

Ergun Ateş
Y.Doç.Dr.

Makine Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Balıkesir Üniversitesi
10145, Balıkesir

Epoksi ve Polyester Reçineli Polimer Betonda Granülometri ve Bağlayıcı Oranları Değişimiyle Eğilme Dayanımı Optimizasyonu

Polimer betonlar, farklı iki veya daha fazla malzemeden oluşmuş kompozit malzemelerdir. Dolgu malzemesi, reçine, sertleştirici, hızlandırıcı, matris yapıya takviye malzemeler bileşenlerdir. Bir tezgah için gövde veya herhangi bir uygulama alanına yapı elemanı olarak düşünüldüğünde, hedef doğrultusunda farklı bileşimler hazırlanır. Yapı çalışma etkilerine dayanabilmelidir. Ancak mekanik özelliklerde hedeflenen sonuçları verebilen kompozitler kullanılabilir. Gevrek malzemelerin eğilme deneyi sonucu, eğilme dayanımı değerleri hesaplanabilir, kesin mukavemet değerleri belirlenebilir. Çalışmada, standart çimento betonu granülometri eğrileri üzerinde tasarlanmış farklı agregada dağılımı ve bağlayıcı oranlarına göre eğilme dayanımı değişimi araştırılmıştır. Bağlayıcı olarak polyester ve epoksi reçine, dolgu malzemesi olarak kuvars kullanılmıştır. Eğilme dayanımının, granülometri dağılımı ve reçine oranlarıyla tiplerine bağlı olarak değiştiği belirlenmiş ve karışım optimizasyonunun yapılabileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Polimer matrisli kompozitler, mekanik özellikler, mekanik testler, termoset reçineler, eğilme dayanımı.

GİRİŞ

Portland çimento bağlayıcılı beton tüm dünyada bilinen ve oldukça geniş bir kullanıma sahip yapı malzemesidir. Genelde iyi basma dayanımına sahip olup düşük maliyetlidir. Fakat kötü eğilme, çekme dayanımı, yüksek porozite, uzun sertleşme süresi, büzülme, sünme, nem hassasiyeti, kimyasal v.b. aşındırıcılardan etkilenme olumsuz yönleridir. 1. Dünya Savaşı yıllarında metal malzemelerin teminindeki zorluklar nedeniyle, takım tezgah gövde imalatında dökme demir ve kaynak konstrüksiyon yerine çimento betonu önerilmiştir. Çimento betonunun termik stabilitesi metalik malzemelere göre oldukça yüksektir, fakat olumsuzlukları nedeniyle tezgah gövdesi olarak kullanımında bir gelişme olmamasına rağmen, yüksek kalitede birleşim arayışlarıyla çalışmalar sürmüştür [1,2,3].

Makine ve tezgah konstrüksiyonlarında geleneksel gövde malzemesi olarak kullanılan dökme demir ve çelik malzemeler geçerliliğini korumasına rağmen, çimento betonu sonrası 1970 li yıllara kadar tezgah gövdesi olarak kullanılabilen yeni malzeme arayışları devam etmiştir. Özellikle suni reçinelerdeki gelişmeler sonucu oluşturulan yeni beton terkipleri tezgah gövdeleri imalatı için de alternatif bir

malzeme olarak ortaya çıkmıştır. Epoksi reçineyle ilgili çalışmalar, epoksi reçineli polimer beton kompozitleriyle ilgili araştırmaların başlamasına neden olmuştur [4]. İnşaat mühendisliğinde portland çimentolu betonun dayanımı ve olumsuz yönlerindeki iyileştirmeler ve diğer yandan polimerlerdeki gelişmeler ve bunların beton teknolojisiyle birlikte kullanımıyla ilgili oldukça önemli ilerlemeler sağlanmıştır [5].

Betonda yeni gelişmeler, polimer (veya çimentolu) harçlar PMM ve betonlar (PMC), polimer harçlar (PM) ve betonlar (PC), polimer emdirilmiş harçlar (PIM) ve beton (PIC) tipleri tanımlanmıştır. Bu tiplerin geliştirme çalışmaları, uygulama alanları, üretimleri anlatılmış, endüstriyel uygulamaları ve standartları açıklanmıştır. Polimer betonun yapılarada onarım, yapı elemanı veya bir mimari bileşen olarak uygulanması gibi, yeni değişik uygulama arayışlarının da süreceği ifade edilmiştir [6,7,8,9,10]. Beton numunelerin imal yöntemleri, basma, eğilme ve çekme dayanımları için test metodları, polyester reçineli betonların çalışma ömürleriyle ilgili, Japon endüstri standardı JIS kapsamında çalışmalar yapılmıştır [11]. MMA (metil metakrilat) esaslı monomer ve bileşenlerin farklı oranlarıyla numuneler 38°C, 21°C ve -1°C sıcaklıklarda üretilmiştir. Bu

numunelerin farklı test ortamı sıcaklıklarındaki eğilme dayanımı, basma dayanımı elastisite modülü, kemikleşme süreleri incelenmiştir [12]. Polimer beton PC, polimer çimento betonu PCC ve polimer emdirilmiş betonlar PIC şeklinde sınıflandırma yapılarak, yapıları açıklanmıştır. Yapı malzemelerine olan yeni talepler ve gelişmeler patent çalışmalarının olduğu ülkelerdeki çalışmalar incelenmiştir. Mekanik özelliklerle ilgili olarak, epoksi ve polyester reçineli betonların dayanımlarıyla ön plana çıktığı belirtilmiştir [13].

Epoksi reçine ve granit agrega karışımı bir yapı ile dökme demir numuneler değişik yüklerle eğilmeye zorlanmış ve sehim değerleri incelenmiştir. Granit esaslı gövdenin dökme demire nazaran daha düşük eğilmeye gösterdiği belirlenmiştir [14]. Bir torna tezgahında, gövdedeki titreşim ve ses oluşumunun etkileri kaynak konstrüksiyon, çimento betonlu ve polimer beton yapılardan oluşturulmuş modeller üzerinde çalışılmıştır [15]. Talaşlı imalat tezgahlarında gövde elemanı olarak epoksi EP, metilmetakrilat MMA ve ürefoaldehyd UP reçineli polimer beton malzemeler, beton, kaynaklı yapı ve dökme demire göre kıyaslanmış [16], makine yapı elemanı olarak mekanik özellikleri için çalışmalar yapılmıştır [17]. Polimer betonlarda teknolojik gelişmeler [18], polimer betonun üretim teknolojisi ve polimer beton yapıları makineler üzerindeki çalışmalarla elde edilen sonuçları [19], polyester harçlarla ilgili basma ve eğilme dayanımı, elastisite, büzülme ve sülfürik asitle etkileşimleri incelenmiştir [20].

Polimer betonlarda, matris yapı, ince veya kaba taneli agrega tipleri, bağlayıcılar ve kalıp boşluğundaki dağılım, gevşek veya sıkı bir yapı oluşumu, karışım oranlarının optimizasyonu gibi çalışmalar yapılmıştır [21,22,23,24,25]. Reçine ve dolgu malzemeli polimer beton harçların hazırlanması, döküm numuneleri, basma dayanımı çalışması için standart teknikler verilmiştir [26]. Polimer beton, içeren polimerik bağlayıcı, agrega v.b. kompozit bileşenlerin değişken dağılımıyla, özellikleri yüksek oranda değiştirilebilir bir malzemedir. Polyester ve epoksi reçineli polimer betonlar için güvenilir, karışımlara uygun işlem değişiklikleriyle, optimizasyon için tahmini bir matematiksel model sunulmuştur [27].

