



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Çimento harçlarında optimum uçucu kül ve PVA lif oranının belirlenmesi

## *Determination of optimum fly ash and PVA fiber ratio in cement mortars*

*Yazar(lar) (Author(s)): Muhammed Talha ÜNAL<sup>1</sup>, Osman ŞİMŞEK<sup>2</sup>,*

*ORCID<sup>1</sup>: 0000-0001-6971-5838*

*ORCID<sup>2</sup>: 0000-0003-3842-5541*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Ünal M.T., Şimşek O., “Çimento harçlarında optimum uçucu kül ve PVA lif oranının belirlenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 25(2): 477-489, (2022).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.770831

# Çimento Harçlarında Optimum Uçucu Kül ve PVA Lif Oranının Belirlenmesi

## Determination of Optimum Fly Ash and PVA Fiber Ratio in Cement Mortars

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Uçucu kül ikameli PVA lif ilaveli karışımlarda optimum karışım oranının belirlenmesi/ Determination of optimum mixing ratio for fly ash substituted PVA fiber-added mixtures
- ❖ Uçucu kül ikameli PVA lif ilaveli karışımların mekanik ve rötre özelliklerinin belirlenmesi/Determination of mechanical and shrinkage properties of fly ash substituted PVA fiber added mixtures

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Harç bileşenlerinin karışım tasarımları ve karışımlardan üretilen numunelerin teknik özellikleri./ Mix designs of mortar components and technical properties of samples produced from mixtures.

Karışım Kodları	Karışım Dizaynları(kg/m <sup>3</sup> )			Yayıma çapı (mm)	Mekanik özellikler (MPa)		Rötre (mm)
	Çimento	U.Kül	PVA Lif		Basınç Dayanımı	Eğilme Dayanımı	
UK00 (Kontrol)	928	0	0	16	70,6	8,4	0,222
UK10+ PVA0	836	93	0	18	64	7,7	0,123
UK15+ PVA0	787	142	0	19	58,2	7,2	0,103
UK20+ PVA0	743	186	0	22	49	5,8	0,083
PVA1+UK10	836	93	11,7	14,4	68,6	9,19	0,054
PVA1+UK15	787	142	11,7	15	65	9,02	0,046
PVA1+UK20	743	186	11,7	17	57,2	7,62	0,043
PVA2+UK10	836	93	23	13	62	10	0,039
PVA2+UK15	787	142	23	14	58	9,5	0,034
PVA2+UK20	743	186	23	14,5	54,3	9,1	0,028
PVA3+UK10	836	93	35	10,5	56	12,33	0,02
PVA3+UK15	787	142	35	11,5	52	11,07	0,016
PVA3+UK20	743	186	35	12	48	9,5	0,018

**Şekil.** Harç bileşenlerinin karışım tasarımları ve karışımlardan üretilen numunelerin teknik özellikleri /**Figure.** Mix designs of mortar components and technical properties of samples produced from mixtures.

**Amaç (Aim):**Bu çalışmada, uçucu kül, ikameli PVA lif ilaveli karışımlarda en uygun değerleri veren uygun oranın belirlenmesi / In this study, determination of the appropriate ratio that gives optimum values in fly ash substituted PVA fiber added mixtures.

**Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology):**Farklı malzemelerin karışım tasarımları ve üretilen örneklerin deneysel yöntemlerle analiz edilmesi / Mix designs of different materials and analysis of produced samples by experimental methods

**Özgünlük (Originality):** Silis kumu(400 mikron), kimyasal katkı, uçucu kül ve PVA lifin belirli oranlarda karışımıyla üretilen çimento harcının işlenebilirlik, basınç, eğilme ve rötre özelliklerini iyileştirmektedir. / To improve the workability, compressive-flexural strength and shrinkage properties of the cement mortar produced by mixing silica sand (400 micron), chemical additive, fly ash and PVA fiber in certain proportions.

**Bulgular (Findings):** Harca UK ikame edilmesi işlenebilirliği ve rötreyi olumlu etkilerken, mekanik özelliklerini olumsuz etkilemiştir. PVA lif ilavesi ise işlenebilirliği ve basınç dayanımını olumsuz etkilerken, eğilme ve rötreyi olumlu etkilemiştir. / The substitution of cement with FA positively affected the workability and shrinkage properties and negatively affected the mechanical properties. The addition of PVA fiber negatively affected the workability and compressive strength but positively affected flexural strength and shrinkage properties.

**Sonuç (Conclusion):**.PVA3+UK15 kodlu karışım en optimum olarak belirlenmiştir./The mixture coded PVA3 + UK15 was determined as the most optimum

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Çimento Harçlarında Optimum Uçucu Kül ve PVA Lif Oranının Belirlenmesi

*Araştırma Makalesi/Research Article*

**Muhammed Talha ÜNAL\***, **Osman ŞİMŞEK**,

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Türkiye

(Geliş/Received : 17.07.2020 ; Kabul/Accepted : 06.08.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 11.08.2020)

## ÖZ

Çimento harcında uçucu kül ve lif kullanımı, harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu çalışmada, çimento harçlarında uçucu kül ve lif kullanımının harcın fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, hazırlanan çimento harcında çimento maliyetini azaltmak amacı ile çimento yerine ağırlıkça % 0, 10, 15 ve 20 oranlarında uçucu kül (UK) kullanılmıştır. Uçucu kül ilaveli çimento harcının mekanik özelliklerini arttırmak amacı ile karışıma hacimce %1, %2 ve %3 Polyvinyl Alcohol (PVA) lif ilave edilmiş ve üretilen bu harç numunelerinin serbest rötöre, eğilme dayanımı ve basınç dayanımları incelenmiştir. Deneyler sonucunda; UK ikame oranları arttıkça yayılma çapının arttığı buna karşın UK' lı karışımlarda PVA oranı arttıkça yayılma çapının azaldığı görülmüştür. Karışımlarda UK ikame oranları arttıkça basınç dayanımının düştüğü buna karşın PVA lifli karışımlarda (UK15 kodlu karışıma) %1 PVA lif ilave edildiğinde basınç dayanımının yaklaşık %12 oranında arttığı görülmüştür. Bununla birlikte UK ikameli karışımlarda PVA lif ilavesi arttıkça eğilme dayanımının arttığı ve en yüksek eğilme dayanımının %3 PVA lif katkılı %10 uçucu kül (UK10) ikameli karışımda olduğu görülmüştür. Diğer taraftan, harçlarda lif oranı ile boy değişimi arasında negatif bir ilişki olduğu ve lif miktarı arttıkça boy değişiminin de azaldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çimento harcı, PVA lif, uçucu kül, basınç dayanımı.

# Determination of Optimum Fly Ash and PVA Fiber Ratio in Cement Mortars

## ABSTRACT

The use of fly ash and fiber in cement mortar significantly improves the physical and mechanical properties of the mortar. In this study, the effect of using fly ash and fiber in cement mortars on the physical and mechanical properties of the mortar was investigated. For this purpose, 0, 10, 15 and 20% fly ash (UK) was used instead of cement in order to reduce the cement cost in the prepared cement mortar. In order to increase the mechanical properties of the fly ash added cement mortar, 1%, 2% and 3% Polyvinyl Alcohol (PVA) fiber was added to the mixture and the free shrinkage, flexural strength and compressive strengths of these mortar samples were examined. As a result of the experiments; It has been observed that as the UK substitution rates increase, the spread diameter increases, whereas in the mixtures with UK, the spread diameter decreases as the PVA rate increases. It was observed that the compressive strength decreases as the UK substitute increases in the mixtures, but when the PVA fiber is added in the mixtures with PVA fiber (UK15 coded mixture), the compressive strength increases by approximately 12%. However, it has been observed that as the addition of PVA fiber increases in UK substituted blends, the bending strength increases and the highest bending strength is in the mixture with 10% fly ash (UK10) substituted with 3% PVA fiber. On the other hand, it has been determined that there is a negative relationship between fiber ratio and length change in mortars and the length change decreases as the fiber amount increases.

