

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YAKIN KIZILÖTESİ IŞINLARI YANSITAN VE İLETEN SERİN  
TOZ KAPLAMALARIN GELİŞTİRİLMESİ**

**SİNEM AKYOL**

**KOCAELİ 2021**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YAKIN KIZILÖTESİ IŞINLARI YANSITAN VE İLETEN**  
**SERİN TOZ KAPLAMALARIN GELİŞTİRİLMESİ**

**SİNEM AKYOL**

**Prof. Dr. Güralp ÖZKOÇ**  
**Danışman, Kocaeli Üniversitesi** .....

**Doç. Dr. Mehmet KODAL**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi** .....

**Doç. Dr. Hande DURGUN ÇELEBİ**  
**Jüri Üyesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi** .....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 18.06.2021**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın amacı kızılötesi ışınları yansıtan ve alt tabakaya ileten serin toz kaplamalar geliştirmektir. Çalışma, film kalınlığı, yüzey pürüzlülüğü, parlaklık, renk, pigment miktarı, dolgu ihtivası, alüminyum pigment ihtivası gibi birçok değişkenin yansıtma özelliğine etkilerinin gözlenmesi hedeflenen ilk çalışma olduğu için özgündür.

Çalışmalarım sırasında tüm bilgi birikimi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren ve destek olan, akademik hayatıma yaptığı katkılarından dolayı sevgili danışman hocam Prof. Dr. Güralp ÖZKOÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma üniversite-sanayi iş birliğinin bir örneği olarak, Kocaeli Üniversitesi ve Pulver Kimya San. ve Tic. AŞ'nin iş birliği ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmayı Pulver'de yapmama izin veren ve desteklerini esirgemeyen değerli Pulver Kimya yöneticilerine teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca yanımda olan canım eşim Osman Nuri AKYOL'a ve canım oğlum Teoman AKYOL'a, göstermiş oldukları sabır ve destek için sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmalarım boyunca desteğini eksik etmeyen annem Sevim ASİLTÜRK'e, babam Selattin ASİLTÜRK'e, anne ve babamdan ayırmadığım, hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen Ayten AKYOL'a ve Ali AKYOL'a sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs – 2021

Sinem AKYOL

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
GİRİŞ .....	1
1.TEORİK BİLGİLER.....	4
1.1.Güneş Işınımı Spektrumu.....	4
1.2.Yüzeyin Isınma Mekanizması .....	6
1.2.1.Toplam güneş ışığı yansıtma (TSR) .....	7
1.2.2.Güneş ışığı yansıtma indisi (SRI) .....	8
1.3.Yüzeyin Soğuma Mekanizması.....	9
1.3.1.Kara cisim ışınması.....	10
1.4.Serin Kaplamalar .....	11
1.5.Serin Pigmentler .....	14
1.6.Yansımayı Etkileyen Faktörler.....	16
1.7.Toz Boya .....	18
1.8.Kullanılan Deneysel Teknikler ve Cihazların Çalışma Prensipleri.....	23
1.8.1.Toz boya üretim teknikleri ve uygulanması .....	23
1.8.2.Karakterizasyon yöntemleri.....	24
1.8.2.1.Renk ölçümü .....	24
1.8.2.2.Film kalınlığı Ölçümü .....	26
1.8.2.3.Parlaklık ölçümü .....	26
1.8.2.4.UV/VIS/NIR Yansıma spektrumlarının ölçümü .....	27
1.8.2.5.IR lamba etkisinde sıcaklık değişimi ölçümü .....	28
1.8.2.6.Güneş ışığı etkisinde sıcaklık değişimi ölçümü .....	29
1.9.Literatür Araştırması .....	29
2.MALZEME VE YÖNTEM.....	38
2.1. Malzemeler .....	38
2.2. Yöntem .....	40
2.2.1. Deneysel tasarım.....	41
2.2.2. Toz kaplamanın hazırlanması ve uygulanması .....	49
2.3. Karakterizasyon Yöntemleri.....	50
2.3.1. Renk ve örtücülük ölçümleri.....	50
2.3.2. Film kalınlığı ölçümleri .....	50
2.3.3. Parlaklık ölçümü .....	50
2.3.4. UV/VIS/NIR spektrofotometre ölçümleri .....	51
2.3.5. IR lamba etkisinde sıcaklık artışı tayini.....	51
2.3.6. Güneş ışığı etkisinde yüzey sıcaklığı tayini.....	52
3.BULGULAR VE TARTIŞMA .....	54
3.1. Kaplama Tasarımları .....	54

3.2. UV/VIS/NIR Spektrofotometre Ölçümleri.....	60
3.3. IR Lamba Etkisinde Yüzey Sıcaklığı Tayini.....	79
3.4. Güneş Işığı Etkisinde Yüzey Sıcaklığı Tayini.....	88
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	94
KAYNAKLAR .....	95
EKLER .....	100
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	114
ÖZGEÇMİŞ .....	115



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Elektromanyetik Dalga Spektrumu.....	4
Şekil 1.2.	ASTM G173-03'e göre güneş ışınımı spektrumu .....	5
Şekil 1.3.	Gelen ışığın yüzeydeki davranışı .....	6
Şekil 1.4.	Düzensiz ve dağınık yansım .....	7
Şekil 1.5.	Güneş Işınması.....	10
Şekil 1.6.	Güneş Işınımı Yansıtma ve Yayınlama Oranlarının İç Ortam Sıcaklığına Etkisi .....	12
Şekil 1.7.	Kızılötesi Bölgeye Transparan ve Yansıtıcı Kaplamalarda Işık Davranışı .....	12
Şekil 1.8.	Polyester Reçine Sentezi.....	20
Şekil 1.9.	Tereftalik Asit .....	20
Şekil 1.10.	İzoftalik Asit .....	21
Şekil 1.11.	Polyester Reçine ve Kurlenme Ajanı Varyasyonları .....	22
Şekil 1.12.	Hidroksialkilamid .....	22
Şekil 1.13.	Eriyik Karıştırma Yöntemi Proses Basamakları.....	23
Şekil 1.14.	Toz Boya Üretim Prosesi .....	23
Şekil 1.15.	Elektrostatik Tabanca ile Uygulama.....	24
Şekil 1.16.	CIE Renk Sisteminde L*, a*, b* Koordinatları .....	25
Şekil 1.17.	Renk Ölçüm Spektrofotometresi.....	26
Şekil 1.18.	Parlaklık Ölçme Cihazı .....	27
Şekil 1.19.	a- Işık Üç Farklı Geliş Açısı b- Farklı Parlaklık Değerleri için Geliş Açıları .....	27
Şekil 1.20.	UV/VIS/NIR Spektrofotometre .....	28
Şekil 2.1.	Çalışma Planının Şematik Gösterimi .....	40
Şekil 2.2.	IR lamba etkisinde sıcaklık artışı tayini düzeneği .....	52
Şekil 2.3.	Güneş Işığı Etkisinde Yüzey Sıcaklığı Ölçüm Düzeneği .....	53
Şekil 3.1.	Standart ve serin renkli kaplamalar.....	57
Şekil 3.2.	Standart ve serin siyah kaplamalar .....	58
Şekil 3.3.	RAL8017S ve RAL8017C' ye ait reflektans spektrumu .....	60
Şekil 3.4.	RAL9002S ve RAL9002C' ye ait reflektans spektrumu .....	61
Şekil 3.5.	RAL6005S ve RAL6005C' ye ait reflektans spektrumu .....	62
Şekil 3.6.	RAL7001S ve RAL7001C' ye ait reflektans spektrumu .....	63
Şekil 3.7.	RAL5005S ve RAL5005C' ye ait reflektans spektrumu .....	63
Şekil 3.8.	RAL3011S ve RAL3011C' ye ait reflektans spektrumu .....	64
Şekil 3.9.	RAL7016S, RAL7016S1 ve RAL7016C' ye ait reflektans spektrumu.....	65
Şekil 3.10.	RAL9005S ve RAL9005C' ye ait reflektans spektrumu .....	66
Şekil 3.11.	RAL9005S, RAL9005C, RAL9005KS ve RAL9005KC' ye ait reflektans spektrumu .....	67
Şekil 3.12.	RAL9005C, RAL9005AC1 ve RAL9005AC2'ye ait reflektans spektrumu.....	68
Şekil 3.13.	RAL9005S, RAL9005C, RAL9005DS ve RAL9005DC'ye ait reflektans spektrumu .....	69

Şekil 3.14.	RAL9005S, RAL9005C, RAL9005MS, RAL9005MC, RAL9005TS ve RAL9005TC'ye ait reflektans spektrumu .....	70
Şekil 3.15.	Standart ve serin renkli kaplamalarda TSR değeri karşılaştırması .....	71
Şekil 3.16.	Serin kaplamalar ile %TSR değeri artışları .....	72
Şekil 3.17.	Siyah renkli numunelerde TSR değeri karşılaştırması .....	73
Şekil 3.18.	IR lamba etkisinde RAL8017S ve RAL8017C'ye ait sıcaklık artışları .....	80
Şekil 3.19.	IR lamba etkisinde RAL9002S ve RAL9002C'ye ait sıcaklık artışları .....	80
Şekil 3.20.	IR lamba etkisinde RAL9002S ve RAL9002C'ye ait sıcaklık artışları .....	81
Şekil 3.21.	IR lamba etkisinde RAL7001S ve RAL7001C'ye ait sıcaklık artışları .....	82
Şekil 3.22.	IR lamba etkisinde RA5005S ve RA5005C'ye ait sıcaklık artışları .....	82
Şekil 3.23.	IR lamba etkisinde RAL3011S ve RAL3011C'ye ait sıcaklık artışları .....	83
Şekil 3.24.	IR lamba etkisinde RAL7016S, RAL7016S1 ve RAL7016C'ye ait sıcaklık artışları .....	84
Şekil 3.25.	IR lamba etkisinde RAL9005S ve RAL9005C'ye ait sıcaklık artışları .....	84
Şekil 3.26.	IR lamba etkisinde RAL9005C, RAL9005AC1 ve RAL9005AC2'ye ait sıcaklık artışları .....	85
Şekil 3.27.	IR lamba etkisinde RAL9005S, RAL9005C, RAL9005DS ve RAL9005DC'ye ait sıcaklık artışları .....	86
Şekil 3.28.	IR lamba etkisinde RAL9005S, RAL9005C, RAL9005MS, RAL9005MC, RAL9005TS ve RAL9005TC'ye ait sıcaklık artışları .....	87
Şekil 3.29.	Siyah numunelere ait termal kamera görüntüsü .....	90
Şekil 3.30.	Renkli numunelere ait termal kamera görüntüsü .....	92

