



Tarihi Yiğma Yapıların Onarımında Kullanılan Enjeksiyon Yönteminin (Grouting) ve Kireç Esaslı Enjeksiyon Malzemesinin Zaman İçerisinde Gelişimi

The Evolution of Grouting and Hydraulic Lime-Based Grout Used in the Restoration of Historical Masonry Buildings

Dilek EKŞİ AKBULUT,¹ Enise Yasemin GÖKYİĞİT ARPACI,¹ Didem OKTAY,² Nabi YÜZER²

ÖZ

Kültürlerin varlığının belgesi olmanın yanı sıra yaşanan çevrenin önemli bir parçası niteliğindeki tarihi yapıların korunması ve sonraki nesillere aktarılması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, zaman içerisinde farklı sebeplerle hasar gören eserler; çeşitli yöntemlerle onarılmakta; yapılan uygulamalarla mirasın sürdürülebilirliğinin sağlanması hedeflenmektedir. Ancak onarım yöntemleri ve malzemeleri hakkında yeterli bilimsel çalışma yapılmadan gerçekleştirilen uygulamalar, kültürel mirasın korunmasının aksine yapıya daha büyük zararlar vermekte, yeni hasarların oluşmasına neden olmaktadır. Tarihi yiğma yapı onarımı sırasında sıklıkla kullanılan enjeksiyon yöntemi ve kireç esaslı enjeksiyon malzemeleri hakkında yapılan araştırmalar çok kısıtlı düzeydedir. Uygulama sırasında üretici firmanın bilgi reçetesine güvenilmekte, uygulama öncesi ön test yapılmamakta, tek bir malzeme her yapıya uygulanmakta, özgün yapı özelinde incelenmemektedir. Oysa ki enjeksiyon yöntemi geri dönüşü olmayan bir yöntemdir ve beklenmeyen hasarlardan kaçınmak için yapılan bilimsel araştırmalar büyük önem taşımaktadır. Malzemenin yaygın kullanımına rağmen, halen kireç esaslı enjeksiyon malzemesi hakkında oluşturulmuş ulusal veya uluslararası nitelikte bir standard da yoktur. Bilimsel araştırmalar sırasında literatür verileri göz önünde bulundurulmakta; bu bağlamda konu ile ilgili literatür çalışmalarının önemi daha da artmaktadır. Bu çalışmanın amacı, tarihi yiğma yapıların onarımında kullanılan kireç esaslı enjeksiyon malzemesi ve yönteminin literatür taraması ile zaman içerisinde gelişimini incelemek; ivedilikle oluşturulması gereken standartlar ve bundan sonra yapılacak bilimsel araştırmalara katkıda bulunmaktır. Çalışma kapsamında ulaşılabilen kaynaklar doğrultusunda, konu başlıkları kronolojik olarak sıralanmış, öncelikle tarihi yiğma yapıların onarımı sırasında uygulanan enjeksiyon yöntemi tanımlanmış; kireç esaslı enjeksiyon malzemesinin gelişimine katkıda bulunan diğer şerbetler ve harçlarla ilgili çalışmalara değinilmiş; kireç esaslı enjeksiyon malzemelerinin ve deney yöntemlerinin gelişimi ele alınmış; son olarak ticari (hazır) enjeksiyon malzemeleri ile Türkiye'de enjeksiyon malzemesinin kullanımı ve yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Anahtar sözcükler: Enjeksiyon yöntemi; kireç harçları; koruma; onarım; tarihi yiğma yapılar.

ABSTRACT

In addition to serving as documentation of cultural existence, historical structures are important part of the living environment. Thus, it is important to transfer them to future generations. Historical buildings that have been damaged over time due to various reasons are in need of conservation and restoration. However, methods applied with lack of scientific research can have harmful effects on the structure and create new damages. The scientific research on hydraulic, lime-based grout that is frequently used in the restoration of historical buildings is insufficient. In particular, the research on commercially sold lime-based grout needs more interest. The injection of grout is an irreversible technique and more scientific research can prevent unpredictable damages. Furthermore, although it is widely used, there are no national or international standards regarding the use of hydraulic lime-based grout. The aim of this study is to analyse the development of the grouting technique and the lime based grouts used in the restoration of buildings with historical masonry structure within the literature review context and to offer a contribution to the required standards and further scientific research. This research is an examination of the available resources in related topics in a chronologic order. First, the technique used to inject the grout during the restoration of buildings with historical masonry is described. Studies performed related to other grouts and mortars that contributed to the development of the use of hydraulic, lime-based grouts are discussed. Then, the development of the hydraulic, lime-based grout material and the test methods for this material are examined. There is also an analysis on the research performed with regard to the commercially available, hydraulic, lime-based grouts. Finally, the previous and ongoing research considering the use of this grout in Turkey is mentioned in the scope of this study.

Keywords: Grouting; lime mortars; conservation; restoration; historical masonry buildings.

¹Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, İstanbul

²Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İnşaat Bölümü Yapı Malzemesi Anabilim Dalı, İstanbul

Başvuru tarihi: 28 Mart 2017 - Kabul tarihi: 17 Kasım 2017

İletişim: Dilek EKŞİ AKBULUT. e-posta: dileksi@yahoo.com

© 2018 Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi - © 2018 Yıldız Technical University, Faculty of Architecture

Giriş

Tarihi yapılar, tüm insanlığın günlük çevrelerinin bir parçası olmanın yanı sıra, tarihin yaşayan temsilcileri; toplumların ve toplumu oluşturan kültür gruplarının varlığının, kimliğinin ve sürekliliğinin simgesi ve kanıtıdır. Bu nedenle kültürel ve mimari mirasın korunması ve sonraki nesillere aktarılması, tüm insanlığın ortak görevlerinden biridir.

Yüzyıllardır ayakta kalabilmiş olan tarihi yapılar çeşitli nedenlerle; yapının fonksiyonu, yapım tekniği, yörenin koşulları ve sonradan gördüğü onarımlara bağlı olarak bozulmalara uğrayabilir ve hasar görebilirler. Onarımda genel ilke öncelikle yapının hasar görmesine neden olan bu faktörleri ortadan kaldırmak ve ardından hasarlı bölgeye müdahalede bulunmaktır.¹

Tarihi yapıların onarımı ve koruma anlayışının geliştirilmesi için 19. yy da Avrupa'da başlayan çalışmalar, Carte Del Restauro (1932) ve Venedik (1964) Tüzükleri ile yasal bir kimlik kazanmış; korumanın genel ilkeleri ortaya konularak onarım kuralları kabul edilmiştir.² Daha sonra, günümüze kadar hazırlanan pek çok yasa, yönetmelik, tüzük vb. ile tarihi yapıların onarımı ve korunması alanında çalışmalar yapılmıştır. Bütün bu çalışmalar ışığında;³ mimari mirasın korunmasına yönelik müdahalelerde yapının özgünlüğünün tüm boyutlarıyla korunması ve bu bağlamda kullanılacak malzemelerin ilgili proje özelinde tanımlanacak testler ile belirlenmesi gerektiği saptanmıştır. Onarım sırasında kullanılacak yeni malzemeler özgün malzemeler ile uyumlu olmalı, bu sayede aksi durumda oluşabilecek yeni hasarlardan kaçınılmalıdır.

ICOMOS Türkiye Mimari Mirası Koruma Bildirgesi'ne göre tarihi yapıya yapılacak müdahale biçimleri; acil koruma önlemleri, koruma, sağlamlaştırma, bütünleme, yapısal iyileştirme ve güçlendirme olarak sınıflandırılmıştır. Yine aynı bildirmede sağlamlaştırma, "kültür varlığının bozulma sürecinin engellenmesi veya yavaşlatılması amacıyla malzemesinin ve/veya taşıyıcı sisteminin dayanımının artırılması, mevcut fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi işlemi"; yapısal iyileştirme, "yatay ve düşey yükler göz önünde bulundurularak, yapının mevcut güvenlik seviyesinin iyileştirilmesi ve en fazla ilk yapım aşamasında sahip olduğu güvenlik seviyesine kadar çıkarılması"; güçlendirme ise, "bir yapının mevcut güvenlik seviyesinin işlev değişikliği ya da standartların gereği olarak yükseltilmesi amacıyla yapılan strüktürel müdahalelerin tümü" olarak tanımlanmıştır.

Tarihi yığma yapıların onarımı sırasında kullanılan enjeksiyon yöntemi (grouting) ise genellikle sağlamlaştırma olmak üzere, yapısal iyileştirme ve güçlendirme sırasında da kullanılan bir onarım tekniğidir.

Tarihi Yığma Yapıların Onarımında Kullanılan Enjeksiyon Yöntemi

Tarihi yığma yapıların onarımı sırasında kullanılan ve şerbet enjeksiyonu olarak da adlandırılabilir yöntem; taş, tuğla ve harçların sağlamlaştırılması için çatlakların ya da boşlukların bulunduğu strüktüre uygulanan bir sıvı enjeksiyon yöntemidir. Enjeksiyon uygulaması ile duvar içerisinde bulunan boşlukların ve çatlakların doldurularak duvar kesitinin sürekliliğini sağlamak ve tekrar monolitik bir yapı elde etmek amaçlanır.⁴

Hidrolik özelliğe sahip enjeksiyon malzemeleri genel olarak çimento esaslı ve hidrolik kireç esaslı olmak üzere ikiye ayrılabilir. İngiltere'de 19. yy da portland çimentosunun keşfi ile günümüzde tarihi yapıların korunumu ve onarım ihtiyacı doğana kadar kireç içeren malzemeler neredeyse unutulmuştur. Portland çimentosu; erken priz alması, yüksek dayanıma ve mukavemete sahip olması, geçirgenliğinin az olması, kolay bulunabilir olması, düşük maliyetli olması ve yaygın kullanımı nedeniyle mimari koruma alanında da kullanılmaya başlanmıştır. 1970'lerin sonlarında portland çimentosunun zararlı etkileri keşfedilince, mimari mirası korumak için daha uygun olan geleneksel malzemelerin araştırılması ve geleneksel malzemelerin içerisinde kullanılan bileşenler ile yeni malzemelerin üretilmesi gündeme gelmiş, kireç ve puzolan⁵ içeren katkılarına geri dönülmüştür.⁶

Bu çalışma kapsamında ele alınan hidrolik kireç esaslı enjeksiyon malzemesinin (grout) ana maddeleri kireç ve sudur. Ayrıca içerisinde rötre⁷ engelleyici, doğal su tutucular, süper akışkanlaştırıcılar ve puzolanlar da bulundurulabilir. Şerbet yüksek miktarda su içerdiği için yığma sistemler içerisindeki çatlaklara, boşluklara ve bağlantı noktalarına dökülebilecek ya da enjekte edilebilecek bir kıvama sahiptir.

