



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Farklı kimyasal katkıların mineral katkılı taze ve sertleşmiş harç özelliklerine etkisi

Effect of different chemical admixtures on fresh and hardened properties of mortar with mineral additives

Yazar (Author): Emin ŞENGÜN¹

ORCID¹: 0000-0001-7082-0061

To cite to this article: Şengün E., “Farklı kimyasal katkıların mineral katkılı taze ve sertleşmiş harç özelliklerine etkisi”, *Journal of Polytechnic*, 26(2): 503-517, (2023).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Şengün E., “Farklı kimyasal katkıların mineral katkılı taze ve sertleşmiş harç özelliklerine etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 26(2): 503-517, (2023).

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

DOI: 10.2339/politeknik.992277

Farklı Kimyasal Katkıların Mineral Katkılı Taze ve Sertleşmiş Harç Özelliklerine Etkisi

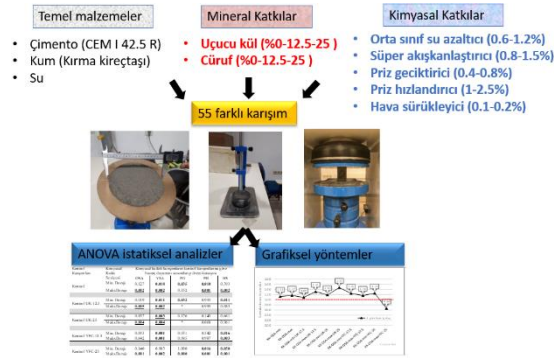
Effect of Different Chemical Admixtures on Fresh and Hardened Properties of Mortar with Mineral Additives

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Mineral katkılı karışımlarda kimyasal katkı kullanımı, katkısız karışımlardan daha farklı sonuçlara yol açarken bu durum en fazla cürüflü karışımlarda gözlemlenmiştir. / The use of chemical additives in blended mixtures led to different results than mixtures without additives, especially in slag mixtures.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Mineral katkılı karışımlara ait taze ve sertleşmiş harç özelliklerine kimyasal katkıların etkisinin araştırılması / Investigation of the effect of chemical additives on the fresh and hardened mortar properties of mineral additive mixtures.



Şekil. Deneysel çalışma özeti /Figure. Summary of experimental study

Amaç (Aim)

Bu çalışmanın amacı mineral katkılı karışımların taze ve sertleşmiş özelliklerine farklı tipteki kimyasal katkıların etkisinin araştırılmasıdır. / The aim of this study is to investigate the effect of different type of chemical admixtures on fresh and hardened properties of mortar with mineral admixtures.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Farklı tip ve oranlardaki mineral ve kimyasal katkı ile 55 farklı karışım hazırlanmış, üzerlerinde akıcılık, priz süresi testi ve basınç dayanım testleri uygulanmış, sonuçlar ANOVA analizi ve grafiksel yöntemler ile tahkik edilmiştir. / Flowability, setting time and compressive strength values are carried out on specimens produced by 55 different mixtures. Experimental results were analyzed with ANOVA and graphical method.

Özgünlük (Originality)

İki farklı dozajdaki beş farklı kimyasal katkının mineral katkılı harç karışımlarına etkisinin araştırılması / Investigation of the effect of five different chemical additives in two different dosages on mineral additive mortar mixes.

Bulgular (Findings)

Yüksek oranda su azaltıcı, tüm karışımların dayanımlarında istatistiksel olarak anlamlı değişikliklere neden olurken, diğer kimyasal katkıların etkisi karışım içeriğine göre değişiklikler göstermiştir. / While superplasticizer caused statistically significant changes in the strength of all mixtures, the effect of other chemical additives varied according to the mixture ingredient.

Sonuç (Conclusion)

Kimyasal katkıların, mineral katkılı karışımlar ve mineral katkısız harç karışımları ile kullanılması arasında taze ve sertleşmiş özelliklerde, mineral katkı tip ve dozajlarına bağlı olarak, önemli değişiklikler gözlemlenmiştir. / Remarkable changes in fresh and hardened properties between the use of chemical additives with mineral additives and conventional mortar mixtures were observed depending on mineral additive types and dosages.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

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

Farklı Kimyasal Katkıların Mineral Katkılı Taze ve Sertleşmiş Harç Özelliklerine Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Emin ŞENGÜN*

Müh. ve Doğa Bil. Fak., İnşaat Müh. Bölümü, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 07.09.2021 ; Kabul/Accepted : 15.11.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 06.12.2021)

ÖZ

Harç ve betonda kimyasal katkıların kullanımı her geçen gün artmakla birlikte özellikle mineral katkı ile harmanlanmış karışımlar için nasıl etkilerin olduğu hususunda literatürde yeterince bilgi bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında farklı miktarlarda (0%-12,5%-25%) uçucu kül ve öğütülmüş yüksek fırın cürufunun kullanıldığı harmanlanmış harç karışımlarına iki farklı dozajda (minimum-maksimum) beş farklı kimyasal katkı (orta-yüksek oranda su azaltıcı, priz hızlandırıcı-geciktirici ve hava sürükleyici) eklenerek, toplam 55 karışım hazırlanmış ve numuneler üzerinde taze ve sertleşmiş harç özellikleri belirlenerek sonuçlar istatistiksel analizler ve grafiksel yöntemlerle irdelenmiştir. Sonuç olarak, yüksek oranda su azaltıcı kimyasal katkı kullanımı, karışımların mineral katkı olup olmaması fark etmeksizin istatistiksel olarak anlamlı dayanım değişikliğine yol açarken, dozaj farklılığı tüm sonuçlarda etkisini hissettirmiştir. Diğer katkılar için bu durum daha sınırlı kalmıştır. Daha da önemlisi mineral katkı karışımlarda kimyasal katkıların kullanılması, dayanımlarda ve priz başlangıç ve bitiş sürelerinde mineral katkısız karışımlara nazaran önemli farklılıklara sebep olurken, bu durum en fazla cürufllu karışımlarda görülmüştür. Bu da kimyasal katkıların özellikle mineral katkı harmanlanmış karışımlarda kullanılması durumunda hazır öngörülerden ziyade, ön deneme dökümlerinin ne kadar gerekli olduğunu ortaya koymasından oldukça önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Mineral katkı harçlar, kimyasal katkı, akıcılık, priz süreleri, basınç dayanımı.

Effect of Different Chemical Admixtures on Fresh and Hardened Properties of Mortar with Mineral Additives

ABSTRACT

Even though the utilize of chemical admixtures in concrete has increased in recent years, there is still a lack of information in the literature on whether they will ensure sufficient effectiveness used with blended mixtures. In this study, a total of 55 mixtures were organized by adding five different chemical admixtures (medium-high range water reducer, set accelerator-retarder and air entrained agents) in two different dosages to the blended mortar prepared by using different amounts of fly ash and slag (0%-12,5%-25% by weight of cement). After then, fresh and hardened mortar properties were determined on the specimens, and the results were analyzed by statistical analysis and graphical methods. As a result, the usage of superplasticizer led to a statistically significant change in strength, regardless of whether the mixtures were mineral admixtures added, while the dosage difference had its effect on all results. For other chemical additives, this effect has been limited. More importantly, the use of chemical additives in blended mixtures with mineral additives caused significant differences in strength and setting times compared to mixtures without mineral additives, while this situation was more experienced in slag mixtures. This is very important in terms of revealing how necessary trial castings are rather than ready-made predictions when chemical additives are used especially in blended mixtures with mineral additives.

Keywords: Blended mixtures, chemical additives, flowability, setting time, compressive strength.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde, saha uygulamalarına bağlı olarak farklı özelliklere sahip beton veya harç karışımlarının üretimi, beton teknolojilerinin de gelişmesiyle birlikte oldukça yaygınlaşmıştır. Böyle durumlarda geleneksel beton veya harç karışımlarının temel malzemeleri olan çimento, su ve agreganın yanı sıra istenilen özelliklerin daha ekonomik sağlanabilmesi adına farklı mineral ve kimyasal katkıların kullanılması önem arz etmektedir. Ancak burada istenilen özelliklerin sağlanabilmesi adına kullanılacak mineral ve kimyasal katkıların seçimi, hangi dozajda ve hangi uygulama prosedürleri takip edilerek

kullanılacağı ve ayrıca katkıların beton matrisi içerisinde diğer malzemeler ile nasıl etkileşime gireceğinin bilinerek, çevre koşullarının kontrol edilebilir olması kritik öneme sahiptir.

Mineral katkıların, beton ve harçların taze ve sertleşmiş özelliklerine etkisi ile ilgi pek çok araştırma yapılmıştır. Özellikle pozolanik etkiye sahip mineral katkıların tipine, bileşimine, içeriğine ve miktarına bağlı olarak optimum miktarlarda kullanıldığında beton ve harçların dayanım ve dayanıklılığında artışlara neden olmaktadır [1-4]. Mineral katkıların taze beton ve harç özelliklerine etkisi ise özellikle mineral katkıların şekillerinden ve inceliklerinden oldukça etkilenmektedir [5]. İnce ve yuvarlak tanelere sahip mineral katkıların çimento tanelerinin arasına girmek suretiyle buradaki suyu dışarı

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : esengun@ybu.edu.tr

iterek kıvama olumlu etki yaparken, diğer taraftan büyük yüzey alanlarına sahip mineral katkıları ise su ihtiyacını artırarak kıvama olumsuz etkiler yapabilmektedir[6]. En sık kullanılan mineral katılardan uçucu küller üzerine yapılan deneysel çalışmaların önemli bir kısmında, özellikle küresel şekilleri itibarıyla, karışımların kıvamlarında artışlara neden oldukları belirtilmiştir [7,8]. Yüksek fırın cürüflerinde ise literatürde birbirinden farklı sonuçlar elde edildiği görülmekle birlikte, genel olarak referans karışımlarıyla önemli bir farklılık gözlemlenmemektedir [9,10]. Diğer taraftan mineral katkıların çimentolu sistemlerin priz sürelerine etkisi; karışımdaki su miktarı, çimento tipi, inceliği, kompozisyonu, kullanılan kimyasal ve mineral katkı kompozisyonları, miktarları, incelikleri ve mineralojik yapıları gibi birçok parametreye bağlı olduğu için bir genelleme yapmak kolay olamamaktadır [5].

