

İnce agrega ile yer değiştirmiş olan CaCO_3 takviyeli ve takviyesiz polipropilenlerin geleneksel beton özelliklerine etkilerinin incelenmesi

Examination of the effects of CaCO_3 reinforced and unreinforced polypropylenes which is substituted with a fine aggregate on traditional concrete properties

Barış ŞİMŞEK^{1*} , Tayfun UYGUNOĞLU² 

¹Kimya Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Çankırı, Türkiye.

barissimsek@karatekin.edu.tr

²İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye.

uygunoglu@aku.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 06.11.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 27.02.2018

doi: 10.5505/pajes.2018.42966

* Yazışılan yazar/Corresponding author

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Düşük yoğunluk değerine, yüksek ısı ve korozyon direncine sahip olan polipropilen gittikçe yapı malzemeleri sektörü için daha cazip hale gelmektedir. Bununla birlikte polipropilenin tek başına kullanımı yapı malzemesinin mekanik dayanımını düşürmesi bakımından bazı dezavantajlar içerir. Polipropilenin yapı malzemeleri içerisindeki uygulamalarında bu dezavantajın ortadan kaldırılması için polipropilen kompozitleri tercih edilmektedir. Bu çalışmada, CaCO_3 takviyeli polipropilen içeren betonun tanımlanan kalite ölçütleri sırası ile termal iletkenlik, elektrik direnci, 3, 7, 28 gün basınç dayanımları, 28 günlük yarmada çekme dayanımı ve su emme oranı olarak belirlenmiştir. Deneylerde ince agrega yerine %0, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında CaCO_3 takviyeli polipropilen kullanılmıştır. Dolgu CaCO_3 /PP takviyeli beton özellikleri kontrol betonu ile kıyaslandığında %34.5 daha düşük 28 günlük basınç dayanımına, %24.7 oranında daha düşük termal iletkenliğe, %50.7 daha yüksek elektrik direncine sahiptir.

Anahtar kelimeler: CaCO_3 Takviyeli PP (CaCO_3 /PP), Elektrik direnci, Polimer beton, Termal iletkenlik

Abstract

Polypropylene with low density and high heat, corrosion resistance is becoming increasingly more attractive for the building materials sector. However, the use of polypropylene alone has some disadvantages in terms of reducing the mechanical strength of the building material. Polypropylene composites are preferred in order to eliminate this disadvantage in polypropylene construction materials applications. In this study, the thermal conductivity, electrical resistance, 3, 7, 28-day compressive strength, 28-day tensile strength and water absorption ratio of concrete containing CaCO_3 -reinforced polypropylene were determined as quality criteria. In the experiments, 0%, 10%, 20%, 30% and 40% of CaCO_3 reinforced polypropylene was used instead of fine aggregate. The reinforced concrete properties of filled CaCO_3 /PP have a 28 day compressive strength of 34.5% lower than that of the control concrete, 24.7% lower thermal conductivity and 50.7% higher electrical resistance.

Keywords: CaCO_3 Reinforced PP(CaCO_3 /PP), Electrical resistivity, Polymer concrete, Thermal conductivity

1 Giriş

Polipropilen (PP); polietilen ve polivinil klorürden sonra en çok üretilen yapılan beş genel amaçlı plastikten biridir. PP; düşük yoğunluk, yüksek ısı kararlılık, yüksek korozyon direnci, yüksek ısı ile işleme kolaylığı, toksik olmaması ve yüksek parlaklık gibi pek çok avantajı nedeniyle plastik endüstrisinde en çok tercih edilen ürünlerden biridir [1]. Bununla birlikte, yüksek kalıp büzülme oranı, düşük sıcaklıkta zayıf darbe direnci [2], kolay yıpranma, UV ışınımı dayanımının düşük olması ve yüksek termal genişleme davranışı göstermesi bakımından PP bazı dezavantajlara sahiptir. Bu dezavantajları yapı malzemelerindeki uygulamalarını etkilemektedir [1].

