



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Çimento hamur ve harçlarında kireç kullanımının incelenmesi

Investigation of lime usage in cement paste and mortars

Yazar(lar) (Author(s)): Hüseyin Yılmaz ARUNTAŞ¹, Melih ŞAHİNÖZ², Mustafa DAYI³

ORCID¹: 0000-0001-6417-629X

ORCID²: 0000-0002-4159-1535

ORCID³: 0000-0002-9823-4563

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Aruntaş H. Y., Şahinöz M. ve Dayı M., “Çimento hamur ve harçlarında kireç kullanımının incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 24(3): 1045-1054, (2021).

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

DOI: 10.2339/politeknik.801346

Çimento Hamur ve Harçlarında Kireç Kullanımının İncelenmesi

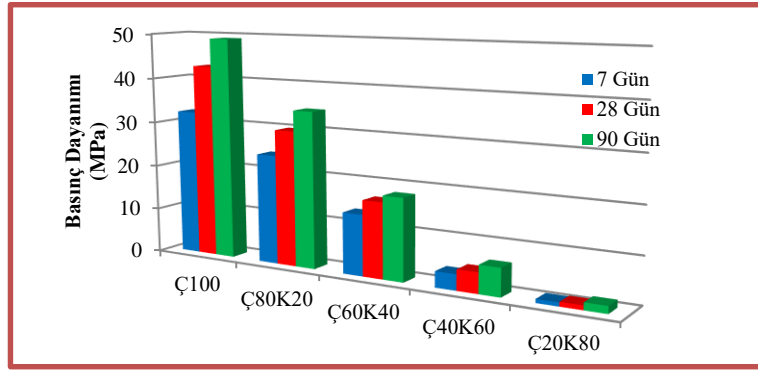
Investigation of Lime Usage in Cement Pastes and Mortars

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Sönmüş kireç, harçların birim ağırlığını azaltmıştır. / Slaked lime was reduced unit weight of mortars.
- ❖ Sönmüş kireç çimento esaslı hamurların priz sürelerini geciktirmiştir. / Slaked lime was delayed setting times of cement based pastes.
- ❖ Harçlarda yüksek miktarda sönmüş kireç kullanımı mekanik özellikleri azaltmıştır. / Use of high amounts of slaked lime was reduced the mechanical properties of mortars.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Sönmüş kireç çimento esaslı harçların mekanik özelliklerini önemli ölçüde değiştirir. / Slaked lime significantly changes the mechanical properties of cement based mortars.



Şekil. Harçların basınç dayanımı deney sonuçları / **Figure.** Compressive strength test results of mortars

Amaç (Aim)

Bu çalışmanın amacı, yüksek miktarda sönmüş kirecin çimentolu hamur ve harç özelliklerine etkisini araştırmaktır. / The aim of this work is to investigate the effect of high amount of slaked lime on cement paste and mortar properties.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Çimentolu hamur ve harç numunelerinde işlenebilirlik sabit tutulmuştur. Sönmüş kireç, CEM I çimentosu ile ağırlıkça %, %20, %40, %60 ve %80 oranlarında ikame edilmiştir. / Workability was kept fixed in cement paste and mortar samples. Slaked lime was replaced with CEM I in the ratios of 0%, 20%, 40%, 60% and 80% by weight.

Özgünlük (Originality)

Yüksek miktarda sönmüş kireç içeren çimentolu hamur ve harçların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. / Physical and mechanical properties of cement pastes and mortars containing high amount of slaked lime were determined.

Bulgular (Findings)

Sönmüş kireç, çimento hamur ve harçlarının fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde değiştirmiştir. / Slaked lime was significantly changed the physical and mechanical properties of cement pastes and cement mortars.

Sonuç (Conclusion)

Bu çalışmanın sonuçlarına göre, sönmüş kireç içeren bazı çimentolu hamur ve harç karışımları farklı uygulamalarda kullanılabilir. / According to the results of this study, some cement paste and cement mortar mixtures containing slaked lime can be used in different applications.

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 Hamur ve Harçlarında Kireç Kullanımının İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Hüseyin Yılmaz ARUNTAŞ¹, Melih ŞAHİNÖZ^{2*}, Mustafa DAYI³

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara

^{2*}Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara

³Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Düzce

(Geliş/Received : 28.09.2020 ; Kabul/Accepted : 22.11.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 03.12.2020)

ÖZ

Bu çalışmada, çimento esaslı harç karışımlarına farklı oranda sönmüş kireç katılarak elde edilen hamur ve harç karışımlarının bazı fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Hamur ve harç karışımlarında CEM I çimentosu, sönmüş kireç, CEN standart kumu ve şehir şebeke suyu kullanılmıştır. CEM I çimentosuna, sönmüş kireç ağırlıkça %0, %20, %40, %60 ve %80 oranlarında ikame edilerek hamur ve harç karışımları hazırlanmıştır. Bütün hamur ve harç karışımlarında işlenebilirlik sabit tutulmuştur. Hamur karışımlar üzerinde standart kıvam suyu, priz başı ve priz sonu ile genleşme tayini deneyleri yapılmıştır. Hazırlanan harçlar ile 40x40x160 mm boyutlu numuneler üretilmiştir. Sertleşmiş harç numuneleri üzerinde birim ağırlık ile 7, 28 ve 90 gün yaşlarında eğilmede çekme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak; hamur karışımına giren sönmüş kireç oranındaki artışın, kıvam suyu miktarını arttırdığı, priz başı süresini göreceli olarak azaltırken priz sonu süresini uzattığı ve genleşmeyi azalttığı belirlenmiştir. Diğer taraftan sönmüş kireç miktarındaki artışın; harçların birim ağırlık, eğilmede çekme dayanımı ile basınç dayanımını azalttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Harç, hamur, çimento, kireç, fiziksel ve mekanik özellikler.

Investigation of Lime Usage in Cement Paste and Mortars

ABSTRACT

In this study, some physical and mechanical properties of paste and mortar mixtures obtained by adding different proportions slaked lime to cement based mortar mixtures were investigated. CEM I cement, slaked lime, CEN standard sand and tap water were used in the paste and mortar mixtures. Slaked lime was replaced with CEM I in the ratio 0%, 20%, 40%, 60% and 80% by weight and paste and mortar mixtures were prepared by this way. Workability was kept fixed in all paste and mortar mixtures. On the paste mixtures, consistency water, initial and final setting times and soundness were tested. 40x40x160 mm prism samples were produced with the prepared mortar mixtures. Unit weight, flexural strength and compressive strength tests were carried out at the age of 7, 28 and 90 days on the hardened mortar samples. As a result; it was determined that the increase in the amount of slaked lime entering the paste mixtures increased the amount of consistency water, relatively decreased of initial setting time, increased of final setting time and decreased the soundness. On the other hand, the increase in the slaked lime; it was determined that the mortars reduced the unit weight, flexural strength and compressive strength.

Keywords: Mortar, paste, cement, lime, physical and mechanical properties.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kireç, özellikle Türkiye’de 1990’lı yıllara kadar bağlayıcı olarak harç üretiminde kullanılan en yaygın yapı malzemelerinden biri olmuştur. Günümüze kadar ulaşan tarihi yapıların tamamında bağlayıcı olarak kirecin kullanıldığı bilinmektedir. Ancak 19. yüzyılın ortalarında Portland çimentosunun (PÇ) üretilmesiyle birlikte bu durum değişmeye başlamıştır. Bağlayıcı olarak çimentonun kirece göre bazı avantajları bulunmaktadır. Bu avantajlar arasında; priz başı ve priz sonu süresinin kısa olması, sertleşme hızının fazla olması, yüksek basınç dayanımına ve elastisite modülüne sahip olması, suya ve dona karşı daha dayanıklı olması,

hidrolik bağlayıcı olduğundan su altında da dayanım kazanması sayılabilir.