Tarihi yığma yapıların onarımında kullanılan enjeksiyon malzemesinin ve uygulama tekniklerinin son yıllarda önem kazandığı; araştırmaların geleneksel yığma yapıların sıklıkla bulunduğu Batı Avrupa, Kuzey Avrupa, İtalya ve Yunanistan'da görüldüğü söylenebilir. 1960'larda gerçekleşen eski Yugoslavya'daki büyük depremlerden ve 1976 yılında gerçekleşen Firiuli depreminden sonra Avrupa'da sismik alanlara odaklı çalışmalar yapılmaya başlanmış; bu doğrultuda taş dolgu ve çoklu sıralı duvarların dayanımının iyileştirilmesine öncelik verilmiş, enjeksiyon yöntemi gündeme gelmiştir.

Bu çalışma kapsamında, tarihi yığma yapıların strüktürel

⁴ Gökyiğit-Arpacı, 2016.

⁵ Kendi başlarına bağlayıcı özelliği bulunmayan, ancak ince öğütülmüş halde ve rutubetli ortamda kalsiyum hidroksitle reaksiyona girip bağlayıcı özelliğe sahip bileşenler meydana getiren silisli veya silisli ve alüminli malzemelerdir. Normal sıcaklıkta kireçle birleşerek su karşısında sertleşme yeteneği kazanan ve bu özelliğinden dolayı da bağlayıcı olarak kullanılan bir çeşit volkanik topraktır. Puzolan kelimesi İtalya'daki Pozzuoli kentinin adından gelmektedir (Hasol, 2009, s. 169.).

⁶ Wong, 2006.

⁷ Malzemenin taze haldeyken içerdiği suyun ortam rutubetine bırakıldığında buharlaşma yolu ile kaybolması sonucu malzemenin büzülmesidir (TDK, 2010).

¹ Gökyiğit-Arpacı, 2016. ² Ekşi-Akbulut, 2004. ³ ICOMOSTürkiye, 2013.

onarımında kullanılan kireç esaslı enjeksiyon malzemesi ve enjeksiyon yönteminin süreç içindeki gelişimini irdelemek için; ilgili çalışmalar kronolojik olarak ele alınmıştır.

Kireç Esaslı Enjeksiyon Malzemesi'nin Gelişimine Katkıda Bulunan Harçlar ve Farklı Şerbetler

Hidrolik özellik gösteren enjeksiyon malzemeleri genel olarak çimento esaslı ve hidrolik kireç esaslı olmak üzere ikiye ayrılabilir; zaman içerisinde uygulanan mekanik testlerle tarihi yapıların onarımı sırasında kullanılacak malzemeler için yüksek çimento oranlarına gerek olmadığı görülmüş;⁸ kireç esaslı enjeksiyon malzemelerinin yanı sıra çimento oranları azaltılmış şerbetler ve nano katkıları ile de enjeksiyon malzemeleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Her ne kadar tarihi yapıların onarımı sırasında kullanılan kireç esaslı enjeksiyon malzemeleri bu çalışmanın kapsamı içerisine alınmış olsa da; farklı şerbetlerin ya da harçların araştırılmasını içeren bazı çalışmalara da kireç esaslı enjeksiyon malzemelerinin gelişimine katkıda bulunduğu için değinilmiştir. Malzeme içeriklerinin araştırılması, uygulama süreçlerinin geliştirilmesi ve uygun deneylerin belirlenmesi konularını da içeren bu katkıları, kireç esaslı enjeksiyon malzemelerinin zaman içerisindeki gelişimi söz konusu olduğunda göz ardı edilemez.

Sıvalar ve Zemin Mozaikleri (1979-1986)

1979-1984 yılları arasında, EEC ve UNESCO'nun katkılarıyla, ICCROM tarafından geniş bir araştırma programı ele alınmıştır. Araştırma konuları arasında kireç harçlı duvar resmi sıvalarını ve zemin mozaiklerini onarmak için enjeksiyon malzemelerini test etmek ve geliştirmek de vardır. Bu çalışma kapsamında portland çimentosu, kireç, kireç-çimento ve hidrolik katkıları pek çok malzeme formüle edilmiş; malzeme performansları değerlendirilmiştir.⁹ Enjeksiyon malzemesi testleri için o zaman önerilen işlenebilirlik, priz süresi, büzülme, basınç ve eğilme dayanımı, basınç altında elastisite modülü, adezyon,¹⁰ ısıl genişleme, çözülebilir tuz, porozite,¹¹ boşluk boyut dağılımı ve su emme gibi özelliklerin belirlenmesinde uygulanan deneyler bugün hala uygulanabilir durumdadır.

1986 yılında Pompei, İtalya'daki Menander Evi'nin duvar resimleri ve bahçe kapısının onarımı da ICCROM'un çalışmaları sırasında geliştirilen enjeksiyon malzemesi ile yapılmıştır. Kısmen hidrolik kireç, akrilik sıvı çözelti karışımı ve baryum hidroksit eklenerek değiştirilmiş tuğla tozu içeren enjeksiyon malzemesi tüm yüzeyin %60'ından fazla alana, çatlaklar ve yüzey boşlukları boyunca enjekte edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda kullanılan bileşimin enjekte edilebilir ve enjeksiyon yönteminin uygulanabilir olduğu kabul edilmiştir.¹²

⁸ Kalagri ve diğ., 2010, s. 1135-1145., Vintzileou, 2011, s. 513-538.

⁹ Peroni ve diğ., 1981, s. 63-99.

¹⁰ Farklı molekülleri bir arada tutan çekim veya kuvvet, yapışma, bağ-

lanma, aderans (TDK, 2007).

¹¹ Gözeneklilik, toplam boşluk oranı (TDK, 2010).

¹² Mora ve diğ., 1986, s. 39.

Kireç Esaslı Karışımlara Tuğla Tozunun Etkisi (1986-1994)

1986 yılında English-Heritage, ICCROM ve Bournemouth Üniversitesi tarafından Smeaton Projesi geliştirilmiştir.¹³ Bu proje günümüzde Brampton, İngiltere'de bulunan ve M.S. 128 yılında Roma İmparatorluğu döneminde yapılan Hadrian Duvarı'nda daha önce portland çimentosu ile yapılan onarımın zararlı sonuçlarının görülmesi ile duruma müdahale etmek amacıyla başlatılmıştır. Geçirimsiz doğası nedeniyle portland çimentosunun yoğun ıslanma-kuruma etkisine neden olduğu, zaten zayıflamış olan kâgir yapının merkezinde su tutulmasına yol açtığı ve donma-çözünme riskini arttırdığı tespit edilmiştir.¹⁴

Proje kapsamında, uygun koruma harçlarını geliştirmek için, bir test programı başlatılmış; yıl boyunca tuğla tozu katkılı kireç esaslı karışımlar test edilmiş ve portland çimentosu ile karşılaştırılmıştır. Smeaton Projesi'ne dahil olan çalışmalar enjeksiyon malzemesinden ziyade harçlar üzerine olsa da harç-kum-tuğla karışımının kullanımını içerdikleri için kireç esaslı enjeksiyon malzemelerinin geliştirilmesine katkıda bulunmuştur.

Yığma Yapı Strüktürlerinin Sağlamaştırılması için Kullanılan Epoksi Reçine Şerbetler (1990-1994)

1990 yılında Politecnico di Milano ve Università di Padova'nın işbirliği ile geliştirilen proje ile Binda ve ekibi¹⁵ sismik alanlarda bulunan yığma strüktürlerin onarımı için uygulanan enjeksiyon yönteminde ana ilkeleri belirlemiş ve epoksi reçine şerbetlerin etkisinin ölçümü için yeni standartlar geliştirmişlerdir. Ana çalışma epoksi reçine şerbetlerle ilgilidir. Ancak bu çalışma da enjeksiyon yöntemi ve enjeksiyon malzemesinin performansının değerlendirilebilmesi için uygulanabilecek testler açısından kireç esaslı enjeksiyon malzemelerinin gelişimine katkıda bulunmuştur. Enjeksiyon malzemesinin performans değerlendirilmesi; düşük basınç altında iyi penetrasyon¹⁶ göstermesine, özgün malzeme ile arasındaki adezyon ve uyumun iyi olmasına, minimum mekanik dayanım ve şekil değiştirebilmeye sahip olmasına ve sismik aktiviteye yanıt vermesine göre yapılmıştır. 1990 yılındaki bu çalışma sonucunda; enjeksiyonun etkinliğinin özgün malzeme ve enjeksiyon malzemesi arasındaki uyumun yanı sıra penetrasyonun da göz önünde bulundurulması ölçülebileceği, başarılı bir uygulama için, enjeksiyonun sabit basınç ve uygun enjeksiyon tekniği ile yapılması gerektiği anlaşılmıştır.¹⁷

¹³ Teutonico ve diğ., 1994, s. 34-49.

¹⁴ Çimento harç ve sıvaların yoğunluğu ve ısı iletkenlik katsayıları yüksek olduğu için yoğunlaşmaya yol açarak eski eserin rutubetinde artışlara neden olur. Ayrıca, çimento harç ve sıva ürünlerinin gözenekleri çok küçük olduğundan yapının içerdiği veya herhangi bir yolla oluşan suyun buharlaşması zorlaşır. Böylece hem dü-

şük sıcaklıkta, hem de yüksek sıcaklıkta gerilim oluşacağı için, onarım sıvalarının yapıdan kolayca kopmasına yol açar veya yapının rutubetinde artışlar olur (Güleç, 1992).

¹⁵ Binda ve diğ., 1994, s. 539-548.

¹⁶ Enjeksiyon şerbetinin enjekte edilen malzeme içerisine yayılma kapasitesidir.

¹⁷ Binda ve diğ., 1994, s. 539-548.