Literatürden, özellikle yapı malzemeleri ve mekanik özellikleriyle ilgili yapılmış çalışmalara değinilmiştir. Farklı isteklere uygun birçok çalışma olduğu da görülmektedir. Uygulamalar kendilerine özgü birtakım şartların oluşumunu gerektirir. Bunlar ortam, etkiyen yükler, kullanımdaki istekler ve malzemeyle ilgili özellikler veya mekanik, fiziksel, kimyasal, optik, v.b. sıralanabilir. Kullanılacak bir malzemenin diğer bir uygulama alanındaki sonuçları farklı olabilir. Polimer betonun özellikleri, yapısındaki her bir bileşenin cinsi, şekli, miktarı,

üretim yöntemi farklılaştığında, büyük oranda değiştirilebilmektedir. O halde üretimi düşünülen elemanla ilgili tüm şartların ve pratikte karşılaşılabilecek değişikliklerin dikkate alınarak en uygun çözüm ile malzemenin hazırlanabilmesi önemlidir. Karışımı oluşturan her bir bileşenin kendisine has özellikleri, birleşim sonucu oluşmuş yapıda kısmen yansıtılmış olacaktır [28].

DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapıdaki dolgu malzemelerinin tane büyüklüğü dağılımının hazırlanmasında iki şekilde davranılabilir. Birincisi feret üçgeni olarak bilinen ve malzeme dağılımını üç gruba ayırarak ince, orta ve kaba şeklinde sınıflandıran yöntemdir. Bu sınıflandırmada değerlendirme, ilgili aralıkta birçok tane büyüklüğünü içerecek şekildedir. İkincisi ise, granülometrik birleşim tayini TS706 ile verilmiş agregaların tane büyüklüğü dağılımıdır. Bu durumda değişik tane büyüklüklerinin küçük aralıklarla gruplandırılmasıyla, daha iyi değerlendirme imkanı olabildiğinden, çalışma için tercih edilmiştir.

Standart çimento betonu granülometri eğrileri üzerinde, ideal bölgede ve etrafında, tasarlanmış ve çizilmiş ilave yeni eğrilerle, mevcut standart aralıkları daha da daraltacak şekilde, toplam yedi farklı agrega dağılım eğrisi belirlenmiştir. Bu dağılım dikkate alınarak, epoksi reçineli kompozit numunelerin eğilme dayanımı çalışma sonuçları açıklanmıştır [29].

Çalışmada reçine olarak polyester alınmıştır. Açıklanan tasarlanmış granülometrik dağılım eğrilerine göre farklı oranlardaki dolgu malzemesi ve bağlayıcı oranlarıyla, polyester reçineli polimer beton kompozit numuneler hazırlanmıştır. Yapı malzemesi eğilme dayanımları araştırılarak, epoksi ve polyester reçineli sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

POLİMER BETONDA MALZEME VE METOT

Polimer beton malzemelerde farklı birçok reçine kullanılmaktadır. Çalışmalarda epoksi ve polyester reçine kullanımı oldukça yoğundur. Bu nedenle çalışmada da epoksi reçine ve polyester reçine tercih edilmiştir. Epoksi reçine oda sıcaklığında sıvı halde bulunan ve sertleştirici ile katı halini alan iki bileşenli bir termosettir. Düşük vizkoziteleri nedeniyle iç gerilme ve çatlak oluşmaksızın düşük sıcaklıkta katılaşabilirler. Çalışmada, epoksi harçlar ve epoksi beton olarak ve diğer birçok uygulama alanına yönelik tipleri olan, epoksi reçine ve uygun sertleştirici kullanılmıştır¹. Yaklaşımımıza uyan, en iyi basma ve eğilme dayanımı vereceği düşünülen ve ayrıca pota ömrü de dikkate alınarak reçine

¹ Schering AG, Almanya.

“Europox730” ve sertleştirici “XE305S” seçilmiştir [30, 31, 32].

Polyester reçine, etilen veya propilen glikol gibi bir alkol ile maleik veya fumarik asit gibi bir asidin kondenzasyon polimeridir. Bir alkolün OH grupları ve bir asidin H atomu birbiri ile reaksiyon yapar ve su ayrışırsa asidin serbest valansları yardımıyla birleşen alkol artığı, ester oluşturur. Asit ve alkol doymuş ve iki işlevsel gruplu ise, termoplastik bir üründür ve doğrusal polyester elde edilir. İkisi de çift işlevsel gruplu fakat biri doymamışsa veya ikisi de doymuş fakat biri üç işlevsel gruba sahipse çok sayıda çift bağlı makro moleküller oluşur. Bu halde kuvvetli bir ağ yapısıyla termoset bir polimer oluşur. Sertleşmenin derecesi, hızı, hızlandırıcı yardımıyla kontrol edilir ve katalizör de kullanılabilir. Oda sıcaklığında katılaşabilen en ucuz reçinedir. Koku, büzülme, büyük hacimlerde yüksek egzotermik reaksiyon, önceden hassas şekil verme zorluğu, imalatı iç gerilme oluşumu ve epoksiye göre yapışma yeteneğinin düşük olması, dezavantajlarıdır. Çalışmada polyester reçine olarak, “Dyo Dewester doymamış polyester döküm tipi 511-0735, sertleştirici ve hızlandırıcı”² alınmıştır. Reçine ve sertleştiriciler için karakteristik özellikleri standartlarda verilmiştir. ASTM D1652-67 “epoksi reçine değeri”. DIN 16945 “amin değerleri”. DIN 51757 “yoğunluk tayini”. DIN 51758 “parlama noktası”. DIN 50014 “jelleşme zamanı”.

Katılaşma basınca gerek kalmadan oda sıcaklığında birkaç dakikadan birkaç saate kadar sürebilir. Belirli bir reçine için en uygun sertleştirici ve bunların karışım oranlarının bilinmesi polimerizasyonun tam olarak sağlanabilmesi için gereklidir. Çalışmalarda katkısız maksimum % 30 ‘a kadar reçine oranları verilmiştir. Dolgu malzemeleri ile reçinelerin yapışma özellikleri son derece önemlidir. Maliyetin düşürülmesi, sertlik, mukavemet, sıcaklık, ışığa dayanım, viskozite, kimyasal direnç, elektriksel direnç, iletkenlik v.b. özellikler iyileştirilebilir. Dolgu malzemesinin doğal, öğütülmüş veya sentetik olma halleri özellikleri etkilemektedir. Dolgu malzemesi çok temiz, kuru ve yeterli mukavemette olmalı, reçine ve sertleştiriciyle reaksiyon oluşturmamalıdır. Dolgu malzemesinin oranı maksimum ağırlığın % 90 ‘ına kadar alınabilir [33]. Polimer beton özellikleri tane dağılımından etkilendiğinden iyi bir granülometri ile yüksek dayanım sağlanabilir. Hava boşluğunu en aza indirmek ve sık bir yapı elde edebilmek için farklı agrega boyutları bir arada tutulmalıdır. Bunun için süreksiz granülometri de kullanılabilir.

