



DÜŞÜK MALİYET VE YÜKSEK ENERJİ TASARRUFUNA SAHİP TERMAL BOYA ÜRETİMİ

Şenay BALBAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Atık Yönetimi Bölümü, Bilecik, TÜRKİYE
senay.balbay@bilecik.edu.tr

(Geliş/Received: 06.11.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 07.05.2020)

ÖZ: Çalışmada özellikle sac kaplı çatılar için 4 farklı firmaya ait Ticari Termal Boyalardan(TTB) daha yüksek ısı yalıtım özelliğine sahip termal boya üretilmesi amaçlanmıştır. İlk olarak karbon esaslı malzemelerin (grafit ve Geri Kazanılmış Karbon Siyahı(GKKS)) ısı yalıtımı üzerine etkisi incelenmiştir. İkinci olarak silisyum esaslı malzemelerin(Perlit(PE) ve Cam tozu(C)) ısı yalıtımı üzerine etkisi belirlenmiştir. Son olarak ticari boyalar ve en iyi sonuçların alındığı (PE-20 ve PE0-C20) boyaların fonksiyonel yapılarını belirlemek üzere FT-IR analizleri yapılmıştır. PE-20 ve PE0-C20 boyalar kullanılarak kaplanmış saclara fiziksel testler (yapışma ve darbe testleri) uygulanmıştır. PE0-C20'in 31 °C alt sıcaklık değeri hem ticari termal boyaların sıcaklık değerinden daha düşük ve hem de literatürde verilen serin boya sıcaklık değeri (28-33°C) içerisinde yer almıştır. Galvaniz kaplanmış sacın alt yüzey sıcaklık değeri esas alınarak TTB1, TTB2, TTB3 ve PE0-C20'in sırasıyla ısı tasarrufu değerleri %9, %6, %9 ve %12'dir. TTB3'ün sadece bir yüzeyi değil tüm binada toplam % 40 enerji tasarrufu sağladığı bilgisine karşılık PE0-C20'in tüm binada tahmini olarak %50-60 enerji tasarrufu sağlaması beklenmektedir. İçerisinde mikro seramik kürecikler bulunan TTB1, cam tozu kullanılarak üretilen PE0-C20'den daha az ısı tasarrufu sağlamıştır. Sonuç olarak cam tozu kullanılarak üretilen boya, TTB'dan daha fazla enerji tasarrufu sağlamakta ve aynı zamanda yaklaşık 2-2,5 kat daha ucuz olduğundan dolayı ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Serin çatı, albedo etkisi, termal boya, ısı yalıtımı, enerji tasarrufu

Thermal Paint Production with High Energy Saving and Low Cost

ABSTRACT: The aim of the study was to produce thermal paints with higher thermal insulation properties than Commercial Thermal Paints (CTP) of 4 different companies, especially for sheet metal roofs. Firstly, the effect of carbon based materials (graphite and recycled carbon black) on heat insulation was investigated. Secondly, the effect of silicon based materials (Perlite (PE) and Glass powder (G)) on thermal insulation was determined. Finally, commercial paints and paints obtained by the best results (PE-20 and PE0-C20) were subjected to FT-IR analysis and physical tests (adhesion and impact tests) on coated sheets using these paints. The lower temperature of PE0-C20 is lower than the temperature of commercial thermal paints and is also within the cool paint temperature (28-33 ° C) given in the literature. The heat saving values of TTB1, TTB2, TTB3 and PE0-C20 based on the surface temperature of the galvanized sheet are 9%, 6%, 9% and 12%, respectively. Despite the fact that TTB3 saves not only one surface but 40% energy in the whole building, PE0-C20 is expected to save 50-60% energy in the whole building. TTB1 with micro ceramic beads has less heat saving than PE0-C20 produced by using glass powder. As a result, the paint produced by using glass powder will save more energy than TTB and will also contribute to the national economy as it is about 2-2.5 times cheaper.

Key Words: Cool roof, albedo effect, thermal paint, heat insulation, energy saving

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda, konut ve çalışma alanlarında enerji tasarrufu amacıyla çeşitli yaklaşımların önemi, küresel ısınma ve elektrik enerjisi talebindeki endişelerin bir sonucu olarak artmıştır(Oda ve diğ., 2014). Dünyanın enerji talebi yıllık ortalama % 1,2 oranında artmaktadır (Zhang ve diğ., 2017). Türkiye’de binalardaki enerji tüketiminin % 15’i sıcak su temini, aydınlatma, elektrikli ev aletleri içindir ve kalan % 85’i soğutma ve ısıtma amacıyla harcanmaktadır. Enerji kaynaklarının verimli kullanılması gerektiği açıktır. Isı hareket sisteminin genişletilmesi ile birlikte yaklaşık 7,5 milyar dolar enerji tasarrufu mümkündür. Verimli kullanılmayan enerji, enerji israfına, ithalatına ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Günümüz binalarındaki enerji tasarrufunun en önemli kısmı ise ısı enerji tasarrufudur(Binici ve Kalaycı, 2015). Soğutma ve ısıtma kaygılarıyla ilgili önlemler özellikle önem kazanmıştır. Binaların inşaatı için yeni ısı yalıtım malzemelerinin geliştirilmesi, enerji kaynakları ve CO₂ emisyonlarının israfını azaltabilmektedir (Oda ve diğ., 2014; Zhang ve diğ., 2017).

Konut soğutması için enerji tüketimi, dünya genelinde artan bir eğilim göstermektedir ve bu nedenle, yalnızca sıcak iklim koşullarıyla karakterize edilen ülkeler için değil, aynı zamanda sıcak ada etkisinden muzdarip olan şehirler için de birincil öneme sahiptir. Gündelik ortalama hava sıcaklığı ve çevresindeki kırsal alanlardan 2-5 °C daha yüksek olan kentsel ısı adaları, dünyadaki birçok şehirde mevcuttur(Synnefa ve diğ., 2007). Soğutma için elektrik enerji talebinin artması, daha fazla fosil yakıt yakmaya zorlayan ve aynı zamanda enerji maliyetlerini ve kirlilik seviyelerini artıran en yüksek elektrik şebekesi yüklerini de arttırmaktadır. Koyu kızilötesi estetiğin tercih edildiği durumlarda, yakın kızilötesiyle oldukça yansıtıcı olan yeni serin renkli malzemeler geliştirilmektedir. Serin ve konvansiyonel renk uyumlu bir kaplamanın güneş yansımaları arasında 10,2 °C’lik maksimum gelen yüzey sıcaklık farkı bulunmuştur(Synnefa ve diğ., 2007). Enerji tüketimini azaltmak için kullanılacak stratejilerden biri sadece cepheleri değil aynı zamanda binaların çatılarını serin boyalar adı verilen özel kaplamalarla kaplamaktır(Dias ve diğ., 2014). Son zamanlarda, enerji tasarrufu performansını artırabilen ısıya dayanıklı veya ısı yalıtımlı boya uygulamasının geleneksel yalıtım malzemeleri uygulama tekniğinden farklı olarak yeni bir enerji tasarrufu tekniği olarak kullanılabilmesi yönünde artan bir beklenti vardır(Oda ve diğ., 2014).