Beton ve harçlarda kullanılan diğer katkı türü ise kimyasal katkılardır. Genellikle sıvı haldeki organik ve inorganik madde esaslı kimyasal katkıları, beton veya harç karışımına hemen öncesinde veya sırasında eklenebilmektedir [11]. Su azaltıcılar ve yüksek oranda su azaltıcılar, su çimento sisteminde suyun yüzey gerilimini azaltarak ve çimentoya hidrofob özellik kazandırarak daha homojen dağılmasına neden olmakta ve belirli bir işlenebilirlik için hem su ihtiyacını azaltması, hem de su/bağlayıcı oranındaki düşüş nedeniyle dayanım ve dayanıklılıklarda olumlu etkiler yaratmaktadır [6]. Hava sürükleyiciler de benzer etki ile sistemde homojen dağılmış hava kabarcıkları yaratarak, özellikle donma çözülme etkisi altında oluşan ilave gerilmeler için ekstra alanlar oluşturmaktadır [12,13]. Priz geciktirici ve hızlandırıcı kimyasal katkıları da etkilerini, çimento karma oksitlerinin su içinde çözünmelerini ve reaksiyona girmelerini kısıtlayarak ya da artırarak veya ortamın kirece doygun hale gelmesini yavaşlatarak veya hızlandırarak sağlamaktadırlar [14,15]. Çoğu zaman üretici firmalar tarafından tavsiye niteliğinde hazırlanan kimyasal karışımlara ait bilgi formları, özellikle yüksek hassasiyet gerektiren proje ve uygulamalarda istenilen özelliklerin sağlanabilmesi adına tek başına yeterli olamamakta, beton matrisi içerisinde dış faktörlerin de etkisi ile ortaya çıkan bir dizi farklı kimyasal reaksiyonların etkisinin görülebilmesi adına ön çalışmalar yapılması gerekmektedir [16].

Literatür çalışmaları da incelendiğinde, mineral katkıları taze ve sertleşmiş beton veya harçlara su azaltıcı kimyasal karışımların [8,18,19] priz geciktiricilerin [20], priz hızlandırıcıların [21], ve hava sürükleyicilerin [22] kullanılması durumunda referans karışımlarına göre değişiklikler gösterebileceği görülmektedir. Ancak tüm kimyasal karışımlar aynı harç matrisi içerisinde kullanılmadığından, mineral katkıları karışımlar için ne ölçüde taze ve sertleşmiş özelliklerde değişikliklere neden olacağı tam olarak anlaşılamamaktadır. Farklı

kimyasal katkıların, mineral katkıları harmanlanmış karışımlarda kullanılması durumunda sadece bağlayıcı malzeme olarak çimentonun kullanıldığı geleneksel karışımlardan farklı olarak ne gibi değişiklik yaratabileceğine dair literatürde de kısıtlı sayıda araştırma olmasından dolayı [17], bu çalışma ile bu durumun araştırılması hedeflenmiştir.

Bu amaçla, farklı oranlarda (%0-%12,5-%25) mineral katkıları ile (uçucu kül-öğütülmüş yüksek fırın cürufu) harmanlanmış harçlara minimum ve maksimum oranlardaki iki farklı dozajda, beş farklı kimyasal katkı (orta sınıf su azaltıcı, yüksek oranda su azaltıcı, priz hızlandırıcı, priz geciktirici ve hava sürükleyici) eklenerek, harçların taze ve sertleşmiş özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Referans karışımlarıyla birlikte toplamda 55 karışım hazırlanarak, numuneler üzerinde akıcılık testi, priz başlangıç ve bitiş süreleri testleri ile 3 günlük ve 28 günlük dayanım testleri uygulanmıştır. Sonuçlar üzerinden kimyasal katkıların harçların taze ve sertleşmiş özelliklerine anlamlı etkinin olup olmadığının görülebilmesi adına istatistiksel olarak tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yöntemi kullanılmış ve diğer taraftan sonuçlar grafiksel yöntemlerle de irdelenmiştir.

2. DENEYSEL PROGRAM (EXPERIMENTAL PROGRAM)

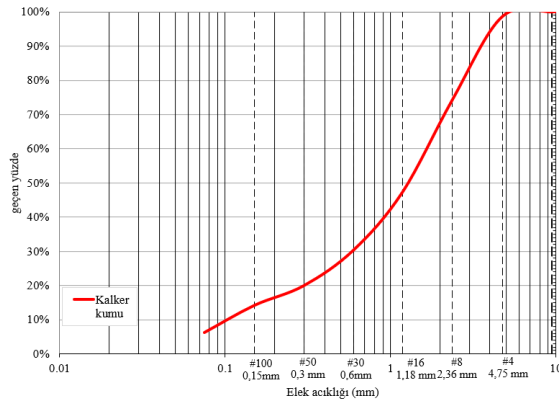
2.1 Malzeme ve Karışım Tasarımı (Materials and Mix Design)

Bu çalışma kapsamında, çimento tipinin ve agrega kaynağı ile gradasyonun sonuçlara olan etkisinin kısıtlanması için tüm karışımlarda TS EN 197-1 standardına göre hazırlanan CEM I 42.5 R çimentosu ile tek tip kırmataş kalker kumu (0-5 mm) kullanılmıştır. Kalker kumuna ait fiziksel özellikleri (ASTM C33, ASTM C128) Çizelge 1’de, gradasyon eğrisi Şekil 1’de verilmiştir. Ayrıca Sugözü Termik Santralinden elde edilen uçucu kül (UK) ve ÇİMSA Fabrikasından temin edilen öğütülmüş yüksek fırın cürufuna (YFC) ait kimyasal özellikler de Çizelge 2’de verilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılacak, orta sınıf su azaltıcı (MasterPozzolith 520), yüksek oranda su azaltıcı (MasterGlenium 51), priz hızlandırıcı (MasterSet FZP 1), priz geciktirici (MasterSet R 100) ve hava sürükleyici

Çizelge 1. Kırmataş kalker kumuna ait fiziksel özellikler (Physical properties of limestone sand)

Fiziksel Özellikler	İnce Agrega 0-5 mm
Maksimum dane boyut (mm)	5 mm
Özgül Ağırlık (DYK)	2.67
Özgül Ağırlık (Kuru)	2.64
Su emme kapasitesi %	1,24 %
İncelik Modülü	3.2

(Masterair® 200) kimyasal katkılara ait özellikler de Çizelge 3’te verilmiştir.



Şekil 1. Gradasyon eğrisi (Gradation chart)

Çizelge 2. Bağlayıcı malzemelere ait kimyasal ve fiziksel özellikler (Physical and chemical properties of cementitious materials)

Oksit Kompozisyonu	CEM I Port.Çim.	Uçucu Kül (C Sınıfı)	GGBFS
CaO %	63,7	1,64	38,20
SiO ₂ %	18,5	56,22	37,80
Al ₂ O ₃ %	4,6	25,34	12,90
Fe ₂ O ₃ %	3,1	7,65	0,834
MgO %	1,62	1,80	5,73
SO ₃ %	3,05	0,32	1,28
K ₂ O %	0,91	1,88	0,962
Na ₂ O %	0,45	1,13	0,293
Kızdırma Kaybı %	4,37	2,10	0,07
Blaine inceliği (cm ² /g)	3341	2900	4140
Özgül Ağırlık	3,11	2,61	2,95

Ayrıca beş farklı kimyasal katkının gerek katkısız harçlar üzerinde gerekse mineral katkıli karışımlar üzerinde etkisinin görülebilmesi için her bir kimyasal katkı aynı zamanda üretici firma tarafından tavsiye edilen minimum ve maksimum dozajlarda kullanılarak toplamda 55 farklı karışım elde edilmiştir (Çizelge 4).

Karışım matrislerinin verildiği Çizelge 4’te karışımlara ait isimlendirme aşağıdaki sıralama takip edilerek yapılmıştır.

•İlk indeks, karışımlarda kimyasal katkının kullanılıp kullanılmadığını göstermek üzere kimyasal katkı karışımlar için “KK”, kimyasal katkı kullanılmayan karışımlar için “Kontrol” ifadesi kullanılmıştır.

•İkinci ve üçüncü indeks, karışımdaki kimyasal katkının tipini ve dozajını göstermektedir. Bu amaçla, kimyasal katkı kısaltmaları (PG, PH, HS, OSA, YSA) ile birlikte dozajını göstermek amacıyla minimum ve maksimum ifadelerinin kısaltılması kullanılmıştır.

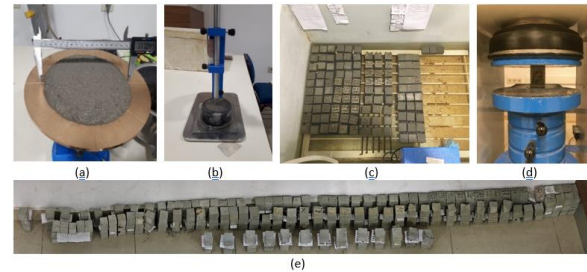
•Dördüncü ve beşinci indeks, karışımdaki mineral katkının tipini ve çimento ağırlığına ikame miktarını göstermektedir.

Örneğin “KK-PG-min-UK-12,5” karışımına ait isim kısaltması yukarıdaki adımlar takip edildiğinde, çimento ağırlığının %12,5 oranında ikame edilmiş uçucu küllü karışıma minimum dozajda priz geciktiricili kimyasal katkı kullanılarak hazırlanan karışımı ifade etmektedir. Çizelge 4’te ilk kolon kullanılan kimyasal katkılara ait dozaj miktarlarını gösterirken, diğer kolonlar karışımdaki toplam bağlayıcı miktarının sırası ile çimento (Ç), uçucu kül (UK), yüksek fırın cürufu (YFC), ince agrega (kum-K) ve su miktarlarına oranını göstermektedir.

Referans karışımları için kullanılan su/bağlayıcı oranı (0.485) mineral katkıli ve aynı zamanda priz hızlandırıcı, priz geciktirici ve hava sürükleyici kimyasal katkıların kullanıldığı karışımlarda da değiştirilmemiş ve sabit bırakılmıştır. Ancak orta sınıf su azaltıcının kullanıldığı karışımlar için karışım suyu %12 azaltılarak s/b oranı 0,425’e, süper akışkanlaştırıcının kullanıldığı karışımlarda ise karışım suyu %20 azaltılarak s/b oranı 0,385’e düşürülmüştür.

