



Makale / Research Paper

Lif Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerde Lif Türü ve Oranının Fiziksel ve Mekanik Özelliklere Etkisi

Alper TOPSAKAL^{1*}, Cengiz ÖZEL²

^{1*}Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi ABD, 32260 Isparta/TÜRKİYE
²Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260 Isparta/TÜRKİYE
^{1*}alpertopsakal@gmail.com, ²cengizozel@sdu.edu.tr

Received/Geliş: 14.12.2017

Revised/Düzeltilme: 28.12.2017

Accepted/Kabul: 01.01.2018

Özet: Bu çalışmada lif takviye malzemesi oranının, polimer-lif kompozit özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Polimer beton üretiminde faz malzeme olarak polipropilen, cam, karbon ve çelik lif çeşitleri kullanılmıştır. Bisfenol-A epoksi vinilester reçine ve beş farklı oranda (% 0-3-6-9-12 oranlarında) faz malzemesi olarak kullanılarak polimer-lif kompozit üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde reaksiyon sıcaklığı, ultrases geçiş hızı, schmidt çekici ile yüzey sertliği, eğilme ve basınç deneyleri uygulanmıştır. Deneysel sonuçlara göre incelenen özellikler lif tipi ve oranına göre değişkenlik göstermekle birlikte, eğilme mukavemetlerinin artırılması için liflerin (polimer-lif) kompozit kullanılması önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bisfenol-A Epoksi Vinilester, Lif Türü, Lif Oranı, Polimer-Lif Kompozit

The Effect of Fiber Type and Ratio on Physical and Mechanical Properties of Fiber Reinforced Polymer Composite Materials

Abstract: In this study, the effect of the types and rations of fiber on the properties of polymer-fiber composite was investigated. The polypropylene, glass, carbon and steel were used as the phase material in the production of polymer concrete. The polymer-fiber composite was prepared using Bisphenol-A epoxy vinylester types of resin and the phase materials at the five different rations (0%-3%-6%-9%-12%). The reaction temperature test, Schmidt surface hardness, ultrasonic pulse velocity, flexural and compressive strength tests were performed on the prepared mixtures and samples. According to the experimental results, the properties examined vary according to the type and proportion of fibers. It has been proposed that the fibers (polymer-fiber composite) should be used for increasing the bending strength.

Key Words: Bisphenol-A Epoxy Vinylester, Fiber Type, Fiber Ratio, Polymer-Fiber Composite.

1. Giriş

Kompozit malzemeleri meydana getiren malzemelerin üstün özelliklerinden dolayı günümüzde çok geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Özellikle sanayi alanında yüksek mukavemetli, ekonomik ve hafif malzemelere gereksinim duyulması malzemeyi oluşturan matris ve faz malzemelerin kombinasyonlarının denenmesi sonucu oluşan kompozit malzemeye önem kazandırmıştır [1]. Kompozitler genel olarak polimer maddelerin görünüm, bağlanma ve fiziksel özellikleri ile liflerin, yüksek mekanik ve fiziksel performanslarını birleştiren lif takviyeli polimerlerden oluşmuş hibrid materyallerdir [2].

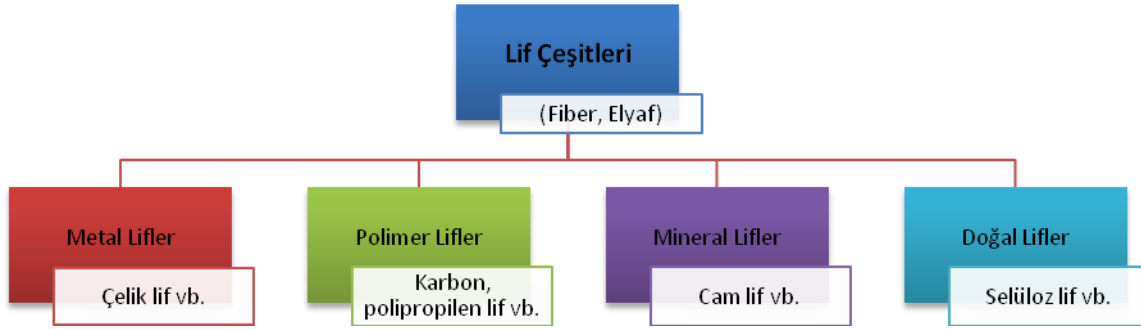
Bu makaleye atıf yapmak için

Topsakal, A., Özel, C., "Lif Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerde Lif Türü ve Oranının Fiziksel ve Mekanik Özelliklere Etkisi" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2018, 5(1); 107-116.

How to cite this article

Topsakal, A., Özel, C., "The Effect of Fiber Type and Ratio on Physical and Mechanical Properties of Fiber Reinforced Polymer Composite Materials" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2018, 5(1); 107-116.