Yüzeye çarpan güneş ışığının atmosfere yansıyan kısmından kaynaklanan elektromanyetik enerjii yansıtma kapasitesi albedo (yansıtılabilirlik) olarak tanımlanır (Tozam ve Karaca, 2018). Güneş yansımalarını artırılarak yüzeyin sıcaklığını düşürülmektedir. Güneş ışınımı absorbe edilmek yerine yansıtıldığında binaya giren ısı azaltılmaktadır. Böylece yaz aylarında, klimalı bir binada daha düşük soğutma yükleri veya bina klimalı değilse daha konforlu termal koşulların oluşması sağlanmış olur (Synnefa ve diğ., 2007).

Isı yansıtıcı boyaların (serin boyalar) asıl kullanımı, görünen rengi değiştirmeden güneş ışığına maruz kalan yüzeylerde kızilötesi radyasyonun emilimini azaltmaktır. Isı yansıtıcı boyalar son yirmi beş yıldır kullanılmaktadır. Sıcaklık kontrolü için düşük enerji kullanımı sayesinde önemli maliyet tasarrufu sağlamak amacıyla endüstriyel ve mimari uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. Isı yansıtan boyalar genellikle binalarda güneş ışınlarından kaynaklanan ısı yükünü azaltmak için dış boya olarak kullanılmaktadır. Isı yansıtıcı boyaların reklamı, çoğu zaman yalıtım özelliklerini ifade etmektedir. Boya filmlerinden ısı akışını kısıtlamak, ısı yansıtıcı boyaların faydalarının önemli bir parçası değildir. Binalardaki güneş ısı yükünü azaltmaya ilişkin en önemli faktör termal iletkenlik değil dış yüzeyin toplam güneş yansımasıdır. Bu boyaların çoğunda kızilötesi radyasyonu yansıtmak için silika/seramik mikro küreler kullanılmaktadır. Çalışmada boyaların nasıl işlev gördükleri açıklanmıştır. Elde edilen veriler, bu boyaların neredeyse hiçbir yalıtkan etkisinin olmadığını göstermiştir. Bilimsel ya da mühendislik açısından literatürde bu alan pek ele alınmamıştır (Pocket, 2010).

Sıfır enerji tüketimi ile çalışma ortamını iyileştirmek için iç alt tabaka ve enerji tüketimini azaltmak amacıyla ısı yalıtım kaplamaları kullanılarak güneş ısı etkili bir şekilde önlenabilir. Tek tip ısı yalıtım kaplamasının ısı yalıtım etkisi sınırlıdır, bu nedenle birbirlerinin avantajlarını tamamlamak için iki veya daha fazla tür yalıtım mekanizmasının birlikte kullanılması gereklidir(Zhang ve diğ., 2017). Isı yalıtım kaplamaları temel olarak matriste dağılmış fonksiyonel bir dolgu malzemesi olan bir bağlayıcıdan oluşur. Dolgu, “durgun” hava içerecek şekilde yapılmıştır ve böylece, kaplamanın yalıtım özelliklerini sağlayan

düşük bir termal iletkenliğe sahiptir. İçi boş cam ve seramik küreler, silika aerojeller fonksiyonel dolgu maddelerine örnektir(Kiil, 2014). Perlit (Genleştirilmiş perlit) içeren betonlar, genel betona kıyasla yaklaşık on kat daha fazla ısı yalıtımı sağlar. Ülkemiz dünyadaki perlit rezervlerinin% 74'üne sahiptir(Binici ve Kalaycı, 2015). Yaygın bir yapı malzemesi olan genleştirilmiş perlit belirli mekanik performansa sahiptir ve ısı yalıtımı amacıyla binalarda yaygın olarak kullanılmaktadır(Kong ve diğ., 2016). Perlit, yüksek gözeneklilik ve petek gibi birçok mikrometre çapında gözeneklere sahiptir ve amorf SiO₂ yapıdan oluşur(Peng ve Yang, 2013). Kong ve diğ. (2016) perlitini kullanarak faz değişim malzemesi üretmişlerdir. Perlitin iyi termal özellik, stabilite ve dayanıklılık sağladığını ve büyük ısı depolama kabiliyetine sahip olduğunu belirlemişlerdir(Kong ve diğ., 2016). Camın temel girdileri silika kumu (>%50 SiO₂), kireç taşı (CaCO₃), alüminyum hidroksit, borik asit, sodyum sülfat ve susuz borakstır(Saçak, 2005). Cam ve perlitin oda sıcaklığında ısıl iletkenlik değerleri sırasıyla 0,78 W/m*K ve 0,06 W/m*K'dır (Isı transferi ders notları; Balo ve diğ., 2010).

Türkiye piyasasında ticari olarak satılan termal boyalar TTB1, TTB2, TTB3, TTB4'dir. TTB4 ve TTB3 termal boyları, sadece bir yüzey değil tüm binaya uygulanarak toplam %40 enerji tasarrufu sağlamaktadır. TTB2 termal boya, sıcak ve soğuk yüzey arasında 10 °C'lik bir sıcaklık farkı oluşturmaktadır. TTB1 Termal boya (içerisinde mikro seramik kürecikler bulunur) ısıyı yansıtarak % 25'e kadar ısı tasarrufu sağlamaktadır.

Buraya kadar edinilen bilgilere göre termal boyların geliştirilmesine yönelik çalışmalara literatürde pek yer verilmemiştir. Bundan dolayı çalışmada, özellikle sac kaplı çatılar için ticari termal boylardan daha yüksek termal yalıtım özelliğine sahip termal boya üretilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada mevcut ticari boylardan 2 kat daha fazla enerji tasarrufu sağlayan ve yaklaşık 2 kat daha ucuz termal boya üretilmiştir. Bu yönüyle çalışma literatüre katkı sağlayacaktır.

MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIALS AND METHODS)

Materyal (Materials)

Reçineler (Stiren Akrilik Kopolimer (SAK) ve Vinil Akrilik Kopolimer(VAK)) Asal Kimya Ltd. Şti, metil alkol Tekkim Ltd. Şti, perlit Ege Perlit San. Tic. Ltd. Şti, karboksi metil selüloz(CMC) DENKİM Kimya A.Ş., cam tozu AkCihan Cam Geri Dönüşüm Ltd. Şti, grafit SKC Karbon San. Tic. Ltd. Şti'den temin edilmiştir. Geri Kazanılmış Karbon Siyahı(GKKS), Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Kimya Mühendisliği laboratuvarında doktora tez çalışması kapsamında atık lastiğin kimyasal bozundurulması sonucunda üretilmiştir (Balbay, 2017; Balbay ve Açıkgöz, 2019). Polisan marka Tavan Boyası(TVB) (hem zaman kazanmak hem de projenin maliyetini düşürmek amacıyla tercih edilmiştir) hırdavatçıdan satın alınmıştır. Galvaniz kaplı ve galvaniz kaplı olmayan 21*28 cm (A4 kağıt boyutunda) DKP saclar Arel Çelik firmasından satın alınmıştır. Isı yalıtımlı ticari boylar (TTB1, TTB2, TTB3 ve TTB4) üretici firmalardan numune olarak temin edilmiştir.