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1.	Kızılötesi Işınım Sınıfları.....	6
Tablo 2.1.	Çalışmada Kullanılan Hammaddeler, Kimyasal Tanımları ve Özellikleri .....	38
Tablo 2.2.	Çalışmada Kullanılan Serin Pigmentler, Kimyası/Renk İndeksi ve NIR Davranışları .....	39
Tablo 2.3.	RAL8017 rengi standart kaplama içeriği.....	41
Tablo 2.4.	RAL8017 rengi serin kaplama içeriği.....	41
Tablo 2.5.	RAL9002 rengi standart kaplama içeriği.....	42
Tablo 2.6.	RAL9002 rengi serin kaplama içeriği.....	42
Tablo 2.7.	RAL6005 rengi standart kaplama içeriği.....	42
Tablo 2.8.	RAL6005 rengi serin kaplama içeriği.....	42
Tablo 2.9.	RAL7001 rengi standart kaplama içeriği.....	43
Tablo 2.10.	RAL7001 rengi serin kaplama içeriği.....	43
Tablo 2.11.	RAL5005 rengi standart kaplama içeriği.....	43
Tablo 2.12.	RAL5005 rengi serin kaplama içeriği.....	44
Tablo 2.13.	RAL3011 rengi standart kaplama içeriği.....	44
Tablo 2.14.	RAL3011 rengi serin kaplama içeriği.....	44
Tablo 2.15.	RAL7016 rengi standart kaplama içeriği.....	45
Tablo 2.16.	RAL7016 rengi düşük pigmentli standart kaplama içeriği.....	45
Tablo 2.17.	RAL7016 rengi serin kaplama içeriği.....	45
Tablo 2.18.	RAL9005 rengi standart kaplama içeriği.....	46
Tablo 2.19.	RAL9005 rengi serin kaplama içeriği.....	46
Tablo 2.20.	RAL9005 rengi dolgulu standart kaplama içeriği .....	46
Tablo 2.21.	RAL9005 rengi dolgulu serin kaplama içeriği .....	46
Tablo 2.22.	RAL9005 rengi mat standart kaplama içeriği.....	47
Tablo 2.23.	RAL9005 rengi mat serin kaplama içeriği.....	47
Tablo 2.24.	RAL9005 rengi pütürlü yüzey standart kaplama içeriği.....	47
Tablo 2.25.	RAL9005 rengi pütürlü yüzey serin kaplama içeriği.....	48
Tablo 2.26.	RAL9005 rengi alüminyum pigment ilaveli standart kaplama içeriği .....	48
Tablo 2.27.	RAL9005 rengi alüminyum pigment ilaveli serin kaplama içeriği .....	48
Tablo 3.1.	Çalışmada kullanılan kaplamaların toplam pigment ve siyah pigment içerikleri .....	54
Tablo 3.2.	Numunelere ait L*, a*, b* ve $\Delta E^*$ değerleri.....	56
Tablo 3.3.	Uygulanan kaplamaların film kalınlığı, örtücülük ve parlaklık değerleri .....	59
Tablo 3.4.	ASTM E 903- 20'ye göre solar reflektans a, solar absorbans $\alpha$ değerleri .....	74
Tablo 3.5.	Düşük rüzgar şartlarında Ts ve SRI değerleri.....	75
Tablo 3.6.	Orta rüzgar şartlarında Ts ve SRI değerleri .....	76
Tablo 3.7.	Yüksek rüzgar şartlarında Ts ve SRI değerleri.....	76
Tablo 3.8.	Siyah numunelere ait ortalama yüzey sıcaklıkları .....	88
Tablo 3.9.	Renkli numunelere ait ortalama yüzey sıcaklıkları.....	91



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$T_g$	: Camsı geçiş sıcaklığı,(°C)
$T_m$	: Erime noktası,(°C)
$d$	: Yoğunluk, (g/ml)
$T_s$	: Kararlı durum yüzey sıcaklığı,(°C)
$T_b$	: Referans siyah yüzey sıcaklığı,(°C)
$T_w$	: Referans beyaz yüzey sıcaklığı,(°C)
$\varepsilon$	: Emisivite
$k$	: Boltzman sabiti
$c$	: Işık hızı
$n$	: Kırılma indisi
$\lambda$	: Dalga boyu ( $\mu\text{m}$ )
$h$	: Planck sabiti
$a$	: Solar reflektans
$\alpha$	: Solar absorbens

### Kısaltmalar

ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerika Test Materyalleri Topluluğu)
CI	: Color Index (Renk İndisi)
CIE	: Commission Internationale de l'Eclairage (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu)
IR	: Infrared (Kızılötesi)
KIAE	: Kentsel Isı Adası Etkisi
NIR	: Near Infrared (Yakın Kızılötesi)
PTFE	: Politetrafloroetilen
SRI	: Solar Reflectance Index (Güneş Işığı Yansıtma İndisi)
TSR	: Total Solar Reflectance (Toplam Güneş Işığı Yansıtma)
TGIC	: Tri glycidyl isocyanurate
UV	: Ultraviyole
VOC	: Volatile Organic Compound (Uçucu Organik Bileşik)
VIS	: Visible (Görünür)

## **YAKIN KIZILÖTESİ IŞINLARI YANSITAN VE İLETEN SERİN TOZ KAPLAMALARIN GELİŞTİRİLMESİ**

### **ÖZET**

Güneş ışınlarına maruz kalan bir yüzeyin sıcaklığı, güneş ışığını yansıtma ve kızılötesi yayılım yapma özelliklerinden etkilenmektedir. Yüksek yansıtma ve yayılım değerlerine sahip bu kaplamalar, ‘serin kaplamalar’ olarak adlandırılmaktadır. Serin kaplamalar binalarda ısınmayı azaltarak, soğutma için gereken enerji ihtiyacını düşürmekte ve kentsel ısı adası etkisini hafifletmektedir. Bina bileşenlerinde yaygın olarak kullanılan alüminyum, yüksek yansıtma özelliğine sahiptir. Ancak korozyon dayanımı ve estetik kaygılardan dolayı, alüminyumun kaplanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan çalışmada, kızılötesi ışınları yansıtan serin pigment kullanılarak yansıtıcı kaplamalar ve kızılötesi ışınları ileten serin pigment kullanılarak, alüminyum yüzeylerin yüksek yansıtma özelliğinden faydalanan serin kaplamalar tasarlanmıştır. 8 farklı renkte tasarlanan standart kaplama ve geliştirilen serin alternatiflerinin yansıtma ve termal özellikleri incelenmiştir. Bu renklerden en çok ısınan renk olarak bilinen siyah (RAL9005) kaplama seçilerek, farklı parlaklık ve yüzey dokusunun, film kalınlığının, dolgu ve alüminyum pigment ihtivasının, yansıtma performansına etkileri incelenmiştir. Ayrıca seçilen bir renkte pigment miktarının etkileri analiz edilmiştir. Kaplanan panellerin UV/VIS/NIR spektrofotometre kullanılarak yansıtma performansları, IR lamba etkisinde ve gün ışığı etkisinde termal analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, kızılötesi ışınları ileten pigment ile tasarlanan kaplamaların yansıtma özelliklerinde daha yüksek iyileşme olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda karbon siyahı ile tasarlanana siyah renk kızılötesi ileten serin pigment ile geliştirildiğinde %443 ‘e kadar TSR değeri iyileşmesi görülmüştür. Serin kaplamaların farklı renk, parlaklık, yüzey dokusuna sahip olabileceği, dolgu ihtivası ile ucuzlatılabileceği ve alüminyum pigment ihtivası ile özel efekt verilebileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** NIR İletme, NIR Yansıtma, Serin Kaplamalar.

## **DEVELOPMENT OF COOL POWDER COATINGS WITH HIGH NIR TRANSMITTANCE AND REFLECTANCE**

### **ABSTRACT**

The temperature of a surface exposed to sunlight is affected by its ability to reflect sunlight and make infrared emission. These coatings with high reflectance and diffusion values are called "cool coatings". Cool coatings reduce the heating of buildings, reduce the energy need for cooling and alleviate the urban heat island effect. Widely used in building components, aluminum has high reflectivity. However, aluminum needs to be coated due to corrosion resistance and aesthetic concerns. In the study, reflective coatings using a cool pigment that reflects infrared rays and a cool pigment that transmits infrared rays, and cool coatings that benefit from the high reflectivity of aluminum surfaces were designed. The reflection and thermal properties of the standard coating designed in 8 different colors and the developed cool alternatives were examined. Among these colors, black (RAL9005) coating, which is known as the most warming color, was selected, and the effects of different brightness and surface texture, film thickness, filler and aluminum pigment content on the reflection performance were examined. In addition, the effects of the amount of pigment in a selected color were analyzed. Reflection performances of the coated panels were analyzed by using UV / VIS / NIR spectrophotometer, under IR lamp and daylight effect. As a result of the studies, it has been observed that the reflective properties of the coatings designed with pigments that transmit infrared rays have higher improvement. As a result of the studies carried out, when the black color designed with carbon black was developed with an infrared-transmitting cool pigment, an improvement of up to 443% was observed in the TSR value. It was concluded that cool coatings can have different color, brightness, surface texture, cheaper with filler content and special effects with aluminum pigment content.

**Keywords:** NIR Transmittance, NIR Reflectance, Cool Coatings.

## GİRİŞ

Günümüzde dünya nüfusunun yaklaşık yarısı kentlerde yaşamaktadır ve yakın gelecekte çok daha artması beklenmektedir. Dolayısı ile kentleşmenin çevre üzerindeki olumsuz etkileri her geçen gün artmaktadır. Şehirleşme ile birlikte gelen problemlerden biri de şehirlerdeki sıcaklık artışlarıdır. Şehirler kırsal bölgelere göre daha çok ısınmaktadır [1]. Kentsel bölge sıcaklıklarının kırsal bölgelere göre binaların çokluğu sebebiyle ile fazla olmasına Kentsel Isı Adası Etkisi, KIAE (Urban Heat Island Effect) denmektedir. Şehirdeki sıcaklıklar kırsal bölgelere göre ortalama 1–3°C derece daha yüksek olmaktadır. Bu fark meteorolojik şartlara göre (serin ve bulutlu bir kış gecesinde) 10°C'ye kadar çıkmaktadır [2]. Kentlerde ısı üreten kaynakların artması, kentsel yüzey malzemelerinin gündüz saatlerinde güneşten gelen ısıyı depolayıp, geceleri bırakması, yaz ve kış aylarında kullanılan iklimlendirme cihazları gibi etkiler sonucunda kent üzerinde toz kubbeleri oluşmaktadır. Böylece kentler, insan faaliyetleri sonucunda yapay alanlar oluşturarak doğal ortamlardan farklı atmosfer sıcaklığı oluşturmaktadır. Bu da iklim değişiklikleri ve bölgesel sıcaklık farklarının oluşmasına neden olmaktadır [3].

Dünya genelinde yıllık enerji tüketiminin %40'ından ve sera gazı emisyonlarının üçte birinden binalar sorumludur. Bu enerjinin önemli bir kısmı binalarda aydınlatma ve iklimlendirme amacıyla kullanılmaktadır. Maalesef, iklim değişiklikleri, nüfus artışı ve yaşam standardındaki değişim nedeniyle gelecekte enerji gereksiniminin daha da artması beklenmektedir. Bununla birlikte, gaz emisyonlarının çevresel etkileri konusunda artan farkındalık, binalar için çevre dostu soğutma ve ısıtma teknolojilerine olan ilginin yenilenmesini tetiklemiştir. Bu nedenle, binalar ve kentsel yapılar için enerji tasarrufuna yönelik pasif soğutma teknikleri (örneğin, yüksek derecede yansıtıcı bina bileşenleri) geliştirilmektedir. Bu amaç için kullanılan malzeme ve kaplama araştırmaları, soğutma yüklerini azaltma ihtiyacı nedeniyle son yıllarda önemli ölçüde artmıştır [4, 5]. Binalarda ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketiminin azaltılması ve böylece mevcut enerji kaynaklarının etkin ve ekonomik kullanılması ile çevreye

olumsuz etkileri azaltılabilir. Başka bir deyişle, binalarda enerji verimliliğinin sağlanması için binaların dış kabuğu enerji etkin sistemler ile tasarlanmalıdır [2]. Kullanılan stratejilerin neredeyse hepsinde, yüksek güneş yansıtma oranına sahip "serin" malzemeler, binaların soğutma enerjisi ihtiyaçlarını azaltmadaki etkinliklerinde özel bir konuma sahiptir [6]. Serin malzemeler güneş ışımasını yansıtarak ve soğurulan enerjiyi atmosfere geri göndererek çalışır, bu sayede iletim yoluyla iç mekana ısı transferini azaltır (örneğin, %93'e varan daha az soğutma ihtiyacı) [4]. Enerji tasarrufu iklim koşullarına bağlıdır. Yansıtıcı yüzeye sahip binalar için soğutma enerji tasarrufu sıcak iklimlerde en yüksektir. Ancak, bu durum soğuk iklimlerde ısıtma ihtiyacını arttırabileceğinden, serin malzemelerin soğuk iklimlerde kullanımını önerilmez [7].