Çimentonun sayılan bu avantajlardan dolayı bütün dünyada kullanımı giderek artmaktadır. Dünyada en çok kullanılan yapı malzemesi betondur. 2008 yılı verilerine göre dünya genelinde kişi başına 1 m³’den daha fazla beton üretimi yapılmaktadır [1]. 2014 yılı verilerine göre çimento üretiminin bütün dünyada 4.3 milyar ton dolayında olduğu rapor edilmiştir. Yine aynı rapora göre Türkiye’nin, 70 milyon tondan fazla çimento üretimiyle dünyada altıncı sırada yer aldığı ve çimento ihracatının da 11 milyon tona yükseldiği görülmektedir [2].

Bilindiği gibi; çimento bağlayıcı olarak; hazır beton veya yerinde beton üretiminde, prefabrik beton ve betonarme yapı elemanları imalatında, tesviye betonu, şap,

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : melisahinoz@hotmail.com

grobeton, duvarlarda örgü harcı ve sıva harcı yapımında vb. yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kum (ince agregası), bağlayıcı madde ve suyun karıştırılmasıyla elde edilen malzemeye harç adı verilir [3]. Genellikle harçlar içine katılan bağlayıcının adı ile anılmaktadır. Buna göre;

- Kum + kireç + suyun birlikte kullanıldığı harca “**kireç harcı**”,
- Kum + çimento + suyun birlikte kullanıldığı harca “**çimento harcı**”,
- Kum + alçı + suyun birlikte kullanıldığı harca “**alçı harcı**” denilmektedir.

Diğer taraftan iki bağlayıcının farklı oranlarda birlikte kullanıldığı harçlar da bulunmaktadır. Bunlar ise;

- Kum + kireç + az çimento + suyun birlikte kullanıldığı harca “**takviyeli harç veya melez harç**”,
- Kum + çimento + az kireç + suyun birlikte kullanıldığı harca ise “**temditli harç**” adı verilmektedir [4-6].

Kireç ve alçı harçlarının 21. yüzyıla kadar taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapısal elemanlarda kullanıldığı bilinmektedir [7]. Uzun zamandan beri yalnız kireç harcının kullanıldığı örgü ve sıva harçlarının terk edildiği, atmosfer etkilerine açık alanlarda veya ıslak hacimlerde örgü ve sıva harcı olarak genellikle çimento harcının veya takviyeli ve temditli harçların tercih edildiği görülmektedir. Günümüzde bina iç duvarlarında örgü harcı ve sıva harcı olarak takviyeli ve temditli harçlar kullanılmaktadır. Öte yandan suyun temas etmediği bina bölümlerinde, hem işçilik hem de malzeme maliyetini azaltmak için kaba sıva yapılmadan doğrudan alçı harcı ile duvarın sıvandıği uygulamalara da rastlanmaktadır. Diğer taraftan tarihi yapıların harçları incelendiğinde, bağlayıcı olarak yüksek kalsiyumlu kireç veya hidrolik özelliklere sahip kireçlerin kullanıldığı görülmektedir.

Çimento ve kireç; duvar örgü harcı, sıva harcı ve tamir harcı gibi farklı harçların üretiminde birlikte kullanılmaktadır [8-10]. Hem Türkiye’de hem de dünyada kireçli ve kireç+çimentolu harçların özelliklerini araştıran çok sayıda çalışma bulunmaktadır [11-13]. Velosa ve Veiga yaptıkları çalışmada; hava kireci, hidrolik kireç, çimento ve tuğla tozu bağlayıcı olarak farklı oranlarda kullanılmıştır. Çalışmada, bağlayıcı/agrega (b/a) oranının 1/3 olduğu çimentolu harç numunelerinde, boşlukların daha homojen ve az olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kireç harcı içinde kullanılan çimento hacminin iki katına çıkarılmasıyla, harçların 60 günlük basınç dayanımlarının yaklaşık dört kat arttığı tespit edilmiştir [13]. Silva vd. yaptıkları çalışmada, doğal hidrolik kireç içeriğinin hava kireç bazlı harç karışımlarının özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada, bağlayıcı olarak hava kireci kullanılmış ve hava kireci, harç karışımlarına ağırlıkça %10, %25, %50 ve %75 oranlarında doğal hidrolik kireç ile ikame edilmiştir. Harç karışımındaki doğal hidrolik kireç ikame oranı arttıkça harçların 28 günlük eğilme dayanımlarında

az miktarda artış olduğu görülmüştür. Harçların basınç dayanım değerleri incelendiğinde ise, eğilme dayanımında olduğu gibi karışımındaki doğal hidrolik kireç ikame oranı arttıkça basınç dayanımlarının arttığı tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, doğal hidrolik kireçli harçların daha az gözenekli yapıda olduğu, su emme ve su buharı geçirgenliğinin daha az olduğu belirlenmiştir [14]. Aggelakopoulou vd. yaptıkları çalışmada, tarihi yapıların restorasyonunda kullanılması amacıyla hazırladıkları sönmüş kireç ve metakaolin bazlı harç karışımlarının mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, harç karışımlarında metakaolin/kireç oranı arttıkça bağlı su, statik elastisite modülü, eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Üretilen tüm karışımların geleneksel yapı malzemeleri ile karşılaştırıldığında yeterli mekanik ve mikroyapı özelliklerine sahip olduğu ifade edilmiştir [15]. Pachta vd. yaptıkları çalışmada, kireç esaslı harçların yüksek sıcaklıklardaki performansını araştırmışlardır. Çalışmada; sönmüş kireç, beyaz çimento ve tuğla atığı kullanılarak hazırlanan harç karışımları 200 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Sonuçta harç numunelerinde sıcaklık arttıkça hacmin yaklaşık ± % 2 değiştiği, porozitenin arttığı, dinamik elastisite modülünün sıcaklık arttıkça azaldığı, eğilme dayanımlarının 200 °C’ye kadar arttığı, bu sıcaklık değerinden 800 °C’ye kadar azaldığı ve basınç dayanımı değerlerinin genellikle 200 °C’ye kadar arttığı, bu sıcaklık değerinden 1000 °C’ye kadar azaldığı tespit edilmiştir [16]. Gulbe vd. yaptıkları çalışmada, beyaz çimentonun kireç harçlarının özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, kireç ile hazırlanan harç karışımlarına %0, %2, %4, %8 ve %10 oranlarında beyaz çimento katkı olarak katılmıştır. Harç içerisindeki çimento miktarı arttıkça, sabit işlenebilirliği korumak için su ihtiyacının da arttığı, harçların dayanım ve yoğunluklarının arttığı, hava içeriğinin ise azaldığını belirtmişlerdir. Kireç harcındaki çimento miktarındaki artışın, harcın mekanik dayanımlarını önemli ölçüde arttırdığı belirlenmiştir [17]. Dayı yaptığı çalışmada, tarihi yapılarda hamam yapısında kullanılan horasan harçlarını incelemiş ve alternatif bir horasan harcı üretimini araştırmıştır. Çalışmada; yüksek kalsiyumlu toz kireç, diatomit, tuğla tozu ve dere kumu kullanılarak 14 farklı seride onarım harç karışımı oluşturulmuştur. Elde edilen taze ve sertleşmiş harç numunelerinin yoğunluklarının birbirine yakın olduğu, kireç içeriği fazla olan harç karışımlarının su emme miktarının daha yüksek olduğu, daha fazla rötre gösterdiği ve karbonatlaşma derinliğinin daha çok olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak tüm karışımların yeterli seviyede su buharı geçişi gösterdiği, harçların 28, 56 ve 90 gün yaşlarında basınç dayanımının arttığı belirlenmiştir. Ayrıca alternatif bir horasan harcı üretiminde saf bağlayıcı kireç, diatomit ve dere kumunun kullanılmasının uygun olduğu ifade edilmiştir [18]. Erdoğan vd. yaptıkları çalışmada, uçucu kül (UK) ve polipropilen (PP) lif içeren kireç harçlarına çimento