Kompozit malzemeler içerisinde lif takviyeli plastikler önemli yer tutmaktadır. Lif takviyeli polimer, polimer matris malzemenin liflerle takviye edilmesinden elde edilir [3]. Matris malzeme olarak, termoset reçineler (polyester, epoksi, vinilester reçine vb.) işlenme kolaylığı, boşluk ve gözeneklerin az olması, işlenme sırasında basit ve düşük maliyetli teçhizat kullanılabilirliği vb. nedenlerden dolayı özellikle denizcilik ve inşaat alanında yaygın olarak kullanılmaktadır [4,5]. Termoset reçineler arasında epoksi esaslı vinilester reçineler, yüksek mekanik özellikler, çevresel ve kimyasal ve suya dayanımından dolayı önem taşımaktadır [5]. Takviye malzeme olarak ise mineral kökenlerine göre metal, polimer, mineral ve doğal lifler kullanılmaktadır. Lif, bir boyutu, diğer boyutuna göre çok büyük olan, doğal yollarla veya insan eliyle üretilebilen, dayanımları ve elastisite modülleri aynı malzemenin büyük hacimli formuna göre çok büyük olan yapı malzemeleri olarak tanımlanır [6]. Liflerin ana fonksiyonu çatlakları azaltırken, aynı zamanda tokluğu artırmaktır [7]. Lifler ürettikleri malzemelerin farklı özelliklere sahip olmasından dolayı çeşitlilik açısından zengindir. Liflerin mineral kökenlerine göre sınıflandırılması Şekil 1’de şematize edilmiştir.



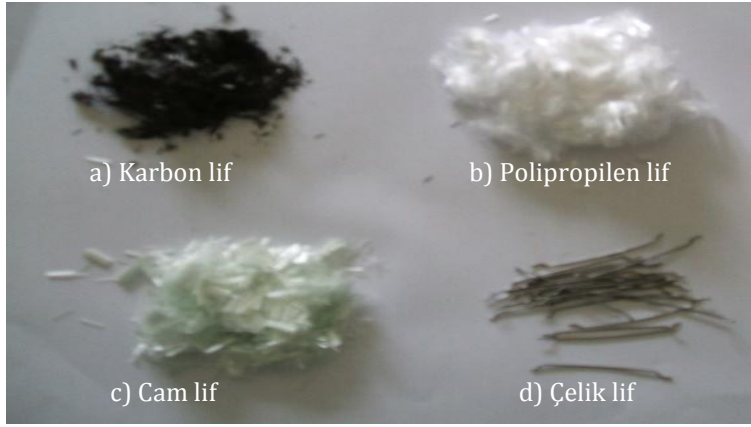
Şekil 1. Elde edildikleri malzemelere göre lif türleri [8].

Polimer kompozitler sanayi alanının yanı sıra inşaat sektöründe de büyük önem kazanmıştır. Lif takviyeli polimer kompozitlerin inşaat sektöründe kullanım alanını da polimer betonlar oluşturmaktadır. Polimer esaslı üretilen betonların performansı birden fazla etkene bağlıdır. Bunlar; polimerin türü, faz malzemenin özellikleri (mineral tipi ve partikül boyutu) ve karışım oranı, kür koşulu, kimyasal ortamların etkisi, reaksiyon sürecini sağlamak için kullanılan kimyasalların özellikleri vb. etkenlere bağlıdır. Bu nedenden dolayı, polimer beton dizaynı yapılmadan önce kullanılacağı yer ve karşılaşılabilecek sorunlar saptanmalı, karışım dizaynına karşılaşılabilecek sorunlar çerçevesinde yön verilmelidir [9,10].

Bu çalışmada, Bifenol-A epoksi vinilester reçine ve mineral kökenlerine göre çeşitli lifler kullanılarak, lif kullanım oranının polimer beton üzerindeki fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal-Metot

Deneylerde polimer beton özelliklerine lif oranı ve çeşidinin etkisini belirlemek için Şekil 2 ve Tablo 1’de özellikleri verilen karbon, polipropilen, cam ve çelik lifler kullanılmıştır.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan lifler

Tablo 1. Liflerin özellikleri

Lif Türü	Yoğunluk (g/dm ³)
Polipropilen	0.91
Karbon	1.96
Cam	2.68
Çelik	7.48

➤ **Reçine;** polimer beton üretiminde reçine olarak, Bisfenol-A epoksi vinilester reçine kullanılmış olup, yüksek ısı dayanımı, yüksek korozyon direnci ve mükemmel yapışma özelliğine sahiptir. Korozyona karşı yüksek dayanımı sayesinde kimyasal geçirgenliğin önlenmesi istenen tesislerde ve ürünlerde kullanılmaktadır. Mekanik dayanımı normal betonlara oranla çok yüksektir. Kullanılan polyeester reçinenin özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Bisfenol A Epoksi vinilester reçine özellikleri türleri [11].

Renk	Açık Gri, Opak
Yoğunluk	1.044 gr/cm ³
Asit Değeri	9 mg KOH/gr
Viskozite Brookfield®	400 cp
Jel Süresi	N/A
Monomer Oranı	42%
Parlama Noktası	-

➤ **Kobalt;** reçinelerin oda sıcaklığında kürlenmesi için % 1-10 oranında organik peroksitler ile karıştırılarak kullanılması gerekir. Kullanılan reçine türüne ve üretim tekniğine göre farklı konsantrasyonlarda tercih edilebilir. Kobaltın özellikleri Çizelge 3’de verilmiştir.

