

## Vakum yöntemi ile beton yüzeyine uygulanan epoksi reçinenin mukavemeti üzerindeki etkileri

*Effects on the strength of epoxy resin applied to the concrete surface by vacuum method*

Mehmet TAŞ<sup>1</sup> , Levent ŞENDOĞDULAR<sup>1</sup> , Selda TOPÇU ŞENDOĞDULAR\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri

• Geliş tarihi / Received: 13.04.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 05.02.2024

### Öz

Bu çalışma kapsamında, karbon elyaf dokuma sarılı beton yüzeyine epoksi reçine bir kompozit üretim tekniği olan vakum infüzyon yöntemi kullanılarak uygulanmıştır. Ayrıca, beton üzerine uygulanan epoksi reçinenin çapraz bağ oranı katalizör (sertleştirici) miktarı üzerinden optimize edilerek vakum ve geleneksel uygulamanın beton dayanımına etkileri karşılaştırılmıştır. Dolayısıyla ağırlıkça 5:2, 2:1 ve 5:3 aralığında reçine/katalizör karışımı karbon elyaf dokuma sarılı C30 sınıfı standart betondan elde edilen 150mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde silindirik numunelere vakum ve fırça yardımıyla ayrı şekillerde uygulanmıştır. Elde edilen numunelere basınç dayanım testi yapılmış ve kırılma sonrası örnekler ayrıca mikroskop altında incelenmiştir. Vakum infüzyon tekniği ile reçine/beton arayüzeyinin güçlendiği bilinmektedir. Yapılan testlerin sonucunda epoksi ile kaplamanın betonun mukavemetini artırdığı ancak fırça ile epoksi uygulanan numunelerin vakum infüzyon ile kaplanan numunelerden daha yüksek bir basma mukavemeti gösterdiği anlaşılmıştır. Ancak vakum infüzyon tekniği ile kaplanan numunelerde basma mukavemetinin uygulanan katalizör miktarı ile orantılı bir şekilde artarken geleneksel teknikte mukavemetin katalizör miktarına ters orantılı bir şekilde azaldığı görülmüştür. Buna göre sertleşen reçine ile vakum tekniğinde mukavemet artarken el ile uygulama tekniğinde mukavemet düşmüştür. Vakum infüzyon tekniği ile kaplanan beton numunelerinin yük altında plastik şekil alma davranışının arttığı ve reçinenin artan katalist miktarı ile birlikte daha tahmin edilebilir bir mühendislik malzemesi davranışı sergilediği görülmüştür. Betonun basınç altında ki kırılma doğasının tersine artan plastik şekil alma potansiyeli ile birlikte deprem bölgelerinde, köprü, okul ve diğer dayanım gerektiren yapılarda kullanımının avantaj sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Beton, Epoksi reçine, Vakum yöntemi

### Abstract

*In study, epoxy resin was applied to the carbon fiber fabric wrapped concrete surface using the vacuum infusion method, which is a composite production technique. In addition, the cross-link ratio of the epoxy resin applied on concrete was optimized based on the amount of catalyst (hardener) and the effects of vacuum and brushing application on concrete strength were compared. Therefore, epoxy resin with 5:2, 2:1 and 5:3 epoxy/catalyst ratio by weight was applied to carbon fiber fabric wrapped cylindrical samples with a diameter of 150 mm and a height of 300 mm, obtained from C30 class standard concrete, in separate ways with the help of vacuum and brush. The obtained samples were tested for compressive strength and after fracture, the samples were also examined under a microscope. It is known that the resin/concrete interface is strengthened with the vacuum infusion technique. As a result of the tests, it was understood that coating with epoxy increased the strength of the concrete, but the samples applied with epoxy by brush showed a higher compressive strength than the samples coated with vacuum infusion. However, it has been observed that the compressive strength of samples coated with the vacuum infusion technique increases in proportion to the amount of catalyst applied, while in the traditional technique the strength decreases inversely proportional to the amount of catalyst. Accordingly, while the strength increased in the vacuum technique with the hardened resin, the strength decreased in the manual application technique. It has been observed that the plastic deformation behavior of concrete samples coated with vacuum infusion technique increases under load and that the concrete exhibits a more predictable engineering material behavior with the increasing amount of catalyst in resin. It has been concluded that, unlike the brittle nature of concrete under pressure, its increased plastic deformation potential will provide an advantage in its use in earthquake zones, bridges, schools and other structures requiring strength.*

**Keywords:** Concrete, Epoxy resin, Vacuum method

\*Selda TOPÇU ŞENDOĞDULAR; selda.topcu@erciyes.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Günümüzde artan nüfus ile birlikte büyük şehirlerde giderek büyüyen çarpık yapılaşma büyük sorun teşkil etmektedir. Büyük şehirlerde ki bu standart dışı yapılaşma sonucu yönetmeliklere uygun bulunmayan yapıların çeşitli doğal afetler ile yıkılması, afet sonrası hasar oluşumu ve tamir maliyeti, gelir ve can güvenliği açısından bölgemizin bulunduğu deprem koşulları sebebiyle çok miktarda servet kayıplarına sebep olmaktadır. Kentsel dönüşüm kapsamında bunun önüne geçilmesi istense de kısa vadede hem ekonomik hem de pratik açıdan sorunun tamamen çözülmesi mümkün görülmemektedir. Bununla birlikte deprem kuşağı üzerinde konumlanan Ülkemizin birçok Bölgesinde yüksek Richter ölçekli depreme yol açacağı düşünülen fay hatlarının enerji boşalmaları beklenmektedir (Ilki, vd., 1997; Doğangün, 2004). Böyle bir durumda maddi kayıplar bir yana birçok can kaybı yaşanacak olması endişe vericidir. Bu nedenlerle yapılarda gerçekleştirilen güçlendirmeler ile bu kayıpların önlenmesi, mali kayıpların yanı sıra deprem gibi yıkıcı doğal afetler sonucu can kayıplarının da önüne geçilmesi istenmektedir.

Beton, yapısında çimento, kum ve çakıl gibi dayanım elemanları içeren kompozit bir yapı malzemesidir. (Neville, 1995; Kuru Mutlu, 2022). İçerisinde ihtiva edilen bu dayanım elemanları, yapıya mukavemet vermek ve betonu bir arada tutmak gibi temel görevleri yerine getirmek üzere betonda bulunması gereken bileşenlerdir. Bir beton yapısının dayanımı; beton katkı malzemesi, beton türü ve uygulama şekline bağlıdır. Bu özellikler beton için gerekli dayanım değerlerinin sağlanmasında en önemli özelliklerdir. Buna bağlı olarak, modern yapılarda kullanılan belli bir standarda indirgenmiş nihai beton yapıları geliştirilmiştir. Ülkemizde bu standart; performans, imalat, özellik ve uygunluk bakımından TSE EN 206 ve TS13515 tamamlayıcı standardı ile tanımlanmaktadır. Ayrıca ASTM betonlarla ilgili birçok yapı ve özellik standardı oluşturmuştur. Bu standartlardan biri de yığma ve katlı yapılarda inşaat aşamasında ve sonrasında uygulanabilecek beton yüzey kaplama işlemleridir. Beton yapılara farklı kaplama uygulamaları yapılmaktadır. Gerçekleştirilmiş çalışmalarda betonlara uygulanan kaplamalar genelde 4 ana başlık altında incelenmiştir. Bunlar; yüzey kaplama, hidrofobik emdirme, gözenek tıkayıcı yüzey işlemi ve çok işlevli yüzey işlemi olarak tanımlanmıştır (Pan vd., 2017). Sahada kolay uygulanabilecek olan çalışma yüzey kaplama işlemleridir ve genellikle sanayi odaklı uygulanabilmektedir. Betonlarda yüzey kaplama işlemi, fiziksel bir bariyer görevi gören sürekli bir polimer film oluşturarak betonu korumak ve dışarıdan oluşabilecek aşındırıcı maddelerin çimentolu yüzeye nüfuz etmesini önlemek için uygulanır (Almusallam vd., 2003; Bertolini vd., 2013). Kaplanmış betonunun en çok maruz kalacağı ortam sulu ortamlardır. Kaplanmış betonun suya karşı dayanımı esas olarak polimer kaplamanın bariyer etkisiyle ilgilidir. Polimer kaplamalarda nem taşınımının kinetiği genellikle Fick yasası ile tanımlanmaktadır (Drozdov vd., 2003; Shen & Springer, 1976). Maggana ve ekibinin deneysel sonuçları (Maggana & Pissis, 1999), epoksi kaplamalarda nem difüzyonunun, denklem 1'de verilen Fick yasasından, özellikle de sıcaklık 20°C'den düşük olduğunda sapma gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, polimer kaplamalarda nem difüzyonunun, kaplama betona uygulanmadan önce farklı sıcaklıklarda değerlendirilmesi gerekmektedir.

