üretilen döşeme-kolon birleşim elemanlarının zımbalama dayanımı, tokluk ve süneklik indeksi değerlerinin tüm numuneler içerisinde en iyi olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Düşük hacimde hibrit lif takviyesi, mikro lif tipi, kendiliğinden yerleşen beton, zımbalama dayanımı, büyük ölçekli döşeme-kolon birleşim elemanı, kesme kaması.

ABSTRACT

Master Thesis

THE EFFECT of LOW-VOLUME FIBER and MICRO FIBER TYPE on THE PUNCHING STRENGTH OF RC FLAT SLAB SYSTEMS

Abdulkerim ARI

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

72+X page

2025

Danışman: Prof. Dr. Kâzım TÜRK

While flat slab systems have advantages such as being aesthetic and useful, reducing formwork costs, and placing concrete more easily, it is known that flat slab systems may also experience collapses due to the punching effect. Within the scope of this thesis, an experimental study program was carried out to test large-scale slab column connection elements containing different punching measures (control without any punching measure, shear wedge, single fiber, double and triple hybrid fiber SCC) in order to increase the punching resistance performance of slabs formed without beams. For this purpose; 7 SCC mixtures were designed, including one fiber-free SCC (for control and shear wedge samples), one SCC with only macro steel fibers, and three binary and two triple hybrid fiber SCC mixtures containing macro and different types of micro fibers (6 mm and 13 mm micro steel fibers and polypropylene (PP) fiber). For these designed non-fibrous and fibrous SCC mixtures, slump flow, J-ring and V-funnel workability tests were carried out based on EFNARC 2005. Then, samples were produced from the obtained mixtures for compression, splitting tensile and bending tensile strength tests, and after curing for 7, 28 and 56 days, the mentioned strength tests were performed on these samples. Then, a total of 8 large-scale floor-column connection elements were produced from non-fibrous and fibrous SCC mixtures, whose fresh and hardened concrete properties were determined. After 56 days of curing, the large-scale floor-column connection elements were tested with displacement control using a large frame test setup. Using the load-deflection data obtained from the test, the load-carrying capacity, load-deflection behavior, toughness and ductility values of the samples were calculated, as well as the crack distributions in the lower part of the samples were drawn. In conclusion, it was found that the punching strength, toughness and ductility index values of the slab-column connection elements produced from, in a total of 0.75% by volume, binary hybrid steel fiber reinforced mixtures containing 6 mm and 13 mm micro steel fiber were the best among all samples.

Keywords: Low volume hybrid fiber reinforcement, micro fiber type, self-compacting concrete, punching strength, large-scale slab-column connection element, shear wedge.

1. GİRİŞ

Kirişsiz döşeme-kolon birleşim elemanları, estetiğin öne çıktığı modern yapıların tasarımında tavanda giriş bulunmamasının sunduğu görünüm avantajı, özellikle otopark ve hangar gibi tesisat elemanlarının yoğun olduğu ve kat yüksekliğinin büyük önem arz ettiği yapılarda kolaylık sağlaması, daha düşük işçilik ve kalıp maliyeti, betonun daha kolay yerleştirilmesi gibi sebeplerden dolayı tercih edilebilen yapı sistemleridir. Bu elemanların en büyük dezavantajlarından olan zımbalama göçmesine uğramalarının nedenleri; (i) tasarım ve uygulama hataları, (ii) kalıpların erken sökülmesi, (iii) yapı fonksiyonelliğinin değiştirilmesi, (iv) döşeme-kolon birleşim civarında galeri boşlukları (tesisat şaftları), (v) deprem gibi faktörlerin bir arada veya ayrı ayrı oluşturduğu etkiler şeklinde özetlenebilir. Yukarıda bahsedilen sebepler esas alındığında girişsiz döşeme sistemlerinde, döşeme-kolon birleşim bölgesinde kesme etkisiyle oluşan ve ani gevrek bir şekilde meydana gelen zımbalama göçmesinin önlenmesi için söz konusu birleşim bölgelerinde kesmeye karşı dayanımın ve sünekliğin artırılması büyük öneme sahiptir. Bu bağlamda girişsiz döşeme-kolon birleşim elemanlarının tasarımlarında, yapının ileride yaşayabileceği deprem, patlama ve öngörülemeyen hareketli yük gibi etkiler altında zımbalama göçmesine maruz kalması durumunda farklı önlem yöntemleri (kesme kaması, kapalı etriye, açık etriye gibi) mevcut olup uygulama ve işçilik dezavantajlarından dolayı daha inovatif yöntemlere ihtiyaç olduğu açıktır.

Zımbalama göçmesini önlemek için kullanılan mevcut uygulamalara alternatif olarak inovatif bir beton türü olan lif takviyeli kompozitlerin kullanılması hem mekanik özellikler hem de yapısal performans açısından önemli avantajlar sağlayacağı literatürdeki bu konuda yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır (Türk ve diğ., 2025; Katlav ve diğ., 2024; Türk ve diğ., 2024; Katlav ve diğ., 2023; Başsürücü ve diğ., 2023; Kına ve diğ., 2021). Çünkü betona ilave edilen farklı narinliklerdeki lifler makro ve mikro çatlakların köprülenmesine, mikro çatlakların diğer mikro çatlaklar ile birleşerek makro çatlakların oluşmasının engellenmesine, böylece hasar gecikmeleri açısından avantaj sağladığı ve göçmelerin önlendiği bilinmektedir. Son zamanlarda yapılan bazı çalışmalarda da benzer sonuçlara vurgu yapılmıştır (Sulthan ve Salomo, 2019; Türk ve diğ., 2021; Türk ve diğ., 2020).

Kirişsiz döşeme sistemlerinde önemli bir problem olarak karşılaşılan zımbalama sorununun çözümü ile ilgili literatürde çalışmalar mevcut olup bu çalışmaların genelde lif

takviyeli betondan büyük ölçekli numuneler üretilerek zımbalama performansının belirlenmesini içerdiği görülmektedir. Örneğin, Thuc ve diğ. (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, %0.8 ve %1.6 oranlarında çelik lif içeriğine sahip beton numuneler üretilmiş ve bu numunelerin zımbalama dayanımları incelenmiştir. Elde edilen bulgular neticesinde, lif takviyeli numunelerin ilk çatlak yükünde ve zımbalama kapasitesinde önemli ölçüde artış sağladığı tespit edilmiştir. Abdel-Rahman ve diğ. (2016) tarafından gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise farklı lif kombinasyonlarının zımbalama performansı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla 1700 x 1700 x 150 mm boyutlarında 14 adet döşeme-kolon birleşim elemanı test edilmiştir. Çalışmada, numunelerin kesme ve moment kapasiteleri araştırılmış ve elde edilen sonuçlar neticesinde çelik lif oranının artmasıyla birlikte numunelerin zımbalama dayanımı kapasitelerinin arttığı belirlenmiştir. Yapılan başka bir deneysel araştırmada farklı başlık tiplerine sahip dört adet lif takviyeli kendiliğinden yerleşen yüksek mukavemetli beton plakalar tasarlamıştır (Wang ve diğ, 2022). Çalışma kapsamında, üretilen çelik lif takviyeli numunelerin zımbalama göçme modu ve mekanizması detaylı olarak incelenmiş ve analiz edilmiştir. Çelik liflerin eklenmesiyle, numunelerin ilk çatlak yükünde ve nihai dayanımda önemli ölçüde artış sağlandığı tespit edilmiştir. Ayrıca, Çelik lif takviyeli beton-çelik sandviç levhaların daha iyi birlikte çalışma performansı sergiledikleri belirlenmiştir. Zamri ve diğ. (2022) yürüttükleri deneysel çalışmada, aynı boyutta 8 adet çelik lif takviyeli kendiliğinden yerleşen beton yapı elemanları üretmiş ve test etmişlerdir. Elde edilen bulgular esas alındığında karışımlara ilave edilen liflerin döşeme numunelerinin kesme mukavemetini ve sünekliğini arttırdığı, çatlak köprüleme işlevini etkin bir şekilde yerine getirerek çatlak kontrolü sağladığı ve dolayısıyla numunelerin yük taşıma kapasitelerini önemli ölçüde arttırdığı vurgulanmıştır. Döşeme elemanlarının kolon tarafından zımbalanmasının önlenmesi amacıyla farklı bir yöntem olarak döşemeye gömülü çelik iskelet kullanıldığı farklı bir deneysel çalışmaya da literatürde rastlanılmıştır (Zhou ve diğ, 2021). Bu çalışmada, döşeme-kolon birleşim elemanının zımbalama-kesme kapasitesini artırmak ve sünekliğini iyileştirmek amacıyla, çelik bir iskelet ile gömülü yeni bir döşeme-kolon bağlantı türü incelenmiştir. Çalışma kapsamında, değişken parametre olarak ise çelik iskeletin tipi, donatı oranı, çelik içeriği ve döşeme kalınlığı esas alınmış olup söz konusu parametrelerin kompozit bağlantıların zımbalama kesme davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, gömülü çelik iskeletin döşeme-kolon bağlantılarının zımbalama-kesme kapasitesini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Başsürücü ve diğ. (2023) tarafından yapılan başka bir deneysel çalışmada ise döşeme-kolon birleşim

elemanlarında zımbalama performansını arttırmak için hacimce toplamda %1 ile 1.25 oranında ve farklı lif kombinasyonlarına sahip toplam 5 adet kendiliğinden yerleşen beton (KYB) karışımı tasarlanarak büyük ölçekli numuneler üretilmiş ve mevcut zımbalama önlemleri (kapalı etriye ve kesme kaması) ile karşılaştırmak amacıyla bir seri deneyler yürütülmüştür. Sonuç olarak hibrit lif takviyesi büyük ölçekli döşeme-kolon birleşim elemanı numunelerinin zımbalama dayanımını olumlu etkilerken, özellikle üçlü hibrit lif takviyesinin en iyi zımbalama performansını sağladığı bulunmuştur.

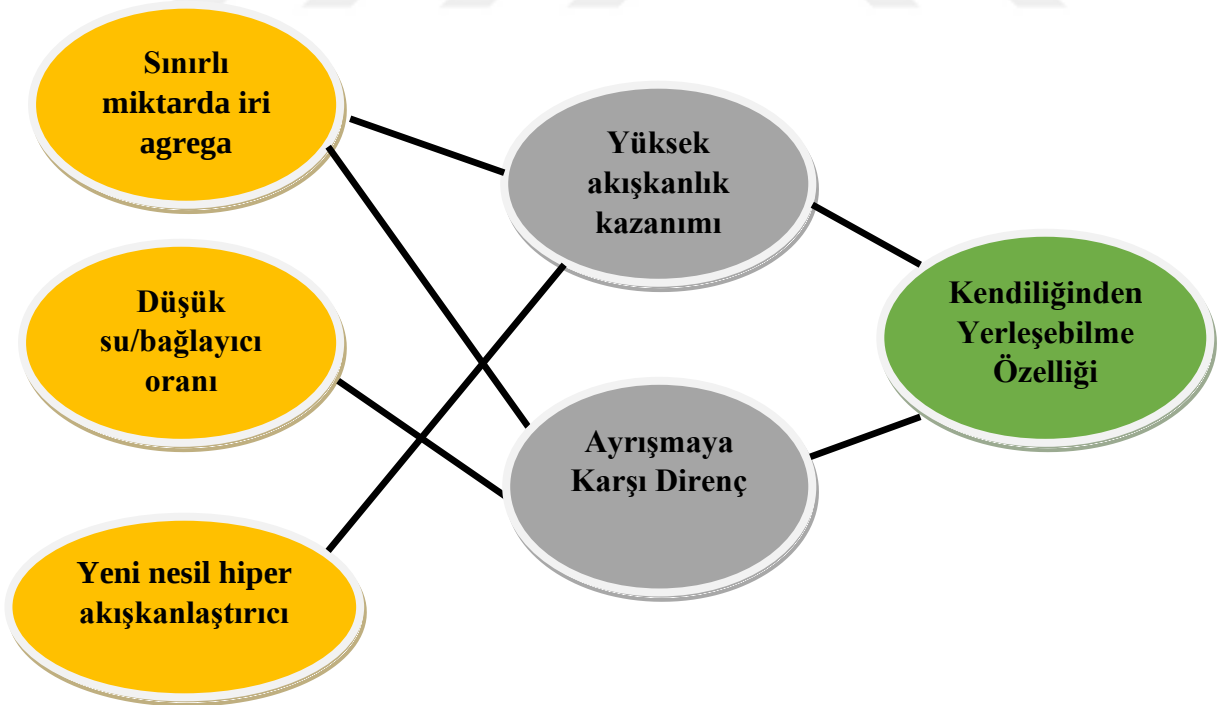
Bu tez çalışması kapsamında, düşük oranda lif takviyeli hiçbir zımbalama önlemi içermeyen 1 adet kontrol KYB ile tek tip makro çelik lif içeren KYB, makro ve mikro (6mm) çelik lif içeren KYB, makro ve mikro (13mm) çelik lif içeren KYB, makro çelik lif ve polipropilen (PP) sentetik lif içeren KYB, makro çelik ile iki tip mikro çelik lif içeren (6mm ve 13 mm) KYB, makro çelik ile mikro çelik (13mm) ve PP lif içeren KYB olmak üzere 6 adet karışım olmak üzere toplamda 7 adet karışım tasarlanmış olup karışımlara ait taze sertleşmiş beton özellikleri incelenmiştir. Ayrıca bu tez çalışmasının temel amacını oluşturan zımbalama performansının araştırılması için 1 adet herhangi bir zımbalama tedbiri içermeyen lifsiz kontrol KYB karışımı, 1 adet sadece kesme kaması içeren lifsiz KYB karışımı, 1 adet tek tip lif içeren KYB karışımı, 3 adet ikili hibrit lif içeren KYB karışımı ve 2 adet üçlü hibrit lif içeren KYB karışımları kullanılarak toplamda 8 adet büyük ölçekli döşeme-kolon birleşim elemanı üretilerek deplasman kontrollü yükleme ile test edilmiştir. Lif takviyesinin düşük oranlarda kullanılmasıyla kesme kamasına kıyasla uygulama açısından daha pratik ve ekonomik bir çözüm hedeflenirken, karışımların KYB olarak tasarlanması işlenebilirliği artırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tanımı ,Tarihçesi Ve Özellikleri

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) tanımsal olarak; tasarlanmış olan beton karışımının herhangi bir sıkıştırma aleti (vibrasyon aleti vs.) ve işçiliğe gerek duyulmadan belirlenen bölgeye veya kalıba kendiliğinden boşluksuz olarak yerleşebilen, ayrışmaya uğramadan sıkışabilen akıcı olan özel bir beton modelidir.

KYB kavramı ilk olarak Hajime Okamura tarafından 1986 yılında ortaya atılmıştır. Okamura ya göre KYB kendi ağırlığı altında yerleşebilen, sık donatı aralıklarından kolayca geçebilen, ayrışma yapmayan, kalıbı boşluksuz olarak doldurabilen özel bir beton olarak tanımlanmaktadır (Okamura, 1997). KYB'ler genel olarak standart betonlara kıyasla daha iyi dayanım ve dayanıklılık göstermektedir. KYB'ler kimyasal katkıları sayesinde kalıp içerisinde boşluksuz olarak yerleşebilen ve daha düşük su/çimento oranına sahip olduklarından dolayı daha az kabarcıklı bir yapı oluşturmaktadırlar. Bu yapı sayesinde daha az geçirime sahip betonlardır. Bu sebeple çevresel etmenlerden daha az etkilendiklerinden servis ömrü daha uzun durabilitesi daha yüksek betonlar olarak kendilerini göstermektedirler (Dybel ve Kucharska, 2020).



Şekil 2.1: KYB tasarımında temel yaklaşım (Okamura ve Ozawa, 1995)

2.2. KYB Reolojisi

KYB taze beton üretiminde özellikle işlenebilirlik açısından reolojisi önemli bir parametredir. Reoloji bilimi kısaca; malzemelerin akışı esnasında dış kuvvetler etkisinde karşılaşılan direnci matematiksel olarak inceleyen bilim dalıdır. Bu ölçümler ile malzemenin gerilme, birim şekil değiştirme, birim deformasyon vb. parametrelerini reometre ile zaman kavramı içinde birbiri ile ilişkisini inceler (Hackley ve Ferraris, 2001).

KYB ve reolojik bilimi arasındaki bağıntı önem arz etmektedir. KYB de belirlenen en önemli hususlar betonun akıcı olması ve segregasyona uğramamasıdır. Bu da içerisinde bulunan iri agregaların dış kuvvetler etkisinde daha az etkilenecek yayılımın daha kolay olması gerekmekte ve bunun ile birlikte ayrışma yapmaması gerekmektedir.

Aşağıda Şekil 2.2'de belirtildiği üzere;

Newtonyen modelinde;

$$\tau = \mu \cdot \gamma$$

τ : Kayma gerilmesi

γ : Kayma hızı

μ : Plastik viskozite

Bingham modelinde ise;

$$\tau = \tau_0 + \mu \cdot \gamma$$

τ : Kayma gerilmesi

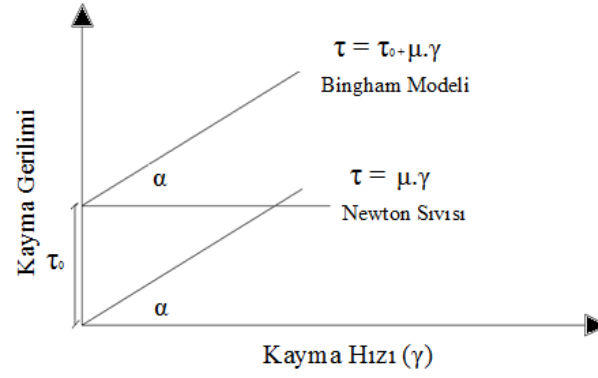
γ : Kayma hızı

μ : Plastik viskozite

τ_0 : Kayma eşiği

olarak gösterilmektedir.

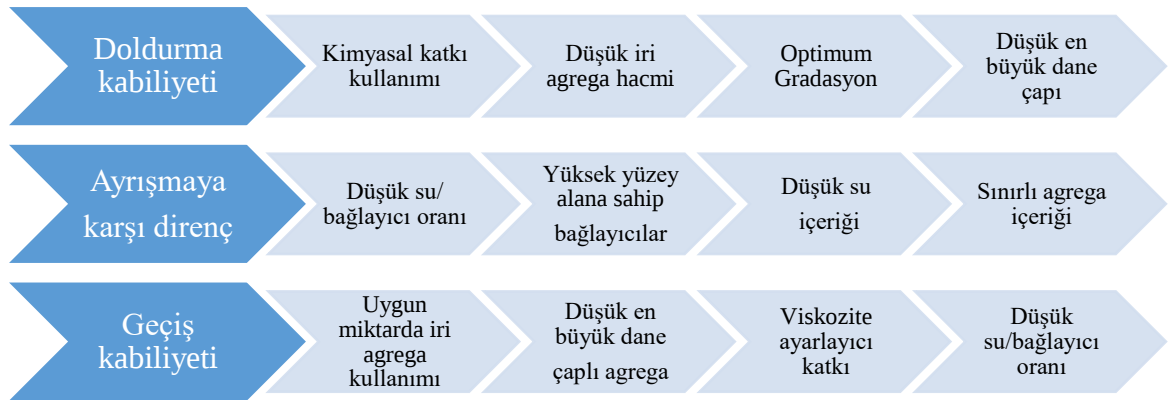
Bir malzemenin akışa geçerken herhangi bir aşması gereken eşik değer yoktur. Ancak pratikte bu böyle değildir. Malzemenin akışa geçebilmesi için aşması gereken bir eşik değer bulunmaktadır. Şekil 2.1 de görüldüğü gibi aşılması gereken eşik değer τ_0 ile gösterilmiştir. Buna göre kendiliğinden yerleşen beton tasarlarken yapılması gereken Bingham modelini Newtonyen modeline yaklaştırmak olacaktır. Böylece daha düşük bir akma direnci ve daha uygun bir plastik viskoziteye sahip malzeme tasarlanmış olacaktır. Bunun için su/bağlayıcı oranı, agrega granülometrisi üzerinde değişiklikler yapılması ve kimyasal katkı kullanılması gerekecektir (Gürses, 2008).



Şekil 2. 2: Bingham kayma gerilmesi-kayma hızı ilişkisi grafiği

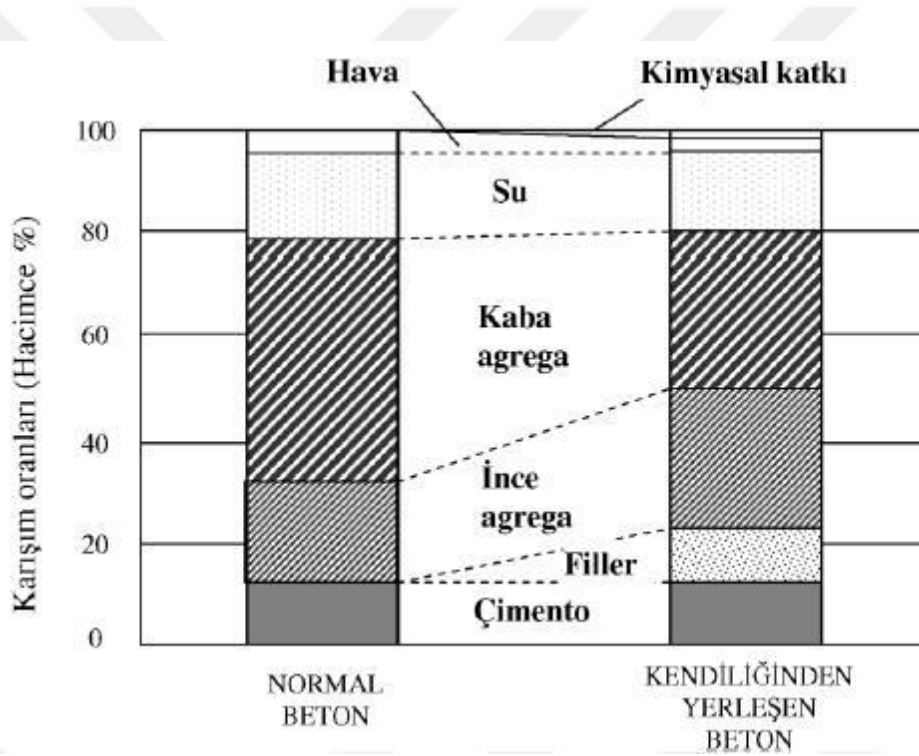
2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tasarımı

KYB tasarımlarında geleneksel betonlara göre 3 önemli hususa dikkat etmek gereklidir. Bunlar kısaca; tasarlanan betonun doldurma kabiliyeti, segregasyona (ayrışmaya) uğramaması ve engellerden geçiş kabiliyetinde artışın sağlanabilmesidir. Bu önlemler Şekil 2.3'te verilmiştir (Gürdal ve Yüceer, 2004). Böyle bir tasarımın yapılabilmesi için reoloji parametrelerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu sebeple akışkanlığı sağlamak için sadece kimyasal katkı kullanımı yeterli olmaz. KYB tasarımında geleneksel betonların aksine daha düşük maksimum agregata tane çapı, daha az oranda iri agregata miktarı ve gerektiğinde akışkanlaştırıcı katkıları, mineral katkıları ve viskozite arttırıcı katkıları kullanılmalıdır.



Şekil 2. 3: Taze haldeki KYB'nin üç temel özelliği için tasarımda alınacak önlemler

Taze betonun yerleştirme aşamasında iri agregalar sürtünme miktarını artırarak iç gerilmelere sebep olmaktadır. Bu da betonun rahat yerleşebilmesini etkilemektedir. Bu olay sık donatılı ve geçiş aralıklarının kısıtlı olduğu tasarımlarda segregasyon ve/veya boşlukların oluşmasına sebep olmaktadır. Belirli oranlarda uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı gibi filler malzemelerin kullanılması hamur/harç hacminde artışa, böylece agregalar arası mesafelerin artmasına imkan sağlayacaktır. Sonuç olarak agregalar arası sürtünmenin azalmasına betonun akıcılığının artmasına, daha geçirimsiz olmasına ve servis ömrünün daha fazla olmasına imkan sağlayacaktır. Ayrıca toz malzemelerin fazla olduğu karışımlarda su miktarında değişim yapmadan yeni nesil kimyasal katkıları kullanarak işlenebilirlik kabiliyetlerinde artışlar sağlanabilmektedir.



Şekil 2.4: Geleneksel Beton İle KYB Oranlarının Karşılaştırılması (Holschemacher, 2004)

Şekil 2.4'te görüldüğü üzere KYB'ler geleneksel betonlara göre daha az kaba agregaya miktarına sahip daha fazla ince agregaya miktarına sahip ve toplamda daha az agregaya miktarına sahiptirler. Bu şekilde KYB'lerin daha akıcı bir yapı kazanması sağlanmış olup malzemenin yerleşmesi esnasında engeller arasında rahatlıkla geçişi sağlanmış ve istenilen bölgeye yerleştirilmesi kolaylaşmış olacaktır (Gomes, 2002). Ayrıca KYB hamuru hacmini arttırmak için Şekil 2.4'de gösterilen filler malzemesi olarak bilinen puzolonik malzemeler

ilave edilmektedir. Bununla birlikte tasarlanan betonun daha akıcı hale gelmesi sağlanmakta ve hidrasyon ısını düşürerek daha kararlı bir beton elde edilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca hacmin artması ile birlikte kohezyona ve segregasyona uğramayan bir beton elde edilmiş olacaktır.

