

Polimer Betonlarda Gazbeton Atıklarının Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Cengiz ÖZEL¹, Bircan İREN²

¹*Süleyman Demirel Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Batı
Kampüs Isparta*

²*Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı, Batı
Kampüs Isparta*

Özet: Polimerlerin inşaat ve konut sektöründeki farklı uygulamalarda kullanımı her gün biraz daha artmaktadır. Polimer betonların yapı sektöründe kullanımı için birçok farklı yöntem varsa da, sahip oldukları yüksek mukavemet ve dayanıklılık özelliklerinden dolayı en önemli kullanım şekli polimer betonlardır.

Bu çalışmada polimer betonlarda faz malzemesi olarak kullanılan gazbeton atıklarının ve kumun polimer beton özelliklerinde etkisinin daha iyi anlaşılmasını sağlamak ve araştırmak amaçlanmıştır. Temel olarak faz malzeme tipi ve miktarının fiziksel ve mekanik özellikler üzerinde etkisinin deneysel olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Polimer beton örnekleri üç farklı faz oranında ve iki farklı reçine tipi kullanılarak üretilmiştir. Atık gazbeton kullanılarak üretilen örnekler, standart CEN kumu kullanılarak üretilen ve faz malzemesiz olarak üretilen polimer betonlardan daha düşük birim ağırlık ve mekanik özellikler göstermiştir. Bununla birlikte bu karışımlar, yapı sektörünün birçok uygulamasında kullanılabilir. Standart CEN kumlu betonda ise, birim hacim kütle değeri faz malzeme miktarı ile artarken, mekanik özellikleri faz malzemenin belirli değerleri için yükselmiştir.

Anahtar Kelimeler: Polimer beton, gazbeton, mekanik özellikler

Investigation of Usage of Waste Autoclaved Aerated Concrete in Polymer Concrete

Abstract: The use of polymer is on the increase with each passing day in diverse applications on the construction and building industry. While there exist numerous methods for use in the industry of polymer, the most important use of polymers is polymer concretes due to high strength and durability properties.

This study aims at achieving a better understanding of waste autoclaved aerated concrete (WAAC) and sand (standard CEN sand “SCS”) used as phase material polymer concrete and exploring its potential properties. The main objective is to assess the impact of parameters such as amount and type of phase material on mechanical and physical properties as experimental. The polymer concrete specimens were made using two different resin types and three different ratios of phase materials. Polymer concretes with WAAC had lower unit weight and mechanical properties than SCS and phase material without. However, still allows these mixtures to be used many products of in structural industry. Polymer concretes with SCS, while its unit weight had raised depending amount of phase materials, the mechanical properties had raised for specific amounts of phase materials.

Keywords: Polymer concretes, autoclaved aerated concrete, mechanical properties

1. GİRİŞ

Hızla gelişen teknolojik gelişmeler ve ihtiyaçlar her geçen gün yüksek performanslı malzemeleri talebi arttırırken, diğer taraftan ortaya çıkardığı atıklar ile de yeraltı ve yerüstü kaynaklarımızı hızla tüketmekte, çevre kirliliği ile de yaşam ortamlarımızı tehdit etmektedir.

İnşaat sektöründe en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biri, yerel üretim imkanının olması, kolay şekil verilebilirliği ve ekonomikliği gibi nedenlere bağlı olarak üretilen beton'dur. Beton iri agrega ve harç matrisinden oluşan iki fazlı bir kompozit olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte günümüzde gelişen malzeme teknoloji nedeniyle harç fazı yerine bağlayıcı matris, agrega yerine ise dağılı fazda bulunan iki fazlı taneli kompozit tanımının yapılması daha uygun olacaktır.

Mühendislik malzemelerin sınıflandırılması farklı şekillerde yapılmasına karşılık, temel olarak doğada bulunma şekli olan 3 grup ile (polimerik, metalik ve seramik) bunlardan geliştirilen kompozitler olmak üzere 4 farklı grup altında mühendislik çalışmaları için sınıflandırılır.

Kompozit malzemelerde, farklı matrisler kullanılmasına rağmen günümüzde üretilen kompozitlerin yaklaşık % 90'ı polimer matrisli malzemelerden oluşmaktadır (Bayrak, 2012).

Polimer malzemeler yüksek molekül ağırlıklı, uzun, zincirimsi bir yapı gösteren polimer moleküllerinden oluşan kimyasal bileşiklerdir (Gürü ve Yalçın, 2006). Genelde polimerlerde kristal ve amorf bölgeler bir arada bulunmaktadır. Kristal bölgeler malzemeye sertlik ve kırılma, buna karşılık amorf bölgeler malzemeye tokluk verir. Düzenli yapılar ya da lineer zincirler kristal oluşumunu kolaylaştırır. Moleküller arası çekim kuvvetleri de kristaliniteyi arttırmaktadır (Pişkin, 2010). Plastik; karbonun (C) hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve diğer organik ya da inorganik

elementler ile oluşturduğu monomer adı verilen, basit yapıdaki moleküllu gruplardaki bağın koparılarak, polimer adı verilen uzun ve zincirli bir yapıya dönüştürülmesi ile elde edilen malzemelere verilen isimdir (Kılıç vd., 2012). Plastikler doğada hazır bulunmayıp, insan tarafından doğadaki elementlerden elde edilir.

Polimerik malzemeler; yapay polimerler ve doğal polimerler olarak iki gruba ayrılır. Doğal polimerlerin başlıcaları kömür, ham petrol, su, hava ve kireçtir. Yapay olarak da elde edilebilen organik polimerik malzemeler ise plastikler, elastomerler ve fiberlerdir (Pişkin, 2010).