Katı inorganik dolgu maddelerinin PP'ye eklenmesi, plastik endüstrisinde üretim maliyetlerini düşürmek, tokluk, sertlik, boyutsal kararlılık ve ısı performansını artırmada yaygın bir uygulamadır [2]. Kimyasal yöntemler PP'nin moleküler yapısını değiştiren kopolimerleştirme, aşılama ve çapraz bağlama, fiziksel yöntemler ise PP kompozitleri olarak adlandırılan bileşenleri değiştiren harmanlama ve dolgu uygulamalarını içermektedir. Liflerin PP matrisine eklenmesi, PP'nin mekanik ve termal özelliklerini iyileştirmenin etkili bir yoludur. PP için kullanılan lif takviyeleri genel olarak cam elyaf, selüloz (doğal)

elyaf ve sentetik organik elyaf olmak üzere üç gruba ayrılabilir [1]. Cam elyaf takviyeli PP kompozitleri otomotiv ve havacılık endüstrisinde kullanılmaktadır, ancak yüksek yoğunluğa, yetersiz termal iletkenlik ve kararlılığa sahip olması en büyük dezavantajıdır [3]. Ayrıca, bu ürünün geri dönüşümü oldukça zordur. Selüloz elyafının doğal bir hammadde kaynağıdır ve düşük maliyeti vardır [4], ancak selüloz elyaf takviyeli PP kompozitler neme karşı zayıf dirençlidir [5]. Karbon, polietilen, polietilen teraftalat (PET) sentetik organik elyafları, cam elyaf ile karşılaştırıldığında yüksek sıcaklıkta daha iyi işleme ve kolay geri dönüştürme özelliğine sahiptir [3].

Liflerin yanı sıra silika [6], CaCO_3 [7], talk [8], kil [9], karbon tüpleri ve grafen gibi [10] dolgu maddeleri PP'nin küresel morfolojik yapısı sebebi ile oluşan mekanik dayanım kayıplarını gidermek için yaygın olarak kullanılmaktadır [11]. Yüzey modifiye dolgu takviyeli PP kompozitler, iyi dispersiyon ve matris ile gelişmiş etkileşim nedeniyle genellikle daha iyi performans gösterir [1]. CaCO_3 'ün nanotüp ve grafene göre daha az maliyetli, silikaya göre daha az toksik ve talk'a göre daha yüksek darbe dayanımı [12] göstermesi nedeni ile en çok kullanılan dolgu malzemesidir.

CaCO_3 takviyeli PP (CaCO_3 /PP) kompozitlerle ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Hamid Essabir ve diğ. 2017'de PP

kompozitlerin biyolojik ve mineral özellikleri üzerine kalsiyum karbonatın etkisini [13], Zhongqiang Xiong ve diğ. 2017'de tek eksenli gerilim ve üç noktalı eğilme altında CaCO₃/PP kompozitlerinin mekanik davranışını [14], Estevao Mestres do Nascimento ve diğ. 2016'da ısı işleminin CaCO₃/PP nanokompozitlerin darbe direnci ve mekanik özelliklerine etkisini [15] analiz etmişlerdir. Benzer şekilde, PP katkılı beton özellikleri ile ilgili de birçok çalışma yapılmıştır. Cristian Maluk ve diğ. 2017'de PP lif tipinin ve dozunun ısının neden olduğu beton dökülme eğilimine etkisini [16], Yermak ve diğ. 2017'de çelik ve PP liflerin yüksek sıcaklıktaki beton davranışını üzerindeki etkisini [17], Saber Fallah ve diğ. 2017'de PP liflerinin, nano-silika ve silis dumanı içeren yüksek mukavemetli betonun mekanik özellikleri ve dayanıklılığı üzerine etkisini [18], Sadiqul Islam ve diğ. 2016'da PP lif takviyeli betonun plastik çekme ve geçirimsizliğini analiz etmişlerdir [19].