2.4. İşlenebilirlik Deneyleri

Taze KYB karışımlarının taşınırken, yerleştirilirken ve sıkıştırılırken homojenliğini ve karakteristiğini kaybetmemesi gerekir. Tasarımlar yapılırken akıcılık, kalıbı doldurma kabiliyeti, engeller arası geçiş kabiliyeti vb. özelliklerin belirlenmesi amacıyla EFNARC komitesinin önerdiği yöntemler ve sınırlar doğrultusunda birtakım testler yapılabilmektedir. Çizelge 2.1' de bu yöntemlerin bazıları verilmiştir.

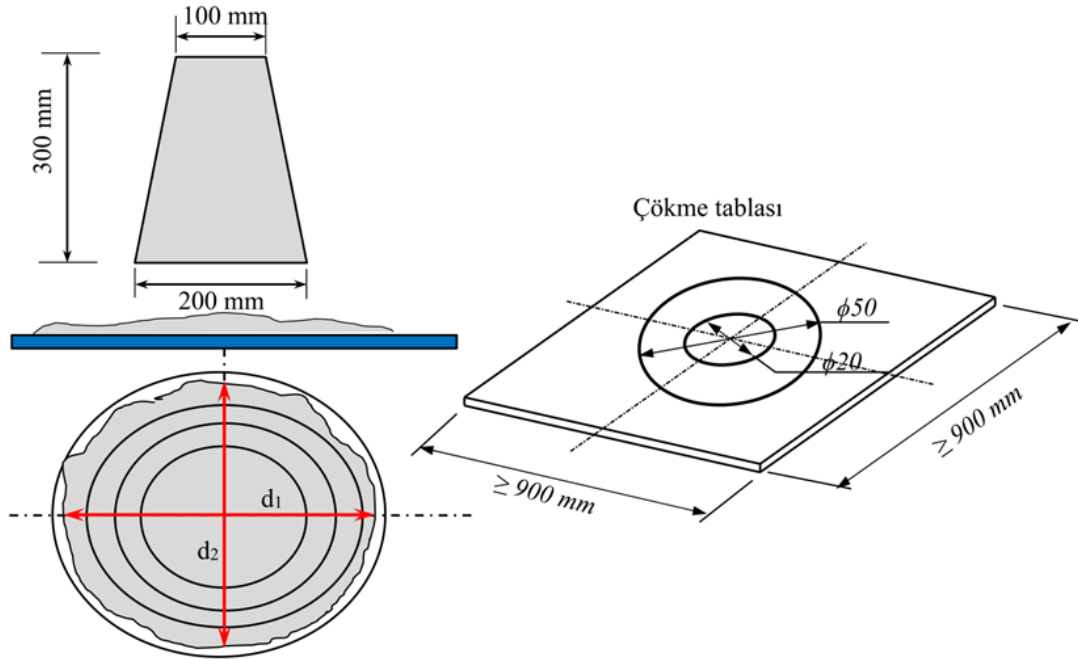
Çizelge 2. 1: KYB karışımları için uygulanan deneyler (EFNARC, 2002)

Deney yöntemi	Karakteristik Özellikler
Çökme-yayılma deneyi	Akıcılık, doldurma kabiliyeti
T500 akma süresi deneyi	Viskozite, akıcılık
J- halkası deneyi	Engellerden geçiş kabiliyeti
L- kutusu deneyi	Engellerden geçiş kabiliyeti
U- kutusu deneyi	Engellerden geçiş kabiliyeti
V-hunisi deneyi	Viskozite, akıcılık

2.4.1. Çökme-yayılma deneyi ve T500 süresi

Çökme yayılma deneyi, kendiliğinden yerleşen beton karışımlarının herhangi bir engele uğramadan akıcılığının test edilmesini sağlayan deney yöntemidir. Bu yöntem ile karışımların herhangi bir etki olmaksızın kendi ağırlığı altında yerleşebilme ve kalıbı doldurma kabiliyetleri belirlenmektedir. Ayrıca T500 süresi ise KYB karışımın akış hızını ve yerleşmeye karşı direnci ifade etmektedir.

Boyutu minimum 900 x 900 mm olan yüzeyi nemlendirilmiş tabla eğimsiz bir yüzeye yerleştirilir. 100 x 200 x 300 mm boyutlarında kesik koni tablanın tam ortasına yerleştirilerek sabitlenir. Herhangi bir sıkıştırma işlemi yapılmadan koninin üst seviyesine kadar KYB karışım ile doldurulur. Daha sonra kesik koni 30 sn içerisinde yavaşça yukarıya dik bir şekilde kaldırılarak KYB karışımlarının tabla üzerinde yayılması sağlanır. İlk olarak KYB karışımının tabla üzerinde 500 mm çapa ulaşana kadar geçen süre kaydedilir. Bu süre T500 süresidir. Bu süre ne kadar yüksek ise karışımın akıcılığı da o kadar azdır. T500 süresi için sınır değerler 2-5 sn olarak kabul edilmektedir. Karışımın tabla üzerindeki yayılması tamamlandıktan sonra dairesel şekil alan karışımın birbirine dik olan iki adet çapı (D1 ve D2) ölçülür ve bu çapların ortalaması yayılma çapı olarak belirlenir. EFNARC komitesine göre karışımlar yayılma çaplarına göre 3 sınıfta incelenir (Çizelge 2.2). Şekil 2.5'te çökme-yayılma deneyine ait deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 2. 5: Çökme-yayılma ve T500 deney düzeneği (Korkmaz, 2011)

Çizelge 2.2: EFNARC (2005)'e göre yayılma çapı sınıfları

KYB Sınıfı	Yayılma Çapı (mm)
SF1	550-650
SF2	660-750
SF3	760-850

Çökme-yayılma deneyinin sonucunda tablaya yayılan karışımının stabilitesi ile ilgili ASTM C1611 (2018) şartnamesinde bazı tanımlamalar yapılmıştır. Visual Stability Index (VSI) olarak tanımlanan bu yöntemde KYB karışımının ayrışmaya karşı kararlılığıyla ilgili 0-3 aralığında yapılan VSI tanımlamaları tanımlamalar Çizelge 2.3'te verilmiştir (Daczko ve Kurtz, 2001).

Çizelge 2. 3: KYB karışımlarının VSI tanımlaması

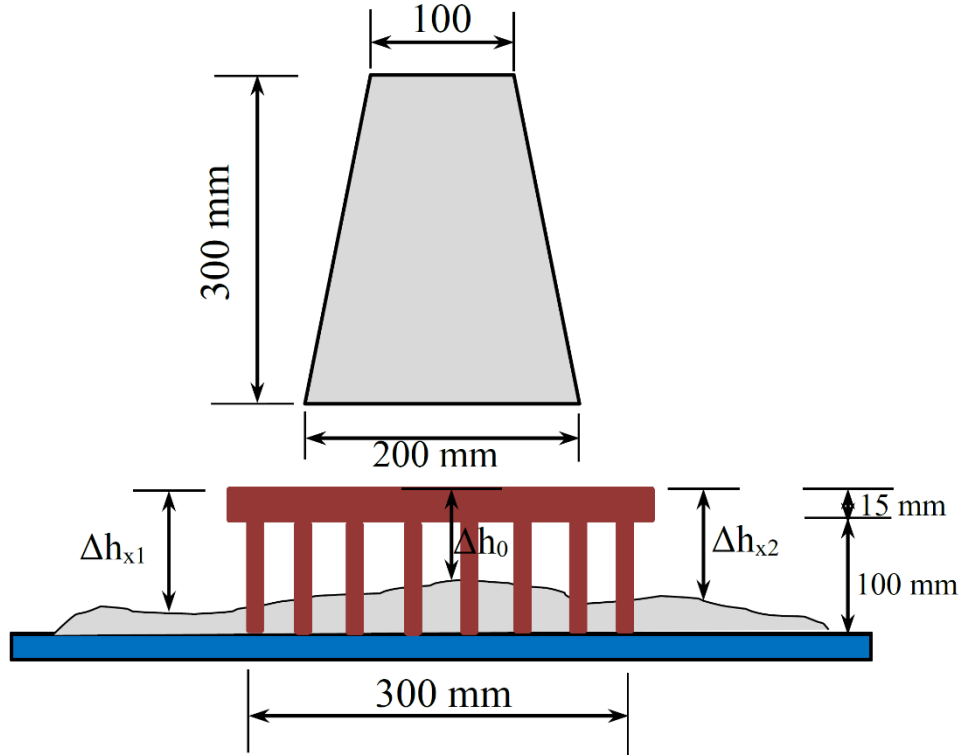
VSI	Şartlar
0 = Çok kararlı	Kusma ve ayrışma yok.
1 = Kararlı	Ayrışma yok, çok az kusma var.
2 = Kararlı değil	10 mm'den az olacak şekilde birikmesi var ve/veya karışımın orta bölgesinde biraz agrega ayrışması var.
3 = Hiç kararlı değil	10 mm'den fazla ve belirgin şekilde harç toplanması var ve karışımın ortasında geniş agrega kümelenmesi mevcut.

2.4.2. J-halkası deneyi

J-halkası deneyi, KYB karışımlarında donatıların aralarından ve dar kesitlerden geçiş kabiliyetlerini ölçmek amacıyla yapılmaktadır. Bu deneyde; 1000 mm x 1000 mm ebatlarında yayılma tablası, alt çapı 200 mm, yüksekliği 300 mm ve üst çapı 100 mm olan kesik koni ile birlikte çapı 300 mm olan ve çevresine 12 mm çapında 105 mm aralıklarla yerleştirilmiş çubuklardan oluşan J-halkası aparatı kullanılmaktadır. Deneye ait düzenek Şekil 2.6' da verilmiştir.

Deney aparatları nemli bir bez ile silinir, kesik koni yayılma tablasının ortasına konularak J-halkası kesik koniğin çevresine yerleştirilir. Daha sonra kesik koni yayılma

tablasına sabitlenerek herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmaksızın KYB karışımları ile doldurulur. Son olarak kesik koni yavaş ve dik bir şekilde kaldırılarak karışımların tabla üzerinde yayılması sağlanır ve yayılma tamamlandığında J-halkasının 4 farklı noktasından hem halkanın iç kısmındaki taze beton yüksekliği (h_1) hem de halkanın dış kısmındaki taze beton yüksekliği (h_2) ölçülerek bu yükseklik farklarının ortalaması (ΔH) alınarak kaydedilir. Ayrıca slump hunisinin kaldırılması ile birlikte karışımın 500 mm lik mesafeye ulaşma anı olan T500j de belirlenir.

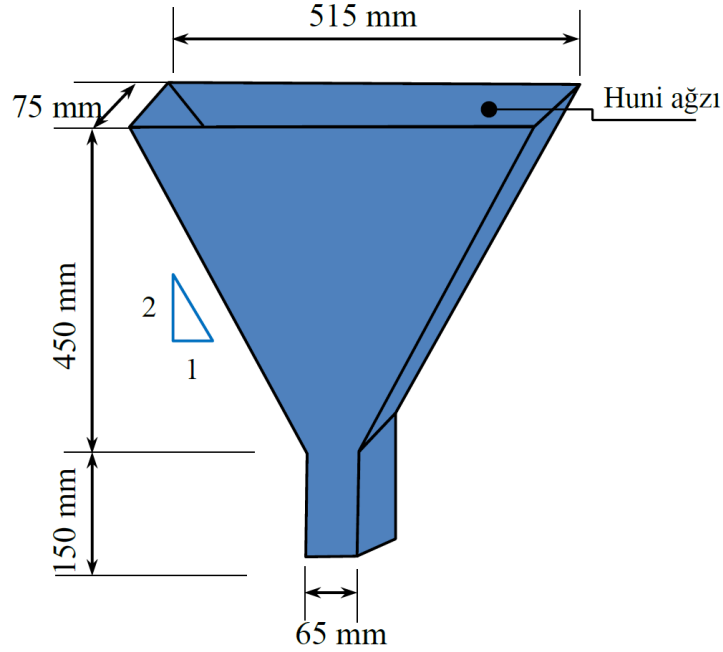


Şekil 2.6: J-Halkası deney düzeneği

2.4.3. V-hunisi deneyi

V- hunisi deneyi ile karışımların engellerden geçiş kabiliyetleri ve viskozitelerinin belirlenmesi amaçlanır. En büyük dane boyutu 20 mm olan karışımlar için uygulanan deney, betonun kendi ağırlığı ile dar bir kesitten geçiş kabiliyeti belirlenir. Deneyde Şekil 2.7’de gösterilen düzenek kullanılır. Karışımlar herhangi bir mekanik etki kullanılmaksızın V-hunisinin en üst seviyesine kadar tamamen doldurulur. Bu karışımlar 30 saniyeyi geçmeyecek şekilde V-Hunisi içerisinde bekletildikten sonra, huninin alt kapağı açıldığı an süre başlatılır ve üst kısımdan alt kapakta ışık görünür görünmez kronometre durdurularak

geçen süre kaydedilir. Bu süre karışımın akış süresi VF değerini verir. EFNARC komitesinin akış süresi için verdiği sınıf değerler Çizelge 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.7: V-hunisine ait test aparatı ve boyutları

Çizelge 2.4: EFNARC (2005)'e göre VF sınıfları

KYB Sınıfı	V-Hunisi Akış Süresi (s)
VF1	≤ 8
VF2	9 – 25

KYB karışımları reolojik olarak birbirlerinden farklı olabilmektedir. Bu durum yapı elemanlarında her KYB karışımının her yerde kullanılamayacağını gösterir (Yardımcı, 2007). Örneğin, kolon-kiriş-döşeme birleşim bölgesi gibi donatıların sık olduğu kesitli elemanlarda daha akışkan (SF2 veya SF3) ve akış hızı yüksek (VS1 / VF1) karışımlar kullanılması gerekirken buna karşın zor geçişlerin (dar kesit, yoğun donatı) bulunmadığı bir elemanda çökme-yayılma sınıfı olarak düşük yayılma çapına (SF1) sahip ve akış hızı daha düşük olan bir KYB karışımı kullanmak daha faydalı olabilecektir.

2.5. İnovatif Beton Karışımlarına Lif Katılması

Geleneksel betonlar günümüzde diğer yapı elemanlarına göre avantajlı ve yaygın olması ile birlikte çekme dayanımı açısından oldukça dezavantajlı bir yapıya sahiptirler. Bu sebeple betonun çekme dayanımı ve süneklik özelliklerini geliştirmek için geleneksel betonlara ilaveten tek ve karma lif kullanıldığı çalışmalar yürütülmüştür. Literatürde farklı boyutlarda ve ebatlarda çelik, polipropilen, cam, karbon vb. lif tipleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Başsürücü (2022) bir çalışmada hibrit elyaf takviyeli kendiliğinden yerleşen betonda taze beton ve sertleşmiş beton numunelerini deneysel ve istatistiksel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarda mikro ve makro çelik lifler ile elyaf takviyeli betonları farklı kombinasyonlarda üreterek karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuç olarak üçlü hibridizasyonunda üretilen beton numunesinin basınç dayanımında %1.1, yarmada %13.2, eğilme-çekme mukavemetinde %18.8 tokluğunda % 14.9 ve sünekliğinde % 26.3 oranında artış gözlemlenmiştir.

Lif hibridizasyonları ile değişik malzeme ve özellikteki liflerle oluşturulan kombinasyonlar ile teknolojik betonların üretilmesi mümkün olabilecektir. Böyle kompozitlerde daha düşük beton ve donatı kesitleri kullanılarak daha güvenli elemanlar elde edilebilmiş olacaktır. Böylece büyük ölçekli yapılarda ciddi oranlarda ekonomik fayda sağlanmış olacaktır. (Türk ve Kına, 2017).

Lif türleri kullanılırken yapının davranışlarının göz önünde bulundurulması önem arz etmektedir. Kullanılacak lifinin istenilen performansı yakalayabilmesi için doğru seçim yapılması gerekmektedir. Örneğin Karbon, çelik ve cam lifler elastisite modülü daha yüksek olan lif tipleridir. Bunlar polipropilen ve polietilen liflere göre daha tok olduklarından daha gevrek davranış sergilerler. Bunun aksine diğer lif tipleri de çatlaklara karşı daha dirençli ve daha sünek olmalarıyla öne çıkmaktadırlar (Kawamata ve diğ. 2003).

Çelik liflerin kullanım amaçları kısaca 6 hususta belirlenmiştir. Bunlar;

- 1- Yüksek basınç dayanımına sahip sünek beton
- 2- Etkin Çatlak kontrolü
- 3- Dayanım ve dayanıklılık
- 4- Daha az donatı ve donatı işçilik maliyeti
- 5- Korozyonun oluşmadığı düzgün yüzeyin elde edilmesi

6- Daha esnek yapıların oluşturulması olarak belirlenmektedir.

2.6. Döşeme Kolon Birleşim Elemanlarının Zımbalama Dayanımı

Kirişsiz döşemeler görsel açıdan estetiklik sağlaması, kullanımda genişlik ve ferahlık sağlaması, tesisat geçişlerine elverişli olması gibi sebeplerden dolayı orta ve yüksek katlı binalarda tercih edilebilmektedirler. Bu tip yapılarda en çok karşılaşılan sorun zımbalama etkisi olarak belirtilebilir. Proje ve yapım esnasında öngörülemeyen imalatlar ve yapılan hatalar ciddi problemleri beraberinde getirebilmektedirler. Literatürde yapıları güçlendirmeye yönelik çelik plaka kullanımı, lif takviyesi yapılması, çelik gergi ile güçlendirme, zımbalama donatısı ve zımbalama kaması kullanımı, ankraj bağlantıları ve art germe ile güçlendirme gibi uygulamalar yer almaktadır.

Bir çalışmada döşeme kolon birleşim bölgesinde döşeme eğilme donatı oranının artırılarak üniform dağılmış olan döşeme eğilme donatısı ile karşılaştırılması yapılmış ve sıklaştırmanın yapıldığı numunenin diğer numunelere kıyasla daha yüksek zımbalama dayanımı ve daha dar çatlak oluşumuna sebep olduğu tespit edilmiştir (Lee ve diğ, 2008).

Ezer (2015) yaptığı bir çalışmada kolon döşeme birleşim bölgesinde zımbalama donatılarının etkisi incelenmiştir. Aynı özelliklere sahip 5 adet zımbalama donatısız eleman ile kapalı etriye ve çelik profil içeren zımbalama donatısı eklenerek oluşturulmuş 5 adet numune karşılaştırılmış ve zımbalama donatısı bulunan elemanın daha sünek yapıya sahip olduğu belirlenmiş ve zımbalamaya karşı daha dirençli olduğu tespit edilmiştir.

Bir çalışmada normal ve yüksek dayanımlı betonların zımbalama etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Beton basınç dayanımının yüksek olduğu betonlarda döşeme rijitliği ve zımbalamaya karşı direncin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir (Ozden ve diğ, 2006).

Zhang ve diğ. (2019) yaptığı bir çalışmada, zımbalama dayanımı etkisini incelemek için eğilme donatısı oranını değiştirerek numuneler üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak düşük donatılı numunelerin gevrek göçmeye daha yatkın oldukları eğilme donatısının fazla olduğu kısımlarda ise daha esnek ve çatlak dağılımının daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Sine ve diğ. (2022) yaptıkları bir çalışmada yükleme çelik plakaları farklı tasarlayıp performanslarını incelemeye çalışmışlardır. Deneyde kare ve dikdörtgen plakaların karşılaştırılması yapılmış, kare plaka çevre olarak dikdörtgen plaka ise alan olarak büyük seçilmiş ve sonuç olarak kare plakanın dikdörtgen plakaya nazaran %7 daha dayanımlı olduğunu tespit edilmiştir.

Husain ve Diğ. (2017) yaptıkları bir çalışmada değişik tiplerde olan zımbalama donatılarının şekil değiştirme ve süneklik üzerindeki etkileri incelenmesi amacıyla 1500 x 1500 x 120 mm³ ebadında numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelerde kesme kamasının ilavesi ile %53.85, açık etriye ilavesi ile %69.23 ve kapalı etriye ilavesi ile de %87.69 oranında yük taşıma kapasitesinde artış gözlemlenmiştir. Ayrıca kesme kaması, açık etriye ve kapalı etriye ilavelerinde daha sünek davranış gösterdikleri tespit edilmiştir. Ayrıca diğer çalışmalarında 1500 x 1500 x 180 mm³ ebadındaki deney numunesinin içerisinde bulunan 200 x 200 x 600 mm³ ebadındaki kolon elemanın pramit şeklinde üretilenin normal üretilene kıyasla zımbalama kapasitesinin %130.77 arttığı gözlemlenmiştir.

Başsürücü (2022) doktora çalışmasında zımbalama donatısız ve zımbalama donatılı (kapalı etriye ve kama) olmak üzere 3 adet varyasyonu lifsiz KYB, sadece makro çelik lifli KYB, makro ve mikro çelik lifli KYB, Makro ve Mikro Çelik lifli ve sentetik lifli KYB ve makro çelik lif ve sentetik lifli KYB modellerini oluşturarak her numuneden ikişer adetten olmak üzere 30 adet varyasyondan 1300 x 1300 x 120 mm³ boyutlarında büyük ölçekli döşeme - kolon elemanları elde ederek deneyler yapılmış ve bulgular analitik ve istatistiksel olarak taze beton, sertleşmiş beton ve zımbalama dayanımı başlıkları adı altında incelemiştir. Buna göre; zımbalama donatısız elemanlarda hibrit lif takviyeli kullanılması zımbalama dayanımı açısından olumlu sonuçlar vermiştir. Burada 3'lü lif takviyesinin en başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca ikili kombinasyonlarda ise mikro çelik lif kullanımının sentetik life oranla daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiş ve bu sonuç zımbalama yüzey alanı artışına ve kesme açısının azalmasına dayandırılmıştır.

Ayrıca bu çalışmada zımbalama donatılı numunelerde ise ikili çelik lif hibridizasyonu ile en iyi sonuçların elde edildiği belirlenmiştir. Bunun ile birlikte kesme kaması ile ikili çelik lif hibridizasyonu en iyi zımbalama performansını sergilemiştir. Zımbalama donatısız döşeme kolon birleşim elemanlarında hibrit ilaveli elemanların hibrit ilavesiz kontrol elemanlara göre daha iyi enerji yutma kapasitesi tespit edilmiştir. Eğer zımbalama donatısız eleman tercih edilecekse en iyi çözümün karma lifli kombinasyonlardan olabileceği vurgulanmıştır.

Gouveia ve diğ. (2018) yaptıkları bir çalışmada çelik lif ilavesinin zımbalama dayanımı üzerindeki etkisi deneysel olarak irdelenmiştir. Çalışmalara göre lif ilaveli numunelerin lif ilavesiz numunelere nazaran %54 zımbalama etkisine karşı daha dayanımlı olduğu saptanmıştır. Ayrıca lif ilavesinin göçme tipini klasik zımbalama göçmesinden eğilme-zımbalama göçmesine çevirdiği tespit edilmiştir.

Chen ve diğ. (2020) yaptıkları bir çalışmada kolonu çelik borudan oluşan ve kolon çevresi çeşitli elemanlarla güçlendirilmiş kirişsiz betonarme plağın döşeme kolon bölgesinin zımbalama etkisi altında davranışları irdelenmiştir. Kompozit halde bulunan döşeme kolon birleşim elemanının yük etkisinde etkili bir şekilde ayrıldığı vurgulanmış ve döşemenin zımbalamaya karşı kapasitesinin arttığı görülmüştür.

Lee ve diğ. (2008) yaptıkları bir çalışmalarında, döşeme kolon birleşim elemanlarında 2300 x 2300 mm² boyutlarında 125 ve 150 mm kalınlığında numuneler hazırlamış ve bu numuneleri çelik lif ilavesiyle destekleyerek deney numuneleri üretmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre zımbalama dayanımı ve süneklik değeri artmış çatlak kalınlıklarında ise azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca döşeme içerisinde ve kolona döşeme kalınlığının iki katı (2d) uzaklıkta çelik lif takviyeli beton kullanılması durumunda döşeme kolon birleşim elemanı zımbalamaya karşı daha dayanıklı olacağı vurgulanmıştır.