Yöntem (Methods)

İlk olarak, Çizelge 1'de verilen reçetelere göre termal boylar, oda koşulunda 150 rpm'de hazırlanmış ve 1 gece bekletilmiştir. Daha sonra galvaniz kaplı sacların boyamaları gerçekleştirilmiştir. Sacların yüzeyi boyama işleminden önce metil alkol ile temizlenmiştir. Şekil 1'de verilen sistemde (ufo ısıtıcı ile güneş ışığı etkisinin olduğu bir ortam oluşturulmaya çalışılmıştır) boyların yüzey sıcaklık değerleri civalı termometre ile ölçülmüştür. Ölçüm değerleri sabit sıcaklık değerine ulaşana kadar ölçümlere devam edilmiştir. Ölçümler, boyasız yüzey ısıtıcı yönünde ve boyalı yüzey ısıtıcı yönünde olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Her bir plaka için sıcaklık ölçümü üç kez tekrarlanmıştır ve ortalamaları kaydedilmiştir.

Çizelge 1. Grafit ve GKKS kullanılarak hazırlanmış termal boya reçeteleri*Table 1. Thermal dye recipes prepared using graphite and GKKS*

Ürünler	CTB-0(g)	CTB-G5(g)	CTB-G10(g)	CTB-C5(g)	CTB-C10(g)
TVB	40	40	40	40	40
SAK	20	20	20	20	20
VAK	20	20	20	20	20
Su	19	19	19	19	19
CMC	1	1	1	1	1
Grafit	-	5	10	-	-
GKKS	-	-	-	5	10

**Şekil 1.** Sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı sistem*Figure 1. System done of temperature measurements*

İkinci olarak Çizelge 2 ve 3'de verilen reçetelere göre termal boyalar oda koşulunda 150 rpm'de hazırlanmış ve 1 gece bekletilmiştir, daha sonra galvaniz kaplama yapılmamış saclara boyamalar gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ilk olarak en uygun perlit oranı ve ikinci olarak en uygun cam tozu oranı belirlenmiştir. Sacların yüzeyi boyama işleminden önce metil alkol ile temizlenmiştir. Şekil 1'de verilen sistemde boyaların yüzey sıcaklık değerleri civalı termometre ile ölçülmüştür. Ölçüm değerleri sabit sıcaklık değerine ulaşana kadar ölçümlere devam edilmiştir. Ölçümler, boyasız yüzey ısıtıcı yönünde ve boyalı yüzey ısıtıcı yönünde olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Her bir plaka için sıcaklık ölçümü üç kez tekrarlanmıştır ve ortalamaları kaydedilmiştir.

Çizelge 2. Perlit kullanılarak hazırlanmış termal boya reçeteleri*Table 2. Thermal dye recipes prepared using perlite*

Ürünler	PE0(g)	PE5(g)	PE10(g)	PE15(g)	PE20(g)
TVB	40	40	40	40	40
SAK	20	20	20	20	20
VAK	20	20	20	20	20
Su	19	19	19	19	19
CMC	1	1	1	1	1
Perlit	0	5	10	15	20

Çizelge 3. Cam tozu ve perlit kullanılarak hazırlanmış termal boya reçeteleri*Table 3. Thermal powder recipes prepared using glass powder and perlite*

Ürünler	PE15-C5(g)	PE10-C10(g)	PE5-C15(g)	PE0-C20(g)
TVB	40	40	40	40
SAK	20	20	20	20
VAK	20	20	20	20
Su	19	19	19	19
CMC	1	1	1	1
Perlit	15	10	5	0
C	5	10	15	20

Üçüncü olarak, ticari boyalar ve en iyi ısı aktarım sonuçlarının elde edildiği boyaların fonksiyonel yapılarını belirlemek için FT-IR analizleri gerçekleştirilmiştir. Galvaniz kaplı saclara kaplanmış ticari boyalar ve en iyi ısı aktarım sonuçlarının elde edildiği boyalara fiziksel testler (darbe testi ve yapışma (cross-cut)) uygulanmıştır. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği laboratuvarında FT-IR analizleri Perkin Elmer Cary 600 cihazı kullanılarak 400-4000 cm⁻¹ dalga boyunda gerçekleştirilmiştir. Darbe testi ISO6272-1 standardına göre TQC-IP2000 cihazı yardımıyla 1 kg ağırlığa sahip kütle 32 cm yükseklikten bırakılarak gerçekleştirilmiştir. Yapışma (cross-cut) testi ASTM D 3359 standardına göre Metriko marka cross-cut cihazı ile yapılmıştır. Kesici ile sac yüzeyinde yapılan çentiklerin yüzeyine yapıştırılan bandın 45° açı ile çekilmesiyle boyanın sac yüzeyine yapışma derecesi belirlenmiştir.

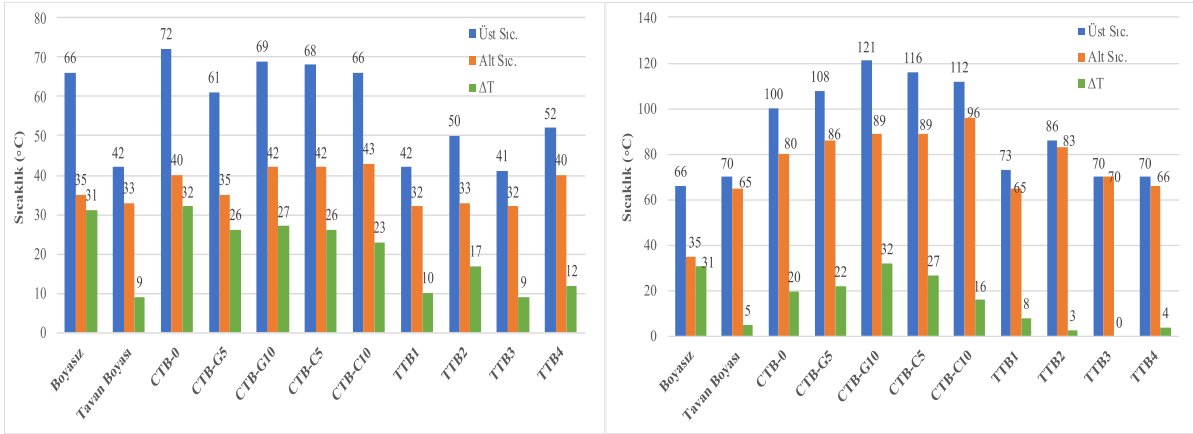
ARAŞTIRMA BULGULARI (RESEARCH FINDINGS)