$$\partial c / \partial x = D (\partial^2 C) / (\partial x^2) \quad (1)$$

VanLandingham ve ekibine göre ise, polimer kaplamaların nem difüzyonu iki ana faktöre bağlıdır (VanLandingham vd., 1999). Bunlardan birincisi, polimerin mikroyapısına, çapraz bağ yoğunluğuna ve morfolojisine bağlı olan, polimer içindeki moleküler büyüklükteki deliklerin varlığıdır. Bu üç özellik, kürlenme derecesi, moleküler zincir sertliği, stokiyometri ve kaplamanın kohezif enerji yoğunluğunun sonucu olarak değerlendirilmektedir. İkinci faktör ise, polimer zincirleri boyunca hidrojen bağlarının varlığına bağlı olan polimer-nem afinitesidir. Polimer-nem afinitesinin etkisine bağlı olarak, Fick yasası yalnızca nem yayılımının başlangıç aşamasını tanımlayabilir, ancak tüm süreç boyunca geçerli değildir (Maggana & Pissis, 1999; VanLandingham vd., 1999; Pérez vd., 1999). Bu nedenler polimer malzemelerden oluşan kaplamaların kullanımı günümüzde önem arz etmektedir. Geleneksel polimer kaplamalar, polimer/kil nanokompozit kaplamalar ve çimentolu kaplamalar dâhil olmak üzere betonlara çeşitli yüzey kaplamaları uygulanmaktadır. Bu uygulamalardan akrilik kaplamalar; asit, alkali, oksidasyon ve hava koşullarına karşı iyi bir dirence sahiptir, ancak ara yüzey yapışma mukavemeti ve sünekliliği, epoksi reçineye kıyasla nispeten düşüktür (Diamanti vd., 2013). Poliüretan kaplamalar ise, betonu büzülmeden korur, aside karşı yüksek direnç gösterir ancak yüksek alkali bir ortamda istikrarlı değildir.

Polimer kaplamaların kullanımının yanında, bu kaplamaların beton yüzeyine hangi yöntemlerle uygulandığı da önemlidir. Beton yüzeyinin kaplanması ile ilgili farklı kaplama yöntemleri bulunmaktadır (C.M. Hansson, vd.,

1998; Delucchi vd., 1997; Pacheco-Torgal & Jalali, 2009; Franzoni vd., 2013; Elalaoui vd., 2012). Beton yüzeyinin kaplanması işlemi sırasında kullanılan yöntemin (püskürtme, fırçalama veya daldırma) etkisi çok büyüktür (Baltazar vd., 2014) Baltazar ve grubu (Baltazar vd., 2014), daha yüksek gözenekliliğe sahip betonda yüzey işleminin etkinliğinin daha önemli olduğunu, çünkü işlem ajanlarının bu betona daha kolay ve derinlemesine nüfuz edebileceğini göstermişlerdir. Franzoni, etil silikat (veya tetra etil orto silikat, TEOS) 'a daldırma yöntemi ile kaplanan betonun metal fırça ile fırçalanmış betona göre daha iyi (süreklilik testi açısından) olduğunu göstermiştir (Franzoni vd., 2014). Medeiros ve arkadaşları ise fırçalama sürelerinin sayısının da kaplama kalitesini etkilediğini göstermişlerdir (Medeiros & Helene, 2008). Literatürde, polimer matrisine nano katkılamaya yapılarak veya birden çok katman eklenerek geçirgenliği azaltma üzerine çalışmalar yapılmıştır. (Pérez vd., 1999; C.M. Hansson, vd, 1998; Delucchi vd., 1997; Pacheco-Torgal & Jalali, 2009; Franzoni vd., 2013; Elalaoui vd., 2012; Liu & Vipulanandan, 2001; Soebbing vd., 1996; Berndt, 2011; Yang vd., 2002; Perrin vd., 2009; Dang vd., 2014; Ramesh Singh, 2014). Ancak bu uygulamalar mevsimler arası yüksek sıcaklık farklarının yaşandığı ve çok yüksek veya çok düşük sıcaklıkların söz konusu olduğu bölgelerde zayıf ara yüzey ve polimer ile beton arasındaki farklı termal genleşme ve büzülme katsayıları nedeniyle mekanik açıdan dezavantajlıdır. Bu çalışmanın konusu olan vakum infüzyon yöntemi ile kaplamada ki bu gibi sorunlar ortadan kaldırılacağı düşünülmektedir. Literatürde vakum yöntemi ile reçine uygulamasına dayanan bir yapı güçlendirme çalışması 2002 yılında Lee Sung Woo tarafından patent aşamasında gerçekleştirilmiş fakat ticari olarak kullanımıyla ilgili bir araştırma sonucuna rastlanılmamıştır. Bu gibi avantajlarından dolayı bu çalışmada vakum infüzyon ile kaplama yöntemi kullanılmıştır (Bin, vd., 2019; Woo, 2002; Agwa vd., 2022).

Yapı ve malzeme teknolojilerinin gelişmesi ile karbon fiber yapılarda büyük önem kazanmıştır. Karbon elyaf fiber dokulu kumaş sarılı betonlar yüksek mukavemet ve yüksek rijitlik özellikleri nedeni ile araştırma konusu olmuştur. Bu çalışmalardan Akyıldız ve ekibi karbon elyaf ile güçlendirilmiş sargılı numunelerin sargısız numunelere göre dayanımlarını araştırmış ve karbon elyaf sargılı numunelerin mukavemetlerinde %42 artış olduğunu göstermiştir (Akyıldız et al. 2016). Diğer bir çalışmada da Mercimek ve ekibi birçok çalışmada karbon elyaf takvyeli polimerler kullanarak malzemelerin mekaiik davranışlarını iyileştirmişlerdir (İşleyen vd., 2021; Mercimek vd., 2022).

Diğer bir yandan, kaplama yöntemlerinde kullanılan reçine oranları da önemlidir. Epoksi gibi reçinelerde çapraz bağların artırılması ile geçirgenlik azalması arasında doğru orantılı bir ilişki bulunmaktadır (Maggana & Pissis, 1999). Reçinenin çapraz bağları üzerinde etkili olan tabaka kalınlığı ve içerisindeki boşluk oranı kaplamanın geçirgenliğini yakından ilgilendirmektedir. Ayrıca daha önce yapılan çalışmalarda polimer matrisine nano katkılamaya yapılarak veya birden çok katman eklenerek geçirgenliği azaltma çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Yang et al., 2002). Bu konuda 2003 yılında yapılmış bir çalışmada polimer matrisine içerisine nano kil veya iğnemi inorganik partiküllerin eklenmesinin mekanik özellikleri geliştirdiği gözlemlenmiştir (Liu & Vipulanandan, 2001). Bu tür homojen yapılar farklı yükler altında 50 kata varan mukavemet artışı gösterebilmektedir. Mukavemet artışının temel sebebi nanometre mertebesinde parçacık boyutuyla çok büyük miktarda değişim gösteren partikül özellikleridir (Liu & Vipulanandan, 2001). Ayrıca reçineler, çimento içerisinde ağ yapıcı özellik göstererek dayanım artışı sağlarken yüzeylerde mikro çatlak oluşumunda azalmaya sebep olmaktadır (Hinder vd., 2005). Bu nedenlerle beton yüzeyine reçine uygulanması vakum yöntemi ile gözeneklerin kapatılıp mukavemetin artırılması beklenmektedir.

Sonuç olarak, çalışma kapsamında betonun yüzeyine, vakum altında polimerik reçinenin emdirilmesi amaçlanmaktadır. Karakterizasyon işlemleri karşılaştırma açısından faydalı olacağı düşünüldüğü için deneysel altyapı ve yöntemler, literatür esas alınarak gerçekleştirilmiştir (Pacheco-Torgal vd., 2012). Farklı oranlarda epoksi reçineli ve epoksi reçinesiz (kontrol numunesi) beton numuneler hazırlanmış ve vakum altında geleneksel yöntem ile reçine emdirilme işlemleri yapılmıştır. Böylece, reçineli betonlarda epoksi/sertleştirici oranına bağlı olarak vakum yönteminin geleneksel yöntemle göre dayanımın etkisi incelenebilmiştir.

## 2. Materyal ve metod

### 2. Material and method

#### 2.1. Materyal

##### 2.1.1. Material

Bu çalışmada karbon elyaf kumaş, epoksi/katalizör reçine ve C30 sınıfı beton kullanılmıştır. Karbon elyaf kumaş Tekno Yapı Kimyasalları Firmasının ürettiği teknowrap-300 300gr/m<sup>2</sup> tek yönlü dokunmuş üründür.

Kullanılan bağlayıcı, havacılık sektöründe ki kullanımı ile öne çıkan ve kürlendiğinde minimum kabarcıklanma yapan epoksi esaslı iki bileşenli (reçine/katalizör) bir bağlayıcıdır. İlgili reçine ve sertleştiricisinin ticari adı Araldite® EP1000 A reçine ve Araldite® EP1000 B sertleştirici olarak bilinmektedir.