3. DENEYSEL PROGRAM VE YÖNTEM

3.1. Malzemeler

3.1.1. Çimento

Bu tez çalışmasındaki tüm karışımlarda Elazığ SEZA-SYCS İnşaat ve Çimento A.Ş. tarafından üretilmiş olan CEM IV / B (P) 32,5 R – SR Pozolanik Çimento kullanılmıştır. Çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikler aşağıda Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1: Çimentoya ait teknik veriler

Kimyasal Özellikler (%)	
SiO ₂	23.90
Al ₂ O ₃	7.28
Fe ₂ O ₃	5.94
CaO	47.08
MgO	3.74
SO ₃	2.87
Na ₂ O	1.42
K ₂ O	0.90
Kızdırma kaybı	5.92
Fiziksel Özellikler	
Özgül yüzey alanı (cm ² /g)	4295
Özgül ağırlık	2.97

3.1.2. Uçucu kül

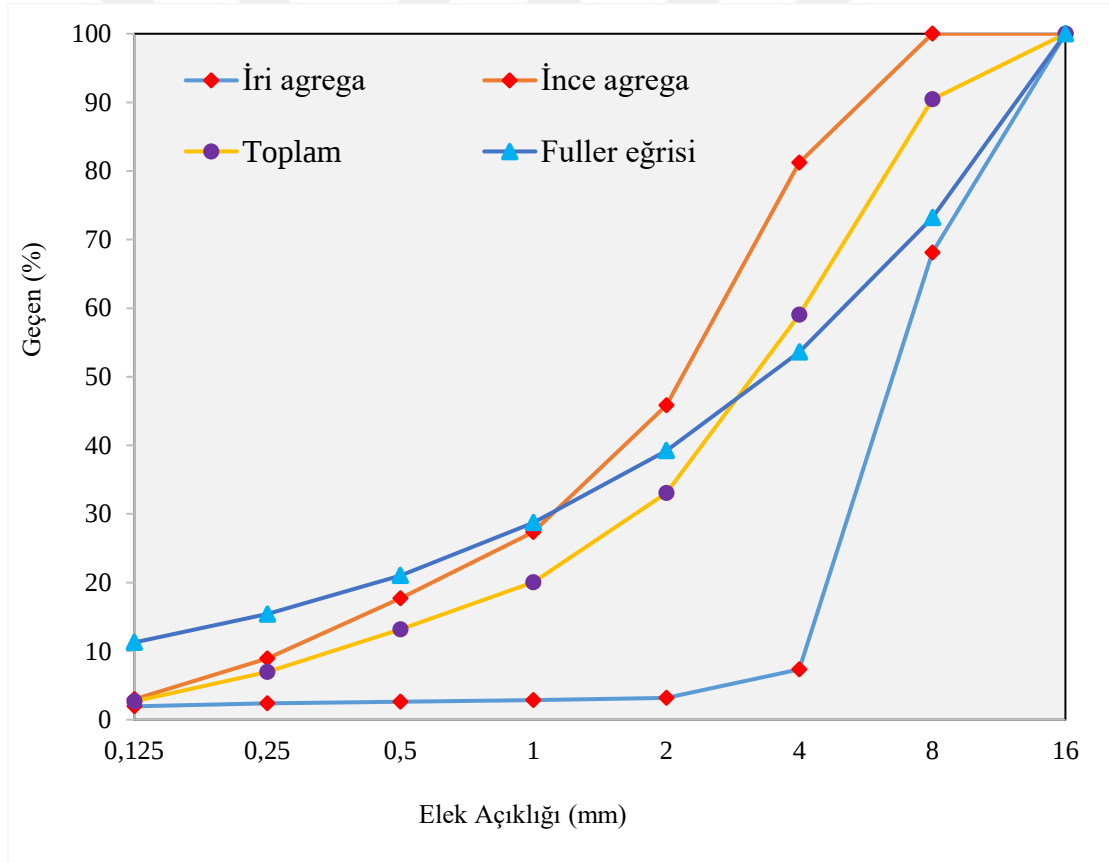
Tez çalışması kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda pozolanik toz malzeme olarak endüstriyel sanayi atık ürünü olan uçucu kül, çimento ile ikame edilerek belirli oranda karışıma ilave edilmiştir. Karışımlara ilave edilen F sınıfı uçucu kül İskan Sugözü Termik santralının atığıdır. Uçucu küle ait kimyasal ve fiziksel özellikler aşağıda Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2: Uçucu küle ait teknik veriler

Kimyasal Özellikler (%)	
SiO ₂	63.09
Al ₂ O ₃	21.63
Fe ₂ O ₃	6.77
CaO	1.07
MgO	-
SO ₃	0.10
Na ₂ O	2.79
K ₂ O	-
Kızdırma kaybı	2.68
Fiziksel Özellikler	
Özgül yüzey alanı (cm ² /g)	2900
Özgül ağırlık	2.30

3.1.3. Agrega

Yapılan çalışmaların tamamında kırma taş olarak elde edilen ve boyutları (0-5mm) aralığında olan kırmataş kum ve boyutları (5-15mm) aralığında olan kırmataş çakıl olmak üzere iki grup agrega seçimi yapılmıştır. (0-5mm) aralığında olan ince agregaların doygun yüzey kuru (DYK) özgül ağırlığı 2.58 su emme kapasitesi %1,85, (5-15mm) aralığında olan iri agregaların ise DYK özgül ağırlığı 2.70 su emme kapasitesi %0.20 olarak bulunmuştur. Tasarlanan KYB karışımları, Kontrol karışımı hariç lif içerdiğinden EFNARC tarafından önerilen işlenebilirlik özelliklerini sağlamak için karışıma dahil edilecek (0-5mm) ince agregaların oranı %70 ve (5-15mm) iri agregaların oranı ise %30 olarak tercih edilmiştir. Tez çalışması kapsamında üretilen Lifli KYB karışımlarına ait agrega gradasyon eğrisi ve TS 802' ye ait sınır değerlere ait eğriler aşağıda Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Agregaların gradasyon eğrisi ve Fuller sınır değerleri

3.1.4. Karışım suyu

Karışımların ve kür işleminin tamamında Malatya şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.5. Kimyasal katkı

Lifsiz KYB Kontrol karışımı ile lifli KYB karışımlarında hem kendiliğinden yerleşebilirliği sağlamak hem de mümkün olan en düşük su/çimento oranını ile EFNARC'ın önerdiği işlenebilirlik özelliklerine ait sınırları sağlayabilmek için hiper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Tez çalışması kapsamında kullanılan hiper akışkanlaştırıcı Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. den temin edilen ViscoCrete Hi-Tech 51 kimyasal katkısıdır. Bu kimyasal katkı polikarboksilat esaslı olup özgül ağırlığı 1.06' dır.

3.1.6. Donatı

Tasarlanan ve uygulanan büyük ölçekli kirişsiz döşemelerin tamamında 8 mm, 10 mm ve 12 mm çapında olmak üzere üç farklı çapta donatı kullanılmıştır. Bu donatıların 10 mm olanları döşeme plağında, 12 mm olanları kolon elemanında, 8 mm olanları ise kolon etriyelerinde kullanılmıştır. Kullanılan donatıların teknik özelliklerini tespit etmek amacıyla TS 708 (2016) 'a uygun olacak şekilde çekme testleri yapılmış (Şekil 3.2) ve elde edilen sonuçlar çizelge 3.3 de verilmiştir.

Çizelge 3.3: Donatının mekanik özellikleri

Donatı	Çapı (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
φ8	8	50.2	535	670
φ10	10	78.5	549	661
φ12	12	113	459	584



Şekil 3.2: Büyük ölçekli numunelerde kullanılan donatıların çekme testi

3.1.7. Lifler

Yürütülen tez çalışması kapsamında iki ucu kancalı 60 mm uzunluğunda makro çelik lif (KMX 65/60), 13 mm uzunluğunda mikro çelik lif (DRAMIX OL13/.16), 6 mm uzunluğunda mikro çelik lif (DRAMIX OL6/.16) ve 6 mm uzunluğunda polipropilen sentetik lif olmak üzere 4 tip lif kullanılmıştır. KMX 65/60 kodunda makro çelik lif Kemerli Metal San. Tic. A.Ş. firmasından, DRAMIX OL13/.16 ve DRAMIX OL6/.16 kodlu mikro çelik lifler Bekaert İzmit Çelik Kord Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasından ve sentetik polipropilen lif ise Dost Kimya Endüstriyel Ham. San. ve Tic. Ltd. Şti. firmasından temin edilmiştir. Tüm lifli KYB karışımlarında toplam lif hacmi %0.75 oranında seçilmiş olup lifler tekli ve hibrit olarak ikili ve üçlü kombinasyonlarda karışımlara dahil edilmiştir. Tüm lifli karışımlar KMX 65/60 makro çelik lif içermektedir. Tez çalışması kapsamında kullanılan çelik ve sentetik liflere ait geometrik ve mekanik özellikler Çizelge 3.4'te, görselleri ise Şekil 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.4: Liflerin geometrik ve mekanik özellikleri

Lif Tipi	Boy (mm)	Çap (mm)	Narinlik	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Yoğunluk (gr/cm ³)
KMX 65/60	60	0.90	65	1200	200	7.85
OL 13/.16	13	0.15	87	3000	200	7.20
OL 6/.16	6	0.15	40	3000	200	7.20
PP	6	0.025	240	350	5-8	0.91



a) KMX 65/60



b) OL 6/.16



c) OL 13/.16



d) Polipropilen

Şekil 3.3: Büyük ölçekli numunelerde kullanılan lifler

3.2. Karışım Tasarımı

Büyük ölçekli betonarme döşeme-kolon elemanlarının üretilmesinde kullanılan lif içermeyen kontrol KYB karışımları ile tekli, ikili ve üçlü lif kombinasyonları içeren KYB karışımlar EFNARC (2005)' in işlenebilirlik için önerdiği sınır değerler esas alınarak tasarlanmıştır. Tüm karışımlar için yaklaşık benzer işlenebilirliğin sağlanabilmesi için su/bağlayıcı oranı sabit tutulmuş ve sadece hiper akışkanlaştırıcı oranları değiştirilmiştir. Bu karışımların elde edilmesinde genelde çökme-yayılma testi esas alınmış olup diğer işlenebilirlik testleri (T50, J-halkası ve V-hunisi) yapılarak kayıt altına alınmıştır. Bu bağlamda tüm karışımlarda bağlayıcı malzeme miktarı (%56 çimento + %44 uçucu kül), su miktarı, agrega miktarı (%70 kum + %30 çakıl) ve lif miktarı hacimce sabit tutularak lif kombinasyonu (tekli ve hibrit olarak ikili ve üçlü) değişken parametre olarak kullanılmıştır (Çizelge 3.5). Tüm karışımlar için su/bağlayıcı oranı 0.275 ve kontrol KYB karışımı haricindeki tüm karışımlarda lif oranı toplamda hacimce %0.75 tir. Bağlayıcı malzeme oranlarının ve ince agrega miktarının yüksek tutulmasının sebebi KYB karışımlarında kullanılan liflerin karışımların işlenebilirlik üzerinde oluşturabileceği olumsuz etkileri azaltmak içindir. Karışımlar, 2 adet kontrol ve 6 adet lifli olmak üzere toplam 8 adet karışımdan oluşmakta olup büyük ölçekli numunelerin üretiminde bu karışımlar kullanılmıştır. Tezin bundan sonraki kısmında söz konusu karışımlar için isimlendirmeler yapılacak olup bu isimlendirmeler ile ilgili açıklama aşağıdaki gibidir:

KONTROL	: Lifsiz KYB
MAK75	: KMX 65/60 tipinde makro çelik lif
MİK6	: OL 6/.16 tipinde mikro çelik lif
MİK13	: OL 13/.16 tipinde mikro çelik lif
PP	: Polipropilen sentetik lif

Ayrıca MAK, MİK, PP kısaltmalarının önlerine yazılan katsayılar karışımlara ilave edilen liflerin hacimce yüzde oranlarını ifade etmektedir. Örneğin 0.5MAK_0.125MİK6_0.125MİK13 karışımı hacimce %0.5 KMX 65/60 tipinde makro çelik lif, % 0.125 OL 13/.16 tipinde mikro çelik lif, OL 6/.16 tipinde mikro çelik lif içeren KYB karışımını ifade etmektedir.

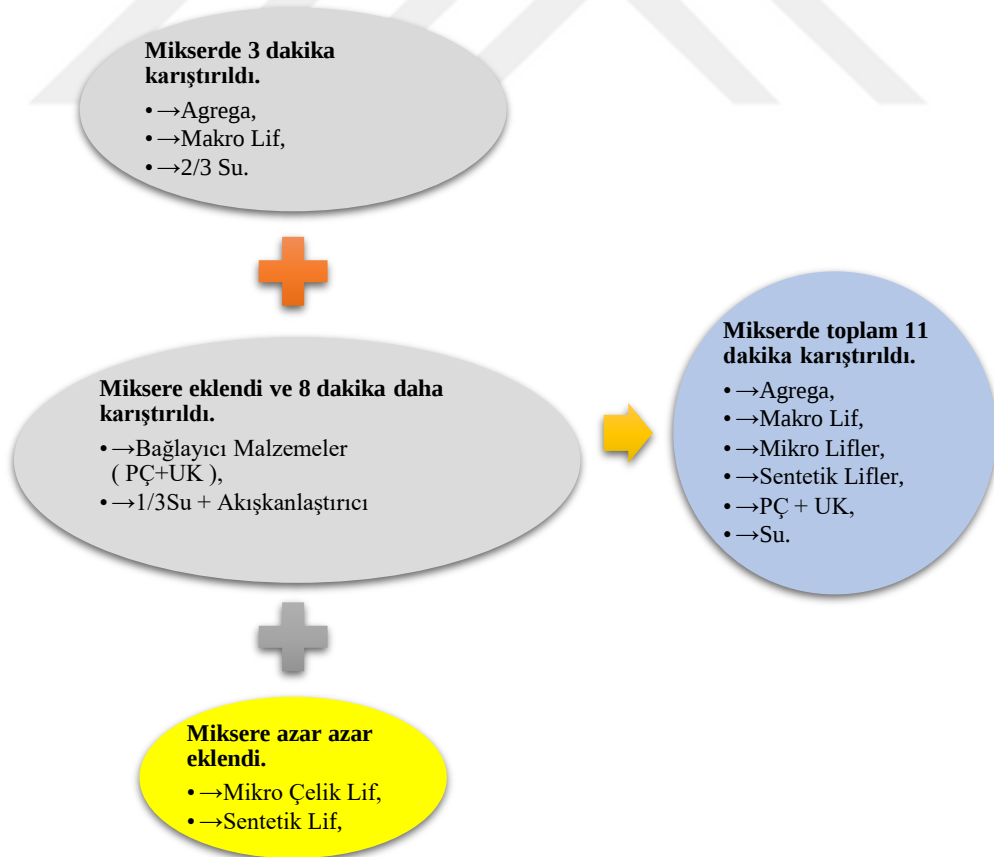
Çizelge 3.5: Karışım oranları (kg/m³)

Karışım Adı	PÇ	UK	SU	S/B*	HA**	Agrega		Çelik Lif			Sentetik
						(0-5)	(5-15)	KMX	DRMX	DRMX	Lif
											mm
KONTROL	450	350	220	0.275	3.75	865	371	-	-	-	-
0.75MAK	450	350	220	0.275	4.25	851	365	59	-	-	-
0.50MAK_0.25MİK6	450	350	220	0.275	4.25	851	365	39	18	-	-
0.50MAK_0.25MİK13	450	350	220	0.275	4.5	850	364	39	-	18	-
0.50MAK_0.25PP	450	350	220	0.275	5.5	849	364	39	-	-	2.28
0.50MAK_0.125MİK6_0.125MİK13	450	350	220	0.275	4	851	365	39	9	9	-
0.50MAK_0.125MİK13_0.125PP	450	350	220	0.275	5	851	365	39	-	9	1.14

* S/B : Su/ bağlayıcı (PÇ+UK) malzeme oranı **H.A. : Hiper akışkanlaştırıcı

3.2.1. Taze KYB karışımlarının hazırlanması

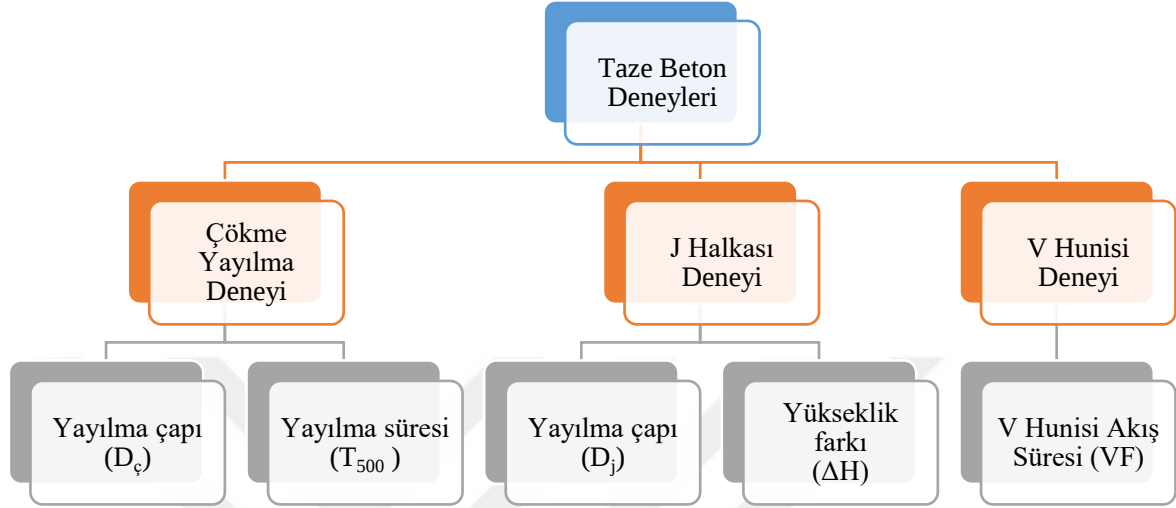
Yapılan tüm karışımların benzer işlenebilirlikte olması hiper akışkanlaştırıcı miktarı ayarlanarak sağlanmıştır. Karışımların yaklaşık benzer işlenebilirliği için çökme yayılma testi esas alınmıştır. Çökme yayılma değerlerinde EFNARC'ın önerdiği SF2 sınıfına uyulmuştur. Bu amaçla çökme yayılma aralıklarının 660-750 mm arasında olması sağlanmıştır. Çalışmalarda 30 dm³ kapasiteli yatay yönde hareket eden mikser kullanılmıştır. Karışımlar hazırlanırken uygulanan adımlar sırasıyla aşağıdaki gibi uygulanmıştır: (i) İlk aşamada iri agregat (5-15 mm), ince agregat (0-5mm) ve varsa makro lifler (KMX 65/60) ve karışım suyunun 2/3'ü eklenerek 3 dakika boyunca karıştırılmıştır, (ii) İkinci aşamada ise bağlayıcı malzemeler ile birlikte homojen hale getirilmiş karışım suyunun 1/3'ü ve hiper akışkanlaştırıcı miksera ilave edilmiş ve karıştırma işlemi 8 dakika daha devam ettirilmiştir. İkinci aşamada içerisinde varsa mikro ve sentetik liflerin topaklanmasını önlemek amacıyla bu lifler yavaş yavaş karışıma ilave edilerek toplamda 11 dakika sonra karıştırma işlemi sonlandırılmıştır. Karıştırma işlemine ait akış şeması Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Karışımların hazırlanma aşamaları

3.3. Taze Beton Deneyleri

Hazırlanan tüm karışımlar için aşağıda Şekil 3.5'te gösterildiği gibi, taze beton deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu deneyler EFNARC'ın tarif ettiği şekilde ve önerdiği sınırlar esas alınarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5: Tüm karışımlar için uygulanan KYB taze beton deneyleri

3.3.1. Çökme-yayılma ve T500 deneyi

Çökme-yayılma ve T500 deneyleriyle lifsiz kontrol ve lifli KYB karışımlarının herhangi bir dış etki uygulanmaksızın sadece kendi ağırlığı altında sergilediği akıcılığın ve kalıbı doldurma kabiliyetinin belirlenmesinin yanında viskozitesinin ölçülmesi de amaçlanmıştır. Her iki deney için de EFNARC komitesinin önerileri doğrultusunda, bu deney için çelikten üretilmiş 1000 mm x 1000 mm ebatlarında yayılma tablası ile içine KYB karışımının yerleştirileceği alt çapı 200 mm, yüksekliği 300 mm ve üst çapı 100 mm olan kesik koni şeklindeki aparat kullanılmıştır (Şekil 3.6).

İlk olarak yayılma tablası ve kesik koni elemanları nemli bir bez ile silindi, kesik koni yayılma tablasının tam ortasına gelecek şekilde koniğin kenarlarına basmak suretiyle sabitlendi. Daha sonra hazırlanan KYB karışımı herhangi bir sıkıştırma ekipmanı kullanmadan kesik koni içerisine yerleştirilmiştir. Daha sonra kesik koni 30 sn içerisinde yavaşça yukarıya dik bir şekilde kaldırılarak KYB karışımlarının tabla üzerinde yayılması gözlemlenmiştir. İlk olarak KYB karışımının tabla üzerinde 500 mm çapa ulaşana kadar geçen süre kaydedilmiştir. Karışımın tabla üzerindeki yayılması tamamlandıktan sonra dairesel şekil alan karışımın birbirine dik olan iki adet çapı (D1 ve D2) ölçülmüş ve bu çapların ortalaması yayılma çapı olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 3.6: Çökme -yayılma ve T500 deneyi

3.3.2. J-halkası deneyi

Lifsiz KYB kontrol karışımı ile lifli KYB karışımlarında donatıların aralarından ve dar kesitlerden geçiş kabiliyetlerini ölçmek amacıyla J-halkası deneyi yapılmıştır. Bu deneyde; 1000 mm x 1000 mm ebatlarında yayılma tablası, alt çapı 200 mm, yüksekliği 300 mm ve üst çapı 100 mm olan kesik koni ile birlikte çapı 300 mm olan ve çevresine 12 mm çapında 105 mm aralıklarla yerleştirilmiş çubuklardan oluşan J-halkası aparatı kullanılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: J-halkası deneyi

Deney işlemine geçilmeden önce deney aparatları nemli bir bez ile silindi, kesik koni yayılma tablasının ortasına konuldu ve J-halkası kesik koniğin çevresine yerleştirildi. Daha sonra kesik koni yayılma tablasına sabitlenerek herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmaksızın lifsiz ve lifli KYB karışımları ile doldurulmuştur. Son olarak kesik koni yavaş ve dik bir şekilde kaldırılarak karışımların tabla üzerinde yayılması sağlanmış ve yayılma tamamlandığında J-halkasının 4 farklı noktasından hem halkanın iç kısmındaki taze beton yüksekliği (h_1) hem de halkanın dış kısmındaki taze beton yüksekliği (h_2) ölçülerek bu yükseklik farklarının ortalaması (ΔH) alınarak kaydedilmiştir.

3.3.3. V-hunisi deneyi

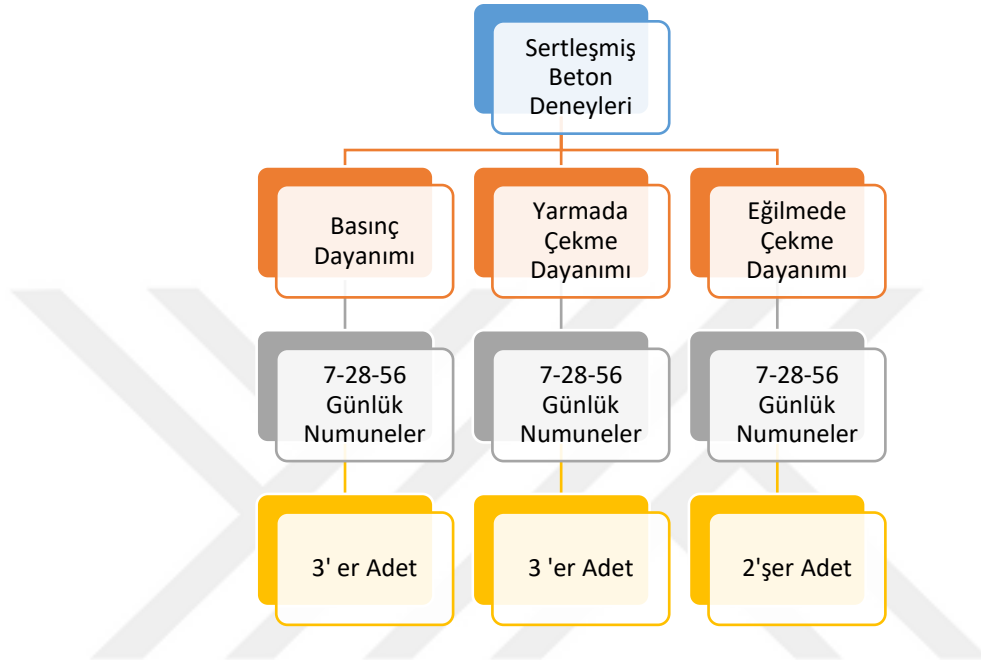
Lifsiz KYB kontrol karışımı ile lifli KYB karışımların kalıplara doldurma kabiliyeti ve viskozitesini belirlemek amacıyla V-hunisi deneyi yapılmıştır. Deneyde EFNARC komitesi tarafından önerilen ölçülere uygun olarak tasarlanan deney hunisi aparatı kullanılmıştır. İlk aşamada karışımlar herhangi bir mekanik etki kullanılmaksızın V-hunisinin en üst seviyesine kadar tamamen doldurulmuştur. Bu karışımlar 30 saniyeyi geçmeyecek şekilde V-Hunisi içerisinde bekletildikten sonra, huninin alt kapağı açıldığı an süre başlatıldı ve üst kısımdan alt kapakta ışık görünür görünmez kronometre durdurularak geçen süre kaydedildi (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: V-hunisi deney düzeneği

3.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Lifsiz KYB kontrol karışımı ile lifli KYB karışımlardan üretilen numunelerin aşağıda Şekil 3.9' da gösterildiği gibi sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Tüm deneyler ilgili standartlar esas alınarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.9: Karışımlarda uygulanan KYB sertleşmiş beton deneyleri

3.4.1. Basınç dayanımı

Lifsiz KYB kontrol karışımı ile lifli KYB karışımlarının basınç dayanımlarını belirlemek amacıyla 100 mm x 100 mm x 100 mm ebatlarında 7, 28 ve 56 gün kür edilmek üzere her bir karışımdan üçer adet, toplamda 63 adet numune üretilmiştir. Karışımlar kalıplara yerleştirilirken herhangi bir sıkıştırma işlemi yapılmamış, numuneler 24 saat kalıplarda bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılarak kirece doygun, 23 ± 2 °C sıcaklığında kür havuzlarına taşınmış ve numunelerin kür edilmesi sağlanmıştır. Kür işlemi tamamlanan numuneler ASTM C 109 (2018) standardı esas alınarak Şekil 3.10' da görüldüğü gibi 300 kN kapasiteli basınç cihazı ile 6 kN/sn yükleme hızında beton basınç deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.10: Basınç Deneyi

3.4.2. Yarmada çekme dayanımı

Lifsiz KYB kontrol karışımı ile lifli KYB karışımlarının yarmada çekme dayanımlarını belirlemek amacıyla 100 mm çapında ve 200 mm yüksekliğinde 7, 28 ve 56 gün kür edilmek üzere her bir karışımdan üçer adet, toplamda 63 adet silindir numune üretilmiştir. Karışımlar kalıplara yerleştirilirken herhangi bir sıkıştırma işlemi yapılmamış, numuneler 24 saat kalıplarda bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılarak kirece doygun, $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında kür havuzlarına taşınmış ve numunelerin kür edilmesi sağlanmıştır. Kür işlemi tamamlanan numuneler ASTM C496 (2017) standardı esas alınarak Şekil 3.11' de görüldüğü gibi 3000 kN kapasiteli basınç cihazı ile 1,6 kN/sn yükleme hızında yarmada çekme deneyine tabi tutulmuştur. Deneyden elde edilen veriler Denklem 3.1 yardımı ile numunelerin yarmada çekme deneyi hesaplanmıştır.

$$f_{y\check{c}} = \frac{2 \times P}{\pi \times L \times D} \quad (3.1)$$

Burada:

$f_{y\check{c}}$: Yarmada çekme dayanımı (MPa)

P: Kesitin taşıyabileceği maksimum yük (N)

L: Numunenin uzunluğu (mm)

D: Numunenin çapı (mm)



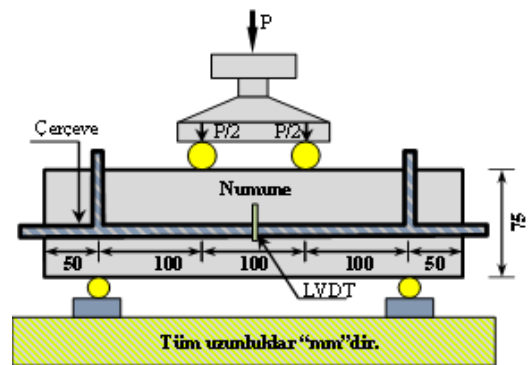
Şekil 3.11: Yarmada çekme dayanımı deneyi

3.4.3. Eğilmede çekme dayanımı

Lifsiz KYB kontrol karışımı ile lifli KYB karışımlarının dört noktalı eğilmede çekme dayanımlarını belirlemek amacıyla 100 mm x 75 mm x 400 mm ebatlarında 7, 28 ve 56 gün kür edilmek üzere her bir karışımdan ikişer adet, toplamda 42 adet dikdörtgen prizma numune üretilmiştir. Karışımlar kalıplara yerleştirilirken herhangi bir sıkıştırma işlemi yapılmamış, numuneler 24 saat kalıplarda bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılarak kirece doygün, $23 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklığında kür havuzlarına taşınmış ve numunelerin kür edilmesi sağlanmıştır.