Binanın dış yüzey sıcaklığının düşmesi için, güneş ışığını yansıtması veya kızılötesi ışınların yayılımının yüksek olması gerekir. Güneş ışığı yansıtma özelliğinin yüksek olması güneşten kaynaklı ısınmayı azaltır ve kızılötesi yayılımın yüksek olması ışımsal soğumayı artırır. Genellikle, bir bina dışına yüksek albedo (yüksek yansıtma özelliğinde) kaplama uygulanması, kızılötesi yayılımda kayda değer bir değişiklik olmadan güneşin yansımalarını artırır [8].

Genellikle koyu renkler doğrudan güneş ışığından daha fazla ısı enerjisi emerken, daha açık renkler güneş ısınımsını atmosfere geri yansıtır. Koyu renklere sahip bir bina, dış yüzeyine çarpan doğrudan güneş ışığından yayılan enerjinin %70-90'ını emecektir. Toplanan bu ısının bir kısmı binaya aktarılacaktır. Buna karşılık, açık renkli binalar ısının çoğunu dış yüzeylerden uzaklaştırarak daha az ısı birikimi sağlamaktadır [9]. Koyu renk çatılar yaz aylarında güneş tarafından ısınır ve böylece binaların soğutma talebi artar. Oldukça emici çatılar için, yüzey ve ortam hava sıcaklıkları arasındaki fark 50°C'ye kadar çıkabilir. Bu durumda beyaz kaplamalar veya daha az emici (yüksek albedo) çatılar arasındaki fark sadece 10°C'dir [7]. Beyaz pigment olarak titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) içeren normal boyalar, görünür ve IR radyasyonunu çok iyi yansıtır. TiO<sub>2</sub>, boya formüllerinde en çok kullanılan pigmenttir. Yüksek kaplama gücü, dayanıklılık, parlaklık ve opaklık sağlayarak boyanın kalitesini olumlu etkileyen bir bileşendir. Ancak, tamamen beyaz bir şehrin yaratabileceği monoton etkiden kaçınmak için renkli kaplamalar tercih edilmektedir. Kaplamaları estetik açıdan üstün

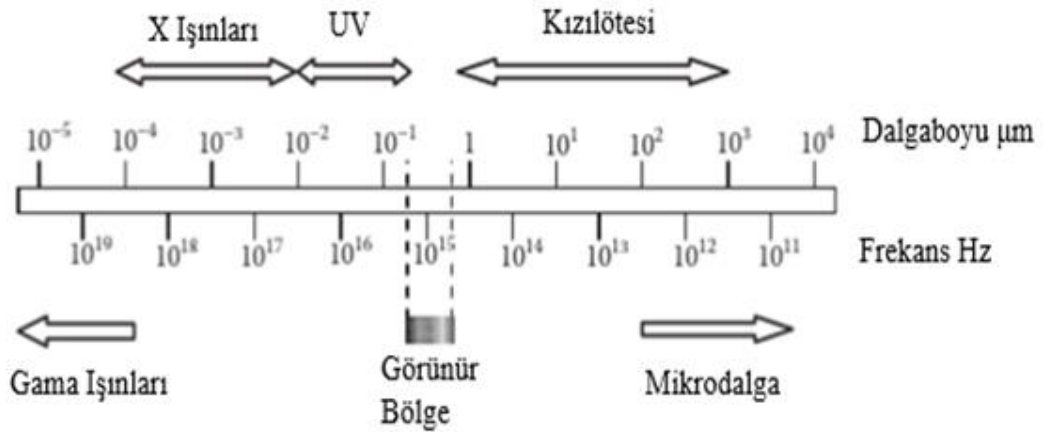
ve çekici hale getiren, ‘serin’ pigmentlerin geliştirilmesi dış mekan uygulamalarındaki bu monotonluğu ortadan kaldırmıştır. Geleneksel pigmentlerle tasarlanan kaplamalardan daha soğuk yüzeyler sağlayan bu kaplamalar, IR ışınları yansıtan ya da ileten pigmentler ile tasarlanmaktadır [10]. Beyaz olmayan soğuk malzemelerin üretiminde en önemli teknoloji, karmaşık inorganik pigmentler veya karışık metal oksit pigmentleri içeren tasarımlardır [11].

Bu çalışmada amaç, ısınan yüzeyi ile olumsuz çevresel etkilere sebep olan standart renkli kaplamalara alternatif olarak ‘serin’ toz kaplamalar geliştirmektir. Bunun için, ısınmaya en çok sebebiyet veren geleneksel siyah pigmentlere alternatif, IR ışınları ileten ve yansıtan serin pigmentler kullanılmıştır. Kaplanan malzemelerin mükemmel yansıtma özelliğine sahip alüminyum olması, IR transparan pigment kullanımına olanak sağlamıştır. Çalışmada standart siyah (RAL9005) kaplama ve serin siyah kaplamada, alüminyum pigment ilavesi, dolgu ilavesi, parlaklık değişimi, yüzey dokusu değişimi ve film kalınlığı değişimi gibi etkenlerin yansıtma özelliğine etkisi incelenmiştir. Bunların yanı sıra 7 farklı renk (RAL8017, RAL9002, RAL5005, RAL7001, RAL6005, RAL3011, RAL7016) standart ve serin kaplama olarak tasarlanarak yansıtma özellikleri karşılaştırılmıştır. Seçilen bir renk için farklı pigment konsantrasyonlarının yansıtma etkisi gözlenmiştir. Yansıtma özelliklerini karşılaştırmak için morötesi-görünür-kızılötesi (UV-VIS-NIR) ışık spektroskopisi ile spektral analiz ve teknik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca güneş ışığı etkisinde ve IR (infrared) lamba etkisinde yüzeylerin termal karakterizasyonları yapılmıştır

## 1. TEORİK BİLGİLER

### 1.1. Güneş Işınımı Spektrumu

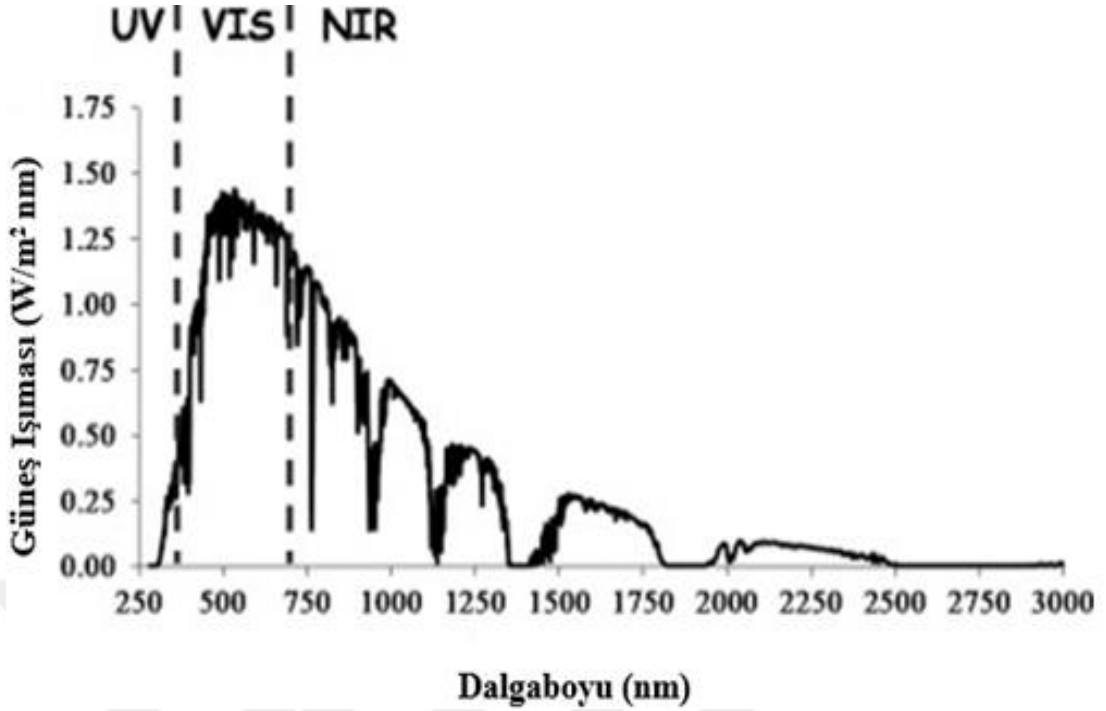
Güneşten yayılan enerji farklı dalga boylarında elektromanyetik dalgalar halinde yayılır ve elektromanyetik güneş spektrumu olarak adlandırılır. Spektrumda güneş ışınımı, dalga boylarına göre temel gruplarla ifade edilir; radyo dalgaları, mikro dalgalar, kızılötesi ışınlar (infrared-IR), görünür ışınlar (VIS), morötesi ışınlar (ultraviyole-UV), x ışınları ve gama ışınlarıdır [12]. Dalga boyu ile enerji miktarı ters orantılıdır. En kısa dalga boylu gama ışınları, en yüksek enerjiye sahipken, uzun dalga boylu radyo dalgaları ise en düşük enerjiye sahiptir. [13].



Şekil 1.1. Elektromanyetik Dalga Spektrumu

Yeryüzüne gelen güneş ışınımı miktarı, güneş ışığının atmosferde aldığı yol ve atmosferin fiziksel özelliklerine bağlı olarak azalmaktadır. Bu nedenlerle yere ulaşan ışınım, direkt güneş ışınımından oldukça küçüktür. Yeryüzüne ulaşan güneş ışınımının dalga boyu dağılımı ise; ışının aldığı yola, atmosfer bileşenlere, emilme ve saçılma olaylarına bağlıdır. Atmosferin kompozisyonu çeşitli etkilerle değiştiği zaman dalga boyu dağılımı da değişmektedir [14].

Şekil 1.2'de belirtildiği gibi, hava kütlesi 1.5'te dünya yüzeyindeki güneş ışınımının ASTM G173-03'teki tablo haline getirilmiş verilerine göre, dalga boyu 200-2500 nm arasında değişen tipik spektral dağılım üç bölgeye ayrılabilir [16].



Şekil 1.2. ASTM G173-03'e göre güneş ışınımı spektrumu [15]

**Ultraviyole Bölge (295-400 nm):** Ultraviyole bölge 295 nm'de başlar. UV, dünya yüzeyine ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık %5'ini oluşturur. Güneş ışınımında düşük bir paya sahip ultraviyole bölge, enerji açısından en etkin ışınları içerir [17]. Enerji seviyesi birincil bağları parçalamak için yeterlidir. Bu ışınların, canlılar üzerinde olumsuz biyolojik etkileri olduğu gibi, polimerik bileşenlerin ayrışmasına ve organik kaplamaların bozulmasına sebep olur.

**Görünür Bölge (400-700 nm):** Güneş enerjisinin yaklaşık %50'si elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde yer almaktadır. Pigmentler, görünür ışığı seçici olarak emer ve kalanı yansıtır. Bir nesne tüm görünür dalga boyu aralığını yansıtıyorsa, o nesne beyazdır. Bu ışığın bazı bölgeleri emilir ve diğerleri yansıtılırsa, nesne renkli görünür. Örneğin, mavi bir pigment, mavi dışındaki tüm dalga boylarını emer. Görünür bölgedeki diğer dalga boylarını emdiği ve yalnızca mavi ışığı yansıttığı için mavi görünür. Siyah bir yüzey görünür bölgedeki tüm dalga boylarını emer ve hiçbirini yansıtmaz. Yani görünür bölge, bize renk algısı veren dalga boylarından oluşur.