ilave ederek harçların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesini araştırmışlardır. Çalışmada; kirecin %50'si kadar UK içeren karışımlarına, UK yerine %5, %10 ve %15 oranlarında çimento ikame edilerek harç numuneleri hazırlanmıştır. Sonuçta çimento ve PP lif içeriğindeki artışın, numunelerin eğilme ve basınç dayanımları ile kırılma enerjisini arttırdığı ancak kılcallık üzerinde göreceli olarak olumsuz etki gösterdiği belirlenmiştir [19]. Lanas ve Alveres yaptıkları çalışmada, kireç esaslı duvar onarım harçlarının mekanik özelliklerini etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Çalışmada, iki farklı sönmüş hava kireci kullanılarak hazırlanan harçlar üzerinde kür süresi ve b/a oranının etkisi araştırılmıştır. Sonuçta 28 ile 365 gün arasında eğilme ve basınç dayanımının yaklaşık olarak iki kat arttığı ve karışımdaki agrega oranındaki artışın harcın dayanımını azalttığı belirtilmiştir [20]. Izaguirre vd. yaptıkları çalışmada, PP lif katkısının hava kireci esaslı harçlar üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, harç karışımlarına değişik oranlarda PP lif katılarak iki farklı lif dozajı içeren harç numuneleri elde edilmiştir. Düşük oranda PP lif içeren numunelerin daha az su buharı geçirgenliği gösterdiği, donma-çözülme dayanıklılığının açık bir şekilde iyileştiği, basınç dayanımı ile eğilme dayanımının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [21]. Arizzi ve Cultrone yaptıkları çalışmada, puzolan ve farklı katkılarla oluşturulan hava kireci esaslı harçların yüzey dokusu ile fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada; b/a oranı 1/3 ve %20 metakaolin katkısı ile b/a oranı sırasıyla 1/3, 1/4, 1/6, 1/9 olan ve %10 metakaolin katkısı oranlarında harç karışımları oluşturulmuştur. Ayrıca harç karışımlarına kütülecce %2'yi geçmeyecek şekilde ayrı ayrı veya birlikte perlit, selüloz ve polikarboksilat katılmıştır. Sonuçta, %10 metakaolin içeren kireç esaslı harçların daha yüksek poroziteye ve daha düşük mekanik dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca b/a oranı 1/6 'dan daha yüksek olan harçlarda porozitenin değişmediği ve göreceli olarak mekanik dayanımın azaldığı belirtilmiştir. Bunun yanı sıra üretilen harçlarda kullanılan perlit, selüloz ve polikarboksilat katkılarının harçların minerolojik ve morfolojik özelliklerini değiştirmedeği ve bu sebeple üretilen harçların restorasyon çalışmalarında kullanılabileceği açıklanmıştır [22]. Garijo vd. yaptıkları çalışmada, doğal hidrolik kireç ve hava kireci esaslı harçların ileri yaşlardaki mekanik özelliklerinin karakterizasyonunu incelemişlerdir. Çalışmada, kireç/agrega oranı 1/3 ve su/kireç oranı 0.9 olacak şekilde harç numuneleri hazırlanmış ve 448 gün yaşına kadar harçların kırılma enerjisi ve çekme dayanımları incelenmiştir. Sonuçta, 56. güne kadar harçların mekanik özelliklerinin çok hızlı arttığı tespit edilmiştir. Ancak her iki bağlayıcı harç karışımlarının 448 günlük mekanik özellikleri kıyaslandığında, hava kireci esaslı harçlarda çok yavaş, doğal hidrolik kireçli harçlarda ise hafif bir dayanım artışı olduğu tespit edilmiştir [23]. Wang vd. yaptıkları çalışmada, sönmüş kireç ve alüminyum sülfatın kuru karışım duvar harçları özelliklerine etkisini

araştırmışlardır. Çalışmada; sönmüş kireç, çimento miktarının ağırlıkça %10'u oranında sabit alınarak kullanılmış ve alüminyum sülfat çimento ağırlığınca %0, %1, %2, %3, %4 ve %5 oranında katılarak harç karışımları elde edilmiştir. Sonuç olarak, alüminyum sülfat %2 oranında kullanıldığında, hem harçların terleme ve kıvamlarının iyileştiği hem de eğilme ve basınç dayanımlarının arttığı tespit edilmiştir [24]. Fragata vd. yaptıkları çalışmada, cam tozunun harç karışımlarında kullanımını araştırmışlardır. Çalışmada; çimentolu, hidrolik kireçli ve hava kireçli üç farklı harç karışımı hazırlanmıştır. Ardından, bu bağlayıcılar ile cam tozu farklı oranlarda yer değiştirilerek harçlar üretilmiş ve elde edilen numunelerin eğilme ve basınç dayanımları tespit edilmiştir. Sonuçta, karışım içinde artan cam tozunun çimentolu harçların mekanik özelliklerini azaltırken hidrolik kireçli ve hava kireçli harçların mekanik özelliklerini arttırdığı belirtilmiştir [25]. Santos vd. yaptıkları çalışmada, agrega türünün kireç esaslı harçların mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada; agrega olarak doğal ve kırma silika kumu, kırma kalker kumu, kırma bazalt kumu ve kırma granit kumu kullanılarak hacimce b/a oranı 1/2.5 olacak şekilde harç karışımları elde edilmiştir. Sonuç olarak, tüm harç karışımlarının 28, 90 ve 360 günlük basınç dayanımları incelendiğinde, numune yaşı ilerledikçe dayanımların arttığı belirlenmiştir. En yüksek dinamik elastisite modülünün kırma kalker kumlu harç numunelerde olduğu tespit edilmiştir [26]. Veiga vd. yaptıkları çalışmada, puzolanik katkılı harçların deneysel uygulanması ve performanslarının değerlendirilmesini araştırmışlardır. Çalışmada; hava kireci, doğal hidrolik kireç, beyaz çimento, silis dumanı, metakaolin ve Cabo Verde bölgesinden alınan doğal puzolan ile ayrı ayrı harç karışımları oluşturulmuştur. Sonuç olarak, sertleşmiş harç numunelerde en yüksek ve en düşük eğilme ve basınç dayanımları sırasıyla, kireç-beyaz çimentolu harçlar ve kireç-doğal hidrolik kireç içeren harçlarda elde edilmiştir. Sertleşmiş numunelerde kireç-silis dumanlı harçların en düşük yoğunluğa sahip olduğu belirlenmiştir [27]. Tampus vd. yaptıkları çalışmada, kireç esaslı çimentolu harçlarda kireç yerine odun talaşı külünün (OTK) katılmasının harçların fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada; harç kontrol numunesi, PÇ/sönmüş kireç/kum (1/1/6) oranı kullanılarak hazırlanmıştır. Kontrol numunesine göre sönmüş kireç yerine %25, %50, %75 ve %100 OTK ikame edilmiştir. Sonuçta, hamur numunelerde kireç yerine %50'ye kadar OTK katıldığında priz başlangıç süresinin kısaldığı, kül içeriği arttıkça bu sürenin uzadığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak %25'e kadar OTK katıldığında priz bitiş süresinin kısaldığı, kül içeriği arttıkça bu sürenin uzadığı belirtilmiştir. Harç numuneleri incelendiğinde, 7 ve 28 gün yaşlarda kontrol numunesi dahil olmak üzere harçlar arasında en yüksek basınç dayanımı %100 OTK içeren numunelerde tespit edilmiştir [28].