**Keywords:** Cement mortar, PVA fiber, fly ash, compressive strength.

## 1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çimento harcı ve betonların bazı teknik özelliklerini iyileştirmek ve performanslarını arttırmak için lif ilave edilmektedir. Liflerin cinsi, çapı, boyu ve boy-çap oranı, beton veya çimento harcında beklenen özellikleri üzerinde etkilidir. Birçok çalışmada lifli betonların mekanik özellikleri yanında, durabilite özelliklerinin de iyileştirilmesi ve mikro yapısının araştırılması gerekliliği vurgulanmıştır [1-2]. Birçok çalışmada, lifli ve liffsiz betonların davranışlarındaki asıl farkın, lifli karışımlarda lifin cinsine ve özelliklerine bağlı olarak yük altında meydana gelen çatlaklardan sonra yük taşıma özelliğinin devam etmesidir. Liflerin karışımın eğilme dayanımına

ek olarak, aşınma, oyulma(kavitasyon) direncinde ve performansında artış meydana getirdiği vurgulanmaktadır. Ayrıca lifli karışımların aderansı iyi ise, moment kapasitesini, sünekliğini, donatının aderansını arttırdığını, çatlak kontrolü sağladığını, patlama ve kabarıp dökülmeleri önleyebileceği birçok araştırmacı tarafından belirtilmektedir[3-6].

Beton ve çimento harçlarında durabilite özelliklerini iyileştirmek için sentetik, karbon, polipropilen, polyester ve cam lifler kullanılmaktadır. Eğilme ve aşınma dayanımı istenen yerlerde ise en yaygın kullanılan lifler çelik ve sentetik lifler olup, çelik liflerin betonda kullanımı hacimce %1-2 arasındadır [7,8]. Sentetik, polietilen ve polyester lifler ise çelik liflere oranla daha az dozajda kullanılmaktadır [9].

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : muhammedtalha.unal@gazi.edu.tr

Liflerin yük altındaki beton içindeki davranışı kırılma mekaniği çerçevesinde incelendiğinde, gerilme – deformasyon özelliğine duyarlı elastisite, tokluk, sünme vs. gibi özelliklerin performansı da değişir. Harç fazı içerisinde lif bulunması halinde ise, başlangıçtaki mikro çatlak meydana getiren enerji aracılığı ile çatlakın yanındaki sağlam çimento hamuru fazı bölgelerine aktarılır. Liflerin oluşturduğu en büyük etki, çatlakın ilk oluşum anından sonlanma anına kadar gerilmeleri tutması ve bu gerilmeleri sağlam alanlara transfer etmeleridir [10-13].

Liflerin taze karışıma kazandırdığı bazı özellikler; rötre, büzülme, plastik çatlaklar, segregasyon, geçirimsizlik ve kıvamı azaltması olarak ifade edilebilir [11,14]. Lifler sertleşmiş karışımın tokluğunu ve ış, darbe dayanıklılığını, yüzey aşınma direncini, yorulma direncini, kimyasallara karşı direncini, parçalanma direncini ve donma – çözünme çevrimi dirençlerini artırır [15,16].

Yaprak ve Ark. (2004) yaptıkları bir çalışmada polipropilen liflerin, karışımların 7 ve 28 günlük basınç ve yarmada çekme dayanımını, lifsiz yüksek dayanımlı karışıma göre %0.4- 0.5 civarında azalttığını buna karşılık çekme dayanımlarını, sırasıyla %12 ve %14 arttırdığını belirlemişlerdir. Öte yandan çelik liflerin polipropilen liflere benzer şekilde basınç dayanımını %1 civarında arttırdığı ifade edilirken, çekme dayanımlarını %35 oranında arttırdığı belirtilmiştir [17-20].

Genellikle lifli beton üretiminde uçucu kül (UK), yüksek fırın cürufu (YFC) ve silis dumanı (SD) gibi puzolanik maddeler, yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu endüstriyel atık olan puzolanların, çevresel ve ekonomik sebeplerden dolayı, çimento, çimento harcı ve betonların üretiminde katkı maddesi olarak kullanımı yaygınlaşmaktadır. Katkı malzemeleri içerisinde, uçucu kül yaygın ve ekonomik olması sebebiyle çimento ve betona en uygun puzolanlardan bir tanesidir. UK kullanım miktarının artırılması sayesinde üretilen beton ve çimento harçlarının mekanik ve durabilite özelliklerinin iyileştiği yapılan çalışmalarda bahsedilmektedir. [21,22].

UK'nin betonda kullanımı, kimyasal katkı maddesinin yaygınlaşması ile beraber son zamanlarda artmıştır. UK'nin betonda kimyasallarla beraber kullanımındaki başarı, çimento harcı ve beton karışımlarına da paralel olarak yansımaktadır. Günümüzde ekonomik beton karışımları elde etmek için UK vazgeçilmez bir bileşen olarak kullanılmaktadır. Uçucu kül (UK) bazı kimyasal özellikleri nedeniyle beton üretiminde özellikle tercih edilmektedir. Portland çimentosunun üretiminde UK kullanılması enerji kullanımının, hava kirliliğinin ve doğal kaynakların azalmasına neden olmasının yanında maliyeti de azaltmaktadır [23,24].

Bu çalışmada, 400 mikronluk silis kumu, kimyasal katkı maddesi ve su/çimento oranı 0,38 sabit olarak kullanılmıştır. Uçucu kül, CEM I 42,5 R çimento ağırlığının % si olarak 0, 10, 15 ve 20 oranlarında kullanılmıştır. Uçucu kül ikameli karışımlara hacimce %1, %2 ve %3 PVA lif ilave edilerek numunelerin

serbest rötresi, eğilme ve basınç dayanımlarını veren optimum malzeme karışım oranının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

### 2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada 400 mikronluk silis kumu, hiperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesi, uçucu kül, PVA lif ile CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. Karışımda kullanılan malzemelerin teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Uçucu kül ve PVA lif farklı oranlarda kullanarak çimento harcı hazırlanmıştır. Bu karışımlarının kıvamı, serbest rötresi, eğilme ve basınç dayanımı özellikleri incelenmiştir. Her bir karışımdan, her farklı yaş ve özellikler için 3'er adet 25x25x285 mm boyunda harç çubukları, 25x57,5x315 mm'lik kiriş ve 40 mm boyutunda küp numuneler üretilmiştir.

#### 2.1.1. Çimento ve karışım suyu (Cement and mixing water)

Araştırmada CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun yoğunluğu 3.12 kg/dm<sup>3</sup> dür. Beton karışımında şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

#### 2.1.2. PVA lif (PVA fiber)

Bu araştırmada kullanılan, PVA lifinin uzunluğu 6 mm, yoğunluğu 0,91(kg/dm<sup>3</sup>) ve elastisite modülü 3000-3500 MPa'dır. Lif miktarı karışım hacminin %1, 2 ve 3'ü oranında kullanılmıştır (Resim 1).



Şekil 1. Karışımda kullanılan PVA lifi (PVA fibers used in the mixture)

Çizelge 1. Çimento, uçucu kül ve silis kumuna ait teknik özellikler (Technical properties of cement, fly ash and silica sand)

Kimyasal Bileşimi(%)	PÇ 42,5	UK	SK
SiO <sub>2</sub>	20,7	46,74	99,31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,0	14,11	0,29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,4	9,74	0,05
CaO	63,6	13,82	0,05
MgO	2,6	3,91	-
SO <sub>3</sub>	2,1	3,94	-
Na <sub>2</sub> O	0,1	2,71	-
K <sub>2</sub> O	0,9	1,91	0,02
K.Kaybı	1,4	0,86	0,09
Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	3,12	2,45	2,65

### 2.1.3. Kimyasal katkı maddesi (Chemical admixture)

Kimyasal katkı (KK) maddesi olarak polikarboksilat esaslı hiperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Bu katkı maddesi, üretici firmanın önerisi doğrultusunda bağlayıcı (çimento, cüruf, uçucu kül, mikro silika vb) miktarına ve beton tasarımına göre değişmekle beraber, genel kullanım oranı olarak dozajın kütlece %1 ila 2 arasında olabileceği tavsiye edilmektedir. Kimyasal katkı maddesinin teknik özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Kimyasal katkının teknik özellikleri (Technical properties of chemical admixture)

Tip	Polikarboksilat
Görünüm	Açık kahve renkli sıvı
Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	1.06 ± 0.02
pH	5,00 ±2
Alkali İçeriği (%)	≤ 10 (TS EN 480-12)
Optimum dozaj (%)	1,2

### 2.1.4. Uçucu kül (Fly ash)

Karışımda kullanılan uçucu kül Çayırhan Termik Santrali’ne ait olup teknik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir. Çayırhan uçucu külü, reaktif kireç miktarının % 10’un altında olması nedeniyle TS EN 197-1[25] standardına göre V sınıfına (silissi uçucu kül) girmektedir. Yine ASTM C618 [26] standardına göre SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerinin % 70’in üzerinde olması nedeniyle F sınıfına (düşük kireçli) dahil olmakla birlikte, analitik CaO miktarının % 10’un üzerinde olması nedeniyle kireçsi kül sınıfına da girmektedir.