Plastikler birçok nedenle önemli mühendislik malzemesidir. Plastik endüstrisi özellikle son yirmi yıl içinde büyük bir hızla gelişmiş ve olgunluğa erişmiştir. Plastik artık insan hayatının vazgeçilemez bir parçası haline gelmiş, otomotiv, havacılık, yapı, elektrik-elektronik sanayileri basta olmak üzere hemen hemen tüm sanayi dallarında çelik ve diğer metal malzemelerin yerini alır olmuştur (Smith, 2006).

Günümüzde pek çok plastik madde inşaat mühendisliği alanına girmiştir. Bunlardan bir kısmı detay malzemesidir. Yer döşeme malzemeleri, örtü malzemeleri, ısı izolasyon malzemeleri, boya ve badana katkı maddeleri, derz malzemeleri, yapıştırıcı ve tamir malzemeleri, mobilya kaplamaları, su iletim boruları (sert ve yumuşak PVC) gibi malzemeler. Plastik maddelerin inşaat mühendisliğindeki diğer uygulaması; doğrudan taşıyıcı malzeme olarak yer alması veya taşıyıcı malzemelerin dayanıklılığın arttırmak üzere kullanılmasıdır. Bu polimerin beton katkı maddesi olarak taşıyıcı elemanların dayanımı ve dayanıklılıklarının arttırılması amacına yöneliktir (Pişkin, 2010). Geleneksel betonların mühendislik karakteristiklerinin iyileştirilebilmesinde, polimerlerin (plastiklerin) kullanılması 1950'li yıllarda başlanmıştır. Daha sonra yapay polimerdeki gelişmelere paralel olarak birçok araştırmacının çalışmaları sonucu,

önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Polimer beton malzemelerin zamanla gelişme göstermesine rağmen geleneksel betonlardan daha pahalı olması, önemli bir ekonomik engel oluşturmuştur. Buna rağmen fiyat-gerilme oranı, kütle-gerilme oranı, kimyasal direnç ve zamana bağlı dayanım faktörleri incelendiğinde, fiyattaki bu olumsuz etki giderilmiş olup, polimer betonlar özel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Ateş, 1994).

Polimer içeren betonlar üç grupta sınıflandırılabilir. Bunlar; Polimer Beton (PC= Polymer concrete), Lateks Modifiye Beton (LMC= Latex modified concrete) ve Polimer Emdirilmiş Beton (PIC= Polymer impregnate concrete). Lateks modifiye betonlara (LMC) aynı zamanda Polimer Portland Beton (PPCC=Polymer portland cement concrete) da denilmektedir (Bideci, 2011).

Polimer emdirilmiş beton (PIC); sertleştirilmiş çimento betonunu monomer emdirilmesi ve bunu takip eden polimerizasyon işlemi ile üretilir (Akman 1987; Ateş 1994).

Polimer ile modifiye edilmiş betonlar (LMC, PCC veya PPCC); genellikle sertleşmemiş taze çimento betonu harcına, polimer madde ilave edilmesi ve bu polimer maddenin de betonun prizi sırasında polimerleşmesiyle elde edilir. Diğer bir yöntem ise, çimento harcına monomer ilave edilmesidir (Akman 1987; Ateş 1994).

Polimer beton (PC), faz malzeme ile bağlayıcı olarak sadece polimerlerin kullanıldığı (monomer veya reçinenin karıştırılıp), daha sonra katalizör ve hızlandırıcı ilavesini takiben oda sıcaklığında polimerizasyon işleminin gerçekleşmesi sonucu, sertleşmesi ile elde edilir. Polimer beton, sentetik reçine olarak da adlandırılmaktadır (Topsakal, 2013)

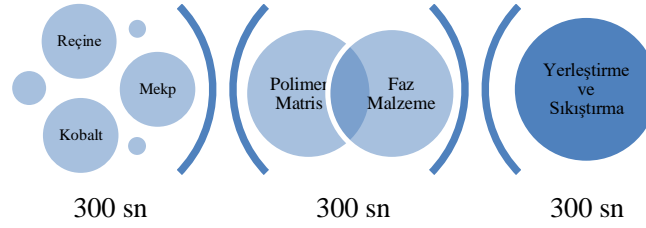
Polimer betonların da su ve çimento yerine bağlayıcı olarak reçine ve işlenebilirlik sağlaması amacıyla kalsit, silis dumanı ve uçucu kül gibi mineral katkıları kullanılır (Akkurt, 1991).

Betonun uygulama ve kalitesi polimer cinsine, agrega tipine ve granülometrisine bağlıdır. Polimer harç ve betonu için ticari olarak mevcut bağlayıcılar çeşitli termoset reçineleri, katranla geliştirilmiş reçineler, reçineyle geliştirilmiş asfaltlar ve vinil monomerleridir. En çok kullanılan polimer bağlayıcılar epoksi reçineleri, doymamış polyester reçinesi, vinilester ve metilmetakrilat monomeridir. Metilmetakrilat monomerinin kullanımı, yüksek yanabilirliği ve kötü kokusu nedeniyle sınırlandırılmıştır. Metil metakrilat bağlayıcı harç ve betonlar iyi işlenebilirliği ve düşük sıcaklıklarda kürlenebilmesinden dolayı ilgi çekici bir malzemedir (Kaya, 1983).

Bu çalışmada, iki farklı reçine türünde gazbeton atıklarının faz malzeme olarak kullanılabilirliği, gazbeton atıklarının polimer beton üzerindeki fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır.