## 2.2. Standartlara uygun beton numunelerin temin edilmesi

### 2.2. Provision of concrete samples conforming to standards

Bu çalışmada en yaygın kullanımı ile öne çıkan C30 standardında beton kullanımı planlanmıştır. Öncelikle standartlara uygun çimento, agrega ve su bileşimi ayrı ayrı hazırlanmıştır. Hazırlanan çimento EN 197-1'e, agregalar EN 12620 veya EN 13055'e ve kullanılan suyun EN 1008'e uygunluğu kontrol edilmiştir. Hazırlıklar tamamlandığında uygun su çimento oranı standartta belirtilen mukavemet değerlerini sağlayacak şekilde hesaplanarak harç hazırlanmıştır. Bu çalışmada, standart için belirlenen beton türüne göre su çimento karışımı uygulanmıştır. Standartlarda C15, C30 ve C45 sınıfı betonları için bu oranlar sırasıyla 0.79, 0.54 ve 0.37 olmaktadır. Beton numuneler, C15, C30 ve C45 TS EN 206-1 (Tablo 1) en büyük tane büyüklüğü 19-25mm arasında olacak şekilde, 150x300mm boyutlarında TS EN 12390-2'de belirtildiği şekilde kür edilerek hazırlanmış beton numunelerdir.

**Tablo 1.** TS EN 206-1 Standardına göre beton sınıfları ve özellikleri (*Türk Standardı, 2002*)

**Table 1.** Concrete classes and properties according to TS EN 206-1 Standard (*Türk Standardı, 2002*).

Beton Sınıfları	Silindir dayanımı, silindir N/mm <sup>2</sup>	Küp dayanımı, küp N/mm <sup>2</sup>
C12/15	12	15
C25/30	25	30
C35/45	35	45

Öncelikle epoksi kaplama uygulanacak beton numunelerin yapısında meydana gelen dayanım artışlarının kıyaslanması için kontrol numuneleri (kaplamasız, çıplak beton numuneleri) hazırlanmıştır. Bu numuneler herhangi bir yüzey kaplama ya da pürüz işlemlerine tabi tutulmamıştır. Her numune için toplamda 3 farklı tekrar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca hazırlanan her bir beton numune test edilmeden veya yüzeyi kaplanmadan önce standartlarda belirtilen 28 günlük prizlenme süresi kapsamında bekletilmiştir. Böylece numunelere arasında prizlenme farklılıklarının önüne geçilmesi sağlanmıştır.

## 2.3. Karbon elyaf kumaşın betona sarılması

### 2.3. Wrapping concrete samples with carbon fiber fabric

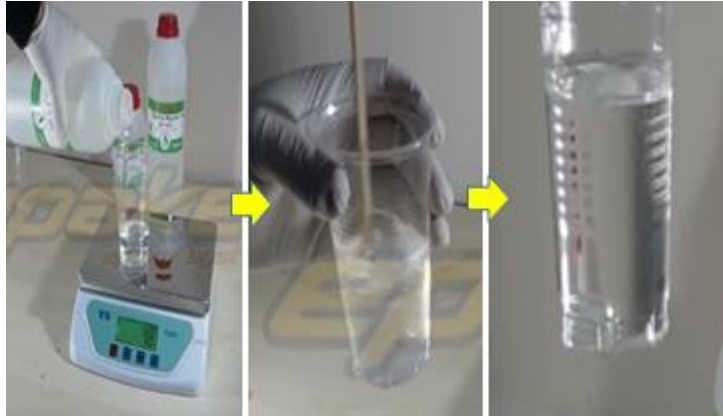
Kontrol numuneleri dışındaki tüm test numuneleri karbon elyaf kumaş ile sarılmıştır. Tüm numunelerde yaklaşık 0.15m<sup>2</sup> büyüklüğünde 45gr. kumaş sarılmıştır. Sarımın bitiş noktası başlangıç noktası yaklaşık 1cm geçecek şekilde üst üste bindirilmiştir. Kumaşın reçine öncesi beton numune etrafında sabitlenebilmesi için 3 adet paket lastiği kullanılmıştır.

## 2.4. Reçinenin hazırlanması

### 2.4. Preparation of the resin

Ticari olarak önerilen karışım oranı ağırlıkça 2:1 şeklindedir. Ancak istenilen setliğe bağlı olarak bu oran değiştirilebilmektedir. Oran değiştikçe reçinenin çapraz bağ oranının değiştiği dolayısıyla mekanik özelliklerinin değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. Öncelikle belirlenen oranlarda reçine/katalizör çifti uygun kap içerisinde homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırılmıştır (Şekil 1). Karıştırma işlemi sabit hızla kabarcık oluşumuna sebep olmayacak biçimde ahşap çubuk yardımıyla 5 dakika boyunca gerçekleştirilmiştir. Sürenin sonunda karışımın tek renk ve tek doku olması esas alınarak kaplama aşamasına geçilmiştir.

Planlanan ağırlıkça 5:2, 2:1 ve 5:3 oranlarında her bir epoksi/katalist karışımı yaklaşık 150gr. ağırlığında olacak şekilde hazırlanarak ayrı şekillerde fırça ve vakum teknikleri ile Şekil 2'de belirtilen önceden hazır hale getirilmiş karbon elyaf dokuma kaplı beton numunelerine uygulanmıştır.



**Şekil 1.** Reçinenin hazırlanması.  
**Figure 1.** Preparation of the resin

#### 2.4.1. El (firça) ile kaplama

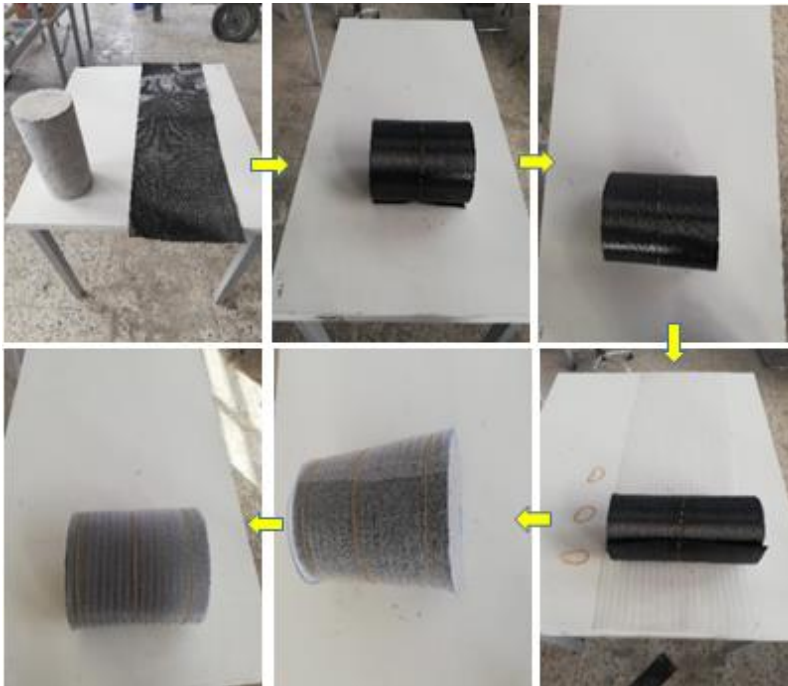
##### 2.4.1. Coating by hand (brush)

Fırça ile kaplamada yöntem için hazır hale getirilmiş karışım bir boya fırçası yardımı ile yüzeye uygulanmıştır. Takviye aşamasında yüzeyde baloncuk ve kuru bölge kalmayınca kadar süreç devam ettirilmiştir. Uygulama sırasında ara sıra oluşmuş bazı boşluklar fırça yardımıyla alınmıştır. Küçük boyutlu ve fırça ile uzaklaştırılmayan boşluklar sıcak hava üfleyen bir üfleç yardımıyla yüzey ısıtılarak uzaklaştırılmıştır. Daha sonra kaplama yapılmamış her köşeye aynı işlemler tekrarlanmıştır. Kaplama aşaması bitmiş parçalar beton kenarlarından yüzeye yapışmaması için 4 cm çapa ve 1 cm yüksekliğe sahip çelik bir silindirin üzerine yerleştirilerek kürlenmeye bırakılmıştır. Kaplama sonrası numuneler oda sıcaklığında, çeker ocak altında 24 saat boyunca basınç dayanım testine hazır hale gelinceye kadar bekletilmiştir.