Tablo 1. Farklı harç ve şerbetlerle ilgili çalışmalar

	Araştırmacılar-Kurumlar	Araştırma Konusu	Araştırma Sonucu - Malzeme ve Yöntem Gelişimine Etkisi
1970'ler		Avrupa'daki depremler sonrası yapılan sismik alan araştırmaları	*Geleneksel malzeme esaslı karışımların araştırılmaya başlanması
1979 1984	ICCROM,EEC ve UNESCO (Peroni, Tersigni, Torraca, Cerea, Forti, Guidobaldi, Rossi, De Rege, Picchi, Pietrafitta, BVenedetti)	Kireç harçlı duvar resmi sıvalarının ve zemin mozaiklerinin onarımı	*Malzeme özelliklerinin belirlenmesi sırasında uygulanan deneyler için öneriler getirilmesi
1986	ICCROM (Mora, Torraca, Bonito)	Menander Evi'nin duvar resimleri ve bahçe kapısının onarımı	*Onarımda kullanılan bileşimin enjekte edilebilir ve enjeksiyon yönteminin uygulanabilir olduğunun kabul edilmesi
1986 1994	English Heritage, Bournemouth University ve ICCROM (Teutonico, Mc Caig, Burns, Ashurst)	Hadrian Duvarı'nın onarımı, Kireç esaslı harçların özelliklerine etki eden faktörler	*Malzeme içeriklerinin gelişimine katkısı
1990 1994	Politecnico di Milano ve University of Podova (Binda, Modena, Baronio, Abbaneo)	Yığma yapı strüktürlerinin sağlamlaştırılması için epoksi reçine şerbetler	*Penetrasyonun göz önünde bulundurulması, *Sabit enjeksiyon basıncı ve uygun tekniğin önemi
1999 2000	Katholieke Universiteit Leuven ve National Technical University of Athens (Toumbakari, Van Gemert, Tassios, Tenoutasse)	Tüf-silis dumanı ve kireç-çimento bileşimlerinin testleri ile enjeksiyon malzemesi için tasarım koşullarının belirlenmesi	*Enjekte edilebilirlik, özgün malzeme ile adezyon, uygun mekanik özelliklerin tasarım koşulları olması, *Porozite ve boşluk boyut dağılımının su miktarına bağlı olması, *Karıştırma sürecinin penetrasyona etkisi, *Değerlendirme yapabilmek için 90-180 gün beklemek gerektiği

Tüf-Silis Dumanı ile Kireç-Çimento Karışımlarının Testleri ve Tasarım Koşulları (1999-2000)

1999 yılında Katholieke Universiteit Leuven ve National Technical University of Athens'ın işbirliği ile bir proje geliştirilmiştir.¹⁸ Toumbakari ve ekibinin çalışmasında tüf ve silis dumanı ile birçok kireç-çimento karışımı test edilmiş; tarihi yığma yapıların onarımı sırasında kullanılan enjeksiyon malzemesi için tasarım koşulları belirlenmiştir. Çalışmaya göre bu koşullar; enjekte edilebilirlik, özgün yığma strüktür malzemesi ile adezyon ve tanımlanan kapsam içerisindeki uygun mekanik özelliklerdir. Malzemenin porozite ve boşluk boyut dağılımının karışım içerisinde kullanılan su miktarına bağlı olduğu; karıştırma sürecinin enjeksiyon malzemesinin penetrasyonunu etkilediği saptanmıştır. Ayrıca, kireç karışımlarının yavaş priz almasına bağlı olarak, dikkatli alan uygulamasının önemi vurgulanmış ve enjeksiyon malzemesinin işe yarayıp yaramadığını görmek için farklı kür koşullarında 90 ila 180 gün arasında beklemek gerektiği belirtilmiştir (Tablo 1).

Kireç Esaslı Enjeksiyon Malzemeleri ve Deneysel Yöntemlerinin Geliştirilmesi

Kireç esaslı malzemeler çimento esaslı olanlardan daha esnektir. Yapı strüktürünün genleşme ve büzülmesine daha benzer özellikler gösterir. Ayrıca çimentodan daha fazla çevre dostudur.¹⁹ Bu nedenle günümüzde, tarihi yapıların onarımında kullanılmak üzere özgün malzeme ile daha uyumlu olan kireç esaslı enjeksiyon malzemeleri ile ilgili çalışmalar önem kazanmıştır. Her ne kadar kireç çok eski çağlardan beri kullanılan bir bağlayıcı olsa da; Eski Babilliler, Mısırlılar, Fenikeliler, Hititler ve Persler tarafından harç içerisinde bağlayıcı olarak kullanıldığı bilinmektedir;²⁰ kireç esaslı enjeksiyon malzemeleri ile ilgili bilimsel araştırmalar çok uzun bir geçmişe sahip değildir. Konu ile ilgili günümüze kadar yapılan çalışmalar genellikle malzemenin uygunluğunun belirlenmesi için yapılması gereken ön testleri, uygulama süreçlerini, çeşitli katkıların etkilerini ve performans değerlendirmelerini kapsamaktadır.

¹⁸ Toumbakari ve diğ., 2000, s. 395-405.

¹⁹ Banfill ve Shimizu, 2016, s. 606-613.

²⁰ Gökyiğit-Arpacı, 2016.

Malzeme Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Özelliklerin Belirlenmesi, Malzeme Performansının Değerlendirilmesi ve Uygulamanın Kontrol Edilmesi (1997-2016)

1997 yılında Binda ve ekibi²¹ yığma taş duvarlar için onarım yöntemleri geliştirmiş; çalışma kapsamında kireç-çimento bileşimlerinin yanında kireç ve kireç-tuğla tozu ile ürettikleri enjeksiyon malzemelerini de denemişlerdir. Değerlendirmenin yapılabilmesi için; yığma yapı morfolojisinin anlaşılmasını ve enjeksiyon malzemesinin enjekte edilebilirliğinin belirlenmesini sağlayan yerinde ve laboratuvar çalışmaları yapılmış, ayrıca uygulamanın etkisinin ölçülmesini sağlayan flat-jack²² gibi deneylerle de bir kontrol dizisi oluşturulmuştur.

2003 yılında Binda ve ekibinin Noto Katedrali'nin rekonstrüksiyonu sırasında uygun malzemelerin seçilmesi üzerine yaptıkları araştırmalarında²³ ise tarihi yapıların onarımında kullanılan kireç esaslı enjeksiyon malzemeleri üzerine çalışılmıştır. Bu çalışmada silindir enjeksiyon deneyleri ile malzemelerin enjekte edilebilirliği, sertleşmiş silindirler üzerine yapılan mekanik deneylerle ise özgün malzeme ile uyumluluğu test edilmiştir. Her ne kadar kireç esaslı enjeksiyon malzemeleri yığma taşların mukavemetini olumlu yönde etkilese ve tarihi yapı onarımları sırasında tavsiye edilse de, malzemelerin zayıf harçların mukavemetine etki etmediği görülmüştür. Çalışma kapsamında ayrıca enjeksiyon malzemesinin tasarımı sırasında dikkat edilmesi gereken özelliklere de yer verilmiştir.

Valuzzi'nin 2004-2005 yıllarındaki çalışmalarında,²⁴ yığma taş duvarlar üzerinde enjeksiyon öncesi ve sonrası yükleme yapılmış, kireç esaslı enjeksiyon malzemelerinin mekanik özellikleri analiz edilmiş; bunun yanı sıra malzemenin akışkanlık ve hacim sabitliği özellikleri göz önünde bulundurularak su/bağlayıcı oranları belirlenmiş ve silindir enjeksiyon deneyi ile enjekte edilebilirliği ölçülmüştür. Bu çalışmalar sonucunda da; kireç esaslı enjeksiyon malzemelerinin yığma taş duvarların mekanik dayanımını arttırdığı ancak enjeksiyonun uzun süreli etkisini anlayabilmek için; endoskopi, gözlem ve mümkünse karot alma vb. yöntemlerle onarılan duvarın kontrol edilmesi gerektiği, ayrıca tüm malzemelerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi gerektiği belirtilmiştir.

Miltiadou-Fezans, Vintzileou ve Kalagri²⁵ 2007-2010 yılları arasında farklı bileşimlerle enjeksiyon malzemeleri üretmiş, bu malzemeleri Dafni Manastırı'nın onarımında kullanmışlardır. Çalışmanın ana prensibi düşük basınç altında yüksek enjekte edilebilirlik sağlamaktır. Enjeksiyon

öncesinde enjeksiyon malzemelerine ön testler uygulanmış; akışkanlık, penetrasyon ve hacim sabitliği özellikleri incelenmiştir. Ayrıca sertleşmiş enjeksiyon malzemelerinin eğilme ve basınç deneyleri de değerlendirme kapsamına alınmıştır. Silindir enjeksiyon deneyleri ve model duvarlar üzerine yapılan yüklemelerle de malzemelerin performansı değerlendirilmiştir. Bu çalışma malzeme tasarımı sırasında akışkanlık, penetrasyon ve hacim sabitliği özelliklerinin beraber incelemesi açısından önem taşımaktadır.

Dafni Manastırı için yürütülen araştırma projesinden sonra da farklı araştırmacılar tarafından yığma taş model duvarlar üzerinde deneyler yapılmış;²⁶ basınç dayanımı görece düşük olan kireç esaslı enjeksiyon malzemelerinin, deneyler sırasında kullanılan taş duvarların mukavemetini arttırdığı görülmüştür.

Uranjek ve ekibi 2010-2012 yılları arasında enjeksiyon sonrasında yapılan GPR (Ground Penetrating Radar), ult-rases ve termografik testler gibi tahribatsız testlerin yanı sıra yerinde basınç ve kayma dayanımı gibi yarı tahribatlı testlerle yığma taş duvarlara uygulanmış olan enjeksiyon malzemesinin ve enjeksiyon yönteminin kalitesini analiz etmişlerdir.²⁷ Ayrıca enjeksiyon sırasında uyulması gereken süreçler üzerine de çalışmışlardır. Bu çalışmalar sonucunda; her enjeksiyon malzemesinin özgün yapı özelinde üretilmesi gerektiği, yüksek oranda su kullanımının enjeksiyon malzemesi ile enjekte edildiği malzeme arasındaki adezyonu azalttığı, malzemenin karıştırılması durdurulduğunda karışımda çökme oluştuğu ve akışkanlığının azaldığı bu nedenle enjeksiyon sırasında uygulamaya ara verilmemesi gerektiği, uygun basınç seçilerek sabit basınçta enjeksiyon yapılmasının ve enjekte edilen malzemenin su emme kapasitesine bağlı olarak gerekirse yığma strüktürün önceden ıslatılmasının uygun olacağı, bunun yanı sıra enjeksiyonun aşağıdan yukarıya doğru ve hasarlı duvarın tamamına yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Aynı yıl Bras ve Henriques²⁸ hidrolik kireç esaslı enjeksiyon malzemesini seçmek için gerekli olan parametrelerin belirlenmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Başarılı bir enjeksiyon için; hacim sabitliği, akma sınırı, viskozite,²⁹ enjekte edilebilirlik gibi pek çok parametrenin kontrol edilmesi gerektiği, yığma strüktürün içerisindeki harcın özelliklerine (su emme gibi) de dikkat edilmesi gerektiği ve enjeksiyon malzemesinin su tutma kapasitesinin karışım oluşturma aşamasında kontrol altına alınması gerektiği belirtilmiştir.

2012-2013 yıllarında ise Miltiadou ve Tassios kireç esaslı enjeksiyon malzemeleri üretmiş; bu malzemelerin akışkanlık,

²¹ Binda ve diğ., 1997, s. 133-142.

²³ Binda ve diğ., 2003, s. 629-639.

²² Flat-jack deneyi yığma yapılarda yerinde basınç dayanımının ve yerinde elastisite modülünün belirlenmesini sağlayan yarı tahribatlı bir deneydir (ASTM C1 196-92,1997).

²⁴ Valuzzi, 2005, s. 382-397.

²⁵ Miltiadou-Fezans ve diğ., 2007, s. 649-656, Vintzileou ve Miltiadou-Fezans, 2007, s. 3365-2276., Kalagri ve diğ., 2010, s. 1135-1146.

²⁶ Ademi ve diğ., 2012, s. 751-759.

²⁷ Uranjek ve diğ., 2010, s. 124., Uranjek ve diğ., 2011, s. 861-879., Uranjek ve diğ., 2012a, s. 2544-2551.