Çalışmada hem zaman kazanmak hem de maliyeti düşürmek amacıyla tavan boyası kullanılarak termal boya reçeteleri hazırlanmıştır. Üretici firmaların hazırlanmış oldukları genel tavan boya reçetesi Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Tavan boyası reçetesi (AYKİM, 2012)*Table 4. Ceiling paint recipe*

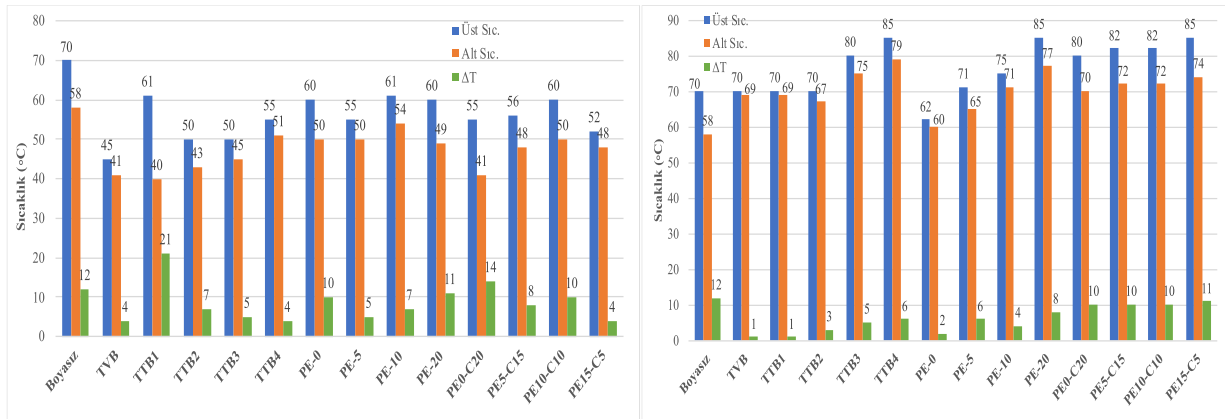
	Miktar (%)
Su	29
Küf önleyici	0,2
Kalınlaştırıcı	0,3
Asitlik giderici	0,1
Disperzant	0,6
Köpük kesici	0,4
Rutil Titan	2
Kalsit	61
Kaolin	3
Mono etilen glikol (antifriz)	0,5
Butil glikol (aktivatör)	0,5
Film yapıcı	0,2
Stiren akrilik kopolimer	5
Kalınlaştırıcı	0,1
Toplam	100

Karbon esaslı malzemeler (grafit ve GKKS) kullanılarak hazırlanmış termal boyaların yüzey sıcaklık değerleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Boyasız sac ve boyanmış (grafit ve GKKS ile hazırlanmış boyalar ve ticari boyalar) sacların yüzey sıcaklık ölçümleri (sol: boyanmamış yüzey ısıtıcı yönünde, sağ: boyanmış yüzey ısıtıcı yönünde)
Figure 2. Surface temperature measurements of unpainted sheet and painted (paints done by graphite and GKKS, and commercial paints) sheets (left: unpainted surface heater direction, right: painted surface heater direction)

SiO₂ esaslı malzemeler (perlit ve cam tozu) kullanılarak hazırlanmış termal boyaların yüzey sıcaklık değerleri Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Boyasız sac ve boyanmış (perlit ve cam tozu ile hazırlanmış boyalar ve ticari boyalar) sacların yüzey sıcaklık ölçümleri (sol: boyanmamış yüzey ısıtıcı yönünde, sağ: boyanmış yüzey ısıtıcı yönünde)
Figure 3. Surface temperature measurements of unpainted sheet and painted (paints done by perlite and glass powder, and commercial paints) sheets (left: unpainted surface heater direction, right: painted surface heater direction)

Galvaniz kaplı ve galvaniz kaplı olmayan sacları uygulanmış ticari, PE20 ve PE0-C20 boyaları ile boyanmış sacların fotoğrafları Şekil 4 ve 5'de verilmiştir.

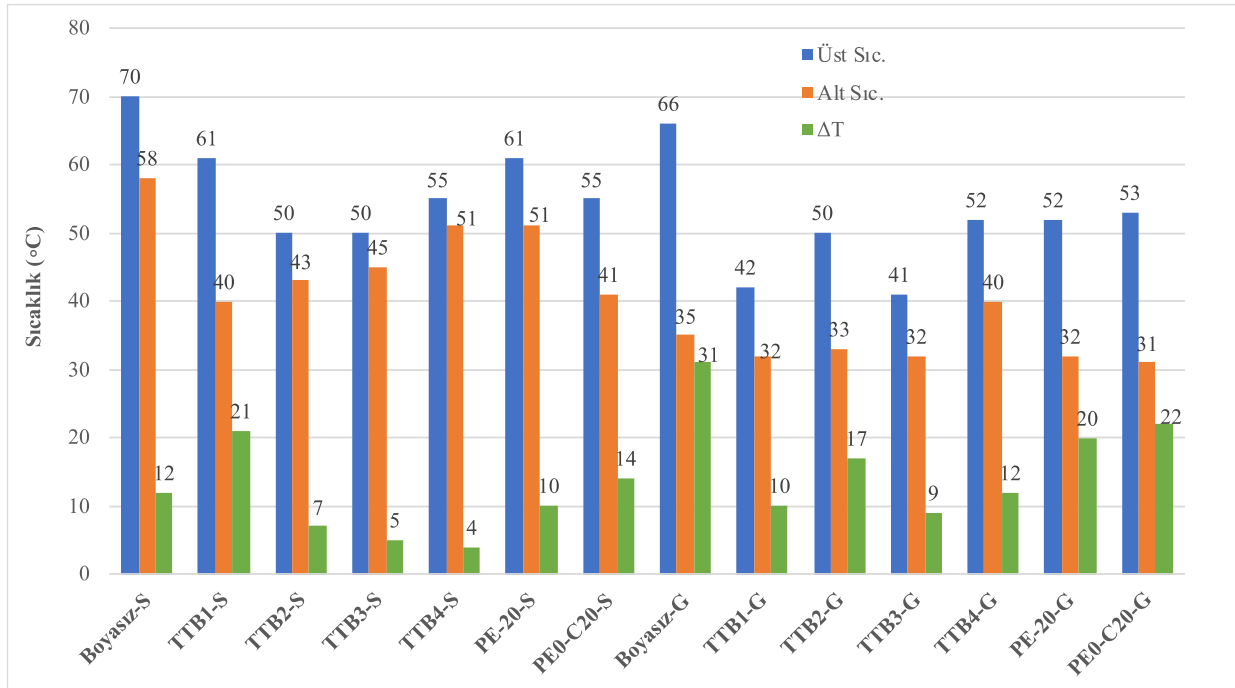


Şekil 4. Galvaniz kaplı olmayan saclara uygulanmış ticari, PE20 ve PE0-C20 boyalar ile boyanmış sacların fotoğrafları (TTB3, TTB2, TTB4 (üst soldan sağa), TTB1, PE20, PE0-C20 (alt soldan sağa))
Figure 4. Photos of painted sheets by commercial, PE20 and PE0-C20 paints applied to non-galvanized sheets (TTB3, TTB2, TTB4 (top left to right), TTB1, PE20, PE0-C20 (bottom left to right))