**Kızılötesi Bölge (700-2500 nm):** Kızılötesi bölge toplam güneş enerjisinin yaklaşık %45' ini oluşturur. Kızılötesi ışınlar 700-2500 nm dalga boyu arasında değişir. Isı,



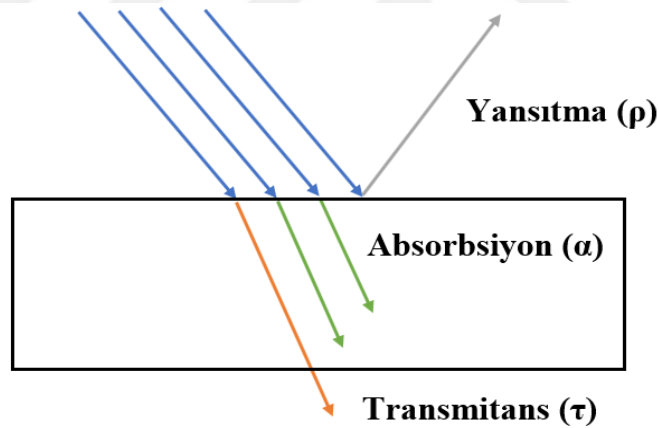
bir cisim üzerindeki kızılötesi radyasyon olayının doğrudan bir sonucudur. Kızılötesi radyasyonların ısı üreten bölgesi 700-1100 nm (NIR) arasındadır ve bu ışınların absorblanması yüzeyin ısınmasına sebep olmaktadır [16]. Tablo 1.1’de belirtildiği gibi IR ışınımı üç farklı sınıfa ayrılır; yakın-IR(NIR), orta-IR(MIR), uzak-IR(FIR) [18].

Tablo 1.1. Kızılötesi Işınım Sınıfları [18]

Işınım Sınıfı	Spektral Aralık
Yakın-IR	0,75-1,4 $\mu\text{m}$
Orta-IR	1,4-3 $\mu\text{m}$
Uzak-IR	3-1000 $\mu\text{m}$

## 1.2. Yüzeyin Isınma Mekanizması

Elektromanyetik dalga yüzeye ulaştığı zaman üç olay meydana gelebilir; reflektans (yansıtma), emilim (absorbsiyon) ve geçirgenlik (transmitans).



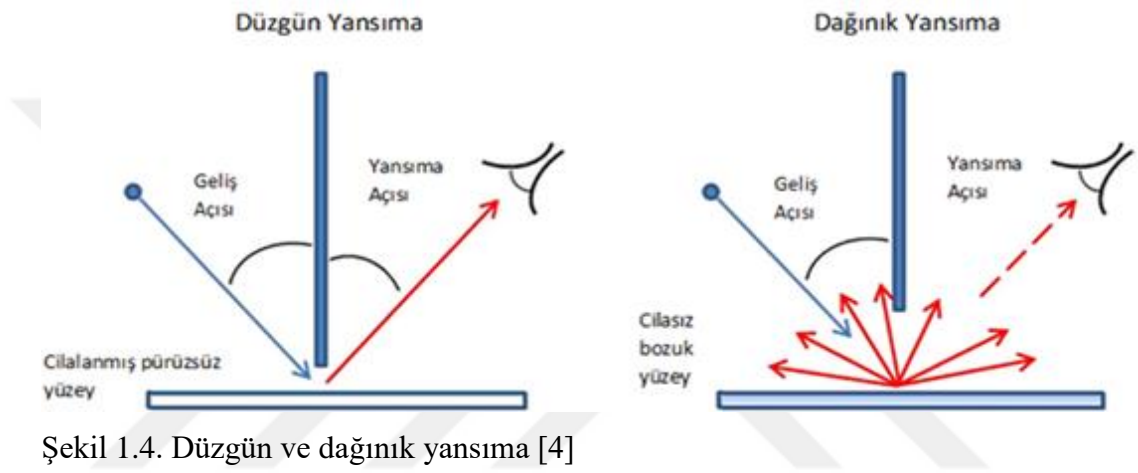
Şekil 1.3. Gelen ışığın yüzeydeki davranışı [19]

Üç temel ışınma özelliği şu şekilde ifade edilir; gelen radyasyonun yansıyan kısmının, gelen toplam radyasyona oranı yansıtma ( $\rho$ ), gelen radyasyonun emilen kısmının, gelen toplam radyasyona oranı absorptivite ( $\alpha$ ), gelen radyasyonun iletilen kısmının, gelen toplam radyasyona oranı geçirgenlik ( $\tau$ ) [20].

Şekil 1.3’de yüzeye gelen ışığın davranışı görülmektedir. Bu üç bileşenin enerjisi Denklem 1.1’deki durum enerjisine eşittir:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (1.1)$$

Yansımaya, düzgün ve dağınık yansımaya olmak üzere iki şekilde gerçekleşebilir (Şekil 1.4). Pürüzsüz cilalı yüzeylerde, yansıyan ışığın açısının gelen ışığın açısına eşit olduğu durumlarda düzgün yansımaya gözlemlenir. Yüzey pürüzlü olduğunda, dağınık yansımaya meydana gelir ve yansıyan ışık her yöne dağılır [4]. Partikül boyutu yansımaya etkiler. Dağınık yansımaya partikül boyutuna bağlıdır ve partikül boyutu azaldığı zaman tane sınırlarındaki yansıtımaların sayısı artar. Sonuç olarak gelen ışığın penetrasyon derinliğindeki azalma ışığın absorblanan kısmında azalışa ve ışığın yansıyan kısmında artışa sebep olacaktır [16-19].



Şekil 1.4. Düzgün ve dağınık yansımaya [4]

Yüzeyin absorpsiyonu doğrudan ölçülememektedir. Absorpsiyon değeri için yansıtma ve geçirgenlik değerleri ölçülmektedir.

### 1.2.1. Toplam güneş ışığı yansıtma (TSR)

Toplam güneş ışığı yansıtma (Total Solar Reflectance) değeri malzemelerin güneş ışığını yansıtma miktarını tanımlamaktadır. Yüzey, güneşten gelen ışığı ne kadar çok yansıtırsa o kadar az ısınır ve yüzey sıcaklığı düşük kalır [2].

Güneş ışığı, spektrumun ultraviyole bölge, görünür gölge ve kızılötesi bölgelerinde önemli bir enerjiye sahiptir ve enerjinin yoğunluğu dalga boyunun bir fonksiyonu olarak önemli ölçüde değişir.  $\rho_{sol}$  değeri, güneş ışımının yaklaşık %99'u olan 300-2500 nm aralığında, ölçülen spektral yansıtma ( $\rho_{\lambda}$ ) değerlerinin ortalamasıdır. Ölçülen spektral yansıtma değeri ( $\rho_{\lambda}$ ), dünya yüzeyindeki güneşin spektral ışımması ( $I_{sol,\lambda}$  (W/(m<sup>2</sup> nm))) ile ağırlıklandırılarak ilgili dalga boyunda  $\lambda$  (nm), yansıyan kısım ile gelen radyasyonun toplam miktarının oranı alınarak hesaplanır (Denklem 1.2).

$$\rho_{sol} = \frac{\int_{300}^{2500} \rho_{\lambda} \cdot I_{sol,\lambda} \cdot d\lambda}{\int_{300}^{2500} I_{sol,\lambda} \cdot d\lambda} \quad (1.2)$$

Toplam güneş ışığı yansıtma, bir yüzeyde absorblanmayan güneş ışığı miktarını hesaplandığından, güneş ışığından kazanılan ısıyı belirlemede temel faktördür [21]. TSR değeri yüzde olarak ifade edilir. Genellikle beyaz kaplamalar, %75 veya daha yüksek bir toplam güneş ışığı yansıtma oranı sergiler. Tanımı gereği toplam güneş ışığı yansıtma oranı %75 olan beyaz bir kaplama, gelen enerjinin %25'ini emecektir. Karbon siyahı kullanılan siyah bir kaplama, %4 kadar düşük bir TSR değerine sahip olabilir ve bu nedenle, gelen güneş enerjisinin %96'sını emer [39].

Toplam güneş yansıtması, UV-VIS-NIR entegre küre spektrofotometresinden elde edilen yansıtma verilerinden hesaplanabilir. ASTM E 903, entegre küre spektrofotometreleri kullanarak malzemelerin güneş soğurma, yansıtma ve geçirgenliğini belirlemek için standart bir test yöntemini ana hatlarıyla belirtir [22].

### 1.2.2. Güneş ışığı yansıtma indisi (SRI)

Güneşe maruz kalan ve izole edilen bir yüzey için, yüzeysel denge sıcaklığı ( $T_s$ ) ASTM E1980-11'den elde edildiği gibi elde edilir [23-25]:

$$(1 - a)I = \epsilon\sigma(T_s^4 - T_{sky}^4) + h_c(T_s - T_a) \quad (1.3)$$

$$T_s = 309.07 + \frac{(1066.07\alpha - 31.98\epsilon)}{(6.78\epsilon + h_c)} - \frac{(890.94\alpha^2 + 2153.8\alpha\epsilon)}{(6.78\epsilon + h_c)} \quad (1.4)$$

Burada;  $\alpha$  = güneş absorpsiyonu = 1-a (güneş yansıtması),  $I$  = güneş akısı,  $W/m^2$ ,  $\epsilon$  = termal yayma,  $\sigma$  = Stefan Boltzmann sabiti,  $5,66961 \times 10^{-8}$ ,  $W/m^2 \text{ } ^\circ K^{-4}$ ,  $T_s$  = kararlı durum yüzey sıcaklığı,  $^\circ K$ ,  $T_{sky}$  = gökyüzü sıcaklığı,  $^\circ K$ ,  $h_c$  = konvektif katsayısı,  $W/m^2 \text{ } ^\circ K^{-1}$ ,  $T_a$  = hava sıcaklığı,  $^\circ K$ .

SRI, bir yüzeyin standart güneş ve ortam koşulları altında, standart beyaz yüzeye (SRI = 100) ve standart siyah yüzeye (SRI = 0) göre bağıl kararlı hal sıcaklığının bir ölçüsüdür. Denklem (1.4)'deki gibi hesaplanır [24].

$$SRI = \frac{T_b - T_s}{T_b - T_w} \times 100 \quad (1.5)$$

Kararlı Durum Yüzey Sıcaklığı ( $T_s$ )- standart güneş ve ortam koşulları altındaki yüzeyin sıcaklığı, °K.

Referans Siyah Yüzey Sıcaklığı ( $T_b$ )- standart güneş ve ortam koşulları altında 0.05'lik bir güneş yansımaları ve 0,9'luk kızılötesi yayma ile siyah bir yüzeyin sabit durum sıcaklığı, °K.

Referans Beyaz Yüzey Sıcaklığı ( $T_w$ )- standart güneş ve çevre koşulları altında 0.80 güneş yansıtma ve 0,9 kızılötesi yayma ile beyaz bir yüzeyin sabit durum sıcaklığı, °K [24].

### 1.3. Yüzeyin Soğuma Mekanizması

Gelen ışını absorblayan yüzeyin soğuma mekanizması üç şekilde olabilir; kondüksiyon (iletim), konveksiyon (taşınım) ve radyasyon (ışınım). İletim farklı sıcaklıktaki yüzeylere sahip malzemedeki ısı transferidir. Taşınım, malzeme yüzeyinin farklı sıcaklıktaki sıvı veya gaz çevre ile arasındaki ısı transferidir. Işınım ise sıcaklığın bir fonksiyonu olarak nesnelere yayılmaktadır. Nesnenin çevresine olan ısı transferi emisyon ile doğru orantılıdır. Emisivitesi yüksek olan malzemeler düşük olanlara göre daha çabuk soğurlar [17].