²⁸ Bras ve diğ., 2012, s. 223-242.

²⁹ Bir akışkanın, yüzey gerilimi altında

deforme olmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak da tanımlanabilir. Viskozitesi yüksek olan sıvılar ağırdal olarak tanımlanırlar.

penetrasyon ve hacim sabitliği özellikleri üzerine detaylı ve kapsamlı araştırmalar yapmışlardır.³⁰ Bu çalışmalarda; başarılı bir enjeksiyon uygulaması için akışkanlık, penetrasyon ve hacim sabitliği özelliklerinin laboratuvar ve yerinde uygulama öncesi mutlaka değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

2014 yılında Papayianni ve Pachta hirolik kireç, puzolan, kil, tuğla tozu içeren ve az miktarda çimento ya da kireçtaşı dolgusu ve %1 oranında sülfatsız süper akışkanlaştırıcı ile modifiye edilmiş enjeksiyon malzemelerinin taze haldeki akışkanlık, penetrasyon ve hacim sabitliği özellikleri ile; elastisite modülü, eğilme ve basınç dayanımlarını incelemişlerdir.³¹ Kil eklenen karışımlarda malzeme dayanımında yüksek oranda düşüş olduğu; şerbet yoğunluğundan bağımsız olarak, enjeksiyon malzemesinin tane boyut dağılımı, kimyasal ve mineralojik kompozisyonu, su emme ve su tutma kapasitelerinin de incelenmesi gerektiği belirtilmiştir.

2014 yılında Jorne ve ekibi silindir enjeksiyon deneyi ile enjeksiyon malzemesinin farklı malzemelere (taş, tuğla vb.) enjekte edilebilirliğini ölçmüş, tarihi yığma yapı onarımında kullanılan kireç esaslı enjeksiyon malzemelerinin enjekte edilebilirlik kapasitesini belirlemek için bağıntı geliştirmişlerdir.³² Çalışma sonucunda; enjekte edilen malzemenin enjekte edilebilirlik değerini etkileyen temel etkenlerin; enjekte edilen yığma yapı malzemesinin boşluk hacmi, tane boyutları ve su emmesine bağlı olduğu belirtilmiştir.

Oktay ve Yüzer'in 2016 yılında yaptıkları çalışmalarında³³ ise, başarılı bir enjeksiyon için enjeksiyon malzemesinin akışkanlık, hacim sabitliği ve penetrasyon özelliklerinin yanında viskozite ve akma gerilmesi gibi reolojik özelliklerin de göz önünde bulundurulması gerektiği ayrıca yerinde uygulama sırasında her enjeksiyon öncesi malzemenin akışkanlık değerinin ölçülmesi gerektiği belirtilmiştir.

Karıştırma Süreci, Ortam Sıcaklığı ve Katkıların Kireç Esaslı Enjeksiyon Malzemeleri Üzerindeki Etkileri (2003-2012)

Bras ve Henriques 2008 yılında taze haldeki enjeksiyon malzemelerinin daha önce incelenmiş olan akışkanlık, hacim sabitliği ve penetrasyon özelliklerine; malzemelerin karıştırma süreçlerinin etkilerini araştırmışlardır.³⁴ Karıştırma sürecinin taze haldeki malzeme özelliklerini doğrudan etkilediği, uzun süre ve daha hızlı karıştırılan malzemelerin daha akışkan olduğu saptanmıştır.

2010 yılında Papayianni ve ekibi kireç esaslı enjeksiyon malzemelerine nano-silika, kireçtaşı dolgusu, düşük oranda çimento ve tuğla tozunun etkilerini araştırmışlardır.³⁵ Çalışma sırasında enjeksiyon malzemesinin taze haldeki

akışkanlık, hacim sabitliği ve penetrasyon özellikleri ile sertleşmiş malzemeye uygulanan mekanik deneylerle kullanılan katkıların malzeme dayanımına etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak; az miktarda çimento katkısının sertleşmiş malzemelerin mukavemetine bir katkısı olmadığı, kireç taşı tozunun malzeme dayanımını arttırdığı ancak taze haldeki özellikleri olumsuz yönde etkilediği, nano-silikanın taze haldeki malzeme özelliklerini olumlu yönde etkilediği ancak malzeme dayanımını düşürdüğü, %40 oranında tuğla tozu katkısının malzeme dayanımını arttırdığı ancak taze haldeki özellikleri olumsuz yönde etkilediği, ancak %15 oranında tuğla tozu katkısı kullanılırsa, taze haldeki özelliklerin olumsuz yönde etkilenmediği ve malzeme dayanımının arttığı gözlemlenmiştir.

Aynı yıl Bras ve ekibinin³⁶ yaptıkları çalışmada ise ortam sıcaklığının enjeksiyon yöntemine etkileri araştırılmış; 20 °C optimum sıcaklık olmak üzere, etkili bir enjeksiyon yapılabilmesi için ortam sıcaklığının 5 °C ile 35 °C aralığında olması gerektiği belirtilmiştir.

Miltiadou ve Tassios'un 2012 yılındaki kapsamlı araştırmalarında³⁷ süper akışkanlaştırıcıların enjeksiyon malzemeleri üzerindeki etkilerine de değinilmiştir. Her ne kadar daha önceki çalışmalarda süper akışkanlaştırıcı kullanılmadan uygun akışkanlık değeri sağlanmaya çalışıldığında su oranının çok arttığı ve malzeme mukavemetinin olumsuz yönde etkilendiği, bu nedenle süper akışkanlaştırıcıların kullanılması gerektiği³⁸ belirtilse de Miltiadou ve ekibinin çalışmaları göstermiştir ki bazı durumlarda süper akışkanlaştırıcılar enjeksiyon malzemesinin akışkanlığının artmamasına neden olmakta, terleme etkisini değiştirmekte ve fazla eklenmesi durumunda malzeme içerisinde hava kabarcıkları oluşturmaktadır. Bu sebeple uygun süper akışkanlaştırıcının uygun miktarda karışıma eklenmesi önem taşımaktadır.

2012-2013 yıllarında Baltazar ve ekibi süper akışkanlaştırıcı kullanılan enjeksiyon malzemelerinin akışkanlık ve hacim sabitliği özelliklerini göz önünde bulundurarak, karışımın üretim sürecinde optimizasyona gitmeye çalışmışlardır.³⁹ Ayrıca sıcaklık ve uçucu kül katkılarının hidrolik kireç esaslı enjeksiyon malzemelerine etkilerini araştırmışlardır. Buna göre; uçucu külün kireç esaslı enjeksiyon malzemelerinin akışkanlığını olumlu yönde etkilediği, en iyi reolojik davranışın polikarboksilat içerikli süper akışkanlaştırıcılar ile sağlandığı, süper akışkanlaştırıcıların karışım başladıktan 10 dakika sonra eklenmesinin ve 3 dakika karıştırılmasının homojen bir karışım elde etmek için yeterli olduğu belirtilmiştir. Optimum akışkanlık değerinin %0,8 süper akışkanlaştırıcı katkısı ile 800 rpm (dev./dak.) hızda karıştırılarak sağlandığı ve enjeksiyonun 20°C ve %60 bağıl nemde gerçekleştirilmesinin uygun olduğu belirtilmiştir (Tablo 2).

³⁰ Miltiadou-Fezans ve Tassios, 2012a, s. 1817-1828., ³¹ Papayianni ve Pachta, 2014, s. 2111-2121.
³² Jorne ve diğ., 2014, s. 2211-2233.
³³ Oktay ve Yüzer, 2016, s. 137.
³⁴ Bras ve Henriques, 2008, s. 1423-1432.
³⁵ Papayianni ve diğ., 2010, s. 1123-1133.

³⁶ Bras ve diğ., 2008, s. 1423-1432. ³⁸ Van Rickstal ve diğ., 2003, s. 1-10.
³⁷ Miltiadou-Fezans ve Tassios, 2012a, s. 1817-1828. ³⁹ Baltazar ve diğ., 2012, s. 838-845., Baltazar ve diğ., 2014, s. 584-597.

Tablo 2. Kireç esaslı enjeksiyon malzemesinin bileşimlerinin ve deney yöntemlerinin geliştirilmesi