Şekil 5. Galvaniz kaplı saclara uygulanmış ticari ve PE0-C20 boyalar ile boyanmış sacların fotoğrafları (TTB3, TTB2, TTB4 (üst soldan sağa), TTB1, PE0-C20 (alt soldan sağa))
Figure 5. Photos of painted sheets by commercial and PE0-C20 paints applied to galvanized sheets (TTB3, TTB2, TTB4 (top left to right), TTB1, PE0-C20 (bottom left to right))

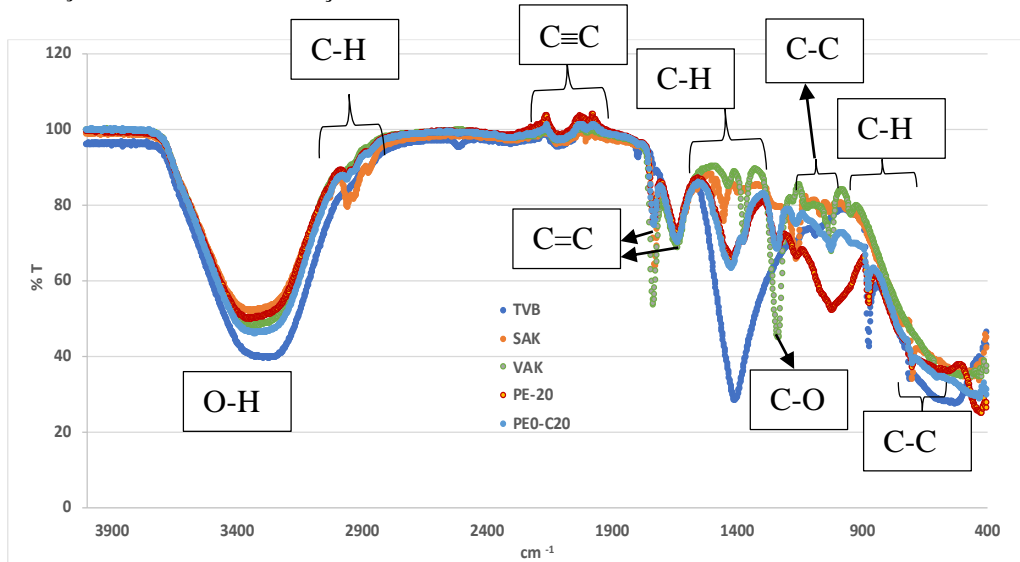
Galvaniz kaplı ve galvaniz kaplı olmayan saclara uygulanmış ticari, PE20 ve PE0-C20 boyaları ile boyanmış sacların yüzey sıcaklık karşılaştırmaları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. PE-20, PE0-C20 ve ticari boyalar ile boyanmış sacların yüzey sıcaklık ölçümleri karşılaştırması (boyanmamış yüzey ısıtıcı yönünde)(S: Galvaniz kaplama yapılmamış sac, G:Galvaniz kaplama yapılmış sac)

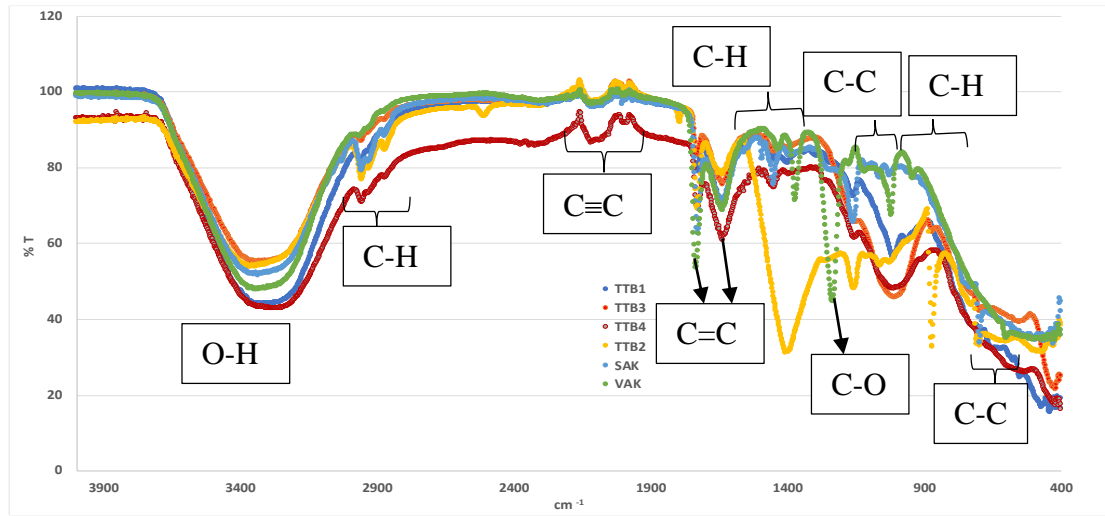
Figure 6. Comparison of surface temperature measurements of commercial, PE-20 and PE0-C20 paints (Unpainted surface heater direction)(S: Non-galvanized sheet, G: Galvanized sheet)

Tavan boyası, ticari boyalar ve en iyi sonuçların (PE20 ve PE0-C20) elde edildiği boyların FT-IR spektrumları Şekil 7 ve 8'de verilmiştir.