CaCO₃ takviyeli beton özellikleri ile ilgili yapılan çalışmalar şöyle sıralanabilir. Kim ve diğ. 2013'te kalsiyum karbonat katkılı normal ve hafif betonun *sporosarcina pasteurii* ve *Bacillus sphaericus* bakterileri ile mikrobiyolojik aktivitesi [20], Shahrooz Amidi ve diğ. 2015'te beton tuğlaların kalsiyum karbonat çökeltimi ile yüzey işlemesi [21], Xuan ve diğ. 2016'da geri dönüşümden elde edilen karbonatlı beton agregaların mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi [22], Lertwattanaruk ve diğ. 2018'de kalsiyum karbonat tozu ile işlenmemiş pirinç kabuğunun kendinden yerleşen betonun taze ve sertleştirilmiş özellikleri üzerine etkileri [23] çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir.

Bu çalışmada CaCO₃/PP'nin beton içerisindeki özellikleri literatürde ilk defa çok yönlü araştırılmıştır. Bu amaçla; ısı yalıtımı hakkında bize bilgi veren termal iletkenlik, betonun korozyon direnci hakkında bize bilgi veren elektrik direnci, 3, 7, 28 günlük basınç dayanımı, 28 günlük yarmada çekme dayanımı ve su emme oranı CaCO₃/PP'nin içeren kalite kriterleri olarak seçilmiştir. Bu kriterler üzerindeki CaCO₃/PP'nin etkisinin açığa çıkarılması amaçlanmıştır.

2 Malzeme ve yöntem

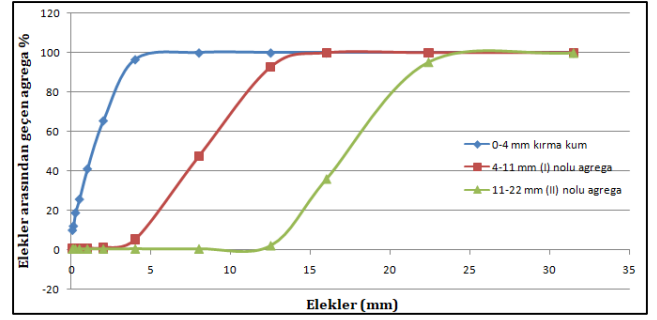
2.1 Malzeme

Tüm deneylerde bağlayıcı olarak 450 kg CEM I 42.5 R çimento (C) ve 50 kg F sınıfı uçucu kül (A) kullanılmıştır. Çimento Bolu Çimento firmasından, uçucu kül ise Zonguldak Çatalağzı termik santralinden temin edilmiştir. Çimento ve uçucu külün kimyasal bileşimi Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Çimento ve uçucu külün kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşenler	Çimento	Uçucu Kül
CaO	65.79	7.11
SiO ₂	20.98	59.21
Al ₂ O ₃	6.08	21.2
Fe ₂ O ₃	3.04	7.14

Kimyasal katkı olarak BASF firmasından temin edilen MasterGlenium 150 polikarboksilik eter bazlı süper akışkanlaştırıcı (SP) kullanılmıştır. Çalışmada agrega olarak Yenikent agrega ocaklarından temin edilen alkali silika reaksiyonları açısından zararsız 0-4 mm kırma kum (FA), 4-11 mm I No.lu kaba agrega (CAI) ve 11-22mm II No.lu kaba agrega (CAII) kullanılmıştır. Kullanılan agregaların su emme miktarları ince agrega için 2.34% ve kaba agrega için 2.43% olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan agregaların granülometri eğrisi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Agrega granülometri eğrisi.

Bu çalışmada kullanılan CaCO₃/PP teknik özellikleri ve test sonuçları Tablo 2 ve Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 2: CaCO₃ takviyeli PP'nin teknik özellikleri.

Tanımlı	Kalsiyum Karbonat (CaCO ₃) Dolgu Polimer
Taşıyıcı tipi	PP
Renk	Opak
Boyut	1.5*3.5mm granül
Dolgu tipi	Kalsiyum Karbonat (CaCO ₃)
Dolgu kullanım oranı	%70
Tane boyutu	Maks. 4 mm

Tablo 3: CaCO₃/PP ve PP ile ilgili test sonuçları.