	Araştırmacılar-Kurumlar	Araştırma Konusu	Araştırma Sonucu - Malzeme ve Yöntem Gelişimine Etkisi
1997	Politecnico di Milano ve University of Padova (Binda, Modena, Baronio, Abbaneo)	Yığma taş duvarlar için onarım yöntemleri geliştirilmesi	*Enjeksiyon sırasında özgül duvar özelliklerinin önemi, *Enjeksiyon sonrası uygulamanın kontrol edilmesi gerektiği
2003	Politecnico di Milano (Binda, Baroni, Tiraboschi, Tedeschi)	Noto Katedrali'nin rekonstrüksiyonu	*Malzemenin düşük segregasyon, yüksek akışkanlığa sahip, özgül yığma strüktürle uyumlu, sülfat dayanımı olmasının, *Rötre çatlaklarının olmamasının gerektiği
2003	KU Leuven (Van Rikstal, Leuven, Toumbakari, Ignoul, Van Gemert)	Süper akışkanlaştırıcıların enjeksiyon malzemesine etkileri	*Süper akışkanlaştırıcı kullanılmadığında su oranının yükseldiği ve malzeme mukavemetinin düştüğü
2004 2005	University of Padova (Valuzzi, Porto, Modena)	Malzemenin tasarım aşamasında gereken şartların ve mekanik davranışının incelenmesi	*Malzemenin duvarların mekanik dayanımını arttırdığı ancak uzun süreli etki için kontrol edilmesi, *Tüm malzemelerin malzeme özelliklerinin belirlenmesi, **Enjeksiyon öncesi silindir enjeksiyon deneyinin yapılması, *Hacim sabitliği özelliğinin de incelenmesi gerektiği
2007 2010	National Technical University of Athens (Miltiadou, Vintzileou ve Kalagri)	Dafni Manastırı'nın (Yunanistan) Onarımı	*Akışkanlık, hacim sabitliği ve penetrasyon özelliklerinin beraber incelenmesi gerektiği
2008 2010	Universidade Nova de Lisboa (Bras, Henriques ve Cidade)	Karıştırma süreçlerinin ve ortam sıcaklığının etkilerinin araştırılması	*Karıştırma süreçlerinin malzeme özelliklerini doğrudan etkilediği, *Ortam sıcaklığının optimum 20 °C olmak üzere, 5-35 °C arasında olması gerektiği
2010	Aristotle University of Thessaloniki (Papayianni, Stefanidou, Pachta)	Kireç esaslı enjeksiyon malzemesine; nano-silika, kireçtaşı dolgusu, çimento ve tuğla tozunun etkisinin araştırılması	*Az miktarda çimento katkısının malzeme dayanımını arttırmadığı, *Sadece %15 oranında tuğla tozu katkısı kullanılırsa, taze haldeki özelliklerin olumsuz yönde etkilenmediği ve malzeme dayanımının arttığı
2010 2012	Building and Civil Engineering İnstitute ZRMK, University of Ljubljana (Uranjek, Bosiljkov, Zarnic, Bokan-Bosiljkov)	Malzeme özelliklerinin incelenmesi, onarılmış duvarların performans değerlendirmesi, yönteminin kalitesinin incelenmesi ve enjeksiyon sırasında uyulması gereken adımlar	*Her enjeksiyon malzemesinin özgül yapı özelinde üretilmesi gerektiği *GPR, ultrases ve termografik testler, yerinde basınç ve kayma dayanımı testleri ile yapılan onarımın kalitesinin ölçülebileceği *Fazla su kullanımının adezyonu olumsuz etkilediği, *Enjeksiyona ara verildiğinde çökme olduğu ve akışkanlığın azaldığı, *Gerekirse enjeksiyon yapılan strüktürün önceden ıslatılabileceği, *Enjeksiyonun aşağıdan yukarıya doğru, hasarlı duvarın tamamına uygun enjeksiyon basıncı ile yapılması gerektiği
2012	Politechnic Institute of Setubal, Universidade Nova de Lisboa (Bras ve Henriques)	Enjeksiyon malzemesini seçmek için gerekli olan parametrelerin belirlenmesi	*Yığma strüktürün içerisindeki harcın özelliklerine de dikkat edilmesi, *Enjeksiyon malzemesinin su tutma kapasitesinin karışım oluşturma aşamasında kontrol altına alınmasının gerektiği
2012 2013	Hellenic Ministry of Culture, Nat. Tech. University of Athens (Miltiadou, Theodossios)	Enjeksiyon malzemelerinin akışkanlık, penetrasyon, hacim sabitliği ve enjekte edilebilirlik özelliklerinin araştırılması	*Bu özelliklerin sadece laboratuvar ortamında değil yerinde uygulama sırasında da incelenmesi gereken özellikler olduğu, *Bazı durumlarda süper akışkanlaştırıcıların malzemenin akışkanlığının artmamasına neden olduğu, terleme etkisini değiştirdiği ve fazla eklenirse malzeme içerisinde hava kabarcıklarına neden olduğu
2012 2014	Universidade Nova de Lisboa (Baltazar, Bras, Henriques, Jorne, Cidade)	Süper akışkanlaştırıcı kullanılan enjeksiyon malzemelerinin karışım süreçlerinde optimizasyon sağlamak	*Uygun süper akışkanlaştırıcıların malzemenin reolojik özelliklerini olumlu yönde etkilediği *Zaman geçtikçe malzemenin akışkanlığının azaldığı, *Enjeksiyonun 20°C, %60 bağıl nemde gerçekleştirilmesinin gerektiği, *Uçucu külün malzemenin akışkanlığını olumlu yönde etkilediği
2014	Aristotle University of Thessaloniki (Papayianni ve Pachta)	Modifiye edilmiş enjeksiyon malzemelerinin özelliklerinin incelenmesi	*Kil eklenen karışımlarda malzeme dayanımında düşüş görüldüğü, *Malzeme seçimi yapılırken tane boyut dağılımı, kimyasal ve mineralojik kompozisyonu, su emme ve su tutma kapasitelerinin de incelenmesi gerektiği
2014	Universidade Nova de Lisboa (Jorne, Henriques, Baltazar)	Hidrolik kireç esaslı enjeksiyon malzemelerinin farklı ortamlarda enjekte edilebilirliğinin ölçülmesi	*Silindir enjeksiyon deneyi için bağıntı geliştirilmiştir. *Enjekte edilebilirliği etkileyen temel etkenlerin; enjekte edilen yığma yapı malzemesinin boşluk hacmi, tane boyutları ve su emmesi olduğu, *Akma gerilmesinin de enjeksiyon öncesi kontrol edilebileceği
2016	Yıldız Teknik Üniversitesi (Oktay ve Yüzer)	Enjeksiyon malzemesinin reolojik özelliklerinin incelenmesi	*Viskozite ve akma gerilmesi gibi reolojik özelliklerin de göz önünde bulundurulması, *Her enjeksiyon öncesi akışkanlık değerinin ölçülmesi gerektiği

Hazır (Ticari) Enjeksiyon Malzemeleri ile İlgili Çalışmalar (2001–2016)

Zaman içerisinde kireç esaslı enjeksiyon malzemelerinin tarihi yığma yapıların onarımı sırasında kullanımı kabul gördükçe, firmalar ticari olarak kullanılmak üzere hazır enjeksiyon malzemesi karışımları üretmeye başlamışlardır. Toz halinde olup su ile karıştırılan bu malzemeler restorasyonlar sırasında yaygın olarak kullanılmıştır. Ticari enjeksiyon malzemelerinin mekanik deneylerini içeren bir çalışma 2001 yılında Aköz ve ekibi⁴⁰ tarafından gerçekleştirilmiştir. Asıl konusu Dolmabahçe Sarayı Muayede Salonu kubbe ve tonozlarının malzeme özelliklerinin belirlenmesi olsa da; çalışma kapsamında taşıyıcı sistemde oluşmuş çatlaklar hazır enjeksiyon malzemesi ile onarılmıştır.

2012 yılında Oliveira⁴¹ ve ekibi kireç esaslı hazır enjeksiyon malzemesi ile onarılan yığma taş model duvarlar üzerinde tahribatlı ve tahribatsız deneyler yaparak uygulamanın kalitesini ölçmeyi hedeflemişlerdir. Çalışma sonucunda kireç esaslı ticari enjeksiyon malzemesinin yığma taş duvarların mekanik dayanımını arttırdığı ancak enjeksiyon sırasında dikkatli olunması gerektiği, doldurulamayan boşlukların duvar davranışları üzerinde büyük etkisi olduğu belirtilmiştir. Bu yorum malzemenin penetrasyon sağlayabilmesinin önemini tekrar gündeme getirmektedir.

Nitekim, yine 2012 yılında Uranjek ve ekibi yığma taş duvarlar üzerinde performans değerlendirmesi yapmak için kireç esaslı hazır enjeksiyon malzemeleri ile çimento katkılı hazır enjeksiyon malzemeleri üzerine çalışmışlardır.⁴² Bu çalışmada Oliveira'dan farklı olarak enjeksiyon malzemelerinin taze haldeyken kontrol edilmesi gereken akışkanlık, hacim sabitliği ve penetrasyon özellikleri incelenmiştir. Ancak; taze haldeki kireç esaslı hazır enjeksiyon malzemesinin beklenen özellikleri (akışkanlık, hacim sabitliği, penetrasyon) sağlayamadığı belirtilmektedir. Bu nedenle laboratuvar ortamında kireç esaslı malzemeler tasarlanmış ve onarım sırasında bu malzemeler kullanılmıştır.⁴³

Asıl çalışma birden çok katmanlı yığma taş duvarların performans değerlendirmesi üzerine olsa da 2014 yılında Silva ve ekibi de, ürettikleri ve hasar oluşturdukları model duvarları tarihi yığma yapılar için üretilen hazır enjeksiyon malzemesi ile onarmışlardır.⁴⁴ Onarılan duvarların mekanik dayanımında artış olduğu belirtilmiştir ancak bu çalışma da kireç esaslı ticari enjeksiyon malzemesi için malzeme deneylerini içermemektedir.

2015 yılında Yüzer ve ekibi, kireç esaslı ticari enjeksiyon malzemesinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini belirlemiş ve özgün malzeme özellikleri ile karşılaştırmışlardır.⁴⁵ Enjeksiyon malzemelerinin akışkanlık, hacim sabit-

liği, penetrasyon özellikleri incelenmiş; silindir enjeksiyon deneyi ile enjekte edilebilirliği araştırılmış, basınç çekme deneyleri yapılmış, üretilen silindirlerin elastisite modülü belirlenmiştir. Ayrıca, bu çalışma kapsamında hazır malzemeler ile onarılmış tuğla model duvarların 28. gün yükleme deneyleri yapılmış, enjeksiyon öncesi ve sonrası mekanik performansı değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra ultrases deneyleri ve çıkarılan çatlak haritaları ile performans değerlendirmesi desteklenmiştir. Bu çalışma ayrıca enjeksiyon malzemesinin tuğla model duvarlar üzerinde performansının değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır (Şekil 1a-f).

Araştırma sonucunda;

→ Enjeksiyon malzemelerinin üretimi sırasında, üretici firmanın bilgi reçetesinde önerilen su/bağlayıcı oranı ve karıştırma süreci ile üretilen numuneler ile gerçekleştirilen deneylerde beklenen performansın sağlanamadığı bu nedenle su/bağlayıcı oranlarının ve karıştırma sürecinin yeniden geliştirildiği,

→ Hidrolik kireç esaslı ve hava kireci esaslı harç ile harman tuğlasıyla üretilmiş duvarlarda enjeksiyon malzemesiyle yapılan onarım öncesi ve onarım sonrası yükleme verilerinde düşüş gözlemlenmediği, bu nedenle 28. gün deneylerinde enjeksiyon malzemesinin çalışma kapsamı içerisindeki tuğla duvarların mekanik dayanımını olumlu yönde etkilediği,

→ Duvarlar ile enjeksiyon malzemesi arasında uygun aderansın sağlandığı,

→ Ancak başarılı bir uygulama için deneyler sırasında görüldüğü üzere, proje özelinde ön testlerin mutlaka yapılması, malzeme özelliklerinin analiz edilmesi ve özgün malzeme ile uyumlu bir malzeme seçilmesi ya da üretilmesi gerektiği belirtilmiştir.

2016 yılında Luso ve Lourenço da, yaptıkları analizler ile farklı ticari enjeksiyon malzemelerinin özelliklerini karşılaştırmışlardır.⁴⁶ Bu çalışmada da enjeksiyon malzemelerinin akışkanlık, hacim sabitliği ve silindir enjeksiyon deneyi ile enjekte edilebilirliği ölçülmüş, ayrıca taş ve enjeksiyon malzemesi içeren silindirler üzerinde basınç ve çekme deneyleri uygulanmıştır. Farklı firmalara ait her enjeksiyon malzemesinin birbirlerinden çok farklı özellikler gösterdiği, kalite kontrolünün yapılması için hangi standardın kullanılacağına bilinmediği ve ürünlerin AR-GE sırasında ön koşullarının hangi standartlara bağlı olarak sağlandığının malzeme reçetelerinde ve teknik kılavuzlarında yer almadığı belirtilmiştir (Tablo 3).

Türkiye'de Enjeksiyon Malzemesinin Kullanımı ve Yapılan Araştırmalar (2001-2016)

T.C. Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü verilerine göre, 2000'li yıllara kadar olan tarihi yapı restorasyonları

⁴⁰ Aköz ve diğ., 2001, s. 659-668.

Uranjek ve diğ., 2012b, s. 393-409.

⁴¹ Oliveira ve diğ., 2012, s. 1259-1276.