Bu çalışmada, çimentolu harç sistemlerinde kirecin çimentoya farklı oranlarda ikame edilmesiyle üretilen

harçların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin deneysel olarak tespit edilmesi hedeflenmiştir. Literatürde farklı oranlarda sönmüş kireç içeren harçlarla ilgili bazı araştırmalara rastlanmaktadır. Bu araştırmalarda; genellikle düşük oranda sönmüş kireç, çimento veya mineral esaslı katkılarla birlikte kullanılmış ve özellikle onarım harçlarının fiziksel ve mekanik özellikleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada ise, çimentolu hamur ve harç karışımlarında mineral katkıları kullanılmadan yalnız sönmüş kirecin değişik oranlarda kullanılmasıyla elde edilen takviyeli ve temditli hamur ve harçların özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL and METHOD)

2.1. Materyal (Materials)

Bu çalışmada, TS EN 197-1[29] Türk standardına uygun olarak Ankara Limak çimento fabrikası ürünü CEM I 42.5R Portland çimentosu (PÇ) kullanılmıştır. CEM I çimentosunun yoğunluğu 3.13 g/cm³'tür. Bu çimentoaya ait kimyasal özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. CEM I 42.5R çimentosu kimyasal özellikleri (Chemical properties of CEM I 42.5R cement)

Oksit	(%)
SiO ₂	18.46
Al ₂ O ₃	4.36
Fe ₂ O ₃	2.92
CaO	64.14
TiO ₂	-
MgO	2.15
Na ₂ O	0.16
K ₂ O	0.69
SO ₃	2.83
Mn ₂ O ₃	-
Cl	0.01
Çözünmeyen kalıntı	0.40
Kızdırma kaybı	3.17
Özgül yüzey (Blaine) cm ² /g	3266

Harç numunelerinin üretiminde, TS EN 459-1[30] standardına uygun olarak Paksan kireç fabrikası tarafından üretilen CL 90S sönmüş yüksek kalsiyumlu torba toz kireç kullanılmıştır. Kirecin yoğunluğu 2.2 g/cm³'tür. Sönmüş kirecin özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Üretilen takviyeli ve temditli harçlarda ince agrega olarak TS EN 196-1[31] standardına uygun olarak Limak Trakya çimento fabrikası ürünü CEN standart kumu kullanılmıştır. Hamur ve harç karışımlarında karışım suyu olarak Ankara-Yenimahalle şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

Çizelge 2. CL 90S kireci kimyasal ve fiziksel özellikleri (Chemical and physical properties of CL 90S lime)

Özellik	(%)
Aktif CaO	68.61
Ca(OH) ₂	90.56
90 µm elek üstü kalan	0.95
200 µm elek üstü kalan	0.12
630 µm elek üstü kalan	0.0
Kızdırma kaybı	3.17
Özgül yüzey (Bet) m ² /g	40.3

2.2. Metot (Methods)

Üretilen hamur ve harç karışımları, CEM I ile sönmüş kirecin ağırlıkça farklı oranlarda ikame edilmesiyle hazırlanmıştır. Deneysel çalışmada; kontrol harcı CEM I (kontrol harcı %0 kireç), Ç80K20 ve Ç60K40 (temditli harç) ile Ç40K60 ve Ç20K80 (takviyeli harç) harçları olmak üzere toplam 5 harç karışımı üretilmiştir. Harç karışımlarına giren malzemeler ağırlıkça ve oran cinsinden Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Harç karışım oranları (The ratios of mortar mixtures)

Numune kodu	Kum (g)	Çimento	Kireç	Su (g)	s/b
Ç100	1350	%100	-	250	0.56
		450 g	-		
Ç80K20	1350	%80	%20	280	0.62
		360 g	90 g		
Ç60K40	1350	%60	%40	315	0.70
		270 g	180 g		
Ç40K60	1350	%40	%60	385	0.86
		180 g	270 g		
Ç20K80	1350	%20	%80	425	0.94
		90 g	360 g		

Harç ve hamur karışımına giren tüm malzemeler, hassas terazi yardımıyla tartılmış ve ELE marka otomatik çimento harç mikserinde karıştırılmıştır. Çimento hamurlarının standart kıvam, priz başı ve priz sonu deneyleri Vicat aletiyle, hacim sabitliği deneyi ise Le Chatelier aletiyle TS EN 196-3 [32] standardına göre belirlenmiştir. Hamur ve harçların fiziksel özellikleri üç deneyin aritmetik ortalaması alınarak tespit edilmiştir.

Hazırlanan harç karışımlarının işlenebilirlik değerleri, yayılma tablası aletinde ve yayılma çapı ASTM C109/C109M-16a [33] standardına uygun olarak %110±5 mm olacak şekilde sabit tutularak hazırlanmıştır. Harç karışımları; 40x40x160 mm boyutlarındaki çelik prizmatik kalıplara iki katman halinde dökülmüş ve her katman sarsma makinesinde sıkıştırılarak kalıplara yerleştirilmiştir. Daha sonra harç

kalıp yüzeyleri, çelik master yardımıyla düzeltilmiş ve harç numuneleri laboratuvar ortamında 48 saat boyunca kalıp içerisinde üstü naylon örtü ile örtülerek bekletilmiştir. Ardından harç numuneleri kalıplardan çıkartılarak Şekil 1'de gösterilen kür kabine yerleştirilmiştir.



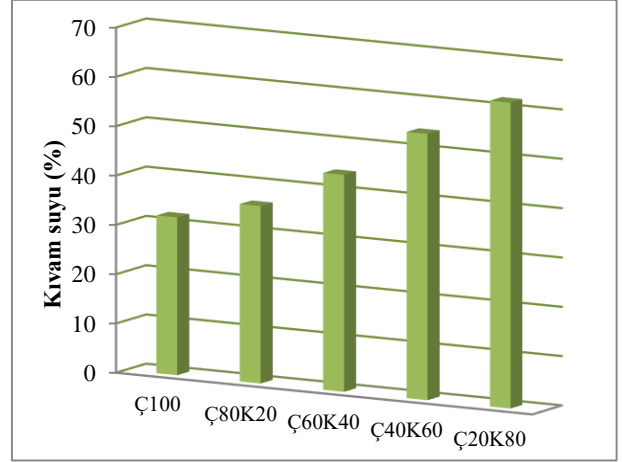
Şekil 1. Çalışmada kullanılan kür kabini (The curing cabinet used in the study)

Harç numuneleri, laboratuvarında bulunan 20 ± 2 °C sıcaklık ve 90 ± 5 bağıl nem oranına sahip kür kabini deney gününe kadar bekletilmiştir. Prizmatik harç numuneleri üzerinde 7, 28 ve 90 gün yaşında TS EN 196-1 [31] standardına uygun olarak eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Eğilmede çekme dayanımı deney sonuçları 3 numunenin aritmetik ortalaması alınarak belirlenmiştir. Basınç dayanımı deney sonuçları ise eğilme dayanımı deneyinde ikiye ayrılan prizmatik numunelerden elde edilen 6 numunenin aritmetik ortalamaları alınarak tespit edilmiştir. Sertleşmiş haldeki harç numunelerin kuru birim ağırlık değerleri, 90 günlük harç numuneleri hassas terazide tartıldıktan sonra hesaplama yoluyla belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Standart Kıvam Suyu (Consistency Water)

Hamur karışımlarına ait kıvam suyu değerleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde, çimento ile ikame edilen kireç oranındaki artışa paralel olarak hamurların kıvam suyu ihtiyacının da arttığı görülmektedir. Hamurların kıvam suyu değerlerinin $32 \sim 62$ arasında olduğu belirlenmiştir.