Üretim esnasında hava kabarcıklarının çıkışı sağlanıp boşluksuz bir yapı oluşturulabilirse daha dayanımlı ürünler elde edilebilir. Dolayısıyla vibrasyon önemlidir. Kullanım rahatlığı nedeniyle

“masa tipi vibratör” kullanılmıştır. Şaseye rijit bağlı elektrik motoru milindeki dönüşün (600 dev/dak) eksantrik parça aracılığıyla, şaseye esnek bağlı masaya iletilmesiyle çalışmaktadır. Vibrasyon, dökümde epoksi için 30 dak. pota ömrüne göre jelleşme başlamadan önce 15 dakika süreyle uygulanmıştır. Polyester reçine için ise jelleşme zamanı 10 dak olup vibrasyon daha kısa sürelidir. İç gerilmelere dikkat ederek düşük sıcaklıkta katılaşırken kontrollü baskı kuvveti de oldukça önemlidir, fakat burada uygulanmamıştır.

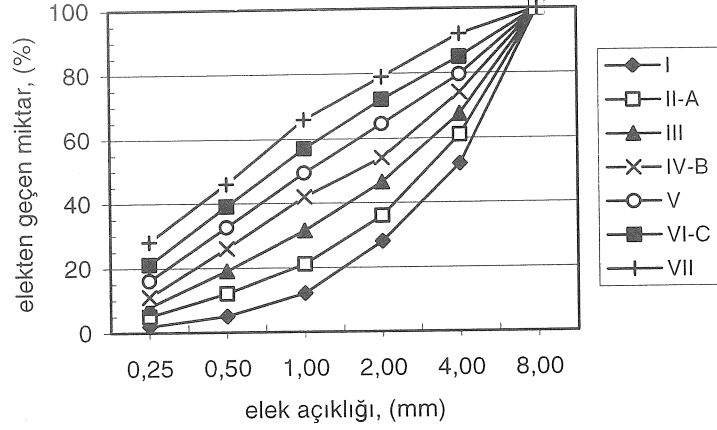
İncelemelerde genelde agrega olarak önerilen, özellikle epoksi reçineyle daha iyi yapışabilen ve dayanımı da oldukça iyi olan kuvars, çalışmamız için dolgu malzemesi olarak seçilmiştir [34]. Kuvars, elek analizi yapılmak üzere 12 mm tane büyüklüğüne kadar farklı gruplarda öğütülmüş halde alınmıştır³. Temin edilen agrega, yapılacak çalışma için belirlenen standart tane büyüklüklerinde grupların hazırlanabilmesi için gerekli olan deney elekleri takımı, elek analiziyle, tel kafesli kare göz açıklıklı elekler ve elek sarsma makinesi kullanılarak 0.25, 0.50, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0 mm tane büyüklüklerinde, TS1226, TS1227, TS130, TS706 standartlarına uygun olarak, gruplara ayrıldılar.

Şekil 1 ‘de, maksimum tane büyüklüğü 8.0 mm temel alınarak tasarlanmış I ‘den VII ‘ye karışık agrega granülometri eğrileri verilmiştir. Tablo 1 ‘de ise, granülometrik dağılım için belirlenen 7 grubun, elekten alta geçen dolgu malzemesi miktarları (%) olarak verilmiştir. Standart granülometri eğrilerinde, elek analizi yapılan numuneler tane dağılım oranları A ve B eğrileri arası agrega dağılımının çok iyi, A ve C eğrileri arasında ise kullanılabilir olarak tanımlanmaktadır [35]. Buradan, Şekil 1 ‘deki tasarımı eğrilerimizde ise II, IV ve VI nolu eğrilerimiz sırasıyla standart A, B, C eğrilerine, I ideal bölge altı, III ideal bölge arası, V kullanılabilir bölge arası ve VII ise kullanılabilir bölgenin üstü olarak çizilmişlerdir. Bu halde granülometrik dağılımda I den VII ye tüm bölgelerdeki farklı tane dağılımı ve reçine oranlarıyla birlikte üretimimiz kompozit malzeme için eğilme dayanımının değişimi incelenecektir.

Nemin alınması için 250°C etüv, 0.5 gr. hassasiyetli tartı, toz ve gaz maskeleri, uygun filtreler, saç toplama kapları, plastik tekneler, plastik ölçü kapları, tel fırça, kürek, mikser, mala, spatula, plastik eldivenler, çalışma elbiseleri, atıkları temizlemek için uygun çözücü kimyasallar gerekli ekipmanlardır. Çalışmada, ince ve kaba taneli kuvars dolgu malzemeleri etüvde değişmez ağırlığa ulaşınca kadar (TS130 ‘a uygun 110 ±5°C ‘da) bekletilerek, nemleri alındı.

² Dyo, Dilovası Mevkii, Gebze, Kocaeli.

³ Ak-İş Madencilik, Nazilli.



Şekil 1. Maksimum tane büyüklüğü 8.0 mm kuvars için, I`den VII`ye karışık agrega granülometri eğrileri.

Tablo 1. Granülometri dağılım için belirlenen yedi grubun, elekten alta geçen kuvars dolgu malzemesi miktarları (%).

elek no (mm)	gruplar						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
8	100	100	100	100	100	100	100
4	52	61	67.5	74	79.5	85	92
2	28	36	46.5	54	64.5	72	79
1	12	21	31.5	42	49.5	57	66
0.5	5	12	19	26	32.5	39	46
0.25	2	5	8	11	16	21	28

Eğilme deneyleri 3 nokta eğme şeklinde uygulanmıştır. Eğilme deney numune boyutu ve deney standardı, polimer beton ve uygulamaları için DIN51290-Bölüm3, TS3068, TSEN12390-5 dikkate alınarak, maksimum 8 mm taneli dolgu malzemeli, polyester reçineli kompozit için 40x40x160 mm olarak belirlenmiştir. Döküm aşamasında her parametre etkilidir. Dolayısıyla karışım harcının hazırlanmasında, tasarım yapımıza uygun ön çalışmalarda, bağlayıcının dolgu malzemesini herhangi bir katkı malzemesi kullanılmadan tam anlamıyla ıslatabildiği en küçük ve üzeri oranlar araştırıldı. Buradan polyester reçine için %14, %15, %16, %17, %18, %20, %22, %24, %26, %28, çalışma bağlayıcı oranları olarak belirlendi. Dolgu malzemesi kuvars ise bağlayıcı dışında kalan diğer bileşendir. Açıklanan % oranlar, çalışmada ağırlık olarak kullanılmıştır.

Reçine üreticisi, DIN1164`e uygun 0-0.2 mm ve 0.6-1.2 mm kuvars karışımıyla yaptığı dolgu malzemeli ve epoksi reçineli (%12-%17) çalışmasında, %14.3 oranıyla, en büyük eğilme

dayanımı değerini 30 N/mm^2 olarak vermiştir [32]. Epoksi reçine için %14.3, %18 ve %22 reçine oranları, açıklanmış çalışma ve katkısız ıslatılabilir denemeleri de dikkate alınarak, seçilmiştir. Epoksi reçineli çalışmada, "dönen eğilme gerilmeli yorulma deneyleri" hedeflenerek, $\text{Ø}40 \times 100$ mm boyutlu numunelerle kullanılmıştır. Ayrıca eğilme dayanımı için, aynı numuneye ankastre bağlı olduğu halde, kırılma gerçekleşinceye kadar sürekli artan yük uygulaması ile çalışılmıştır. Burada yapılmış epoksi reçineli çalışma sonuçları [29], polyester reçineli numune boyutu farklı olsa da, eğilme dayanımını daN/mm^2 olarak birim kesitteki yük ile kıyaslayabilme adına anlamlıdır. Bu sayede epoksi reçine ile burada çalıştığımız polyester reçine bağlayıcı arasındaki eğilme dayanımı değişimi için, değerlendirilebilecek veriler elde edebiliriz.