Buna göre, bu külün her iki uçucu kül sınıfı için de sınırdaki olduğu düşünülmüştür [27].

### 2.1.5. Silis kumu (Silica sand)

Çalışmada 400 mikron boyutundaki Pomza Export markalı silis kumu kullanılmıştır. Silis kumu bu firmanın Salihli Kaletepe’deki kum ocağından çıkarılmıştır.

### 2.2 Metot (Method)

Çimento harcı karışım tasarımındaki malzeme miktarları Çizelge 3’de verilmiştir. Tasarımda silis kumu, karışım suyu, kimyasal katkı maddesi ve su/bağlayıcı oranı sabit tutulmuştur. Karışımlarda kullanılan uçucu kül (UK) ikamesi çimento ağırlığının %0, %10, %15 ve %20 oranlarındadır. UK ikameli karışımlara hacimce %1, %2 ve %3 PVA lif ilave edilmiştir. Her bir karışım üzerinde taze harçlar için yayılma tablası deneyi TS EN 1015-3’e [28] göre, yapılmıştır. Üretilen karışımlardan basınç dayanım testi TS EN 12390-3’e [29] göre, eğilme dayanım testi TS EN 12390-5’e [30] ve rötre testi TS EN 12617-4’e[31] göre yapılmıştır.

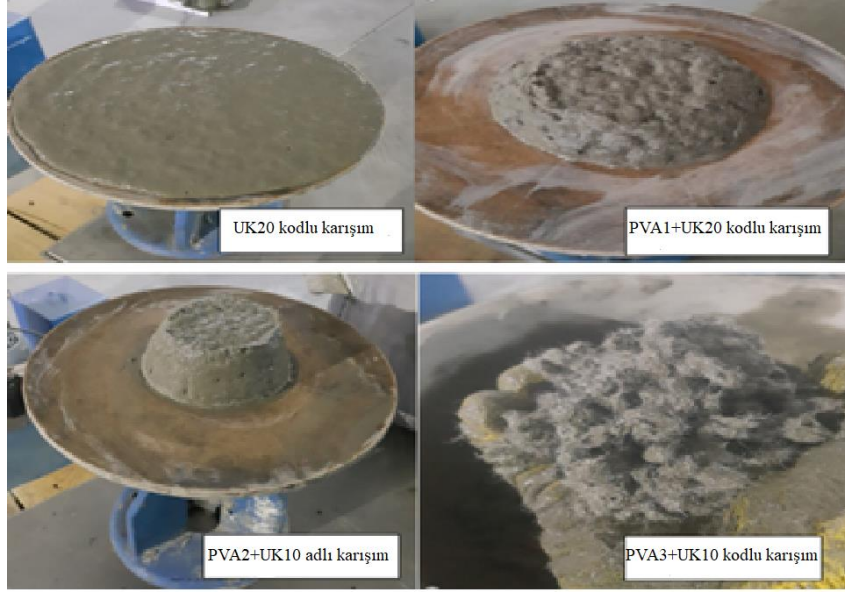
## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

### 3.1 Taze Çimento Harcının İşlenebilirlik Özelliği (Workability of Fresh Cement Mortar)

Yapılan bu çalışmada, farklı oranlardaki UK ve PVA lif muhtevasına göre üretilen çimento harçlarının işlenebilirlik değerlerinin bulunması için mini yayılma tablası deneyi yapılmıştır (Resim 2).

**Çizelge 3.** Araştırmada kullanılan malzemelerin karışım miktarları. (Mixtures of the materials used in the research.)

Karışım Kodları	Karışım Dizaynları					
	Çimento (kg/m <sup>3</sup> )	Silisli Kum (kg/m <sup>3</sup> )	Uçucu Kül (kg/m <sup>3</sup> )	Su (kg/m <sup>3</sup> )	Hiper akışkanlaştırıcı (kg/m <sup>3</sup> )	PVA Lif (kg/m <sup>3</sup> )
UK00(Kontrol)	928	596	0	354	19	0
UK10+ PVA0	836	596	93	354	19	0
UK15+ PVA0	787	596	142	354	19	0
UK20+ PVA0	743	596	186	354	19	0
PVA1+UK10	836	596	93	354	19	11,7
PVA1+UK15	787	596	142	354	19	11,7
PVA1+UK20	743	596	186	354	19	11,7
PVA2+UK10	836	596	93	354	19	23
PVA2+UK15	787	596	142	354	19	23
PVA2+UK20	743	596	186	354	19	23
PVA3+UK10	836	596	93	354	19	35
PVA3+UK15	787	596	142	354	19	35
PVA3+UK20	743	596	186	354	19	35



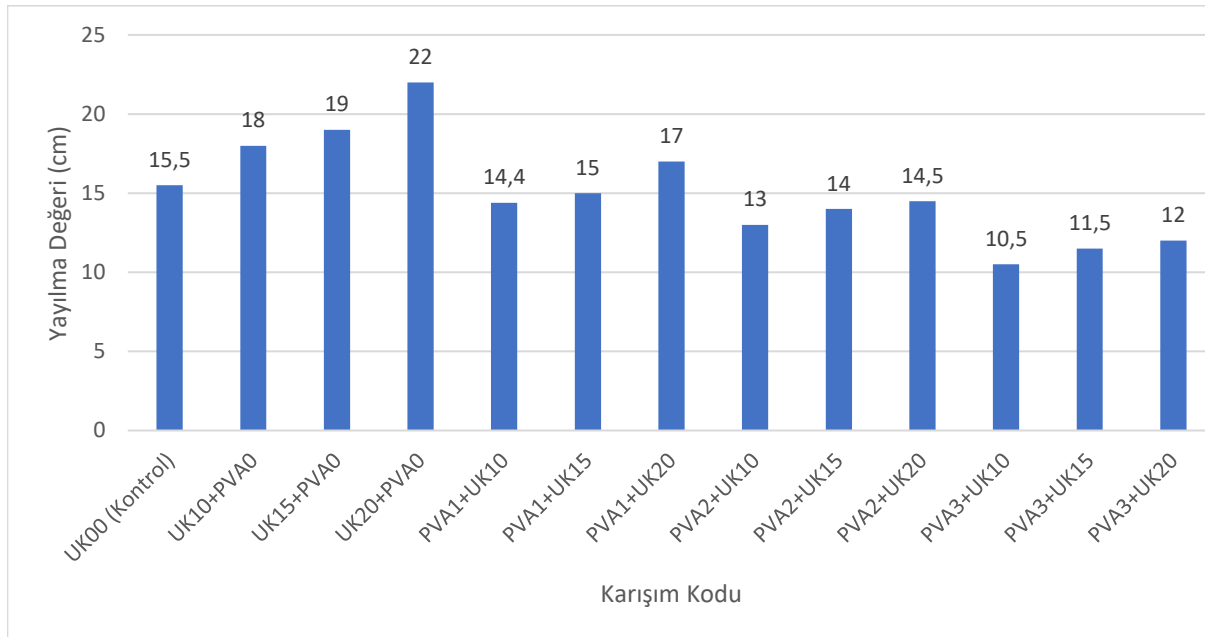
Şekil 2. Bazı karışımların yayılma resimleri (Flowtable test of some specimens)

Resim 2’de görüldüğü üzere uçucu kül oranı arttıkça işlenebilirliğin arttığı, PVA lif oranının artmasıyla işlenebilirliğin azaldığı görülebilmektedir. Özellikle UK20 kodlu karışımının diğer karışımlara oranla çok yüksek bir akıcılığa sahip olduğu görülürken, PVA3+UK10 kodlu karışımında PVA lif oranından kaynaklı topaklanmalar gözlemlenmiştir.

PVA1+UK20 kodlu karışımında gözle görülebilir bir yayılım elde edilirken, PVA2+UK10 kodlu karışımında nispeten kısıtlı yayılım gözlemlenmiştir.