Kızılötesi ışımanın ana kaynağı termal radyasyon olduğundan, bir sıcaklığa sahip herhangi bir cisim kızılötesi dalga yayımlamaktadır. Buz küpü gibi soğuk bir cisim bile kızılötesi ışınım yapar. Bir obje görünür bölgede ışınım yapmak için yeterince sıcak olmadığında enerjisinin çoğunu kızılötesi bölgede yayacaktır. Örneğin, sıcak odun kömürü ışık yaymaz. Ancak kızılötesi dalgalar yaydığından sıcaklığını hissederiz [19].

Emisivite, bir nesnenin kızılötesi enerji yayma yeteneğinin ölçüsüdür. Yayılan enerji, nesnenin sıcaklığını gösterir. Emisivite, 0 (parlak ayna) ile 1,0 (Kara cisim) arasında bir değere sahip olabilir. Emisivite ( $\epsilon$ ), her malzemenin yüzey özelliğidir. Emisivite ne kadar yüksek olursa, yüzeyin ısı kaybı o kadar hızlı olur [10].

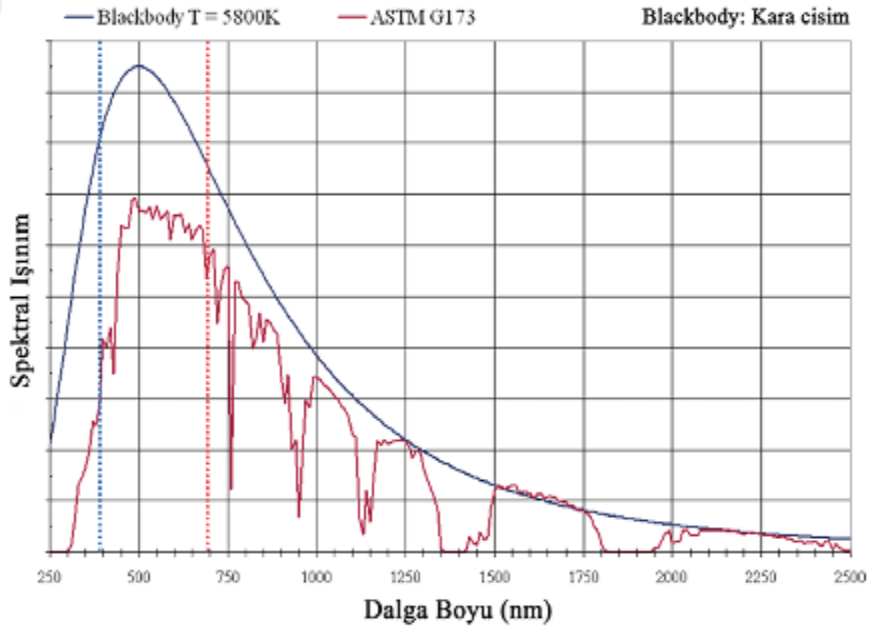
### 1.3.1. Kara cisim ışıması

Nesneler, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak radyasyon yayarlar. Kaplamanın emisivite değerinin artması, yüzeyden daha fazla enerjinin yayılmasına olanak sağlar. Bu durum sonucunda yüzey sıcaklığı düşer. Emisivite kavramını anlamak için, kara cisim ve gri cisim ışıması tanımını gözden geçirmek gerekmektedir.

Gelen tüm radyasyonu emen cisim, kara cisim olarak tanımlanmaktadır. Bu kara cisim ayrıca sıcaklığın bir fonksiyonu olarak elektromanyetik radyasyon yayacaktır. Max Planck, cismin sıcaklığıyla ilişkili olduğu için kara cismin dalga boyu başına spektral ışıma uyarımının matematiksel bir formülünü oluşturmuştur. Bu Planck'ın kara cisim ışıması yasasıdır [40].

$$E(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1} \quad (1.6)$$

k: Boltzman sabiti( $1,3806 \times 10^{-23}$  J/K), T: Sıcaklık(K), n: Kırılma indisi, c: Işığın hızı(km/s),  $\lambda$ : Dalga boyu ( $\mu\text{m}$ ), h: Planck sabiti ( $6,626 \times 10^{-34}$  J.s)



Şekil 1.5. Güneş Işıması [21]

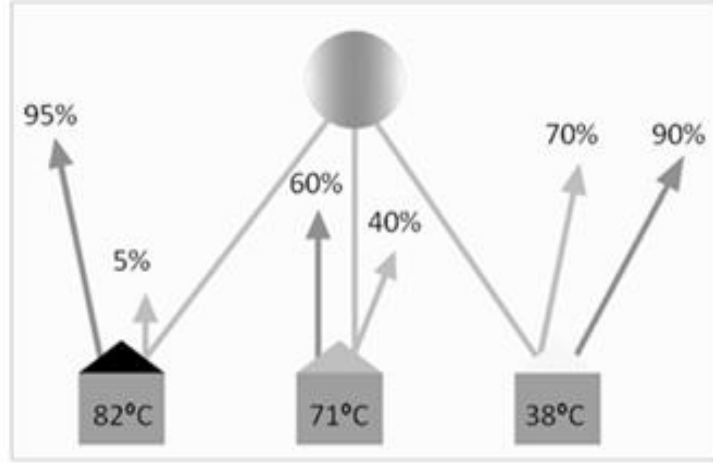
Planck yasası alevde metal bir çubuğun ısıtılmasıyla açıklanabilir. Çubuğun sıcaklığı arttıkça, çubuk yayılan radyasyondan kırmızı görünmeye başlayacaktır. Sıcaklık daha

da arttığında, çubuğun rengi donuk kırmızıdan daha enerjik (daha mavi) bir dalga boyuna geçecektir [40]. Şekil 1.5’de verilen iki eğri dalga boyunun bir fonksiyonu olarak güneşten gelen ışığın yoğunluğunu tanımlamaktadır. Şekilde üstte verilen eğri 5800 K sıcaklıktaki ideal bir kara cismin enerji dağılımıdır ve Planck Yasası’na göre verilen Denklem 1.6’ya dayanmaktadır. Herhangi bir dalga boyundaki ışık yoğunluğu sadece sıcaklığın bir fonksiyonudur; h, c ve k fiziksel sabitlerdir. Bu denklem herhangi bir sıcaklıktaki kara cisim nesnelere için kullanılabilir. Diğer eğri ise dünyanın yüzeyinden güneş ışığının ASTM G 173 standardına göre ölçülen yoğunluğudur. Teorik ve gözlemlenen enerji arasındaki önemli farkın sebebi, Rayleigh saçılımı ve atmosferik gazlar ( $O_3$ ,  $H_2O$ ,  $O_2$  ve  $CO_2$ ) tarafından gerçekleşen absorpsiyon kayıplarıdır [21].

#### **1.4. Serin Kaplamalar**

Yüzeyin sıcaklığını etkileyen faktörlerden biri yüzeyin güneş ışığı yansıtma kapasitesi, diğeri ise kızılötesi ışıma yapabilirliğidir [10, 26]. Yüksek güneş ışığı yansıtma (TSR) ya da güneş ışığı yansıtma indisi (SRI) değerine sahip ve yüksek kızılötesi yayılım,  $\epsilon$  yapan kaplamalar serin kaplamalar olarak adlandırılmaktadır. Bu iki özellik yüzey sıcaklığını etkiler. Güneş ışığı yansıtması ve kızılötesi ışıması yüksek yüzeyler, güneş ışığı yansıtma ve kızılötesi ışıması düşük yüzeylere göre daha soğuk kalırlar [27]. Bugüne kadar yapılan test sonuçlarından, yüksek TSR değerinin düşük yüzey sıcaklığına, düşük TSR değerinin ise yüksek yüzey sıcaklığına neden olduğu görülmüştür [39].

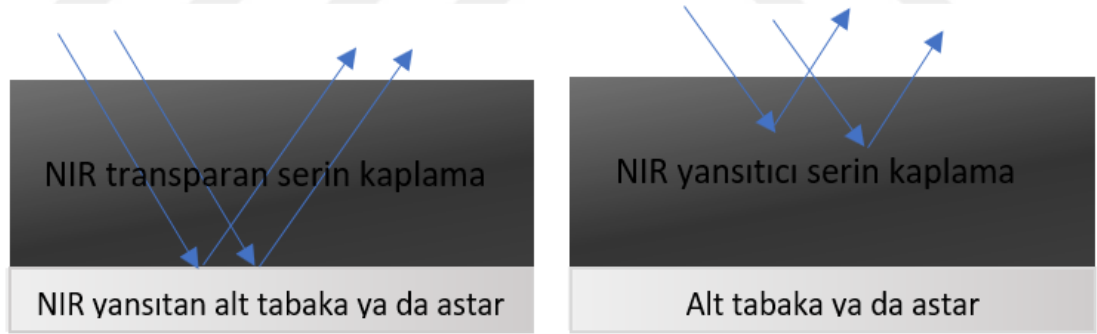
Şekil 1.6’da farklı yansıtma ve yayınlama oranlarına sahip kaplamalarla tasarlanan çatılarda yüzey sıcaklığındaki farklılıklar görülmektedir. Buna göre; %5 yansıtma, %95 yayınlama oranlarına sahip bir çatının altında bina içi sıcaklık  $82^{\circ}C$  sıcaklıkta iken, %60 yansıtma, %40 yayınlama oranlarına sahip bir çatının altındaki mekan  $71^{\circ}C$  sıcaklıkta ölçülmektedir. Bununla birlikte, yüksek yansıtma ve yayınlama oranlarına (%70 ve %90) sahip çatı kaplama malzemelerinin; bahsi geçen iç ortam sıcaklık değerlerini,  $38^{\circ}C$ ’ye kadar düşürebildiği görülmektedir. Bu örnekte de görüldüğü gibi, çatı yüzey sıcaklığı ve buna bağlı olarak iç ortam sıcaklığı, çatı yüzeyinin yansıtma ve yayınlama oranlarının bir fonksiyonudur [10, 12].



DÜŞÜK YANSITMA O. YÜKSEK YANSITMA O. YÜKSEK YANSITMA O.  
YÜKSEK YAYINLAMA O. DÜŞÜK YAYINLAMA O. YÜKSEK YAYINLAMA O

Şekil 1.6. Güneş Işınımı Yansıtma ve Yayınlama Oranlarının İç Ortam Sıcaklığına Etkisi [12]

Yüksek TSR değerine sahip yansıtıcı sistemler iki şekilde tasarlanabilir. Bu sistemler NIR yansıtıcı kaplamalar kullanılarak ya da yansıtıcı alt tabaka üzerine NIR geçirgen bir kaplama uygulanarak elde edilir. Şekil 1.7’de NIR yansıtıcı ve NIR ileten kaplamalarda ışığın davranışı gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Kızılötesi Bölgeye Transparan ve Yansıtıcı Kaplamalarda Işığın Davranışı

NIR ileten kaplama sistemleri çift katmanlı ve tek katmanlı şekilde tasarlanabilir. Çift katmanlı sistemlerde NIR yansıtıcı bir astar uygulanır ve üzerine NIR ileten bir kaplama uygulanır. Tek katmanlı sistemlerde ise, alüminyum gibi NIR yansıtıcı bir alt tabaka üzerine doğrudan NIR ileten kaplama uygulanır. Tek katmanlı sistemler kaplama maliyeti açısından daha avantajlıdır. Çift katmanlı sistemlerin avantajı ise herhangi bir alt tabakaya uygulanabilir olmasıdır. Alt tabakanın yüksek yansıtma özelliğine sahip olması gerekmez [28]. Kaplamaların NIR geçirgenliği hakkında bilgi

sahibi olmak için, alüminyum yüzey ve siyah bir yüzey üzerine uygulanan kaplamaların reflektans spektrumları karşılaştırılabilir. Alüminyum ve siyah alt tabaka üzerindeki kaplamaların yansımaları arasındaki büyük fark, yüksek geçirgenlik ve düşük emiş özelliğine sahip bir kaplamanın göstergesidir [28]. Gün boyunca yüzeyin ısı performansını etkilen en önemli faktör yüzeyin ısı yansıtma kapasitesidir. Gündüz kızılötesi ışımının etkisi, ısı yansıtmanın etkisinden daha düşüktür. Güneş varlığında, yüzey ısısını en çok ısı yansıtma etkilemektedir. Fakat durum gece değişmektedir. Gece yüzeyin sıcaklığını etkilen en önemli faktör, yüzey tarafından emilen ısının dışarı verilmesi, yani kızılötesi ışımaya kapasitesidir [27]. Serin kaplamaların sağladığı avantajlar aşağıda verildiği gibidir [29];

Kaplama güneş ışınlarının ısınmaya sebep olan bölümünü yansıtır ve konvansiyonel kaplamalara göre yüzey sıcaklığı daha düşüktür. Bu durum düşük termal genleşme ve polimer bozulması sağlayacak ve kaplama ömrü uzayacaktır. Bazı kaplamalar 25-30 yıldan uzun kullanım ömrüne sahiptir.