Çalışmamızda, plastik kestamit malzemeden imal kalıplar pratik ve çok daha iyi sonuçlar verdiğinden tercih edilmişlerdir. Kalıp ayırıcı, temiz yüzeyleri kaplayacak şekilde birkaç kez uygulandı. Kalıp yüzeyleri, uygulamadan 15~30 dakika bekledikten

sonra, parlatılarak kullanıma hazır hale getirildi. Kalıp ayırıcı malzemeler çözelti halde sıvı polivinilalkol PVA, polivaks SV-6, veya PVA bant uygulamaları olarak gereken yerlerde kullanılmıştır.

Deney numuneleri, açıklanmış bağlayıcı oranları ve granülometri dağılım gruplarındaki her bir nokta için, 3'er adet olmak üzere, polyester reçine için toplam 210 adet ve epoksi reçine için ise toplam 63 adet olarak hazırlanmıştır. Döküm sonrasında malzemenin kemikleşmesi 2 saatte tamamlanmasına rağmen 24 saat sonra kalıptan alınmışlar ve tüm numuneler basma deneylerine kadar toplam 21 gün oda sıcaklığında bekletilmişlerdir. Eğilme deneyleri "EL31-3275/01 ADR2000 Ele Int. Ltd. İngiltere, basma- eğilme" deney makinesinin eğilme test aparatı bölümü ile yapılmıştır.

SONUÇLAR

Epoksi ve polyester reçineli numunelerin eğilme deneyleri sonucu etkiyen yük "daN" ve gerilme değerleri N/mm^2 olarak verilmiştir. Reçine oranları ve granülometri dağılımına göre yükler tablo halinde, eğilme gerilme değerleri ise grafik halde sunulmuştur. Deney sonucu her bir nokta için elde edilmiş 3 eğilme yük değeriyle, eğilme gerilmeleri hesaplanmış ve bunların ortalamaları alınarak, standart sapmalarıyla birlikte, epoksi ve polyester reçineler için tablo olarak verilmiştir. Bu, yük değerlerindeki değişik dağılımın standart sapma olarak eğilme gerilmesine etkisini görme açısından yararlıdır.

Epoksi Reçine

Tablo 2 'de, epoksi reçine oranları ve granülometri dağılım gruplarına göre hazırlanmış numunelerin eğilme yük değerleri verilmiştir [29]. Tablo 3 'de, epoksi reçine oranları ile granülometri dağılım gruplarına göre ortalama eğilme gerilmesi (N/mm^2) ve standart sapma değerleri verilmiştir. Şekil 2 'de ise tüm numunelerin epoksi reçine oranları ve granülometri dağılım gruplarına göre, eğilme gerilmesi değişimleri grafik olarak verilmiştir [29].

Tablo 2 'de, her bir epoksi reçine oranı dikkate alınarak I 'den VII 'ye gruplara göre yükler incelendiğinde, A-C arası düşük reçine oranlarında yükselen ve düşen değerler görülürken, reçine miktarı artışı ile eğriler yataya yakın bir oluşum gösterecek şekilde gelişmiştir. Her bir grup kendi içerisinde artan reçine oranlarına göre incelendiğinde, artan reçine oranlarıyla yük değerleri artmıştır. Çalışmada artan reçine oranlarıyla, artan yük değerleri elde edilememiştir. Reçine oranı % 22 burada dönüş noktası olmuştur. Dolayısıyla düşük dayanım değerleri verdiği için, bu oranın üzerindeki oranlarda çalışılmamıştır.

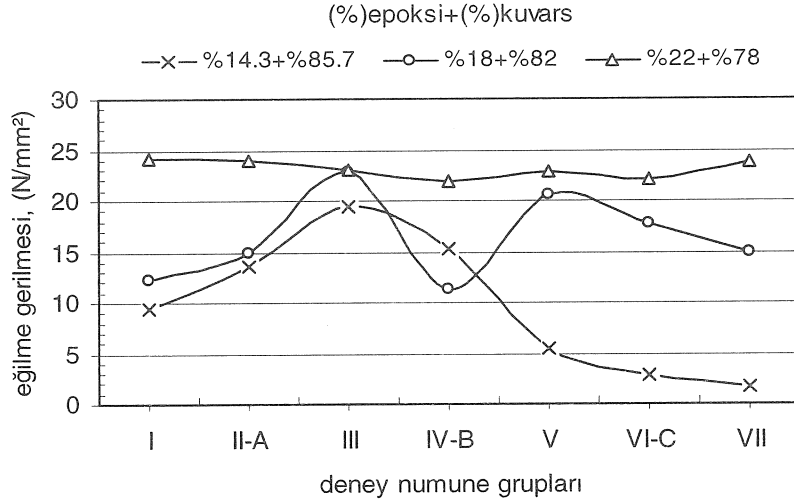
Tablo 3 'de, epoksi reçine için eğilme gerilmeleri ortalaması ve standart sapma değerleri verilmiştir. Eğilme gerilmesi dağılımı, test numune boyutları aynı olduğundan, yük değerlerinin dağılımıyla benzer eğilimdedir. Tüm noktalarda reçine oranları veya gruplar dikkate alınarak standart sapma değerleri 0.23-4.17 arası artan veya azalan şekilde değişim gözlenmektedir.

Tablo 2. Epoksi reçine bağlayıcı (%) + kuvars dolgu malzeme (%) ve I 'den VII 'ye granülometri dağılım gruplarına göre eğilme yük değerleri (daN) [29].

(%epoksi+(%)kuvars	gruplar						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
%14.3 + %85.7	68	90	120	95	37	22	12
	60	90	140	95	37	17	9
	55	80	115	102	32	16	10
%18 + %82	81	87	134	81	121	114	81
	76	87	128	81	128	127	106
	77	113	177	56	145	101	101
%22 + %78	157	150	157	135	120	160	160
	150	157	155	138	157	123	130
	157	155	130	147	160	140	165

Tablo 3. Epoksi reçine bağlayıcı (%) + kuvars dolgu malzeme (%) ile I`den VII`ye granülometri dağılım gruplarına göre ortalama eğilme gerilmesi (N/mm²) ve standart sapma değerleri.

(%epoksi+(%)kuvars	gruplar						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
%14.3 + %85.7	9.52	13.53	19.52	15.20	5.52	2.86	1.61
	1.02	0.90	2.07	0.63	0.45	0.50	0.24
%18 + %82	12.18	14.94	22.85	11.35	20.51	17.80	14.99
	0.41	2.34	4.17	2.25	1.93	2.03	2.07
%22 + %78	24.15	24.04	23.00	21.86	22.74	22.01	23.68
	0.63	0.56	2.35	0.97	3.48	2.89	2.96



Şekil 2. Epoksi reçine (%) + kuvars dolgu malzemesi (%) ile üretilmiş tüm numuneler ve I`dan VII`ye granülometri dağılım gruplarına göre eğilme gerilmesi değişimleri [29].