Çalışmada kullanılan karışımların işlenebilirlik özelliği olan yayılma deneyi sonuçları Şekil 1 de grafik olarak verilmiştir

Şekil 1 incelendiğinde karışımlarda UK ikame oranı arttıkça yayılma çapının da arttığı görülmektedir. Bu yayılma çapları UK00 (kontrol) harcına göre UK10 %12,5, UK15 %18,75 ve UK20’de ise %37,5 oranında artmıştır. Karışımlarda UK ikame oranı ile yayılma çapı arasında pozitif bir ilişki olduğu söylenebilir. Karışımlarda PVA lif oranı arttıkça yayılma çapının azaldığı, PVA oranı ile yayılma çapı arasında negatif bir ilişki olduğu görülmüştür. Bütün PVA+UK karışımlarda UK oranı arttıkça yayılma artmıştır. Fakat lifli karışımların yayılma çapı değerlerinin, kontrol karışımının değerinden daha düşük olduğu Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 3. Karışımların yayılma değeri grafiği (Flowability values of mixtures.)

Çalışmada en yüksek yayılma UK20(%20 uçucu kül ikameli) numunelerinde 22 cm olarak ölçülmüştür ve kontrol karışımına göre %37,5 daha fazladır. En düşük yayılma çapı ise PVA3+UK10 kodlu karışımında 10,5 cm ölçülmüş olup kontrol karışımına göre % 34,4 oranında azalma meydana gelmiştir.

Karışımlarda PVA lif kullanıldığında Şekil 1 de görüldüğü gibi harcın yayılma miktarı azalmaktadır. PVA liflerin hidrofilik (suyu seven) özelliği sebebiyle karışımdaki suyu bünyesine çekerek uçucu kül ikamesinin oluşturduğu işlenebilirlik avantajını nötrlediği görülmüştür. Bu çalışmada liflerin işlenebilirliği olumsuz etkilediği tespit edilmiş olup bu durum literatüre paralellik göstermektedir.

### 3.2 Sertleşmiş Çimento Harcının Özellikleri

(Properties of Hardened Cement Mortar)

Sertleşmiş beton özelliklerinde basınç ve eğilme dayanımı yanında serbest rötesi de incelenmiştir.

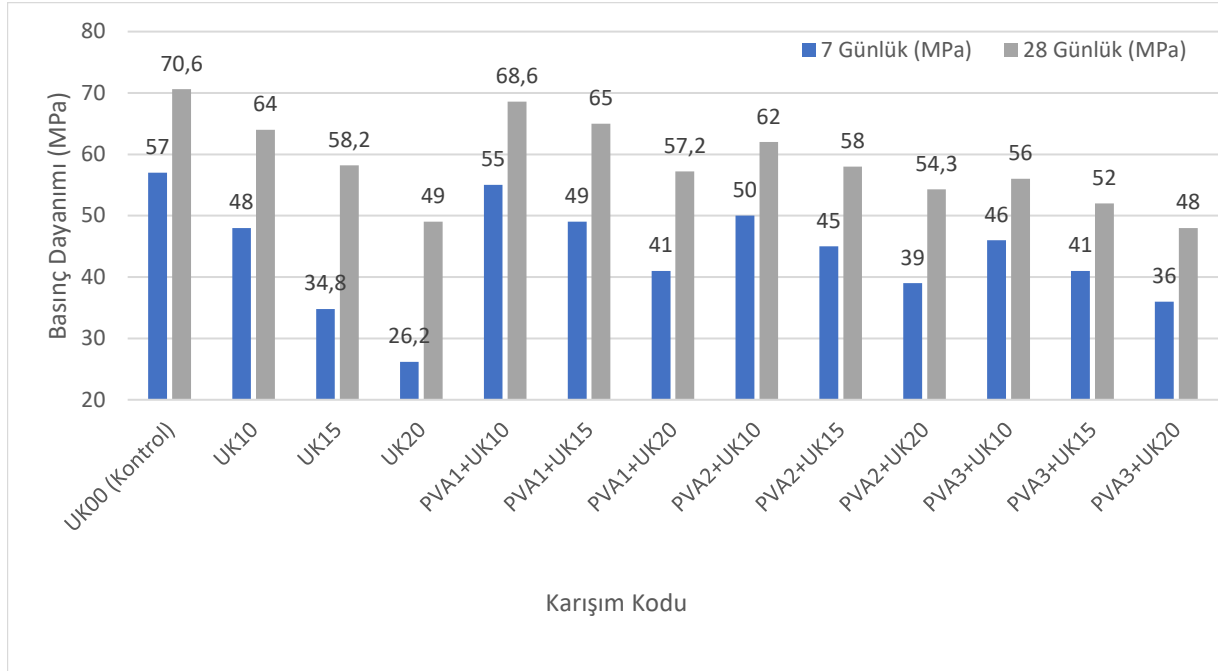
#### 3.2.1 Basınç dayanımı (Compressive strength)

UK ve PVA ilave edilerek hazırlanan çimento harçlarının 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının belirlenebilmesi için basınç dayanımı testleri yapılmıştır (Resim 3). Karışımların basınç dayanımına ait deney sonuçlarının aritmetik ortalaması ve standart sapma değerleri Çizelge 4’te verilmiştir. Çizelge 4 ve Şekil 2 incelenip analiz edildiğinde, test yaşı artıkça basınç dayanımı doğal olarak artmıştır.

Bütün UK ikameli karışımlarda, ikame oranı artıkça 7 ve 28 günlük basınç dayanımları azalmıştır. UK ikameli karışımlarda 28 gün sonunda en yüksek basınç dayanımı UK10 kodlu karışım elde etmiş ve UK00 kodlu karışımın basınç dayanım değerine göre %9,3 daha az olduğu görülmüştür. UK’li karışımlarda en düşük basınç dayanımı UK20’ den elde edilmiş ve UK00’a göre yaklaşık %31 oranında daha az olduğu belirlenmiştir.

**Çizelge 4.** Çimento harçlarının ortalama basınç dayanımları ve standart sapma değerleri. (Average compressive strength and standard deviation values of cement mortars.)

Karışım Kodları	Basınç Dayanımı (MPa)				
	7 Günlük	Standart Sapma	28 Günlük	Standart Sapma	
UK00 (Kontrol)	57	1,33	70,6	1,04	
UK10+ PVA0	48	2,34	64	2,51	
UK15 +PVA0	34,8	0,22	58,2	2,82	
UK20+ PVA0	26,2	1,39	49	1,35	
UK10	PVA0	48	2,34	64	2,51
	PVA1	55	1,21	68,6	0,07
	PVA2	50	1,37	62	2,73
	PVA3	46	0,19	56	0,54
UK15	PVA0	34,8	0,22	58,2	2,82
	PVA1	49	2,38	65	1,26
	PVA2	45	2,74	58	0,71
	PVA3	41	0,59	52	2,45
UK20	PVA0	26,2	1,39	49	1,35
	PVA1	41	1,73	57,2	1,04
	PVA2	39	0,4	54,3	0,74
	PVA3	36	0,8	48	0,04



Şekil 4. Çimento harc karışımlarının basınç dayanım grafiği. (Compressive strength graph of cement mortar)

Genel olarak PVA lifli karışımlar incelenip analiz edildiğinde, PVA lif oranı arttıkça hem 7 gün hem de 28 günlük basınç dayanım değerleri azalmaktadır. Basınç dayanımı ile yayılma çapı arasında kesin bir ilişki olduğu bilinmektedir. Bundan dolayı PVA lif oranı arttıkça yayılmanın azaldığı Şekil 1’de görülmektedir. Bunun nedeni, karışımın kalıba yerleştirme ve sıkıştırma zorluğundan kaynaklandığı bilinmektedir. 28 günlük basınç dayanımları analiz edilirse; UK10 kodlu karışıma %1 PVA lifi ilave edildiğinde basınç dayanımı yaklaşık % 7 artmıştır. Aynı karışıma %2 ve %3 lif ilave edildiğinde ise basınç dayanımında sırasıyla yaklaşık % 3 ve % 14’lük bir azalma meydana gelmiştir.