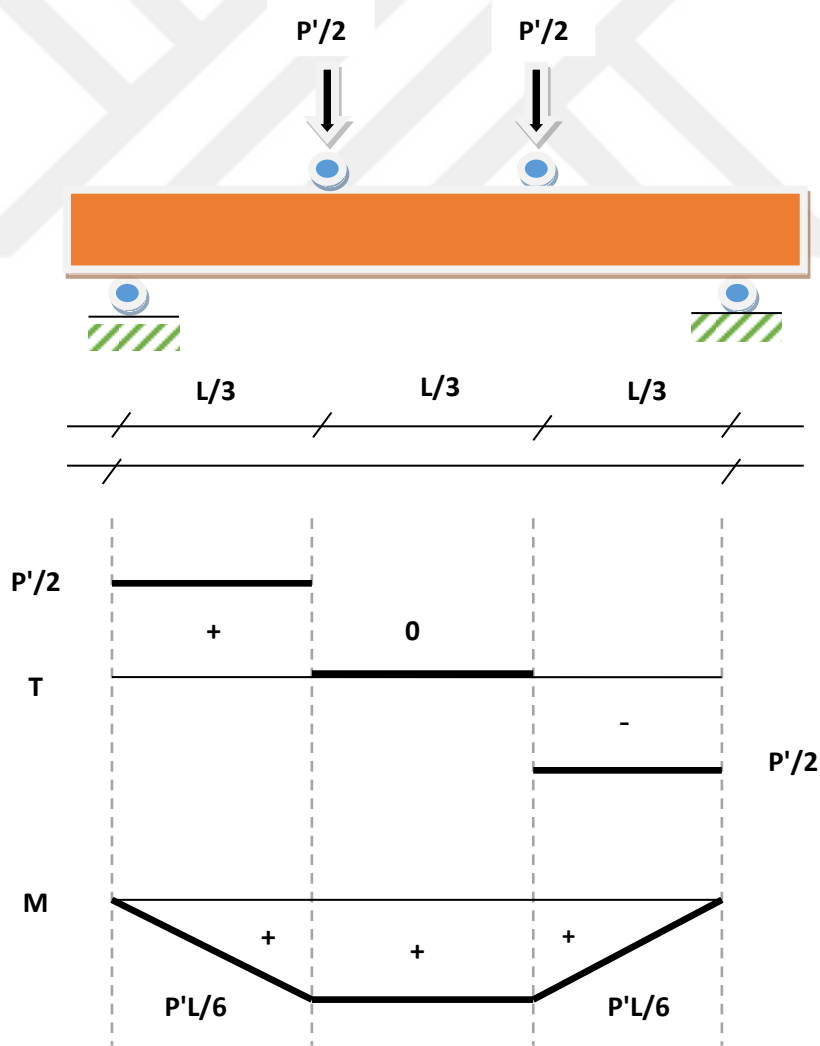
a)



b)

Şekil 3.12: Eğilmede çekme dayanımı deneyi

Şekil 3.12'de görüldüğü gibi, numuneler test cihazına altta bulunan iki mesnet üzerine kenarlardan 50 mm ve iki mesnet arası 300 mm ve numunenin üst tarafında ise etki eden iki yük arası 100 mm olacak şekilde yerleştirilmiştir. Açıklık ortasındaki sehimin ölçülebilmesi için bir çerçeve aparatı numune üzerine mesnet hizalarından vida ile sabitlenmiştir. Sabitlenen bu çerçevenin iki yanında tam orta noktasına karşılıklı deplasman ölçer (LVDT) yerleştirilerek düzenek hazırlanmıştır. Deney, açıklık ortası sehim miktarı 2 mm olana kadar devam ettirilmiştir. Dört noktalı eğilme deneyinden elde edilen yük-sehim verileri data logger yardımı ile bilgisayara aktarılarak Excel CSV formatında kaydedilmiştir. Bu verilerin Excel programı kullanılarak yük-sehim eğrileri çizdirilmiştir. Bu eğriler yardımı ile maksimum yük ve bu yüke karşılık gelen sehim değerleri belirlenmiştir. Bu veriler doğrultusunda Denklem 3.2 yardımıyla, numunelerin eğilmede çekme dayanımı Şekil 3.13'de verilen moment diyagramındaki maksimum moment değeri de kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.13: Dört Noktalı eğilmeye maruz kirişin kesme kuvvet ve moment diyagram

Kesme kaması zımbalama donatı takviyeli döşeme-kolon elemanlarında ise donatılara ek olarak kesme kaması ilave donatıları kullanılmıştır. Bu kesme kaması; 3×25×525 mm boyutlarında çelikten bir lama üzerine 25 mm çapında dairesel başlıklı Ø10 çapında donatılar 75 mm ara ile kaynak edilerek montajı sağlanmıştır. Kesme kaması donatıları lifsiz KYB karışımlarından üretilen numunelerde kolon yüzlerine dik olacak şekilde her yönde ikişer adet olmak üzere toplam sekiz adet kullanılmıştır (Şekil 3.14 (d)).

Çizelge 3.6: Büyük ölçekli numunelere ait geometrik boyutlar ve zımbalama tedbiri

Numune Adı	Döşeme Boyutları (L1 x L2 x h) (mm3)	Kolon Boyutları (L1 x L2 x h) (mm3)	Zımbalama Önlemi	
KONTROL	1300x1300x120	Alt: 200x200x120 Üst: 200x200x300	-	
KAMA	1300x1300x120	Alt: 200x200x120 Üst: 200x200x300	Kesme Kaması	
0.75MAK	1300x1300x120	Alt: 200x200x120 Üst: 200x200x300	Makro Çelik Lif	Tekli Lif
0.50MAK_0.25MİK6	1300x1300x120	Alt: 200x200x120 Üst: 200x200x300	Makro Çelik ile 6 mm Mikro Çelik Lif	İkili Hibrit Lif
0.50MAK_0.25MİK13	1300x1300x120	Alt: 200x200x120 Üst: 200x200x300	Makro Çelik ile 13 mm Mikro Çelik Lif	İkili Hibrit Lif
0.50MAK_0.25PP	1300x1300x120	Alt: 200x200x120 Üst: 200x200x300	Makro Çelik ile PP Lif	İkili Hibrit Lif
0.50MAK_0.125MİK6_0.125MİK13	1300x1300x120	Alt: 200x200x120 Üst: 200x200x300	Makro Çelik ile 6 ve 13 mm Mikro Çelik Lif	Üçlü Hibrit Lif
0.50MAK_0.125MİK13_0.125PP	1300x1300x120	Alt: 200x200x120 Üst: 200x200x300	Makro Çelik ile 13 mm Mikro Çelik ve PP lif	Üçlü Hibrit Lif



a)



b)



c)



d)



e)



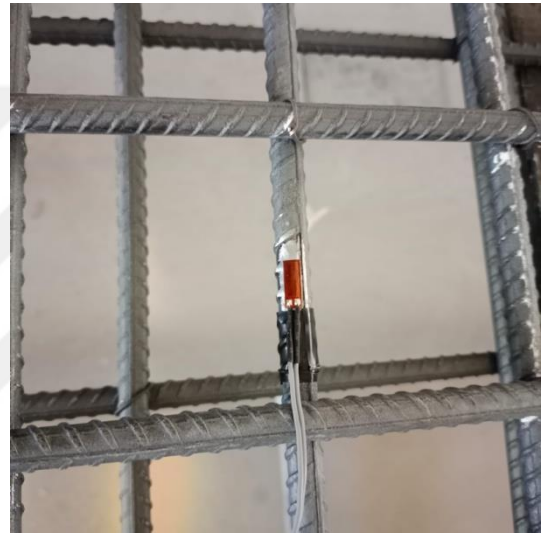
f)

Şekil 3.15: Üretilen döşeme-kolon birleşim elemanlarının donatı detaylandırması; (a) donatıların hazırlanması, (b) Döşeme donatısı detaylandırması, (c) kesme kamasız numune donatı detayı, (d) kesme kaması donatısı (e) kesme kaması donatılı numune donatı detayı, (f) kesme kamalı numune donatı detayı

Döşeme-kolon birleşim elemanlarının test aşamalarında liffsiz kontrol ve lifli KYB karışımlardan oluşan numunelerin çekme bölgesindeki donatılarında oluşan birim şekil değiştirmelerin tespit edilmesi amacıyla alt donatılara iki farklı yönde gerinim pulu montajı yapılmış ve böylece büyük ölçekli numunelerin zımbalama göçmesi sergileyip sergileyemediklerinin kontrolü mümkün hale gelmiştir. İlk olarak montajın yapılacağı donatının yüzeyi el frezesi yardımıyla düzeltilmiş gerinim pulu özel yapıştırıcı ile pürüzsüz yüzeye yapıştırılmış ve bir izole malzeme ile çevresi sarılmıştır (Şekil 3.16 (a ve b)). Kesme kamalı KYB karışımında ise çekme bölgesindekilere ek olarak kesme kamasında iki doğrultuda toplamda 4 adet gerinim pulu montajı yapılmıştır (Şekil 3.16 (c)).



a)



b)



c)

Şekil 3.16: Döşeme-kolon birleşim elemanları gerinim pulu detayları; (a) donatılara yüzey hazırlığının yapılması, (b) gerinim pulu montajı (c) kesme kaması gerinim montajı yüzey hazırlığı

Bu çalışma kapsamında tasarlanan kontrol, kesme kaması donatılı ve hacimce düşük oranda hibrit lifli KYB kullanarak büyük ölçekli döşeme-kolon birleşim elemanı numuneler İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Yapı Mekaniği laboratuvarında üretilmiştir. Tasarlanan tüm karışımların hazırlanmasında 350 litre kapasiteli beton mikseri kullanılmıştır. Karıştırma işleminde şu sıra takip edilmiştir: (i) İlk aşamada iri agrega (5-15 mm), ince agrega (0-5mm) ve varsa makro lifler (KMX 65/60) ve karışım suyunun 2/3'ü eklenerek 3 dakika boyunca karıştırılmıştır, (ii) İkinci aşamada ise bağlayıcı malzemeler ile birlikte homojen hale getirilmiş karışım suyunun 1/3'ü ve hiper akışkanlaştırıcı miksere ilave edilmiş ve karıştırma işlemi 20 dakika daha devam ettirilmiştir. İkinci aşamada içerisinde varsa mikro ve sentetik liflerin topaklanmasını önlemek amacıyla bu lifler yavaş yavaş karışıma ilave edilerek toplamda 23 dakika sonra karıştırma işlemi sonlandırılmıştır. Hazırlanan karışımlar KYB özelliğine sahip olduğundan betonun kalıba yerleştirilmesinde herhangi bir ekipman kullanmamıştır (Şekil 3.17).



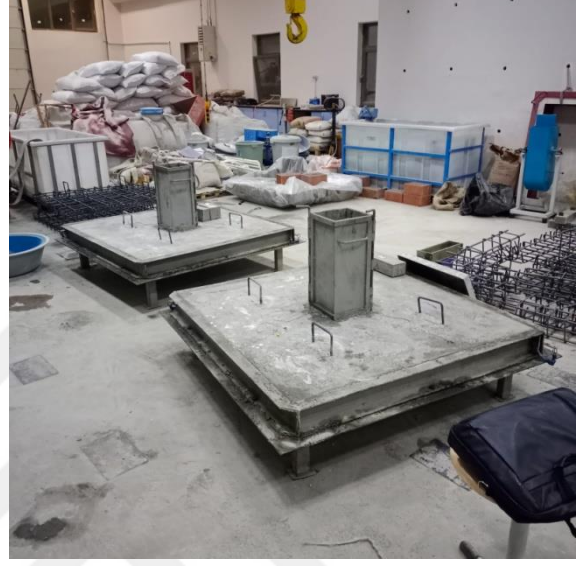
Şekil 3.17: Büyük ölçekli döşeme-kolon birleşim elemanları için beton dökümü.

Büyük ölçekli döşeme-kolon birleşim elemanları dökümü iki aşamada tamamlanmıştır. İlk aşamada döşeme plağı ile kolonun alt kısmı, ikinci aşamada ise kolonun üst kısmı dökülerek tasarlanan karışımların üretimi tamamlanmıştır. Büyük ölçekli numuneler ile birlikte tüm KYB karışımlarına ait mekanik özelliklerin belirlenmesi

amacıyla aynı kür şartlarında bekletilen küçük ölçekli numuneler de üretilmiştir. Üretilen tüm numuneler belirli aralıklarla ıslatılıp nemin korunması için daha sonrasında sürekli plastik naylon örtü altında saklanarak 56 gün boyunca kür edilmiş ve teste hazır hale getirilmiştir. (Şekil 3.18.(d)).



a)



b)



c)



d)

Şekil 3.18: Büyük ölçekli döşeme-kolon birleşim elemanları numuneleri (a) Döşemesi ve alt kolonu dökülen döşeme-kolon birleşim elemanı, (b), üst kolon beton dökümü (c), dökümü tamamlanan döşeme-kolon birleşim elemanları (d), Numunelerin kür edilmesi

3.5.2. Büyük ölçekli numunelerin test düzeneği

Şekil 3.19'da görüldüğü gibi, üretilen büyük ölçekli döşeme-kolon birleşim elemanlarının deneylerinin gerçekleştirilmesi için 600 kN yükleme kapasitesine sahip test cihazı kullanılmıştır. Numuneler IPE 200 çelik profillerden üretilen eleman üzerine mesnetlenmiş ve numunelerin test esnasında dönmesini engellemek için (ankastre mesnet) L profilden üretilen tabla IPE 200 çelik profil elemana vidalanarak sabitlenmiştir. Test için hazırlanan numuneler düzenekte yükün uygulandığı aktüatöre merkezlenerek yerleştirilmiştir. Aktüatör ile numune arasına test esnasında yükün kolon eleman üzerine düzgün bir şekilde yayılmasını sağlamak amacıyla küresel başlıklı mafsalsal yerleştirilmiştir (Şekil 3.19). Büyük ölçekli döşeme-kolon birleşim elemanlarının zımbalama testi, yükün kolon elemandan döşeme elemana gelecek şekilde ve 0.2 mm/dakika yükleme hızında deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.19: Büyük ölçekli test düzeneği

Tüm testlerde döşeme elemanın açıklık ortası deplasmanını ve kolon elemanın döşemeye göre yer değiştirmesini ölçmek amacıyla 5 adet LVDT kullanılmıştır. Ayrıca donatıların akma dayanımına ulaşp ulaşmadığını tespit etmek amacıyla donatılardaki birim şekil değiştirmeleri ölçmek için lifsiz kontrol ve lif içeren karışımlardan oluşan numunelerde 2 adet, kesme kaması donatılı numunelerde ise 4 adet 120 Ω dirence sahip strain gauge'ler (gerinim pulları) zımbalama bölgesi içerisinde kalan donatılar üzerine yapıştırılmıştır. Deneyler esnasında numunelere uygulanan düşey yük ve karşılık gelen deplasman değerleri ile donatılarda oluşan birim şekil değiştirme değerleri data logger (veri toplayıcı) cihaz vasıtasıyla bilgisayar ortamına aktarılarak kaydedilmiştir. Data logger aracılığıyla bilgisayara aktarılan tüm veriler MS Excel programında düzenlenmiştir.

Şekil 3.20' den görüldüğü üzere, zımbalama testleri tamamlanan büyük ölçekli döşeme-kolon birleşim elemanlarının çatlak karakterizasyonunun belirlenmesi amacıyla tüm numunelerin altındaki bölgede oluşan çatlak modelleri mavi renkli tahta kalemi ile çizilerek belirgin hale getirilmiştir.



Şekil 3.20: Numunelerin çatlak modellerinin oluşturulması

4. DENEYSEL BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Hibrit Lif Takviyeli KYB Karışımların Taze Beton Özellikleri

Bu çalışma kapsamında, tasarlanan lifsiz kontrol ve düşük oranda hibrit lifli KYB karışımlarının işlenebilirlik testlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çökme-yayılma değerleri 715-735 mm aralığında, T500 değerleri 5.7-7.9 sn aralığında, J-halkası yükseklik farkı değerleri 3-19.3 mm aralığında ve V-hunisi değerleri ise 16.8-31.6 sn değerleri arasında değişkenlik göstermiştir.

Çizelge 4. 1 : Karışımlara ait işlenebilirlik test sonuçları

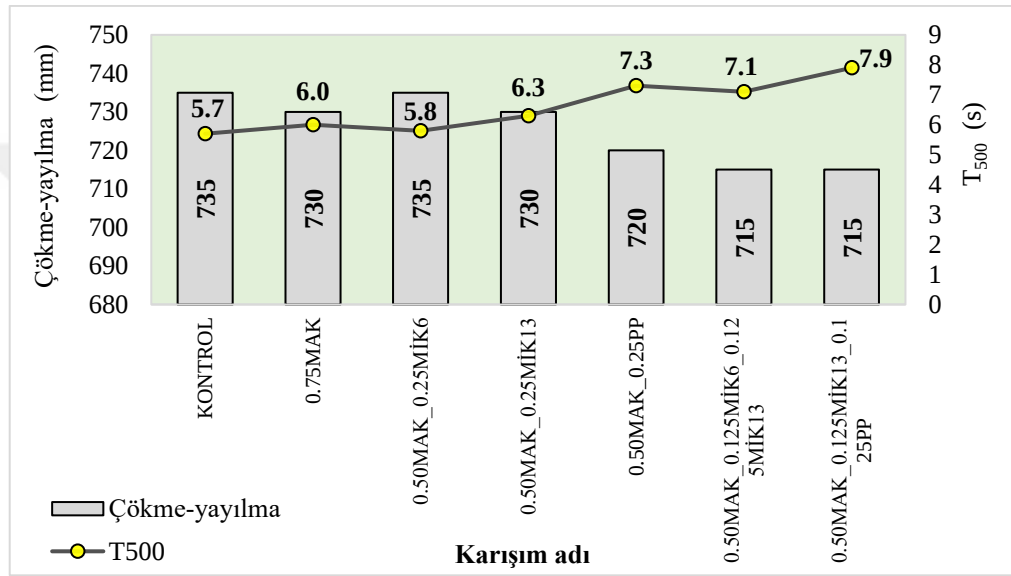
Karışımlar	Çökme-yayılma		J-ring		V-hunisi
	D _ç (mm)	T ₅₀₀ (sn)	D _J (mm)	ΔH (H ₂ -H ₁) (mm)	V _f (sn)
KONTROL	735	5.7	735	1.5	16.8
0.75MAK	730	6.0	720	11.3	18.3
0.50MAK_0.25MİK6	735	5.8	725	3.0	18.6
0.50MAK_0.25MİK13	730	6.3	730	10.0	21.1
0.50MAK_0.25PP	720	7.3	685	19.3	21.7
0.50MAK_0.125MİK6_0.125MİK13	715	7.1	685	12.3	31.6
0.50MAK_0.125MİK13_0.125PP	715	7.9	720	12.3	21.1

4.1.1. Çökme-yayılma ve T500 deneyi

Hazırlanan tüm KYB karışımlarının doldurma kabiliyeti ve viskozitesini belirlemek amacıyla yapılan çökme-yayılma ve T500 deneylerine ait sonuçlar Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Bu bulgulara göre, lifsiz kontrol ve lifli KYB karışımlarına ait çökme-yayılma değerleri EFNARC (2005) komitesi tarafından önerilen sınır değerleri arasında olup SF2 (660-750 mm) sınıfını sağlamaktadır. Ayrıca en yüksek çökme-yayılma değeri 735 mm ile lifsiz kontrol ve 0.50MAK_0.25MİK6 karışımlarından elde edilirken, en düşük T500 değeri 5.7 sn ile lifsiz kontrol ve 5.8 sn ile 0.50MAK_0.25MİK6 karışımlarında görülmüştür. Dolayısıyla, 6 mm boyundaki mikro çelik lifin karışımların akıcılığı ve stabilitesi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

KYB karışımlarına makro ve mikro çelik lif ile PP lif ilave edilmesi, lifsiz KYB karışımına kıyasla çökme-yayılma değerlerinde azalmaya, T500 değerlerinde ise artışa sebep olmuştur. Ayrıca karışımlara 13 mm boyundaki mikro çelik lif ve/veya PP lifi

eklendiğinde KYB karışımların akıcılıklarını olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. Bunun sebebi 13 mm boyundaki mikro çelik lifin narinliğinin yüksek olması ve PP lifinin özgül ağırlığının düşük olmasından dolayı karışıma hacimce daha fazla ilave edilmelerine dayandırılabilir. Bazı çalışmalarda da karışımlara narinliği yüksek olan mikro çelik lif ve birim hacim ağırlığı düşük olan sentetik lif eklenmesinin karışımların çökme yayılma ve T500 sürelerini olumsuz etkilediği bulunmuştur (Türk ve diğ, 2021; Türk ve diğ, 2019; Silva ve diğ, 2017; Iqbal ve diğ, 2015; Khaloo ve diğ, 2014; Mohammadi ve diğ, 2008).