Büyük standart sapmalar grup I %14.3`de 1.02, grup II %18`de 2.34, grup III %18`de 4.17, grup IV %18`de 2.25, grup V %22`de 3.48, grup VI %22`de 2.89 ve grup VII %22`de 2.96 değerlerini almışlardır.

Şekil 2`den, epoksi reçine oranı %22 eğrisinde, eğilme gerilmesi en büyük değerleri grup I ile 24.15 N/mm², grup II-A ile 24.04 N/mm² ve grup VII ile 23.68 N/mm² olmuştur. Tüm eğri, 21.86-24.15 N/mm² değerleriyle dar bir bölgede neredeyse yatay bir seyir izlemektedir. Diğerleri ise III, V, VI-C, IV-B, şeklinde sıralanmıştır. Reçine oranı %18 eğrisinde, büyük değerler grup III ile 22.85 N/mm², grup V ile 20.51 N/mm² ve grup VI-C ile 17.80 N/mm² olmuştur. Diğerleri ise VII, II-A, I ve IV-B ile sıralıdır. Reçine oranı %14.3 eğrisinde, büyük değerler grup III ile 19.52 N/mm², IV-B ile 15.20 N/mm² ve II-A ile 13.53 N/mm² olmuştur. Diğerleri, I, V, VI-C ve VII ile sıralıdır. Granülometri dağılımını veren eğrilerde A-B ve B-C eğrileri arası kullanılabilir diyebiliriz.

Polyester reçine

Tablo 4`de, polyester reçine oranları ve granülometri dağılım gruplarına göre hazırlanmış numunelerin eğilme yük değerleri verilmiştir. Tablo 5`de, polyester reçine oranları ile granülometri dağılım gruplarına göre ortalama eğilme gerilmesi (N/mm²) ve standart sapma değerleri verilmiştir. Şekil 3`de ise tüm numunelerin polyester reçine oranları ve granülometri dağılım gruplarına göre eğilme gerilmesi değişimleri verilmiştir. Şekil 3`de özellikle eğilme gerilmesinin 19-21 N/mm² arasında yoğun toplandığı bölgeden, eğrilerin eğilimini daha net görebilmek amacıyla buraya odaklı grafiği de, şekil 4 ile verilmiştir.

Tablo 4`de, her bir reçine oranında I`den VII`ye gruplar incelendiğinde düşük reçine oranlarında A-B arası, B ve B-C arası eğrilerinde yükselen eğilme dayanımı değerleri elde edilmiştir. Yükselen reçine oranlarında ise durum B-C eğrisi ve C eğrisi üzeri olarak gerçekleşmiştir. Reçine oranının artışının devamı artan yük değerleri vermemiştir.

Çalışmada bu açıdan % 22 bir dönüş noktası olarak gözükmektedir. Her bir grup, artan reçine oranlarına göre incelendiğinde, A-C arası bir yükselme olduğunu, ayrıca ince dolgu malzemesinin yoğun olduğu yapılarda özellikle dönüş noktası etrafında yüksek reçine oranlarında yine yüksek eğilme dayanımı değerleri verdiği gözlenmiştir.

Tablo 5 'de, polyester reçine için eğilme gerilmeleri ortalaması ve standart sapma değerleri verilmiştir. Eğilme gerilmesi dağılımı, test numune boyutları aynı olduğundan, yük değerlerinin dağılımıyla benzer eğilimdedir. Tüm noktalarda reçine oranları veya gruplar dikkate alınarak standart sapma değerleri 0.11-12.03 arası artan veya azalan şekilde değişim gözlenmektedir. Büyük standart sapmalar grup I %26 'da 2.10, grup II % 24 'de 2.76, grup III %15 'de 5.36, grup IV %16 'da 3.02, grup V %22 'de 12.03, grup VI %22 'de 3.14 ve grup VII %22 'de 9.41 değerlerini almışlardır.

Şekil 3 'den, polyester reçineli grup I için dağılım %24 (16.66 N/mm²), %28, %26, %22 (15.91 N/mm²) aralığında bir gruplaşma ve %20 (12.67 N/mm²), %16, %18, %17, %15, %14 (5.31 N/mm²) ile ikinci gruplaşma ile daha da azalan değerlerdedir. II-A grup için dağılım, %24 (20.28 N/mm²), %20, %28, %15, %26, %22, %16, %17, %18 (15.96 N/mm²), %14 (9.23 N/mm²) ile sıralanmıştır. Burada %14 diğerlerinden daha da uzak ve en az değerdedir.

II-A 'dan VI-C 'ye, tüm reçine oranlarını içeren, yani granülometri dağılım eğrileri arası ideal ve kullanılabilir olarak tanımlanmış bölümdür. Grup III 'de eğriler, %24 (23.33 N/mm²), %26, %16, %17, %22, %15, %28, %20, %18, %14 (17.60 N/mm²) olarak sıralanmıştır. Grup IV-B 'de eğriler, %24 (24.49 N/mm²), %26, %28, %16, %17, %20, %15, %22, %14, %18 (18.22 N/mm²) ile sıralıdır. Grup V 'de %22 (31.7 N/mm²) ve %24 (29.42 N/mm²) eğrileri oldukça yüksek değerlerle ve devamında %26 (23.81 N/mm²), %16, %28, %17, %15, %14, %18, %20 (19.674 N/mm²) şeklinde sıralandı. Grup VI-C 'de ise %24 (27.86 N/mm²), %26 (27.66 N/mm²), %28 (25.56 N/mm²) yüksek değerleriyle ve devamında %18 (24.66 N/mm²), %22, %16, %20, %17, %15 (18.81 N/mm²) ve çok azalan %14 (9.60 N/mm²) ile sıralandı.

A-C eğrileri dışında kalan VII no 'lu grup %22 reçine oranıyla (33.1 N/mm² eğilme dayanımıyla) en büyük eğilme dayanımını verdi, devamında yine oldukça yüksek değerlerle %24 (27.55 N/mm²), %26 (26.17 N/mm²), %28 (25.91 N/mm²) ile sıralanmışlardır. Takip eden eğriler %17 (25.58 N/mm²), %16 (24.34 N/mm²), %18 (24.24 N/mm²), %20 (24.01 N/mm²) ile yine yüksek değerlerdedir ve

bunlardan daha düşük değerler vermiş olan %15 (13.31 N/mm²) ve %14 (12.21 N/mm²) olarak gelişmiştir.

Şekil 4 'de, polyester reçineli yapı için 19-21 N/mm² eğilme gerilmesi değerlerinde, tüm eğriler A-C arasında toplanmıştır. Gruplara göre dağılımda eğriler bu aralıkta, yükselip alçalmaktadır. A-C dışındaki alanlarda gruplar bir değer almamıştır.