UK ikame oranı %15 olan karışıma (UK15), %1 PVA lif ilave edildiğinde basınç dayanımı yaklaşık %12 artmıştır. Aynı karışıma %2 lif ilave edildiğinde ise basınç dayanımında yaklaşık % 0.34, %3 lif ilave edildiğinde ise % 11 azalma meydana gelmiştir.

%20 uçucu kül ikameli (UK20) karışıma %1 ve %2 lif eklendiğinde basınç dayanımında sırasıyla yaklaşık %17 ve % 11’lik artış meydana gelir iken, %3 lifli karışımda ise basınç dayanımı % 2 azalmıştır.

Çizelge 4 incelendiğinde, 7 ve 28 günlük numunelerde aynı uçucu kül oranına sahip numunelerin farklı PVA oranlarındaki karışımlarının analizi yapıldığında:

Her uçucu kül ikameli karışıma, %1 oranında lif ilave edildiğinde basınç dayanımında artış meydana gelmiştir. Fakat lif oranı arttıkça ilk lif oranı ile elde edilen karışımların basınç dayanımı azalmaktadır. Bunun nedeninin işlenebilirlikten kaynaklandığı (yayılma çapı ile ilişkilendirilebilir) söylenebilir. Yani PVA lif oranı arttıkça harcın basınç dayanımında azalma meydana gelmiştir. Buna göre, lifli harc karışımlarında en yüksek basınç dayanımı %10 uçucu kül ikameli %1 PVA lif katkılı numunelerde 68,6 MPa olarak bulunmuştur.



Şekil 5. Numunelerin basınç dayanım testi (Compressive strength test of samples)

### 3.2.2 Eğilme dayanımı (Flexural strength)

Çalışmada, eğilme dayanımı özelliğini belirlemede bütün karışımlar 7 ve 28 gün sonunda eğilme dayanımı testine tabi tutulmuştur (Resim 4).

Genel olarak, liffsiz karışımlarla elde edilen numunelerin eğilme dayanımı testi sonucunda gevrek kırılma neticesinde iki parçaya ayrılma gözlenmiştir. Lifli karışımlarda ise PVA lif oranı arttıkça beklenildiği gibi eğilme dayanımı artmıştır. Lifli karışımlarda kırılma meydana geldikten sonra numune ikiye bölünerek ayrılmamaktadır (Resim 4).

Eğilme dayanımı deney sonuçlarına ait aritmetik ortalamalar ve standart sapma değerleri aşağıdaki Çizelge 5 ve Şekil 3’te verilmiştir.

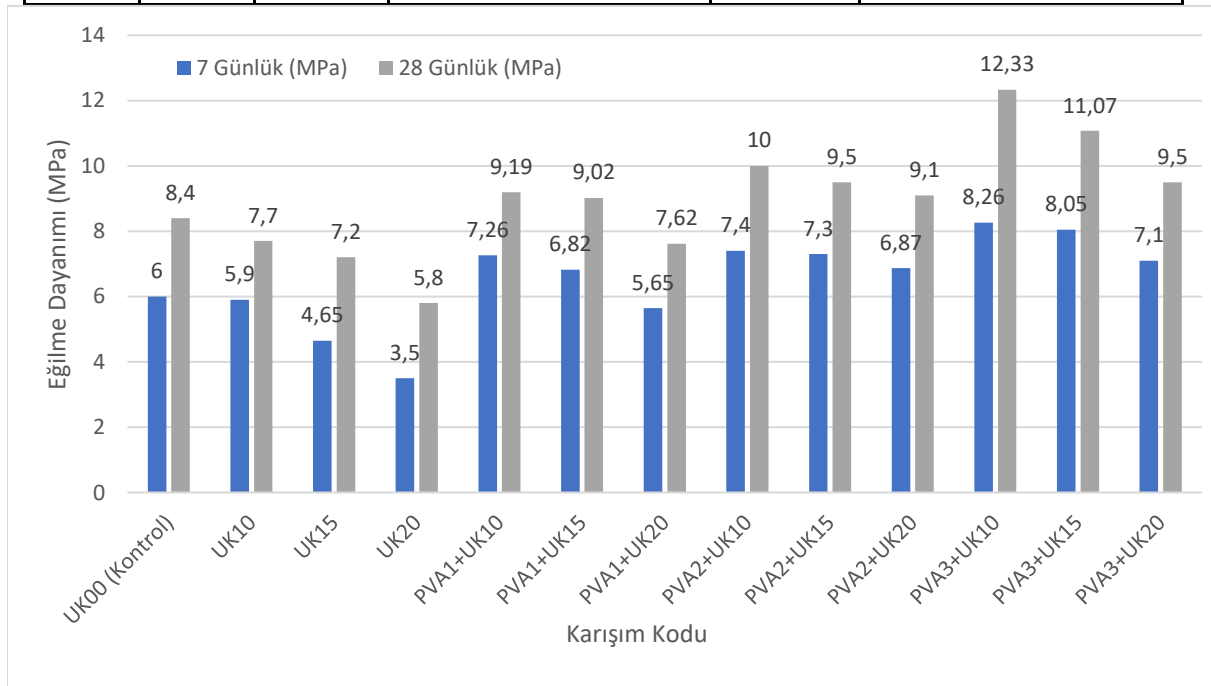




Şekil 6. Numunelerin eğilme dayanım testi (Flexural strength test of samples)

Çizelge 5. Eğilme deneyi test sonuçları ve bu numuneler üzerindeki standart sapma değerleri. (Flexural strength test results and standard deviation values on these samples.)

Karışım Kodları	Eğilme Dayanımı (MPa)				
	7 Günlük	Standart Sapma	28 Günlük	Standart Sapma	
UK00 (Kontrol)	6	2,13	8,4	1,47	
UK10+PVA0	5,9	2,92	7,7	2,6	
UK15+ PVA0	4,65	2,85	7,2	1,12	
UK20+ PVA0	3,5	0,45	5,8	0,74	
UK10	PVA0	5,9	2,92	7,7	2,6
	PVA1	7,26	0,18	9,19	0,56
	PVA2	7,4	2,62	10	1,58
	PVA3	8,26	2,03	12,33	1,83
UK15	PVA0	4,65	2,85	7,2	1,12
	PVA1	6,82	1,55	9,02	2,65
	PVA2	7,3	2,23	9,5	1,75
	PVA3	8,05	2,15	11,07	1,73
UK20	PVA0	3,5	0,45	5,8	0,74
	PVA1	5,65	0,88	7,62	2,38
	PVA2	6,87	0,42	9,1	2,08
	PVA3	7,1	2,82	9,5	0,84



Şekil 7. Çimento harç karışımlarının eğilme dayanım grafiği. (Flexural strength graph of cement mortar mixtures.)

Çizelge 5 ve Şekil 3 incelenip analiz edilirse: 7 ve 28 günlük UK ikameli numunelerin kendi aralarında kıyaslanması sonucunda UK00 (kontrol) en yüksek eğilme dayanım değerini verirken, en düşük eğilme dayanımı ise UK20 numunelerden elde edilmiştir. Yani UK ikame oranı arttıkça eğilme dayanımı düşmüştür. Uçucu kül, karışımın hidrasyon hızını yavaşlatması nedeniyle eğilme dayanımını düşürmüştür.