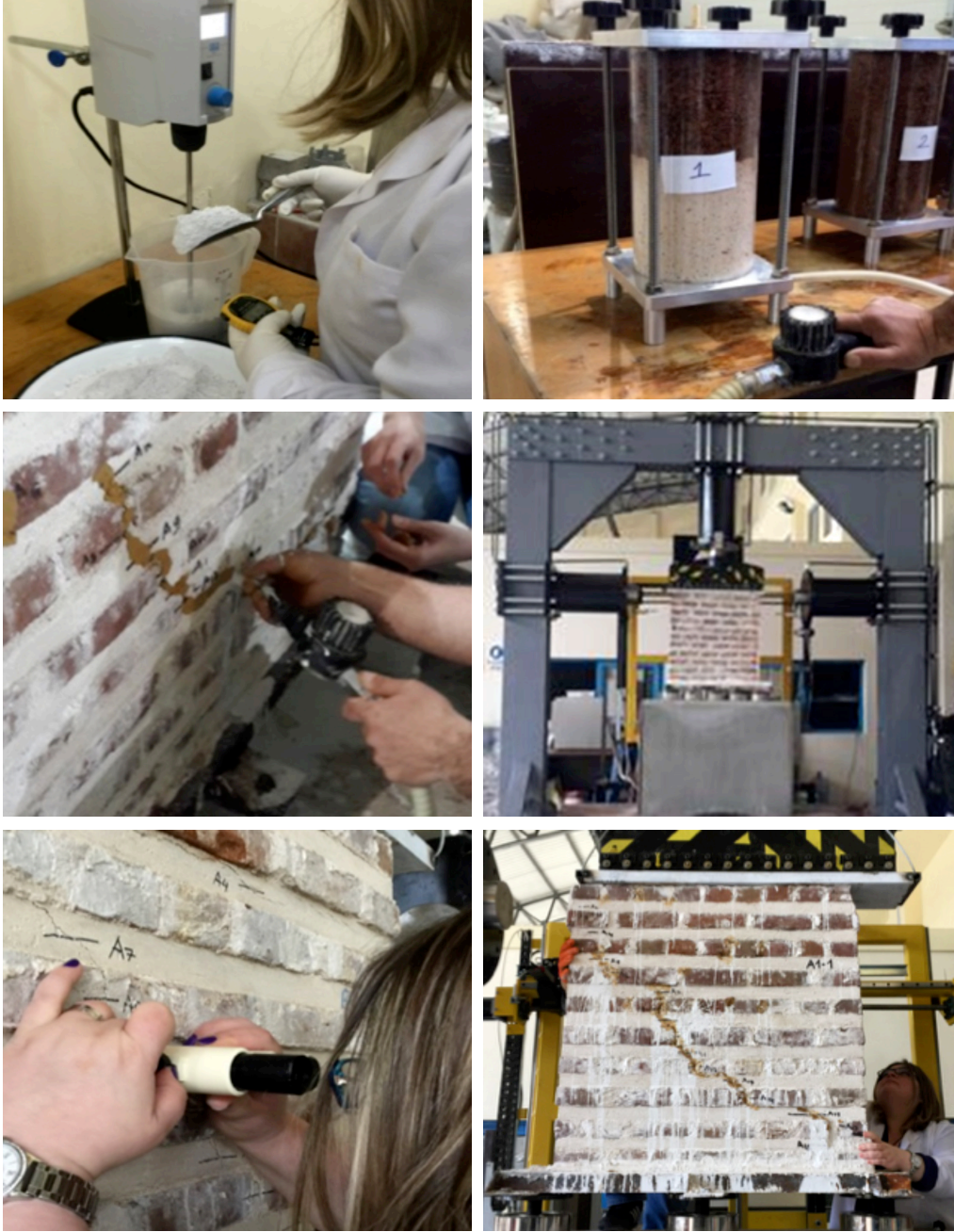
⁴⁴ Silva ve diğ., 2014, s. 149-161.

⁴² Uranjek ve diğ., 2012b, s. 393-409.

⁴⁵ Yüzer ve diğ., 2015, s. 879-889.

⁴³ Uranjek ve diğ., 2011, s. 861-879,

⁴⁶ Luso ve Lourenço, 2016, s. 216-225.



Şekil 1. (a) Enjeksiyon malzemesinin hazırlanması. (b) Silindir enjeksiyon deneyi ile malzemenin enjekte edilebilirliğinin ölçülmesi. (c) Enjeksiyon uygulaması. (d) Duvar yüklemesi. (e) Çatlak haritalarının çıkarılması için ölçüm yapılması. (f) Onarılan duvarlara tekrar yükleme yapılması (Fotoğraflar: E.Y. Gökyiğit-Arpacı, Y.T.Ü. İnşaat Fakültesi Malzeme Lab., 2015).

sırasında, portland çimentosu katkılı harçların daha sonra da epoksi reçine katkılı malzemelerin enjeksiyon uygulamalarında kullanıldığı bilinmektedir. Özgün malzeme ile daha uyumlu olan kireç esaslı enjeksiyon malzemelerinin tarihi yapı onarımında kullanılmaya başlanması ise daha sonraki yılları bulmuştur.

Tarihi yığma yapıların onarımında kullanılan kireç esaslı hazır enjeksiyon malzemesinin Türkiye’de kullanımına Bölüm 2.3’te açıklanan Dolmabahçe Sarayı Muayede Salonu

kubbe ve tonozlarının onarımında rastlanmaktadır.⁴⁷ T.C. Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü verilerine göre ise, 2007 yılından başlayarak Edirnekapı Mihri Mah Sultan Külliyesi (2007-2010),⁴⁸ Süleymaniye Camii (2007-2010),⁴⁹ Fatih Pertevniyal Valide Sultan Camii (2007-2011)⁵⁰ ve Haseki Hürrem Sultan Külliyesi⁵¹ (2010-2012) gibi önemli tarihi

⁴⁷ Aköz ve diğ., 2001, s. 659-668.

⁴⁸ Sesigür ve Çılı, 2014, s.72-79.

⁴⁹ Çılı ve diğ., 2011, s. 37-48.

⁵⁰ Çebi, 2010, s. 67-82.

⁵¹ Alioğlu ve diğ., 2012, s. 17-29.

Tablo 3. Kireç esaslı hazır (ticari) enjeksiyon malzemeleri

	Araştırmacılar-Kurumlar	Araştırma Konusu	Araştırma Sonucu - Malzeme ve Yöntem Gelişimine Etkisi
2001	Yıldız Teknik Üniversitesi (Aköz, Yüzer, Çakır, Kabay)	Dolmabahçe Sarayı Muayede Salonu kubbe ve tonozlarının onarımı	*Kireç esaslı ticari enjeksiyon malzemesinin mekanik testleri yapılmış, kubbe ve tonoz onarımında kullanılmıştır. *Enjeksiyon uygulamasının performansı, uygulama öncesi ve sonrası yapılan ultrases ölçümleri ile kontrol edilmiştir.
2012	University of Minho, University of Podova (Oliveira, Silva, Garbin, Loureço)	Ticari enjeksiyon malzemesinin mekanik performansının değerlendirilmesi	*Kireç esaslı ticari enjeksiyon malzemesinin yığma taş duvarların mekanik dayanımını arttırdığı ancak doldurulamayan boşlukların oluştuğu belirtilmiştir. (Penetrasyonun önemi)
2012	Building and Civil Engineering İnstitute ZRMK, University of Ljubljana (Uranjek, Bosiljkov, Zarnic, B-Bosiljkov)	Enjeksiyon malzemelerinin malzeme özelliklerinin incelenmesi ve yığma taş duvarlarda performansının değerlendirilmesi	*Kireç esaslı ticari enjeksiyon malzemesinin taze haldeki beklenen özellikleri sağlayamadığı, bu malzeme ile yığma taş duvarların onarılamadığı ve değerlendirme yapılamadığı belirtilmiştir.
2014	University of Podova (Silva, Benetta, Porto, Modena)	Çoklu sıralı yığma taş duvarların performans değerlendirilmesi	*Hazır enjeksiyon malzemesi ile onarılan duvarların mekanik dayanımında artış olduğu belirtilmiştir. (Bu çalışma kireç esaslı enjeksiyon malzemesi için malzeme deneylerini içermemektedir.)
2015	Yıldız Teknik Üniversitesi (Yüzer, Oktay, Ulukaya, Gökyiğit-Arpacı)	Ticari enjeksiyon malzemelerinin malzeme özelliklerinin belirlenmesi ve yığma tuğla duvarlar üzerinde performansının değerlendirilmesi	* Üretici firma tarafından önerilen su/bağlayıcı oranı ve karıştırma süreci ile üretilen numunelerin taze haldeki beklenen özellikleri sağlayamadığı bu nedenle su/bağlayıcı oranlarının ve karıştırma süreçlerinin yeniden geliştirildiği, *Malzeme özelinde deneyler ve kontrol sırasında uyulması gereken standartların var olmadığı, *28. günde enjeksiyon malzemesinin tuğla duvarların mekanik dayanımını olumlu yönde etkilediği, *Ancak başarılı bir uygulama için, proje özelinde ön testlerin mutlaka yapılması, malzeme özelliklerinin analiz edilmesi ve özgün malzeme ile uyumlu bir malzeme seçilmesi ya da üretilmesi gerektiği belirtilmiştir.
2016	Polytechnic Institute of Bragança, University of Minho (Luso ve Lourenço)	Farklı ticari enjeksiyon malzemelerinin özelliklerinin karşılaştırılması	*Farklı firmalara ait her enjeksiyon malzemesinin birbirlerinden çok farklı özellikler gösterdiği, * Ürünlerin AR-GE sırasında ön koşullarının hangi standartlara bağlı olarak sağlandığının ticari enjeksiyon malzemelerinin teknik kılavuzlarında belirtilmediği

yapıların restorasyonları sırasında kireç esaslı enjeksiyon malzemeleri yapısal iyileştirme ve sağlamlaştırma amacıyla kullanılmıştır. Daha sonra yaygınlaşan kullanımı ile, Fatih Camii⁵² (2007-2012), Nuruosmaniye Camii⁵³ (2010-2012) ve Üsküdar Atik Valide Külliyesi⁵⁴ (2011-2013) gibi pek çok yapının restorasyonu sırasında da kireç esaslı hazır enjeksiyon malzemeleri ile onarım yapıldığı bilinmektedir.

Kireç esaslı enjeksiyon malzemelerinin bütün bu yaygın kullanımına rağmen, konu ile ilgili Türkiye’de bilinen ilk kapsamlı çalışma 2013 yılında TÜBİTAK’ın desteği ile Yıldız Teknik Üniversitesi’nde başlatılmıştır.⁵⁵ Bu çalışma kapsa-

mında; tarihi yapıların onarımı sırasında kullanılan, özgün malzeme ile uyumlu kireç esaslı enjeksiyon malzemelerinin geliştirilmesi, araştırma ve deney yöntemlerinin belirlenmesi, böylece ulusal ve uluslararası nitelikte standartların oluşturulması ile tarihi yapı onarımlarının doğru ve bilimsel araştırmalara dayanan yöntemlerde gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir (Tablo 4).