➤ **Mekp;** metil, etil, keton ve peroksit karışımı içeren bir üründür. Mekp reçinelerin sertleştirilmesi için kobalt hızlandırıcısı varlığında, oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda uygulanabilmektedir. Mekp’in özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Mekp ve kobaltın özellikleri [11].

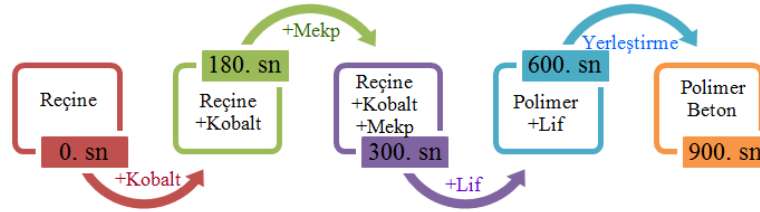
Özellik	Kobalt	Mekp
Yoğunluk 20 °C’de	0.92 gr/cm ³	1.17 gr/cm ³
Viskozite 20 °C’de	300 MPa.s	25 MPa.s
Görünüm	Mavi – menekşe renkli sıvı	Renksiz sıvı
Çözücü	stren, toluen, TXIB	DMP
Diğer Solventler	Aromatik solventler	
pH	nötr	
Kobalt İçeriği	% 6 (isteğe göre % 1 - % 10)	
SADT Sıcaklığı	> 150 °C	≈ 60 °C
Alevlenme Noktası	62 °C	
Aktif Oksijen İçeriği		%9.8 - %10
Peroksit İçeriği		%34 - %36

Numunelerin yüzeylerinin düzgün olması ve kalıp yüzeyinden kolaylıkla ayrılması için kalıp ayırıcı kullanılmıştır. Kalıp ayırıcının özellikleri, Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Kalıp ayırıcı özellikleri[11].

Test	Değer
Baz kalıp ayırıcılar	Doğal, sentetik ve mineral kalıp ayırıcıların karışımı
Solventler	Alifatik hidrokarbonlar
Görünüm	Pasta
Renk	Açık sarı, krem
Akışkanlık	45 °C’de sıvılaştır
Parlama noktası	37 °C

Karışım metodu, Şekil 3’de gösterilmiş olup karışım aşamaları her seri için standart olarak uygulanmıştır. 180 sn kobalt matris malzeme karışımı yapılmaya başlanmış olup, daha sonra sırasıyla, karışıma 120 sn içerisinde Mekp ilave edildikten sonra, 300 sn faz malzeme ilave edilerek karışıma devam edilmiştir. Karışım toplam 600 sn’de tamamladıktan sonra, polimer beton serileri 300 sn boyunca sarsma tablasında kalıba yerleşmesi için sarsılarak, numune üretimi ve kalıplanması 900 sn’de tamamlanmıştır. Serleşme sürecinden sonra numuneler üzerinde yapılan deneyler ve takip edilen standartlar Tablo 5’de verilmiştir



Şekil 3. Numune karışım metodu

Tablo 5. Çalışmada uygulanan deney yöntemleri ve takip edilen standartlar

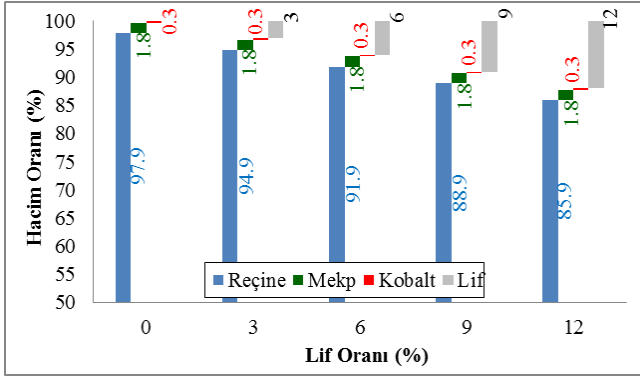
Deney yöntemi	Deney standartları
Reaksiyon sıcaklığı ölçümü	---
Ultrases geçiş hızı tayini	ASTM C 597 (1997) [12]
Schmidt yüzey sertliği deneyi	TS EN 13791 (2010)[13]
Eğilme dayanımı deneyi	TS EN 12390-5 (2010)[14]
Basınç dayanımı deneyi	TS EN 12390-3 (2010)[15]