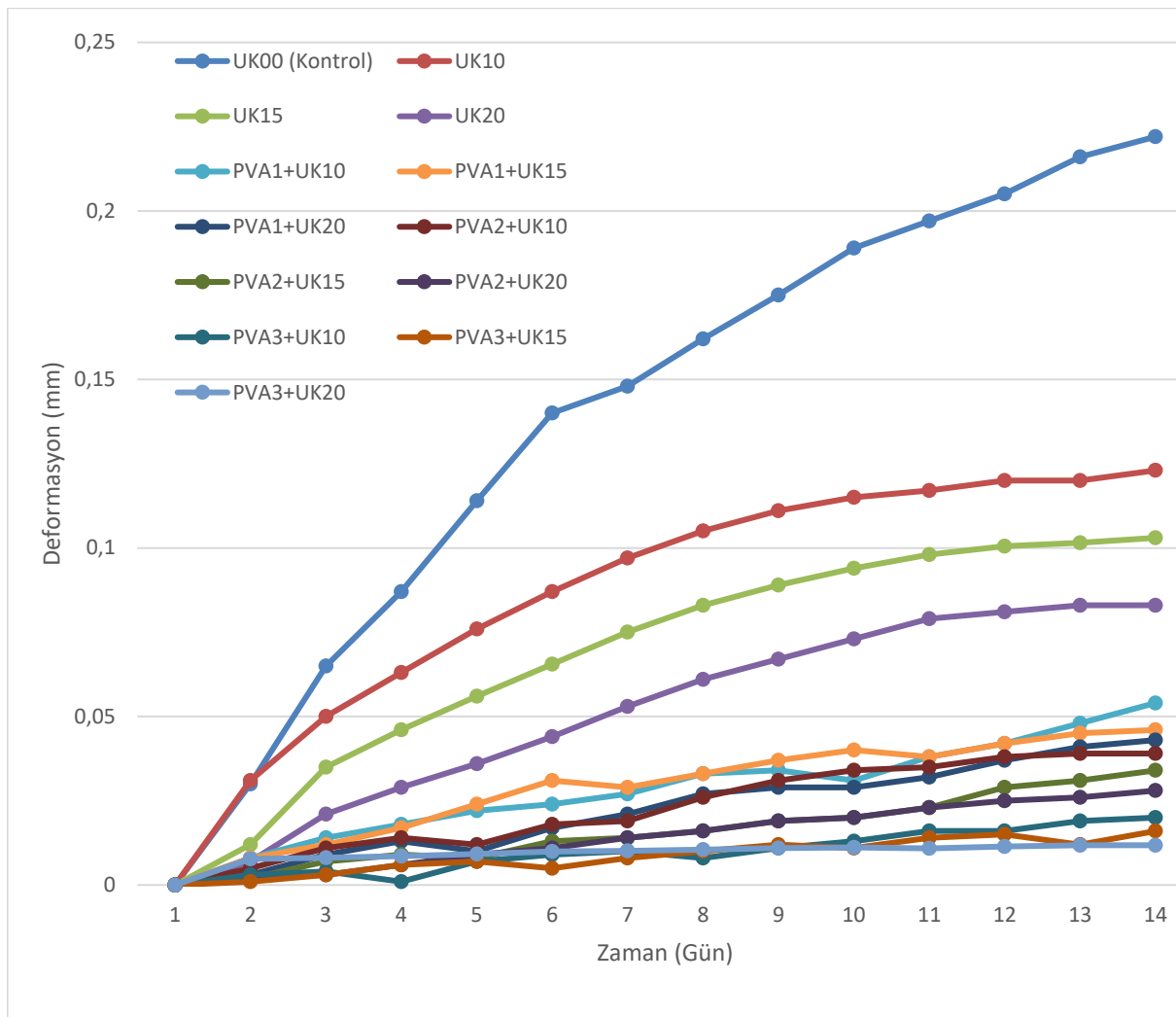
UK ikameli numuneler kendi aralarında incelendiğinde, UK00'ın (kontrol) en yüksek eğilme dayanımına sahip olduğu görülmektedir. UK ikame oranı arttıkça basınç dayanımında olduğu gibi eğilme dayanımı da azalmaktadır. Numunelerin 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları ile UK ikame oranı arasında ters ilişki olduğu görülmektedir.

Lifli ve genel eğilme dayanımları incelendiğinde en yüksek değerlere %3 PVA lif katkı %10 uçucu kül ikameli karışım sahip olmuştur. Lifli karışımlar incelendiğinde ise en yüksek dayanıma %3 PVA lifli grup ulaşmıştır.

Şekil 3'te görüldüğü üzere, 7 ve 28 günlük % 10, %15 ve % 20 uçucu kül ikameli karışım numuneleri incelendiğinde, PVA lif oranının artmasıyla harcın eğilme dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Standart sapma bakımından değerlerin tutarlı olduğu görülmüştür.

### 3.2.3 Serbest rötme (Free shrinkage)

Çalışmadaki numunelerin durabilite özellikleri hakkında bilgi sahibi olabilmek için 25x25x285 mm boyutlarındaki harc çubuklarının 14 günlük boy değişimi incelenmiştir



Şekil 8. Karışımların serbest rötme grafiği. (Free shrinkage graph of mixtures.)

UK ikameli karışımlara PVA lif ilave edildiğinde eğilme dayanımının arttığı görülmektedir (Çizelge 5).

UK10 karışımına %1, %2 ve %3 oranlarında PVA lifi ilave edildiğinde eğilme dayanımlarında 7 günlük değerleri için sırasıyla %23, 25 ve 40 artış gözlenmişken bu değerler 28 günlük numuneler için %19, 30 ve 60 oranında belirlenmiştir.

Numunelerin boy değişimi Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4 incelenip analiz edildiğinde en yüksek boy değişimi UK00(kontrol) harc çubuklarında ölçülmüştür. En düşük boy değişimi ise PVA3+UK20 karışımından üretilen harc çubuğunda ölçülmüştür

Lifsiz karışımlardan üretilen harç çubuklarında UK ikame oranı artıkça boy değişimi azalmıştır. UK ikame oranı ile boy değişimi arasında ters bir orantı bulunmaktadır. Karışımda çimento yerine çimentodan daha iri taneye sahip olan uçucu küllerin ikamesi ile harç çubuklarının boy değişiminin azaldığı söylenebilir.

PVA lifli karışimli harç çubukları kendi aralarında karşılaştırılıp incelenir ise, lif miktarı artıkça harç çubuğunun boyunda meydana gelen değişimin azaldığı görülmüştür. Kısacası, lif oranı ile boy değişimi arasında ters bir orantı söz konusudur.

Bütün karışımlardaki boy değişiminin literatüre paralel olduğu görülmüştür.

### 3.3. Bulguların İstatistiksel Değerlendirmesi (Statistical Evaluation of the Findings)

Araştırmadaki faktör sayısı ve seviyeleri artıkça optimum koşulun saptanması oldukça zorlaşabilir. Bu araştırmada yapılan deneyler sonucunda, farklı karışımların farklı test gruplarında değişik sonuçlara sahip olduğu görülmüştür. Bundan dolayı, optimum koşulun saptanabilmesi için Dr. Genichi Taguchi tarafından bir dizi fonksiyon geliştirilmiştir.

Problemin çözümünde 2 faktör (uçucu kül ve PVA lif oranı) ve her faktör için 4 seviye (UK: %0,10,15,20 / PVA: %0,1,2,3) olduğundan dolayı Taguchi Metoduna göre L16 ortogonal dizisi kullanılmıştır (Çizelge 6). Fakat bu çalışmada UK00 (kontrol) harcı için başka faktör ve seviye olmadığı için deney dizisi 16'dan 13'e

düşmüştür. Deney dizilerinin uygulanış sırası aşağıda Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7'de her deney, faktör ve seviyesine göre temsili olarak gösterilmiştir. Test sonuçları kalite karakteristiğine göre "en büyük değer en iyidir" mantığına göre formül (1) ile hesaplanmıştır.

Eğilme dayanımı, basınç dayanımı ve işlenebilirlik için değerlerin büyük olması bu çalışma için olumlu bir durumu ifade ederken, serbest rötre deneyi için bu durum tam tersidir. Yani istenilen serbest rötre deneyi sonuçlarına göre en düşük değer en olumlu sonucu verir. Fakat bu ifadeyi Taguchi Metodu'na uygulayabilmek için değerler "1/R" şeklinde ters orantılı şekilde verilmiştir

$$S/N_L = -10 \text{Log} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1)$$

Burda  $S/N_L$  sinyal/gürültü oranı olarak (S / N birimi: dB)olarak tanımlanan performans istatistiği olup, n her deney için yapılan tekrar sayısıdır.  $y_i$  ifadesi ise i sayısındaki deneyin performans değerini verir. Çalışmada elde edilen eğilme dayanımları, basınç dayanımları, işlenebilirlik ve serbest rötre değerlerinin faktörlere bağlı sonuçları ve bu sonuçlara bağlı olan S/N değerleri Çizelge 8 ve Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 6. Faktörler ve seviyeler (Factors and levels)

Faktör	Seviye			
	0	1	2	3
UK oranı (%)	0(A1)	10(A2)	15(A3)	20(A4)
Lif oranı (%)	0(B1)	1(B2)	2(B3)	3(B4)

Çizelge 7. L16 ortogonal dizisine göre tasarım (Design according to L16 orthogonal array)