Kriter	Metot	Birim	CaCO ₃ /PP	PP
Akışkanlık	ASTM D 1238	g/10min	3-6	1-2
Yoğunluk	ASTM D 792	g/ml	1.76-1.80	0.90
Nem tayini	-	%	Maks. 0.3	0.1
Mineral oranı	ISO 3451-1	%	69-71	-
Kopmada gerilme dayanımı	D 638	MPa	85	45
Sertlik	D1415	shore	78	70
Eğilme dayanımı	D 790	MPa	340	300
Kopmada uzama	D 638	%	70	>50

2.2 Yöntem

CaCO₃/PP içeren betonun 3 (f₃), 7 (f₇), ve 28 günlük (f₂₈), basınç dayanımları EN 12390/3 [24], 28 günlük yarmada çekme dayanımı (ST₂₈), EN 12390/6 [25], 28 günlük su emme yüzdesi ise (WA) EN 12390/7 standardına göre belirlenmiştir [26].

Bu çalışmada üretilen CaCO₃/PP içeren betonun termal iletkenliği (TC) ASTM C 1113 standardında belirtilen sıcak tel metodu ile TCI- termal iletkenlik analizör modeli cihaz kullanılarak belirlenmiştir [27].

Betonun elektriksel direnci, gözenek büyüklüğü dağılımı, doyunluk derecesi, gözenek sıvısı iletkenliği ve sıcaklıktan etkilenir. İki prob yöntemi, laboratuvar temelli kalite kontrol testlerinde bulk elektrik direncini ölçmek için basit ama güvenilir bir yöntemdir. Fiziksel ve mekanik testler için hazırlanan aynı beton numuneleri öz direnç ölçümü için kullanılabilir. Ölçümlerde beton numunesi, uygun elektrik bağlantısını sağlamak için ara yüzeylerde nemli sünger kontakları bulunan iki paralel metal plaka arasına yerleştirilmiştir. Daha sonra DC akım (doğru akım) uygulanmış ve elektrotlar arasındaki beton direnci ölçülmüştür.

CaCO₃/PP içeren betonun elektrik direnci (ER) iki prob metodu ile oda sıcaklığında aşağıdaki formül ile belirlenmiştir [28].

$$\rho = \frac{RS}{L} \quad (2)$$

ρ simgesi ohm * m olarak elektrik direncini, L iç elektrot mesafesini, S elektrot iletim alanını, R ise Ω olarak ölçülen direnci temsil etmektedir [28]. Elektrik direnci betonun korozyon riski hakkında bilgi verir ve düşük korozyon riski için yüksek elektrik direnci tercih edilir [29].

Çalışmada kullanılan toplam agrega miktarı 1m³ beton için 1508 kg'dır. (I) ve (II) No.lu kaba agrega miktarı toplamı ise 610 kg'dır. Betonun belirlenen kalite ölçütleri üzerinde CaCO₃/PP kompozitlerinin etkisinin belirlenmesi için kontrol betonu dâhil olmak üzere sırası 898 kg ince agrega yerine ağırlıkça %10, 20, 30 ve 40 oranlarında CaCO₃/PP kullanılmıştır.

Deneylerde ilk önce 120 litrelik laboratuvar tipi karıştırıcıya agrega, çimento, uçucu kül ve CaCO₃/PP katılmıştır. Suyun 2/3'ü ile bu karışım karıştırılmış ve ön karışım elde edilmiştir. Daha sonra bu ön karışıma suyun geri kalanı ile süper akışkanlaştırıcı eklenmiştir. Her bir karışım için taze beton deneyleri gerçekleştirilmiş ve sertleşmiş beton deneyleri için her deneyde üç numune hazırlanmıştır (Şekil 2). Beton numune kalıpları EN 12390-1 standardına göre 150mmX150mmX150mm boyutlarında alınmıştır [30].



Şekil 2: a. CaCO₃/PP kompoziti, b. Üretilen numuneler.

3 Deneysel sonuçlar

Tüm deneylerde 450 kg çimento (C), 120 kg uçucu kül (A), 0.45 oranında su-çimento (W/B) ve süper plastikleştirici, (SP) (100 gr bağlayıcı için tanımlanmıştır) %1.25 oranında kullanılmıştır. Beton karışım oranları Tablo 4'te özetlenmiştir. Yapılan taze ve sertleşmiş beton deneylerinin sonuçları Tablo 5 ve 6'te yer almaktadır.