TARTIŞMA

Epoksi reçineli çalışmada, reçine oranı %22, grup I ile en büyük eğilme dayanımı değeri elde edilmiştir. Bu yapı, "iri tanelerin çok-ince tanelerin az olduğu" bir dağılımla oluşmuştur. Reçine oranındaki artışta belirli bir değer üzerinde, çimento betonu granülometri dağılımı eğrilerine göre uygun olmayan A-C dışındaki noktalarda da, bu şekilde yüksek dayanım değerleri alınabildiği gözlenmiştir. Fakat bu artış sürekli devam etmemektedir ve genelde (azalan değerlere doğru) bir dönüş noktasına karşılık geldiği ifade edilebilir. Reçine oranı %18, grup III granülometri dağılımı, çimento betonu için uygun olan A-B arası bölgededir. Yapıda, "iri taneler-ince taneler" dağılımı, (grup I 'e göre) daha düzenlidir. Aynı zamanda daha az reçine kullanımı ve (%22 reçine oranı ve grup I 'e göre) az bir eğilme dayanımı ekşiğiyle, büyük eğilme dayanımı değeri vermiştir. Benzer şekilde %18 reçine oranı, grup V granülometri dağılımı, uygun olan B-C arasındadır. Ürünü oluşturan bileşenlerde, maliyeti yüksek olan reçine, sertleştirici ve hızlandırıcı olup maliyeti düşük olan kuvars dolgu malzemesidir. Çalışmada bir mali analiz yapılmamıştır fakat maliyeti az olan ürün bileşeninin fazla miktarda kullanılması ürün maliyetini azaltacaktır. Özellikle epoksi reçine, sertleştirici ve hızlandırıcı gibi maliyeti yüksek malzeme kullanımında, bu durum daha da önemlidir. Dolayısıyla, eğilme dayanımı, granülometri dağılımı ve reçine oranı avantajları ile "grup III-%18" 'inde, epoksi reçineli kompozit yapı için dikkate değer olduğu söylenebilir.

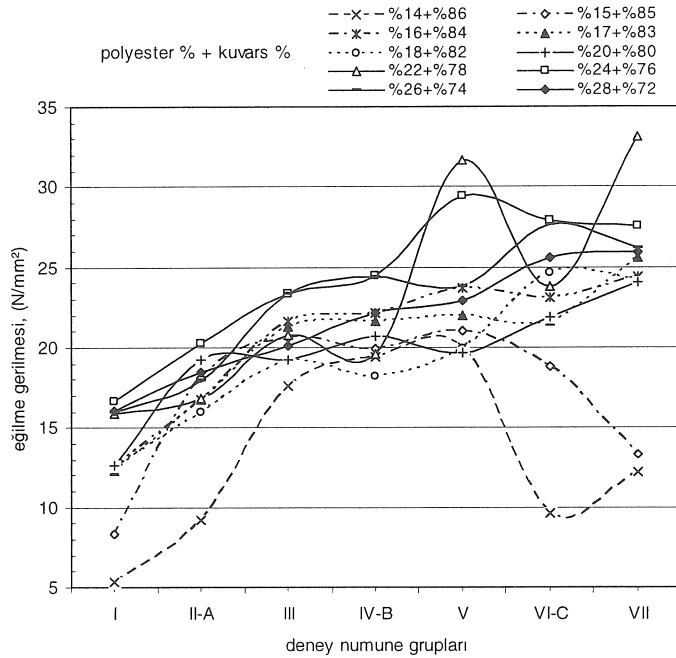
Polyester reçineli çalışmada, yüksek reçine oranlarında gruplara göre dağılımda, yapı içerisinde reçinenin dolgu malzemelerini tamamen sardığı ve uygulanmış olan vibrasyon etkisiyle de neredeyse boşluksuz bir yapı oluştuğu söylenebilir. Eğri dağılımlarında küçük düşüşler olsa da, "iri taneli dolgu malzemelerinin yoğun-ince tanelerin az olduğu" yapı grupları dışında, diğer tüm alanlarda yüksek eğilme dayanımları belirlenmiştir.

Tablo 4. Polyester reçine bağlayıcı (%) + kuvars dolgu malzeme (%) ve I 'den VII 'ye granülometri dağılım gruplarına göre eğilme yük değerleri (daN).

(%)polyester+(%)kuvars	gruplar						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
%14+%86	212	330	600	674	648	352	466
	206	302	598	712	792	344	438
	160	372	716	726	732	348	424
%15+%85	254	664	766	776	842	800	350
	358	704	644	702	620	632	556
	292	602	828	690	826	614	542
%16+%84	458	654	864	686	878	862	888
	494	594	790	816	848	812	916
	422	576	698	904	846	838	844
%17+%83	448	578	772	842	788	738	916
	416	604	728	748	862	860	910
	468	640	818	758	736	750	956
%18+%82	436	524	718	686	708	864	952
	462	670	706	722	702	858	826
	464	542	656	574	760	960	858
%20+%80	466	680	663	692	628	740	892
	418	705	708	826	738	800	894
	494	705	724	734	774	840	826
%22+%78	656	634	674	732	838	994	1012
	564	600	808	728	1648	794	1594
	510	600	778	672	962	800	994
%24+%76	554	646	822	874	1026	1052	808
	598	716	782	924	1070	1012	1124
	660	844	934	866	1104	966	1064
%26+%74	666	708	904	814	848	1014	954
	534	580	854	910	738	1012	930
	534	668	778	930	1004	982	962
%28+%72	616	698	716	872	896	900	910
	512	660	684	826	784	850	1006
	622	646	784	712	810	1030	902

Tablo 5. Polyester reçine bağlayıcı (%) + kuvars dolgu malzeme (%) ile I 'den VII 'ye granülometri dağılım gruplarına göre ortalama eğilme gerilmesi (N/mm²) ve standart sapma değerleri.

(%polyester+%)kuvars	gruplar						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
%14+%86	5.31	9.23	17.60	19.42	19.97	9.60	12.21
	0.78	0.97	1.86	0.74	1.99	0.11	0.59
%15+%85	8.31	18.11	20.58	19.93	21.04	18.81	13.31
	1.45	1.42	5.36	1.28	3.41	2.83	8.37
%16+%84	12.63	16.77	21.62	22.12	23.65	23.10	24.34
	0.99	1.12	2.29	3.02	0.49	0.69	1.00
%17+%83	12.25	16.75	21.31	21.59	21.94	21.59	25.58
	0.72	0.86	1.24	1.42	1.75	1.85	0.69
%18+%82	12.52	15.96	19.12	18.22	19.95	24.66	24.24
	0.43	2.20	0.91	2.13	0.88	1.58	1.81
%20+%80	12.67	19.22	19.26	20.70	19.68	21.88	24.01
	1.06	0.40	0.87	1.89	2.10	1.39	1.07
%22+%78	15.91	16.86	20.78	19.60	31.70	23.79	33.10
	2.04	0.54	1.94	0.92	12.03	3.14	9.41
%24+%76	16.66	20.28	23.33	24.49	29.42	27.86	27.54
	1.47	2.77	2.17	0.87	1.08	1.19	4.63
%26+%74	15.94	17.98	23.32	24.4	23.81	27.66	26.17
	2.10	1.81	1.75	1.71	3.69	0.49	0.46
%28+%72	16.09	18.42	20.08	22.16	22.89	25.56	25.91
	1.71	0.74	1.41	2.27	1.62	2.56	1.60