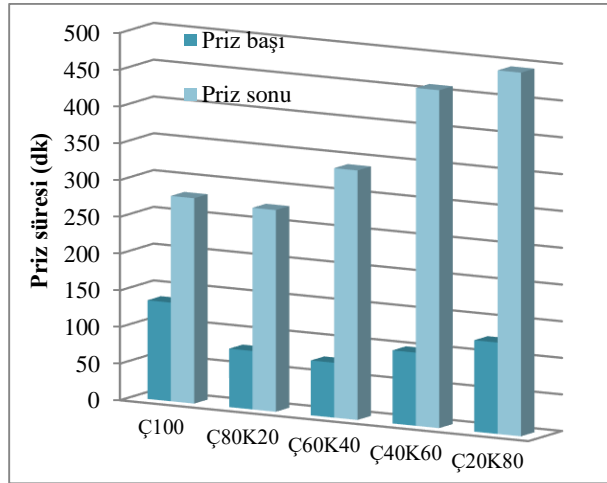


Şekil 2. Hamur karışımlarına ait kıvam suyu değerleri (Consistency water values of paste mixtures)

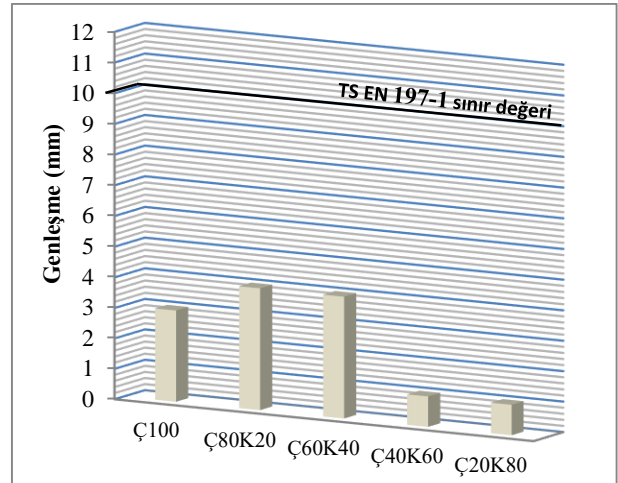
En yüksek ve en düşük kıvam suyu değerleri sırasıyla Ç20K80 ve Ç100 kodlu hamurlarda elde edilmiştir. Öte yandan kireç ikameli hamurlar kendi aralarında karşılaştırıldığında ise en yüksek ve en düşük kıvam suyu değerleri sırasıyla Ç20K80 ve Ç80K20 hamurunda elde edilmiştir. Kontrol hamuru Ç100'e göre Ç80K20, Ç60K40, Ç40K60 ve Ç20K80 kodlu kireçli hamurların standart kıvam suyu miktarları sırasıyla %13, %38, %69 ve %94 oranında artış göstermiştir. Bu sonuç, kireç yoğunluğunun çimento yoğunluğundan düşük olması ve kireç özgül yüzeyinin çimento özgül yüzeyinden oldukça fazla olması ile açıklanabilir. Kireç yoğunluğunun çimento yoğunluğundan düşük olması ve kireç özgül yüzeyinin çimento özgül yüzeyinden oldukça fazla olması dolayısıyla, hamur içerisine hacimce daha fazla kireç girmekte ve kireç tanelerinin yüzeyini ıslatmak için daha çok suya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple hamurda kullanılan kıvam suyu miktarı artış göstermektedir.

3.2. Priz Başı ve Priz Sonu Süreleri (Initial and Final Setting Times)

Hamur karışımlarının priz başı ve priz sonu süreleri Şekil 3'te görülmektedir. TS EN 197-1 [29] standardında CEM I 42,5R çimento hamurunun priz başı süresi ≥ 60 dk olarak sınırlandırılmıştır. Şekil 3 incelenecek olursa, hem kontrol çimentosu CEM I hem de kireçli hamurların priz başı süreleri standart sınır değerinden yüksek olduğundan üretilen hamurların standarda uygun olduğu söylenebilir. Hamurlar arasında en kısa ve en uzun priz başı süreleri sırasıyla Ç60K40 ve Ç100'de elde edilmiştir. Priz sonu süreleri karşılaştırıldığında ise en kısa ve en uzun priz süreleri sırasıyla Ç100 ile Ç80K20 ve Ç20K80 hamurlarında tespit edilmiştir.



Şekil 3. Hamur karışımlarına ait priz süreleri (Setting times of paste mixtures)



Şekil 4. Hamur karışımlarının genleşme değerleri (Soundness values of paste mixtures)

Şekil 3'te görüldüğü gibi, hamur karışımındaki kireç oranı arttıkça her iki priz süresi de artış göstermektedir. Priz başı süreleri göz önüne alındığında, genel olarak ikame oranının düşük olduğu %20 ve %40 kireçli Ç80K20 ve Ç60K40 hamurları daha kısa sürede priz alırken, kireç miktarının arttığı Ç40K60 ve Ç20K80 hamurlarda priz başı süresi uzamaktadır. Kireçli hamurlar kontrol hamuru olan Ç100 ile karşılaştırıldığında, en uzun priz başı süresi içinde kireç bulunmayan Ç100'de tespit edilmiştir. Kireçli hamurların priz başı süresinin Ç100'den daha kısa olmasının sebebi, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile havadaki CO_2 'nin reaksiyona başlamasıyla açıklanabilir.

Benzer şekilde priz sonu süreleri incelendiğinde, kontrol hamuru Ç100 ile Ç80K20'nin hemen hemen birbiri ile aynı sürede prizini tamamladığı belirlenmiştir. Bununla birlikte hamur karışımına giren kireç miktarı arttıkça priz sonu sürelerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Hidrolik özellikleri bulunmayan kirecin, hamurun priz süresini uzatması beklenen bir durumdur. En kısa ve en uzun priz sonu değerleri sırasıyla Ç80K20 ve Ç20K80 hamurlarında elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların kıvam suyu oranlarıyla benzer değerler aldığı görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, Tampus vd. tarafından yapılan deneysel çalışmada bulunan sonuçlar ile benzerlik göstermektedir [28].