2.1 Test Programı (Test Program)

Karışımlar standartta belirtilen prosedürler takip edilerek otomatik programlanabilir çimento mikserinde hazırlanmıştır (ASTM C305). Karışımlara ait kıvamların belirlenmesi için yayılma tablası deney aleti (ASTM C230) kullanılmıştır. Yayılma tablası üstündeki harcın yayılma genişliği hem 15 düşüşün (EN 1015-3) ardından hem de 25 düşüşün (ASTM C1437) ardından ayrı ayrı ölçülerek kaydedilmiştir. Priz başlangıç ve bitiş sürelerinin belirlenmesi için Vikat Seti deney aleti kullanılarak priz başlangıç priz süresi tayini için 25 mm’deki penetrasyon süresi (ASTM C191) belirlenmiş, priz bitiş süresi içinse her 15 dk’da bir yapılan yüzeyde okumalar neticesinde Vikat iğnesinin artık numune yüzeyinde iz bırakmayacağı zaman tekabül eden zaman dikkate alınmıştır. Ayrıca erken (3 günlük) ve 28 günlük basınç dayanımların belirlenmesi için üçer adet 50 mm’lik küp numuneler hazırlanmış ve basınç dayanımları belirlenmiştir (ASTM C109). Numuneler test saatlerine kalan yarım saatlik dilim öncesine kadar kür havuzunda 23±2°C sıcaklığındaki suda muhafaza edilmiştir. Testlere ait görseller Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Numuneler üzerinde gerçekleştirilen testlere ait fotoğraflar (a) yayılma tablası (b) priz başlangıcı ve priz sonu testi (c) kütleme aşaması (d) basınç dayanım testleri (e) test sonu numuneler (Photos of the tests performed on the specimens)

Çizelge 3. Çalışmada kullanılan kimyasal beton katkıları ve özellikleri (Chemical admixtures and properties in this study)

Kimyasal Katkı İşlevi	Kısaltma	Standart	Malzeme Esası	Özgül Ağırlık (kg/l)	PH değeri	Alkali içeriği (ağırlıkça %)	Klor iyon içeriği (ağırlıkça %)
Orta sınıf su azaltıcı	OSA	TS-EN - 934-2:T2	Modifiye Lignin Sülfonat	1,1-1,2	5-8	≤10,00	≤0,10
Yüksek oranda su azaltıcı	YSA	TS-EN - 934-2:T3.1	Polikarboksilik Eter	1,08-1,14	6-7	≤3,00	≤0,10
Priz geciktirici	PG	TS EN - 934-2:T10	Lignin Sülfonat	1,15-1,18	7-8	≤5,00	≤0,10
Priz hızlandırıcı	PH	TS EN - 934-2:T6	Sülfonat ve Nitrat tuzu	1,07-1,29	6-7	≤10,00	≤0,10
Hava sürükleyici	HS	TS EN - 934-2:T5	Yağ Alkolü ve Amonyum Tuzu	0,98-1,03	9-11	≤10,00	≤0,10

Çizelge 4. Harç karışım tasarımları (Mix design of mortars used in this study)

No	Mineral Katkı Kontrol Karışımları		KK oranı	Ç	UK	YFC	K	Su	
1	Kontrol		0,000	1	0	0	2,75	0,485	
2	KK-PG-min		0,004						
3	KK-PG-max		0,008						
4	KK-PH-min		0,010						
5	KK-PH-max		0,025						
6	KK-HS-min		0,001					0,425	
7	KK-HS-max		0,002						
8	KK-OSA-min		0,006						
9	KK-OSA-max		0,012						
10	KK-YSA-min		0,008						
11	KK-YSA-max		0,015						
No	Mineral Katkılı Karışımlar	No	Mineral Katkılı Karışımlar	KK oranı	Ç	UK	YFC	K	Su
12	Kontrol-UK-12,5	23	Kontrol-YFC-12,5	0,000	0,875	"12-22" arası 0,125	"12-22" arası 0	2,75	0,485
13	KK-PG-min-UK-12,5	24	KK-PG-min-YFC-12,5	0,004					
14	KK-PG-max-UK-12,5	25	KK-PG-max-YFC-12,5	0,008					
15	KK-PH-min-UK-12,5	26	KK-PH-min-YFC-12,5	0,010					
16	KK-PH-max-UK-12,5	27	KK-PH-max-YFC-12,5	0,025					
17	KK-HS-min-UK-12,5	28	KK-HS-min-YFC-12,5	0,001					0,425
18	KK-HS-max-UK-12,5	29	KK-HS-max-YFC-12,5	0,002					
19	KK-OSA-min-UK-12,5	30	KK-OSA-min-YFC-12,5	0,006					
20	KK-OSA-max-UK-12,5	31	KK-OSA-max-YFC-12,5	0,012					
21	KK-YSA-min-UK-12,5	32	KK-YSA-min-YFC-12,5	0,008					
22	KK-YSA-max-UK-12,5	33	KK-YSA-max-YFC-12,5	0,015					
34	Kontrol-UK-25	45	Kontrol-YFC-25	0,000	0,750	"34-44" arası 0,250	"34-44" arası 0	2,75	0,485
35	KK-PG-min-UK-25	46	KK-PG-min-YFC-25	0,004					
36	KK-PG-max-UK-25	47	KK-PG-max-YFC-25	0,008					
37	KK-PH-min-UK-25	48	KK-PH-min-YFC-25	0,010					
38	KK-PH-max-UK-25	49	KK-PH-max-YFC-25	0,025					
39	KK-HS-min-UK-25	50	KK-HS-min-YFC-25	0,001					0,425
40	KK-HS-max-UK-25	51	KK-HS-max-YFC-25	0,002					
41	KK-OSA-min-UK-25	52	KK-OSA-min-YFC-25	0,006					
42	KK-OSA-max-UK-25	53	KK-OSA-max-YFC-25	0,012					
43	KK-YSA-min-UK-25	54	KK-YSA-min-YFC-25	0,008					
44	KK-YSA-max-UK-25	55	KK-YSA-max-YFC-25	0,015					

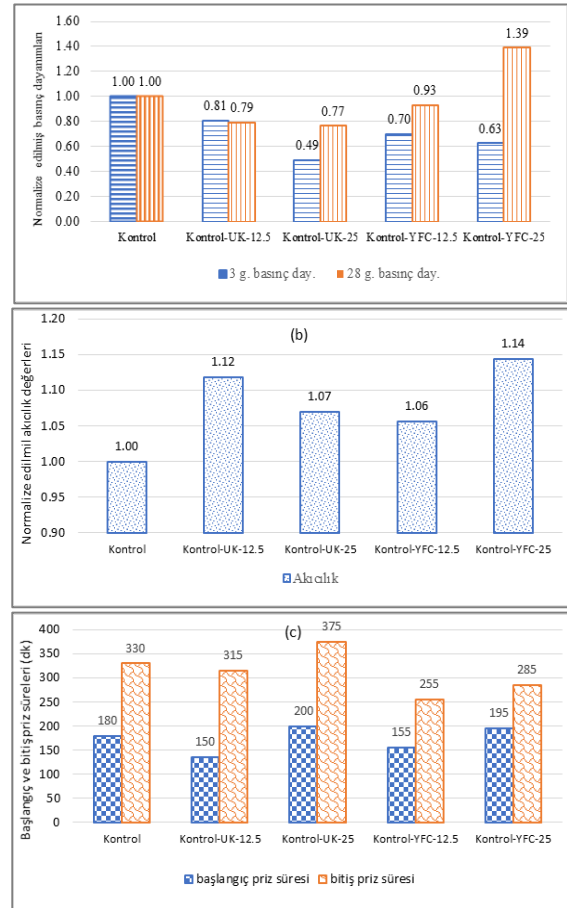
3. DENEYSSEL BULGULAR VE ANALİZLER (EXPERIMENTAL RESULTS AND ANALYSIS)

Farklı dozajlarda (0%-12,5%-25%) öğütülmüş UK ve YFC içeren harmanlanmış harç karışımlarına iki farklı dozajda (min. ve maks.) beş farklı kimyasal katkının (OSA, YSA, PH, ST, HS) taze ve sertleşmiş özelliklerine etkilerinin araştırılması üzerine gerçekleştirilen testlerden elde edilen ortalama sonuçlar Çizelge 5'te verilmiştir. Tabloda harç kıvamları için 25 düşüşün ardından okunan yayılma genişliği ölçümleri esas alınmış ve bazı karışımlar yayılma tablası genişliğinden (maks. 25 cm) taşıdığı için "+25" olarak belirtilmiştir. Aynı şekilde priz başlangıç ve bitiş süreleri de kullanılan kimyasal katkıları bağlı olarak on saati aşan sürelerle varmış, bunlarda tabloda "+" işareti ile belirtilmiştir.

Beklenildiği üzere, UK ve YFC miktarındaki artış ile 3 günlük basınç dayanımlarında düşüşler gözlemlenmiştir (Şekil 3-a). Çimento ikame oranı artışı ile bu düşüş UK için yaklaşık yüzde 50'lere kadar varırken, YFC için yaklaşık yüzde 40 seviyelerinde kalmıştır. Ancak 28 günlük dayanımlara bakıldığında ise puzolanik reaksiyonların etkisinin başlaması ile bu düşüş önemli derecede azalmış hatta, YFC için kontrol karışımı ile karşılaştırıldığında yüzde 40'lara varan bir artışa neden olmuştur. Aynı şekilde beklenildiği üzere mineral katkıların hepsi harçların kıvamının (akıcılığının) artmasına neden olmuş, ancak bu oran en fazla %15 seviyelerine kadar çıkmıştır (Şekil 3-b). Diğer taraftan, mineral katkıların karışımların priz sürelerine etkileri mineral katkıların tiplerine ve miktarlarına bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Ayrıca bu duruma mineral katkıların kimyasal ve mineralojik kompozisyonları, incelikleri ile ortam sıcaklığı, nem gibi dış faktörlerinde etki edebileceği bilinmektedir. Tüm bu etkenler göz önüne alındığında, tipik bir genelle yapımının pek de mümkün olmadığı görülmekle birlikte, mineral katkıların yol açtığı değişimler başlangıç prizi süresi için ± 30 dk ile bitiş prizi süresi için ± 75 dk ile limitli kaldığı da gözlemlenmiş bu durumun da çok önemli bir değişikliğe yol açmayacağı yorumlanmıştır.