Deney kodu	UK	PVA
1	0	0
2	1	0
3	1	1
4	1	2
5	1	3
6	2	0
7	2	1
8	2	2
9	2	3
10	3	0
11	3	1
12	3	2
13	3	3

Çizelge 8. L16 ortogonal dizisinde ifade edilen deney sonuçları (Experimental results expressed in the L16 orthogonal array)

Deney Kodu	FAKTÖRLER		Eğilme Dayanımı (MPa)		Basınç Dayanımı (MPa)		İşlenebilirlik (cm)	Rötre (1/R) (1/µm)
	UK oranı	PVA oranı	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	-	14 gün
1	A1	B1	6	8,4	57	70,6	16	4,5
2	A2	B1	5,9	8	48	64	18	8,13
3	A2	B2	7,26	9,19	55	68,6	14,4	18,52
4	A2	B3	7,4	10	50	62	13	25,64
5	A2	B4	8,26	12,33	46	56	10,5	50
6	A3	B1	4,65	7,6	34,8	58,2	19	9,71
7	A3	B2	6,82	9,02	49	65	15	21,74
8	A3	B3	7,3	9,5	45	58	14	29,41
9	A3	B4	8,05	11,07	41	52	11,5	62,5
10	A4	B1	3,5	5,8	26,2	49	22	12,05
11	A4	B2	5,65	7,62	41	57,2	17	23,26
12	A4	B3	6,87	9,1	39	54,3	14,5	35,71
13	A4	B4	7,1	9,5	36	48	12	84,75

Çizelge 9. Deney sonuçlarına bağlı S/N değerleri (S / N values depending on the test results)

Deney Kodu	Faktörler		S/N Değeri (Eğilme)	S/N Değeri (Basınç)	S/N Değeri (İşlenebilirlik)	S/N Değeri (Rötre (1/R))
1	A1	B1	21,546	40,711	24,082	17,879
2	A2	B1	21,304	39,459	25,105	23,017
3	A2	B2	22,885	40,424	23,167	30,168
4	A2	B3	23,261	39,576	22,279	32,993
5	A2	B4	24,502	38,789	20,424	38,794
6	A3	B1	19,741	37,277	25,575	24,559
7	A3	B2	22,485	39,623	23,522	31,560
8	A3	B3	23,024	38,791	22,923	34,185
9	A3	B4	24,045	37,929	21,214	40,732
10	A4	B1	17,306	35,047	26,848	26,435
11	A4	B2	20,911	38,228	24,609	32,147
12	A4	B3	22,553	37,788	23,227	35,871
13	A4	B4	22,871	36,961	21,584	43,378

Eğilme dayanımına ait bir test sonucunun S/N değerinin örnek bir hesaplaması aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$S/N = -10 \log\left(\frac{1}{6} \left(\frac{1}{5,9^2} + \frac{1}{8^2}\right)\right) = 21,304$$

Tüm sonuçlar aynı formülasyonla S/N değerlerine dönüştürülebilir. Eğilme ve basınç dayanımları

hesaplanırken 7 ve 28 günlük numunelerden 3'er tane test edildiği için formüldeki "n" yerine 6 yazılmıştır. Bu değer işlenebilirlik için "1" iken, serbest rötre için "3" olarak alınmıştır. Eğilme dayanımı, basınç dayanımı, işlenebilirlik ve serbest rötre için ortalama S/N değerleri Çizelge 10'da verilmiştir.

**Çizelge 10.** Faktör ve seviyelere ait ortalama S/N değerleri (Average S / N values of factors and levels)

Seviye	S/N Değeri (Eğilme)		S/N Değeri (Basınç)		S/N Değeri (İşlenebilirlik)		S/N Değeri (Rötre (1/R))	
	UK(A)	PVA(B)	UK(A)	PVA(B)	UK(A)	PVA(B)	UK(A)	PVA(B)
1. Seviye	21,546	19,974	40,711	38,123	24,082	25,403	17,879	22,972
2. Seviye	22,988	22,094	39,562	39,425	22,744	23,766	31,243	31,292
3. Seviye	22,324	22,946	38,405	38,718	23,308	22,810	32,759	34,350
4. Seviye	20,910	23,806	37,006	37,893	24,067	21,074	34,457	40,968

Çizelge 10’da bulunan S/N değerleri Çizelge 4.8’e göre hesaplanmıştır. Bu hesaplama göre, her bir test grubu içindeki faktörlere bağlı seviye değişkeni toplanarak ortalaması alınır. Örneğin A1 kodlu değişkenin Çizelge 9’da bulunan eğilme değer ortalaması (tek bir deney grubu içinde yer alması sebebiyle) 21,546 olarak hesaplanmıştır. Yine aynı şekilde B1 için eğilme test grubundaki değerleri ortalaması (1,2,6,10 no’lu deney kodları için) 19,974 olarak bulunmuştur. Diğer kodlu numuneler içinde aynı işlem yapılmıştır.

Taguchi Metodu kullanılarak her bir test için en uygun karışım metodu “en büyük değer en iyidir” varsayımı kullanılarak tespit edilmiştir. Buna göre, A2-B4 deneyi yani UK10+PVA3 kodlu karışım, eğilme dayanımı söz konusu olduğunda en optimum karışımdır. Diğer değerler göz önünde tutulduğunda basınç dayanımı için UK00 (kontrol) kodlu karışım, işlenebilirlik anlamında UK20+PVA0 kodlu karışım ve serbest rötre testi için UK20+PVA3 kodlu karışım en optimum karışım değerlerine sahiptir. Fakat yapılan çalışmanın hedefi bütün testler için bir tek karışımın ifade edilmesini

gerektirdiğinden, mevcut değerlere bakılarak faktör ve seviyelerin kombinasyonu içinde en yüksek S/N değerinin esas alınması ve bu değer çalışmanın hedefindeki optimum karışımı ifade ettiği belirtilmiştir. Çizelge 11’de bu kombinasyonlar belirtilmiştir.

Yukarıda Çizelge 11’de gösterildiği üzere, Taguchi Metodu’nun ana ifadesi olan “en büyük değer en iyidir” kapsamında A3+B4 deneyini ifade eden UK15+PVA3 kodlu karışım 240,537 ile en yüksek S/N değerine sahip olarak yapılan 4 deney içindeki en optimum karışım olduğu belirtilmiştir

#### 4. SONUÇLAR (RESULTS)

Çalışmada, harç karışımının maliyetini azaltmak ve harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileşme sağlayabilmek amacı ile çimento yerine ağırlıkça %0, %10, %15 ve %20 oranlarında UK ikame edilerek etkisi araştırılmıştır. Bu UK ikameli karışımlara %1, %2 ve %3 oranında PVA lif ilave edilerek işlenebilirlik, basınç, eğilme ve rötre özellikleri incelenmiştir.

**Çizelge 11.** Karışımların toplam S/N değerleri (Total S / N values of mixtures)

Karışım	$\sum$ S/N Değeri (Eğilme)	$\sum$ S/N Değeri (Basınç)	$\sum$ S/N Değeri (İşlenebilirlik)	$\sum$ S/N Değeri (Rötre (1/R))	En büyük S/N değeri
A1+B1	41,519	78,834	49,141	40,852	210,346
A1+B2	43,639	80,136	47,573	49,171	220,518
A1+B3	44,492	79,429	46,616	52,229	222,765
A1+B4	45,352	78,603	44,880	58,847	227,683
A2+B1	42,962	77,686	48,078	54,215	222,941
A2+B2	45,082	78,987	46,510	62,535	233,113
A2+B3	45,934	78,280	45,553	65,593	235,360
A2+B4	46,794	77,455	43,818	72,211	240,278
A3+B1	42,298	76,528	48,642	55,732	223,200
A3+B2	44,418	77,830	47,074	64,051	233,372
A3+B3	45,270	77,123	46,118	67,109	235,619
A3+B4	46,130	76,297	44,382	73,727	<b>240,537</b>
A4+B1	40,884	75,129	49,401	57,430	222,844
A4+B2	43,004	76,431	47,833	65,749	233,017
A4+B3	43,856	75,724	46,877	68,807	235,264
A4+B4	44,716	74,898	45,141	75,426	240,181