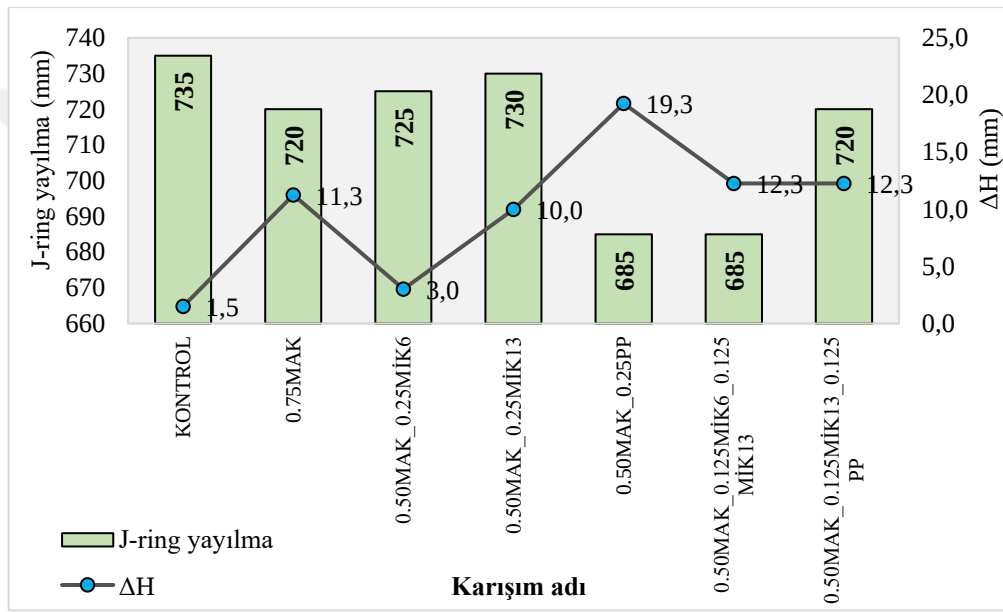


Şekil 4.1: Karışımların çökme-yayılma ve T500 değerleri

4.1.2. J-halkası deneyi

Lifsiz KYB kontrol karışımı ile lifli KYB karışımlarının donatıların aralarından ve dar kesitlerden geçiş kabiliyetlerini ölçmek amacıyla yapılan J-halkası deneyine ait bulgular Çizelge 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir. 735 mm ile en yüksek J-halkası yayılma değeri ve 1.5 mm ile en düşük ΔH değeri lifsiz kontrol karışımından elde edilmiştir. Karışımlara makro çelik lif ile mikro çelik lif ve/veya sentetik lif ilave edilerek tekli, ikili, üçlü lif kombinasyonlarına sahip karışımların J-halkası yayılma çaplarında azalma ΔH değerinde ise artış gözlemlenmiştir. Örneğin 0.5MAK_0.25PP ikili hibrit lif kombinasyonuna sahip karışımın ΔH değeri 19.3 mm ile en yüksek çıkarken, bunu 12.3 mm ile 0.5MAK_0.125MİK6_0.125MİK13 ve 0.5MAK_0.125MİK13_0.125PP karışımları takip etmiştir. Buradan özellikle karışıma PP sentetik lifinin eklenmesinin karışımın engeller arasından geçiş kabiliyeti üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu

sonucuna varılabilir. Ayrıca, özellikle 13 mm boyundaki mikro çelik lifin makro çelik lif ile etkileşime geçmesinin yanında diğer katı bileşenler ile sürtünme direncini artırarak topaklanma oluşmasına ve engeller arasından geçiş kabiliyetinin azalmasına ve buna bağlı olarak yayılma değerlerinin düşük olmasına yol açtığı değerlendirilmektedir. Hibrit lif içeren çimento esaslı karışımların işlenebilirlikleriyle ilgili benzer sonuçlar bazı araştırmacılar (Hasan-Nattaj ve Nematzadeh, 2017; Ghanem ve Obeid, 2015; As'ad ve diğ, 2011) tarafından da bulunmuş olup özellikle mikro sentetik liflerin karışımların engeller arasından geçme yeteneğini azalttığı sonucuna varmışlardır.



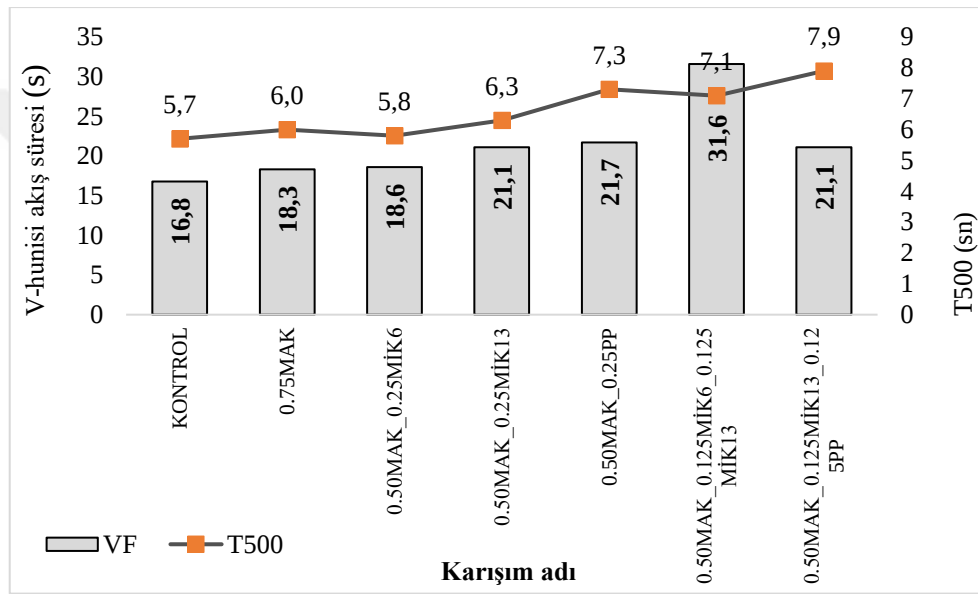
Şekil 4.2: J-halkası yayılma ve ΔH değerleri

4.1.3. V-hunisi deneyi

Hazırlanan tüm lifsiz KYB kontrol karışımı ile lifli KYB karışımlarının akış kabiliyeti ile viskozitesinin belirlenmesi amacıyla yapılan V-hunisi deneyine ait her bir karışım için V-hunisi akış süresi (VF) değerleri Çizelge 4.1 ve Şekil 4.3' te sunulmuştur.

Elde edilen bulgular esas alındığında, lifsiz kontrol ve lifli KYB karışımlarına ait V-hunisi akış süresi değerleri 0.5MAK_0.125MİK13_0.125MİK6 karışımına ait akış süresi dışında EFNARC (2005) komitesi tarafından önerilen sınır değerleri arasında olup VF2 (9-25 s) sınıfını sağlamaktadır. Ayrıca en düşük V-hunisi akış süresi değeri 16.8 s ile lifsiz kontrol ve bu karışımı takiben 18.3s ile 0.75MAK karışımlarından elde edilirken, Şekil 4.3' ten görülebileceği gibi VF değerleri ile T500 değerlerinin yaklaşık aynı eğilimde oldukları

gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, KYB karışımlarına makro ve mikro çelik lif ile PP lif ilave edilmesi, lifsiz KYB karışımına kıyasla V-hunisi akış süresi değerleri ile T500 değerlerinde artışa sebep olduğu görülürken, mikro lif tipinin genelde V-hunisi akış süresi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı gözlemlenmiştir. Ancak karışımlara 13 mm boyundaki mikro çelik lif ve/veya PP lifi eklendiğinde KYB karışımların akıcılıklarının daha fazla olumsuz etkilendiği görülmüştür. Bunun sebebi de 13 mm boyundaki mikro çelik lifin narinliğinin yüksek olması ve PP lifinin özgül ağırlığının düşük olmasından dolayı karışıma hacimce daha fazla ilave edilmeleri olarak gösterilebilir.



Şekil 4.3: V-hunisi akış süresi değerleri

Bütün bunlara ilaveten, tüm lifli KYB karışımları Kontrol KYB karışıma kıyasla VF değerleri daha yüksek çıkmıştır. Bu durum, 13 mm tipindeki mikro çelik lifin makro çelik lif ile huninin alt kapağından geçerken lif kümelenmesine sebep olmasına dayandırılabilir.

4.2. Hibrit Lif Takviyeli KYB Karışımların Sertleşmiş Beton Özellikleri

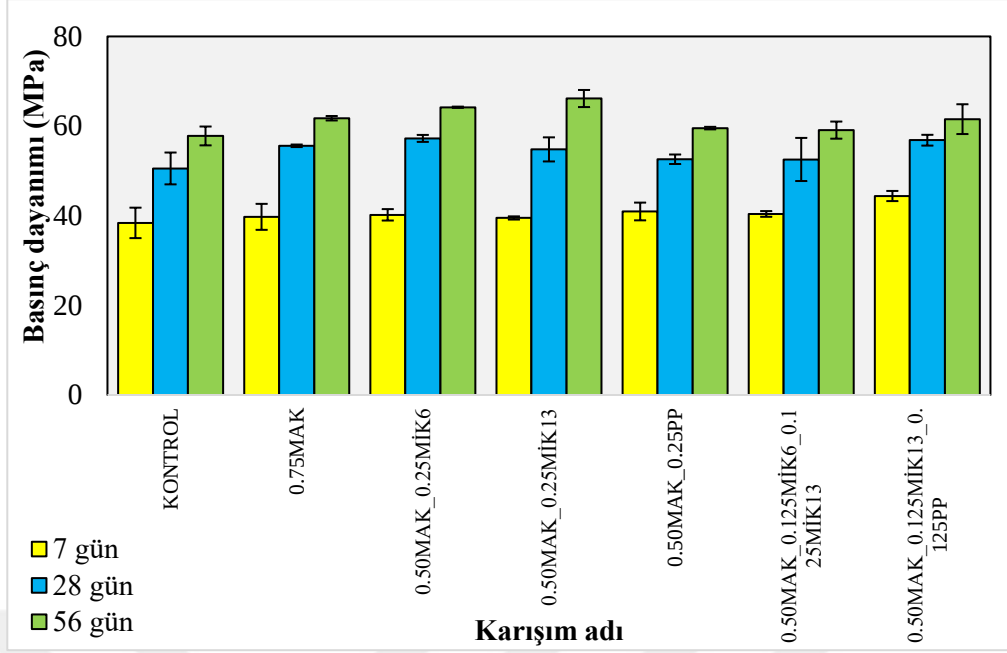
Bu çalışma kapsamında, tasarlanan lifsiz kontrol ve düşük oranda ve farklı tip mikro lif içeren hibrit lifli KYB karışımlarından hazırlanan numunelere ait sertleşmiş beton testlerinden elde edilen tüm bulgular Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4. 2: Sertleşmiş beton numunelerine ait test sonuçları

Karışımlar	Basınç dayanımı (MPa)			Yarmada çekme dayanımı (MPa)			Eğilmede çekme dayanımı (MPa)		
	7 gün	28 gün	56 gün	7 gün	28 gün	56 gün	7 gün	28 gün	56 gün
KONTROL	38.4	50.6	57.8	3.1	4.5	4.6	6.6	6.8	7.1
0.75MAK	39.8	55.6	61.8	5.2	6.4	7.4	11.0	12.6	12.8
0.50MAK_0.25MİK6	40.2	57.3	64.2	4.7	6.6	7.1	11.1	13.5	16.2
0.50MAK_0.25MİK13	39.5	54.8	66.2	5.5	6.4	7.0	11.4	13.6	17.1
0.50MAK_0.25PP	41.0	52.6	59.6	4.8	5.8	6.3	9.2	11.3	12.5
0.50MAK_0.125MİK13_0.125MİK6	40.4	52.6	59.1	5.1	5.9	6.3	10.5	13.4	15.9
0.50MAK_0.125MİK13_0.125PP	44.4	56.9	61.6	5.4	6.6	7.8	12.0	12.4	14.0

4.2.1. Basınç dayanımı

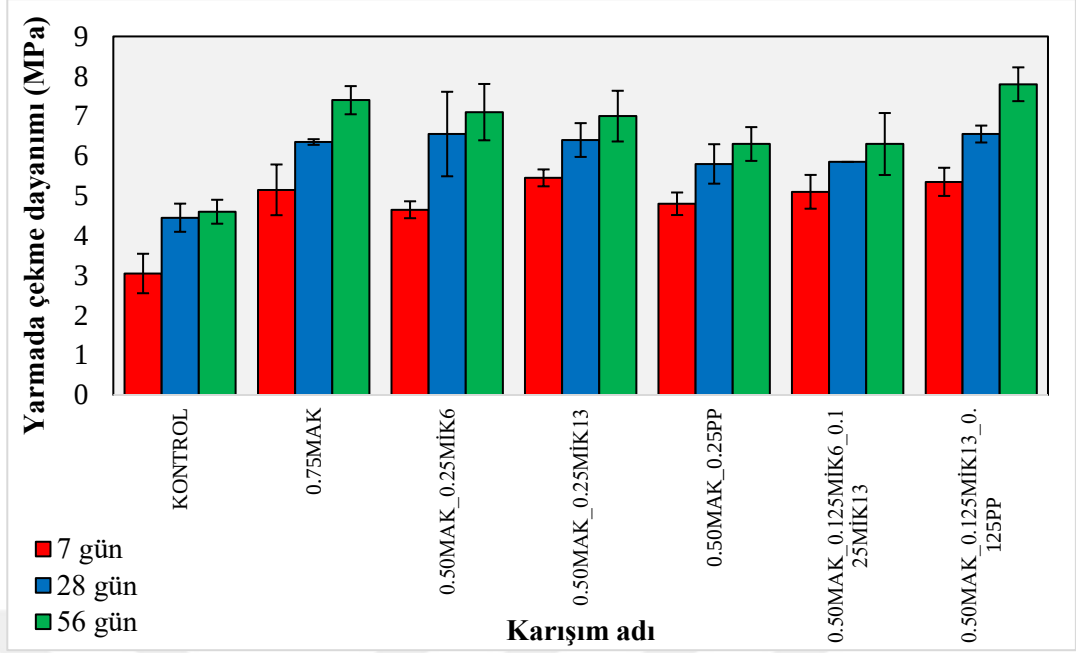
Tüm lifsiz kontrol KYB ve lifli KYB karışımlarına ait basınç dayanımı değerleri Çizelge 4.2 ve Şekil 4.4’de sunulmuştur. En düşük 56 günlük basınç dayanımı 58.8 MPa ile lifsiz kontrol numunesinde elde edilirken, en yüksek 56 günlük basınç dayanımı ise kontrol numunesine kıyasla %12.58 artış ile 0.50MAK_0.25MİK13 numunesinde görülmüştür. 0.50MAK_0.25MİK6 numunesi en yüksek basınç dayanımına sahip ikinci karışım olarak tespit edilmiştir. 28 günlük en yüksek basınç dayanımı değeri kontrol karışımına kıyasla %12.23 artış ile ikili hibrit lif içeren 0.50MAK_0.25MİK6 karışımından elde edilmiştir. Karışımlara ilave edilen liflerin basınç dayanım değerlerini olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Ayrıca mikro lif tipi esas alındığında 6 mm ve 13 mm uzunluğundaki mikro çelik liflerin karışıma ilave edilmesi PP life kıyasla ikili hibrit lif içeren numunelerde daha fazla basınç değerinde artışa sebep olduğu görülmüştür. Diğer taraftan 13 mm uzunluğundaki mikro çelik lif basınç dayanımı üzerinde en olumlu etkiye sahip olmuştur. Bu durum söz konusu lifin daha yüksek narinliğe sebep olmasından dolayı mikro çatlaklarının köprülenmesinde daha etkin olduğuna dayandırılabilir. Benzer sonuçlara başka çalışmalarda da rastlanılmaktadır (Türk ve diğ, 2023). Bütün bunlara ilaveten tüm lifli KYB karışımları yüksek dayanımlı beton sınıfına girmektedir.



Şekil 4.4: Basınç dayanımı değerleri

4.2.2. Yarmada çekme dayanımı

Tüm lifsiz kontrol KYB ve lifli KYB karışımlarına ait yarmada çekme değerleri Çizelge 4.2 ve Şekil 4.5’de sunulmuştur. 56 gün kür edilen numunelerde en düşük yarmada çekme dayanımı değeri 4.6 MPa ile kontrol KYB karışımına ait numunede bulunurken, en yüksek yarmada çekme değeri ise kontrol numunesine kıyasla %69.56 artış ile üçlü hibrit lif içeren 0.50MAK_0.125MİK13_0.125PP karışımından elde edilmiştir. En yüksek ikinci yarmada çekme değeri ise kontrol numunesine kıyasla %54.34 artışa sahip olan ikili hibrit lif içeren 0.50MAK_0.25MİK6 numunesinde görülmüştür. Bunun yanında 28 günlük en yüksek yarmada çekme dayanım değeri ise kontrol numunesine kıyasla %46.66 artış gösteren ikili hibrit lifli 0.50MAK_0.25MİK6 ve üçlü hibrit lifli 0.50MAK_0.125MİK13_0.125PP karışımlarında bulunmuştur. Bütün bunlara ilaveten, mikro tip lifi dikkate alındığında ikili hibrit lif kombinasyonuna sahip karışımlarda 6 mm ve 13 mm boyundaki mikro çelik liflerin yarmada çekme dayanımı üzerinde PP ye kıyasla daha olumlu bir etkiye sahip olduğu görülmüşürken, üçlü hibrit lif kombinasyonuna sahip karışımlarda PP lifinin 6 mm mikro çelik life göre yarmada çekme dayanımında daha fazla artışa sebep olduğu tespit edilmiştir.

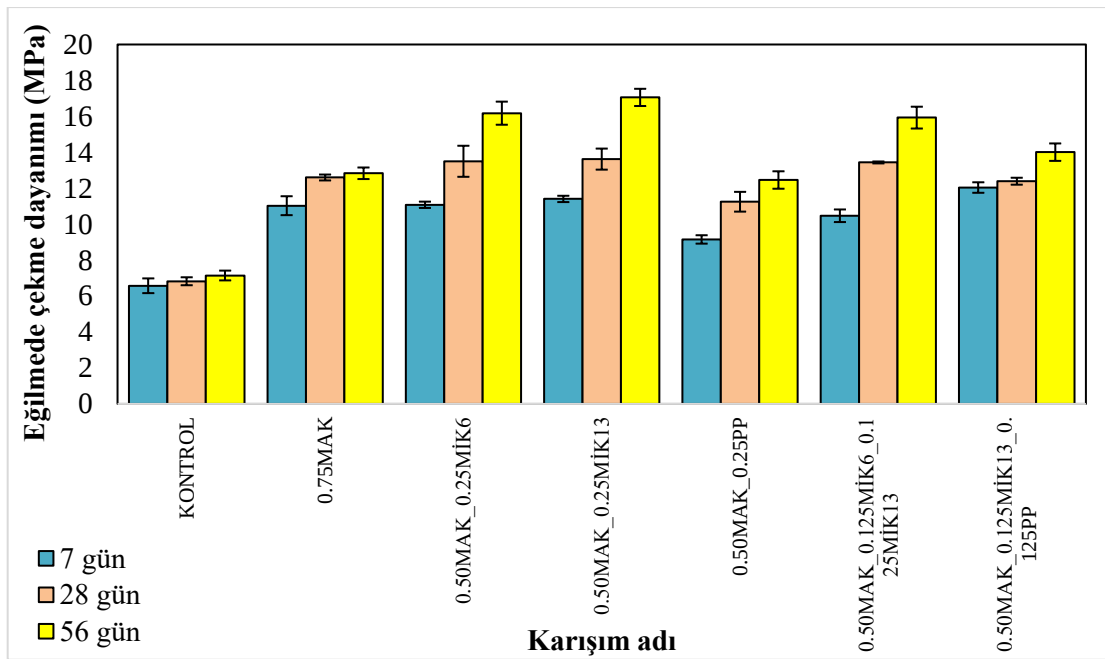


Şekil 4. 5: Yarmada çekme dayanımı değerleri

4.2.3. Eğilmede çekme dayanımı

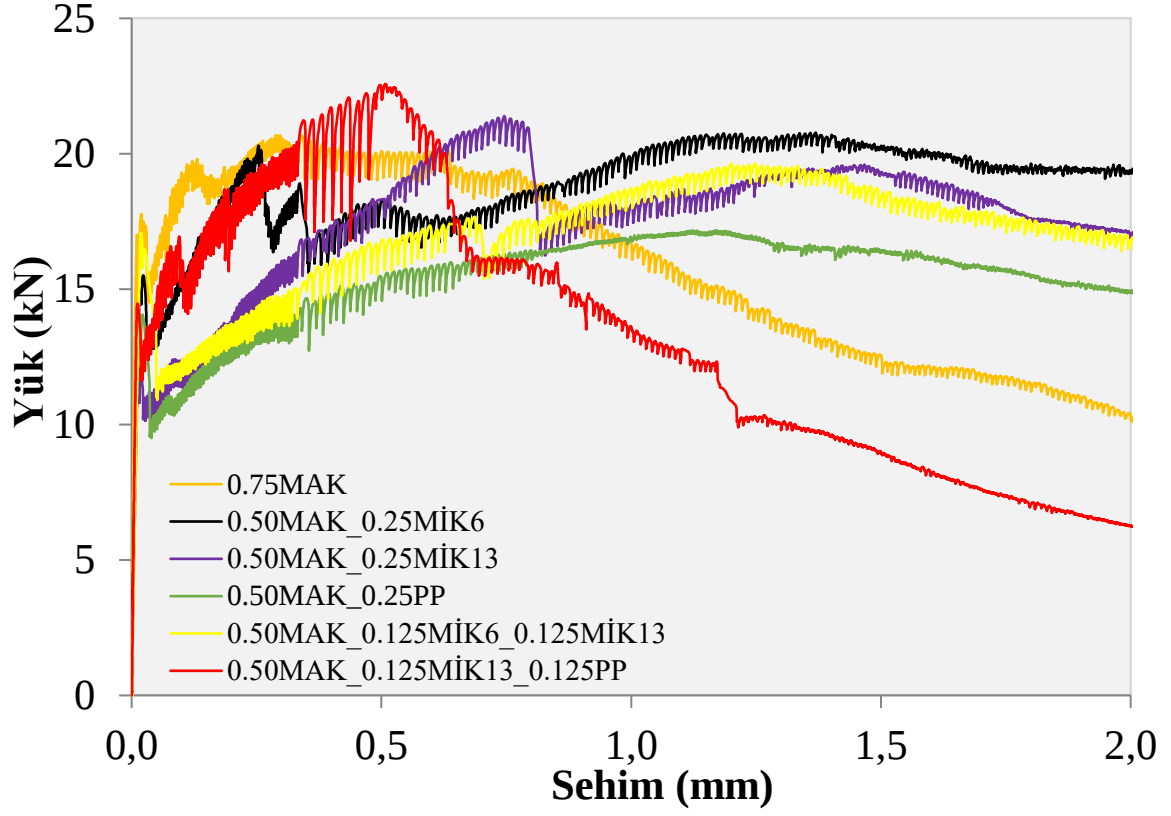
Tüm lifsiz kontrol KYB ve lifli KYB karışımlarına ait numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerleri Çizelge 4.2 ve Şekil 4.6'da sunulmuştur. Lifsiz kontrol karışımlara ait numunelerin bütün kür günleri için tüm numuneler içinde en düşük eğilmede çekme dayanımı değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Karışımlara ilave edilen liflerin eğilmede çekme dayanımlarını olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Tüm numuneler içinde en yüksek eğilmede çekme dayanımı değerleri 7, 28 ve 56 günlük kür süreleri için sırasıyla kontrol numunesine kıyasla %72.72, %100 ve %140.84 artış gösteren 0.50MAK_0.25MİK13 numunesinde elde edilmiştir. Bu numuneyi 7, 28 ve 56 günlük kür süreleri için sırasıyla kontrol numunesine kıyasla %68.18, %98.52 ve %128.16 artış gösteren 0.50MAK_0.25MİK6 numunesi izlemektedir. Tüm lif kombinasyonları dikkate alındığında, en düşük eğilmede çekme dayanımı 7, 28 ve 56 gün kür süreleri için sırasıyla, 9.2, 11.3 ve 12.5 MPa olarak 0.50MAK_0.25PP numunesinde bulunmuştur. 0.50MAK_0.25PP numunesi hariç tüm hibrit lif kombinasyonuna sahip numunelerin 56 günlük eğilmede çekme dayanımı değerleri sadece makro çelik lif içeren tekli 0.75MAK numunesinin eğilmede çekme dayanım değerlerinden daha yüksek olduğu görülürken, 7 ve 28 günlük eğilmede çekme dayanımı değerleri arasında kayda değer bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Buradan nihai dayanımın hibrit lif kombinasyonuna sahip karışımlara ait numunelerin eğilmede çekme dayanımı üzerinde belirgin düzeyde olumlu bir etkiye sahip

olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum mineral katkıların zamanla gösterdiği puzolanik etki ile matris dayanımının artmasıyla birlikte özellikle mikro liflerin çatlakları köprülemede daha etkili olmasına dayandırılabilir (Kina ve diğ, 2021). Ayrıca ikili ve üçlü hibrit lif kombinasyonlarına sahip karışımlarda 13 mm mikro çelik lifinin 6 mm mikro çelik life göre eğilmede çekme dayanımı üzerinde daha fazla artışa sebep olduğu görülmüştür. Bütün bunlara ilaveten, karışımlara mikro çelik lif ilave edilmesinin PP'ye kıyasla, numunelerin eğilmede çekme dayanımı üzerinde daha pozitif bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