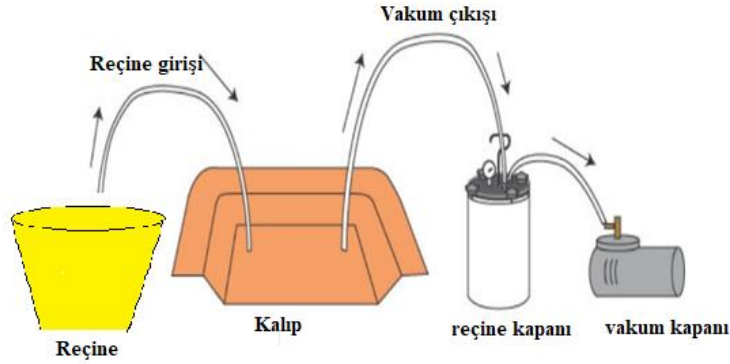
#### 2.4.2. Vakum infüzyon kaplama

##### 2.4.2. Vacuum infusion coating

Beton dökümünden oluşmuş sivri ve keskin köşeler zımparalandıktan sonra yüzeyler hava tabancası ile temizlenmiştir. Temizleme işlemi sonrasında, tüm beton yüzeylerine göre kesilmiş karbon elyaf ve mesh tabakası beton yüzeyine kenarlardan lastik yardımıyla tutturulmuştur. Böylelikle kumaşın kürlenme tamamlanana kadar yüzeyde kalması sağlanmıştır (Şekil 2). Numune ile ilgili işlemler bu noktada tamamlanmış olup vakum düzeneği kurulum aşamasına geçilmiştir.



**Şekil 2.** Numunenin karbon elyaf ile kaplanması işlemi.  
**Figure 2.** The process of coating the sample with carbon fiber.



**Şekil 3.** Vakum infüzyon yöntemi uygulaması  
**Figure 3.** Application of vacuum infusion method

Uygulanan vakum yönteminin (Şekil 3) kurulum aşamasında öncelikle vakum torbası tüm beton numuneyi içine alacak ve katlanma bölgelerinin kolayca oluşmasını sağlayacak şekilde fazla olarak kesilmiştir. Vakum torbası reçinenin girişi ve vakumun çıkışının sağlanabilmesi için uygun ölçülerde delinmiştir. Giriş çıkış aparatları bu deliklerin vakum torbasına temas edecek kısımlarına vakum macunu sarıldıktan sonra yerleştirilmiştir. Yerleştirme sonrası hazırlanmış beton numunesi vakum torbasının içerisine alınmış ve vakum torbasının kenarları vakum macunuyla kapatılmıştır. Daha sonra da giriş/çıkış hortumları yerleştirilmiştir. Reçine giriş hortumu reçine haznesine girecek şekilde kesilerek bir adet kısa hortumun vakumlama işlemi bittiğinde reçine akışını kesmek için reçine haznesinin üzerinde uygun bir seviyede tutturulmuştur. Kıskacın tutturulmasının amacı, vakumlama esnasında vakumla birlikte reçine akış hızını kontrol etmektir. Bu çalışmada 10 dakikada tam vakumlama yapacak şekilde kıskaç ayarlaması yapılmıştır. Ayrıca hortumların çıktığı dip noktaları vakum macunu ile sızdırmayacak şekilde kapatılmıştır. Numunenin diğer tarafında da vakum tuzağına girecek hortum kesilerek aynı işlemler uygulanmıştır. Tüm bu işlemlerden sonra vakum infüzyon işlemine hazır hale getirilen numunenin görseli Şekil 4'te verilmektedir.



**Şekil 4.** Hazırlanan numuneye reçine emdirilme işlemi.  
**Figure 4.** Resin impregnation process of the prepared sample.

Düzenek kurulduktan sonra vakumlama işlemine geçilmiştir. Başlangıçta reçine giriş kısmında bulunan kıskaç sıkıştırılarak vakumlama işlemi yavaşça gerçekleştirilmiştir. Vakumlama sırasında torba kenarlarında oluşan kırışıklıklar düzeltilmiştir, vakum giriş çıkış aparatlarının torbaya zarar vermeyecek şekilde düzgün durması sağlanmış ve beton tamamen vakum altına alınmıştır. Bu işlemten sonra tüm sistem 30 dakika boyunca torbada

delik veya herhangi bir bileşende sızdırma olup olmadığını görmek amacı ile bekletilmiştir. Vakum tuzağının üzerindeki göstergeden basınç değişimi takip edilerek herhangi bir sızdırmazlık olup olmadığı kontrol edilmiştir. 30 dakika sonra reçine haznesine hortum daldırılmış ve kısaç dengeli bir akış oluşana kadar serbest bırakılmıştır. Bu aşamadan sonra 10 dakika içerisinde reçine yüzeyde tamamen yayılmıştır. Reçine yayıldıktan sonra, kısaç tekrar sıkıştırılarak vakum işlemi her iki yönden de durdurulmuş ve numunenin kurlenmesi için 24 saat beklenmiştir. Vakum işleminden sonra giriş çıkış aparatları yüzeyden çıkarılarak beton silindirin yüzeyleri temizlenmiştir. Beton numuneler, farklı sertleştirici (katalizör) oranlarıyla hem elle kaplama tekniği hem de vakum tekniği olmak üzere 2 farklı yöntemle uygulanarak incelenmiştir.

## 2.5. Karakterizasyon çalışmaları

### 2.5. Characterization studies

Hazırlanan numunelerin yüzey özelliklerinin incelemesi optik mikroskop (ZEISS Axio Lab A1) ile yapılmıştır. Yapılan çalışmada vakumlu ve vakumsuz olarak kaplama uygulanmış numunelerden basınç dayanım deneyi sonrası kırık parçalar alınmış ve bu numunelerin yüzeyleri mikroskop altında incelenmiştir. Alınan numuneler öncelikli olarak basınç dayanım yönüne dik şekilde tespit edilmiş ve basınç dayanım yönüne paralel olacak şekilde parlatma cihazında sırasıyla 180, 400, 800 ve 1600 inç başına kum adetli zımpara kâğıtları ile temizlenmiştir. Daha sonra doğrudan optik mikroskop altında 10x büyütme altında fotoğrafları çekilmiştir.

## 2.6. Su emme testi

### 2.6. Water absorption test

Tüm numuneler, arşimet prensibi ile çalışan terazi yardımıyla (Türkak AB 0064-K ) porozite ve su emme özellikleri TS EN 1170-6 (1999) standardına uygun olarak belirlenmiştir. Beton numuneleri 28 gün sonunda kür havuzundan çıkartılıp tartının su içerisindeki sepete koyularak Arşimet Terazisi yardımıyla ağırlıkları kaydedilmiştir. Daha sonra yüzeyleri bir bez yardımı ile kurularak havadaki ağırlıkları alınmıştır. Numuneler 110 °C’de etüvde 24 saat boyunca kurutulup etüv kurusu haline getirilmiştir. Etüvden çıkan numuneler oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulduktan sonra etüv kurusu ağırlıkları tartılmıştır. Ağırlık ölçümleri her seri için 3’er numune üzerinde yapılarak ortalama değerleri alınmıştır.

## 2.7. Basınç deneyi

### 2.7. Pressure test

Numunelerin dayanımlarını test edebilmek için basınç dayanım testi yapılmıştır. Beton numunelerin basınç dayanımı tayininde Erciyes Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarı bünyesinde bulunan laboratuvarında Yüksel Kaya Makina marka bir basınç dayanım test cihazı kullanılmıştır. Standartlara uygun 150 mm x 300 mm boyutlarına sahip silindirik beton test numuneleri hazırlanmıştır. Basınç dayanımları, TS 3289 EN 1354’e göre (Türk Standardı, 1996) 200 ton kapasiteli pres altında yapılmıştır. Temas alt ve üst bölgelerine %30 kükürt ve %70 grafit bileşimi kullanılarak temas yüzeylerinin düzlüğü ve yükün homojen uygulanması sağlanmıştır.

## 3. Bulgular ve tartışma

### 3. Results and discussion

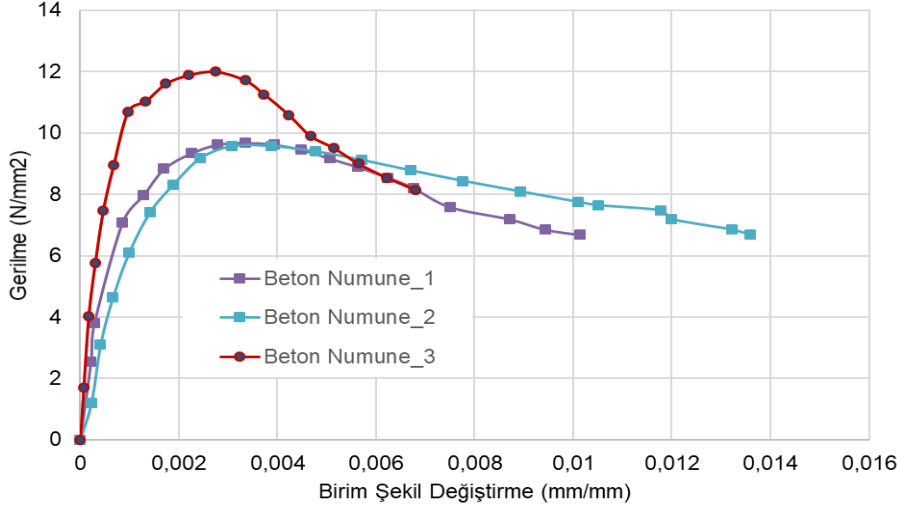
Hazırlanan numunelerin kaplama yapılmadan önce Arşimet deneyi ile su emme değerlerine bakılmıştır. Kaplamasız numunelerden üçü üzerine yapılan Arşimet deneyi sonucu numunelerdeki görünür boşluk oranı Tablo 2’de belirtilmiştir. Bu deneyden elde edilen çıktılar vakum infüzyon ile reçine kaplanması sırasında reçinenin difüze olacağı betonun yüzey gözenekliliği hakkında bilgi sağlamaktadır. Kullanılan numunelerde ortalama su emme değeri % 2,15 olarak elde edilmiştir. Ayrıca buna bağlı olarak görünür boşluk oranı % 5.06 olarak tespit edilmiştir.