2. MALZEME ve METOT

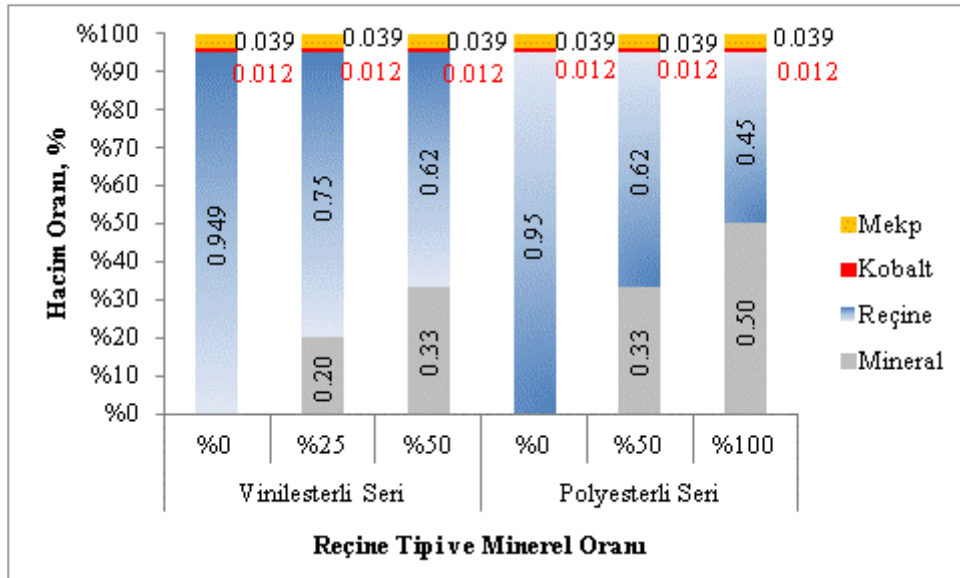
Deneysel için üretilen polimer beton örneklerinde matris (bağlayıcı) malzeme olarak iki farklı reçine türü Polyester (folik asit bazlı, tiksotropik dolgu tipi) ve Viniliester (Bisfenol A Epoksi) reçine kullanılmıştır. Yine polimerin reaksiyonu tamamlaması için sertleştirici olarak MEKP (metil, etil, keton ve peroksit) ve hızlandırıcı olarak organik peroksit (Kobalt) kullanılmıştır. Reçine, Kobalt ve Mekk kullanım oranları Şekil 1’de verilen karışım sürecine uygun olacak şekilde belirlenmiştir.



Şekil 1. Karıştırma süreci ve metodu

Polimer beton üretimlerinde faz malzeme olarak ise, polimer beton özelliklerinin faz malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden en az düzeyde etkilenmesi için TS EN 196-1'e uygun Standart CEN kumu kullanılmıştır. Kullanılan faz malzeme oranı ise işlenebilirlik, yerleştirme ve mekanik özellikleri göz önüne alınarak daha ön deneylerle belirlenmiştir. Polyester matrisli seride %0, %50 ve %100 mineral faz

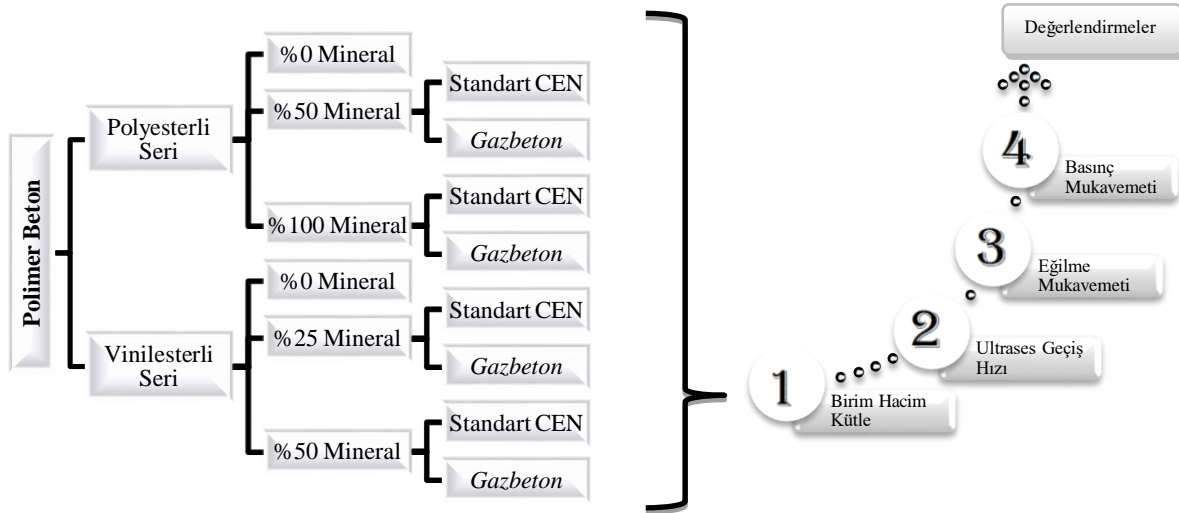
malzeme oranı, vinilester matrisli seride vinilesterin viskozitesinin polyestere (1450 cp) göre düşük olmasından dolayı (400 cp) süspansiyon halinde bulunan %50'den fazla standart CEN kumu kullanımında flokülasyon ve segregasyon meydana geldiği için %0, %25 ve %50 mineral faz malzeme oranı kullanılarak numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelere ait hacim oranları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Polimer beton bileşenlerinin hacim oranları

Gazbeton atıkları, Standart CEN kumu granülometrisinde öğütüldükten sonra, ön deneylerde belirlenen faz malzeme oranlarında kullanılarak polimer beton örnekleri üretilmiştir. Bu çalışmada kullanılan malzeme ve takip edilen

metodoloji Şekil 3'de verilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde birim hacim kütle, ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç mukavemeti analizleri yapılarak gazbeton atıklarının polimer betonda faz malzeme olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