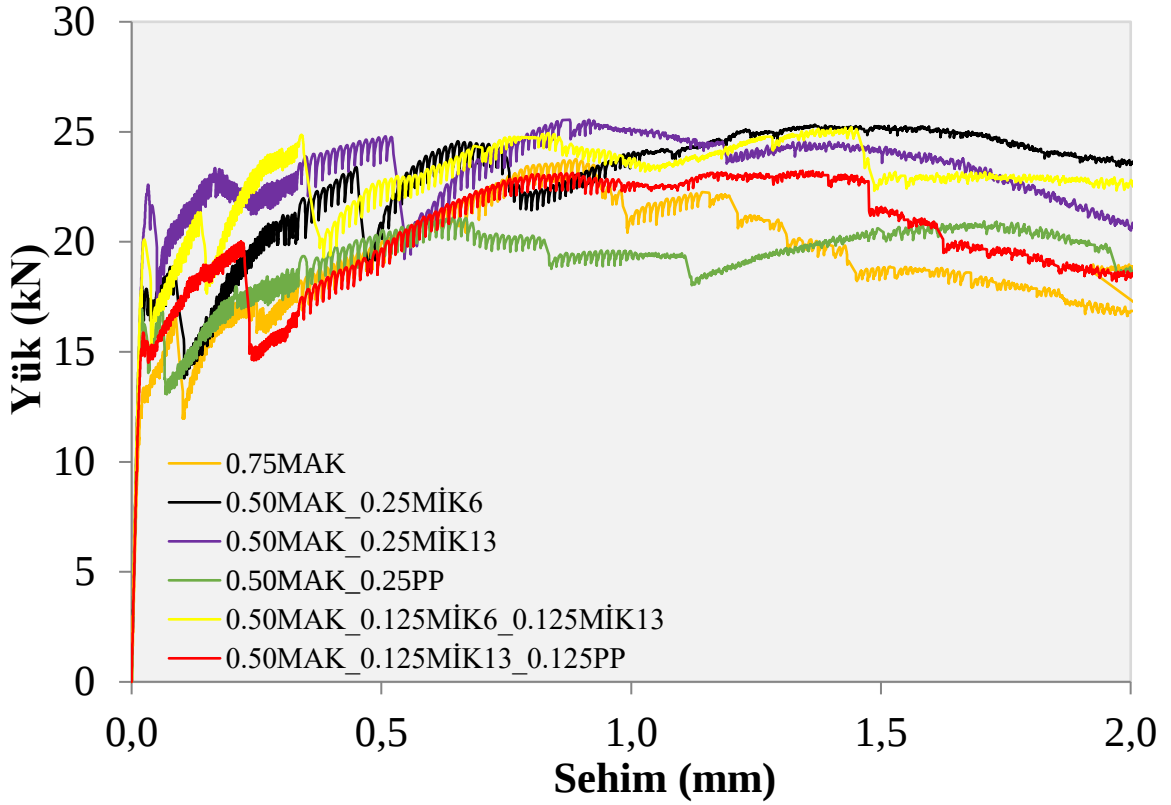


Şekil 4. 6: Eğilmede çekme dayanım değerleri

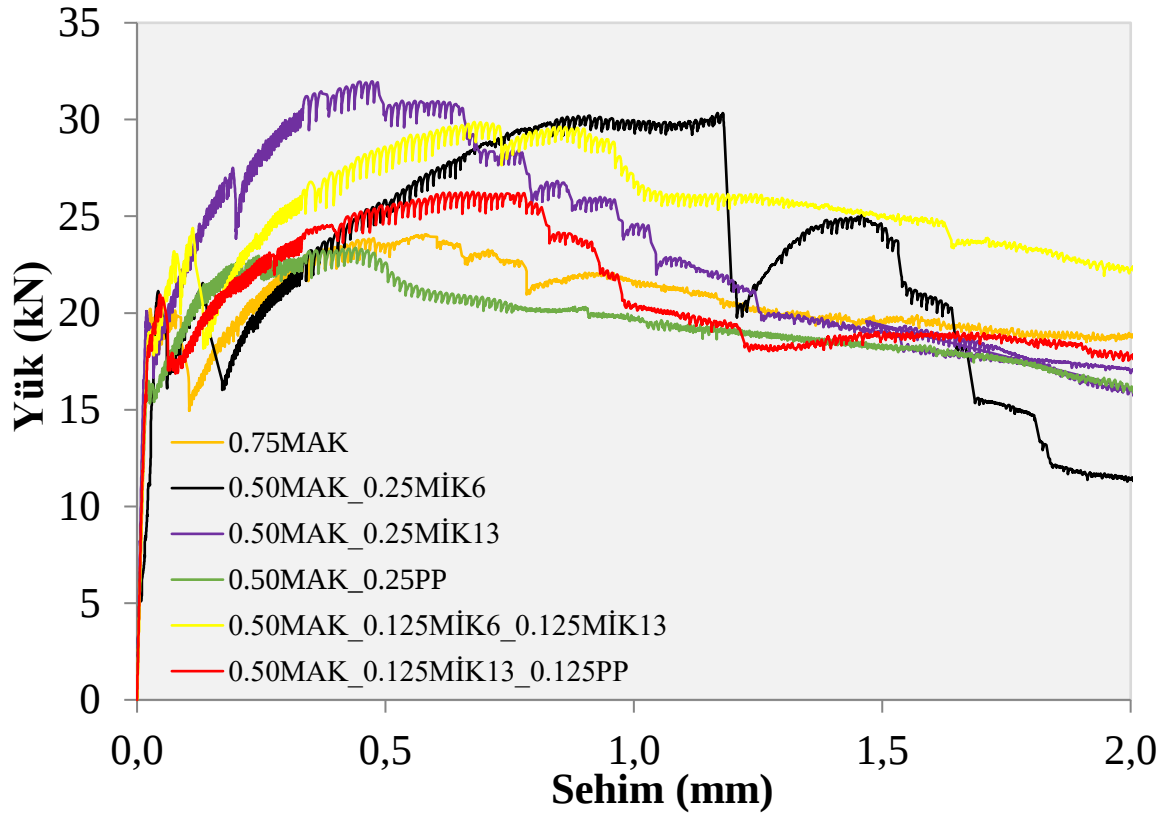
Tüm lifli karışımlara ait prizmatik numunelerin dört noktalı eğilme testinden elde edilen yük-sehim eğrileri 7, 28, 56 günlük kür süreleri için sırasıyla Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da verilmiştir. Yük-sehim eğrilerinin yorumlanmasında Kim ve diğ. (2008) tarafından çimento esaslı lif takviyeli karışımlar için önerilen yük-sehim eğrilerinden faydalanılmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4. 7 : 7 günlük prizmatik kiriş numunelerin yük-sehim eğrileri

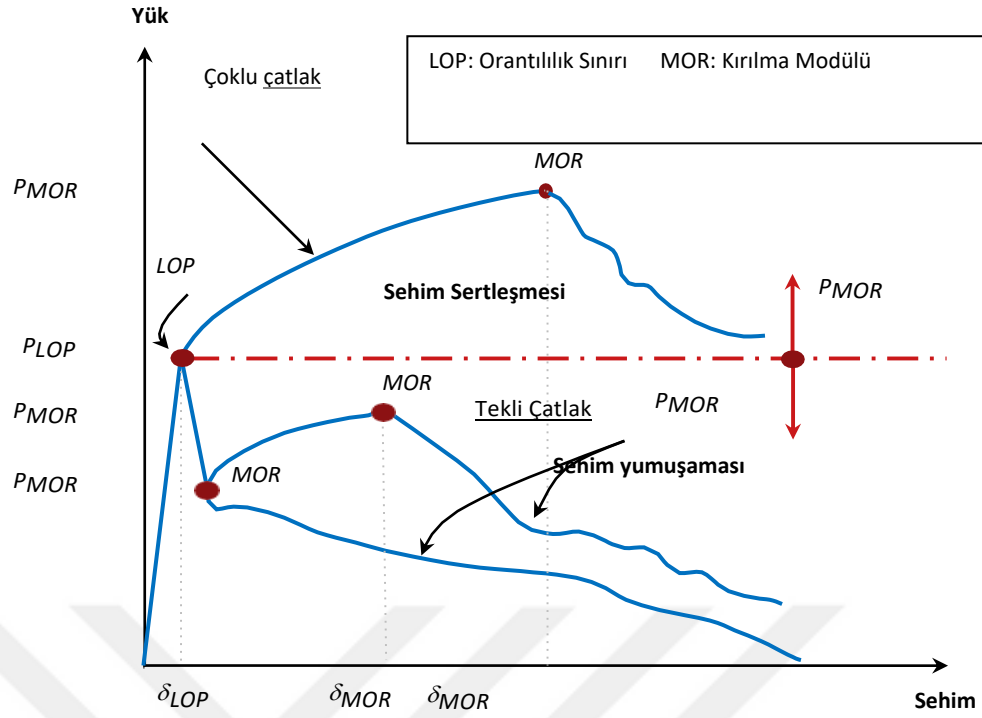


Şekil 4. 8 : 28 günlük prizmatik kiriş numunelerin yük-sehim eğrileri



Şekil 4. 9 : 56 günlük prizmatik kiriş numunelerin yük-sehim eğrileri

Şekil 4.10’da görüldüğü gibi, çimento esaslı lif takviyeli karışımlar için eğilme davranışı, sehim-sertleşmesi ve sehim-yumuşaması şeklinde iki bölgede incelenmektedir. Orantılılık sınırı (LOP) değeri ise eğrinin lineerliğinin bozulmaya başladığı ve ilk çatlak oluştuğu nokta olarak nitelendirilmiştir. Sehim sertleşmesi davranışında, grafik ilk çatlak oluşumundan sonra LOP değerinin üzerinde seyrederken, sehim yumuşaması durumunda ise LOP değerinin altında seyretmektedir. Sehim sertleşmesi durumunda ilk çatlak noktasından sonra yük taşıma kapasitesinde artış meydana gelirken, sehim yumuşaması durumunda yük taşıma kapasitesinde azalış meydana gelmektedir. LOP noktasından sonra sehim sertleşmesi veya yumuşamasının oluşmaya başladığı yerin tepe noktası ise kırılma modülü (MOR) olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 4. 10 : Tipik bir lifli beton için yük-sehim eğrisi (Kim ve diğ, 2008)

Tüm lifli KYB karışımlarına ait 7, 28 ve 56 günlük numunelerin yük-sehim grafikleri incelendiğinde ilk tepe yük öncesinde herhangi bir çatlak oluşmamış ve hemen hemen lineer bir seyir izlemiştir. Aynı zamanda, tüm kür günleri için numunelerin her birinin maksimum yük taşıma kapasitelerinin ilk tepe noktasından yüksek olduğu görülmüştür. Böylece tüm numunelerin sehim sertleşmesi davranışı sergilediği görülmektedir. Karışımlara mikro çelik lif ilave edilmesiyle 56 günlük numunelerin maksimum taşıma kapasitelerinin PP mikro lif içeren numunelere kıyasla belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. 0.50MAK_0.25MİK13 karışımına sahip numunenin, kontrol numunesine kıyasla %138.8 oranında bir artış göstererek, tüm lifli numuneler arasında en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip numune olmuştur. Böylece MİK13 mikro çelik lifinin numunelerin yük taşıma kapasitesi üzerinde en yüksek pozitif etkiye sahip olduğu ve bu lifi MİK6 mikro çelik lifinin takip ettiği bulunmuştur. Maksimum eğilme dayanımına (MOR) karşılık gelen sehim noktası değerleri dikkate alındığında en yüksek değer tüm kür günleri için 0.50MAK_0.25MİK6 numunesine ait olduğu görülmektedir. Bu bağlamda karışımlara ilave edilen mikro çelik liflerin, ikili kombinasyonlarda MİK6 mikro çelik lifinin süneklik kapasitesini arttırdığı görülmektedir. Ayrıca üçlü hibrit lif kombinasyonlarının 0.50MAK_0.25MİK6 haricindeki tüm kombinasyonlardan yüksek süneklik kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir.

4.3. Hibrit Lif Takviyeli Büyük Ölçekli Döşeme-Kolon Birleşim Elemanlarının

Zımbalama Performansı Üzerinde Düşük Lif Hacmi ve Mikro Lif Tipinin Etkisi

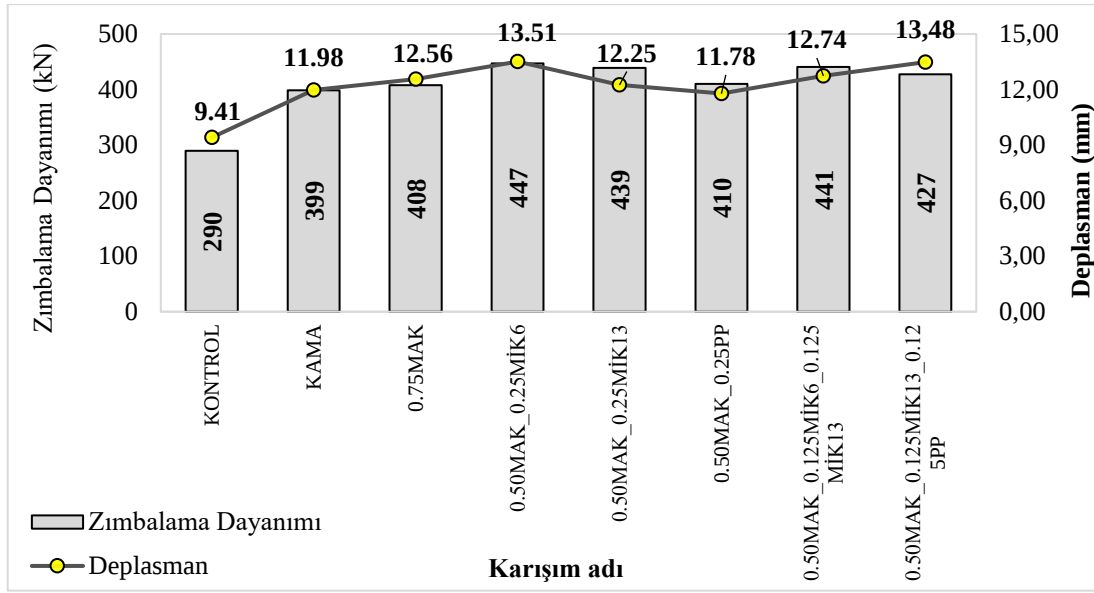
Bu tez çalışmasında, herhangi bir zımbalama önlemi içermeyen lifsiz KYB kontrol karışımı, sadece zımbalama kaması içeren lifsiz KYB karışımı, sadece makro çelik lif içeren (0.75MAK) tek lifli KYB karışımı, makro çelik ve 6mm mikro çelik lif içeren (0.50MAK_0.25MİK6) ikili hibrit lifli KYB karışımı, makro çelik ve 13mm mikro çelik lif içeren (0.50MAK_0.25MİK13) ikili hibrit lifli KYB karışımı, makro çelik ve PP sentetik lif içeren (0.50MAK_0.25PP) ikili hibrit lifli KYB karışımı, makro çelik ile 6 mm mikro çelik ve 13 mm mikro çelik içeren (0.50MAK_0.125MİK6_0.125MİK13) üçlü hibrit lifli KYB karışımı ve makro çelik ile 13 mm mikro çelik ve PP sentetik lif içeren (0.50MAK_0.125MİK13_PP) üçlü hibrit lifli KYB karışımı olmak üzere toplam 8 adet büyük ölçekli 1300 x 1300 x 120 mm ebatlarında döşeme-kolon elemanı üretilmiştir. Büyük ölçekli numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılıp toplam 56 günlük kür sonunda test edilmiştir. Test edilen numunelere ait ilk çatlak yükü, maksimum yük, göçme yükü ve bu yüklere karşılık gelen sehim değerleri ile tokluk değerleri aşağıda Çizelge 4.3'te sunulmuştur.

Çizelge 4. 3: Büyük ölçekli döşeme-kolon elemanlarına ait deney bulguları

Numune adı	İlk çatlak Noktası		Pik Noktası		Göçme noktası		Tokluk (N.mm)	Süneklik İndeksi
	P_{cr} (kN)	Δ_{cr} (mm)	P_p (kN)	Δ_p (mm)	P_f (kN)	Δ_f (mm)		
KONTROL	80.3	2.88	289.6	9.41	111.0	9.7	1568	2.25
KAMA	128.0	4.25	398.8	11.98	250.6	13.8	2944	2.84
0.75MAK	132.5	4.73	407.8	12.56	295.4	15.4	3443	2.99
0.50MAK_0.25MİK6	150.4	5.36	446.9	13.51	267.1	15.5	3511	3.43
0.50MAK_0.25MİK13	148.2	4.76	438.7	12.25	367.6	15.4	3807	3.57
0.50MAK_0.25PP	133.7	4.83	410.1	11.78	263.0	15.4	3275	3.10
0.50MAK_0.125MİK6_0.125MİK13	137.5	5.73	440.5	12.74	347.6	15.9	3779	3.51
0.50MAK_0.125MİK13_0.125PP	135.1	4.96	427.2	13.48	325.0	15.3	3450	3.22

4.3.1. Döşeme-kolon birleşim elemanlarının zımbalama dayanımı

Bu tez çalışmasında hiçbir zımbalama önlemi içermeyen lifsiz kontrol KYB karışımı, sadece zımbalama kaması içeren KYB karışımı, tekli makro çelik lif içeren KYB karışımı, ikili hibrit lif içeren KYB karışımları ve üçlü hibrit lif içeren KYB karışımları ile üretilen büyük ölçekli döşeme-kolon birleşim elemanlarına ait zımbalama dayanım değerleri Çizelge 4.3 ve Şekil 4.11' de verilmiştir.



Şekil 4. 11 : Döşeme-kolon birleşim elemanlarının zımbalama dayanımı değerleri

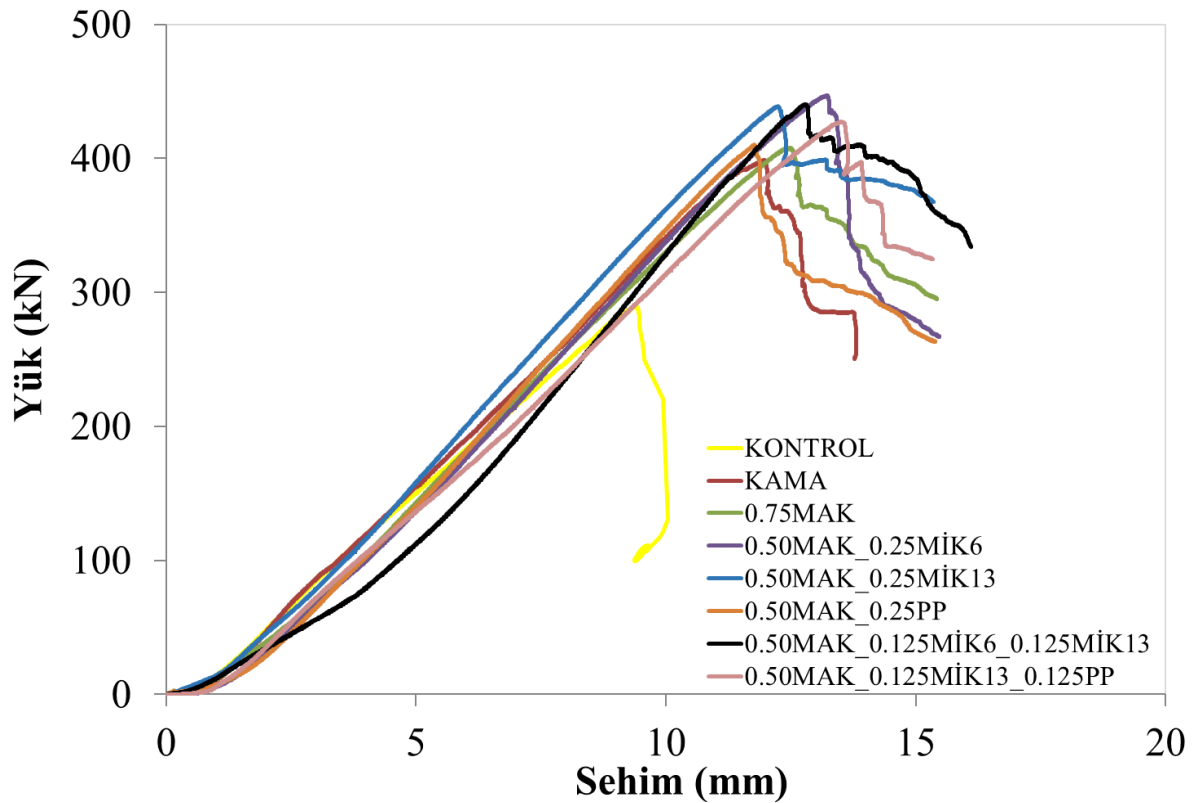
Deneylerden elde edilen bulgular esas alındığında, lif takviyeli KYB karışımlarına ait döşeme-kolon birleşim elemanlarının hiçbir zımbalama önlemi içermeyen kontrol KYB ve sadece zımbalama kaması içeren KYB numunelerine kıyasla daha yüksek zımbalama dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Tüm numuneler içinde en yüksek zımbalama dayanımı değeri kontrol numunesine kıyasla 0.50MAK_0.25MİK6 numunesinden elde edilmiştir. Bu numuneyi kontrol numunesine kıyasla %52.10 artış gösteren 0.50MAK_0.125MİK6_0.125MİK13 ve %51.48 artış gösteren 0.50MAK_0.25MİK13 numuneleri izlemektedir. Tüm lif kombinasyonları dikkate alındığında, hibrit lif kombinasyonuna sahip tüm döşeme-kolon birleşim elemanlarının zımbalama dayanımı değerleri, sadece makro çelik lif içeren tekli 0.75MAK numunesinin zımbalama dayanım değerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, ikili ve üçlü hibrit karışımlara ilave edilen mikro çelik liflerin mikro çatlak köprülemesine yardımcı olduğu, çatlak gelişimini geciktirdiği ve çatlakların ilerlemesini belirli bir seviyeye kadar ötelediği şeklinde yorumlanmaktadır. Ayrıca zımbalama dayanımı üzerinde mikro çelik liflerin daha olumlu etkiye sahip oldukları sonucuna varılmıştır. Literatürde tekli ve hibrit lif takviyesinin döşeme-kolon birleşim elemanlarında zımbalama dayanımlarını arttırdıkları ile ilgili bazı çalışmalar mevcuttur (Caratelli ve diğ, 2016; Harajli ve diğ, 1995; Lee ve diğ, 2008; Saatçı ve diğ, 2019; Bassürücü ve diğ, 2023).

Sonuç olarak KYB'ye düşük oranda lif ilave edilmesinin döşeme-kolon birleşim elemanlarının zımbalama dayanımı üzerinde sadece kesme kaması içeren KYB karışımına

ait döşeme-kolon birleşim elemanlarına kıyasla daha iyi bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bunun ile birlikte, KYB karışımlarına hibrit lif ilave edilmesinin tekli lif ilavesine kıyasla, zımbalama dayanımının iyileştirilmesi açısından daha etkin rol oynadığı ve daha iyi zımbalama performansı sergilediği sonucuna varılmıştır.

4.3.2. Döşeme-kolon birleşim elemanlarının yük-açıklık ortası sehim ve yük-rölatif yer değiştirme davranışı

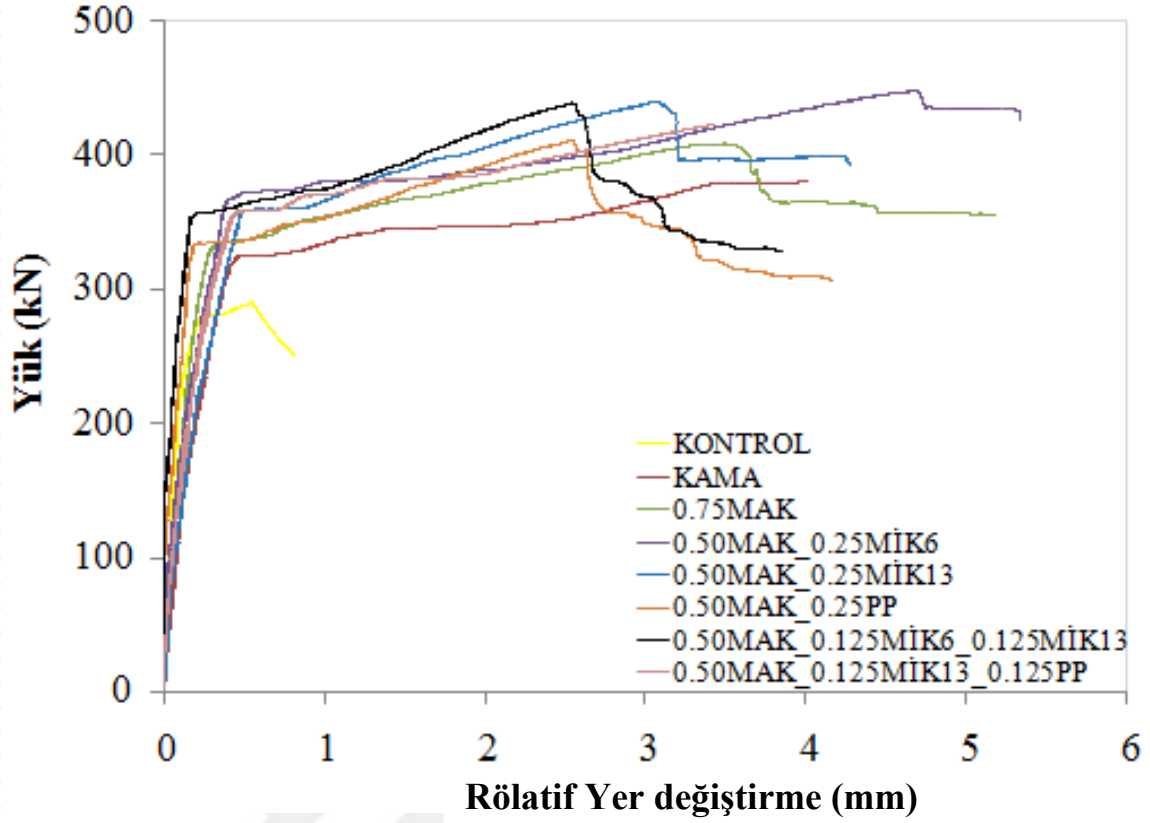
Bu tez çalışmasında, hiçbir zımbalama önlemi içermeyen lifsiz kontrol KYB karışımı, sadece kesme kaması içeren KYB karışımı, tekli makro çelik lif içeren KYB karışımı, ikili hibrit lif içeren KYB karışımları ve üçlü hibrit lif içeren KYB karışımları ile üretilen büyük ölçekli döşeme-kolon birleşim elemanlarının zımbalama dayanımları üzerinde lif hacmi ve mikro lif tipi etkisinin incelenmesi ve irdelenmesi amacıyla gerçekleştirilen deneylerden elde edilen yük-açıklık ortası deplasman eğrileri Şekil 4.12’de, yük-rölatif sehim eğrileri ise Şekil 4.13’te verilmiştir.