**Tablo 2.** Ortalama su emme ve boşluk oranları

**Table 2.** Average water absorption and porosity ratios

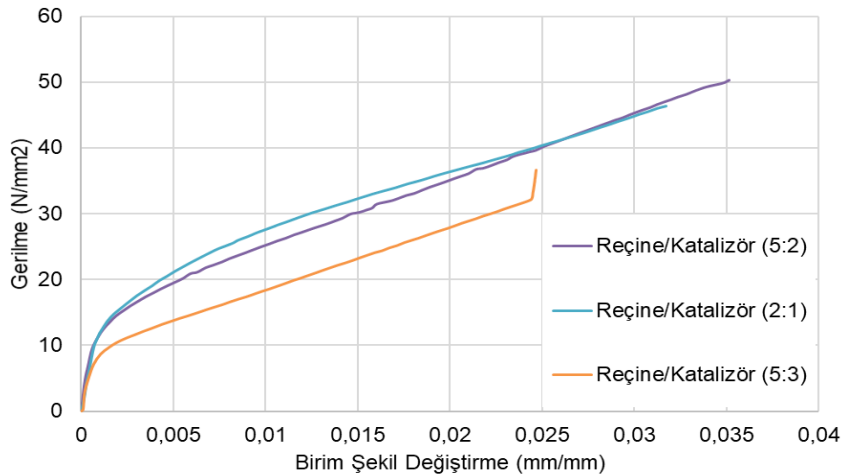
Beton numuneler	% Su emme	% Ortalama su emme	Hacimce emilen su %100*(Wkyd-Wk)/V	Ortalama boşluk oranı (Görünür porozite) (%)
Numune_1	2.33		5.51	
Numune_2	2.06	2.15	4.83	5.06
Numune_3	2.06		4.84	

Çalışmada beton numunelerin yapısal olarak dayanıklılığını tespit etmek için basınç dayanım testleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre hiçbir işlem uygulanmadan basınç dayanım deneyi yapılan numunelere ait gerilme-birim şekil değiştirme sonuçları Şekil 5’de verilmektedir. Aynı koşullarda hazırlansalar bile beton numunelerinin birbirleri arasında mekanik özellik farklılıkları ortaya koydukları bilinmektedir. Bu nedenle tüm testler en az 3 kez tekrarlanmıştır. Bu sonuçlara göre kaplama öncesi beton numunelerinin ortalama 10.96 N/mm<sup>2</sup> maksimum gerilme davranışı tespit edilmiştir.



**Şekil 5.** Kaplamasız numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme deneyi sonuçları.  
**Figure 5.** Stress-strain test results of reference specimens.

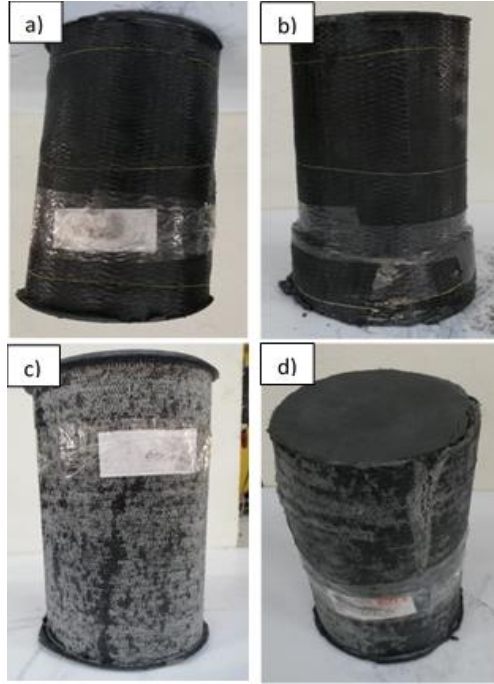
Elle kaplama yöntemiyle üretilen numunelerde gerçekleştirilen basınç dayanım deneylerinden elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri Şekil 6’da gösterilmektedir. Fırçayla kaplama yöntemi ile ağırlıkça 5:2, 2:1, 5:3 oranlarında reçine/katalizör uygulanan numunelerin basma mukavemetleri sırasıyla yaklaşık 50,27-46,31 ve 40,06 MPa olarak kaydedilmiştir. Kaplamasız numunelerin ortalama basma mukavemeti (10.96 MPa) ile karşılaştırıldığında fırça yöntemi ile basma mukavemetlerinde yaklaşık 5 kata kadar bir artış görülmüştür. Ayrıca grafikte de görüldüğü üzere reçine/katalizör oranının artması basma dayanım değerlerini bir miktar düşürmüştür. 5:2, 2:1, 5:3 oranlarında uygulanan numunelerin birim şekil değiştirme değerleri de sırasıyla % 0,0351, 0,0317 ve 0,0246 mm/mm’dir. Şekil değiştirme değerleride reçine oranı arttıkça düşmektedir. Diğer numunelerden farklı olarak 5:3 reçine/katalizör bileşimi akma dayanımı değerinden sonra gerilme yükselişi göstermiştir. Deney sırasında beton yük altında dayanımını kaybetse bile onu çevreleyen reçine emdirilmiş karbon elyaf örgü numuneyi hacimsel olarak tutmaktadır. Bu nedenle kırılan beton numunesi sıkışmaya devam etmekte ve bir süre sonra direnç göstererek dayanımı arttırmaktadır. Ancak karbon elyaf kaplama parçalanınca tüm numune dağılmaktadır. Dolayısıyla betonun kopma dayanımı sonrası artan gerilme karbon elyaf kaplamadan kaynaklanmaktadır.



**Şekil 6.** El ile uygulama sonucu gerilme-birim şekil değiştirme grafiği  
**Figure 6.** Stress-unit strain graph as a result of manual application



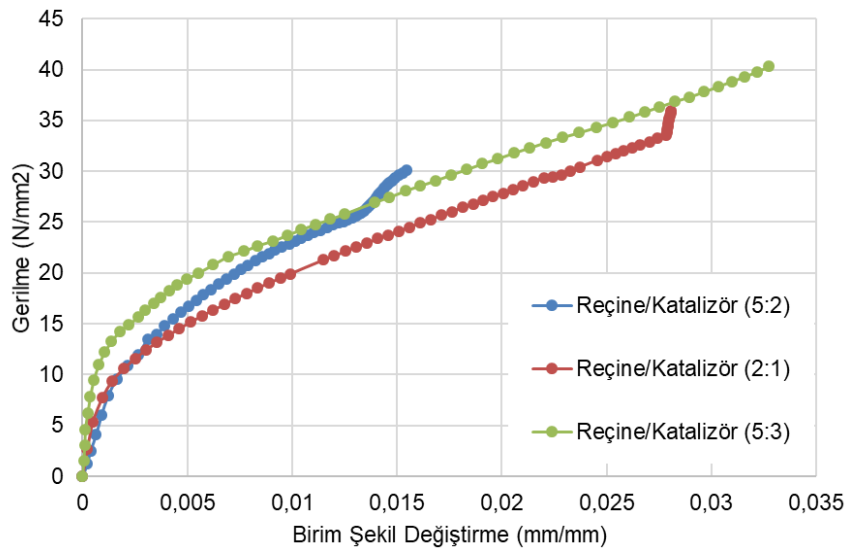
Şekil 7’de el ile kaplanan numunenin basınç dayanım deneyi (a) öncesi, (b) sonrası fotoğrafları gösterilmiştir. Fotoğraflar da numunelere basma mukavemeti uygulandığında belli bir yük altında numunelerin patladığı gözükmektedir. Ancak patlayan numunelerin bile kaplanmamış betona kıyasla kendini bırakmadığı ve tozlaşma oluşmadığı resimlerde görülebilmektedir.