Tablo 4: Beton karışım oranları.

No	C Kg	A Kg	W/B	SP %	CaCO ₃ /PP %	FA %	CAI %	CAII %
0	450	120	0.45	1.25	0	60	20	20
1	450	120	0.45	1.25	10	50	20	20
2	450	120	0.45	1.25	20	40	20	20
3	450	120	0.45	1.25	30	30	20	20
4	450	120	0.45	1.25	40	20	20	20

Tablo 5: Taze beton deney sonuçları.

No	Islak birim ağırlık kg/m ³	Kuru birim ağırlık kg/m ³	S cm
0	2419	2370	15
1	2351	2316	14
2	2310	2275	15
3	2260	2240	14
4	2230	2201	14

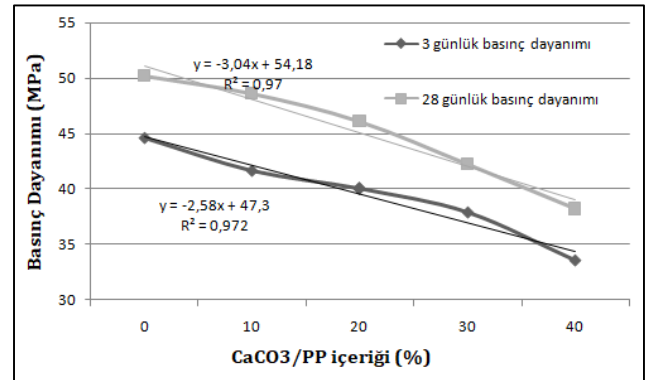
Tablo 6: Sertleşmiş beton deney sonuçları.

No	f ₃ MPa	f ₇ MPa	f ₂₈ MPa	ST ₂₈ MPa	WA %	TC W/m*K	ER Ohm* m
0	44.6	50.2	60.3	2.00	1.8	1.54	396.2
1	41.7	48.6	55.7	1.83	1.5	1.38	410.2
2	40.0	46.1	49.6	4.67	1.5	1.30	419.0
3	37.9	42.2	46.3	2.45	0.9	1.23	464.4
4	33.6	38.2	39.5	3.12	1.3	1.16	597.0

4 Tartışma ve sonuç

4.1 Faktör etkileri analizi

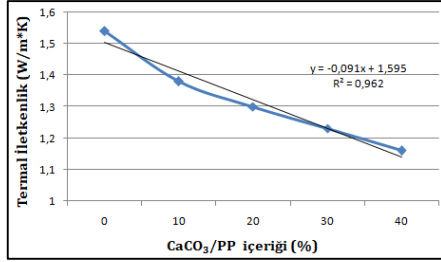
Şekil 3'te görüldüğü gibi betonda CaCO₃/PP içeriği arttıkça erken dayanımı temsil eden 3 ve 28 günlük basınç dayanımının azaldığı görülmektedir. Betonun 7 günlük basınç dayanımı da benzer şekilde betondaki CaCO₃/PP içeriği arttıkça azalmıştır.



Şekil 3: 3 ve 28 günlük basınç dayanımı değişimi.

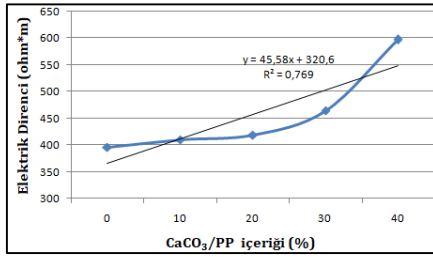
Saikia ve De Brito [31] %15 PP içeren betonun kontrol betonuna karşın 28 günlük basınç dayanımında yaklaşık %20 oranında bir basınç dayanım kaybı gözlemlenmiştir. Şekil 3'te yer alan dorusal regresyon modelinden yararlanarak %15 CaCO₃/PP içeren betonun 28 günlük basınç dayanımı yaklaşık olarak 47.35 MPa olarak tahmin edilir. Böylelikle, %15 CaCO₃/PP içeren betonun kontrol betonuna karşın 28 günlük basınç dayanımında yaklaşık %5.6 oranında bir basınç dayanım kaybı meydana geldiği söylenebilir. Bu sonuç, PP'nin CaCO₃ dolgusu ile betonda PP'nin yol açtığı mekanik dayanım kaybını oldukça azalttığını gösterir.