Değerlendirme ve İrdeleme

Tarihi yığma yapıların onarımında kullanılan enjeksiyon malzemesi hakkında yapılan çalışmalardan elde edilen bilgiler doğrultusunda; başarılı bir enjeksiyon için; malzeme deneylerinin yanında, yerinde uygulama sırasında da izlenecek adımlara dikkat edilmesi gerekmektedir.

⁵² Ceylan ve Ocakcan, 2013, s. 43-63. ⁵⁵ TÜBİTAK 114M256 numaralı araştırma projesi.

⁵³ Çılı, 2012, s. 99-102.

⁵⁴ Eriş ve diğ., 2013, s. 99-114.

Tablo 4. Türkiye’de enjeksiyon malzemesinin kullanımı ve yapılan araştırmalar

	Araştırmacılar-Kurumlar	Araştırma Konusu	Araştırma Sonucu - Malzeme ve Yöntem Gelişimine Etkisi
2001	Yıldız Teknik Üniversitesi (Aköz, Yüzer, Çakır, Kabay)	Dolmabahçe Sarayı Muayede Salonu kubbe ve tonozlarının onarımı	*Kireç esaslı ticari enjeksiyon malzemesinin mekanik testleri yapılmış, kubbe ve tonozları kireç esaslı hazır enjeksiyon malzemesi ile onarılmıştır. *Enjeksiyon uygulamasının performansı, uygulama öncesi ve sonrası yapılan ultrases ölçümleri ile kontrol edilmiştir.
2007-2010	Vakıflar 1. Bölge Müdürlüğü, (Sesigür ve Çılı)	Edirnekapı Mihrimah Sultan Külliyesi restorasyonu	*Kubbe çatlakları ve medrese duvarları kireç ve tuğla tozu içeren enjeksiyon malzemesi ile onarılmıştır.
2007-2010	Vakıflar Genel Müdürlüğü, (Çılı, Çelik, Sesigür)	Süleymaniye Camii Restorasyonu	*Kubbe çatlakları kireç esaslı enjeksiyon malzemesi ile onarılmıştır.
2007-2011	Vakıflar 1. Bölge Müdürlüğü	Fatih Pertevniyal Valide Sultan Camii Restorasyonu	*Yığma yapıda bulunan tüm çatlaklar kireç esaslı enjeksiyon malzemesi ile onarılmıştır.
2007-2012	Vakıflar 1. Bölge Müdürlüğü (Ceylan, Cantay, Çılı, Güleç, Dikilitaş)	Fatih Camii Restorasyonu	*Çatlaklar ve duvar içlerindeki boşluklar kireç esaslı hazır enjeksiyon malzemesi ile onarılmıştır.
2010-2012	Vakıflar 1. Bölge Müdürlüğü (Alioğlu, Çılı, Güleç, Çobanoğlu)	Nuruosmaniye Camii Restorasyonu	*Bodrum kat ahşap hatıl/gergi boşluklarının onarımı sırasında kireç esaslı hazır enjeksiyon malzemesi kullanılmıştır.
2010-2012	Vakıflar 1. Bölge Müdürlüğü (Alioğlu ve Kocatürk)	Haseki Hürrem Sultan Külliyesi Restorasyonu	*Kâgir örgü çatlaklarının onarılması sırasında kireç esaslı enjeksiyon malzemesi kullanılmıştır.
2011-2013	Vakıflar 2. Bölge Müdürlüğü	Üsküdar Atik Valide Külliyesi Restorasyonu	*Kubbe ve duvar çatlaklarının onarımı sırasında kireç esaslı hazır enjeksiyon malzemesi kullanılmıştır.
2013-2017	Yıldız Teknik Üniversitesi, TÜBİTAK (Yüzer ve diğ)	Tarihi özgün malzeme ile uyumlu kireç esaslı enjeksiyon malzemesinin geliştirilmesi	* Enjeksiyon malzemesi içerisinde her şartta hidrolik kireç kullanılması ve özgün malzeme özelliklerine bağlı kalınarak gerekirse tuğla tozu katkısı eklenebileceği, *Enjeksiyon malzemelerinin taze haldeki özelliklerinin ve su/ bağlayıcı oranları ile karıştırma süreçlerinin hazır malzeme kullanılsa dahi kontrol edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

- Laboratuvar incelemesi sırasında; malzemenin akışkanlık, hacim sabitliği, penetrasyon ve enjekte edilebilirlik özellikleri mutlaka incelenmeli; beklenen özellikleri sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir. Ayrıca enjeksiyon malzemesinin segregasyon, adezyon, viskozite, akma gerilmesi, su tutma gibi özellikleri ile rötre çatlaklarının oluşup oluşmadığı da incelenmeli, malzemenin dayanıklılık özellikleri de araştırılmalıdır. Restorasyon öncesi özgün malzeme özellikleri yapı özelinde belirlenmeli; enjeksiyon malzemesinin fiziksel, kimyasal, mekanik ve mineralojik özellikleri ile tane boyut dağlılımları özgün malzeme özellikleriyle karşılaştırılmalı; buna bağlı olarak özgün malzeme ile uyumlu bir enjeksiyon malzemesi seçilmeli ya da tasarlanmalıdır. şerbet seçimi yapıldıktan sonra ise özgün malzeme özelliklerini taşıyan modeller üretilmeli, mümkünse model duvar deneyleri ile malzemenin mekanik performansı da değerlendirilmelidir.

- Uygulama aşamasında; enjeksiyon optimum 20°C olmak üzere 5°C ila 35°C ve %60 bağlı neme yakın bir değerde uygulanmalıdır. Kullanılan su miktarının ve karıştırma sü-

recinin malzemenin taze haldeki özelliklerine büyük etkisi vardır. Bu nedenle yerinde uygulama sırasında, malzeme deneyleri sonucu önerilen üretim süreci verilerine kesinlikle uyulmalıdır.⁵⁶ Ayrıca, her enjeksiyon öncesi akışkanlık değeri ölçülmeli⁵⁷ enjeksiyon yapılan yığma strüktürün su emme kapasitesine bağlı olarak strüktür gerekirse ıslatılmalıdır. Malzemenin daha iyi penetrasyon sağlayabilmesi için enjeksiyon yapılacak delikler 45° açılı ile delinmeli ve enjeksiyon sabit basınçla aşağıdan yukarıya doğru enjeksiyona ara vermeden uygulanmalıdır. Deprem sonrası yapılan analizler göstermiştir ki yığma yapı duvarının sadece bir bölümüne enjeksiyon yapmak iyi sonuçlar vermemektedir. Bu nedenle enjeksiyon hasarlı duvarın tamamına uygulanmalıdır.

- Enjeksiyon sonrasında ise; mutlaka ultrases gibi tahribatsız ya da flat-jack gibi az tahribatlı deneylerle uygulamanın etkinliği kontrol edilmelidir.

⁵⁶ Yüzer ve diğ., 2015, s. 879-889. Gökyiğit-Arpacı, 2016.

⁵⁷ Oktay ve Yüzer, 2016, s. 137.

Sonuç ve Öneriler

Tarihi yığma yapıların strüktürel onarımı sırasında kullanılan kireç esaslı enjeksiyon malzemelerinin yaygın kullanımına karşın konu ile ilgili araştırmalar yeterli düzeyde değildir. Kireç esaslı enjeksiyon şerbetleri hakkında yapılacak araştırmalar büyük önem taşımakta; bu çalışmalarla, gelişi güzel uygulamalar sonucu oluşabilecek yeni hasarların önüne geçilmeye çalışılmaktadır.

Bu bağlamda, çalışma kapsamında tarihi yığma yapıların onarımı sırasında kullanılan enjeksiyon yönteminin ve kireç esaslı enjeksiyon malzemesinin süreç içinde gelişimi incelenmiş, yapılan araştırmalar ve sonuçları kronolojik olarak sıralanarak tabloleştirilmiştir.

Tarihi yapılar göz önünde bulundurulduğunda, her yapı strüktürü ve malzemesi kendine özgü özellikler taşır. Bu nedenle tek bir malzemenin her yapıya uygulanabilmesi mümkün değildir. Kireç esaslı enjeksiyon malzemesi ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar göstermiştir ki, özgün malzeme özellikleri yapı özelinde belirlenmeli, malzeme seçimi özgün malzeme ile uyumluluğu göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

Başarılı bir enjeksiyon için; malzeme deneylerinin yanında, yerinde uygulama sırasında izlenecek adımlara ve araştırmalar sonucu önerilecek karışım üretim süreci verilerine uyulmalı; enjeksiyon sonrası tahribatsız deneylerle malzemenin etkinliği kontrol edilmelidir.

Mimarlar, mühendisler, restoratörler, kimyagerler gibi farkli disiplinlerden uzmanlar tarafından bugüne kadar yapılmış ve yapılacak çalışmalar ışığında; tarihi yığma yapıların strüktürel onarımında kullanılan kireç esaslı enjeksiyon malzemesinin özgün malzeme özelinde deney teknikleri ve uygulama yöntemleriyle ilgili standart ve yönetmelikler ivedilikle hazırlanmalı; bilimsel araştırmalara dayanan ulusal ve uluslararası nitelik ve nicelikte kriterler oluşturularak uygulama esasları önerilmelidir.

Kaynaklar

Adami, C.E., Vintzileou, E., Mouzakis, C., Badogiannis, E. and Kalagri, A. (2012) "The Effect of Hydraulic Lime Pozzolanic Grouts on the Mechanical Properties of Three-Leaf Stone Masonry in Compression", 8th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, October 15-17 2012, p.751-759, Poland.

Aküz, F., Yüzer, N., Çakır, Ö. Ve Kabay, N. (2001) "Investigation of Material Properties of Dolmabahçe Palace Reception (Muayede) Hall's Dome and Vaults", 2nd International Congress on Studies in Ancient Structures, July 9-13 2001, V.2, p.659-668, Istanbul.

Alioğlu, E.F., Aydemir, O. ve Sünnetçi, E. (2012) "Haseki Hürrem Sultan Külliyesi 2010-2012 Yılları Restorasyonu", Vakıf Restorasyon Yıllığı, Sayı:4, s:17-29.

ASTM C 1196-92 (Reapproved 1997) "Standard Test Method for In Situ Compressive Stress Within Solid Unit Masonry Estimated Using Flatjack Measurements, USA.

Baltazar, L., Henriques, F.M.A. and Jorne, F. (2012) "Optimisation

of Flow Behaviour and Stability of Superplasticized Fresh Hydraulic Lime Grouts Through Design of Experiments", Construction and Building Materials, V.35, p.838-845.

Baltazar, L.G., Henriques, F.M.A., Jorne, F. and Cidade, M.T. (2014) "Combined Effect of Superplasticizer, Silica Fume and Temperature in the Performance of Natural Hydraulic Lime Grouts", Construction and Building Materials, V.50, p.584-597.