Ayrıca, kullanılan kimyasal katkıların dayanım sonuçları üzerinde anlamlı bir değişikliğe neden olup olmadığının anlaşılabilmesi için istatistiksel analiz yöntemlerinden tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılarak, kimyasal katkıların 3 günlük ve 28 günlük basınç dayanımları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bilindiği üzere, ANOVA üç veya daha fazla bağımsız grubun ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olup olmadığını belirlemek için kullanılmaktadır. Bu durumda; sıfır hipotezi (H_0) ortalamalar arası farkın olmamasını, araştırma hipotezi (H_1) ise ortalamalar arasında anlamlı bir farklılığın olduğu göstermektedir. Yapılan analizler sonucu H_0 hipotezinin geçerli olduğu anlaşılması durumunda araştırma sonlandırılırken, H_1 hipotezinin geçerli olduğu anlaşılması durumunda varyansların homojenliğine göre hangi grupların birbirinden farklı olduğunu gösterebilecek ileri analizler (post hoc) ile devam edilmektedir.

Bu çalışmada, ilk olarak varyansların homojeni testi yapılarak, varyansların homojen olduğu durumlar için Turkey, homojen olmadığı durumlar için Games-Howell teknikleri kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucu p önem katsayıları bulunarak, Çizelge 6 ve Çizelge 7'de verilmiştir. Tablolardaki koyu renkli p değerleri 0,05 seviyesinde dayanım sonuçları açısından karışımlar arasında anlamlı farklılıklar gözlemlendiğini gösterirken, koyu ve altı çizgili p değerleri ise 0,01 seviyesinde anlamlı farklılıklar görüldüğünü vurgulamaktadır. Diğer değerler ($p > 0,05$) ise anlamlı farklılıkların görülmediğini işaret etmektedir. Çizelge 6 ve Çizelge 7'den de görüldüğü üzere gerek erken dayanımda (3 günlük), gerekse 28 günlük dayanımlarda kontrol karışımlarına YSA kimyasal katkısının eklenmesi, karışımlarda mineral katkıların kullanılıp kullanılmaması fark etmesizin istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0,05$) değişikliklere neden olmuştur. Ayrıca bazı karışımlar için p değeri 0,001'den küçük olması ise istatistiksel olarak sonuçları oldukça fazla etkilendiğini göstermektedir.



Şekil 3. Mineral katkıların taze ve sertleşmiş harç özelliklerine etkisi (a) dayanım, (b) akıcılık, (c) priz süreleri (Effect of mineral additives on fresh and hardened mortar properties (a) strength, (b) flowability, (c) setting times)

Çizelge 5. Karışımlara ait deneysel sonuçlar (Results of experimental studies)

No	Karışım Adı	3 gün (MPa)	28 gün (MPa)	Akıcılık (cm)	Priz Baş (dk)	Priz Sonu (dk)	No	Karışım Adı	3 gün (MPa)	28 gün (MPa)	Akıcılık (cm)	Başlangıç Priz (dk)	Son Priz (dk)
1	Kontrol	25,4	35,2	17,26	180	330	29	KK-OSA-max-UK-25	18,4	39,6	16,23	230	420
2	KK-OSA-min	28,5	38,5	12,92	105	255	30	KK-YSA-max-UK-25	24,7	47,2	+25,00	460	+580
3	KK-YSA-min	34,5	44,0	15,86	90	240	31	KK-PG-max-UK-25	0,0*	37,2	23,09	315	+480
4	KK-PG-min	36,7	37,1	17,41	205	485	32	KK-PH-max-UK-25	15,6	26,6	20,17	145	275
5	KK-PH-min	23,8	35,5	19,05	135	300	33	KK-HS-max-UK-25	11,5	25,0	21,00	190	320
6	KK-HS-min	23,0	31,3	18,94	145	245	34	Kontrol-YFC-12.5	17,8	32,9	18,23	155	255
7	KK-OSA-max	29,6	39,8	15,36	120	390	35	KK-OSA-min-YFC-12.5	22,2	47,9	14,06	110	305
8	KK-YSA-max	40,4	53,7	+25,00	405	480	36	KK-YSA-min-YFC-12.5	32,6	53,3	16,23	190	315
9	KK-PG-max	27,8	38,9	19,93	210	480	37	KK-PG-min-YFC-12.5	19,5	51,5	20,53	245	+480
10	KK-PH-max	21,8	43,7	20,84	170	290	38	KK-PH-min-YFC-12.5	15,0	35,6	18,80	180	255
11	KK-HS-max	15,1	22,6	19,43	155	230	39	KK-HS-min-YFC-12.5	10,7	20,7	20,35	140	270
12	Kontrol-UK-12,5	20,4	27,8	19,30	150	315	40	KK-OSA-max-YFC-12.5	20,7	46,0	15,54	300	465
13	KK-OSA-min-UK-12,5	22,3	38,7	16,19	235	420	41	KK-YSA-max-YFC-12.5	32,4	52,1	+25,00	465	+590
14	KK-YSA-UK-12,5	29,9	57,2	17,36	210	375	42	KK-PG-max-YFC-12.5	17,2	43,4	20,91	280	+480
15	KK-PG-min-UK-12,5	46,3	46,3	19,35	250	+480	43	KK-PH-max-YFC-12.5	17,7	32,8	19,89	165	240
16	KK-PH-min-UK-12,5	20,5	39,1	20,42	180	300	44	KK-HS-max-YFC-12.5	8,3	19,7	20,40	155	300
17	KK-HS-min-UK-12,5	24,7	29,2	18,70	120	200	45	Kontrol-YFC-25	15,9	48,9	19,75	195	285
18	KK-OSA-max-UK-12,5	26,9	46,0	15,96	285	510	46	KK-OSA-min-YFC-25	19,9	45,5	16,06	255	360
19	KK-YSA-max-UK-12,5	33,1	54,9	+25,00	+450	+615	47	KK-YSA-min-YFC-25	17,6	61,4	16,57	205	330
20	KK-PG-max-UK-12,5	0,0*	48,1	18,26	330	+480	48	KK-PG-min-YFC-25	15,9	40,7	21,38	225	+480
21	KK-PH-max-UK-12,5	19,9	32,5	20,09	165	250	49	KK-PH-min-YFC-25	8,9	39,9	19,27	180	280
22	KK-HS-max-UK-12,5	16,9	39,1	19,23	165	285	50	KK-HS-min-YFC-25	10,8	27,2	19,43	190	300
23	Kontrol-UK-25	12,5	27,0	18,46	200	375	51	KK-OSA-max-YFC-25	10,5	47,8	16,56	+330	+465
24	KK-OSA-min-UK-25	14,8	38,4	15,87	195	300	52	KK-YSA-max-YFC-25	20,9	65,9	+25,00	+480	+700
25	KK-YSA-min-UK-25	25,6	39,1	18,08	195	315	53	KK-PG-max-YFC-25	7,8	60,2	22,23	270	+480
26	KK-PG-min-UK-25	14,9	39,5	19,79	240	+480	54	KK-PH-max-YFC-25	10,6	36,3	19,84	165	240
27	KK-PH-min-UK-25	16,1	30,4	19,35	165	290	55	KK-HS-max-YFC-25	10,5	18,7	20,10	205	315
28	KK-HS-min-UK-25	13,8	31,2	19,39	180	300							

Çizelge 6. 3 günlük basınç dayanımları için ANOVA analizi sonuçları (Results of ANOVA analysis for 3 days compressive strengths)

Kontrol Karışımları	Kimyasal Katkı Seviyesi	Kimyasal katkıli karışımların kontrol karışımlarına göre basınç dayanımı açısından p önem katsayısı				
		OSA	YSA	PG	PH	HS
Kontrol	Min. Dozajı	0,127	0,018	0,035	0,010	0,393
	Maks.Dozağı	0,002	0,002	0,152	0,001	0,002
Kontrol UK-12.5	Min. Dozajı	0,919	0,011	0,032	0,933	0,011
	Maks.Dozağı	0,005	0,002	*	0,995	0,083
Kontrol UK-25	Min. Dozajı	0,857	0,003	0,176	0,143	0,661
	Maks.Dozağı	0,004	0,004	*	0,068	0,961
Kontrol YFC-12.5	Min. Dozajı	0,093	0,001	0,931	0,542	0,016
	Maks.Dozağı	0,642	0,001	0,985	0,987	0,003
Kontrol YFC-25	Min. Dozajı	0,140	0,983	1,000	0,016	0,050
	Maks.Dozağı	0,001	0,002	0,000	0,001	0,001

* Bu karışımlar için 3 günlük sonuçlar yeterince priz almadığı için elde edilememiştir.

Çizelge 7. 28 günlük basınç dayanımları için ANOVA analizi sonuçları (Results of ANOVA analysis for 28 days compressive strengths)

Kontrol Karışımları	Kimyasal Katkı Seviyesi	Kimyasal katkıli karışımların kontrol karışımlarına göre basınç dayanımı açısından p önem katsayısı				
		OSA	YSA	PG	PH	HS
Kontrol	Min. Dozajı	0,803	0,053	0,975	0,998	0,671
	Maks Dozağı	0,514	<0,001	0,710	0,055	0,004
Kontrol UK-12.5	Min. Dozajı	0,046	<0,001	<0,001	0,036	0,998
	Maks.Dozağı	0,001	<0,001	<0,001	0,689	0,035
Kontrol UK-25	Min. Dozajı	0,003	0,002	0,001	0,629	0,541
	Maks.Dozağı	0,055	0,011	**	0,995	0,802
Kontrol YFC-12.5	Min. Dozajı	0,001	<0,001	<0,001	0,907	0,007
	Maks.Dozağı	0,015	0,001	0,057	0,988	0,015
Kontrol YFC-25	Min. Dozajı	0,850	0,013	0,135	0,088	<0,001
	Maks.Dozağı	0,992	<0,001	0,001	<0,001	<0,001