3. Deneysel Çalışmalar

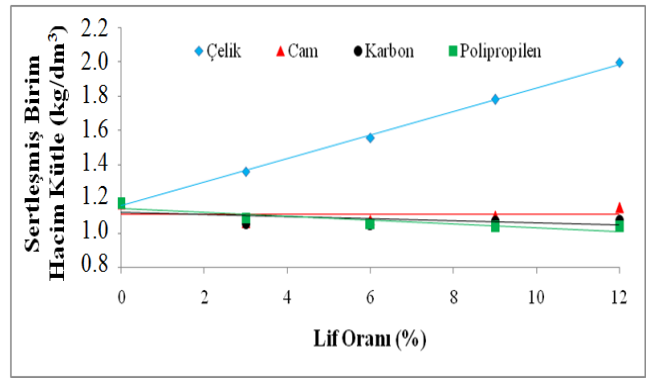
3.1. Polimer Beton Karışım Tasarımı

Lif kullanım oranının etkisinin belirlenmesi için % 0 - % 3 - % 6 - % 9 ve % 12 hacim oranlarında lif, reçineli karışımlara sırasıyla ikame edilmiştir. Hazırlanan Bisfenol-A epoksi vinilester reçineli polimer beton karışım tasarımları Şekil 4’de verilmiştir.

Üretilen numunelerin sertleşmiş birim hacim değerleri Şekil 5’de verilmiştir. Karbon ve cam liflerin yoğunluğu reçinenin yoğunluğundan daha yüksek olduğundan dolayı lif ikame oranı arttıkça teorik olarak Birim Hacim Kütle “BHK” değerlerinin artması gerekirken, dağınık fazda kullanılan lifler arasında kalan boşluklar ve yerleştirme problemi nedeniyle sertleşmiş BHK değerlerinde bu artış elde edilememiştir.



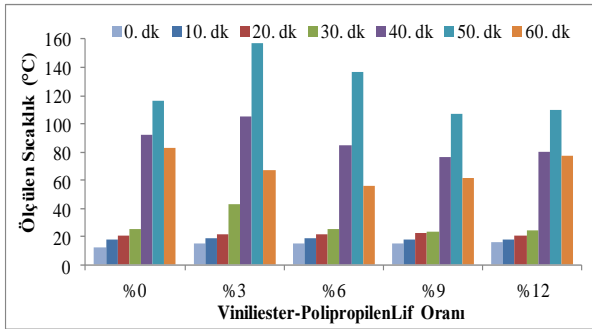
Şekil 4. Polimer beton karışım tasarımı



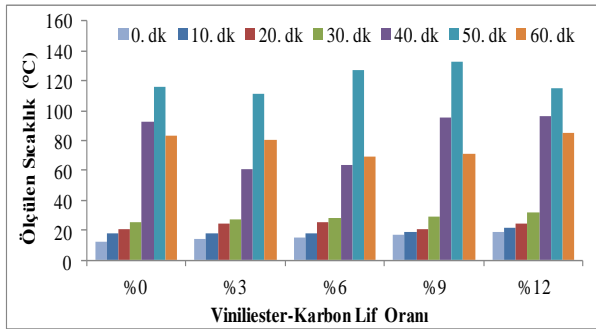
Şekil 5. Polimer betonların BHK değerleri

3.2. Polimer Beton Sıcaklık Analizleri

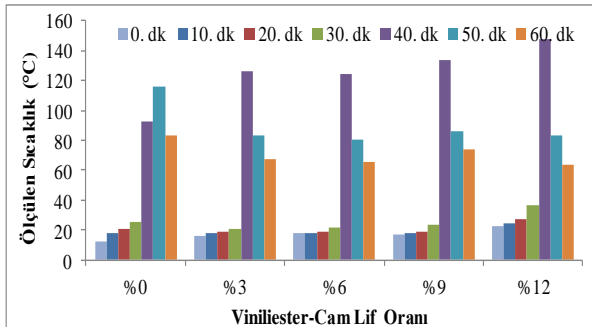
Hazırlanan karışımların kalıba yerleştirildiği an başlangıç (0. dk) olmak üzere bir saat boyunca her 10 dk'da bir sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Şekil 6'da görüldüğü gibi en yüksek reaksiyon sıcaklığı 40 ve 50. dk'larda elde edilmiştir.