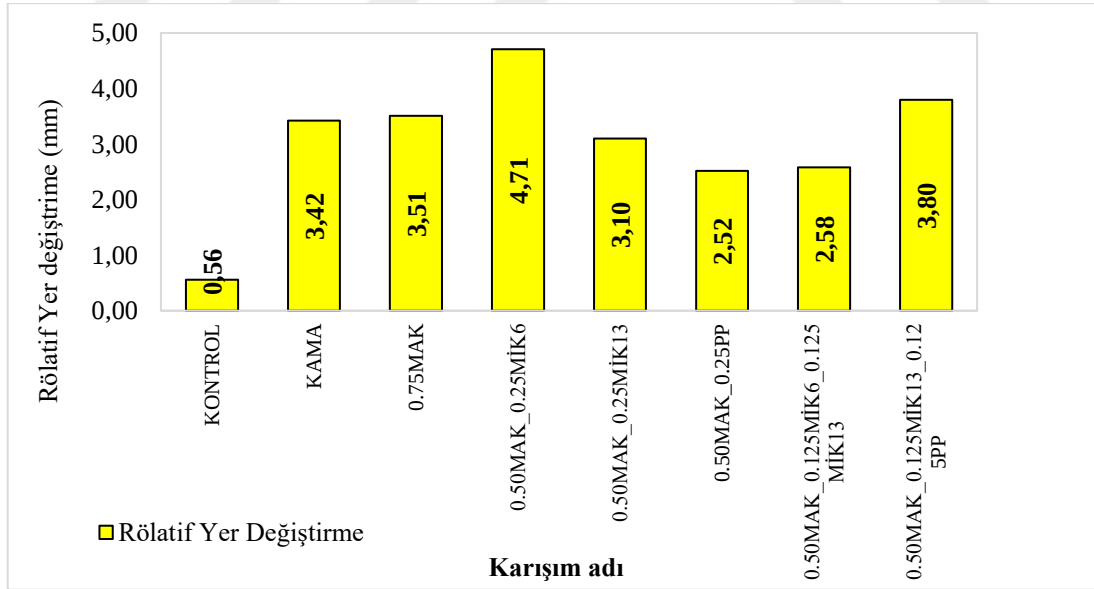
Şekil 4.12: Büyük ölçekli numunelere ait yük-sehim eğrileri

Şekil 4.12' den görüldüğü gibi tüm döşeme-kolon birleşim elemanları ilk çatlağın oluştuğu yüke kadar yaklaşık lineer doğrusal bir davranış göstermiştir. Tüm numuneler ilk

çatlağın oluşması ile birlikte pik yüke kadar doğrusal olmayan bir yük artışı sergilemiştir. Buna sebep ilk çatlağın oluşması ile birlikte numunelerin rijitliklerinin azalması olarak gösterilmektedir. Maksimum yüke ulaşan numunelerin sehim eğrileri yine doğrusal olmayan kademeli bir azalış ile devam ederek zımbalama olayı gerçekleşmiştir. Hiçbir zımbalama önlemi olmayan lifsiz kontrol numunesinin kesme kamalı ve lifli numunelere kıyasla maksimum yükten sonra ani bir şekilde azalarak gürültülü bir ses ile zımbalamaya maruz kaldığı gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgular esas alındığında tüm lif takviyeli döşeme-kolon birleşim elemanlarının hiçbir zımbalama önlemi içermeyen kontrol ve sadece kesme kaması içeren elemanlara kıyasla daha yüksek ilk çatlak yüküne sahip oldukları görülmektedir. En yüksek ilk çatlak yükü (P_{cr}) kontrol numunesine kıyasla %87.29 artış gösteren 0.50MAK_0.25MİK6 numunesinden elde edilirken bu numuneyi %84.55 artış gösteren 0.50MAK_0.25MİK13 numunesi izlemiştir. Tüm lif kombinasyonları dikkate alındığında, hibrit lif kombinasyonuna sahip tüm döşeme-kolon birleşim elemanlarının ilk çatlak noktası değerleri, sadece makro çelik lif içeren tekli 0.75MAK numunesinin ilk çatlak noktası değerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, ikili ve üçlü hibrit lifli karışımlara ilave edilen mikro liflerin mikro çatlak köprülemesine yardımcı olduğu, çatlak gelişimini geciktirdiği ve çatlakların ilerlemesini belirli bir seviyeye kadar ötelediği şeklinde yorumlanmaktadır. Şekil 4.12’ de görüldüğü gibi numuneler yük-sehim eğrilerinde maksimum taşıma kapasitelerine ulaştıktan sonra belirgin bir şekilde azalan bir faza girdikleri görülmektedir. Numunelerin göçme noktası değerleri dikkate alındığında en yüksek göçme noktası değerinin (P_f) kontrol numunesine kıyasla %231.17 artış gösteren 0.50MAK_0.25MİK13 numunesinden elde edildiği görülmektedir. Bu numuneyi sırasıyla kontrol numunesine kıyasla %213.15 artış gösteren 0.50MAK_0.125MİK6_0.125MİK13 ve yine kontrol numunesine kıyasla %192.79 artış gösteren 0.50MAK_0.125MİK13_0.125PP numuneleri izlemektedir.



Şekil 4.13: Büyük ölçekli numunelere ait yük-rölatif yer değiştirme eğrileri



Şekil 4.14: Büyük ölçekli numunelere ait yük-rölatif yer değiştirme değerleri

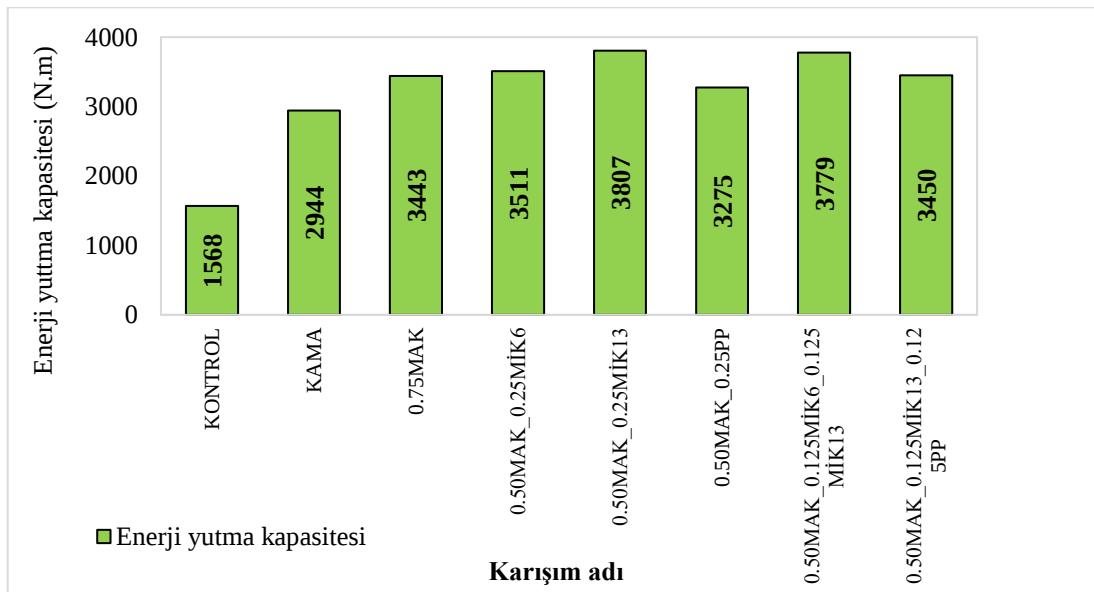
Şekil 4.13'te ve Şekil 4.14'te sunulan yük-rölatif yer değiştirme eğrisi incelendiğinde, herhangi bir zımbalama önlemi içermeyen lifsiz kontrol KYB numunesinin en düşük rölatif yer değiştirme değerine (0.56 mm) sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu

durum, diğer numunelerle kıyaslandığında, söz konusu numunenin ani ve gevrek zımbalama göçmesine uğradığını doğrulamaktadır. En yüksek Rölatif yer değiştirme miktarı ikili hibrit lif içeren 0.50MAK_0.25MİK6 numunesinde elde edilmiştir. Bu numuneyi sırasıyla 3,80 mm ve 3,42 mm rölatif yer değiştirme değerine sahip olan üçlü hibrit lif içeren 0.50MAK_0.125MİK13_0.125PP ve sadece makro lif içeren 0.75MAK numuneleri izlemiştir.

Sonuç olarak, ilk çatlak yükü, maksimum yük, bu yüklere karşılık gelen açıklık ortası sehim ve rölatif yer değiştirme değerleri dikkate alındığında, karışımlara ilave edilen lif takviyesinin numunelerin mekanik performansını iyileştirdiği ve daha sünek bir davranışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, lif takviyeli numunelerin zımbalama göçmesine karşı önlem olarak kullanılmasının yapısal performans açısından önemli avantajlar sağladığı ortaya konulmuştur.

4.3.3. Döşeme-kolon birleşim elemanlarının enerji yutma kapasitesi

Özellikle, kirişsiz döşeme-kolon birleşim elemanları içeren yapıların maruz kalabileceği darbe, patlama, sismik hareketlilik gibi etkiler karşısında gösterebileceği direnç büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda, tez çalışması kapsamında üretilen tüm döşeme-kolon birleşim elemanlarına ait enerji yutma kapasiteleri (tokluk) yük-açıklık ortası deplasman eğrileri altında kalan alandan hesaplanarak Şekil 4.14’de verilmiştir.



Şekil 4.15: Döşeme-kolon birleşim elemanlarının enerji yutma kapasitesi değerleri.

Şekil 4.14' te görüldüğü gibi tüm döşeme-kolon birleşim elemanları içerisinde tekli, ikili ve üçlü hibrit lif kombinasyonlarına sahip numunelerin hiçbir zımbalama önlemi içermeyen lifsiz KYB ve sadece kesme kaması içeren lifsiz KYB numunelere kıyasla daha fazla enerji yutma kapasitesine sahip oldukları görülmüştür. Karışımlara ilave edilen liflerin enerji yutma kapasitelerini olumlu yönde etkilediği açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Tüm numuneler içinde en yüksek enerji yutma kapasitesi kontrol numuneye kıyasla %142.79 artışla 0.50MAK_0.25MİK13 numunesinde elde edilmiştir. Bu numuneyi kontrol numunesine kıyasla %141 artış gösteren 0.50MAK_0.125MİK6_0.125MİK13 numunesi izlemektedir. Tüm lif kombinasyonları dikkate alındığında, en düşük enerji yutma kapasitesi 0.50MAK_0.25PP numunesinde bulunmuştur. Ayrıca 0.50MAK_0.25PP numunesi dışındaki tüm hibrit lif içeren numunelerin enerji yutma kapasitesi değerlerinin, sadece makro çelik lif içeren tekli 0.75MAK numunesinin enerji yutma kapasitesi değerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Buradan, ikili ve üçlü hibrit lif takviyeli döşeme-kolon birleşim elemanlarında mikro çelik lif içeren numunelerin PP lif içeren numuneye kıyasla enerji yutma kapasitesi üzerinde daha olumlu bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun yanında MİK13 çelik lifinin hibrit lif kombinasyonuna sahip karışımlara ilave edilmesinin döşeme-kolon birleşim elemanlarının enerji yutma yeteneği üzerinde en olumlu etkiyi yaptığı görülmektedir. Literatürde yapılan çalışma, Başsürücü ve diğ. (2023) esas alındığında bu tez çalışması kapsamında üretilen döşeme-kolon birleşim elemanları, düşük hacimde lif içermesine rağmen lifsiz ve kesme kamalı numunelere kıyasla yine daha yüksek enerji yutma kapasitesine sahip oldukları görülmüştür.

Sonuç olarak tekli lif takviyesinin numuneler üzerinde bir artış sağladığı ancak genel olarak hibrit lif takviyeli numunelerin enerji yutma kapasitesi açısından daha etkili olduğu görülmüştür. Literatürde de döşeme-kolon birleşim elemanları üzerinde hibrit lif takviyesinin enerji yutma kapasitesini arttırdığı görülmektedir (Smadi ve Bani Yasin, 2008; Xiao ve diğ, 2019; Başsürücü ve diğ, 2023).

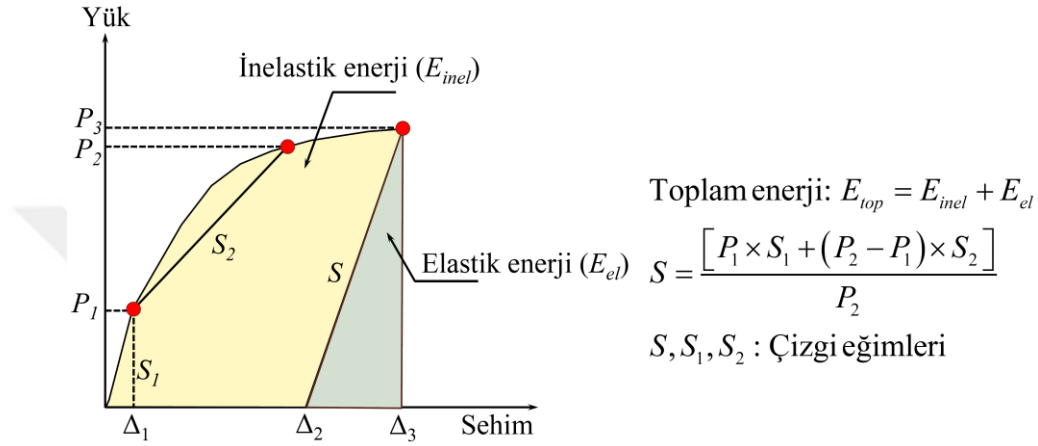
4.3.4. Döşeme-kolon birleşim elemanlarının süneklik indeksi

Tez çalışması kapsamında, test edilen büyük ölçekli döşeme-kolon birleşim elemanı numunelerinin zımbalama (kesme) göçmesi davranışı sergilemesi nedeniyle, geleneksel çelik takviyeli betonlar için kullanılan süneklik indekslerinin uygulanmasının uygun olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, bu çalışmada süneklik indeksinin belirlenmesinde

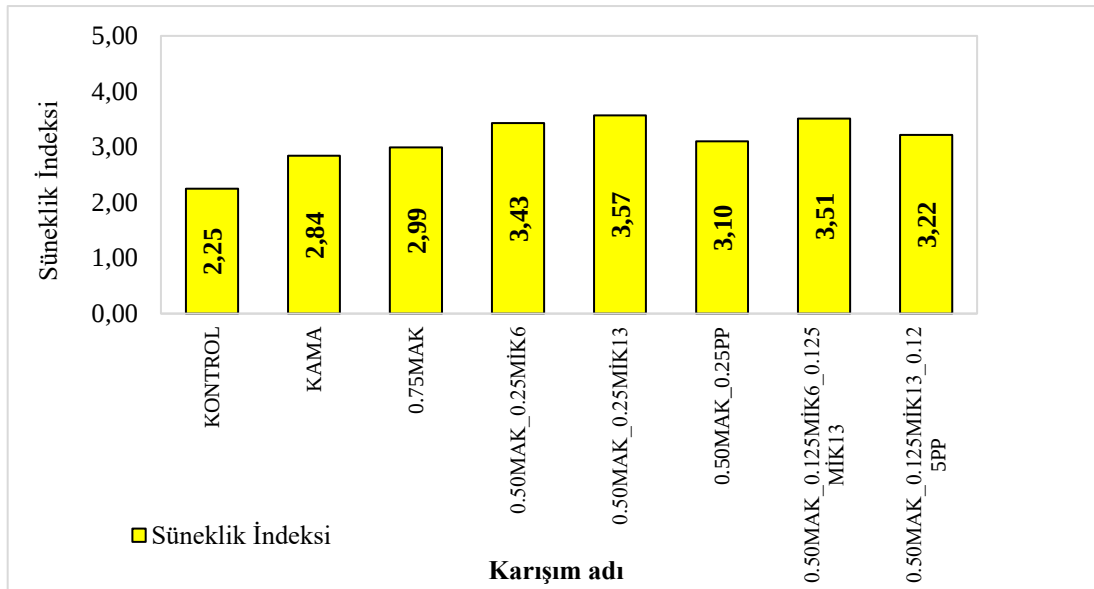
Naman ve Jeong (1995) tarafından önerilen yöntem tercih edilmiş ve ilgili matematiksel formülasyon Denklem 4.1’de verilmiştir.

$$\mu_e = \frac{1}{2} \left(\frac{E_{top}}{E_{el}} + 1 \right) \quad (4.1)$$

Burada, μ_e süneklik indeksini, E_{top} göçme yüke kadar yük-sehim eğrilerinden elde edilen toplam enerjiyi ve E_{el} elastik bölgedeki enerjiyi temsil etmektedir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16: Süneklik için yük-sehim diyagramının şematik grafiği (Naman ve Jeong, 1995)



Şekil 4.17: Döşeme-kolon birleşim elemanlarının süneklik indeksi değerleri.

Şekil 4.17’ de görüldüğü gibi döşeme-kolon birleşim elemanlarına ait numunelerde tekli, ikili ve üçlü hibrit lif kombinasyonuna sahip numunelerin, hiçbir zımbalama önlemi içermeyen lifsiz KYB ve sadece kesme kaması içeren lifsiz KYB numunelere kıyasla daha yüksek süneklik indeksine sahip oldukları görülmüştür. Karışımlara lif ilave edilmesinin numunelerin süneklik indekslerini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Tüm numuneler içinde en yüksek süneklik indeksi ikili hibrit lif içeren 0.50MAK_0.25MİK13 numunesinden elde edilmiştir. Bu numuneyi üçlü hibrit lif içeren 0.50MAK_0.125MİK6_0.125MİK13 numunesi izlemektedir. İkili hibrit lif takviyeli döşeme-kolon birleşim elemanlarında mikro çelik lif takviyesinin PP mikro life kıyasla numunelerin süneklik indeksi üzerinde daha olumlu bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Buna ilaveten, MİK13 çelik lifinin hibrit lif içeren numunelerde süneklik indeksi bakımından en olumlu etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, tekli lif takviyesinin numunelerin süneklik indeksinde lifsiz ve kesme kamalı numunelere kıyasla belirli bir artış sağladığı, ancak tüm hibrit lif takviyeli numunelerin süneklik indeksinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum hibrit lifli numunelerdeki mikro liflerin mikro çatlakları köprülemesinin yanında makro liflerin de makro çatlakları köprüleyerek bir sinerji oluşturmaya dayandırılabilir (Katlav ve diğ., 2022; Türk ve diğ., 2020; Türk ve diğ., 2019).

Yapılan bir doktora çalışması, Başsürücü (2022) esas alındığında bu tez çalışması kapsamında üretilen döşeme-kolon birleşim elemanları, düşük hacimde lif içermesine rağmen lifsiz ve kesme kamalı numunelere kıyasla yine daha yüksek süneklik indeksine sahip oldukları görülmüştür.

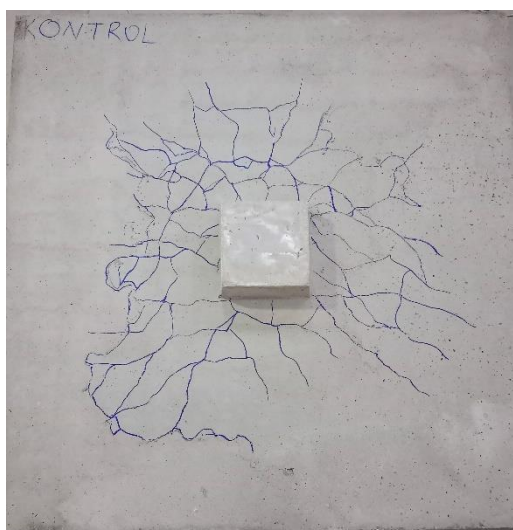
4.3.5. Döşeme-kolon birleşim elemanlarının göçme modu ve çatlak modelleri

Bu tez çalışmasında, hiçbir zımbalama önlemi içermeyen lifsiz kontrol KYB karışımı, sadece kesme kaması içeren KYB karışımı, tekli makro çelik lif içeren KYB karışımı ile ikili ve üçlü hibrit lif içeren KYB karışımları kullanılarak üretilen büyük ölçekli döşeme-kolon birleşim elemanlarında ilk çatlağa karşılık gelen yük düzeylerinin ve döşemenin alt yüzeyinde oluşan eğilme ve kesme çatlaklarının belirlenmesi amacıyla numuneler belirli bir yükleme hızında test edilmiştir. Testin tamamlanması ile birlikte oluşan çatlaklar beyaz tahta kalemi ile belirginleştirilerek çatlak modelleri oluşturulmuştur (Şekil 4.18).

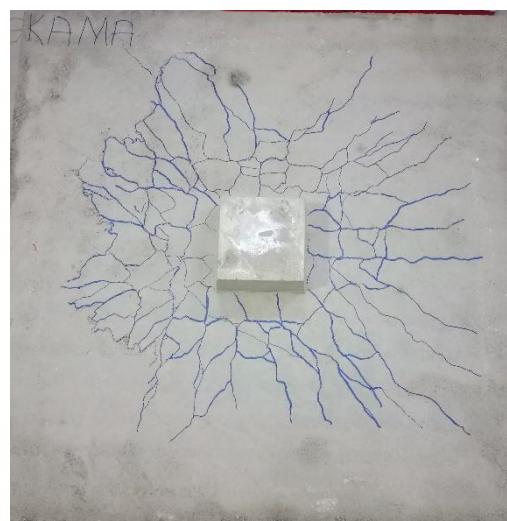
İlk çatlak oluşumu döşeme alt yüzeyinden gözlemsel olarak takip edilmiş ve bu yük seviyesinin nihai yükün % 30'u civarında olduğu belirlenmiştir. Belirlenen bu ilk çatlağa karşılık gelen yük seviyesinin büyük ölçekli testlerden elde edilen yük-sehim eğrilerindeki yük seviyeleri ile örtüştüğü görülmüştür. Tüm numunelerde çatlaklar, kolonun hemen çevresinde oluşan ilk çatlaktan sonra döşeme çekme bölgesinde gelişmeye başlamış ve kolon kenarından dış bölgeye doğru gelişerek yayılmıştır. Daha sonra numuneye uygulanan yükün pik yüke yakın seviyelerinden itibaren çatlakların döşemenin merkezindeki kolona göre radyal bir şekilde oluştuğu ve böylece özellikle hibrit lifli numunelerde çatlakların belirgin olarak ızgara şeklini aldığı gözlemlenmiştir.

Tüm döşeme-kolon birleşim elemanları dikkate alındığında, lif takviyeli elemanların hiçbir zımbalama önlemi içermeyen kontrol KYB numunesi ve sadece kesme kaması içeren KYB numunesine kıyasla daha fazla sayıda ve daha az genişlikli çatlaklar gözlemlenmiştir. Çatlak oluşumunun en az ve çatlak genişliğinin en fazla olduğu numunenin hiçbir zımbalama önlemi içermeyen kontrol KYB numunesine ait olduğu görülmektedir. Bu durum bu numunenin ani ve gevrek olan zımbalama göçmesi sergilediğini teyit etmektedir. Diğer taraftan tekli, ikili ve üçlü hibrit lif takviyeli döşeme-kolon birleşim elemanlarında hiçbir zımbalama önlemi içermeyen ve sadece kesme kaması içeren KYB numunelere kıyasla daha fazla eğilme ve çevresel çatlakların oluştuğu ve bu numunelerin daha sünek davranış sergilediği gözlemlenmiştir.

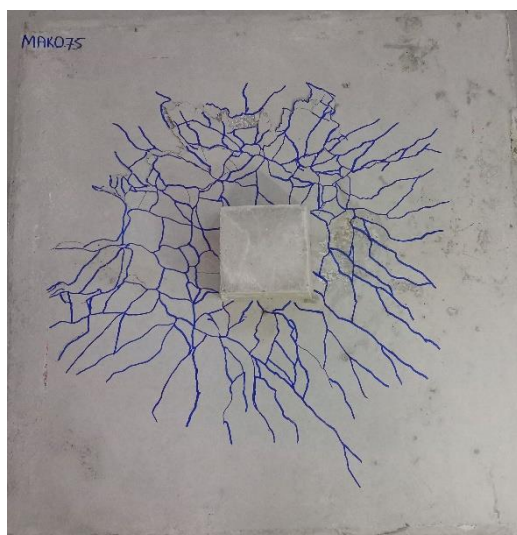
Lif takviyeli numunelerin, yükleme süreci boyunca bütünlüklerini göçme anına kadar korudukları belirlenmiştir. Buna karşılık, herhangi bir zımbalama önlemi içermeyen kontrol KYB numunesinin ise zımbalama göçmesini, beton örtüsünün ayrılması şeklinde gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir. Yapılan bir çalışmada da döşemelere ilave edilen çelik lif takviyesinin, göçme hasarını zımbalama göçme hasarından zımbalama/eğilme hasarına dönüştürdüğü vurgulanmıştır (Gouveia ve diğ, 2018).