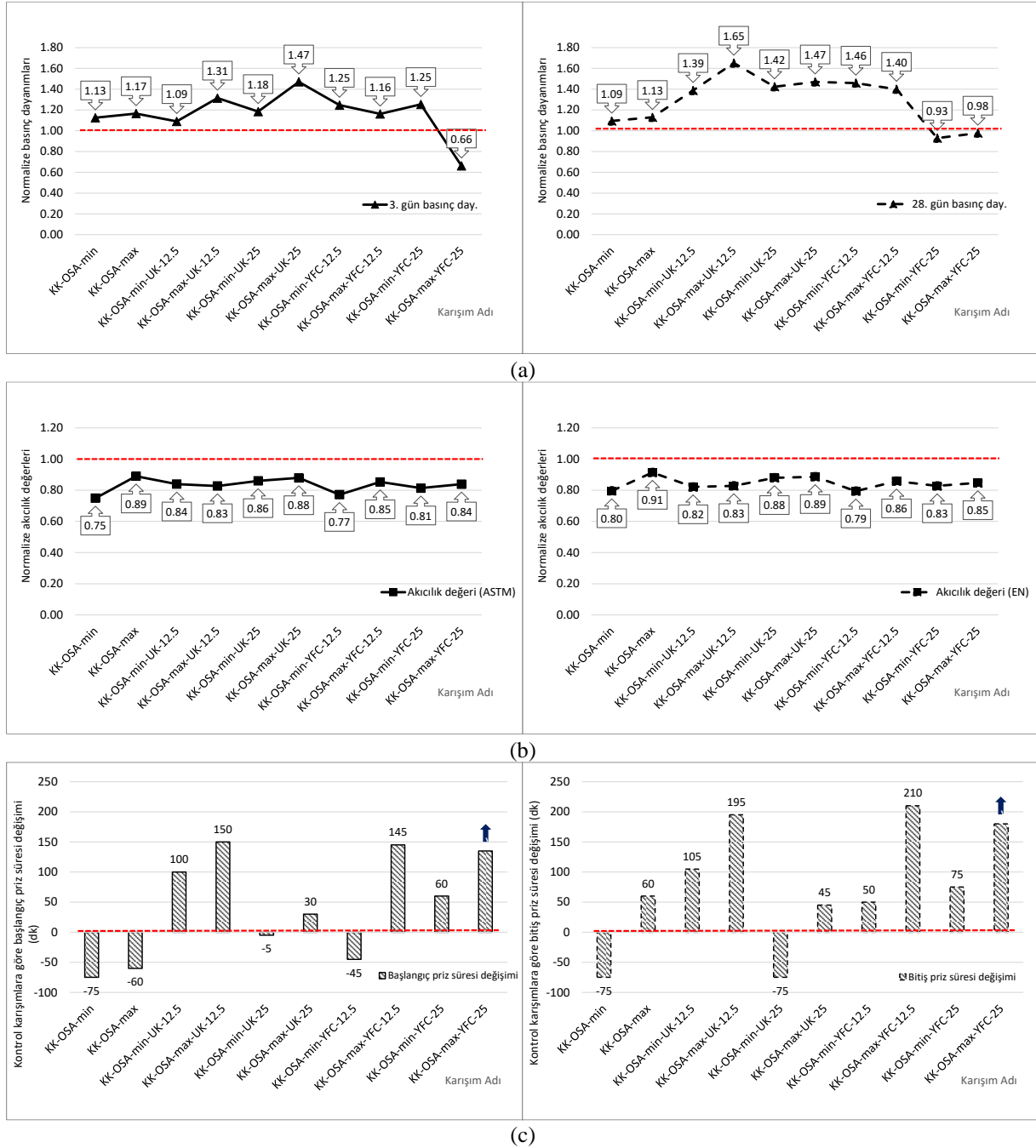
**İstatiksel analiz için yeterli veri yoktur.

Kimyasal karışımlar arasında priz hızlandırıcı (PH)'nın etkisi beklenin aksine nispeten daha az kalmıştır. Priz geciktirici kimyasal katkı (PG) ise özellikle 28 günlük basınç sonuçları üzerinde istatistiksel olarak oldukça fazla değişikliğe neden olmuştur ($p < 0,001$). Kimyasal katkı dozajlarının dayanım sonuçları üzerindeki etkilerine bakıldığında ise dozaj miktarının artması ile dayanım sonuçlarına istatistiksel olarak daha fazla anlamlı değişikliğe sebep oldukları açıkça görülebilmektedir.

3.1 Orta Sınıf Su Azaltıcı (OSA) Kimyasal Katkının Etkisi (Effects of Mid-Range Water Reducer (MWR) Chemical Admixtures)

OSA kimyasal katkısının harçların dayanıma etkilerinin daha iyi anlaşılması adına referans karışımları ile normalize edilmiş oranları Şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 4'ten de görüldüğü üzere OSA kimyasal katkısının katılması ile gerek erken dayanımda (3 günlük) gerekse 28 günlük dayanımda %25 ikameli YFC'li mineral



Şekil 4. Mineral katkıların taze ve sertleşmiş harç özelliklerine etkisi (a) dayanım, (b) akıcılık, (c) priz süreleri (Effect of mineral additives on fresh and hardened mortar)

karışımlar hariç diğer tüm karışımlarda artışlar meydana gelmiştir. Bu artış oranları üç günlük dayanımlar için %13 ile %47 arasında değişirken 28 günlük dayanımlar için %9 ile %65 arasında karışımlara bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Sadece çimento yerine %25 ikameli cürufun (YFC) kullanıldığı karışımlarda özellikle yüksek dozajda OSA'ün kullanıldığı karışım için 3 günlük dayanımda %35'e varan oranda bir düşüş gözlemlenmiştir. Ancak 28 günlük basınç değerlerinde bu durum gözlemlenmemiş ve kontrol karışımına yakın sonuçlar vermiştir. Bu erken dayanımdaki düşüşe, cürufu karışımlar için OSA dozajının oldukça etkili olduğu anlaşılmaktadır. Aynı karışım için kimyasal katkı dozajının çimento ağırlığının %0,6'sı (min.) olarak kullanılması durumunda erken dayanımda %25'e varan oranda bir artışa neden olurken, %1,2 (maks.) oranda kullanılması durumunda erken dayanıma oldukça olumsuz etkisi olmuş ve %35'e varan düzeyde ciddi düşüşe yol açmıştır. Daha az olmakla birlikte benzer düşüş %12,5 ikameli cüruf karışımlarda da erken dayanım için gözlemlenmiştir. Ancak diğer karışımlarda böyle bir durumla karşılaşılma olmup, genellikle minimum ve maksimum dozajlar yakın etkiler göstermiştir. Bundan dolayı özellikle cürufu karışımlar için OSA dozajı seçiminde daha dikkatli davranılması gerekliliği öne çıkmıştır.

Şekil 4-b'den de görüldüğü üzere OSA kullanımı tüm karışımlarda kıvamın bir parça düşüşüne sebep olurken, bu düşüş en fazla %25 (bir karışım için) seviyelerine kadar inmiş ancak genel olarak karışımlar için yüzde 10'luk bir değişime neden olmuştur. OSA kullanımında kontrol numunelerinde %12'lik karışım suyunda bir azaltmaya gidildiği (Çizelge 4) göz önüne alındığında, bu karışım suyundaki azalış uygulamalara göre değişiklik göstermekle birlikte bu çalışma için makul seviyede kaldığı söylenebilmektedir.

Diğer taraftan orta sınıf su azaltıcı kimyasal katkının katılması referans karışımlara göre başlangıç priz süresinde mineral katkısız karışımlar için düşüşe sebep olurken, mineral katkılı karışımlar için dozaja bağlı olarak genel olarak artışlara neden olmuştur (Şekil 4-c). Aynı şekilde priz bitiş sürelerinde de artışlar mineral katkıların tiplerine ve dozajlarına göre değişiklik göstermiştir.

3.2 Yüksek Oranda Su Azaltıcı (YSA) Kimyasal Katkının Etkisi (Effects of High-Range Water Reducer (HWR) Chemical Admixtures)

YSA beklenildiği üzere tüm karışımların erken (3 günlük) ve 28 günlük basınç dayanımlarını artırmıştır (Şekil 5). Bu artış orta düzeyde su azaltıcı (OSA)'dan daha yüksek olup, OSA'nin kullanılması durumunda çimento yerine %25 ikameli cürufun kullanıldığı karışımlarda görülen düşüş YSA karışımı kullanılması durumunda görülmemiş, diğer karışımlardan daha az oranda olmakla birlikte yine de %32'lere varan oranda bir artışa neden olmuştur. Özellikle UK'nın kullanıldığı karışımlarda YSA'nin etkisi oldukça fazla olup kontrol numunelerine göre iki kattan fazla bir basınç dayanım artışlarına neden olmuştur. Diğer taraftan minimum