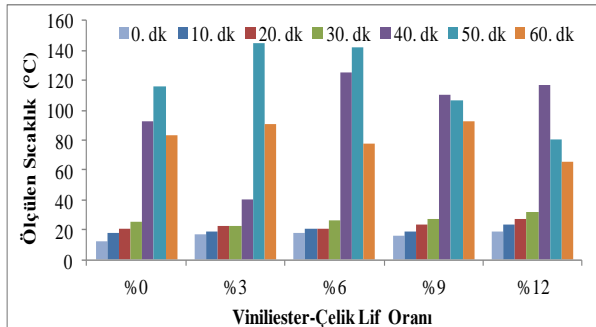
a) Polipropilen lif



b) Karbon Lif



c) Cam lif

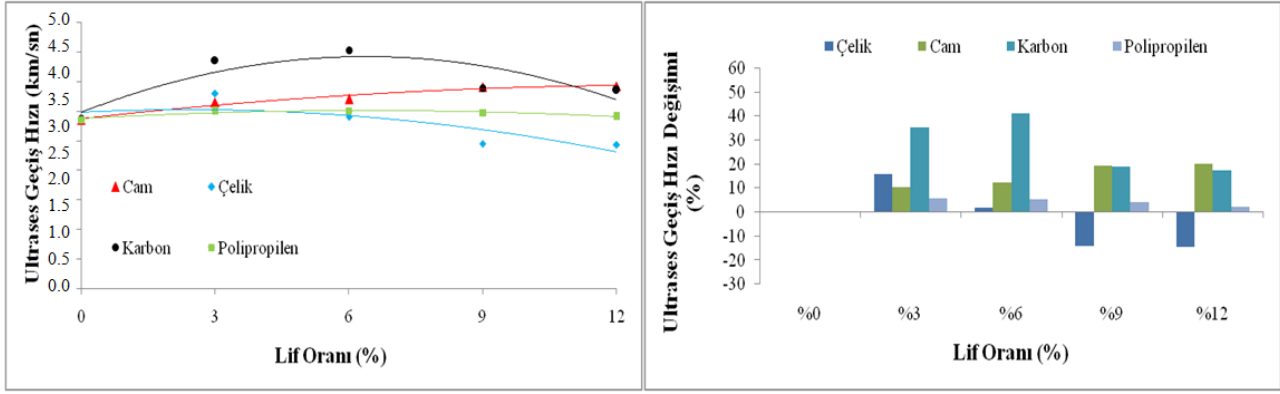


d) Çelik lif

Şekil 6. Lif oranına bağlı reaksiyon sıcaklıkları değişimleri

3.3. Polimer Beton Ultrases Geçiş Hızı Analizleri

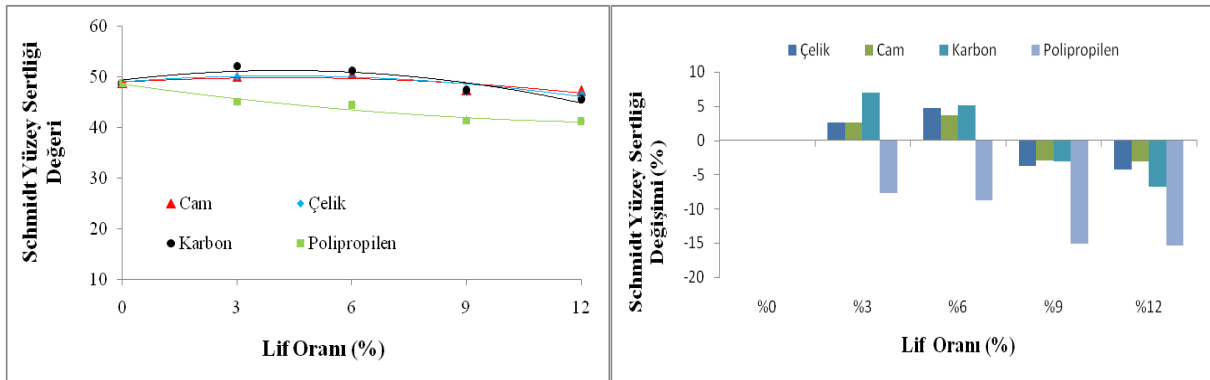
Cam lifli seriler için ultrases geçiş hızı değerlerinin değişimi Şekil 7'de görüldüğü gibi, cam lif oranına bağlı olarak artmaktayken (%20.8) polipropilen ve çelik lifli serilerde lif ikame oranına bağlı olarak azalmaktadır. Karbon lifli serilerde ise benzer davranış elde edilmiş, ultrases geçiş hızı değerinin % 6 lif ikamesine kadar arttığı daha sonra ise ultrases geçiş hızı değerinin düşüş eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7. Lif oranı ve çeşidine bağlı ultrases geçiş hızı değişimi

3.4. Polimer Beton Schmidt Yüzey Sertliği Analizleri

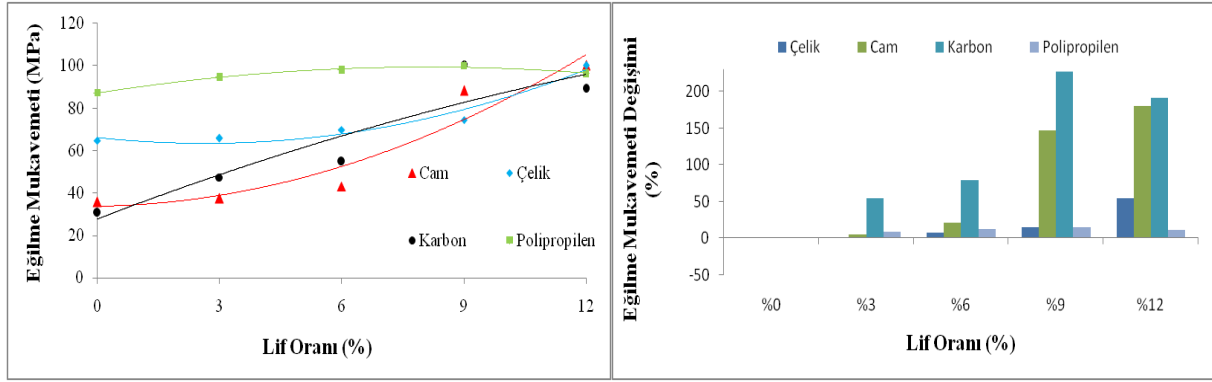
Cam lifli seriler için schmidt yüzey sertliği değerlerinin değişimi Şekil 8'de görüldüğü gibi, karbon ve polipropilen lifli serilerde azalma eğilimindedir. Cam ve çelik lifli serilerde ise benzer davranış elde edilmiş, schmidt yüzey sertliği değerinin % 6 lif ikamesine kadar arttığı daha sonra ise schmidt değerinin düşüş eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 8. Lif oranı ve çeşidine bağlı schmidt yüzey sertliği değişimi