Şekil 4'te görüldüğü gibi CaCO₃/PP'nin betona termal yalıtkanlık sağladığı görülmektedir. Fretenalive diğ. [32] hacimce %1 oranında ekledikleri PP lifler ile betonun termal iletkenliğinde yaklaşık %20 oranında bir azalma belirlemişlerdir. Bu çalışmada %40'lık CaCO₃/PP ilavesi ile yaklaşık olarak %24 oranında termal iletkenlikte azalma elde edilmiştir. Elbette; PP'nin CaCO₃ ile dolgulu olması ve şeklen lif değil granül olması termal iletkenlik değerindeki azalmayı engellemiştir.



Şekil 4: Termal iletkenlik değişimi.

Şekil 5'te görüldüğü gibi CaCO₃/PP'nin betona elektrik yalıtkanlık sağladığı görülmektedir. Afroughsabet ve Ozbakkaloğlu [33] ağırlıkça en fazla %1 oranında 12 mm kalınlığında PP lifleri taze beton karışımına eklemişlerdir. Elektrik direncinde çok az bir değişim elde etmişlerdir. Bu çalışmada granül halindeki CaCO₃/PP'nin sadece %10 mertebesinde dahi betona elektrik direnci sağladığı görülmektedir.

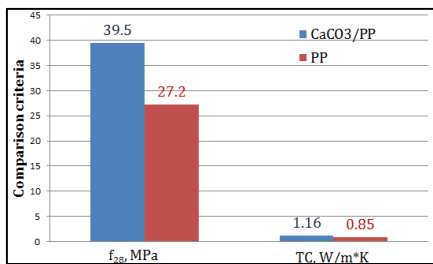


Şekil 5: Elektrik direnci değişimi.

Yapılan regresyon analizi uygulamasıyla çökme-yayımla değeri, su emme yüzdesi ve yarmada çekme dayanımı ürün ölçütleri için elde edilen regresyon katsayıları düşük bulunduğundan anlamlı bir analiz yapılamamıştır.

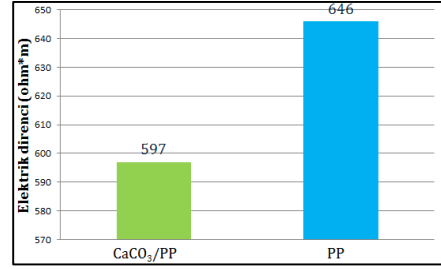
4.2 CaCO₃/PP kompozitlerinin PP ile kıyaslanması

Dolgulu polimerlerin saf polimerler ile kıyaslanması için %40 oranında ince agrega yerine polipropilen içeren beton özellikleri aynı oranda CaCO₃/PP içeren beton özellikleri ile kıyaslanmıştır. Aynı oranda CaCO₃/PP içeren beton saf PP içeren betona kıyasla %45.22 daha yüksek 28 günlük basınç dayanımına, %36.47 oranında daha yüksek termal iletkenliğe sahiptir (Şekil 6).



Şekil 6: Karşılaştırma ölçütleri.

Aynı oranda CaCO₃/PP içeren beton saf PP içeren betona kıyasla %12.5 daha düşük elektrik direncine sahiptir (Şekil 7).



Şekil 7: Elektrik direncinin kıyaslanması.