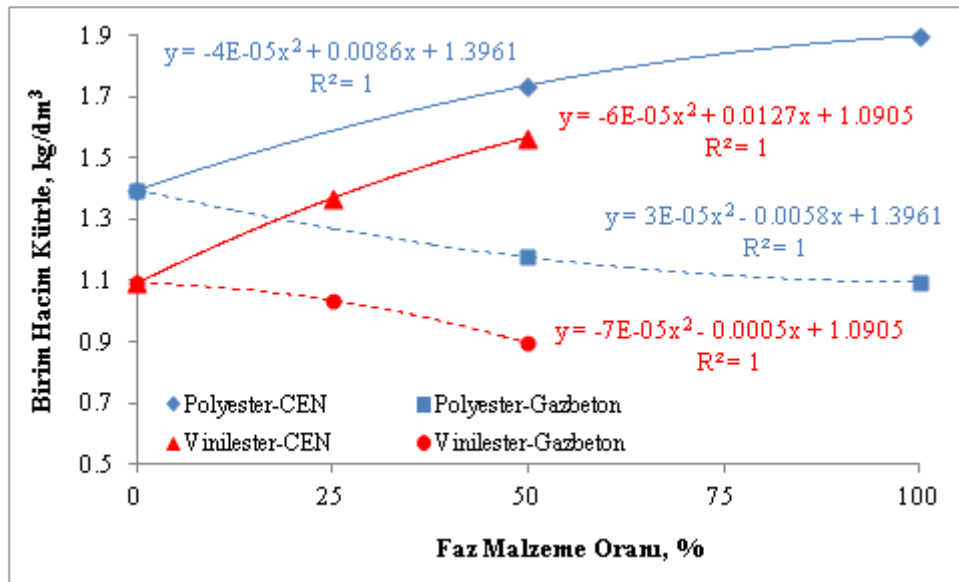


Şekil 3. Deneylerde kullanılan malzemeler ve deneysel plan

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Üretilen numunelere ait TS EN 1015 (2001)'e göre yapılan sertleşmiş birim hacim kütle değerlerinin değişimi Şekil 4'de verilmiştir. Standart CEN kumunun özgül ağırlığının (2.563 gr/cm³), matris malzemesinin (polyester 1.353, vinilester 1.044, kobalt 0.92, mekp 1.17 gr/cm³) özgül

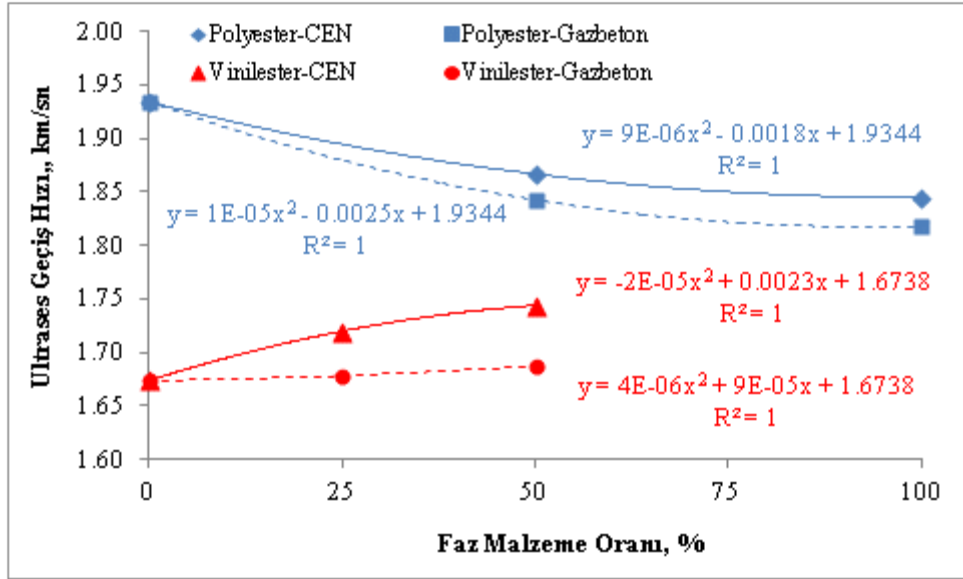
ağırlığından daha yüksek olduğu için Standart CEN kumu ile üretilen polimer betonların birim hacim kütle değerleri artan faz malzeme oranı ile artmaktadır. Bununla birlikte gazbetonun özgül ağırlığı (0.5 gr/cm³) matrisi oluşturan reçinelerinkinden daha düşük olduğu için artan faz malzeme oranında polimer betonların birim hacim kütle değerleri azalmaktadır.



Şekil 4. Polimer betonların birim hacim kütle değerleri

Ultrases geçiş hızı tayini ASTM C 597 (1997)'e göre yapılmış olup elde edilen değerlerin değişimi Şekil 5'de verilmiştir. Polyesterli seride her iki faz malzeme tipi içinde (standart CEN kumu ve gazbeton) faz

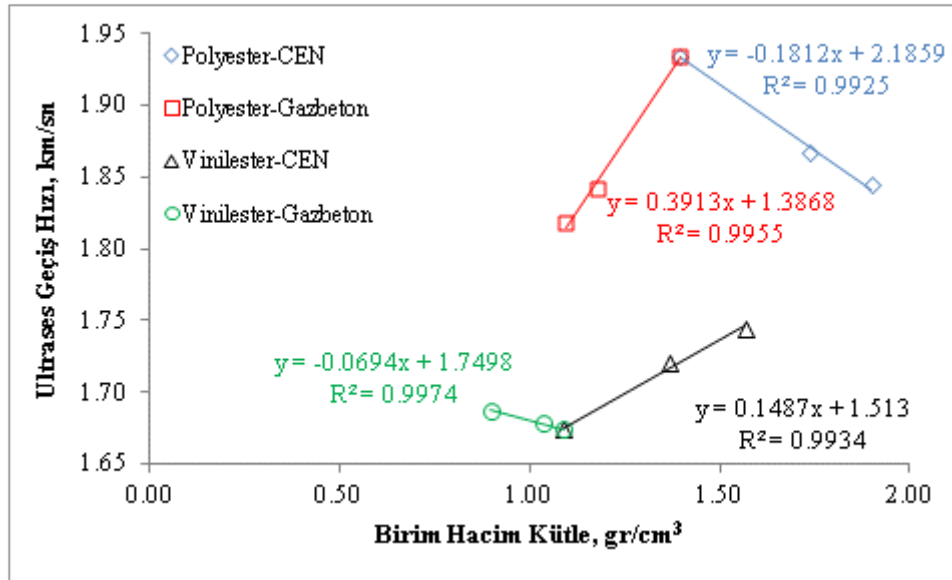
malzeme oranı arttıkça ultrases geçiş hızı değerleri azalırken vinilesterli seride her iki faz malzeme içinde faz malzeme oranı artışı ile ultrases geçiş hızı değerleri artmıştır.