3.5. Polimer Beton Eğilme Dayanımı Analizleri

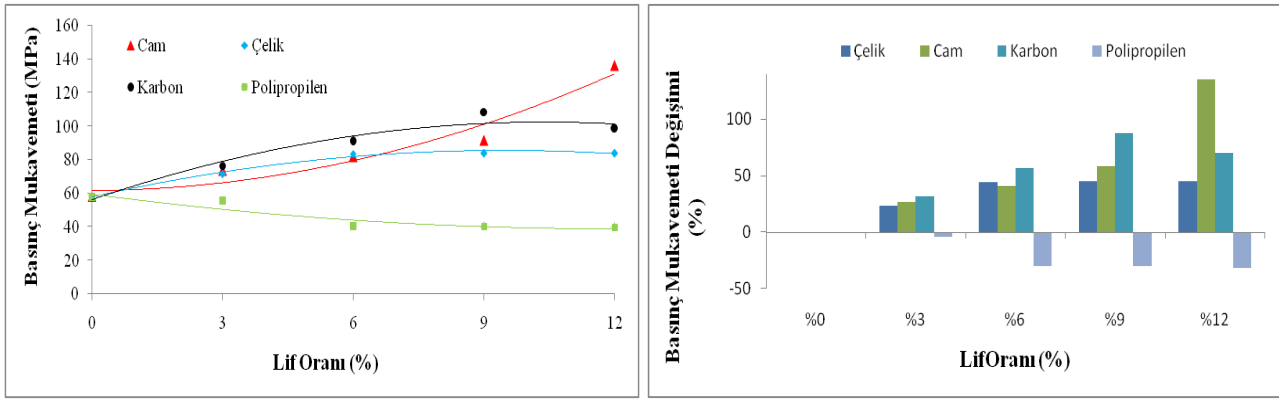
Lifli polimer betonların eğilme mukavemetleri çelik ve cam lif içeren serilerde lif oranına bağlı olarak sürekli artarken (Şekil 9) polipropilen ve karbon lifli serilerde % 9 lif oranına kadar artış bir artış söz konusu iken, bu lif oranından sonra azalma elde edilmiştir.



Şekil 9. Reçine türü ve polipropilen lif oranına bağlı eğilme dayanımı değişimi

3.6. Polimer Beton Basınç Dayanımı Analizleri

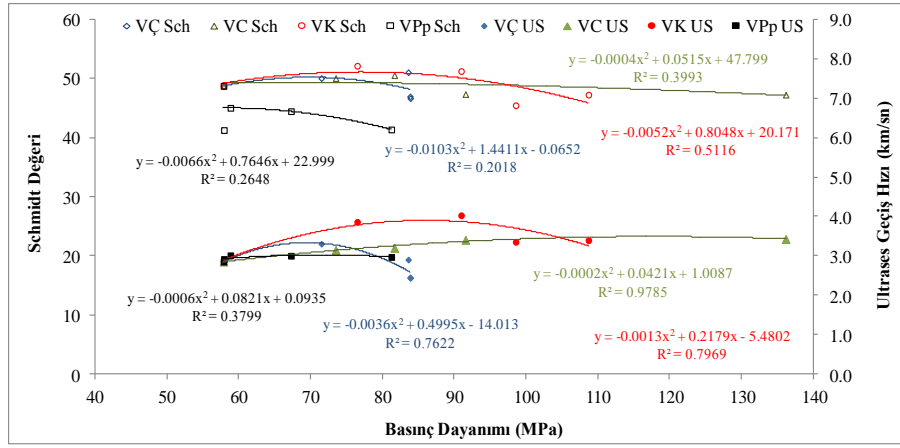
Lif oranı ve çeşidine göre basınç mukavemeti değişimi Şekil 10'da verilmiştir. Çelik, cam ve karbon lif içeren seride lif oranına bağlı olarak basınç mukavemeti değerleri artış elde edilmiştir. Polipropilen lifli serilerde ise %9 lif oranına kadar artış söz konusu iken bu lif oranından sonra azalma elde edilmiştir.