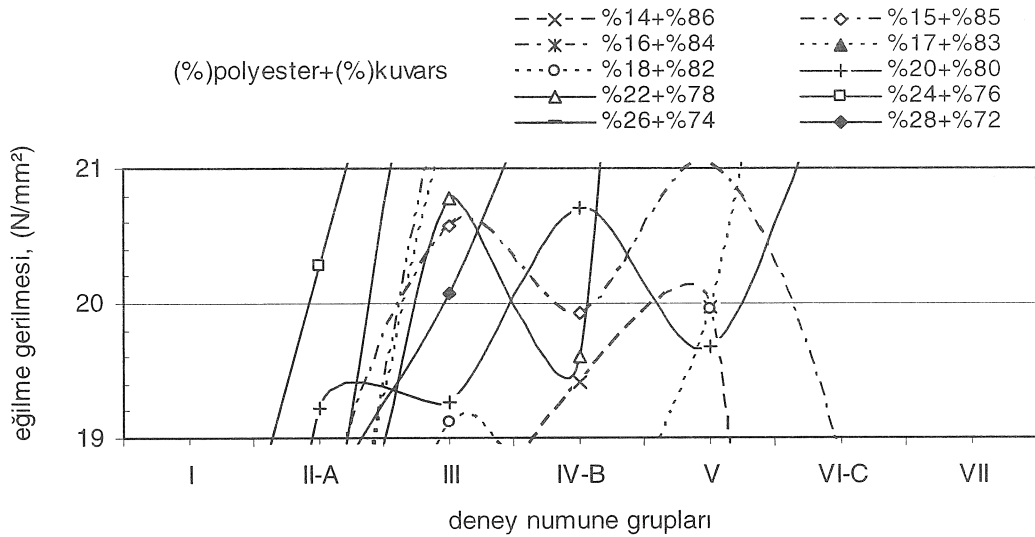


Şekil 3. Polyester reçine bağlayıcı (%) + kuvars dolgu malzemesi (%) ile üretilmiş tüm numuneler ve I 'den VII 'ye granülometri dağılım gruplarına göre eğilme gerilmesi değişimleri.

Fakat dayanım dolgu malzemesiyle de ilgilidir, dolayısıyla belirli bir değerin altına düşen dolgu malzemesi miktarı, dayanımı azaltacaktır. Bu nedenle, çalışmada uygulanmış üretimle elde edilmiş numunelerde en büyük değerin alındığı % 22 'den büyük ve küçük reçine oranlı yapıların eğilme dayanımlarının, düşüş gösterdiği söylenebilir. Granülometri dağılım eğrileri dışında kalan bölgelerde, düşük polyester reçine oranlı çalışmalarda da, çimento betonunda olduğu gibi, yeterli eğilme dayanımı vermediği görüldü. Granülometri eğrilerinin A-C aralığında kullanılabilmesi, yükselen reçine oranlarında ise bazı bileşimlerde çok daha iyi değerler verebileceği belirlendi. Grup VII-%22 en büyük eğilme dayanımı değerini verse de, grup V-%22'nin daha uygun granülometri dağılımı nedeniyle, polyester reçineli kompozit çalışma için uygun bir bileşim olduğu ifade edilebilir.

Eğilme gerilmesi, polyester reçineli yapıda 19-21 N/mm² değerleri arasında, şekil 4 'de, gruplardan III ve V yükselen bir eğilimdedir. Grup IV-B ise %20 reçine oranı dışında tüm reçine oranları için düşüş eğilimindedir ve yapıdaki farklı bileşenlerin dağılımının etkisi nedeniyle olduğu düşünülmektedir. A 'dan C 'ye, çimento betonu granülometri dağılımı için ideal ve kabul edilebilir dağılım gruplarının yer aldığı alandır. Bunun dışındaki alanlarda grupların bir değer almamış olması nedeniyle, polimer kompozitleri içinde bu granülometri dağılımının uygun olduğu söylenebilir.

Eğilme dayanımının, granülometri dağılımı ve reçine oranlarıyla tiplerine bağlı olarak değiştiği gözlenmektedir. Epoksi ve polyester reçineli numunelerin eğilme dayanımları eğrilerinden ortak görülen, bazı yükselme ve düşüşlerin



Şekil 4. Polyester reçine ve kuvars dolgu malzemesi numunelerin, granülometri dağılım gruplarına göre (19-21 N/mm² arası) eğilme gerilmesi değişimleri.

olduğudur. Buna neden olarak, dolgu malzemesi tane büyüklüğü dağılımının, bazı durumlarda dayanımı daha az, bazen çok etkileyen bir bileşim oluşturması veya farklı parametreler etkisiyle homojen olmayan bir yapı oluşumu nedeniyle olduğu da söylenebilir. Bu nedenle çalışma şartlarına uygun bir yapının elde edilmesi, polimer betonun özelliklerini etkileyen parametrelerin analizlerinin yapılmasını gerektirir. Bu çalışma, bu tür analizlere yol göstermesi açısından yararlı olabilir.

Epoksi ve polyester reçineli eğilme yük değerleri oldukça farklıyken, eğilme gerilmelerinin benzer değerlerde elde edildiği görülmektedir. Bu durumun, numune boyutlarının farklı olması ve ölçülen yükten

gerilme değeri hesaplanmasında, farklı kesitlerin dikkate alınması nedeniyle olduğu söylenebilir.

Epoksi ve polyester reçineli çalışmada, standart normal dağılım eğrisi altındaki alanda meydana gelme olasılığı, %95.5 altında gerçekleşmiştir. Epoksi ve polyester reçinenin büyük standart sapma değerleri 4.17 ve 12.03 için %87.29 olarak oluşmuştur. Standart sapma değerlerinin elde edildiği her bir noktadaki numunelerin yapıları, bir diğerinden farklıdır. Bu yüzden ilgili yerdeki eğilme gerilme ortalamaları ve standart sapmaları olarak verilmişlerdir.

Araştırmalar eğilme dayanımının, maksimum dolgu oranlarında kullanılan reçine tipine de bağlı

olarak değiştiğini, karışımlara ıslatabilme özelliğini arttıran katkı maddeleri ilave edilmesiyle, dolgu malzemesi oranının artabileceğini göstermektedir. Çalışmada bu tür katkı maddeleri kullanılmamıştır. Dolayısıyla bu, eğrilerin dışuk veya çok reçine oranlarında, benzer şekilde dayanımlarının dışuk elde edilmesinin nedeni olarak da gösterilebilir. Ayrıca üretimde baskı kuvveti de dayanımı arttıracaktır. Dolayısıyla, kullanılmamış katkı maddelerinin ilave edilmesi ve uygulanmamış baskı kuvvetlerinin uygulamasıyla, bu çalışmada elde edilmiş değerlerden daha yüksek eğilme dayanımı değerlerinin alınabileceği söylenebilir.

Yapılabilecek çalışmalara öneri olarak, süreksiz granülometri halinde veya belirli tane büyüklüğü için çalışılabilir. Dolgu malzemesi ve elik veya farklı herhangi bir malzemeyle hazırlanmış donatılı bir kompozit oluşumu değerlendirilebilir. Elde edilmiş kompozit yapının aşınma özellikleri araştırılabilir. Mevcut yapıların ısı etkisinde dayanımları çalışılabilir. Farklı yükleme hızlarındaki dayanımları araştırılabilir. Dayanımı etkileyen faktörlerin birbirleriyle etkileşimi olup olmadığı incelenebilir. Sre uzatıcı malzemeler, yapışma yükselticiler, boya maddeleri, fiber, lif vb. takviyeler, farklı reçine, dolgu malzemesi, hızlandırıcı ve sertleştiricileri gibi farklı parametrelerle çalışılabilir.