Mimaride beyaz kaplamaların yansıtma ve mekanları soğuk tutma özelliğinden faydalanılsa da beyaz kaplamalara alternatif renk aranmaktadır. Serin kaplamalar bina sakinlerini beyaz yapıların monotonluğundan kurtarmaktadır.

Yüzey sıcaklığı konvansiyonel kaplamalara kıyasla daha soğuk olduğunda bina içi yaşam alanlarına aktarılan ısı daha düşük olmaktadır. Bu durum bina içi termal konfor sağlamaktadır.

Güneş etkisiyle ısınan konvansiyonel kaplamalarla kaplı binalar kentsel ısı adası etkisine sebep olmaktadır. Kullanılan serin kaplamalar bu olumsuz etkiyi azaltmaktadır.

Isınan binalarda yaşanabilir ortamın sağlanması için soğutma enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Serin kaplamalar ile kaplanan binalarda soğutma için gereken enerji gereksinimi azalmaktadır.

Düşük enerji gereksinimi enerji santrali emisyonlarını azaltır ve bu sayede hava kirliliği azalmaktadır.



## 1.5. Serin Pigmentler

Soğuk malzemeler temel olarak, görünür spektrumdaki geleneksel malzemelerin yansıtma profilini koruyarak, güneş spektrumunun kızılötesi bölümünde yüksek yansıma ile karakterize edilen spektral olarak seçici pigmentlere dayanmaktadır. Bu nedenle, yakın kızılötesi radyasyonu absorbe etme eğiliminde olan geleneksel koyu pigmentlerin, NIR yansıtıcı ya da transparan soğuk pigmentler ile değiştirilmesi, benzer renge sahip ancak daha yüksek güneş yansıtma oranına sahip kaplamaların geliştirilmesine yol açabilir [30].

Pigmentler, çözelti içerisinde çözünmeyen ya da büyük ölçüde çözünmeyen, inorganik veya organik maddelerdir. Dağıldıkları sürekli faza renk verir, mekanik sertlik, opaklık kazandırır ve dayanıklılığını arttırlar. Boya; pigment, çözücü ve katkı maddelerinin bağlayıcı içindeki dispersiyonudur. Boyanın ya da kaplamanın nihai özellikleri, bağlayıcının, pigmentlerin ve katkı maddelerinin özelliklerine bağlıdır. Pigmentler, kaplamanın görünümünü seçici absorpsiyon veya ışığın saçılması yoluyla değiştirir. Pigmentler ayrıca kaplamalara kızılötesi radyasyonu yansıtma gibi bazı özellikler de kazandırır. Bir cisme düşen ışığın yansıtılma, emilme veya iletilme davranışlarından herhangi biri veya hepsi elektromanyetik radyasyonun tüm spektrumunda tamamen ya da seçici olarak meydana gelebilir. (Bu, bir maddenin görünür bölgede yansıtılabileceği, ultraviyole bölgede emilebileceği ve kızılötesi bölgede iletilebileceği ya da üçünün başka bir kombinasyon oluşturabileceği anlamına gelmektedir.) İnsan gözü elektromanyetik spektrumda sadece görünür bölgeye duyarlıdır. Pigmentler görünür bölgenin yanı sıra, elektromanyetik spektrumdaki diğer ışık dalga boylarıyla da etkileşime girerler. Kızılötesi yansıtıcı inorganik pigmentler, görünür bölgede bazı dalga boylarını seçici olarak yansıtırken kızılötesi bölgedeki dalga boylarını da yansıtan karmaşık inorganik renk pigmentleridir. Pigmentin yansıtıcılığı ve emiciliği birbirinden bağımsızdır. Dolayısıyla bir IR yansıtıcı pigmentin herhangi bir rengi olabilir. ‘Serin’ pigmentler, yakın kızılötesi bölgede absorpsiyon yapmazlar. Bu bölgedeki dalga boylarını ya yansıtırlar ya da iletirler. Kırılma indisi, kızılötesi bölgedeki bağlayıcıdan farklıdır. Bu, IR bölgesinde dağınık yansımaya neden olur. IR bölgesindeki pigmentlerin kırılma indisi, bağlayıcının IR bölgesindeki kırılma indisine benzer ise, pigment yakın kızılötesi ışığa (NIR) şeffaf olacaktır. Böyle bir durumda,

yakın kızılötesi bölgedeki yansıma alt katmandan kaynaklanacaktır. Işığın emilmesi, ışık enerjisi elektronları bir bağlanma durumundan diğerine yükselttiğinde meydana gelir. Bu enerji geçişini sağlamak için kullanılan dalga boyundan farklı bir dalga boyunda ışık kullanılırsa, emilmeyecektir. Örneğin demir krom siyahları görünür bölgeden ışığı emer. Bu, 400-700 nm dalga boylarındaki enerjiyi emmeye sebep olacak elektronik geçişler olduğu anlamına gelir. Düşük enerjili ışık (>700 nm) emilmez. Bu durumda, 1500 nm dalga uzunluğuna sahip bir ışık demeti, malzemede herhangi bir elektronik geçişe neden olmak için çok düşük bir enerjidir. Bu sebeple emilmez. Bunun yerine 1500 nm ışık demeti kırılır, yansıtılır ve saçılır (kırılma indisine bağlı olarak), NIR ışığının dağınık yansımasına yol açar. İnorganik veya organik bir bileşiğin IR yansıtıcılığını tahmin etmek için bir yöntem yoktur. Bu özellik, yoğunluk, termal iletkenlik, renk, kırılma indisi gibi doğal bir karakteristik özellik olarak kabul edilmektedir [29].

Bu pigmentler, metal hidroksitlerin, nitratların, asetatların ve hatta oksitlerin karışımlarının çok yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmasıyla kalsinasyon adı verilen bir prosesle sentezlenir. Metal oksitler veya tuzlar karıştırılır ve genellikle 1000°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ısıtılır. Kalsinasyon sıcaklığında reaktif hale gelirler. Katı maddelerdeki metal ve oksijen iyonları, spinel veya rutil yapılar gibi, daha kararlı kristal yapılar oluşturmak için yeniden düzenlenir [31].

IR yansıtıcı pigmentler, mükemmel hava koşullarına dayanıklılıkları nedeniyle çatı ve bina kaplamaları için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Yakın kızılötesi bölgedeki yansıtıcılığı en üst düzeye çıkarma özelliğine sahiptirler. Nikel manganez ferrit siyahları (Pigment Black 30) ve demir kromit kahverengi-siyahlar (CI Pigment Green 17, CI Pigment Browns 29 ve 35), kızılötesi yansıtıcı pigmentlerden bazılarıdır. Piyasada satılan diğer kızılötesi yansıtıcı pigmentler, Pigment Mavisi 28 Pigment Mavisi 36, Pigment Yeşili 26, Pigment Yeşili 50, Pigment Kahverengisi 33, Pigment Kahverengisi 24, Pigment Siyahı 12 ve Pigment Sarı 53'tür [32]. Bu pigmentler kimyasal olarak inert ve oldukça kararlıdır. Kimyasal olarak agresif ortamlara dayanabilir ve renklerini koruyabilirler. Ozon, asit yağmuru veya endüstriyel alanlarda yaygın olan diğer hava kirleticilerin varlığında solmazlar. Güçlü asitler, bazlar, oksitleyici veya indirgeyici ajanlar varlığında renklerini koruyabilirler. Bu özellikleri

nedeniyle, bu pigmentler dış mekanlarda 30 yıl kadar dayanım sağlarlar. Mükemmel kimyasal kararlılığın yanında, bu pigmentler yüksek sıcaklıklarda da kararlıdır. Bu sayede soba kaplamaları, şömine boyaları ve yüksek ısıya dayanıklı toz kaplamalar gibi yüksek ısı kaplamalarında kullanılabilirler. Kızılötesi yansıtıcıların geliştirilmesi, savunmada kullanılan uçakları radar için görünmez yapmak amacıyla, radar frekansı yansıtıcı pigmentlerin kullanılmasına dayanmaktadır. İnsan gözü için bunu gözlemek çok zordur çünkü, insanlar radar dalgalarını göremezler. Aynı durum IR yansıtıcı pigmentler için de geçerlidir [29].

## 1.6. Yansımayı Etkileyen Faktörler

Kaplamanın kızılötesi ışınları yansıtmasını etkileyebilecek bazı faktörler aşağıda tanımlanmıştır;

**Bireysel pigment seçimi:** Kızılötesi yansıtıcı kaplamalar yapmak için yakın kızılötesi bölgede en yüksek yansıtma özelliğine sahip pigmentler seçilmelidir.

**Dispersiyon:** Tam dağılım ve optimum özellikler için, pigmentler gerekli öğütme inceliğini elde etmek için bir değirmen içinde dağıtılmalıdır.

**Pigmentleri karıştırmak:** Birden fazla pigment içeren kaplamalar tasarlanırken dikkatli olunmalıdır. İki kızılötesi yansıtıcı pigmentin bir kombinasyonu, kaplamanın toplam yansıtmasını artırabilir. Ancak, farklı pigmentlerin farklı bölgelerde emildiği bazı durumlarda, toplam yansıtma, bireysel pigmentlerin yansıtma oranından daha az olur. Böyle bir durumda, emilim saçılmaya neden olur. Bu nedenle, kızılötesi yansıtıcı kaplamalar yapmak için pigment kombinasyonu seçerken dikkatli olunmalıdır.

**Opaklık:** Kızılötesi yansıtıcı pigmentler yüksek görünür opaklığa sahiptir. Bu pigmentler sadece kızılötesi ışınları yansıtırlar. İnce filmler, kaplamadan gelen tüm kızılötesi ışınlarını dağıtamaz ve yansıtamazlar, ışınların alt tabakaya geçmesine izin verebilirler. Bu nedenle, bu tür kaplamalar görünür bölgede opaktır, ancak kızılötesi ışığa tamamen opak değildir. Bu nedenle, kaplamanın kızılötesine opak olması istendiğinde daha yüksek kaplama kalınlığı gerekebilir. Film kalınlığı ile birlikte pigment hacmi konsantrasyonu da, bir kaplamanın kızılötesi radyasyonlara karşı opaklığının belirlenmesinde önemli bir rol oynar.

Kirlenme: Farklı bölgelerde emici olan iki kızılötesi yansıtıcı pigment birlikte kullanıldığında kirlenme meydana gelir. Bir kızılötesi yansıtıcı pigment, bir kızılötesi emici pigment ile kullanıldığında özellikleri kötüleşir. Bu tür kontaminasyonlar, kaplamalar üzerindeki toplam güneş yansımalarını büyük ölçüde etkilemektedir.