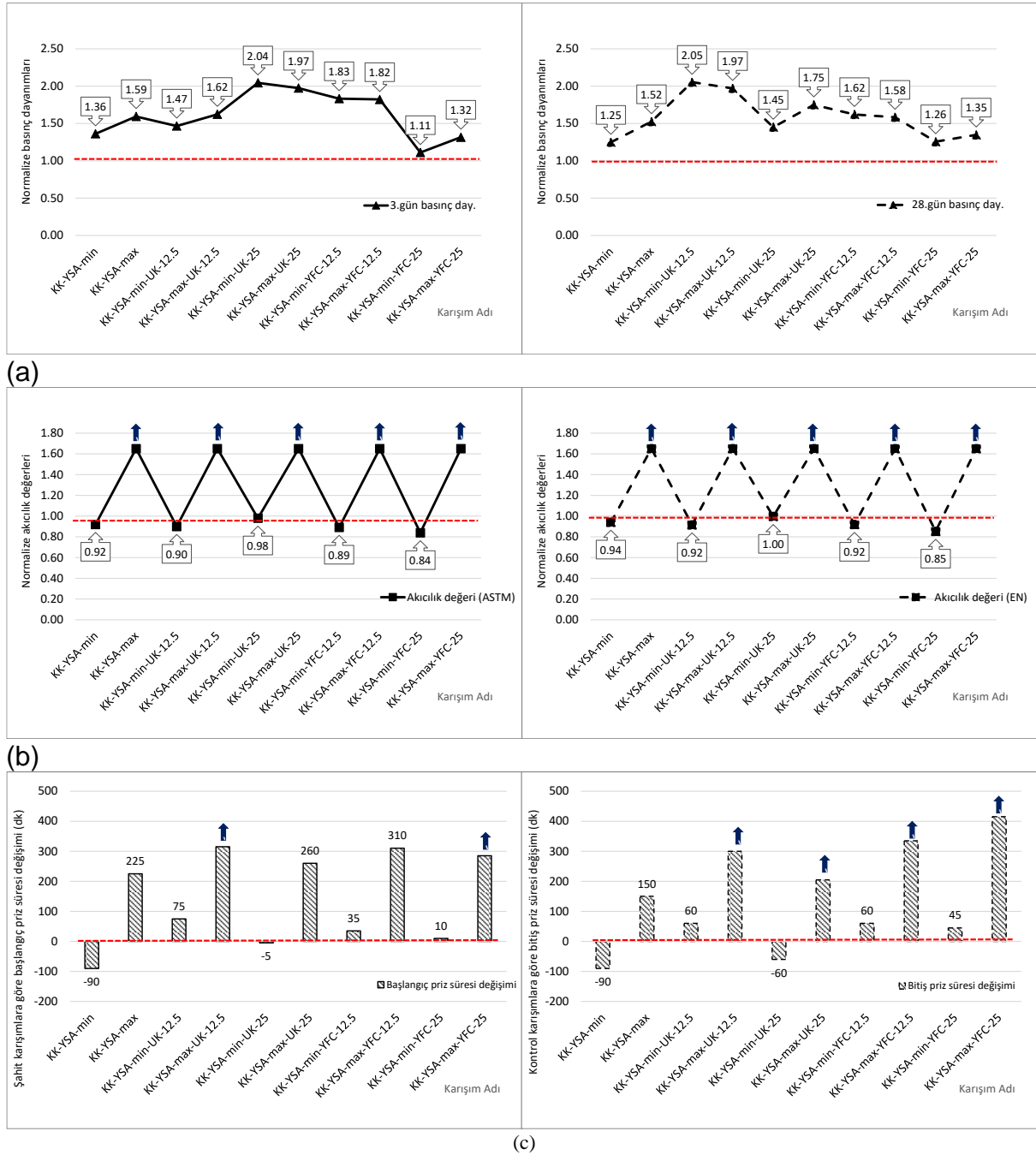
(%0,8) ve maksimum (%1,5) dozajlar genel olarak basınç dayanımları açısından önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Ancak minimum (%0,8) ve maksimum (%1,5) dozajlı YSA kullanımı özellikle taze harç özelliklerinden kıvamda (akıcılıkta) ve priz başlangıç ve bitiş sürelerinde kontrol numunelerine göre önemli değişikliğe sebep olmuştur. Minimum (%0,8) dozajlı kullanımda harcın akıcılığı referans numunelerine benzer aralıkta (%15 civarı) sonuçlar verirken, %1,5 (maks.) dozajda kullanılması durumunda akıcılık, testin gerçekleştirildiği standart 25 cm yayılma tablası genişliğini standartlarda belirtilen düşme sayılarından önce aşarak oldukça yüksek akıcılık göstermiştir. Bu durum Şekil 5-b'de ok işareti ile belirtilmiştir. Benzer durum priz başlangıç ve bitiş sürelerinde de görülmüş ve %1,5'lük dozaj kullanımında kontrol karışımlarına göre priz süreleri oldukça uzamıştır (Şekil 5-c). Benzer durum maksimum seviyede orta sınıf su azaltıcı kimyasal katkı kullanırken de görülmüştür. Bu duruma hidratasyon ürünleri arasında oluşan bağ yapısını etkilemek suretiyle neden oldukları düşünülmektedir. Diğer taraftan %0,8'lik YSA kullanımında kontrol numunelerine göre priz başlangıç ve bitiş sürelerinde önemli bir farklılık görülmemiştir. Bu arada YSA'nın kontrol numunelerine göre karışım suyundan %20'lik düşüş ile kullanıldığı unutulmamalıdır. Bu çalışma kapsamında, gerek erken ve 28 günlük basınç dayanımları, gerekse akıcılık ve priz başlangıç ve bitiş süreleri ile ekonomik ve çevresel faktörler göz önüne alındığında %0,8'lik (min) YSA kullanımının uygun olabileceği öngörülmektedir.

3.3 Priz Geciktirici (PG) Kimyasal Katkının Etkisi (Effects of Set Retarder (SR) Chemical Admixtures)

Priz geciktirici kimyasal katkı, erken (3 günlük) ve 28 günlük basınç dayanımları için çimento yerine %25 ikameli cürufun kullanıldığı karışımlar hariç dayanım artışına neden olmuştur (Şekil 6-a). O karışım için erken dayanımda önemli bir düşüş görülürken, 28 günlük dayanımda ise kontrol karışımlarına yakın sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 6-a).

Priz geciktirici katkıda minimum (%0,4) ve maksimum (%0,8) dozaj kullanımlarının erken ve 28 günlük basınç dayanımlarına etkilerine bakıldığında ise %0,4'lük kullanımda birkaç istisna karışım hariç daha yüksek basınç dayanımları elde edildiği Şekil 6-a'dan anlaşılmaktadır. Diğer taraftan, priz geciktirici kimyasal katkı kullanırken karışım su oranlarında değişime gidilmediği için harçların kıvamında da bir miktar artışa (yaklaşık %10 seviyesinde) neden olmuştur (Şekil 6-b). Ayrıca kıvama kullanılan iki farklı dozajın önemli bir etkisi görülmemekle birlikte %0,8 (mak.) dozaj kullanılması durumunda akıcılıkta bir miktar daha fazla artış görülmüştür.

Priz geciktirici kimyasal katkının asıl kullanım nedenini oluşturan priz sürelerindeki değişime bakıldığında ise beklenildiği üzere gerek priz başlangıç süresinde gerekse priz bitiş sürelerinde bir öteleme meydana gelmiştir (Şekil 6-c). Priz başlangıç süresinde en fazla gecikme



Şekil 5. YSA'nın (a) dayanımlara (b) akıcılığa, (c) başlangıç ve bitiş priz sürelerine etkisi (HWR on (a) compressive strengths, (b) flowability, (c) initial and final setting times)

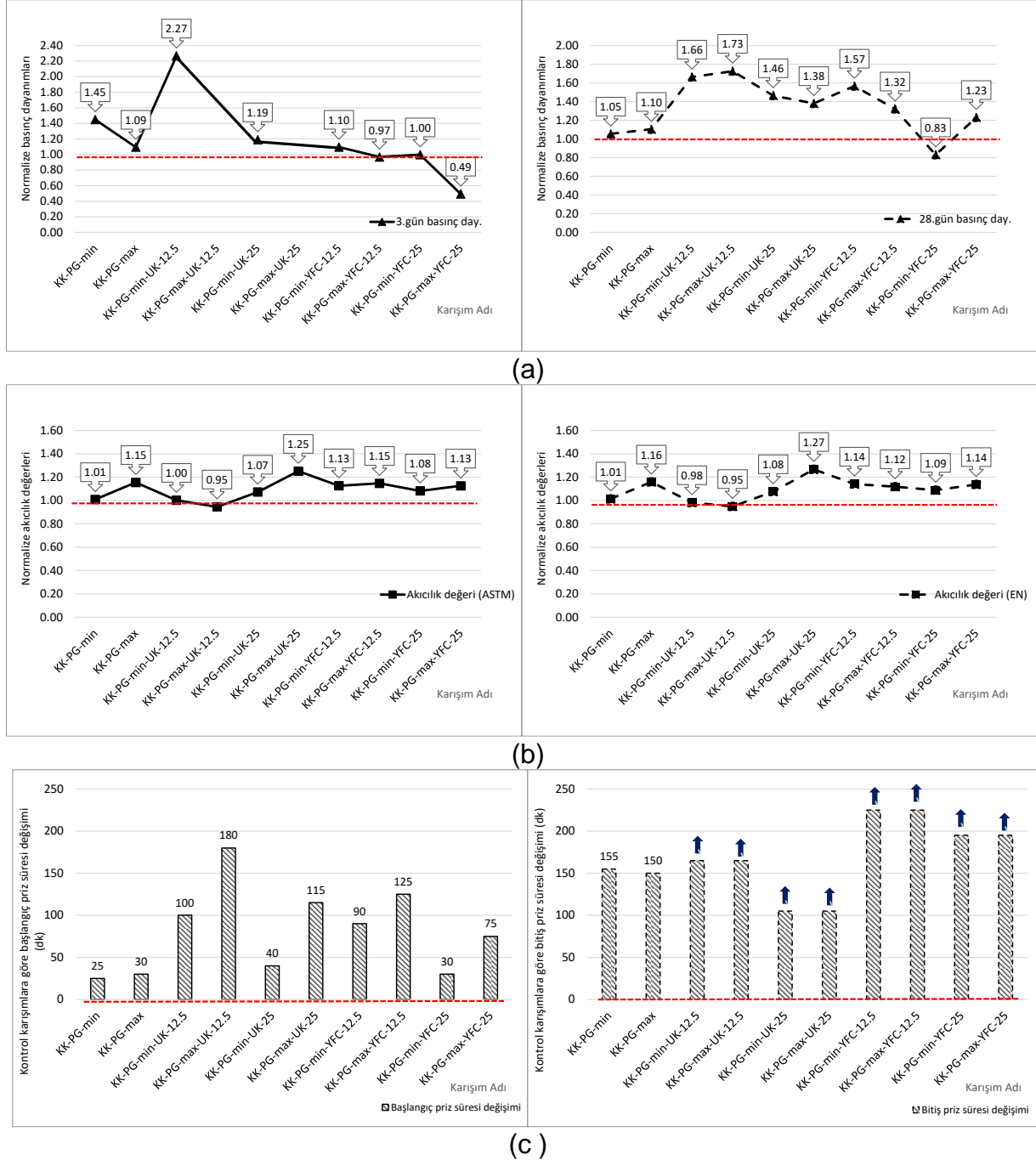
180 dk ile uçucu küllü karışımlarda görülürken, genellikle değişim 30 dk ile 125 dk arasında olmuştur. Burada dozajların da etkisi görülmektedir. PG için dozaj miktarı %0,4'ten (min.) %0,8'e (maks.) çıkması ile birlikte özellikle mineral katkılı karışımlarda başlangıç priz süresinde ciddi derecede artış yaşanmıştır. Aynı şekilde priz bitiş sürelerinde de priz geciktirici kimyasal katkıının kullanımı ile önemli artış görülmüştür. İş sürelerinde de priz geciktirici kimyasal katkıının kullanımı ile önemli artış görülmüştür.

3.4 Priz Hızlandırıcı (PH) Kimyasal Katkıının Etkisi (Effects of Set Accelerator (SA) Chemical Admixtures)

Priz Hızlandırıcı kimyasal katkıının erken dayanıma etkisi beklenenin aksine daha kısıtlı olmuştur (Şekil 7-a). Özellikle çimento ağırlığınca %25 ikameli cürufun kullanıldığı karışımlarda dayanımda önemli düşüşler görülmüştür. Aynı durum 28 günlük dayanımlarda da geçerli olmakla beraber, düşük bir miktar azalmış ve diğer karışımlarda da kontrol numunelerinden bir miktar yüksek dayanımlar elde edilmiştir. Burada minimum

(%1,0) ve maksimum (%2,5) dozajlı priz hızlandırıcı kullanımı da özellikle erken dayanım için beklenen artışı gösterememiştir. Priz hızlandırıcı kimyasal katkının kıvama olan etkisi ise Şekil 7-b’de görülmektedir. Priz hızlandırıcı kullanırken karışım su oranlarında değişime gidilmediği için tüm karışımlar için harçların kıvamında da bir miktar artışı (yaklaşık %6 seviyesinde) neden olmuştur ancak genel olarak karışımları için benzer kıvama sahip olduğu söylenebilmektedir.