5 Sonuçlar

CaCO₃/PP takviyeli beton kompozitlerinin termal iletkenlik, elektrik direnci ve mekanik özelliklerinin analizinin gerçekleştirildiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Dolgulu CaCO₃/PP içeren beton özellikleri kontrol betonu ile karşılaştırıldığında %34.5 daha düşük 28 günlük basınç dayanımına, %24.7 oranında daha düşük termal iletkenliğe, %50.7 daha yüksek elektrik direncine sahiptir,
2. Sonuçlar %40 CaCO₃/PP içeren betonun kontrol betonuna karşın %24.6 daha düşük, %40 PP içeren betona karşın ise %45.22 daha yüksek termal iletkenliğe sahip olduğu belirlenmiştir,
3. Sonuçlar %40 CaCO₃/PP içeren betonun kontrol betonuna karşın %50.6 daha yüksek, %40 PP içeren betona karşın ise %7.5 daha düşük elektrik direnci sahip olduğu belirlenmiştir,
4. CaCO₃ içeriği betonun basınç dayanım kaybında yaklaşık %20.3 iyileşme sağlamıştır,
5. Plastik agregaların en büyük dezavantajı olan mekanik dayanım kaybına bu plastik agregaların dolgulu kompozitlerinin kullanılması ile çözüm bulunabilir.

6 Kaynaklar

- [1] Ke F, Jiang X, Xu H, Ji J, Su Y. "Ternarynano-CaCO₃/poly (ethyleneterephthalate) fiber/polypropylene composites: Increased impact strength and reinforcing mechanism". *Composites Science and Technology*, 72(5), 574-579, 2012.
- [2] Karamipour S, Ebadi-Dehaghani H, Ashouri D, Mousavian S. "Effect of nano-CaCO₃ on rheological and dynamic mechanical properties of polypropylene: Experiments and models". *Polymer Testing*, 30(1), 110-117, 2011.
- [3] Papageorgiou DG, Terzopoulou Z, Fina A, Cuttica F, Papageorgiou GZ, Bikiaris DN, Chrissafis K, Young RJ, Kinloch IA. "Enhanced thermal and fire retardancy properties of polypropylene Reinforced with a hybrid graphene/glass-fibre filler". *Composites Science and Technology*, 116, 95-102, 2018.
- [4] Vilaseca F, Méndez JA, López JP, Vallejos, ME, Barberà L, Pèlach MA, Turon X, Mutjé P. "Recovered and recycled Kraft fibers as reinforcement of PP composites". *Chemical Engineering Journal*, 138, 586-595, 2008.