Şekil 7. Tavan boyası, stiren akrilik ve vinil akrilik kopolimer reçineleri, PE20 ve PE0-C20 kaplamaların FT-IR spektrumları

Figure 7. FT-IR spectra of PE20 and PE0-C20 coatings, ceiling paint, styrene acrylic and vinyl acrylic copolymer resins



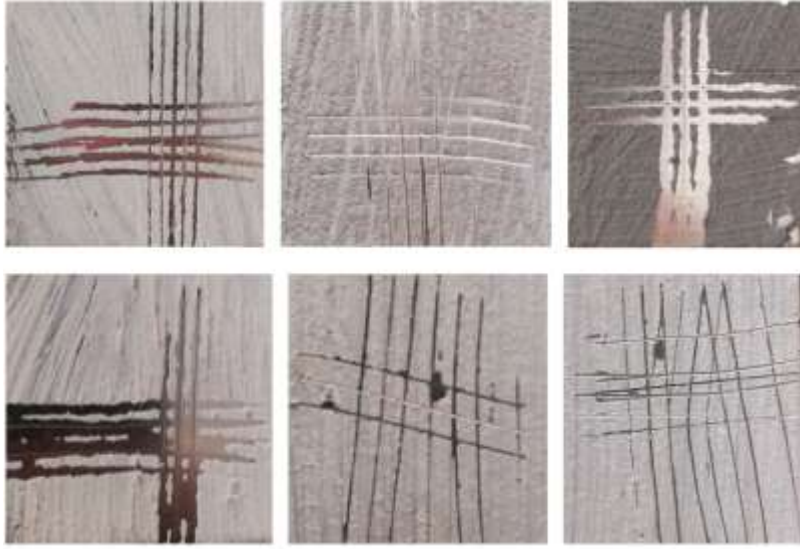
Şekil 8. Stiren akrilik ve vinil akrilik kopolimer reçineleri ve ticari boyaların FT-IR spektrumları
Figure 8. FT-IR spectra of styrene acrylic and vinyl acrylic copolymer resins and commercial paints

Galvanizli saca kaplanmış ticari, PE20 ve PE0-C20 boyaların darbe ve yapışma testi sonucu görünüşleri Şekil 8 ve 9'da verilmiştir.



Şekil 8. Galvaniz saca kaplanmış ticari, PE20 ve PE0-C20 boyaların darbe testi görünüşleri (TTB1, TTB3, TTB4 (üst soldan sağa), TTB2, PE20, PE0-C20 (alt soldan sağa))

Figure 8. Impact test appearance of commercial, PE20 and PE0-C20 paints coated with galvanized sheet (TTB1, TTB3, TTB4 (top left to right), TTB2, PE20, PE0-C20 (bottom left to right))



Şekil 9. Galvaniz saca kaplanmış ticari, PE20 ve PE0-C20 boya ların yapışma testi görünümleri (TTB1, TTB3, TTB4 (üst soldan sağa), TTB2, PE20, PE0-C20(alt soldan sağa))

Figure 9. Adhesion test appearance of commercial, PE20 and PE0-C20 paints coated with galvanized sheet (TTB1, TTB3, TTB4 (top left to right), TTB2, PE20, PE0-C20 (bottom left to right))

PE0-C20 boyasının hammadde maliyet analizi Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. PE0-C20 boyasının hammadde maliyet analizi

Table 5. Raw material cost analysis of PE0-C20

Ürünler	PE0-C20(g)	Birim fiyat(TL/1000g)	Top. Fiyat(TL)
Tavan boyası	40	17 TL	0,68
Stiren akrilik kopolimer	20	25TL	0,5
Vinil akrilik kopolimer	20	15TL	0,3
Su	19	0,002TL	0,5
CMC	1	30 TL	0,03
Perlit	0	-	-
Cam Tozu	20	12 TL	0,24
Toplam maliyet (TL)			2,25 TL/120 g

SONUÇ ve TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

Bu çalışmada özellikle sac kaplı çatılar için ticari termal boyalardan daha yüksek ısı yalıtımı sağlayan termal boya üretilmesi amaçlanmıştır. Ticari termal boyalar ve karbon esaslı malzemeler (grafit ve GKKS) kullanılarak hazırlanmış termal boya ların galvaniz kaplı sac yüzeyine kaplanması sonucu ölçülen yüzey sıcaklık değerleri incelenmiştir. Ölçümler, boya kaplanmış sac yüzey ısıtıcı yönünde ve boya kaplanmamış sac yüzey ısıtıcı yüzey yönünde olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Grafit ve GKKS kullanılarak hazırlanmış termal boyalar ile kaplanmış sac ların boya kaplanmış yüzeyin ısıtıcı yönünde olduğu durumda yüzey sıcaklık değerleri >100 °C ölçülmüştür. Sac plakaların diğer yüzeye ait yüzey sıcaklık değerleri 86-96 °C olduğu belirlenmiştir. Aynı plakaların boya kaplanmamış yüzeyi ısıtıcı yönünde olduğu durumda yüzey sıcaklık değerleri 61-66 °C ve diğer yüzeye ait yüzey sıcaklık değerleri 35-43 °C ölçülmüştür(Şekil 2). Sıcak güneşli yaz günlerinde koyu renkli çatıların güneş enerjisinin %5’ini yansıtır ve sıcaklığın %90’dan fazlasını absorbe ettiği bilgisini (EPA, 2009) bu sonuçlar desteklemektedir. Bu boya ların ısıyı yansıtma özellikleri ticari termal boyalardan daha düşüktür. Güneş ışığı yansıtıcılığı yüksek, beyaz renkli veya akrilik beyaz boya ile kaplanmış yüzeylerde enerji verimliliği daha

yüksektir(Tozam ve Karaca, 2018). Tavan boyası ile kaplanmış sacların boya kaplanmamış yüzeyi ısıtıcı yönünde olduğu durumda yüzey sıcaklık değerleri TTB1 ve TTB3 termal boyları ile aynı olduğu belirlenmiştir ve ayrıca TTB2 ve TTB4 termal boylarından daha iyi sonuç elde edilmiştir(Şekil 2).

Metal çatı, enerjisinin %60'ını yansır ve sıcaklığın %25'den fazlasını absorbe eder. Beyaz çatı ise güneş enerjisinin %75'ini yansıtmaktadır (EPA, 2009). Ticari termal boylar ve SiO₂ esaslı katkılar (perlit ve cam tozu) kullanılarak hazırlanmış termal boyların galvaniz kaplanmamış sac yüzeyine kaplanarak ölçülen yüzey sıcaklık değerleri Şekil 3'de verilmiştir. Boyanmamış sac yüzeyinin ısıtıcı yönünde olduğu durumda PE-0, PE-5, PE-10, PE-20, PE0-C20, PE5-C15, PE10-C10, PE15-C5 numunelerinin üst ve alt yüzey sıcaklık değerleri sırasıyla 60:50°C, 55:50°C, 61:54°C, 60:49°C, 55:41°C, 56:48°C, 60:50°C, 52:48 °C'dir. Alt sıcaklığın 41°C olduğu PE0-C20 numunesinde en iyi sonuç elde edilmiştir ve galvaniz kaplanmamış sac yüzeyinde bu numune ticari termal boylara benzerlik göstermiştir. Boyanmış sac yüzeyinin ısıtıcı yönünde olduğu durumda PE-0, PE-5, PE-10, PE-20, PE0-C20, PE5-C15, PE10-C10, PE15-C5 numunelerinin üst ve alt yüzey sıcaklık değerleri sırasıyla 62:60°C, 71:65°C, 75:71°C, 85:77°C, 80:70°C, 82:72°C, 82:72°C, 85:74 °C'dir. Boyanmış sac yüzeyinin ısıtıcı yönünde olduğu durumda yüzey sıcaklık değerleri, boyanmamış sac yüzeyinin ısıtıcı yönünde olduğu durumdan daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Aynı durum grafit ve GKKS kullanılarak hazırlanmış termal boyların galvaniz kaplı sac yüzeyine kaplanması sonucu ölçülen yüzey sıcaklık değerlerinde de gözlenmiştir.