Partikül Boyutu: Pigmentin partikül büyüklüğü önemli bir parametredir. En yüksek yansıtma özelliği için, parçacık boyutu yansıtılacak ışığın dalga boyunun yarısından fazla olmalıdır. Bu nedenle, 700-1100 nanometre dalga boyundaki kızıl ötesi ışığı yansıtma için, parçacık boyutu en az 0.35 ila 0.55 mikron olmalıdır [29]. Pigment partikül boyutu, NIR yansımaları için son derece önemlidir. Daha küçük parçacıklardan veya nanopartiküllerden oluşan pigmentler, yansıtma özelliklerini önemli ölçüde geliştirir [10].

Yaşlanma: Kaplama malzemelerinin güneş ışığı yansıtma özelliğini etkileyen etmenlerden biri de yaşlanmadır. Ultraviyole ışınım, yüksek yüzey sıcaklığı, aerosol etkisi ve asit yağmurları gibi malzemelerin kimyasal özelliklerinde değişiklik meydana getiren etmenler, kaplamaların yansıtma oranlarında kalıcı azalmaya neden olmaktadır. Örneğin; ultraviyole ışınım, kaplamaların madde iç yapısında değişiklik meydana getirerek yansıtma oranlarına azaltıcı yönde etki yapar [12].

Pürüzlülük: Yüzeyin pürüzlü olması yansıtma özelliğini azaltır. Pürüzsüz beyaz bir kaplama aslında ışığın dalga boyu ölçeğinde pürüzlüdür. Bu nedenle parlak veya ayna gibi görünmekten çok beyaz görünür. Ancak bizi ilgilendiren, ışığın dalga boyundan daha büyük boyut ölçeklerindeki pürüzlülüktür. Reflektans, gelen fotonun bir yüzeye karşılaştığında yansıtılma olasılığıdır. Söz konusu yüzey pürüzlüyse, bir kez yansıtılan bir foton, ayrılmadan önce bir veya daha fazla ek yansıma gerektirir. Bu durumda absorpsiyon olasılığı artar [8]. Yüzey pürüzlülüğü arttığında dağınık yansıma artacak, yansıyan ışınların tekrar yüzeye çarpma olasılığı artacak ve dolayısıyla yüzeyin emdiği enerji miktarı artacaktır. Yüzey pürüzünün bir diğer ısıl etkisi ise, güneş ışığı geliş açısına bağlı olarak pürüzlü yüzeyde gölge oluşmakta ve gölgede kalan bölümler daha az enerji emmektedir. Pürüzlü yüzeylerde yüzey alanındaki artış, yüzeyin ısı iletim katsayısının artmasına neden olur. Bu sebeple, dış ortam sıcaklığı düşük olduğunda pürüzlü yüzeyler daha hızlı soğumaktadır. Yüzeyin mat ya da parlak olması da yüzey

pürüzlülüğü ile ilgilidir. Yüzeydeki pütürlerin görünür ışığın dalga boyundan küçük olduğu oranda düzgün yansıma meydana gelir. Bu durum yüzeyin parlak görünmesine sebep olur. Parlak yüzeylerde yansımanın daha fazla olduğu bilinmektedir. Bu nedenle örneğin enerji kazanımı açısından binalarda cephe kaplama malzemelerinin mat görünümlü seçildiği belirtilmektedir [12].

**Safsızlıklar:** Birçok yansıtıcı malzeme, şeffaf bir matris içinde asılı halde ışığı etkili bir şekilde dağıtan pigment parçacıklarından oluşmaktadır. Beyaz boya bu duruma örnektir. Böyle bir kaplama üzerine düşen ışık, kaplamadan yansıyan ışık olarak ayrılmadan önce birçok kez dağılma eğiliminde olacaktır. Saçılma ortamındaki fotonların bu "rastgele ilerleyişi" nedeniyle, yansıyan fotonun kat etmesi gereken yol oldukça uzun olabilir ve küçük miktarlarda emici malzeme, yansımayı önemli ölçüde azaltabilir [8].

**Metalik pigment:** Alüminyum pigmentler çoğu durumda kaplamalara görsel çeşitlilik sağlamak amacı ile kullanılırlar. Bu alüminyum pigmentler güneş spektrumunun termal aralığında yüksek yansıtma özelliği gösterir. Bunun yanı sıra çoğu yapı malzemesi yaklaşık 0,9'luk kızılötesi yama gücüne sahipken, metaller genellikle daha düşük bir emisiviteye sahiptir. Kaplamaya eklenen alüminyum pullar yansıtmayı arttırırken emisiviteyi azaltacaktır. Ayrıca Kaplama içerisindeki alüminyum pulların yüzeye paralel hizalanması da bu özelliklerini etkileyen unsurlardan biridir [33, 8]. Kaplama içeriğindeki yüksek alüminyum pigment konsantrasyonu, kaplamanın kimyasal olarak daha az kararlı olmasına ve korozyon ve kimyasal bozunmaya daha duyarlı olmasına neden olacaktır. Bu nedenle yüksek yansıtıcılık ve kimyasal kararlılık arasında denge sağlamak önemlidir [33].

### **1.7. Toz Boya**

Elektrostatik toz boya 1960'lı yıllarda Avrupa ve Amerika'da, 1980'lerin sonlarına doğru Türkiye'de kullanımına başlanan bir kaplama yöntemidir. Yaş boya uygulamalarına göre genç bir yöntem olmasına rağmen, kısa sürede geniş kullanım alanı bulmuştur. Bu kaplama yöntemi özellikle metal yüzeyleri korumakta ve dekoratif bir görünüm kazandırmak amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca, son yıllarda yapılan gelişmeler sonucu cam, seramik, ahşap ve hatta plastik yüzeylerin de kaplanmasında

toz boya teknolojisi kullanılmaktadır. Çevresel açıdan ve uygulama açısından sağladığı avantajlar toz boyanın tercih sebebi olmaktadır.

Sahip olduğu birçok özellik toz boyaya avantaj sağlamaktadır. Üretimi ve kullanımı sırasında herhangi bir atık çıkmadığından, hava ve su kirliliğine neden olmaz. Çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratan organik uçucu kimyasallar (VOC) içermez. Sağlığa negatif etkisi diğer boyalardan azdır. Deri ile teması durumunda herhangi bir sorun yaratmaz. Patlama alt limitlerinin yüksek olması da insan sağlığı açısından önemli bir etkidir. Toz boyanın kullanıma hazır olması ve uygulama kolaylığı da avantajlarından biridir. Toz boya ile birçok dekoratif yüzey elde edilebilmesi de tercih edilme nedenlerindedir. Düz, parlak, pütürlü, zımpara kâğıdı görünümlü, vernik gibi yüzeyler toz boya ile kolaylıkla sağlanabilmektedir. Bu avantajlar ile diğer kaplamalara alternatif olan toz boyanın çok çeşitli kullanım alanları vardır. Toz boyalar, beyaz eşya sanayiinde, otomotiv sektöründe, alüminyum profil sanayii ve mimari sektörde, genel endüstride, sağlık ve hijyen çalışmalarında, yüksek kimyasal, ısı ve korozyon direnci istenen çalışmalarda, dekoratif yüzeylerde, ahşap, cam ve seramik gibi yüzeylerin kaplanmasında yaygın olarak kullanım alanı bulmaktadır [34].

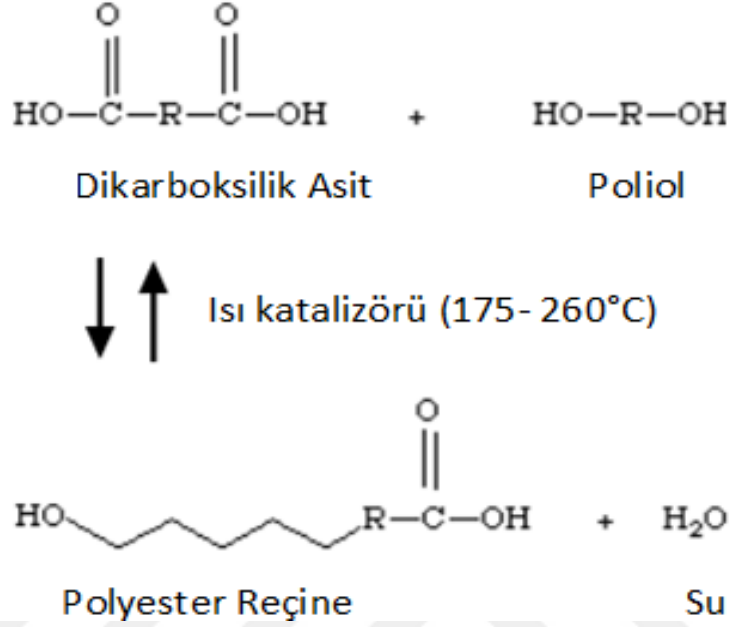
Toz boyaların bileşenleri; reçine, kürlenme ajanı (sertleştirici), pigment, dolgu ve katkı maddeleridir. Toz boya üretiminde kullanılan özgün bileşen seçimi ile hazırlanan formüller, boyaların renk, parlaklık, sertlik, esneklik, yapışma, kimyasal ve korozyon direnci gibi nihai film özelliklerini, kürlenme süresi ve sıcaklığı gibi kürlenme özelliklerini, üretim parametrelerini etkilemektedir. Toz boyanın bileşenleri ve genel özellikleri şu şekildedir;

Reçine: Sentetik malzemelerdir. Boyanın ana maddesidir ve formüllerde en yüksek oranlara sahip olması sebebiyle boyanın tipini belirler. Doğru reçine seçimi çok önemlidir, toz boyanın temel özelliklerini, UV dayanımı, kimyasal direnç, darbe dayanımı, erime noktası ve akışkanlık gibi film özelliklerini belirlemektedir. Formüllerde %60 ile %95 arasında bulunur. Genellikle epoksi, poliüretan, polyester ve akrilik reçineler kullanılmaktadır [35].

Toz boyanın dış cephe uygulamalarında UV dayanımı talebi çoğunlukla polyester

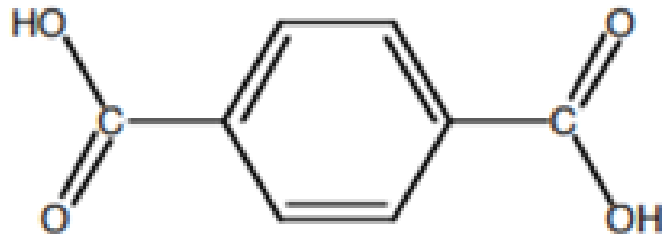
reçine sistemleri ile karşılaşılır. Şekil 1.8’de polyester reçine sentezi gösterilmektedir [41].

### Polyester Sentezi



Şekil 1.8. Polyester Reçine Sentezi [41]

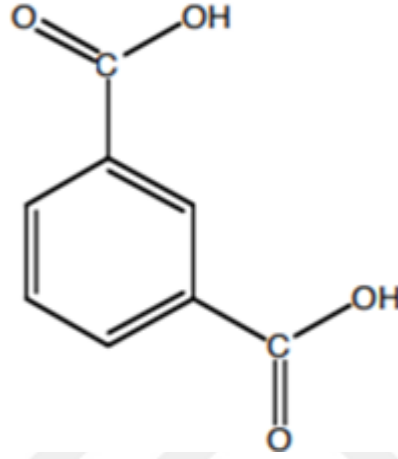
Tereftalik asit, standart dayanıklı polyesterlerin formüle edilmesinde kullanılır. Yapısı Şekil 1.9’da verilmiştir.



Şekil 1.9. Tereftalik Asit

Daha yüksek kaplama ömrü istendiğinde “superdurable” polyesterler kullanılır. "Superdurable" polyesterlerin formüle edilmesi ve standart dayanıklılığa sahip polyesterlerin geliştirmesi için izoftalik asit kullanılabilir. Yapısı Şekil 1.10’da verilmiştir. İzofthalik asit seviyesi arttıkça daha fazla UV dayanımlı ürün elde edilir ancak, bu durumda darbe direnci optimize edilmelidir.