**Şekil 7.** El ile kaplanan numunenin basınç dayanım deneyi (a) öncesi, (b) sonrası ve vakum ile kaplanan numunelerin basınç dayanım deneyi (c) öncesi, (d) sonrası görüntüleri

**Figure 7.** Images of the hand-coated sample before (a) and (b) after the compressive strength test, and of the vacuum-coated samples before (c), before (d) of the compressive strength test

Vakum infüzyon ile kaplanan numunelerin gerilme- birim şekil değiştirme grafiği Şekil 8’de gösterilmiştir. Grafikte her 3 bileşim oranına dair eğriler eklenmiştir. Vakum ile kaplama yöntemi ile 5:2, 2:1, 5:3 oranlarında reçine/katalizör uygulanan numunelerin basma mukavemetleri sırasıyla 30,12-36,23 ve 40,31 MPa’dır Buna göre 5:3 bileşimindeki epoksi/sertleştirici oranının 5:2 ve 2:1 numunelere göre daha yüksek dayanıma sahip olduğu gözükmektedir. 5:2, 2:1, 5:3 oranlarında reçine/katalizör uygulanan numunelerin birim şekil değiştirme değerleri de sırasıyla % 0,0154, 0,02825 ve 0,0328 mm/mm’dir.



**Şekil 8.** Vakum infüzyon ile uygulama sonucu gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.  
**Figure 8.** Stress-unit strain graph as a result of vacuum application.

Vakum infüzyon yönteminde de katalizör oranı arttıkça birim şekilde değiştirme oranı artmıştır. Kaplanmış beton numunelerinin basma dayanımları esas alındığında el ile kaplanmış numunelerin vakum infüzyon tekniğine kıyasla daha yüksek değerler sunduğu görülmektedir. Bunun sebebinin vakum infüzyon tekniği ile kaplanan numunelerin sağladığı güçlü beton/reçine arayüzü olduğu düşünülmektedir. Çünkü beton gözenekliliğine difüze olan reçinenin yük altında beton numunelerin yüzeyinin kırılmasına sebep olması mümkündür. Bu nedenle beton ve reçine bütünlük bir davranış sergileyerek öngörülebilir bir mekanik davranış ile karşılaşılmaktadır.

Vakum infüzyon tekniğinin aksine el ile kaplama yönteminde beton/reçine arayüzeyi daha zayıftır. Dolayısıyla basma dayanımının artmasına imkan sağlayan bu yapı tabakalı malzeme davranışı sergilerken zayıf arayüzey temelli heterojen davranış malzemenin katalizör katkısına bakılmaksızın değişken bir mekanik özellik sergilemesine yol açmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışmada vakum infüzyon tekniği ile öncelikle karbon elyaf kumaşın beton yüzeyinde stabilitesinin sağlanması ve devamında artan arayüzey etkileşimi ile mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Ancak sonuçlar mekanik özelliklerin el ile uygulamaya kıyasla geliştirilemediği, bununla birlikte inşaat malzemelerinde özellikle statik hesaplanmasında malzemelerden istenilen tahmin edilebilir (mühendislik malzemesi) bir mekanik davranışın vakum infüzyon tekniği ile bu uygulamada elde edilmesi mümkün olmuştur.

Şekil 7 (c-d)'de ise vakum infüzyon ile kaplanan numunelerin basma deneyi öncesi ve sonrası görüntüleri yer almaktadır. Bu görüntülere göre el ile kaplama ile vakum infüzyon kaplama numunelerinin basma deneyi öncesi ve sonrası görüntülerinde renk farkı gözlemlenmektedir. Bunun sebebi vakum infüzyon tekniğinde vakum poşeti ile kaplı dış yüzeyin reçine ile hangi miktarlarda kaplanabildiği hassas bir şekilde kontrol edilememektedir. Dolayısıyla numune/hava arayüzeyi el ile kaplamaya kıyasla daha heterojendir. Çünkü el ile kaplama tekniğinde fırça yardımıyla dış yüzeyde reçine kaplanmayan yer olmadığından emin olunmakta ve görselde ki gibi homojen bir sonuç elde edilebilmektedir.

Şekil 9'da tüm numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme deneylerinin karşılaştırılması bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Tablo 3'de de hazırlanan tüm numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme grafiklerinden elde edilen mekanik özellikleri özetlenmiştir. Grafikte görüleceği üzere yapılan deneylerde en yüksek basma dayanım değeri el ile kaplama yöntemi ile sağlanmıştır. Daha öncede bahsedildiği üzere bunun ana sebebinin beton/reçine arayüzeyi olduğu düşünülmektedir. Güçlü bir arayüzey yapısı basınç altında reçinenin difüze olduğu beton yüzeyini tahrir etmesine yol açmaktadır.

**Tablo 3.** Hazırlanan numunelerin mekanik özellikleri  
*Table 3. Mechanical properties of prepared samples*

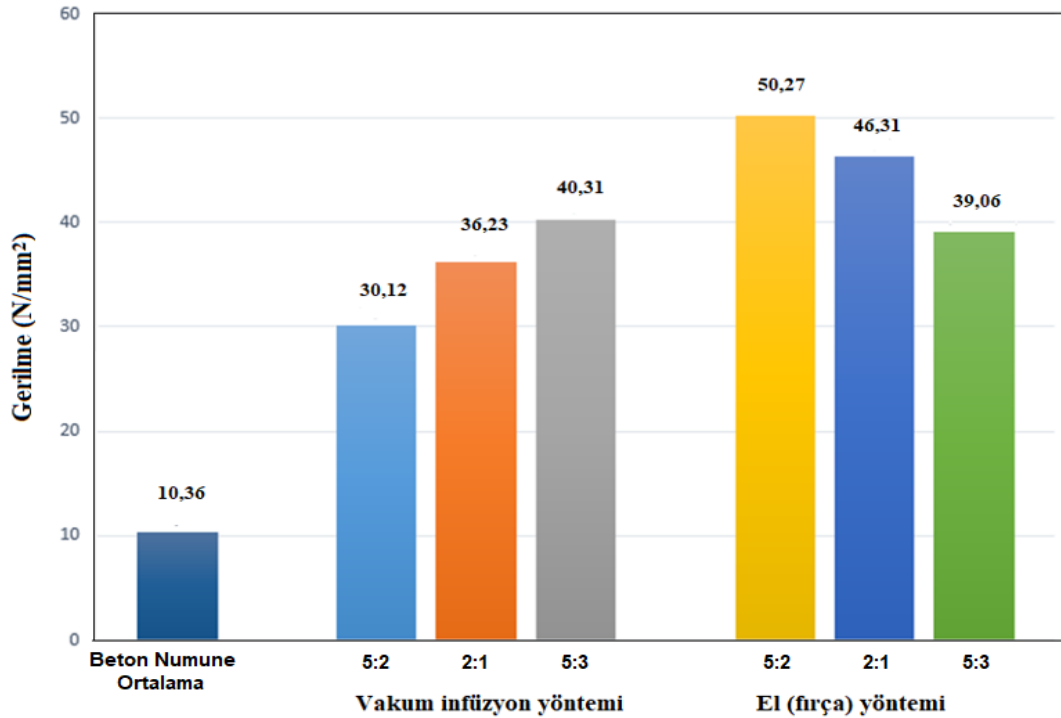
Kaplama yöntemi	Numune ismi	Basma mukavemeti (MPa)	Şekil değişimi (mm/mm)	Elastik modülü (GPa)
Kaplamasız	Beton Numune_1	12	0,0028	3,5
	Beton Numune_2	10,01	0,0025	2,8
	Beton Numune_3	9,07	0,0038	1,9
	Beton Numune Ort.	10,36	0,0030	2,73
El ile kaplama	5:2	50,27	0,0351	1,43
	2:1	46,31	0,0317	1,46
	5:3	39,06	0,0246	1,5
Vakum infüzyon ile kaplama	5:2	30,12	0,0154	1,95
	2:1	36,23	0,0282	1,28
	5:3	40,31	0,0328	1,22

Kaplama yöntemlerinde, en önemli parametrelerin difüzyon derinliği ve ara yüzey yapısı olduğu bilinmektedir. Söz konusu kaplama işleminin amaca uygun olarak çalışabilirliği beton yüzeyi ile nem gibi istenmeyen etkenlerin temasını kesmek ya da minimuma indirmektir. Vakum yöntemi ile el uygulama yöntemi karşılaştırıldığında bu etki en aza indirilmiştir. Yapılan çalışmalarda özellikle reçine kullanımı için difüzyon değişimi sıcaklıkla ve ortamdaki nem difüzyonu ile bağlantılıdır (Maggana & Pissis, 1999; Pérez vd., 1999). Polimerin difüzyonu da denklem 2’de belirtildiği gibi sıcaklık ve neme bağlıdır.