Şekil 10. Lif oranına bağlı basınç mukavemeti değişimi ve değişim oranı

Basınç mukavemeti ile schmidt yüzey sertliği ve ultrases geçiş hızı sertliği değerleri arasındaki ilişkiler Şekil 11'de verilmiştir. Basınç mukavemeti ile schmidt yüzey sertliği değerleri incelendiğinde en düşük belirleyicilik katsayısı çelik lif ikameli numunelerde, en yüksek belirleyicilik katsayısı ise karbon lif ikameli numunelerde ($R^2=0.2018$ - $R^2=0.5116$) elde edilmiştir. Basınç mukavemeti ile schmidt yüzey sertliği belirleyicilik katsayıları arasında $VÇ < VPP < VC < VK$ sıralama yapılabilir.

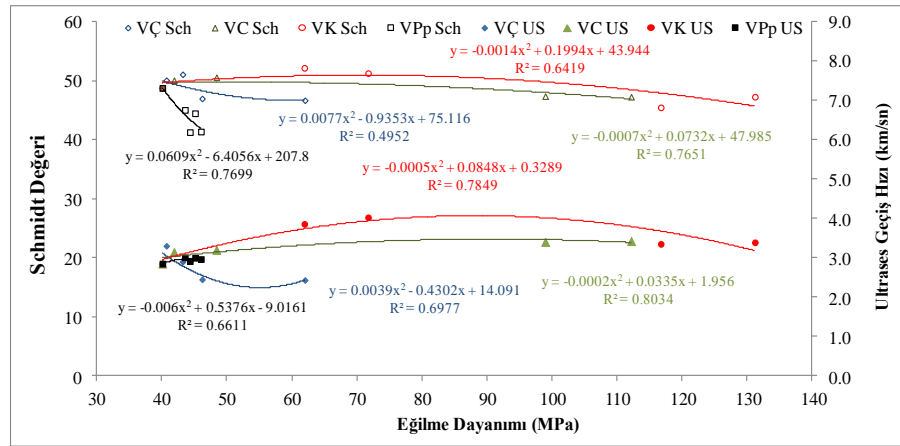
Basınç mukavemetine bağlı ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde en düşük belirleyicilik katsayısı polipropilen lif ikameli numunelerde, en yüksek belirleyicilik katsayısı ise cam lif ikameli numunelerde ($R^2=0.3799$ - $R^2=0.9785$) elde edilmiştir. Basınç mukavemeti ile ultrases geçiş hızı belirleyicilik katsayıları arasında $VPP < VÇ < VK < VC$ sıralama yapılabilir.



Şekil 11. Basınç dayanımı ile schmidt yüzey sertliği ve ultrases geçiş hızı sertliği değerleri arasındaki ilişkiler

Basınç dayanımı ile schmidt yüzey sertliği ve ultrases geçiş hızı sertliği değerleri arasındaki ilişkiler Şekil 12’de verilmiştir. Eğilme dayanımına bağlı schmidt yüzey sertliği değerleri incelendiğinde en düşük belirleyicilik katsayısı çelik lif ikameli numunelerde, en yüksek belirleyicilik katsayısı ise polipropilen lif ikameli numunelerde ($R^2=0.4952$ - $R^2=0.7651$) elde edilmiştir. Eğilme dayanımı ile schmidt yüzey sertliği belirleyicilik katsayıları arasında $VÇ < VK < VC < VPp$ sıralama yapılabilir. Eğilme dayanımına bağlı ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde en düşük belirleyicilik katsayısı polipropilen lif ikameli numunelerde, en yüksek belirleyicilik katsayısı ise cam lif ikameli numunelerde ($R^2=0.6611$ - $R^2=0.8034$) elde edilmiştir. Eğilme dayanımı ile ultrases geçiş hızı belirleyicilik katsayıları arasında $VPp < VÇ < VK < VC$ sıralama yapılabilir.

Eğilme dayanımına bağlı olarak, schmidt yüzey sertliği ve ultrases geçiş hızı belirleyicilik katsayıları incelendiğinde, schmidt yüzey sertliği değerlerinde en yüksek ilişkiler polipropilen lifli numunelerden elde edilirken, ultrases geçiş hızı değerlerinde en düşük belirleyicilik katsayıları polipropilen lifli numunelerden elde edilmiştir.



Şekil 12. Lifli seriler arasında eğilme dayanımına bağlı schmidt yüzey sertliği ve ultrases geçiş hızı ilişkileri

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada polipropilen, karbon, cam ve çelik lif türleri kullanılmış olup lif tipi ve kullanım oranının polimer beton özellikleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla % 0-3-6-9-12 oranlarında lif ikame beton serileri üretilmiştir. Üretilen polimer beton serilerine reaksiyon sıcaklığı

testi, ultrases geçiş hızı, schmidt yüzey sertliği, eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Bu deneylere göre;

➤ Polipropilen lif hariç liflerin yoğunluk değeri reçine türlerinin, özgül ağırlık değerinden daha yüksek olduğundan dolayı lif ikame oranı arttıkça BHK değerleri artması gerekirken lifler arası boşluk ve yerleştirme problemi nedeniyle, karbon ve cam lifli karışımların sertleşmiş BHK değerlerinde azalma elde edilmiştir.