Banfill, P.F.G. and Shimizu, L.E.H. (2016) "Rheology for Natural Hydraulic Limes for Masonry Repair", 4th Historic Mortars Conference, 10-12 October 2016, Santorini, p.606-613.

Binda, L., Baronio, G., Tiraboschi, C. and Tedeschi, C. (2003) "Experimental Research for the Choice of Adequate Materials for the Reconstruction of the Cathedral of Noto", Construction and Building Materials, V.17, p.629-639.

Binda, L., Modena, C., Baronio, G. and Abbaneo, S. (1997) "Repair and Investigation Techniques for Stone Masonry Walls", Construction and Building Materials, V.11-3, p.133-142.

Binda, L., Moderna, C., Baroni, G. and Gelmi, A. (1994) "Experimental Qualification of Injection Admixtures Use for Repair and Strengthening of Stone Masonry Walls", 10th International Brick & Block Masonry Conference, July 5-7 1994, Calgary, p.539-548.

Bras, A. and Henriques, F.M.A. (2008) "The Influence of the Mixing Procedures on the Optimization of Fresh Grout Properties", Materials and Structures, V.42, p.1423-1432.

Bras, A., Henriques, F.M.A. and Cidade, M.T. (2012) "Rheological Behaviour of Hydraulic Lime-based Grouts. Shear-time and Temperature Dependence", Materials and Structures, V.17, p.223-242.

Ceylan, O. ve Ocakcan, T.K. (2013) "Fatih Camii 2007-2012 Restorasyonu Uygulamaları", Vakıf Restorasyon Yıllığı, Sayı:7, s:43-63.

Çebi, M.Y. (2010) "Bir Restorasyon Öyküsü Pertevniyal Valide Sultan Camii", Vakıf Restorasyon Yıllığı, Sayı:1, s:67-82.

Çılı, F. (2012) "Nuruosmaniye Camii Bodrum Kat Ahşap Hatlı/Gergi Boşluklarının Onarımı", Vakıf Restorasyon Yıllığı, Sayı:5, s:99-102.

Çılı, F., Çelik, O.C., Sesigür, H. (2011) "Süleymaniye Camii Taşıyıcı Sisteminin Onarımı ve Güçlendirme Çalışmaları", Vakıf Restorasyon Yıllığı, Sayı:3, p:37-48.

Ekşi-Akbulut, D., Aköz, F. (2014) "A System Approach for Examination and Determination in Historical Buildings", International Seminar on Structural Analysis of Historical Construction Possibilities of Numerical and Experimental Techniques, V:1, p: 95-103, Italy, November, 10-13 2004.

Eriş, İ., Yüzereroğlu, U. ve Demir, N. (2013) "Atik Valide Külliyesi 2011-2013 Yılları Restorasyonu ve Uygulamaları", Vakıf Restorasyon Yıllığı, Sayı:6, s:99-114.

Gökyiğit-Arpacı, E.Y. (2016) "Tarihi Yığma Yapıların Onarımında Kullanılan Enjeksiyon Malzemesinin (Grout) Performans Değerlendirmesi ve 19. Yüzyıl Tuğla Yığma Yapılarda Örneklenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Yapı Programı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Güleç, A., (1992) "Bazı Tarihi Anıt Harç ve Sıvalarının İncelenmesi", Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Hasol, D. (2009) Mimarlık Cep Sözlüğü, Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul, s.169.

Jorne, F., Henriques, F.M.A. and Baltazar, L.G. (2014) "Injection Capacity of Hydraulic Lime Grouts in Different Porous Media", Materials and Structures, V:48, p.2211-2233.

- Kalagri, A., Miltiadou-Fezans, A. and Vintzileou, E. (2010) "Design and Evaluation of Hydraulic Lime Grouts for the Strengthening of Stone Masonry Historic Structures", *Materials and Structures*, V.43, p.1135-1146.
- Luso, E. and Lourenço, P.B., (2016). "Experimental Characterization of Commercial Lime Based Grouts for Stone Masonry Consolidation", *Construction and Building Materials*, V.102, p.216-225.
- Miltiadou-Fezans, A. and Tassios, T.P. (2012a) "Fluidity of Hydraulic Grouts for Masonry Strengthening", *Materials and Structures*, V.45, p.1817-1828.
- Miltiadou-Fezans, A. and Tassios, T.P. (2012b) "Stability of Hydraulic Grouts for Masonry Strengthening", *Materials and Structures*, V.46, p.1631-1652.
- Miltiadou-Fezans, A. and Tassios, T.P. (2013) "Penetrability of Hydraulic Grouts", *Materials and Structures*, V.46, p.1653-1671.
- Miltiadou-Fezans, A., Kalagri, A. and Delinikolas, N., (2007) "Design of Hydraulic Grout and Application Methodology for Stone Masonry Structures Bearing Mosaics and Mural Paintings: The Case of the Katholikon of Dafni Monastery", *International Symposium Studies on Historical Heritage*, p.649-656, Antalya.
- Mora, L., Mora, P., Torraca, G. and Bonito, V.A. (1986) "A Coordinated Methodology for the Treatment and Study of the Peristyle Garden Wall of the House of Menander, Pompeii: An Interim Report", *Case Studies in the Conservation of Stone and Wall Paintings*, IIC Conference, September 21-26 1986, Bologna, p.39.
- Oktay, D. ve Yüzer, N. (2016) "Rheological Properties of Lime-based Grouts Utilized for Masonry Consolidation", *12th International Congress on Advances in Civil Engineering*, 21-25 September 2016, Bogazici University, Istanbul.
- Oliveira, D.V., Silva, R.A., Garbin, E. and Lourenço, P.B., (2012) "Strengthening of Three-Leaf Stone Masonry Walls: An Experimental Research", *Materials and Structures*, V.45, p.1259-1276.
- Papayianni, I. and Pacht, V. (2014) "Experimental Study on the Performance of Lime-Based Grouts Used in Consolidating Historic Masonries", *Materials and Structures*, V.48, p.2111-2121.
- Papayianni, I., Stefanidou, M. and Pacht, V. (2010) "Grouts for Injection of Historical Masonries: Influence of the Binding System and Other Additions on the Properties of the Matrix", *2nd Historic Mortars Conference HMC2010 and RILEM TC 203-RHM Final Workshop*, 22-24 September 2010, Prague, p. 1123-1133.
- Peroni, S., Tersigni, C., Torraca, G., Cerea, M., Forti, M., Guidobaldi, F., Rossi-Doria, P., De Rege, A., Picchi, D., Pietrafitta, F.J. and Benedetti, G. (1981) "Lime-based Mortars for the Repair of Ancient Masonry and Possible Substitutes" *Mortars, Cements and Grouts Used in the Conservation of Historic Buildings*, November 3-6 1981, Rome, p.63-99.
- Sesigür, H. ve Çılı, F. (2014). "Edirnekapı Mihrimah Sultan Camisinde Yapılan Onarım ve Güçlendirme Çalışmaları", *Vakıf Restorasyon Yıllığı*, Sayı:9, s:72-79.
- Silva, B., Benetta, M.D., Porto, F. and Modena, C. (2014) "Experimental Assessment of In-plane Behaviour of Three-leaf Stone Masonry Walls", *Construction and Building Materials*, V.53, p.149-161.
- Teutonico, J.M., McCaig, I., Burns, C., Ashurst, J. (1994) "The Smeaton Project: Factors Affecting the Properties of Lime-based Mortars", *APT Bulletin*, V.3-4, p.34-49.
- Toumbakari, E.E., VanGemert, D. and Tassios, T.P. (2000) "Methodology for the Design of Injection Grouts for Consolidation of Ancient Masonry", *International RILEM Workshop on Historic Mortars: Characteristics and Tests*, May 12-14 2000, Paisely, Scotland, p.395-405.
- Türk Dil Kurumu (2007) *BSTS/Kimya Terimleri Sözlüğü* (II).
- Türk Dil Kurumu (2010) *BSTS/İnşaat Terimleri Sözlüğü*.
- Uranjek, M., Zarnic, R., Bokan-Bosiljkov, V. and Bosiljkov, V. (2010) "Problems Related to Grout Injection of Heritage Buildings Walls", *8th International Masonry Conference*, July 4-7 2010, Dresden, p.124.
- Uranjek, M., Bosiljkov, V., Zarnic, R. and Bokan-Bosiljkov, V. (2011) "In Situ Tests and Seismic Assessment of A Stone-Masonry Building", *Materials and Structures*, V.45, p.861-879.
- Uranjek, M., Zarnic, R., Bokan-Bosiljkov, V. and Bosiljkov, V. (2012a) "Performance of NDT, MDT and DT Techniques in Assessing the Effectiveness of Grouting", *8th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions*, October 15-17 2012, 3, p.2544-2551, Poland.
- Uranjek, M., Zarnic, R., Bokan-Bosiljkov, V. and Bosiljkov, V. (2012b) "Lime-based Grouts for Strengthening of Historical Masonry Buildings in Slovenia", *RILEM Book Series*, V.7, p.393-409.
- Valuzzi, M.R. (2005) "Requirements for the Choice of Mortar and Grouts for Consolidation of Three-Leaf Stone Masonry Walls", *RILEM Workshop on Repair Mortars for Historic Masonry*, 26-28 January 2005, Delft, p.382-397.
- Van Rickstal, F., Leuven, K.U., Toumbakari, E.E., Ignoul, S. and Van Gemert, D. (2003) "Development of Mineral Grouts for Consolidation Injection", *Katholieke Universiteit Leuven Publications*, Belgium.
- Vintzileou, E. and Miltiadou-Fezans, A. (2007) "Mechanical Properties of Three-Leaf Stone Masonry Grouted with Ternary of Hydraulic Lime-Based Grouts", *Science Direct, Engineering Structures*, V.30, p.2265-2276.
- Vintzileou, E. (2011) "Three-Leaf Masonry in Compression, Before and After Grouting: A Review of Literature", *International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration*, V.5:4-5, p.513-538.
- Wong, K.H. (2006) *Assessment of the Grout Used for the Structural Stabilization of the Early Phrygian Citadel Gate at Gordion Turkey*, Master of Science Thesis, University of Pennsylvania, Graduate Program in Historic Preservation, USA.
- Yüzer, N. ve diğ. (2014-Devam etmekte). "Enjeksiyon Yöntemi (Grouting) ile Onarılmış Tarihi Tuğla Duvarların Yük Altında Davranışlarının İncelenmesi" TÜBİTAK 114M256 nolu devam eden Araştırma Projesi.
- Yüzer, N., Oktay, D., Ulukaya, S. and Gökyiğit-Arpacı, E.Y., (2015). "Mechanical Behavior of Two-Wythe Brick Masonry Walls Injected with Hydraulic Lime Grout", *REHAB 2nd International Conference on Preservation, Maintenance and Rehabilitation of Historical Buildings and Structures*, p.2:879-889, 22-24 July 2015, Porto.

İnternet Kaynakları

http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICO-MOSTR_0623153001387886624.pdf [Erişim tarihi 28 Ocak 2016]