1. Karışımların işlenebilirlik özelliği yayılma çapına göre değerlendirilerek, UK oranının artmasıyla yayılma çapı da artmıştır. UK işlenebilirliğe olumlu katkı sağlamıştır. PVA lifleri ise harcın yayılmasını yani işlenebilirliği azaltmaktadır.
2. UK ikameli karışımlarda 7 ve 28 günde en yüksek basınç dayanımı UK10 kodlu karışımdan elde edilmiş ve UK00(kontrol) numunesinden %4 daha az bir değere sahip olduğu saptanmıştır. En düşük basınç dayanımı UK20'den elde edilmiş ve bu da UK00 (kontrol) karışımdan yaklaşık %31 daha düşük bir değerdir.
3. UK10 karışımına %1 PVA lif ilave edildiğinde basınç dayanımında yaklaşık %7 artış gözlenmiştir. Aynı karışıma %2 ve %3 lif ilave edildiğinde ise basınç dayanımında sırasıyla yaklaşık % 3 ve % 13'lük bir azalma meydana gelmiştir.
4. UK ikame oranı %15 olan karışıma (UK15), %1 PVA lif ilave edildiğinde basınç dayanımında yaklaşık %12 artış olmuştur. Aynı karışıma %2 lif ilave edildiğinde basınç dayanımında yaklaşık % 0.34 ve %3 lif ilavesinde ise %11'lik azalma meydana gelmiştir.
5. Eğilme dayanımı incelendiğinde, UK ikameli karışımlarda en yüksek eğilme dayanımı UK00(Kontrol) numunelerinden elde edilmiştir. UK ikame oranı artkça basınç dayanımında olduğu gibi azalma görülmüştür.
6. UK ikameli karışımlara PVA lif ilave edildiğinde eğilme dayanımının arttığı görülmektedir. UK10 karışımına %1, %2 ve %3 PVA lifi ilave edildiğinde eğilme dayanımı 7 günlük numunelerde sırasıyla %23, 25 ve 40 artarken, 28 günlük numunelerde ise sırasıyla %19, 30 ve 60 oranında artış meydana gelmiştir.
7. En yüksek eğilme dayanım değerini %3 PVA lif katkılı %10 uçucu kül ikameli karışım vermiştir. Lifli karışımlarda en yüksek eğilme dayanımını %3 PVA lifli karışımlar vermiştir.
8. Harç çubuklarında boy değişimi incelendiğinde, lifsiz karışımlar için UK ikame oranının artmasıyla boy değişiminin azaldığı görülmüştür. UK ikame oranı ile boy değişimi arasında ters orantı olduğu saptanmıştır.
9. PVA lifli karışimli harç çubukları incelendiğinde, lif miktarının artmasıyla birlikte harç çubuğunun boyunda meydana gelen değişimin azaldığı görülmüştür.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Muhammed Talha ÜNAL:** Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

**Osman ŞİMŞEK:** Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Rossi,P., "Steel Fiber Reinforced Concrete An Example of French Research", *ACI, Materials Journal*, 91 (3): 3, (1994).
- [2] Barr, B.I.G., Liu, K. and Dowers, R.C.A., "Toughness Index measure the linergy absorption of fibre reinforced concrete", *Int. J. Cement Composites and Lightweight Concrete*, 4(4): 221- 227, (1982).
- [3] Falkner, H.,Huang, Z., Teutsch, M., "Comparative Study of Plain and Steel Fibre Reinforced Concrete Ground Slabs", *Concrete International*, 45-51, USA, January, (1995).
- [4] Craig, R. J. Parr, J. A. Germain, E. Mosquera, V. Kamilares, S. "Fiber Reinforced Beams in Torsion", *ACI Journal*, Nov-Dec (1986)
- [5] Şimşek, S., "Lifli Beton Üzerine Bir Çalışma", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Haziran, (1997).
- [6] Korkut, F., Türkmenoğlu, Z.F. Taymuş, R.B., Güler, S., "Çelik ve Sentetik Liflerin Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze Ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi", *ÖHÜ Müh. Bilim. Derg. / OHU J. Eng. Sci.*, 6(2): 560-570, (2017).
- [7] Folliard, K., Sutfin, D., Turner, R., Whitney, D.P., "Fiber in Continuously Reinforced Concrete Pavements", *Final Report Submitted to the Texas Department of Transportation*, Report No.0-4392-2, (2006).
- [8] Hasan, M.J., Afroz, M., And Mahmud, H.M.I., "An Experimental Investigation on Mechanical Behavior of Macro Synthetic Fiber Reinforced Concrete", *International Journal of Civil Environmental Engineering*, 11: 121-12, (2011).
- [9] Richardson, A.E., Coventry, K. Landless, S., "Synthetic and Steel Fibers in Concrete with Regard to Equal Toughness", *Structural Survey*, 28, 355-369, (2010).
- [10] Roesler, J.R., Altoubat, S.A., Lange, D. A., Rieder, K.-A., Ulreich, G.R., "Effect of Synthetic Fibers on Structural Behavior of Concrete Slabs on Ground", *ACI Materials Journal*, 103: 3-10, (2006).
- [11] Uğurlu, A., "Çelik Lifle Güçlendirilmiş Beton", *DSİ Teknik Bülteni*, 80, Ankara, (1994).
- [12] Kozanoğlu, C., "İnşaatlarda Yeni Gelişen Bir Teknoloji: Polipropilen Elyafı Betonarme Uygulaması", *Panel*, (1991).
- [13] Kiper, M., "Polipropilen Liflerin Özellikleri ve Kullanım Olanakları", *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni*, 64, İzmir, (1996).
- [14] Yehia, S., Douba, A., Abdullahi, O., Farrag, S., "Mechanical and Durability Evaluation of Fiber-Reinforced Self-Compacting Concrete", *Construction and Building Materials*, 121, 120-133, (2016).

- [15] Arslan, A., "Çelik Lifli Betonların Özellikleri ve Kullanım Potansiyeli", *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı369, (1993).
- [16] Akkaş, A., Alpaslan, L., Arabacı, S., Başyigit, C., "Polipropilen Lif Katkılı Yarı Hafif Betonların Basınç Dayanımı Özellikleri", *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü*, Ocak, Isparta, (2010).
- [17] Yaprak H., Şimşek O., ve Öneş A., "Cam ve Çelik Liflerin Bazı Beton Özelliklerine Etkisi", *Politeknik Dergisi*, 7(4): 353-358, (2004).
- [18] Tokyay M., Ramyar, K., Turanlı L., "Polipropilen ve Çelik Lifli Yüksek Dayanımlı Betonların Basınç ve Çekme Yükleri Altındaki Davranışları" **2. Ulusal Beton Kongresi: Yüksek Dayanımlı Beton**, 303-320, İstanbul, Mayıs, (1991).
- [19] Şimşek, O., Erdal, M., Sancak, E., "Silis dumanının çelik lifli betonun eğilme dayanımına etkisi" *GÜ. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(2): 211-216, (2005).
- [20] Çivici, F., Eren, İ., "Çelik Lifli Betonun Direkt Çekme Dayanımının Ölçülmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma", *Türkiye Mühendisli Haberleri*, 434, Balıkesir, (2004).
- [21] Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü., Mordoğan, H., "Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları", *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı*, IMCET2Q05. İzmir, Türkiye, 09-12 Haziran (2005).
- [22] Aruntaş, H.Y., "Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli" *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 21(1): 193-203, (2006).
- [23] Şimşek, O., "Beton ve Beton Teknolojisi", *Seçkin Yay. San. ve Tic. A.Ş.*, Ankara, 5. Baskı, 50,62, (2016).
- [24] Şengül Ü., "Uçucu Kül ve Çevresel Etkileri", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1): 89-104, (2001).
- [25] TS EN 197-1, "Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri", *Türk Standartları Enstitüsü*, (2012).
- [26] ASTM C618, "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete", *American Society for Testing and Materials*, (2019).
- [27] TÇMB/AR-GE/Y03.03, "Türkiye'deki uçucu küllerin sınıflandırılması ve özellikleri", *Türkiye Çimento Müstahsilileri Birliği AR-GE Enstitüsü*, Ankara, (2009)..
- [28] TS EN 1015-3, "Kagir harcı- Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayılma tablası ile)", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2000).
- [29] TS EN 12390-3, "Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2019).
- [30] TS EN 12390-5, "Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2019).
- [31] TS EN 12617-4 "Beton yapılar - Koruma ve tamir için mamul ve sistemler deney yöntemleri - Bölüm 4: Büzülme ve genişlemenin tayini", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2013).