➤ Reaksiyon sıcaklıkları incelendiğinde kullanılan lif türlerinin ikame oranı arttıkça reaksiyon sıcaklığı artmaktadır. En yüksek reaksiyon sıcaklığına 40 -50. dakika arasında ulaşılmaktadır. Bu sürelerden sonra kimyasal reaksiyonun tamamlanması nedeniyle sıcaklık düşüşü oluşmaktadır.

➤ En düşük ultrases geçiş hızı % 12 polipropilen lif ikamesinde 2.43 km/sn, en yüksek ultrases geçiş hızı değeri ise % 6 karbon lif ikamesinde 4.00 km/sn olarak tespit edilmiştir. Ultrases geçiş hızı cam lifli serilerde lif oranı ile birlikte doğrusal olarak artmakla birlikte çelik lifli serilerde lif oranı arttıkça azalmaktadır.

➤ Karbon ve polipropilen lifli serilerde lif ikame oranı arttıkça schmidt yüzey sertliği değerleri azalmaktadır. Çelik ve cam lifli serilerde %6 lif ikame oranı kritik noktayı oluşturmaktadır. En düşük schmidt yüzey sertliği % 12 polipropilen lif ikamesinde 41.3, en yüksek schmidt yüzey sertliği değeri ise %3 karbon lif ikamesinde 52.2 olarak tespit edilmiştir.

➤ Eğilme mukavemeti lif tipi ve oranına göre değişkenlik göstermektedir. Eğilme mukavemeti çelik ve cam lifli serilerde lif ikame oranına göre doğrusal olarak artmaktadır. Polipropilen ve karbon serilerde %9 lif ikame oranında kritik noktayı oluşturmaktadır. En düşük eğilme dayanımı değeri liffsiz serilerde 31.0 MPa olarak tespit edilmiştir.

➤ Basınç mukavemeti değeri çelik ve cam lif türlerinde lif ikame oranı arttıkça artmış olup polipropilen lif türünde lif ikame oranı arttıkça azalma eğilimi elde edilmiştir. Karbon lifli serilerde %9 lif ikame oranı kritik noktayı oluşturmaktadır. En düşük basınç dayanımı değeri % 12 polipropilen lif ikame oranında 39.7 MPa ve en yüksek basınç dayanımı % 12 camlif ikame oranında 136.2 MPa olarak tespit edilmiştir.

➤ Çalışma sonunda polimer betonda lif kullanımı ile eğilme ve basınç mukavemetlerinin artırılabilceği sonucuna varılmıştır.

5. Teşekkür

Bu çalışma 3346-YL1-12 numaralı proje ile Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Öğrenci, H.D., Mekanik Olarak Bağlanmış Kompozitlerin Dayanımı. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2012, 58s, İzmir.
- [2] Bulut, Y., Erdoğan, Ü.H., Selüloz Esaslı Doğal Liflerin Kompozit Üretiminde Takviye Materyali Olarak Kullanımı. Tekstil ve Mühendis Dergisi, 2011, Sayı:82, 26-35.
- [3] Yapıcı, A., Şahin, Ö.S., ([301-30]2) Fiber Takviyeli Tabakalı Termoplastik Tabakalı Kompozit Levhalarda Deük-Kenar Arasında Oluşan Elasto-Plastik Gerilmeler.Mühendis ve Makine Dergisi, 2003, Cilt:44 Sayı:519, 41-46.
- [4] Aral, N., Tekstil Atıklarından Oluşturulan Kompozitlerin Performans Özelliklerinin İncelenmesi.İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tez., 2009, 81s, İstanbul.

- [5] Enşici, A., Endüstriyel Tasarımda Polimer Esaslı Kompozit Malzemeler. Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi, 2008, Sayı:178, 6-15.
- [6] Erdoğan, T.Y., Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, 2003, 741s, Ankara.
- [7] Yıldırım, S.T., Ekinci, C.E., Çelik, Cam ve Polipropilen Lifli Betonlarda Donma-Çözünme Etkilerinin Araştırılması.Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 2006, Sayı:18(3), 359-366.
- [8] Şengül, C., Kendiliğinden Yerleşen Çelik Lif Donatılı Betonların Mekanik Davranışına Su/İnce Malzeme Oranı ile Lif Dayanımının Etkisi.İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2005, 80s, İstanbul.
- [9] Feldman, D., Polymeric Building Materials. Elsevier Science Publihers, 575p, London/New York.
- [10] Mehdi, A., Structural Reinforcement of Building Materials Using Polymer Concrete. American Journal of Scientific Research, 2011, 23, 35-143.
- [11] Poliya,. Poliya Teknik Bülten. Erişim Tarihi: 03.09.2012. http://www.poliya.com.tr/destek/online_dokumanlar, 2012
- [12] ASTM C 597,. Standart Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. Annual Book of ASTM Standards, 1997, s4, USA.
- [13] TS EN 13791,. Basınç Dayanımın Yapılar ve Öndökümlü Beton Bileşenlerinde Yerinde Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [14] TS EN 12390-5,. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımın Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [15] TS EN 12390-3, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 5: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımın Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010