Şekil 5. Polimer betonların ultrases geçiş hızı değerleri

Üretilen polimer betonların birim hacim kütle değerleri ile ultrases geçiş hızı değerleri arasındaki ilişkiler Şekil 6'da verilmiştir. Polyester-Standart CEN kumundan ve Vinilester-Gazbeton'dan üretilen numunelerde artan birim hacim kütle

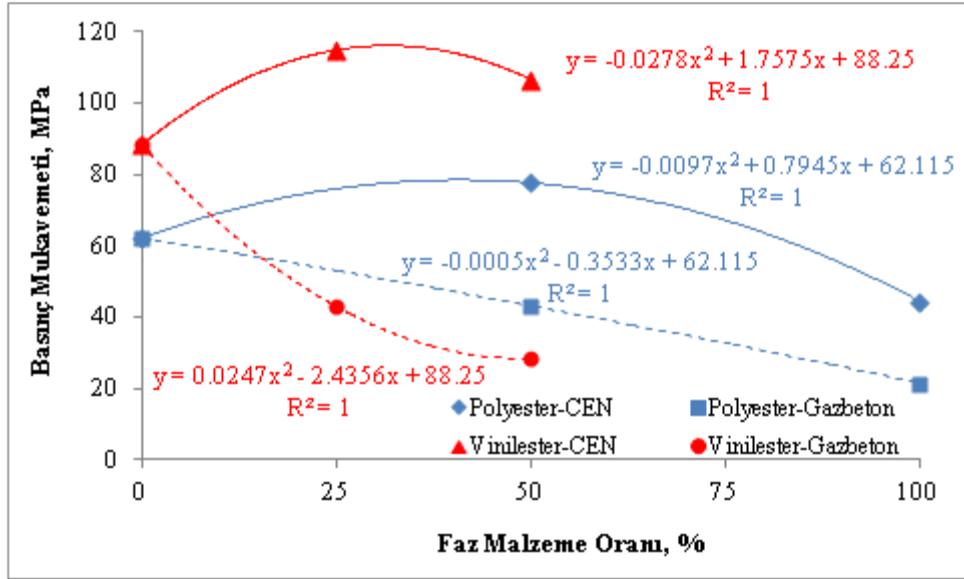
değerinde ultrases geçiş hızı değeri azalırken, Polyester- Gazbeton'dan ve Vinilester-Standart kumundan oluşan polimer beton örneklerinde artan birim hacim kütle değerinde ultrases geçiş hızı değerlerinde azalma elde edilmiştir.



Şekil 6. Polimer betonların birim hacim kütle-ultrases geçiş hızı değerleri ilişkisi

Basınç dayanımı deneyi TS EN 12390-3 (2010)'e göre yapılmış olup elde edilen değerlerin değişimi Şekil 7'de verilmiştir. Vinilesterli seride %25, polyesterli seride % standart CEN kumu kullanımında basınç mukavemeti değerleri artarken, bu oranların

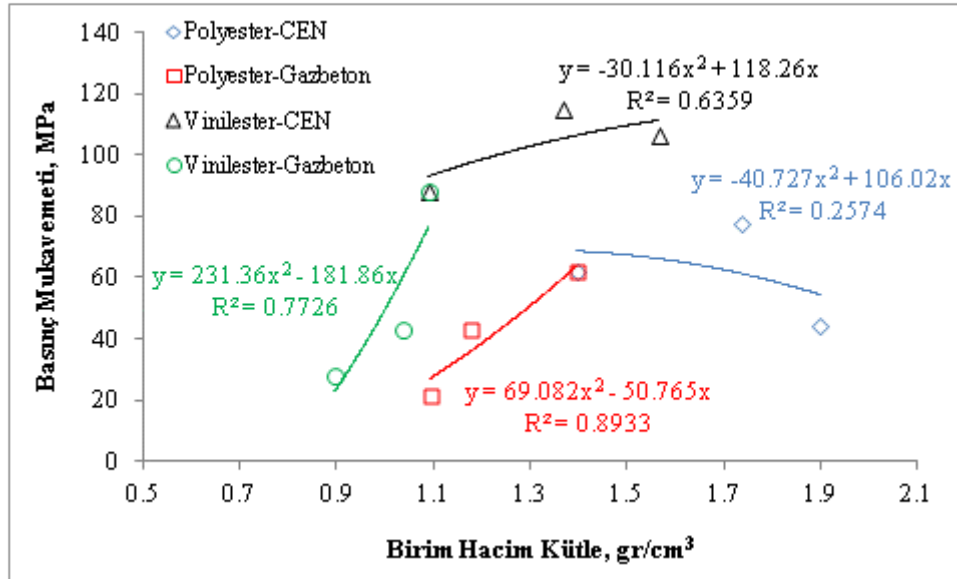
üzerinde basınç mukavemeti değerlerinde azalma elde edilmiştir. Faz malzeme olarak ise gaz beton kullanımında ise her iki reçine türünde de artan faz malzeme oranında basınç mukavemeti değerlerinde azalmalar elde edilmiştir.