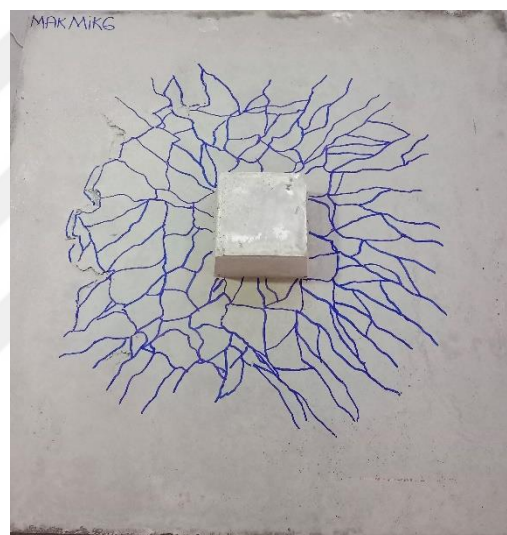
a) KONTROL



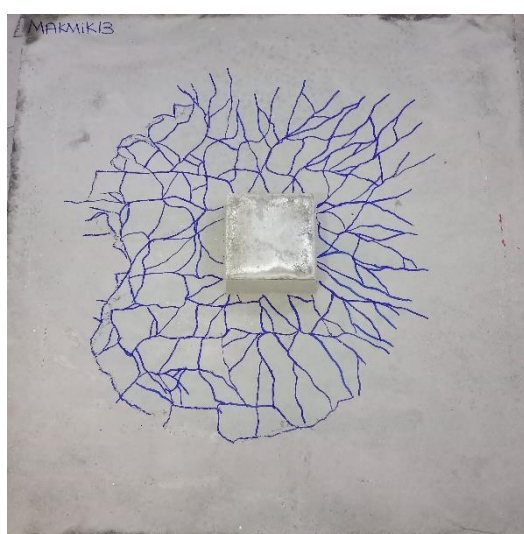
b) KAMA



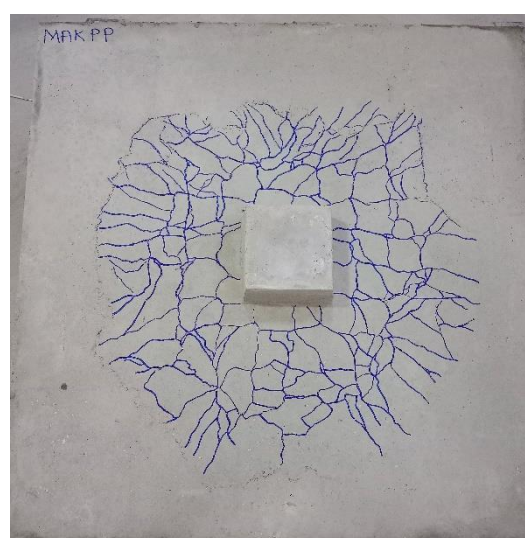
c) 0.75MAK



d) 0.50MAK_0.25MIK6



e) 0.50MAK_0.25MIK13



f) 0.5MAK_0.25PP



g) 0.50MAK_0.125MIK6_0.125MIK13



h) 0.50MAK_0.125MIK13_0.125PP

Şekil 4.18: Döşeme-kolon birleşim elemanlarının çatlak modelleri

Şekil 4.18 a ve b’de görüldüğü üzere, herhangi bir zımbalama önlemi içermeyen kontrol KYB ve kesme kaması içeren KYB numunelerindeki kolonun herhangi bir yüzeyinden başlayarak dış kenara doğru ilerleyen çatlakların, lif takviyeli numunelere kıyasla daha kısa kaldığı tespit edilmiştir. Bu durum, lif takviyesinin çekme bölgesinde kolon çevresinde meydana gelen zımbalama göçmesini, kolon yüzeyinden döşeme kenarına doğru artırdığı sonucunu desteklemektedir.

Ayrıca, Şekil 4.18 c-h’ den görüldüğü üzere, tüm lif takviyeli numuneler dikkate alındığında ikili ve üçlü hibrit lif içeren KYB numunelerinin, tekli lif içeren numuneye kıyasla daha fazla dallanmış mikro çatlak oluştuğu belirlenmiştir. Bu durum, hibrit lif takviyesinin etkisiyle makro çelik liflerin makro çatlakları köprülemesinin yanı sıra, mikro liflerin mikro çatlakları da köprüleyerek çatlak ilerlemesini ve yayılımını geciktirdiğine dayandırılabilir. Bütün bunlara ilaveten, tüm hibrit lifli KYB numuneleri dikkate alındığında, mikro çelik lif içeren ikili hibrit lif kombinasyonuna sahip döşeme-kolon birleşim elemanı numunelerinin daha belirgin çoklu çatlak oluşumu ve ızgara çatlak oluşumu sergilediği gözlemlenirken, 0.50MAK_0.25MIK13 numunesinin tüm numuneler içerisinde enine ve boyuna en fazla çatlak yayılımına sahip olan numune olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.18 d,e). Bu durum söz konusu numunenin en yüksek enerji yutma ve süneklik indeksi değerine sahip olması ile doğrulanmaktadır (Çizelge 4.3).

5. SONUÇLAR ve ÖNERİ

Bu tez çalışması kapsamında; lifsiz KYB ile toplamda hacimce % 0.75 olan düşük oranda tekli, ikili hibrit ve üçlü hibrit çelik lif kombinasyonlarına sahip KYB'den hazırlanan karışımların işlenebilirlik ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Daha sonra bu tez çalışmasının esas kapsamını oluşturan büyük ölçekli döşeme-kolon birleşim elamanları, lifli KYB karışımları ile kontrol amaçlı hiçbir zımbalama önlemi içermeyen lifsiz KYB karışımı ve sadece kesme kaması içeren KYB karışımlarından toplamda 8 adet numune üretilerek zımbalama performansları incelenmiştir. Yapılan tüm deneylerden elde edilen bulgular esas alınarak varılan sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Tüm lifsiz ve lifli KYB karışımlarının çökme-yayılma işlenebilirlik özellikleri, EFNARC tarafından belirlenen sınır değerler arasında kalmıştır. KYB karışımlarına makro ve mikro çelik lif ile PP lif ilave edilmesi, lifsiz KYB karışımına kıyasla çökme-yayılma değerlerinde azalmaya, T500 değerlerinde ise artışa sebep olmuştur. Ayrıca karışımlara 6 mm boyundaki mikro çelik lif eklendiğinde diğer mikro liflere kıyasla KYB karışımlarının işlenebilirliğinin genelde olumlu etkilendiği gözlemlenmiştir.
2. Karışımlara lif ilave edilmesinin lifsiz kontrol KYB karışımına kıyasla, tüm kür günleri için basınç dayanım değerlerini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Mikro lif tipi esas alındığında, 6 mm ve 13 mm uzunluğundaki mikro çelik liflerin karışıma ilave edilmesinin, polipropilen (PP) life kıyasla ikili hibrit lif içeren numunelerde daha yüksek basınç dayanımı artışına neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, 13 mm uzunluğundaki mikro çelik liflerin, basınç dayanımı üzerinde en olumlu etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.
3. 28 ve 56 günlük kür yaşları için en yüksek yarmada çekme değerleri kontrol numunesine kıyasla sırasıyla %46.66 ve %69.56 artış gösteren üçlü hibrit lif kombinasyonuna sahip olan 0.50MAK_0.125MİK13_0.125PP numunesinden elde edilmiştir. Mikro tip lifi dikkate alındığında, ikili hibrit lif kombinasyonuna sahip karışımlarda 6 mm ve 13 mm boyundaki mikro çelik liflerin yarmada çekme dayanımı üzerinde PP ye kıyasla daha olumlu bir etkiye sahip olduğu görülürken,

üçlü hibrit lif kombinasyonuna sahip karışımlarda PP lifinin 6 mm mikro çelik life göre yarmada çekme dayanımında daha fazla artışa sebep olduğu tespit edilmiştir.

4. Tüm kür yaşları için en yüksek eğilmede çekme dayanımı mikro çelik lif içeren ikili hibrit KYB numunelerden elde edilmiştir. Hibrit lif kombinasyonuna sahip karışımlardan üretilen numunelerin eğilmede çekme nihai dayanımlarının 7 ve 28 günlük eğilmede çekme dayanımına kıyasla belirgin düzeyde artış gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca ikili ve üçlü hibrit lif kombinasyonlarına sahip karışımlarda 13 mm mikro çelik lifinin 6 mm mikro çelik life kıyasla eğilmede çekme dayanımı üzerinde daha fazla artışa sebep olduğu görülmüştür. Bütün bunlara ilaveten, karışımlara mikro çelik lif ilave edilmesinin PP'ye kıyasla, numunelerin eğilmede çekme dayanımı üzerinde daha pozitif bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.
5. KYB karışımlarına düşük oranda tekli veya hibrit lif ilave edilmesinin, döşeme-kolon birleşim elemanlarının zımbalama dayanımı üzerinde zımbalama önlemi olarak sadece kesme kaması içeren KYB karışımlarına ait numunelere kıyasla daha olumlu bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Tüm döşeme-kolon birleşim elemanlarında en yüksek zımbalama dayanımı değeri kontrol numunesine kıyasla %54.31 artış gösteren ikili hibrit lif kombinasyonuna sahip olan 0.50MAK_0.25MİK6 numunesinden elde edilmiş olup herhangi bir zımbalama önlemi içermeyen lifsiz KYB karışımına ait numunenin zımbalama dayanımı değeri ise en düşük olarak belirlenmiştir. Sonuçta, KYB karışımlarına hibrit lif ilavesinin, tekli lif ilavesine kıyasla zımbalama dayanımının iyileştirilmesi açısından daha etkin bir rol oynadığı ve dolayısıyla numunelerin daha yüksek zımbalama performansı sergilemesine sebep olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
6. KYB karışımlarına tekli veya hibrit lif ilave edilmesinin, döşeme-kolon birleşim elemanlarının enerji yutma kapasitesi değerleri üzerinde lifsiz KYB ve kesme kaması içeren KYB numunelere kıyasla, daha olumlu etkiye sahip olduğu görülmüştür. Tüm numuneler içinde en yüksek enerji yutma kapasitesi kontrol numunesine kıyasla % 142.79 artışa sahip olan ikili hibrit lif içeren 0.50MAK_0.25MİK13 numunesinden elde edilmiştir. İkili ve üçlü hibrit lif takviyeli döşeme-kolon birleşim elemanlarında mikro çelik lif içeren numunelerin PP lif içeren numuneye kıyasla enerji yutma kapasitesi üzerinde daha olumlu bir

etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun yanında, 13 mm boyundaki mikro elik lifinin, karışımlara ilave edilmesinin döşeme-kolon birleşim elemanlarının enerji yutma yeteneği üzerinde tüm mikro liflere kıyasla en olumlu etkiyi yaptığı sonucuna varılmıştır.

7. Tüm numuneler içinde en yüksek süneklik indeksi 3.57 değeri ile ikili hibrit lif içeren 0.50MAK_0.25MİK13 numunesinden elde edilmiştir. İkili hibrit lif takviyeli döşeme-kolon birleşim elemanlarında mikro elik lif takviyesinin PP mikro life kıyasla numunelerin süneklik indeksi üzerinde daha olumlu bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Buna ilaveten, 13 mm boyundaki mikro elik lifinin tüm mikro liflere kıyasla, döşeme-kolon birleşim elemanlarının süneklik indeksi üzerinde en olumlu etkiye sahip olduğu bulunmuştur.
8. Düşük oranda hibrit lif içeren döşeme-kolon birleşim elemanlarının, herhangi bir zımbalama önlemi içermeyen kontrol KYB ve kesme kaması içeren KYB numunelerine kıyasla daha çok sayıda ve daha küçük genişlikli çatlaklar sergilediği gözlemlenmiştir. Ayrıca, tüm lif takviyeli numuneler dikkate alındığında, hibrit lif içeren KYB numunelerinde, tekli lif içeren numuneye kıyasla daha fazla dallanmış mikro çatlak oluştuğu belirlenmiştir. Bütün bunlara ilaveten, tüm hibrit lifli KYB numunelere gelince, mikro elik lif içeren ikili hibrit lif kombinasyonuna sahip döşeme-kolon birleşim elemanı numunelerinin daha belirgin çoklu çatlak ve ızgara çatlak oluşumu sergilediği gözlemlenirken, 0.50MAK_0.25MİK13 numunesinin tüm numuneler içerisinde enine ve boyuna en fazla çatlak yayılımına sahip olan numune olduğu belirlenmiştir. Bu durum söz konusu numunenin en yüksek enerji yutma ve süneklik indeksi değerine sahip olması ile doğrulanmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abdel-Rahman, A. M., Hassan Z. N., Soliman A.M. (2016).** Punching shear behavior of reinforced concrete slabs using steel fibers in the mix. HBRC Journal <http://ees.elsevier.com/hbrcj>.
- As'ad, S., Gunawan, P., & Syarif Alaydrus, M. (2011).** Fresh state behavior of self compacting concrete containing waste material fibres. *Procedia Eng.*, 14 (2011) 797-804.
- ASTM C1609 (2019).** Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete. *ASTM International, West Conshohocken, PA*.
- ASTM C1611 (2018).** Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete. *ASTM International, West Conshohocken, PA*.
- ASTM C39 (2018).** Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. *ASTM International, West Conshohocken, PA*.
- ASTM C469 (2014).** Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's
- Bassurucu, M., Türk, K. And Turgut, P. (2023).** The effect of hybrid fiber and shear stud on the punching performance of flat-slab systems. *Journal Of Building Engineering*, vol.77, no.2023, pp.1-17.
- Bassurucu, M. (2022).** Kendiliğinden Yerleşen Hibrit (Karma) Lif Takviyeli Betondan Üretilen Döşeme-Kolon Birleşim Elemanlarında Zımbalama Performansının Deneysel ve İstatistiksel Olarak İncelenmesi. *Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya*
- Caratelli, A., Imperatore, S., Meda, A., & Rinaldi, Z. (2016).** Punching shear behavior lightweight fiber reinforced concrete slabs. *Composites Part B: Engineering*, 99, 257 265.
- Chen, C. C., Giduquio, M. B., Liu Chang, S. C., & Cheng, M. Y. (2020).** Punching shear capacity of RC slab-CFT column connections. *Engineering Structures*, 218, 1–8.
- Daczko, J. A., & Kurtz, Mark A. (2001).** Development of High Volume Coarse Aggregate Self-Compacting Concrete (pp:403-412). *Proceedings of the Second*

International Symposium on Self-Compacting Concrete, 23-25 October, Tokyo, Japan.

- Dybel, P., & Kucharska, M. (2020).** Effect of bottom-up placing on bond properties of high-performance self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 243 (2020) 118182.
- EFNARC (2002).** Guidelines for self-compacting concrete. London, UK: Association House, 32, 34.
- EFNARC (2005).** European Guidelines for Self-Compacting Concrete. *Specification and Production and Use*, Association House, UK.
- Ezer, İ. (2010).** Kirişsiz döşemelerde farklı zımbalama donatılarının deneysel olarak incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya*, 1-5
- Ghanem, H., & Obeid, Y. (2015).** The effect of steel fibers on the rheological and mechanical properties of self compacting concrete. *Eur. Sci. J.*, 11 (21) (2015) 85–98.
- Gomes, P.C.C. (2002).** Optimization and characterization of high-strength selfcompacting Concrete. *PhD thesis, Universitat POLtecnica De Catalunya, Barcelona, Spain.*
- Gouveia, N. D., Lapi, M., Orlando, M., Faria, D. M. V., & Ramos, A. M. P. (2018).** Experimental and theoretical evaluation of punching strength of steel fiber reinforced concrete slabs. *Structural Concrete*, 19(1), 217–229.
- Gürdal, H., & Yüceer, Z. (2004).** Türkiye ve Dünyada Kendiliginden Yerlesen Beton Uygulamaları,. *Beton 2004 Kongresi Bildirileri*, 244-254.
- Gürses, O. (2008).** Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri ve Uygulamaları. *Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.*
- Hackley, V. A., & Ferraris, C. F. (2001).** The use of nomenclature in dispersion science and technology. *NIST recommended practice guide, special publication*, 960-3, Washington: National Institute of Standards and Technology, 72
- Harajli, M. H., Maalouf, D., & Khatib, H. (1995).** Effect of fibers on the punching shear strength of slab-column connections. *Cement and Concrete Composites*, 17(2), 161 170.

- Hasan-Nattaj, F., & Nematzadeh, M. (2017).** The effect of forta-ferro and steel fibers on mechanical properties of high-strength concrete with and without silica fume and nano- silica. *Construction and Building Materials*, 137 (2017) 557–572.
- Holschemacher, K. (2004).** Hardened properties of self-compacting concrete. *The 8th International Conference, May 19-21*.
- Husain, M., Eisa, A. S., & Roshdy, R. (2017).** Alternatives to Enhance Flat Slab Ductility. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 11(1), 161–169.
- Iqbal, S., Ali, A., Holschemacher, K., & Bier, T.A. (2015).** Mechanical properties of steel fiber reinforced high strength lightweight self-compacting concrete (SHLSCC). *Construction and Building Materials*, 98 (2015) 325–333.
- Katlav M., Turk K., Turgut P. (2024).** The impact of different length hooked-end fibers on the structural performance of RC folded plates. *Structural Concrete, cilt.25, sa.3, ss.1-15, 2024*.
- Katlav M., Turk K., Turgut P. (2023).** Flexural performance of V-shaped RC folded plates: The role of plate thickness and fiber hybridization. *Construction And Building Materials, cilt.400, sa.132815, ss.1-16, 2023*
- Katlav, M., Türk, K., Turgut, P., (2022).** Research into effect of hybrid steel fibers on the V-shaped RC folded plate thickness. *Structures* , vol.44, no.2022, 665-679.
- Kawamata, A., Mihashi, H., Fukuyama, H. (2003).** Properties of hybrid fiber reinforced cement based composites. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1 (3), 283-290.
- Khaloo, A., Raisi, E.M., Hosseini, P., & Tahsiri, H. (2014).** Mechanical performance of self compacting concrete reinforced with steel fibers. *Construction and Building Materials*, 51 (2014), 179–186.
- Kim, D.J., Naaman, AE., & El-Tawil, S. (2008).** Comparative flexural behavior of four fiber reinforced cementitious composites. *Cement and Concrete Composites*, 2008;30.
- Kina C., TURK K. (2021).** Bond strength of reinforcing bars in hybrid fiber-reinforced SCC with binary, ternary and quaternary blends of steel and PVA fibers. *Materials And Structures, cilt.54, sa.4, 2021*

- Korkmaz, S. (2011).** Kendiliğinden Yerleşen Lifli Betonların Çekme Elemanlarında Kullanılabilirliği. *Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.*
- Kozak, M.** Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması. *SDU Teknik Bilimler Dergisi, 3/2013 (5): 26-35*
- Liu, X., Wu, T., Yang, X., & Wei, H. (2019).** Properties of self-compacting lightweight concrete reinforced with steel and polypropylene fibers. *Construction and Building Materials, 226, 388–398.*
- Lee, J.-H., Yoon, Y.-S., Lee, S.-H., Cook, W. D., & Mitchell, D. (2008).** Enhancing Performance of Slab-Column Connections. *Journal of Structural Engineering, 134(3), 448–457.*
- Mohammadi, Y., Singh, S.P., & Kaushik, S.K. (2008).** Properties of steel fibrous concrete containing mixed fibres in fresh and hardened state. *Construction and Building Materials, 22 (5) (2008) 956–965.*
- Naaman, A., & Jeong, M. (1995, August).** 45 Structural ductility of concrete beams prestressed with FRP tendons. In *Non-Metallic (FRP) Reinforcement for concrete structures: proceedings of the second international RILEM symposium (Vol. 29, p. 379). Boca Raton, FL, USA: CRC Press.*
- Okamura, H., Ozawa, K. (1995).** Mix-design for self compacting concrete. *Concrete Library of JSCE, No. 25, pp. 107-120.*
- Okamura, H., (1997).** Self Compacting High Performance Concrete. *Concrete International, V.19, No:7, 50-54*
- Ozden, S., Ersoy, U., & Ozturan, T. (2006).** Punching shear tests of normal- and high-strength concrete flat plates. *Canadian Journal of Civil Engineering, 33 (11), 1389–1400.*
- Saatçı, S., Yaşayanlar, S., Yaşayanlar, Y., & Batarlar, B. (2019).** Çelik Fiber Katkısının Farklı Boyuna Donatı Oranına Sahip Betonarme Döşemelerin Zımbalama Davranışı Üzerinde Etkileri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(2), 1045–1059.*

- Sulthan, F., & Saloma. (2019).** Influence of hooked-end steel fibers on fresh and hardened properties of steel fiber reinforcement self-compacting concrete (SFRSCC). *J. Phys., Conf. Ser.* 1198(3) (2019) 032005.
- Silva, M.A., Pepe, M., Andrade, R.G.M., Pfeil, M.S., & Toledo Filho, R.D. (2017).** Rheological and mechanical behavior of high strength steel fiber-river gravel self compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 150(2017) 606-618.
- Sine, A., Pimental, M., & Nunes, S. (2022).** Experimental investigation on punching shear behaviour of RC-(R)UHPFRC composite flat slabs without transverse reinforcement. *Engineering Structures*, 255, 1–16.
- Smadi, M. M., & Bani Yasin, I. S. (2008).** Behavior of high-strength fibrous concrete slab column connections under gravity and lateral loads. *Construction and Building Materials*, 22(8), 1863–1873.
- Tufekci, M. M., & Gokce, A. (2017).** Development of heavyweight high performance fiber reinforced cementitious composites (HPFRCC) – Part I: Mechanical properties. *Construction and Building Materials*, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.009>
- Thuc N. N., Tung, T. N., Withit, P. (2017).** Experimental study of the punching shear behavior of high performance steel fiber reinforced concrete slabs considering casting directions. *Engineering Structures Volume 131, (2017), Pages 564-573*
- Turk K., Katlav M., Bitkin R. E. (2025).** The use of high-volume hybrid steel fiber instead of compression rebar to improve the structural performance of high-strength SCC beams under bending. *Construction and Building Materials Volume 470, 4 April 2025, 140521.*
- Turk K., Katlav M., Turgut P. (2024).** Effect of rebar arrangements on the structural behavior of RC folded plates manufactured from hybrid steel fiber-reinforced SCC. *Journal Of Building Engineering, cilt.84, sa.2024, ss.1-12, 2024.*
- Turk, K., Cicek, N. Katlav, M., Donmez, I., Turgut, P. (2023).** Electrical conductivity and heating performance of hybrid steel fiber-reinforced SCC: The role of high-volume fiber and micro fiber length. *Journal of Building Engineering, Vol. : 76, 2023.*

- Turk, K., Bassurucu, M. (2021).** An experimental and statistical investigation on the fresh and hardened properties of HFR-SCC: the effect of micro fibre type and fibre hybridization. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*.
- Turk, K., Bassurucu, M., Bitkin R.E., (2021).** Workability, strength and flexural toughness properties of hybrid steel fiber reinforced SCC with high-volume fiber. *Construction and Building Materials Volume 266, Part A, 10 January 2021, 120944*
- Turk, K., Kina, C., & Oztekin, E., (2020).** Effect of macro and micro fiber volume on the flexural performance of hybrid fiber reinforced Scc. *Advances in Concrete Construction*, vol.10, no.3, 257-269.
- Turk, K. Oztekin, E. And Kina, C. (2019).** Self-compacting concrete with blended short and long fibres: experimental investigation on the role of fibre blend proportion. *European Journal Of Environmental And Civil Engineering* .
- Turk, K., Kina, C. (2017).** Çimento esaslı kompozitlerde karma lif kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 23 (2017): 671-678*
- Xiao, J., Wang, W., Zhou, Z., & Tawana, M. M. (2019).** Punching shear behavior of recycled aggregate concrete slabs with and without steel fibres. *Frontiers of Structural and Civil Engineering, 13(3), 725–740.*
- Yardımcı, M. Y. (2007).** Çelik lifli kendiliğinden yerleşen betonların reolojik, mekanik, kırılma parametrelerinin araştırılması ve optimum tasarımı (Doktora Tezi). *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.*
- Zhang, W. X., Li, B., Hwang, H. J., Zhang, J. Y., Xiao, L. J., Yi, W. jian, & Park, H. G. (2019).** Punching shear strength of reinforced concrete column footings under eccentric compression: *Experiment and analysis. Engineering Structures, 198,1–19.*
- Zhou, L., Huang, Y., Chen B. (2021).** Punching shear behavior of slab–column connections embedded with steel skeletons. *Structures. Volume 33, October 2021, Pages 2879-2892.*

ÖZGEÇMİŞ

AD SOYAD : Abdulkerim ARI

ÖĞRENİM DURUMU :

- Lisans : 2015, İnönü Üniveristesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- Yüksek Lisans : 2025, İnönü Üniveristesi, İnşaat Mühendisliği ABD

MESLEKİ TECRÜBE : 2016 – 2020, Darende Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü, Kontrol Mühendisi

: 2020, Malatya Battalgazi 300 Yataklı Devlet Hastanesi Kaba İşler Şefi

: 2021- 2022, Tulga Hava Alanı Uçak Bakım Hangarları Ve Cephanelik Tesislerinin İyileştirilmesi Yapım İş Şantiye Şefliği

: 2023 - Halen, Bct Mühendislik Ve Müşavirlik, Malatya Deprem Konutları ve Rezerv Alanlar Kontrol Mühendisliği