Ticari, PE20 ve PE0-C20 boylar kullanılarak boyanmış galvaniz kaplanmış ve galvaniz kaplanmamış sacların yüzey sıcaklık değerleri karşılaştırması Şekil 6'da verilmiştir. Boyama işlemi uygulanmamış galvaniz kaplı ve galvaniz kaplanmamış sacların üst ve alt yüzey sıcaklık değerleri sırasıyla 66:35°C ve 70:58 °C'dir. Saca uygulanan galvaniz kaplamanın ısı aktarımını azalttığı belirlenmiştir.

Serin çatı malzemelerinin ısı tutma kapasiteleri, geleneksel malzemelere göre daha düşük olabilmektedir. Geleneksel çatı malzemeleri kullanılarak hazırlanan çatıların yüzey sıcaklık değerleri 66-85°C arasında olduğu için sıcak çatı zeminlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Serin çatı malzemeleri ile yüzey sıcaklık değerleri 28-33°C'ye kadar azaltılabilir(EPA, 2009). Serin çatıların özgül ısı, termal iletkenlik ve termal yayılım değerleri düşüktür(Tozam ve Karaca, 2018). Güneş ışığının katı yüzeylerde ısı aktarımı, iletim ve ışınım olmak üzere iki yolla gerçekleşmektedir ve sıcaklık farkı, ısı iletimi ve ısı yayılımı ile doğru orantılıdır (İnce, 2008).

SiO₂ esaslı katkılar kullanılarak hazırlanmış PE20, PE0-C20 ve CT15-CE5 boyları hem galvaniz kaplanmış saca hem de galvaniz kaplanmamış saca uygulanmıştır. Boyanmış sac yüzeyinin ısıtıcı yönünde olduğu durumda galvaniz kaplanmış saca uygulanmış PE20, PE0-C20 ve CT15-CE5 numunelerinin üst ve alt yüzey sıcaklık değerleri sırasıyla 52:32°C, 53:31°C, 53:46°C'dir. Aynı koşullarda sac yüzeylere kaplanmış ve testleri gerçekleştirilmiş TTB1, TTB2, TTB3, TTB4 ticari termal boyların üst ve alt yüzey sıcaklık değerleri sırasıyla 42:32°C, 50:33°C, 41:32°C, 52:40°C'dir. PE20, PE0-C20 ve CT15-CE5 numunelerinin ve TTB1, TTB2, TTB3, TTB4 ticari termal boyların üst ve alt yüzey sıcaklık farkı değerleri ise sırasıyla 20 °C, 22 °C, 7 °C, 10 °C, 17 °C, 9 °C, 12 °C'dir. PE0-C20'in 31 °C alt sıcaklık değeri ticari termal boyların sıcaklık değerinden daha düşük ve literatürde verilen serin boya sıcaklık değeri (28-33°C) içerisinde belirlenmiştir. Sıcaklık farkı arttıkça ısı iletimi ve ısı yayılımı azaldığından dolayı PE0-C20'in 22 °C sıcaklık farkının ticari boyların sıcaklık farklarından daha yüksek olmasına bağlı olarak ısıyı daha az ileterek daha fazla yansıttığını göstermiştir (Şekil 6). Galvaniz kaplı ve boyanmamış sac yüzeyinin ısıtıcı yönünde olduğu durumda daha fazla albedo etkisinin gerçekleştiği belirlenmiştir.

Ticari, PE20, PE0-C20, CT15-CE5 boylar kullanılarak galvaniz kaplı ve galvaniz kaplı olmayan sacları boyanmış sac plakaların fotoğrafları karşılaştırıldığında galvaniz kaplamanın yapılmadığı sacları korozyonun olduğu gözlenmiştir(Şekil 4 ve 5).

Tavan boyası, ticari boylar, PE20 ve PE0-C20 boyların FT-IR spektrumları incelendiğinde tespit edilen pikler şöyledir; su molekülüne ait 3400-3200 cm⁻¹ O-H (Thill, 2016), alifatik yapıda bulunan alkana ait 3000-2800 cm⁻¹ C-H (Tiryaki, 2013), alkine ait ~2100 cm⁻¹ C≡C (OChemOnline, 2019), aromatik yapıya ait 2000-1900 cm⁻¹ C=C (Cetinkaya, 2015), metil yapısında bulunan alkana ait 1500-1300 cm⁻¹ C-H (Tiryaki, 2013), aromatik ester yapısına ait 1300-1000 cm⁻¹ C-O (Tiryaki, 2013) ve 1200-1000 cm⁻¹ C-C (Sarıcı

Özdemir, 2008), aromatik yapıya ait 900-700 cm⁻¹ C-H (OChemOnline, 2019), ~500 cm⁻¹ C-C (Tiryaki, 2013) piki (Şekil 7 ve 8).

Galvaniz kaplı saca uygulanmış ticari, PE20 ve PE0-C20 boya larının darbe testi sonucu görünüm leri incelendiğinde ticari boyaların ezildiği, ancak PE20 ve PE0-C20 boya kaplamalarının etkilenmediği görülmüştür (Şekil 9).

Galvaniz kaplı saca uygulanmış ticari, PE20 ve PE0-C20 boya larının yapışma testi sonucu görünüm leri incelendiğinde ise ticari boyalardan TTB3 hariç diğ er boya ların yapışmadığı, ancak PE20 ve PE0-C20 boya kaplama yüzeylerinin %5 'ten daha az bölümlerinin etkilendiği görülmüştür (Şekil 13). ASTM D-3359 standardına göre TTB3 5B, PE20 ve PE0-C20 4B, TTB1, TTB2, TTB4 1B sınıfında oldu ğ u belirlenmiştir (ASTM D-3359). 5B kesiklerin kenarı düzgün ve yüzeyde bozulma gözlenmemiş, 4B kesiş me noktalarında ince kaplama tabakaları dökülmüş ve yüzeyin %5 'ten daha az bölümü bozulmuş, 1B ise kaplama, kenarlarda geniş şeritler halinde soyulmuş ve karelerin tamamı sökülmüş, aynı zamanda yüzeyin %35 - %65'lik kısmı bozulmuştur.