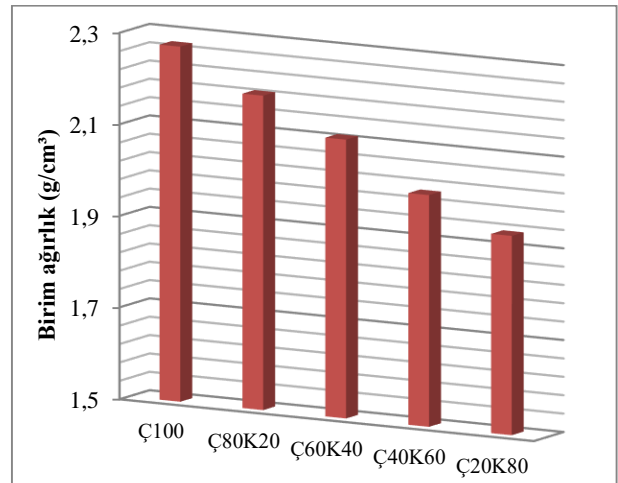
3.3. Genleşme (Soundness)

Hamurlardan elde edilen genleşme değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir. TS EN 197-1 [29] standardında çimento hamurunun maksimum genleşme değeri 10 mm olarak sınırlandırılmıştır. Şekil 4 incelendiğinde, elde edilen hamurların genleşme değerlerinin TS EN 197-1'de verilen sınır değerden düşük olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, laboratuvarında üretilen hamur karışımlarının tamamının genleşme bakımından TS EN 197-1 standardına uygun olduğu tespit edilmiştir.

Diğer taraftan kontrol hamuru olan Ç100 ile kireçli hamurlar karşılaştırıldığında, çimento miktarı içinde fazla olan Ç80K20 ve Ç60K40 hamurları yüksek, Ç40K60 ve Ç20K80 hamurları düşük genleşme göstermiştir.

3.4. Birim Ağırlık (Unit Weight)

Sertleşmiş harç numunelerinin birim ağırlık değerleri Şekil 5'te gösterilmektedir. Şekil 5'te görüldüğü gibi, harçların birim ağırlık değerleri 1.93~2.27 g/cm^3 arasında değişmektedir. Karışıma giren sönmüş kireç miktarı arttıkça harçların birim ağırlık değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 5. Numunelerin birim ağırlık değerleri (Unit weight values of samples)

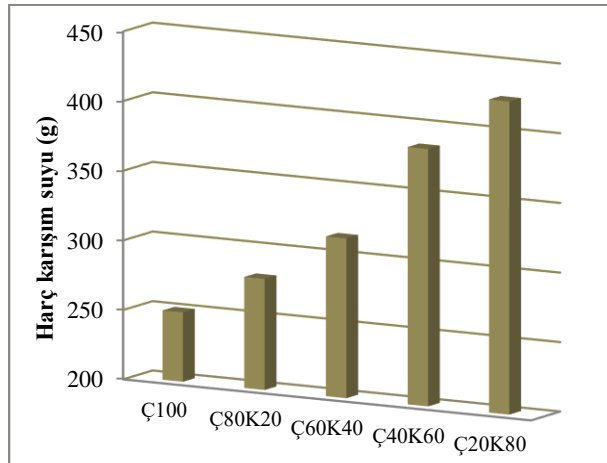
En yüksek ve en düşük birim ağırlık değerleri sırasıyla Ç100 ve Ç20K80 kodlu harçlarda elde edilmiştir. Diğer taraftan kireç ikameli harçlar kendi aralarında kıyaslandığında en yüksek birim ağırlık değerini Ç80K20 harcı göstermiştir. Dayı [18], kireçli 90 günlük harç numunelerinin birim ağırlıklarının 1.36-1.63 g/cm^3 olarak belirlemiştir. Aynı çalışmada kireç içeriğinin sertleşmiş

numunelerin birim ağırlıklarını oldukça düşürdüğü açıklanmıştır. Veiga vd.[27], hava kireci/beyaz çimento (1/2) oranlarında hazırlanan 28 günlük sertleşmiş harç numunelerin birim ağırlıklarını 1.76 g/cm^3 olarak belirlemiştir. Bu çalışmadaki harçların birim ağırlık değerlerinin literatürde elde edilenler ile yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca sertleşmiş birim ağırlık değerleri irdelendiğinde, çimentoya göre yoğunluğu daha düşük olan kirecin kullanıldığı numunelerin birim ağırlık değerlerinde daha belirgin azalmalar görülmektedir.

Harç numunelerinin birim ağırlıkları kendi içinde irdelendiğinde ise, her serinin bir önceki seriden ortalama %4 daha düşük birim ağırlığına sahip olduğu tespit edilmiştir. Kontrol harcı Ç100'e göre, Ç20K80 kodlu numunenin sertleşmiş birim ağırlık değeri yaklaşık %15 daha düşük elde edilmiştir.

3.5. Harçların İşlenebilirliği (Workability of Mortars)

Şekil 6'da laboratuvarında üretilmiş olan harç karışımlarının aynı işlenebilirliğe sahip olması için gerekli karışım suyu miktarları gösterilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü gibi, harç karışımına giren kireç miktarı arttıkça harç karışım suyu miktarı da doğrusal olarak artmaktadır.

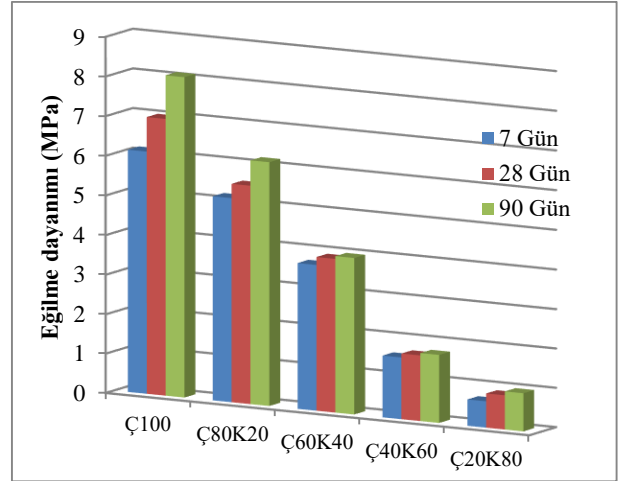


Şekil 6. Harç karışımlarına ait harç karışım suyu değerleri (Mixing water values of mortar mixtures)

Aynı işlenebilirliğe sahip taze harçlarda en düşük ve en yüksek karışım suyu değerleri sırasıyla Ç100 ve Ç20K80 harçlarında elde edilmiştir. Kontrol harcı Ç100'e göre, kireç ikameli Ç80K20, Ç60K40, Ç40K60 ve Ç20K80 harçlarının karışım suyu değerleri sırasıyla %12, %26, %54 ve %70 oranında artış göstermiştir. Bu durum, kireç yoğunluğunun çimento yoğunluğundan düşük olmasıyla açıklanabilir. Başka bir deyişle, harç karışımına hacimce daha çok kireç girdiğinden karışım suyu ihtiyacı da artış göstermektedir.