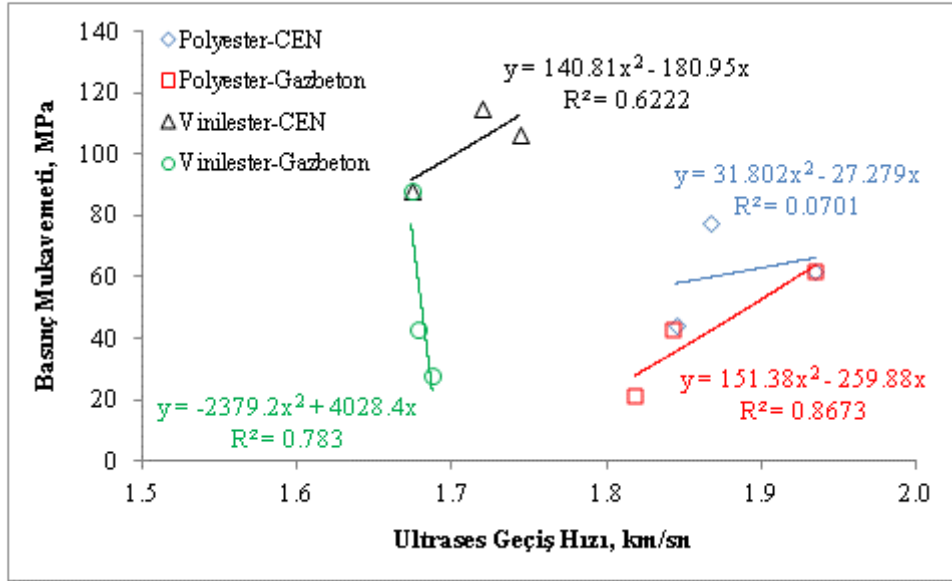
Şekil 7. Polimer betonların basınç mukavemeti değerleri

Basınç mukavemetindeki değişimler faz malzemenin gazbeton olarak kullanıldığı serilerde birim hacim kütle ve ultrases geçiş hızı değerleri ile daha yüksek ilişki

gösterirken, standart CEN kumunun kullanıldığı serilerde ise gazbetonlu serilere göre daha düşük ilişkiler elde edilmiştir (Şekil 8 ve 9).

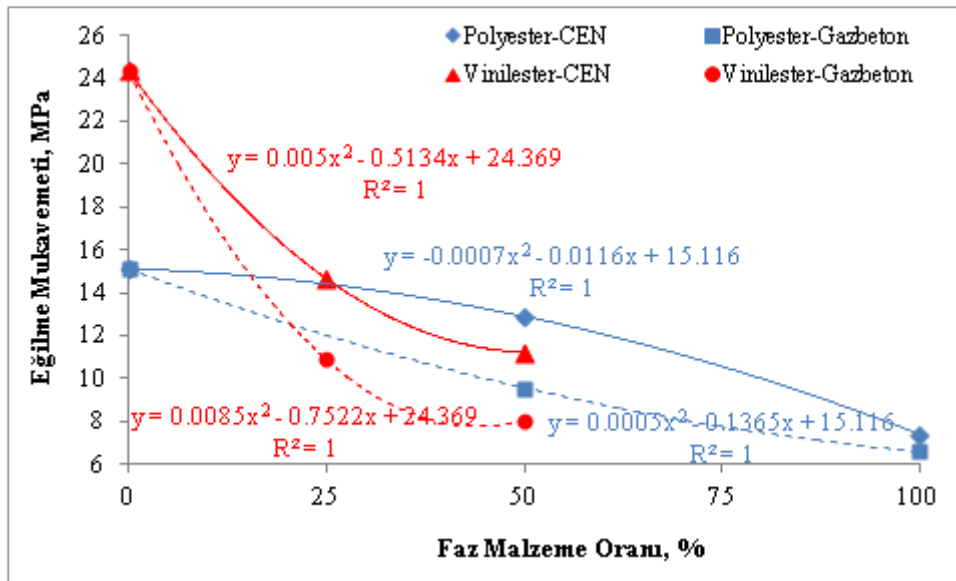


Şekil 8. Polimer betonların birim hacim kütle-basınç mukavemeti değerleri ilişkisi



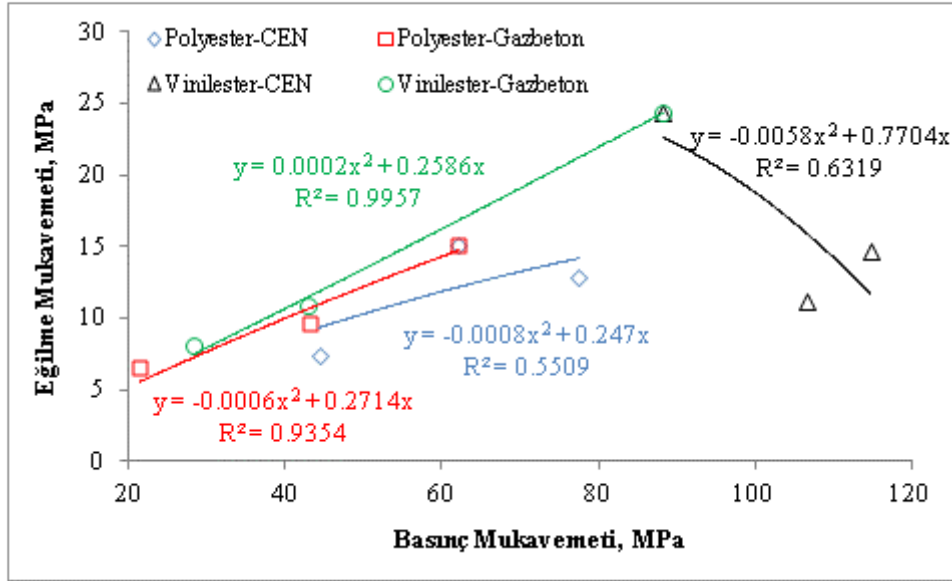
Şekil 9. Polimer betonların ultrases geçiş hızı-basınç mukavemeti değerleri ilişkisi

Eğilme dayanımı deneyi TS EN 12390-5 (2010)'e göre yapılmış olup elde edilen değerlerin değişimi Şekil 10'da verilmiştir. Tüm serilerde faz malzeme oranı artışı ile eğilme mukavemeti değerlerinde azalma elde edilmiştir.