Normalde priz hızlandırıcı kimyasal katkı özellikle priz başlangıcında su ile çimento arasındaki reaksiyonu hızlandırarak priz süresini kısaltmaktadır. Ancak bu çalışma için priz hızlandırıcı kimyasal katkının asıl kullanım nedenini oluşturan priz sürelerindeki değişime bakıldığında özellikle priz başlangıç süreleri için bazı karışımlarda priz sürelerini kontrol karışımlarına göre önemli ölçüde değiştirmediği, hatta bazı karışımlar için gecikmelere neden olduğu görülmüştür. Bu durum

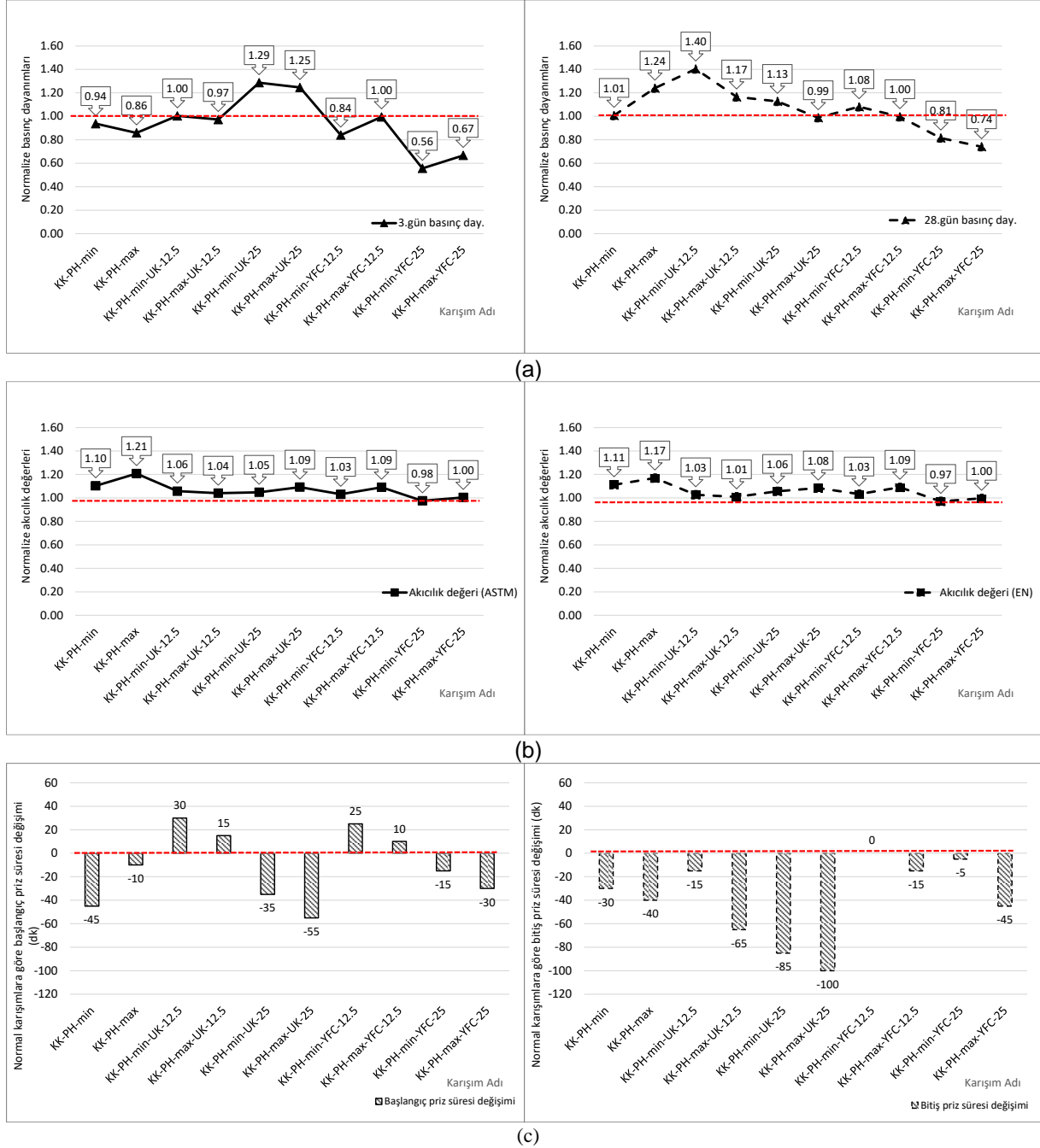


Şekil 6. PG'nin (a) dayanımlara (b) akıcılığa, (c) başlangıç ve bitiş priz sürelerine etkisi (SR on (a) compressive strengths, (b) flowability, (c) initial and final setting times)

çimento ağırlığına %12,5 ikameli uçucu kül ve cürüflü karışımlarda meydana gelmiştir. Gecikme 30 dk ile sınırlı kalmış ama aynı durum %25 ikameli uçucu kül ve cürüflü karışımlarda görülmemiş ve priz hızlandırıcı katkı priz süresini beklediği gibi hızlanmasına neden olmuştur. Burada bu durumun nedenin belirlenmesi için daha ayrıntılı deney matrisinin oluşturulması ve gerekirse insan ve ölçüm kaynaklı yaşanabilecek olumsuz sonuçlarında bu duruma yol açabileceği unutulmamalıdır. Diğer taraftan, beklenildiği üzere priz bitiş sürelerinde kontrol numunelerine göre hızlanma görülmüştür (Şekil 7-c).

3.5 Hava Sürükleyici (HS) Kimyasal Katkının Etkisi (Effects of Air Entrained (AE) Chemical Admixtures)

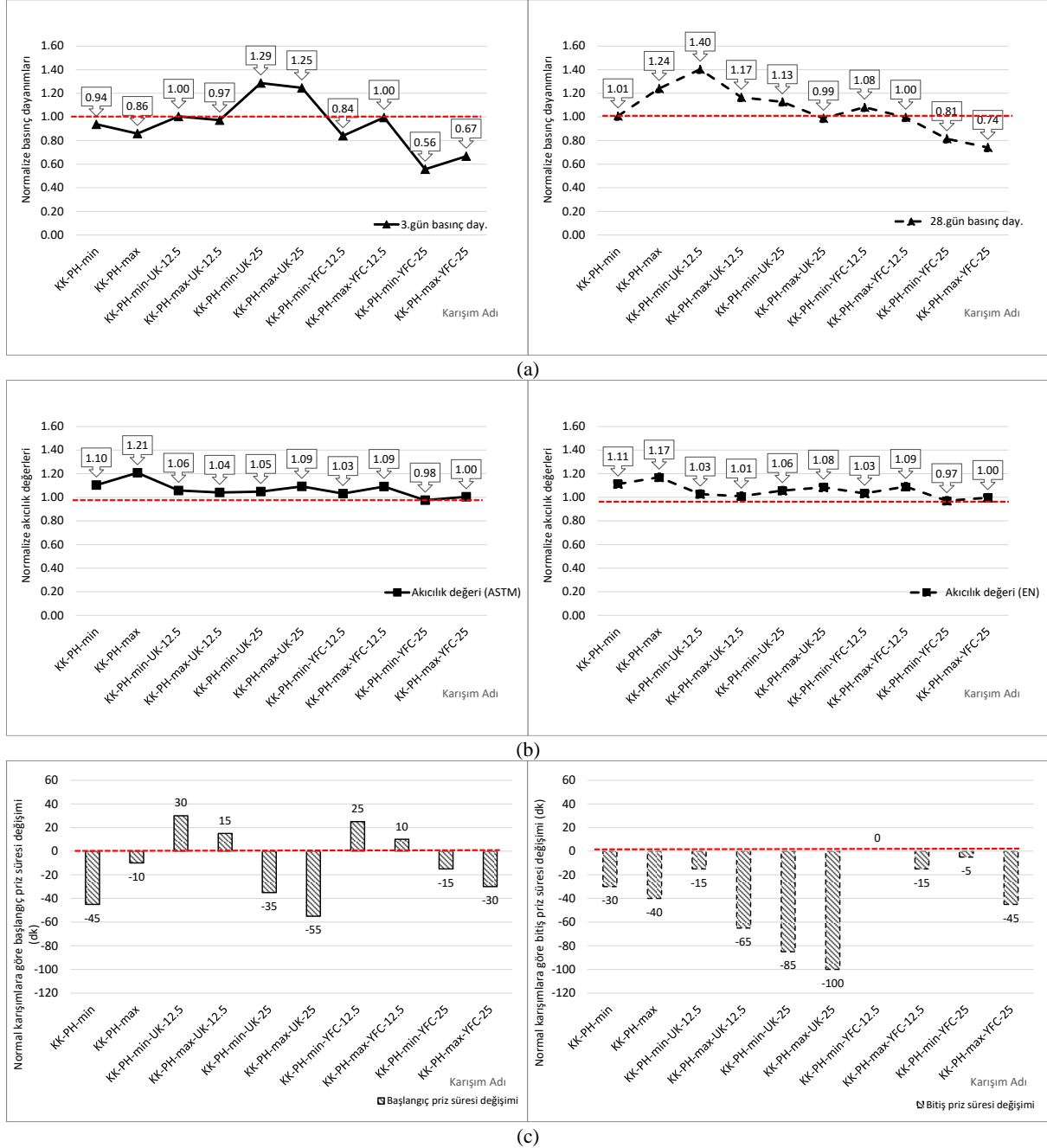
Hava sürükleyici katkı beklenildiği üzere erken dayanımda (3 günlük) ve 28 günlük dayanımda düşüşe neden olmuştur (Şekil 8-a). Sadece uçucu kül mineral katkı (% 12,5 ikameli) karışımlarda bir miktar artışa neden olmuş ancak cüruf katkılı karışımlarda önemli düşüşler yaşanmıştır. Dozaj artımı da (min-%0,1, maks-%0,2) tüm karışımlarda dayanımların düşmesine neden olmuştur.