3.6. Eğilme Dayanımı (Flexural Strength)

Prizmatik harç numunelerin 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı-numune yaşı ilişkisi Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Harçlarda eğilme dayanımı-numune yaşı ilişkisi (The relationship between flexural strength-ages in mortars)

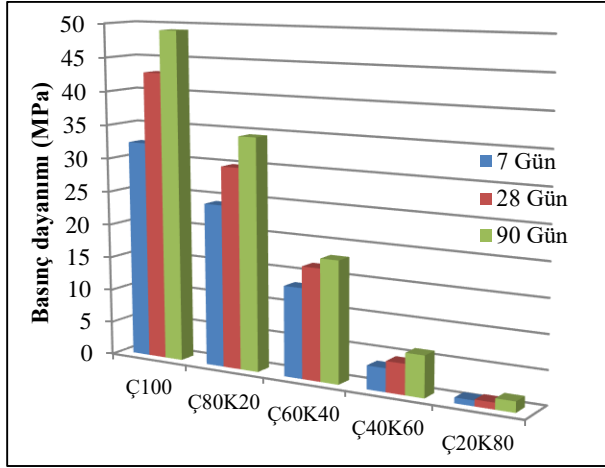
Şekil 7'de görüldüğü gibi, kontrol harcı Ç100 ile kireç ikameli Ç80K20, Ç60K40, Ç40K60 ve Ç20K80 harç numunelerinin eğilme dayanımları karşılaştırıldığında; harç karışımına giren sönmüş kireç miktarı artışının tersine olarak harç numunelerin eğilme dayanımları azalmaktadır. Dolayısıyla harç karışımına giren sönmüş kireç harçların eğilme dayanımlarının azalmasına sebep olmaktadır. Çimento, hava kireci ve hidrolik kirecin bağlayıcı olarak kullanıldığı deneysel bir çalışmada, 28 ve 90 günlük harçlarda en düşük eğilme dayanımı değerinin $\sim 0.5 \text{ MPa}$ olarak sadece hava kireci kullanılan harçta elde edildiği tespit edilmiştir [25]. Buna göre çalışmamızda elde edilen eğilme dayanımı deney sonuçları literatür ile benzerlik göstermektedir. Üretilen harçlarda beklendiği gibi en yüksek ve en düşük eğilme dayanımları sırasıyla Ç100 ve Ç20K80 harçlarında elde edilmiştir.

Kireçli harçlar kendi aralarında karşılaştırılacak olursa en yüksek ve en düşük eğilme dayanımlarını Ç80K20 ve Ç20K80 harçları göstermiştir. Kontrol harcı Ç100'e göre, kireç ikameli harçların eğilme dayanımı değerleri 7, 28 ve 90 günlük numunelerde sırasıyla; Ç80K20'de %15, %21 ve %24, Ç60K40'de %39, %44 ve %51, Ç40K60'de %74, %76 ve %79 ve Ç20K80'de %89, %87 ve %88 oranında azalmıştır.

Diğer taraftan üretilen bütün harçlar kendi aralarında karşılaştırıldığında, harçların numune yaşı artışına paralel olarak eğilme dayanımı değerleri de artış göstermektedir. Öte yandan harç karışımlarına ilave edilen kireç oranı arttıkça eğilme dayanımı gelişiminin azaldığı belirlenmiştir.

3.7. Basınç Dayanımı (Compressive Strength)

Şekil 8'de prizmatik harç numunelerin 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı-numune yaşı ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 8. Harçlarda basınç dayanımı-numune yaşı ilişkisi (The relationship between compressive strength-ages in mortars)

TS EN 197-1 standardında CEM I 42.5R çimentolu harcın 28 günlük standart basınç dayanımının min. 42.5 MPa ve maks. 62.5 MPa olması istenmektedir. Şekil 8'de görüldüğü gibi kontrol çimentosu CEM I'in 28 günlük basınç dayanımı ~ 43 MPa olarak elde edilmiş olup ilgili standart TS EN 197-1 [29]'e uygunluk göstermektedir.

Kireç ikameli Ç80K20, Ç60K40, Ç40K60 ve Ç20K80 harç numunelerinin basınç dayanımları kontrol harcı Ç100 ile karşılaştırıldığında; harç karışımına giren sönmüş kireç miktarı artışının tersine olarak harçların basınç dayanımları doğrusal olarak azalmaktadır. Harç karışımına giren kirecin harçların basınç dayanımını azalttığı bazı kaynaklarda belirtilmektedir [11, 13, 17, 25, 34]. Buna göre bu çalışmadan elde edilen basınç dayanımı deney sonuçlarının ilgili literatür ile benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Üretilen harçlarda eğilme dayanımında olduğu gibi en yüksek ve en düşük basınç dayanımları, beklendiği gibi sırasıyla Ç100 ve Ç20K80 harçlarında elde edilmiştir. Kireçli harçlar kendi aralarında kıyaslandığında ise en yüksek ve en düşük basınç dayanımları Ç80K20 ve Ç20K80 harçlarında görülmüştür. Kontrol harcı Ç100'e göre, kireç ikameli harçların basınç dayanımı değerleri 7, 28 ve 90 günlük numuneler için sırasıyla; Ç80K20'de %25, %30 ve %30, Ç60K40'de %59, %61 ve %63, Ç40K60'de %89, %90 ve %88 ve Ç20K80'de %98, %98 ve %97 oranında azalmıştır.

Öte yandan kontrol harcı ve kireçli harçlar kendi arasında kıyaslandığında eğilme dayanımında olduğu gibi numune yaşı ilerledikçe basınç dayanımları da artmaktadır. Bununla birlikte eğilme dayanımına benzer şekilde harç karışımındaki kireç oranı arttıkça basınç dayanımı gelişiminin azaldığı görülmektedir.

Diğer taraftan TS EN 998-1[35] kâgir harcı standardına göre sertleşmiş harç basınç dayanımı sınıflandırması; 0.4~2.5 N/mm² CS I, 1.5~5.0 N/mm² CS II, 3.5~7.5 N/mm² CS III ve ≥ 6 N/mm² ise CS IV olarak yapılmıştır. Buna göre üretilen harçların 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde; Ç80K20 ile Ç60K40 harç

numuneleri CS IV, Ç40K60 ve Ç20K80 harçları ise sırasıyla CS II ve CS I kategorisinde yer almaktadır. Görüldüğü gibi Ç80K20 ile Ç60K40 harçları 6 N/mm² 'den oldukça yüksek dayanım sağladığından kâgir harcı olarak kullanılacağı düşünülmektedir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada, çimento esaslı hamur ve harç karışımlarında çimento ile ağırlıkça farklı oranlarda ikame edilerek kullanılan sönmüş kirecin, fiziksel ve mekanik yapı özelliklerine etkisi incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özet olarak verilmiştir:

- Hamur karışımına giren sönmüş kireç oranı arttıkça standart kıvam suyu değerleri de artmaktadır.
- Hamur karışımına giren sönmüş kireç oranı arttıkça kontrol çimentosu CEM I'e göre priz başı süresi azalırken priz sonu süresi ise artmaktadır.
- Hamur karışımına giren sönmüş kireç oranı arttıkça genleşme değerleri azalmaktadır.
- Sönmüş kireç üretilen harçların birim ağırlığını azaltmaktadır.
- Harç karışımlarında sönmüş kireç oranı arttıkça sabit işlenebilirliği sağlamak için ihtiyaç duyulan karışım suyu miktarı artmaktadır.
- Harç karışımına giren sönmüş kireç oranı arttıkça harçların eğilme dayanımları azalma göstermektedir.
- Harç numunelerin basınç dayanım değerleri, eğilme dayanımı değerlerine benzer şekilde karışıma giren sönmüş kireç oranı arttıkça azalmaktadır.
- Kireç içeren harçlar kendi aralarında kıyaslandığında en yüksek ve en düşük basınç dayanımları Ç80K20 ve Ç20K80 harçlarında elde edilmiştir.
- Deneylelerden elde edilen sonuçlara göre temditli harçların eğilme ve basınç dayanımları, takviyeli harçlardan daha yüksek elde edilmiştir.