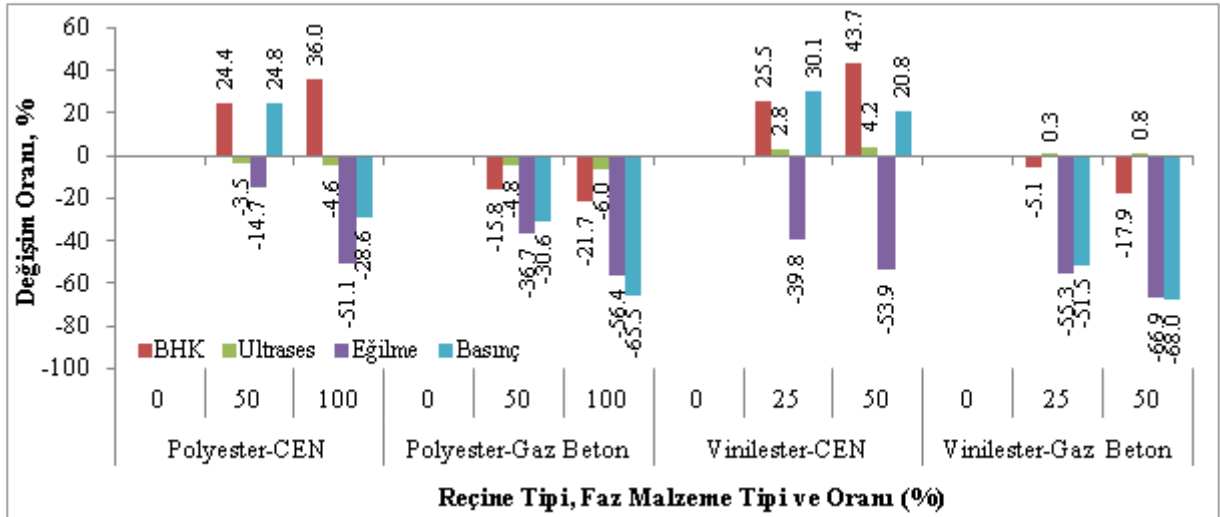
Şekil 10. Polimer betonların eğilme mukavemeti değerleri

Eğilme mukavemeti ile basınç mukavemeti değerlerinin ilişkisi incelendiğinde (Şekil 11), gazbetonun faz malzeme olarak kullanıldığı örneklerde, standart CEN kumunun kullanıldığı serilere göre daha yüksek ilişki (belirleyicilik katsayı) elde edilmiştir.

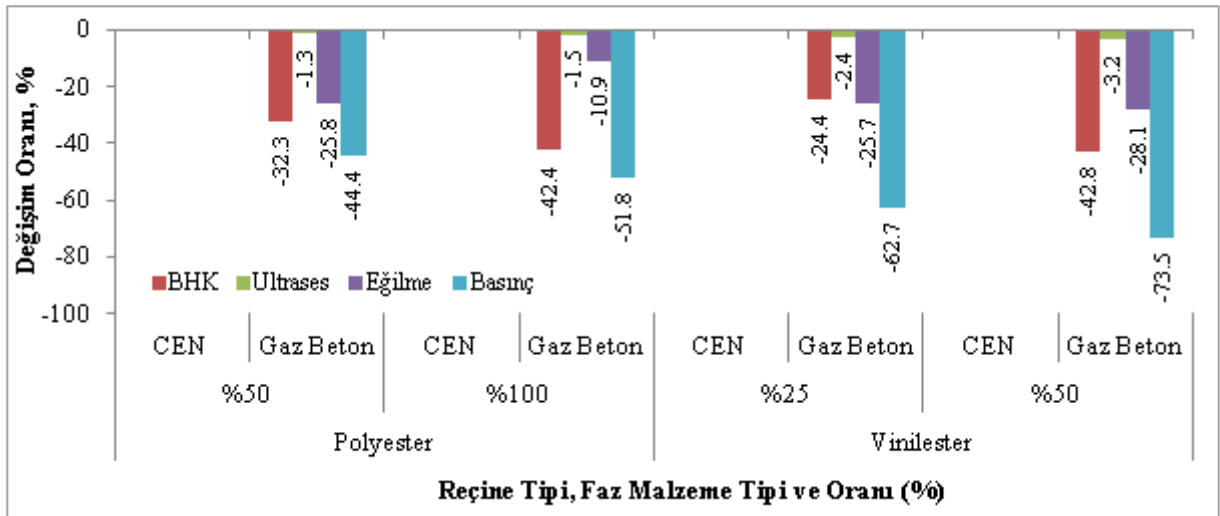


Şekil 11. Polimer betonların eğilme-basınç mukavemeti değerleri ilişkisi

Faz malzeme oranı ve tipinin polimer beton özelliklerine etkisi Şekil 12 ve 13’de verilmiştir.



Şekil 12. Faz malzeme oranının polimer beton özelliklerine etkisi



Şekil 13. Faz malzeme tipinin polimer beton özelliklerine etkisi

Şekil 12 ve 13'den elde edilen çalışma sonuçları aşağıda verilmiştir.