$$D = D_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (2)$$

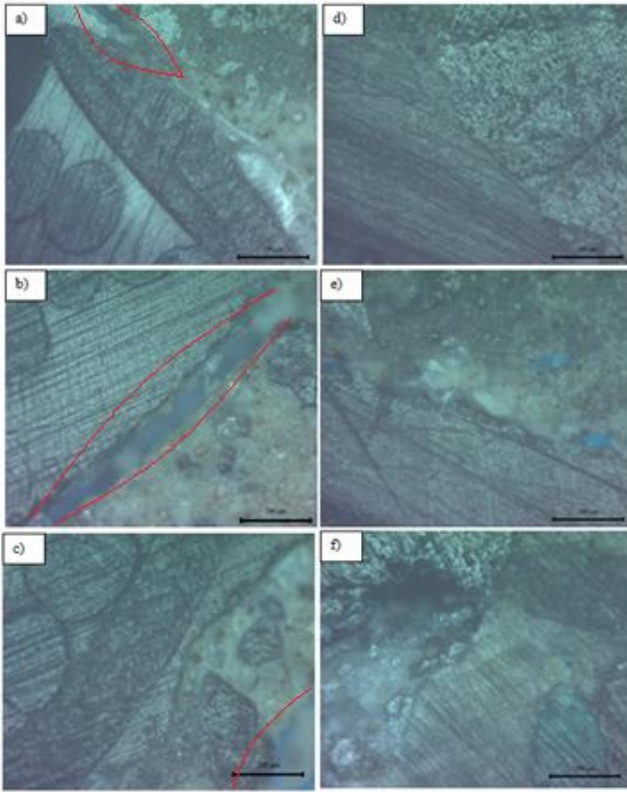
$D_0$ : mm<sup>2</sup>/s sabit,  $E_a$ : kcal/mol cinsinden aktivasyon enerjisi, R: gaz sabiti ve T: Sıcaklık (Fick, 1855). Bu polimerlerde başlangıç difüzyon değerleri ile ilerleyen zamanlardaki difüzyon değerleri aynı hızda olmadığı anlamına gelmektedir. Bunun temel sebebi polimerin kendi iç yapısından gelen zincir ve yönlenme özellikleridir. Gelecek çalışmalarda bu değişkenler üzerinde çalışarak vakum infüzyon yöntemi ile betonun mekanik özellikleri iyileştirilebilir.

Literatürde bulunan polimer emdirilmiş beton (Portland çimentosu betonunun daha sonra çapraz bağ yoğunluğu üzerinden katı polimere dönüştürülen bir monomer ile difüzyon edilmesine) ve polimer çimento betonu (beton karışımının çimento bağlayıcısının bir kısmı polimer ile değiştirilir) ürünler geleneksel betona göre daha yüksek dayanım ve düşük su geçirgenliğine sahip olduğu gösterilmiştir (Blaga, 1985). Bu çalışma kapsamında da beton yüzeyinin kaplanması yöntemi vakum altında uygulanarak açık gözeneklerin içerisinde yer alabilecek gazlar uzaklaştırılarak difüzyon performansı artırılarak betonun mekanik performansı iyileştirildiği düşünülmektedir.



**Şekil 9.** Tüm basınç dayanım deneylerinin karşılaştırılması  
**Figure 9.** Comparison of all compressive strength tests

Hazırlanan numunelerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 10 'da gösterilmiştir. Vakum infüzyon yöntemi (a) 5:2, (b) 2:1, (c) 5:3 reçine/katalizör oranı ve el ile kaplama yöntemi % (d) 5:2, (e) 2:1, (f) 5:3 reçine/katalizör oranı numunelerinin görüntüleridir. Görüntüler incelendiğinde basma test sonrası numunelerin yüzeye yakın kesitlerinde beton numunenin iç hacimlerinde reçine parçaları görülmektedir. Buna göre reçinenin vakum altında ilgili hacimsel boşluklara da difüze olduğu düşünülmektedir.



**Şekil 10.** Vakum infüzyon yöntemi (a) 5:2, (b) 2:1, (c) 5:3 reçine/katalizör oranı ve el ile kaplama yöntemi (d) 5:2, (e) 2:1, (f) 5:3 reçine/katalizör oranı ile elde edilen ürünlerin optik mikroskop görüntüleri

**Figure 10.** Vacuum infusion method (a) 5:2, (b) 2:1, (c) 5:3 resin/catalyst ratio and manual coating method obtained with (d) 5:2, (e) 2:1, (f) 5:3 resin/catalyst ratio optical microscope images of products

El ile ve vakum infüzyon tekniği karşılaştırıldığında reçinenin kurlenme performansının mekanik testlere farklı yansıdığı görülmektedir. Bu bağlamda öncelikle karbon elyaf dokumanın iflas eden betonun yığılmasını önleyerek sıkıştırılabilirliğini sürdürmesine katkıda bulunduğunu anlamak önemlidir. Bu dikkate alındığında vakum infüzyon tekniği sonrası beton/elyaf/reçine üçlününün tek bir malzeme gibi davrandığı ve kuvvet aktarımının sertleşen reçine üzerinden homojen bir şekilde ele alındığı düşünülmektedir. Ancak geleneksel yöntemde ise beton ile elyaf/reçine çiftinin iki ayrı malzeme gibi davrandığı düşünülmektedir. Dolayısıyla sertleşen reçinenin kırılma yapısının elyaf dokumayı daha fazla kararlı tutamadığı ve bu nedenle kurlaşmanın betonun mekanik davranışı üzerinde olumsuz etkiye sebep olduğu görülmektedir.

Her iki teknik sonrasında betonun mekanik özelliklerinin geliştirilebilirliği desteklenmiştir. Geleneksel yöntem hali hazırda uygulanan bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak kurlenmenin teknik üzerinde ki olumsuz etkileri dikkate alındığında geleneksel kaplamanın zaman içerisinde betonun mekanik özelliklerine devam eden kurlenme ve zamanla sertleşen reçine dolayısıyla olumsuz yansıtacağı düşünülebilir. Bu nedenle vakum infüzyon tekniğinin de tam tersine reçinenin zamanla kurlenmesi ve sertleşmesi ile daha da betonun niteliğini ve taşıma kapasitesini arttıracakları öngörülmektedir. Sonuçlara göre polimerle güçlendirilmiş betonların deprem bölgelerinde, köprü, okul ve diğer dayanım gerektiren yapılarda kullanılabilir olduğu gösterilmiştir

#### 4. Sonuç

##### 4. Conclusion

Bu çalışmada 5:2, 2:1, 5:3 epoksi/sertleştirici bileşimine sahip bir polimerik bağlayıcı el ile kaplama ve vakum infüzyon teknikleri üzerinden karbon elyaf sarılı beton yüzeylerine uygulanmıştır. Bu beton numunelerine uygulanan basınç dayanım testleri de kaplamasız betonlardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak kaplama malzemesi ve ara yüzey yapısının betonun taşıyıcılığı üzerinde ki etkiler incelenmiştir. El ile kaplama yönteminde reçine miktarı arttıkça mukavemet değerlerinde azalma görünürken vakum infüzyon tekniğinde tam tersi olarak reçine miktarı arttıkça mukavemet değerleri artmıştır. Tekrarlanan testler vakum infüzyon tekniği ile beklenildiği üzere ara yüzeyin güçlendirilmesine ve daha homojen, öngörülebilir bir mekanik davranış elde edilmesine katkı sağlandığını göstermiştir. Bu anlamda beton gibi Weibull Modülü kapsamında zayıf bir nitelik içeren malzeme vakum infüzyon sonrası daha gelişmiş bir mühendislik malzemesi karakteri göstererek statik hesaplamaları daha güvenilir kılmaktadır. Böylece deprem ve afet kapsamında önceden hesaplanabilir ve öngörülebilir hasar tespiti mümkün olabilecektir. Buna göre güçlendirmeler gerçekleştirilebilecektir.

Bu tip malzemelerin tercih edilme sebebi, genellikle yorulma davranışı gösteren otoyol ve köprü gibi üzerlerinde sürekli yük taşıyan yapıların uzun süreler boyunca dayanımlarını korumak, deprem esnasında betonun daha fazla plastik davranış sergilemesi ile felaketlerin önlenmesinin istenmesidir. Uygulanacak yöntem, sağlayacağı avantajlar göz önünde bulundurulduğunda vakum altında uygulanan kaplama işleminde dayanım değerleri boşluk oranlarının azaltılması ve atmosferin kontrollü olmasından dolayı avantajlıdır. Gelecek çalışmalarda bu vakum infüzyon yönteminin reçinenin süresiz elyaf yapılar ile harmanlanarak beton yüzeyine uygulanması ve böylelikle ara yüzeyin daha güçlendirilmesi ile çalışma kapsamının daha da iletilmesi istenmektedir.

### **Teşekkür**

#### *Acknowledgement*

Erciyes Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeler Birimi (BAP) (Proje no: FYL-2020-10477) tarafından desteklenmiştir.

### **Yazar katkısı**

#### *Author contribution*

Tüm yazarlar, literatür taraması, deneysel çalışmaların yürütülmesi, sonuçların yorumlanması, makalenin yazımı ve düzenlenmesinde görev almıştır.