Sonuç olarak, çimento esaslı harç karışımlarında çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda sönmüş kireç kullanımının harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini büyük ölçüde değiştirdiği gözlenmiştir. Hamur veya harçtan istenen farklı özellikler göz önüne alındığında elde edilen deneysel sonuçlar, yapıdaki çeşitli imalatlarda bu harçların kullanılabilirliğini göstermektedir. Elde edilen deney sonuçlarına göre; üretilen temditli harçların taşıyıcı duvarlarda, takviyeli harçların ise taşıyıcı olmayan bölme duvarlarında örgü ve sıva harcı olarak kullanılmasının uygun olacağı öngörülmektedir. Bununla birlikte bağlayıcıların üretim prosesi düşünüldüğünde, birim miktarda kireç üretimi için, çimentoya oranla daha az enerji kullanıldığı bilinmektedir. İnşaat sektöründe optimum mekanik özelliklerin karşılandığı takviyeli harçların kullanılmasının, sürdürülebilir bir yaklaşım olacağı ve çevreyi daha çok koruyacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla puzolan kullanılması önerilebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmada, çimento malzemesi ve kimyasal analiz için Ankara Limak Çimento San. Tic. A.Ş. ile kireç malzemesi ve kimyasal analiz için Paksan Paketlenmiş Kireç A.Ş. ve kalite sorumlusu Neval YILDIRIM'a gösterdikleri ilgi ve desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (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.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Scrivener K.L., & Kirkpatrick R.J., "Innovation in use and research on cementitious material", *Cement and Concrete Research*, 38(2):128-36, (2008).
- [2] Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, TR63 bölgesi çimento sektör raporu, 14-15, (2015).
- [3] Akman S., "Harçlar", *Yapı malzemeleri*, İTÜ Yayınevi, 122-123, (1987).
- [4] Aruntaş H.Y., "Sıvacı", *İntes*, (2011).
- [5] Kaya F., "Yığma yapıların polipropilen lifli kuru karışım püskürtme beton ile güçlendirilmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2013).
- [6] Uğur T., Güleç A., "Harç, sıva ve diğer kompozit malzemelerde kullanılan bağlayıcılar ve özellikleri", *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, (17): 77-91, (2014).
- [7] Haneefa, K., Divya Rani S., Ramasamy, R., Santhanam, M., "Microstructure and geochemistry of lime plaster mortar from a heritage structure", *Construction and Building Materials*, 225: 538-554, (2019).
- [8] Seabra M. P., Paiva H., Labrincha J. A., & Ferreira V. M., "Admixtures effect on fresh state properties of aerial lime based mortars", *Construction and Building Materials*, 23(2): 1147-1153, (2009).
- [9] Van Balen K., "Understanding the lime cycle and its influence on historical construction practice", *In Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Vol. 20, p. 24th, Universidad Politécnica de Madrid: Instituto Juan de Herrera, (2003).
- [10] Tate, M., "The most important property of cement-lime mortar in masonry construction is", *In International Building Lime Symposium*, Orlando, Florida, (2005).
- [11] Arandigoyen M., & Alvarez J. I., "Pore structure and mechanical properties of cement-lime mortars", *Cement and Concrete Research*, 37(5): 767-775, (2007).
- [12] Samiei, R., Daniotti, B., Pelosato, R., Dotelli, G., "Properties of cement-lime mortars vs. cement mortars containing recycled concrete aggregates", *Construction and Building Materials*, 84: 84-94, (2015).
- [13] Velosa, A., Veiga, R., "Use of additivated lime mortars for old building rehabilitation-adapted testing methods", *9th International Conference on Durability of Building Materials and Components*, Australia, (2002).
- [14] Silva B. A., Pinto A. F., & Gomes A., "Influence of natural hydraulic lime content on the properties of aerial lime-based mortars", *Construction and Building Materials*, 72: 208-218, (2014).
- [15] Aggelakopoulou E., Bakolas A., & Moropoulou A., "Properties of lime-metakolin mortars for the restoration of historic masonries", *Applied Clay Science*, 53(1): 15-19, (2011).
- [16] Pachta V., Triantafyllaki S., & Stefanidou M., "Performance of lime-based mortars at elevated temperatures", *Construction and Building Materials*, 189: 576-584 (2018).
- [17] Gulbe L., Vitina I., & Setina J., "The influence of cement on properties of lime mortars", *Procedia Engineering*, 172: 325-332, (2017).
- [18] Dayı M., "Tarihi yapılarda kullanılan horasan harçlarının incelenmesi ve alternatif horasan harcının üretilmesi", *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2017).
- [19] Erdoğdu Ş, Nas M, Nayır S, Kandil U., "Uçucu kül ve polipropilen lifli kireç harçlarının çimento takviyesi ile mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi", *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, (2017).
- [20] Lanás J., & Alvarez-Galindo J. I., "Masonry repair lime-based mortars: factors affecting the mechanical behavior", *Cement and Concrete Research*, 33(11): 1867-1876, (2003).
- [21] Izaguirre A., Lanás J., & Alvarez J. I., "Effect of a polypropylene fibre on the behaviour of aerial lime-based mortars", *Construction and Building Materials*, 25(2): 992-1000, (2011).
- [22] Arizzi A., Cultrone G., "Aerial lime-based mortars blended with a pozzolanic additive and different admixtures: A mineralogical, textural and physical-mechanical study", *Construction and Building Materials*, 31: 135-143, (2012).
- [23] Garijo L., Zhang X., Ruiz G., & Ortega J. J., "Age effect on the mechanical properties of natural hydraulic and aerial lime mortars", *Construction and Building Materials*, 236: 117573, (2020).
- [24] Wang, Y., He, H., & He, F., "Effect of slaked lime and aluminum sulfate on the properties of dry-mixed masonry mortar", *Construction and Building Materials*, 180: 117-123, (2018).
- [25] Fragata, A., Paiva, H., Velosa, A. L., Veiga, M. R., & Ferreira, V. M., "Application of crushed glass

- residues in mortars”, *Sustainable Construction Symposium*, Portugal, (2007).
- [26] Santos A. R., do Rosário Veiga M., Silva A. S., de Brito J., Álvarez J. I., “Evolution of the microstructure of lime based mortars and influence on the mechanical behaviour: the role of the aggregates”, *Construction and Building Materials*, 187: 907-922, (2018).
- [27] Veiga M. R., Velosa A., Magalhães A., “Experimental applications of mortars with pozzolanic additions: characterization and performance evaluation”, *Construction and Building Materials*, 23(1): 318-327, (2009).
- [28] Tampus, R. M., Lardizabal, J. R., Acena, D. L. M., Uy, M. A. M., & Arcenal, K. V. R., “Proportion and property specifications and strength behavior of mortar using wood ash as partial replacement of lime”, *International Journal*, 18(70): 49-55, (2020).
- [29] TS EN 197-1, “Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri”, (2012).
- [30] TS EN 459-1, “Yapı kireci - Bölüm 1: Tarifler, özellikler ve uygunluk kriterleri”, (2015).
- [31] TS EN 196-1, “Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini”, (2016).
- [32] TS EN 196-3, “Çimento deney yöntemleri - Bölüm 3: Priz süreleri ve genleşme tayini”, (2017).
- [33] ASTM C109 / C109M - 16a, “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars”, (2016).
- [34] Qadir, W., Ghafor, K., & Mohammed, A., “Evaluation the effect of lime on the plastic and hardened properties of cement mortar and quantified using Vipulanandan model”, *Open Engineering*, 9(1): 468-480, (2019).
- [35] TS EN 998-1, “Kâgır harcı – Özellikler - Bölüm 1: Kaba ve ince sıva harcı”, (2017).