- Faz malzemesiz vinilesterin matris malzemesi olarak kullanıldığı serilerde, polyesterli serilere göre daha yüksek mekanik özellikler elde edilmişken (sırasıyla 62.1 ve 88.3 MPa), faz malzemeli serilerde eğilme mukavemetinde her iki faz malzeme içinde polyesterli seriden daha düşük, basınç mukavemetinde ise gazbetonlu seri daha düşük değerler elde edilmiştir.
- Gazbetonun faz malzeme olarak kullanıldığı her iki reçine tipinde de, faz malzemesizden farklı olarak birbirine yakın basınç mukavemeti değerleri elde edilmiştir (Polyesterli seri için 43.1 ve 21.4 MPa, vinilesterli seri için 42.8 ve 28.3 MPa).
- Gazbetonun faz malzeme olarak kullanıldığı tüm serilerde, standart CEN kumunun kullanıldığı serilere göre incelenen tüm özellikler daha düşüktür. Gazbetonlu serilerin BHK değerleri %24.4 ile %48.8 oranında daha düşükken, ultrases geçiş hızı değerleri önemsiz oranda (%1.3-3.2), eğilme mukavemeti değerleri %10.9- ile %28.1 oranında, basınç mukavemeti değerleri ise oldukça önemli oranlarda (%44.4 ile %73.5) standart CEN kumlu serilerden daha düşük elde edilmiştir.
- Faz malzeme oranı ile (reçine ve faz malzeme tipi ile oranından bağımsız olarak) tüm serilerin eğilme mukavemeti değerleri azalmıştır (%14.7 ile %66.9).
- Mineral oranının artmasıyla standart CEN kumu belirli oranlarda basınç mukavemetinde artış (polyester için %50 kullanımda %24.8, vinilester için her iki oranda da artmasına rağmen “%25 faz için %30.1, %50 faz için %20.8” %50 oranında kullanımında %25'e göre daha düşük) elde edilmiştir.
- Ultases geçiş hızı değerleri mineral oranının artmasıyla incelenen diğer özelliklere kıyasla çok daha az değişiklik göstermiştir (%-3.5 ile %4.2).

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Polimer betonların performans özelliklerinde matris olarak kullanılan reçine tipi ve oranı kadar, polimer betonu oluşturan faz malzemenin de kullanım oranı ile sahip olduğu fiziksel ve mekanik özellikler polimer betonların mekanik özelliklerinde (basınç, eğilme) etkilidir.

Standart CEN kumunun optimum kullanım oranı bu çalışma için polyester reçineli seride %50, vinilester reçineli seride %25'dir.

Faz malzemesiz olarak yüksek özelliklerin elde edildiği vinilester reçineli serilerde faz malzeme kullanımıyla oluşan performans kaybı oranı (performans özelliklerindeki değişim) polyester reçineli serilere göre daha yüksektir.

Gazbeton atıklarının sahip olduğu düşük fiziksel ve mekanik özelliklere bağlı olarak polyester reçineli seride kullanım oranına bağlı olarak değişse de, vinilester reçineli seride performans kaybının önemli bir kısmı (yaklaşık %50'si) %25 faz malzemesinde gerçekleşmiştir.

Her ne kadar mekanik özelliklerinde azalma elde edilmişse de gazbetonun sahip olduğu atıklarının yüksek boşluk oranı nedeniyle (%70-85 oranının boşluk içermesi), faz malzeme olarak kullanımıyla önemli miktarda polimer betonların birim hacim kütle değerleri de (%48.8'e kadar) azaltılmıştır. Elde edilen tüm betonların basınç mukavemeti 20 MPa'nın üzerinde olduğu da göz önünde bulundurulduğunda (gazbetonların basınç mukavemetleri \approx 1-5 MPa değerindedir), faz malzeme oranı ara değerlerde hazırlanarak birçok yapı elemanı ve malzemesine alternatif malzeme olarak kullanılabilir.

5. TEŞEKKÜR

4146-YL1-14 Numaralı Proje ile çalışmamızı maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri

Yönetim Birimi Başkanlığına teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

Akkurt S., 1991. Plastik Malzeme Bilgisi. Birsan Yayınevi, İstanbul

Akman, M.S. 1987. Yapı Malzemesi. İTÜ Yayınevi. İstanbul.

ASTM C 597, 1997. Standart Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. Annual Book of ASTM Standarts, s4, USA.

Ateş, E.,1994. Epoksi Polimer Betonun Makine Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Balıkesir.

Bayrak, S., 2012. Maleik Anhidrit-Akrilik Asit Kopolimeri ile Seramik Kompozinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu. Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Çorum.

Bideci, A., 2011. Polimer Kaplı Pomza Agregalarla Elde Edilen Betonların Özelliklerinin Araştırılması. Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Edirne.

Gürü, M., Yalçın, H., 2006. Malzeme Bilgisi. Palme Yayıncılık, Ankara.

Kaya, F., 1983. Plastik Katkı Maddeleri ve İşleme Metodları, Kipaş, İstanbul.

Kılıç, M., Çepelioğullar, Ö., Pütün, A. E., 2012. Plastik Atıkları Piroliz Kinetiği Parametrelerinin İzotermal Olmayan Koşullarda Belirlenmesi, Onuncu Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 3-6 Eylül 2012, Koç Üniversitesi, İstanbul.

Pişkin, A., 2010. Polimer Beton Üretiminde Cam Tozu Kullanılabilirliğinin Araştırılması.

Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans, Sakarya.

Smith, W.F., 2006. Çev. Kınıkoğlu, N.G. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği. Literatür Yayınları, İstanbul.

TS EN 196-1, 2009. Çimento deney metotları- Bölüm 1: Dayanım tayini. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.

TS EN 1015-10 (2001). Kâgir Harcı-Deney Metotları- Bölüm 10: Sertleşmiş Harcın Boşluklu Kuru Birim Hacim Kütlelerinin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-3, 2010. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımını Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS EN 12390-5, 2010. Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Topsakal, A., 2013. Polimer Betonların Bazı Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans, Isparta.