Şekil 7. PH'nin (a) dayanımlara (b) akıcılığa, (c) başlangıç ve bitiş priz sürelerine etkisi (SA on (a) compressive strengths, (b) flowability, (c) initial and final setting times)

Hava sürükleyici katkı, harçların kıvamında bir miktar artışa beklendiği üzere yol açmıştır (Şekil 8-b). Tüm karışımlar için kıvam artışı hava sürükleyici dozaj artışı ile pozitif olarak etkilenmiştir. Hava sürükleyicili karışımlar, referans karışımlara göre genel olarak daha erken priz almaya başlamıştır (Şekil 8-c). Priz başlangıç süresindeki kısalmalar mineral katkıların olup olmaması

tarafından hava sürükleyici katkı, cürufllu karışımların tamamında priz bitiş sürelerinin uzamasına neden olmuştur. Bu süre en fazla 45 dk ile sınırlı olmuştur. Uçucu küllü ve mineral katkısız karışımlarda ise hava sürükleyici katkıların katılması priz başlangıcında olduğu gibi priz bitişinde de kısalmalara yol açmıştır. Buradan özellikle, mineral katkılı karışımlar da hava



Şekil 8. HS'nin (a) dayanımlara (b) akıcılığa, (c) başlangıç ve bitiş priz sürelerine etkisi (AE on (a) compressive strengths, (b) flowability, (c) initial and final setting times)

veya tipleri ve dozajlarına göre değişmekle birlikte en fazla 35 dk'ya kadar çıkmıştır. İki karışımda ise bir miktar priz gecikmesine neden olduğu görülmekle birlikte bu süre en fazla 30 dk ile sınırlı kalmıştır. Diğer

sürükleyici kimyasal katkının kullanılması durumunda mineral katkının uçucu kül veya cüruf olmasına göre harçların taze ve sertleşmiş özelliklerine önemli değişikliklere neden olabileceği anlaşılmaktadır.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışma kapsamında, farklı oranlarda mineral katkı kullanılarak hazırlanan harmanlanmış harç karışımlarına, kimyasal katkıların etkilerinin görülebilmesi adına beş farklı tipteki kimyasal katkı, iki farklı dozajda uygulanarak toplamda 55 farklı karışım elde edilmiştir. Taze ve sertleşmiş harç özelliklerini belirlemek üzere karışımlar bir dizi testlere tabi tutulmuş ve sonuçlar istatistiksel ve grafiksel yöntemler kullanılarak analiz edilmiştir. Bulunan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

•Yüksek oranda su azaltıcı tüm karışımlar için hem erken dayanımda (3 günlük) hem de 28 günlük dayanımda mineral katkıların kullanıp kullanılmaması fark etmeksizin istatistiksel olarak anlamlı artışlara neden olurken, orta sınıf su azaltıcı ve priz geciktirici ise %25 ikameli cürüflü karışımlar hariç diğer karışımlarda basınç artışlarına neden olmuştur. Kimyasal karışımlar arasında dayanım üzerine priz hızlandırıcı (PH)'nın etkisi istatistiksel olarak, beklenin aksine nispeten daha az kalmıştır. Diğer taraftan, hava sürükleyici kullanılması durumunda hem erken dayanımda hem de 28 günlük dayanımda önemli düşüşler gözlemlenmiş ve bu oran dozaj artması ile daha da artmıştır. Genel olarak, kimyasal katkı dozajlarının dayanım sonuçları üzerindeki etkilerine bakıldığında ise dozaj miktarının artması ile dayanım sonuçlarına istatistiksel olarak daha fazla anlamlı değişikliğe sebep oldukları açıkça görülebilmektedir.

•Priz geciktirici, priz hızlandırıcı ve hava sürükleyici kimyasal katkıların kullanımı referans karışımlara göre benzer ya da daha yüksek akıcılığa (kıvam) neden olurken, yüksek oranda su azaltıcı ve orta sınıf su azaltıcı kullanımı ile karışım su oranlarında gidilen azaltmalara da paralel olarak kıvamda hafif düşüşlere sebep olmuştur. Ancak, yüksek oranda su azaltıcı için dozajın artması ile harç kıvamında oldukça yüksek oranda artış görülmüştür.

•Beklenildiği üzere priz geciktirici kullanımı ile priz başlangıç ve bitiş süreleri artarken, priz hızlandırıcı kullanımı ile tam tersi durum yaşanmış ancak özellikle mineral katkıların cinsi bu değişim aralığını oldukça etkilemiştir. Diğer taraftan hava sürükleyici kullanımı ile priz sürelerinde genel olarak bir düşüş yaşanırken, orta ve yüksek sınıf su azaltıcı kullanımda da genel olarak bir artış gözlemlenmiş, yine mineral katkıların cinsi ve ikame oranı bu sürelerde önemli değişikliklere yol açmıştır.

•Bu çalışma kapsamında kullanılan kimyasal katkıların için belirlenen minimum dozajların gerek erken ve 28 günlük basınç dayanımları gerekse akıcılık, priz başlangıç ve bitiş süreleri ile ekonomik ve çevresel etkiler düşünüldüğünde genel olarak yeterli olabileceği görülmüştür.

•Son olarak, bu çalışmada priz süresi diğer harç özelliklerden farklı olarak daha zor öngörülebilir bir davranış göstermiştir.

Sonuç olarak, özellikle yüksek oranda su azaltıcı kimyasal katkı kullanımının ve dozajının taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisi hem istatistiksel olarak hem de grafiksel yöntemlerle gözlemlenmiş ve sonuçlara

etkisi açıkça görülmüştür. Diğer kimyasal katkı karışımlarında ise kullanılan dozaj aralığının etkisi sınırlı olmuştur. Ayrıca mineral katkı karışımlarında kimyasal katkıların kullanılması durumunda ortaya çıkan farklı kimyasal reaksiyonlar dizisi özellikle cürüflü karışımlar için basınç dayanımlarının yanı sıra priz başlangıç ve bitiş sürelerinin de nasıl etkileyeceğinin kolay anlaşılmasına neden olmuştur. Bundan dolayı, mineral katkılarla harmanlanmış karışımlarda kimyasal katkıların kullanımın söz konusu olması durumunda tipik olarak mineral katkısız karışımlara göre belirlenmiş kimyasal katkı etkilerinin yazıldığı hazır broşürlerin kullanılması yerine, öncesinde deneme dökümlerinin yapılarak sonuçların karşılaştırılması, kullanıcılar için oldukça faydalı olacaktır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazar, deneysel çalışmalar sırasında desteklerinden dolayı lisans öğrencileri Metin Tuncer, Berkant Demirhan, Görkem Güngör ve Muhammed Sefa Soydan'a teşekkür eder.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

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

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Emin ŞENGÜN: Makalenin tüm sürecinden sorumludur.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Lawrence P., Cyr M., Ringot E., "Mineral admixtures in mortars: effect of inert materials on short-term hydration", *Cem. Concr. Res.* 33:1939–1947, (2003).
- [2] Cyr M., "Lawrence, E. Ringot, Mineral admixtures in mortars: quantification of the physical effects of inert materials on short-term hydration", *Cem. Concr. Res.* 35: 719-730, (2005).
- [3] Lawrence P., Cyr M., Ringot E., "Mineral admixtures in mortars effect of type, amount and fineness of fine constituents on compressive strength", *Cem. Concr. Res.* 35: 1092–1105, (2005).
- [4] Özcan U., Güngör S., "Sürdürülebilir Bir Yöntem / Betonda Puzolan Kullanımı", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 15: 176–182, (2019).
- [5] Tokyay M., "Cement and Concrete Mineral Admixtures (1st ed.)", *CRC Press*, (2016).
- [6] Erdoğan S., Kurbetçi S., "Betonun performansına sağladıkları etkinlik açısından kimyasal ve mineral katkı

- maddeleri", *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 46: 115–120, (2003).
- [7] Uysal M., Sumer M., "Performance of self-compacting concrete containing different mineral admixtures", *Constr. Build. Mater.*, 25: 4112–4120, (2011).
- [8] Şahmaran M., Christianto H. A., Yaman İ. Ö., "The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars", *Cem. Concr. Compos.*, 28:432–440, (2006).
- [9] Boukendakdji O., Kenai S., Kadri E.H., Rouis F., "Effect of slag on the rheology of fresh self-compacted concrete", *Constr. Build. Mater.* 23: 2593–2598, (2009).
- [10] Patil S. S., Khochare R. N., Gondil R. P., Maske M. M., "Review on Admixture for Civil Engineer", *Indones. J. Multidisciplinary Res.* 1 (n.d.) 363–378 (2019).
- [11] ASTM C125-21, Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates, *American Standard Testing and Materials*, West Conshohocken, PA, (2021).
- [12] Du L., Folliard K. J., "Mechanisms of air entrainment in concrete", *Cem. Concr. Res.* 35: 1463–1471, (2005).
- [13] Kolay P. K., Sulaiman S. O., Kumar S., "Freeze-Thaw Durability of Concrete with Natural and Recycled Concrete Aggregates Using Air-Entraining Admixture", *Adv. Civ. Eng. Mater.*, 7: 328–346, (2018).
- [14] Plank J, Sakai E., Miao C.W, Yu C., Hong J. X., "Chemical admixtures - Chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability," *Cem. Concr. Res.* 78: 81–99, (2015).
- [15] ACI Committee E-701, Chemical Admixtures for Concrete, Farmington Hills, *American Concrete Institute*, MI 48331 U.S.A., (2013).
- [16] Topçu İ. B., Canbaz M., Karakurt C., "Beton Üretiminde Kimyasal Katkı Kullanımı", *Politeknik Dergisi*, 9: 59–63, (2006).
- [17] Ondova M., Stevulova N., Estokova A., "The Study of the Properties of Fly Ash Based Concrete Composites with Various Chemical Admixtures," *Procedia Eng.* 42:1863–1872, (2012).
- [18] Anagnostopoulos C. A., "Effect of different superplasticisers on the physical and mechanical properties of cement grouts", *Constr. Build. Mater.*, 50:162–168, (2014).
- [19] Zhao M., Zhang X., Zhang Y., "Effect of free water on the flowability of cement paste with chemical or mineral admixtures", *Constr. Build. Mater.*, 111: 571–579, (2016).
- [20] Zhou S. C., Lv H. L., Li N., Zhang J., "Effects of Chemical Admixtures on the Working and Mechanical Properties of Ordinary Dry-Mixed Mortar," *Adv. Mater. Sci. Eng.*, 5978089, (2019).
- [21] Li X., "Effect of chemical admixtures on the properties of grouting materials with high-volume mineral materials", *Adv. Compos. Lett.* 28, (2019).
- [22] Ley M. T., Harris N. J., Folliard K. J., Hover K. C., "Investigation of air-entraining admixture dosage in fly ash concrete", *ACI Mater. J.* 105: 494, (2008).