PE0-C20 boyasının hammadde maliyet analizi Çizelge 5'de verilmiştir. Üretilen boyanın birim hammadde maliyeti 18,75TL/kg olarak hesaplanmıştır. Ayrıca işçilik, enerji ve diğ er giderler için 10TL/kg olarak düşünölmüş ve PE0-C20 boyasının toplam maliyeti 28,75TL/kg olarak belirlenmiştir.

www.n11.com sitesinden 31.05.2019 tarihinde alınan ticari boya ların fiyatları;

TTB1 : 49,5 TL/kg (495 TL/10kg)

TTB2: 54,99 TL/kg (549,9 TL/10 kg)

TTB3: 59,8 TL/kg (598 TL/10 kg)

TTB4: 62,3 TL/kg (623TL/10kg)

Üretilen PE0-C20 (28,75TL/kg) boyasının maliyeti ticari boyalardan yaklaşık 2-2,5 kat daha ucuz oldu ğ u görülmüştür.

Galvaniz kaplanmış sacın alt yüzey sıcaklık değ eri esas alınarak TTB1, TTB2, TTB3 ve PE0-C20'in sırasıyla ısı tasarrufu değ erleri %9, %6, %9 ve %12'dir. TTB3 termal boyasının sadece bir yüzey değ il tüm binada toplam % 40 enerji tasarrufu sağladığı bilgisine karşılık PE0-C20'in tüm binada tahmini olarak %50-60 enerji tasarrufu sağlaması beklenmektedir. İçerisinde mikro seramik kürecikler bulunan TTB1 termal boyası, cam tozu kullanılarak üretilen PE0-C20'den daha az ısı tasarrufu sağlamıştır. Ayrıca perlitin yüksek gözeneklilik ve düşük termal iletkenliğ e sahip olmasına rağmen cam tozunun içeriği (silika kumu, kireç taşı (CaCO₃), alüminyum hidroksit, borik asit, sodyum sülfat ve susuz boraks) nedeniyle cam tozu kullanılarak üretilen boyanın enerji tasarrufu daha yüksektir.

Sonuç olarak cam tozu kullanılarak üretilen boya, ticari termal boyalardan daha fazla enerji tasarrufu sağlamakta ve aynı zamanda yaklaşık 2-2,5 kat daha ucuz olduğ undan dolayı ülke ekonomisi için büyük önem arz etmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Cemal Tuğrul Bilgiç tarafından TÜBİTAK 2242 Üniversite Öğrencileri Araştırma Proje Yarışmalarına katılmış ve "Enerji ve Çevre" kategorisinde İzmir Bölge Sergisinde 2.'lik Ödülü kazanmıştır. Taraflar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır. ASAL Boya Kimya Sanayi Tic.Ltd.Şti., Akcihan Cam San. ve Tic. Ltd. Şti. (AkCihan Cam Geri Dönüşüm) ve SKC Karbon San. ve Tic A.Ş. firmalarına çalışmamız boyunca karşılıksız numune desteklerinden dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

ASTM D-3359, Standard Test Methods for Rating Adhesion by Tape Test
AYKİM, 2012, "Hammaddeler ve başlangıç boya reçeteleri", 7. Baskı
Balbay, S., Açıkgöz, Ç., 2019, "Atık Lastiklerin Ucuz Ve Ekonomik Bir Yöntemle Devulkanizasyonu Ve Hammadde Olarak Değ erlendirilmesi", Patent No: 2015/13034

- Balbay, S., 2017, *Atık lastiklerin kimyasal yöntemle bozundurulması ve elde edilen ürünlerin değerlendirilmesi*, Doktora tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik
- Balo, I., Ucar, A., Yücel, H.L., 2010, "Development Of The Insulation Materials From Coal Fly Ash, Perlite, Clay And Linseed Oil", *Ceramics – Silikat*, 54 (2), ss.182-191.
- Binici, H., Kalaycı, F., 2015, "Production Of Perlite Based Thermal Insulating Material", *International Journal of Academic Research and Reflection*, Vol. 3, No. 7
- Cetinkaya, M.S., 2015, *Production and characterization of activated carbon from almond bark and pine nut Shell*, Yüksek lisans tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş
- Dias, D., Machado, J., Leal, V., Mendes, A., 2014, "Impact of using cool paints on energy demand and thermal comfort of a residential building", *Applied Thermal Engineering*, 65, 1–2, ss. 273-281, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.12.056>
- EPA, 2009, *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, Cool Roofs*. Isı transferi ders notları, Ankara üniversitesi, https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/72277/mod_resource/content/0/HAFTA_2.pdf, ziyaret tarihi: 20 Haziran 2019.
- İnce, R., 2008, *Bazı Yağlı Tohumların Isısal Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma*, Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- Kiil, S., 2014, "Quantitative analysis of thermal insulation coatings", *In Proceedings of the 10th Coatings Science International 2014*, Peer reviewed version
- Kong, X., Zhong, Y., Rong, X., Min C., Qi, C., 2016, "Building Energy Storage Panel Based on Paraffin/Expanded Perlite: Preparation and Thermal Performance Study", *Materials*, 9, 70; doi:10.3390/ma9020070
- OChemOnline, Infrared spectroscopy absorption table http://www.ochemonline.com/Infrared_spectroscopy_absorption_table, ziyaret tarihi: 20 Haziran 2019.
- Oda, T., Yamanaka, K., Kawakami, M., 2014, "Evaluation of the energy-saving performance of heat-resistant paint", *Science Journal of Energy Engineering*, 2(5), ss. 53-57, doi: 10.11648/j.sjee.20140205.11
- Peng K., Yang, H., 2013, "Preparation of Aerogel-Modified Expanded Perlite and Its Application in Heat Insulation Coating", *Advanced Materials Research*, 668, ss. 360-364, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.668.360
- Pocket, J., Heat Reflecting Paints And A Review Of Their Advertising Material, <https://www.researchgate.net/publication/267640159>, ziyaret tarihi: 20 Haziran 2019.
- Saçak, M., 2005, *Polimer Teknolojisi*, Gazi Kitabevi, Ankara
- Sarıcı Özdemir, C. 2008, *High surface area activated carbon from various polymeric based wastes, characterization and application areas*, Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Synnefa, A., Santamouris, M., Akbari, H., 2007, "Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions", *Energy and Buildings*, 39, ss.1167–1174, doi:10.1016/j.enbuild.2007.01.004
- Thill, A., 2016, "Characterisation of Imogolite by Microscopic and Spectroscopic Methods", *Developments in Clay Science*, 7, ss. 223-253, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100293-3.00010-8>
- Tiryaki, B., 2013, *Production of cellulose, hemicellulose and lignin activated carbon*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tozam, İ., Karaca, Ü.B., "Kentsel Isı Adası Etkisi ve Serin Çatılar", T.C. İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul, 9. *Ulusal Çatı & Cephe Konferansı*, 12 - 13 Nisan 2018 www.n11.com, ziyaret tarihi: 31 Mayıs 2019.
- Zhang, H., Wang, F., Liang, J., Tang, Q., Chen, Y., 2017, "Design of Thermal Insulation Energy-Saving Coatings for Exterior Wall", *Chemical Engineering Transactions*, 61, ss. 1207-1212 DOI:10.3303/CET1761199