### **Etik beyanı**

#### *Declaration of ethical code*

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

### **Çıkar çatışması beyanı**

#### *Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### **Kaynaklar**

#### *References*

- Agwa, M. A., Youssef, S. M., Ali-Eldin, S. S., & Megahed, M. (2022). Integrated vacuum assisted resin infusion and resin transfer molding technique for manufacturing of nano-filled glass fiber reinforced epoxy composite. *Journal of Industrial Textiles*, 51(3), 5113S-5144S. <https://doi.org/10.1177/1528083720932337>
- Almusallam, A. A., Khan, F. M., Dulaijan, S. U., & Al-Amoudi, O. S. B. (2003). Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability. *Cement and Concrete Composites*, 25(4-5 SPEC), 473-481. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00087-2](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00087-2)
- Baltazar, L., Santana, J., Lopes, B., Paula Rodrigues, M., & Correia, J. R. (2014). Surface skin protection of concrete with silicate-based impregnations: Influence of the substrate roughness and moisture. *Construction and Building Materials*, 70, 191-200. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.071>
- Berndt, M. L. (2011). Evaluation of coatings, mortars and mix design for protection of concrete against sulphur oxidising bacteria. *Construction and Building Materials*, 25(10), 3893-3902. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.014>
- Bertolini, L., Elsener, B., Pedferri, P., Polder, R. B. (2013). *Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, diagnosis repair*. Wiley, 414.
- Bin, X., Su, X., Feng, H., Xuefeng, L., Bo, W., Long, Y., Meijun, H., Hongjun, Y., N. Z. (2019). *Resin concrete anti-cracking structure and implement thereof*.
- Blaga a., B. J. J. (1985). Polymer Modified Concrete - NRC-IRC. In *Government of Canada, National Research Council Canada, Institute for Research in Construction*.

- C.M. Hansson, L. Mammoliti, and B. B. H. (1998). Corrosion Inhibitors in Concrete—Part I: The Principles. *Cement and Concrete Research*, 28(October), 1775–1781.
- Dang, Y., Xie, N., Kessel, A., McVey, E., Pace, A., & Shi, X. (2014). Accelerated laboratory evaluation of surface treatments for protecting concrete bridge decks from salt scaling. *Construction and Building Materials*, 55, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.014>
- Delucchi, M., Barbucci, A., & Cerisola, G. (1997). Study of the physico-chemical properties of organic coatings for concrete degradation control. *Construction and Building Materials*, 11(7–8), 365–371. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(97\)00060-3](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(97)00060-3)
- Diamanti, M. V., Brenna, A., Bolzoni, F., Berra, M., Pastore, T., & Ormellese, M. (2013). Effect of polymer modified cementitious coatings on water and chloride permeability in concrete. *Construction and Building Materials*, 49, 720–728. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.050>
- Doğangün, A. (2004). Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey. *Engineering Structures*, 26(6), 841–856. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2004.02.005>
- Drozdo, A. D., De, J., Gupta, R. K., & Shah, A. P. (2003). Model for anomalous moisture diffusion through a polymer-clay nanocomposite. *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, 41(5), 476–492. <https://doi.org/10.1002/polb.10393>
- Elalaoui, O., Ghorbel, E., Mignot, V., & Ben Oueddou, M. (2012). Mechanical and physical properties of epoxy polymer concrete after exposure to temperatures up to 250 °c. *Construction and Building Materials*, 27(1), 415–424. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.027>
- Fick, A. (1855). Ueber Diffusion. *Annalen Der Physik*, 170(1), 59–86. <https://doi.org/10.1002/ANDP.18551700105>
- Franzoni, E., Pigino, B., & Pistolesi, C. (2013). Ethyl silicate for surface protection of concrete: Performance in comparison with other inorganic surface treatments. *Cement and Concrete Composites*, 44, 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.05.008>
- Franzoni, E., Varum, H., Natali, M. E., Bignozzi, M. C., Melo, J., Rocha, L., & Pereira, E. (2014). Improvement of historic reinforced concrete/mortars by impregnation and electrochemical methods. *Cement and Concrete Composites*, 49, 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.12.013>
- Hinder, S. J., Lowe, C., Maxted, J. T., Perruchot, C., & Watts, J. F. (2005). Intercoat adhesion failure in a multilayer organic coating system: An X-ray photoelectron spectroscopy study. *Progress in Organic Coatings*, 54(1), 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2005.03.012>
- Ilki, A., Celeb, Z. (1997). Earthquakes, existing buildings and seismic design codes in turkey. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 37, 365–380.
- İşleyen, Ü. K., Ghoroubi, R., Mercimek, Ö., Anil, Ö., & Erdem, R. T. (2021). Behavior of glulam timber beam strengthened with carbon fiber reinforced polymer strip for flexural loading. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 40(17–18), 665–685. [https://doi.org/10.1177/0731684421997924/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177\\_0731684421997924-FIG13.JPEG](https://doi.org/10.1177/0731684421997924/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_0731684421997924-FIG13.JPEG)
- Kuru Mutlu, H. (2022). Applied research into muttalip clay in Eskişehir. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B - Teorik Bilimler*, 10(1), 27–34.
- Liu, J., & Vipulanandan, C. (2001). Evaluating a polymer concrete coating for protecting non-metallic underground facilities from sulfuric acid attack. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 16(4), 311–321. [https://doi.org/10.1016/S0886-7798\(01\)00053-0](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(01)00053-0)
- Maggana, C., & Pissis, P. (1999). Water sorption and diffusion studies in an epoxy resin system. *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, 37(11), 1165–1182. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0488\(19990601\)37:11<1165::AID-POLB11>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0488(19990601)37:11<1165::AID-POLB11>3.0.CO;2-E)
- Medeiros, M., & Helene, P. (2008). Efficacy of surface hydrophobic agents in reducing water and chloride ion penetration in concrete. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 41(1), 59–71. <https://doi.org/10.1617/s11527-006-9218-5>

- Mercimek, Ö., Ghoroubi, R., Baran, M., & Anil, Ö. (2022). Behaviour of steel beams retrofitted with anchored carbon-fibre-reinforced polymer strips. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings*, 175(7), 561–576. <https://doi.org/10.1680/JSTBU.19.00176>
- Neville, A. M. (1995). *Properties of concrete*. 4<sup>th</sup> Edition. Pitman Publishing Comp. Ltd., New York
- Pacheco-Torgal, F., Abdollahnejad, Z., Miraldo, S., Baklouti, S., & Ding, Y. (2012). An overview on the potential of geopolymers for concrete infrastructure rehabilitation. *Construction and Building Materials*, 36, 1053–1058. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.003>
- Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2009). Sulphuric acid resistance of plain, polymer modified, and fly ash cement concretes. *Construction and Building Materials*, 23(12), 3485–3491. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.08.001>
- Pan, X., Shi, Z., Shi, C., Ling, T. C., & Li, N. (2017). A review on concrete surface treatment Part I: Types and mechanisms. *Construction and Building Materials*, 132, 578–590. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.12.025>
- Pérez, C., Collazo, A., Izquierdo, M., Merino, P., & Nóvoa, X. R. (1999). Characterisation of the barrier properties of different paint systems. Part II. Non-ideal diffusion and water uptake kinetics. *Progress in Organic Coatings*, 37(3), 169–177. [https://doi.org/10.1016/S0300-9440\(99\)00073-9](https://doi.org/10.1016/S0300-9440(99)00073-9)
- Perrin, F. X., Merlatti, C., Aragon, E., & Margailan, A. (2009). Degradation study of polymer coating: Improvement in coating weatherability testing and coating failure prediction. *Progress in Organic Coatings*, 64(4), 466–473. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2008.08.015>
- Ramesh Singh. (2014). *Corrosion Control for Offshore Structures*. Gulf Professional Publishing, Boston.
- Shen, C.-H., & Springer, G. S. (1976). Moisture Absorption and Desorption of composite materials. *Journal of Composite Materials*, 10(February), 2–20.
- Soebbing, J. B., Skabo, R. R., Michel, H. E., Guthikonda, G., & Sharaf, A. H. (1996). Rehabilitating water and wastewater treatment plants. *Journal of Protective Coatings and Linings*, 13(5), 54–64.
- Türk Standardı TS EN 206-1, (2002). *Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk*.
- Türk Standardı 3289 EN 1354. (1996). *Gözenekli Beton-Hafif Agregal-Basınç Mukavemeti Tayini*.
- VanLandingham, M. R., Eduljee, R. F., & Gillespie, J. W. (1999). Moisture Diffusion in Epoxy Systems. *Journal of Applied Polymer Science*, 71(5), 787–798. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19990131\)71:5<787::AID-APP12>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19990131)71:5<787::AID-APP12>3.0.CO;2-A)
- Woo, L. S. (2002). *Rehabilitation of Concrete Structures with Composites by Vacuum Bag*.
- Yang, X. F., Tallman, D. E., Bierwagen, G. P., Croll, S. G., & Rohlik, S. (2002). Blistering and degradation of polyurethane coatings under different accelerated weathering tests. *Polymer Degradation and Stability*, 77(1), 103–109. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(02\)00085-X](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(02)00085-X)