- [5] Karmaker AC. "Effect of water absorption on dimensional stability and impact energy of jute fibre Reinforced polypropylene" *Journal of Materials Science Letters*, 16, 462-464, 1997.
- [6] Fallah S, Nematzadeh M. "Mechanical properties and durability of high-strength Concrete containing macropolymeric and polypropylene fibers with nano-silica and silica fume". *Construction and Building Materials*, 132, 170-187, 2017.
- [7] Yang K, Yang Q, Li G, Sun Y, Feng D. "Mechanical properties and morphologies of polypropylene with different sizes of calcium carbonate particles". *Polymer Composites*, 27, 443-450, 2006.
- [8] Ashenai Ghasemi F, Ghasemi I, Menbari S, Ayaz M, Ashori A. "Optimization of mechanical properties of polypropylene/talc/graphene Composites using response surface methodology". *Polymer Testing*, 53, 283-292, 2016.
- [9] Beuguel Q, Ville J, Crepin-Leblond J, Mederic P, Aubry T. "Influence of clay mineral structure and polyamide polarity on the structural and morphological properties of clay polypropylene/polyamide nanocomposites". *Applied Clay Science*, 135, 253-259, 2017.
- [10] Menbari S, Ashenai Ghasemi F, Ghasemi I. "Simultaneous improvement in the strength and toughness of polypropylene by incorporating hybrid graphene/CaCO₃ reinforcement". *Polymer Testing*, 54, 281-287, 2016.
- [11] Bakar AA, Rosli NNM. "Effect of nano-precipitated calcium carbonate on mechanical properties of PVC-U/acrylic blend". *Jurnal Teknologi*, 45(1), 83-93, 2012.
- [12] Lapcik L, Jindrova P, Lapcikova B, Tamblyn R, Greenwood R, Rowson N. "Effect of the talc filler content on the mechanical properties of polypropylene composites". *Journal of Applied Polymer Science*, 110, 2742-2747, 2008.
- [13] Essabir H, Bensalah MO, Rodrigue D, Bouhfid R, Qaiss A. "A comparison between bio-and mineral calcium carbonate on the properties of polypropylene composites". *Construction and Building Materials*, 134, 549-555, 2017.
- [14] Xiong Z, Li Y, Pan L, Yu J, Lu S. "An analytical study of mechanical behavior of polypropylene/calcium carbonate Composites under uniaxial tension and three-point bending". *Composite Structures*, 171, 370-381, 2017.
- [15] Nascimento EM, Eiras D, Pessan LA. "Effect of thermal treatment on impact resistance and mechanical properties of polypropylene/calcium carbonate nanocomposites". *Composites Part B: Engineering*, 91, 228-234, 2016.
- [16] Maluk C, Bisby L, Terrasi GP. "Effects of polypropylene fibre type and dose on the propensity for heat-induced Concrete spalling". *Engineering Structures*, 141, 584-595, 2017.
- [17] Yermak N, Pliya P, Beaucour AL, Simon A, Noumowé A. "Influence of steel and/or polypropylene fibres on the behaviour of concrete at high temperature: Spalling, transfer and mechanical properties". *Construction and Building Materials*, 132, 240-250, 2017.
- [18] Fallah S, Nematzadeh M. "Mechanical properties and durability of high-strength Concrete containing macropolymeric and polypropylene fibers with nano-silica and silica fume". *Construction and Building Materials*, 132, 170-187, 2017.
- [19] Islam GS, Gupta SD. "Evaluating plastic shrinkage and permeability of polypropylene fiber Reinforced concrete". *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(2), 345-354, 2016.
- [20] Kim HK, Park SJ, Han JI, Lee HK. "Microbially mediated calcium carbonate precipitation on normal and lightweight concrete". *Construction and Building Materials*, 38, 1073-1082, 2013.
- [21] Amidi S, Wang J. "Surface treatment of Concrete bricks using calcium carbonate precipitation". *Construction and Building Materials*, 80, 273-278, 2015.
- [22] Xuan D, Zhan B, Poon CS. "Assessment of mechanical properties of Concrete incorporating carbonated recycled Concrete aggregates". *Cement and Concrete Composites*, 65, 67-74, 2016.
- [23] Lertwattanaruk P, Sua-iam G, Makul N. "Effects of calcium carbonate powder on the fresh and hardened properties of self-consolidating concrete incorporating untreated rice husk ash". *Journal of Cleaner Production*, 172, 3265-3278, 2018.
- [24] Türk Standartları Enstitüsü. "Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini", Ankara, Türkiye, 12390-3, 2010.
- [25] Türk Standartları Enstitüsü. "Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini", Ankara, Türkiye, 12390-6, 2010.
- [26] Türk Standartları Enstitüsü. "Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş beton yoğunluğunun tayini". Ankara, Türkiye, 12390-7, 2010.
- [27] American Society for Testing and Materials International. "Standard Test Method for Thermal Conductivity of Refractories by Hot Wire (Platinum Resistance Thermometer Technique)". West Conshohocken, USA, C1113/M-09, 2013.
- [28] Wang H, Yang J, Liao H, Chen X. "Electrical and mechanical properties of asphalt Concrete containing conductive fibers and fillers". *Construction and Building Materials*, 122, 184-190, 2016.
- [29] Lübeck A, Gastaldini ALG, Barin DS, Siqueira HC. "Compressive strength and electrical properties of Concrete with white Portland cement and blast-furnace slag". *Cement and Concrete Composites*, 34(3), 392-399, 2012.
- [30] Türk Standartları Enstitüsü. "Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri". Ankara, Türkiye, 12390-1, 2010.
- [31] Saikia N, de Brito J. "Mechanical properties and abrasion behaviour of Concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate". *Construction and Building Materials*, 52, 236-244, 2014.
- [32] Fraternali F, Ciancia V, Chechile R, Rizzano G, Feo L, Incarnato L. "Experimental study of the thermo-mechanical properties of recycled PET fiber-reinforced concrete". *Composite Structures*, 93, 2368-2374, 2011.
- [33] Afroughsabet V, Ozbakkaloglu T. "Mechanical and durability properties of high-strength Concrete containing steel and polypropylene fibers". *Construction and Building Materials*, 94, 73-82, 2015.