THE FLEXURAL STRENGTH OPTIMIZATION IN EPOXY AND POLYESTER RESIN POLYMER CONCRETE ACCORDING TO DIFFERENT GRANULOMETER AND BINDER RATIO

Polymer concretes are composite materials made of two or more different materials. Component structures are filler, binder, hardener, accelerator and reinforcements. Different compounds are prepared according to the aim, when thought as body for a bench or as a structural element in any applied area. The structure has to be durable to work forces. Only the composites which give the targeted results in mechanical properties can be used in applications. As a result of the experimentation of flexural strength on brittle materials, the evaluation of flexural strength can be measured, and the precise strength evaluation can be identified. In this study, change in flexural strength according to different agreg distribution and binder ratio designed on standard cement concrete granulometric curves is researched. Epoxy and polyester resin are used as binders and quartz is used as filler material. It is identified that flexural strength changes according to granulometric distribution and resin rations and types. And it is seen that suitable mix optimization is possible reach targeted durability.

Keywords: Polymer-matrix composites, mechanical properties, mechanical testing, termosetting resin, flexural strength.

KAYNAKLAR

1. Popovics S., Concrete making materials, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, McGraw-Hill Book Co., 1979.
2. Nicklau R.G., Werkzeugemaschinengestelle aus methacrylatharzbeton, Fortschr. Ber., VDI Reihe 2, VDI Verlag, Dusseldorf, 1985, n. 94.
3. Schulz H., Reaktionsharzbeton im werkzeugmaschinenbau industrie anzeiger, n. 21, v. 14, 1986, p. 41-42.
4. Krause J., Reaktionsharzbeton als werkstoff fr hochbeanspruchte maschinenteile, Darmstadt, München, Wien, Hanser, 1987.
5. Kreis R., Polymer concrete-a progressive building material, Int. Polym. Sci. Tech., 18, 1991, p. 69-74.
6. ACI Committee 548, Guide for polymer concrete overlays-ACI 548.5R., American Concrete Institute, Detroit, 1998, p.1-26.
7. ACI Committee 548, Polymer concrete-structural applications state-of the art report-ACI 548.6R., American Concrete Institute, Detroit, 1996, p.1-23.
8. Fowler D.W., Polymers in concrete-a vision for the 21st century. Cement & Concrete Composites 21, 1999, p. 449-452.
9. Muszynski L.C., Polymer concrete. Encyclopedia of polymer science and engineering, Wiley, v. 12, New York, 1998, p. 462-470.
10. Ohama Y., Recent progress in concrete polymer composites. Cement & Concrete Composites, 5, 1997, p. 31-40.
11. Ohama Y., Polymer beton in Japan, Recent development of polymer concrete in Japan, Stand der entwicklung, College of Engineering, Nihon University, Koriyama, Japan, 1982.
12. Haddad M. U., Fowler D. W.; Paul D. R., Factors affecting the curing and strength of polymer concrete, ACI Journal, Technical paper, Title Nu. 80-38, Sep.-Oct. 1983, p. 396-462.
13. Czarnecki L., The status of polymer concrete, Concrete international design and construction, v. 7, n. 7, July 1985, p. 47-53.
14. Cranfield Moulded Structures, Designing machines in granite composites, Engineering Materials and Design, v. 31, n. 6, June 1987, p. 46-48.
15. Chung S., Tsutsumi M., Ito Y., Dynamic characteristics of lathe using concrete bed, Bulletin of JISME, v. 28, n. 239, 1985, p. 987-993.
16. Sahn D., Reaktionsharzbeton fr gestellbauteile spanender werkzeugmaschinen, von der Fakultat fr Maschinenwesen der Rheinisch-Westfalischen Technischen Hochschule Aachen, 28, Sep., 1987.

17. Dey H. J., Das verformungs und bruchverhalten von reaktionsharzbeton und die auswirkungen auf maschinenbauteile, Hanser, 1991.
18. Nutt W. O., Polymer concretes-The next stage, Concrete, London, v. 21, n. 9, Sep. 1987, p. 15-16.
19. Kazaryan E. L., Popov Yu. P., Gukasov N. A., Domestic Equipment for the polymer concrete article production, Khimicheskoe, Neftekhimicheskoe Marhinostroenie, n. 1, Jan. 1992, p. 12-13.
20. Kamal M. M., Tawfik S. Y., Nosseir M. H., Polyester mortar, Reinforced Concrete Department, General Organization, for Housing Building and Planning Research, Laboratory of Polymers and Pigments, national research Centre, Dokki, Cairo, Egypt.
21. Rao V. V. L. K., Aggregate mixtures for least void content for use in polymer concrete. Cem. Concr. Aggr. 15, 1993, p. 97-103.
22. Soh Y. S., Jo Y. K., and Park H. S., Effect of fillers on the mechanical properties of unsaturated polyester resin mortar. In, Polymers in Concrete, E & FN Span, London, 1997, p. 67-74.
23. Rao V. V. L. K., Krishnamoorthy S., Influence of resin and microfiller proportions on strength, density and shrinkage of polyester polymer concrete. ACI Struct, J. 95, 1998, p. 153-162.
24. Abdel-Jawad Y. A., Abdullah W. S., Design of maximum density aggregate grading. Construction and Building Materials, 16, 2002, p. 495-508.
25. Mathukumar M., Mohan D., Rajendran M., Optimization of mix proportions of mineral aggregates using box behnken design of experiments. Cement & Concrete Composite, v. 25, n. 7, Oct. 2003, p. 751-758.
26. ASTM C579, Standard test methods for compressive strength of chemical resistant mortars, grouts, monolithic surfacings and polymer concretes, American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, 1996.
27. Clifton JR., Czarnecki L., Garbacz A., Lukowski P., Optimization of polymer concrete composites, final report. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. 20899, 1999.
28. Renker H.J., Stone-based structural materials, (Fritz Studer AG, Glockenthal, Switzerland), Precision Engineering, v. 7, n. 3, July 1985, p. 161-164.
29. Ateş E. Epoksi polimer betonun makine yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Balıkesir, Türkiye, Eylül, 1994, p. 195.
30. Schering, Industrial Chemicals, Surface protection, Systems for Coatings and Building Protection, 1994. p.23.
31. Schering, Industrial Chemicals, Surface protection I, Technical Information, Solvent Based Paints and Epoxy Emulsion Paints, Eurepox, Euredur, 1994. p. 70.
32. Schering, Industrial Chemicals, Surface protection II, Technical Information, Building Protection, 1994. p.113.
33. Capuano T.D., Polymer concrete; An engineering material with an identity problem, Machine Design, v. 59, n. 20, Sep. 1987, p. 133-135.
34. Deer W.A., Howie K.A., Zausmann J., An introduction to the rock forming minerals, Longmans, Gren and Co. Ltd., 1967.
35. Erdoğan T. Y., Beton, METU Pres, Mayıs, 2003, p.77-81