Kürlenme Ajanı: Sıcaklığın etkisi ile reçine ile çapraz bağ yaparak reaksiyona girer ve boyanın yüzeye yapışmasını sağlar. Reçinenin tipine göre kürlenme ajanı farklılık göstermektedir. Epoksi tipi reçineler amin gurubu içeren kürlenme ajanı ile reaksiyona girer. Ayrıca epoksi reçineler, polyester reçineler veya akrilik reçineler ile reaksiyona girebilmektedir. Polyester reçineler TGIC, primid, PT 910, izosiyanat gibi pek çok farklı kürlenme ajanı ile reaksiyona girebilmektedir [35]. Polyester reçineler ve kürlenme ajanı çeşitleri Şekil 1.11’de gösterilmiştir [41].



Şekil 1.10. İzoftalik Asit

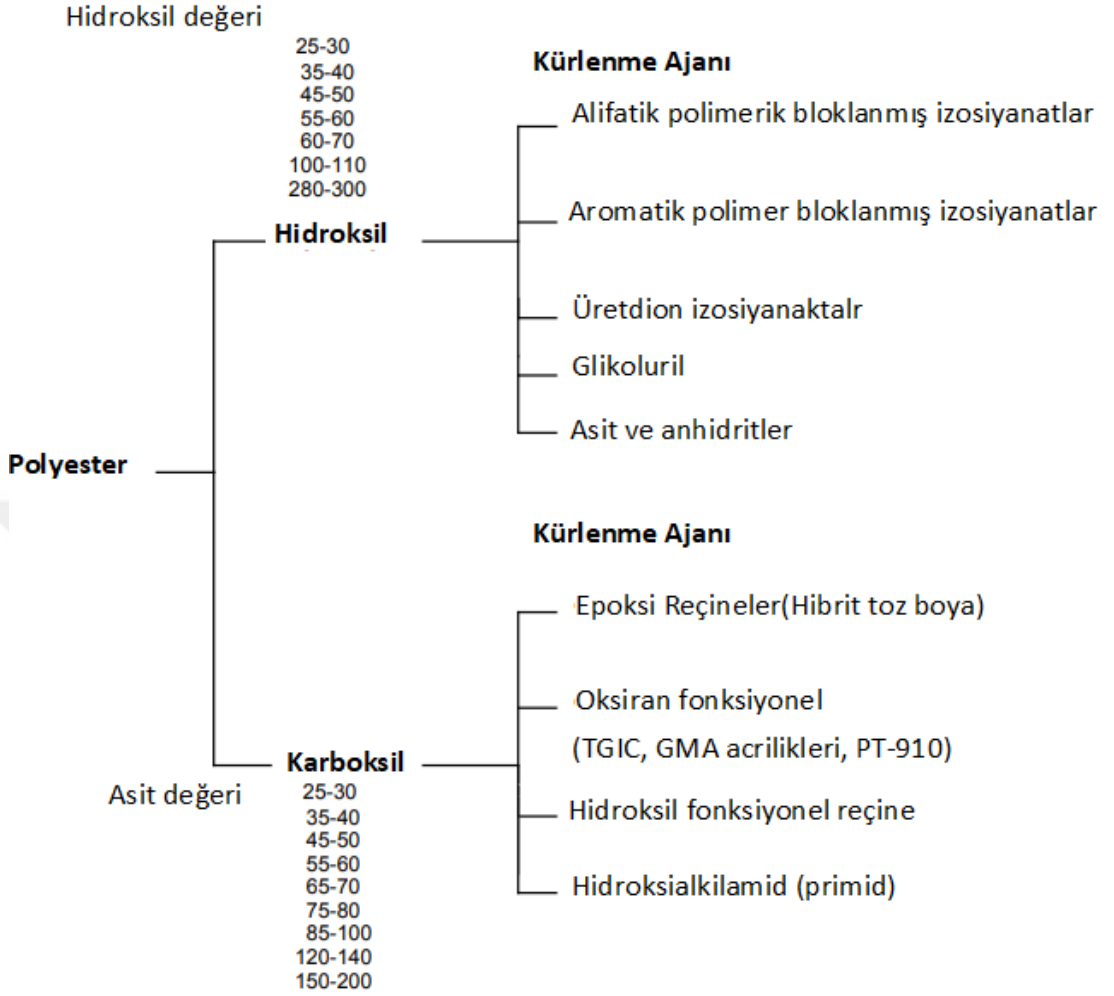
Karboksil fonksiyonel poliesyer reçinelerin kürlenme ajanlarından biri de hidroksialkilamidlerdir. Yapısı Şekil 1.12’de verilmiştir. Hidroksialkilamidler, karboksil polyesterlerle kürleme sırasında su açığa çıkartır. Kaplanan film yüzeyinde iğne deliği olmaması için özel katkı maddeleri kullanılmaktadır.

Pigmentler: Boyaya renk veren bileşendir. Organik ve inorganik olarak ikiye ayrılırlar; organik pigmentler, renk hassaslığı bakımından kuvvetli, pahalı ve transparan iken, inorganik pigmentler, renk hassaslığı bakımından daha az kuvvetli, daha ucuz ve örtücüdür. Renge göre %40’a kadar boyaya eklenebilir. Pigmentler ısı ve ışık direncine karşı mukavemetli olmalı ve reaksiyona girmemelidir.

Dolgu maddeleri: Dolgu boyaya çeşitli özellikler (yüzey görünümü, yanma direnci vb.) verirken, kalitesini azaltmadan, maliyetini düşürür. Özellikle baryum sülfat ( $BaSO_4$ ) ve kalsiyum karbonat ( $CaCO_3$ ) toz boyada en çok kullanılan dolgu malzemeleridir. Formüllerde %40’a kadar kullanılabilir.

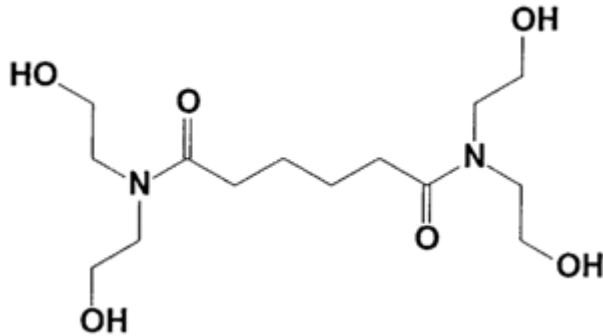


## Polyester Reçine ve Kürlenme Ajanı Varyasyonları



Şekil 1.11. Polyester Reçine ve Kürlenme Ajanı Varyasyonları [41]

Katkı maddeleri: Uygulama şartları, kürlenme şartlarını ve film özelliklerini belirleyen bileşenlerdir. Kaplamanın, hızlı pişme, yüzey düzlüğü, pütürlü yüzey, deliklenmeyi önleme, tabanca uyarlayıcı, akıcılık gibi özelliklerini modifiye ederler [35].



Şekil 1.12. Hidroksialkilamid [34]

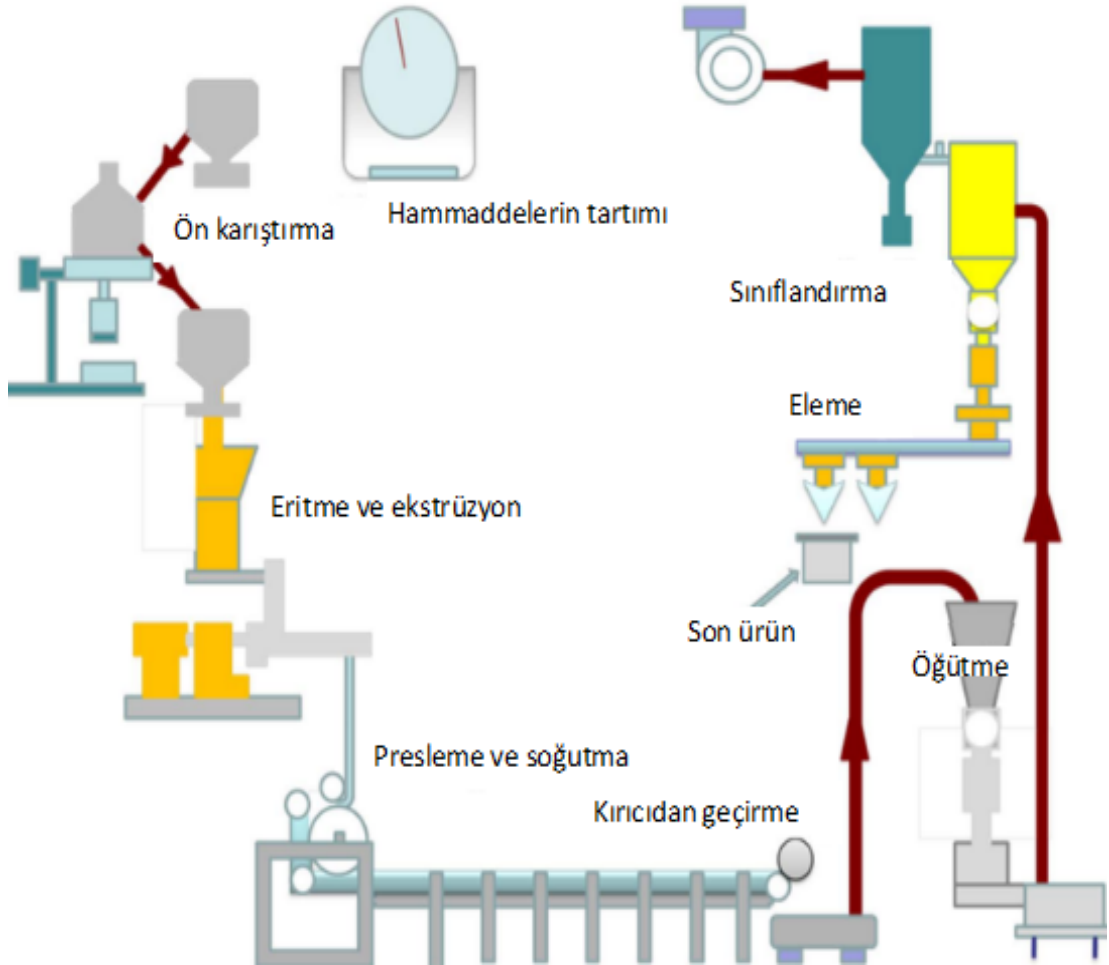
## 1.8. Kullanılan Deneysel Teknikler ve Cihazların Çalışma Prensipleri

### 1.8.1. Toz boya üretim teknikleri ve uygulanması

Toz boya üretiminde proses, yaş ve kuru olmak üzere iki şekilde ilerler. Yaş üretim prosesinde, buharlaştırma, çöktürme ve sprey kurutma yöntemleri kullanılabilir. Kuru üretim prosesinde ise kuru karıştırma, eriyik karıştırma ya da süperkritik akışkan yöntemi kullanılabilir. En yaygın üretim yöntemi olan eriyik karıştırma süreci basamakları şu Şekil 1.13’de verildiği gibidir [36].



Şekil 1.13. Eriyik Karıştırma Yöntemi Proses Basamakları



Şekil 1.14. Toz Boya Üretim Prosesi [36]

Toz boya üretim basamakları reçetedeki hammaddelerin tartımı ile başlar. Daha sonra bir kuru ön karıştırma yapılır. Ardından daha homojen bir ara ürün için eriyik karıştırma basamağında ekstrüdere beslenir ve ekstrüzyon çıkışında soğutmalı silindirlere geçirilerek soğutma bandına verilir. Kırılgan yapıdaki ara ürün soğutma bandı sonundaki kırıcılardan geçirilerek ön kırma işlemine tabi tutulur. Son olarak öğütülür ve istenilen tane dağılımında ürün elde etmek için elenir. Toz boya çift bileşenli ise değirmen öncesi ya da eleme sonrası iki bileşen karıştırılır (Şekil 1.14).



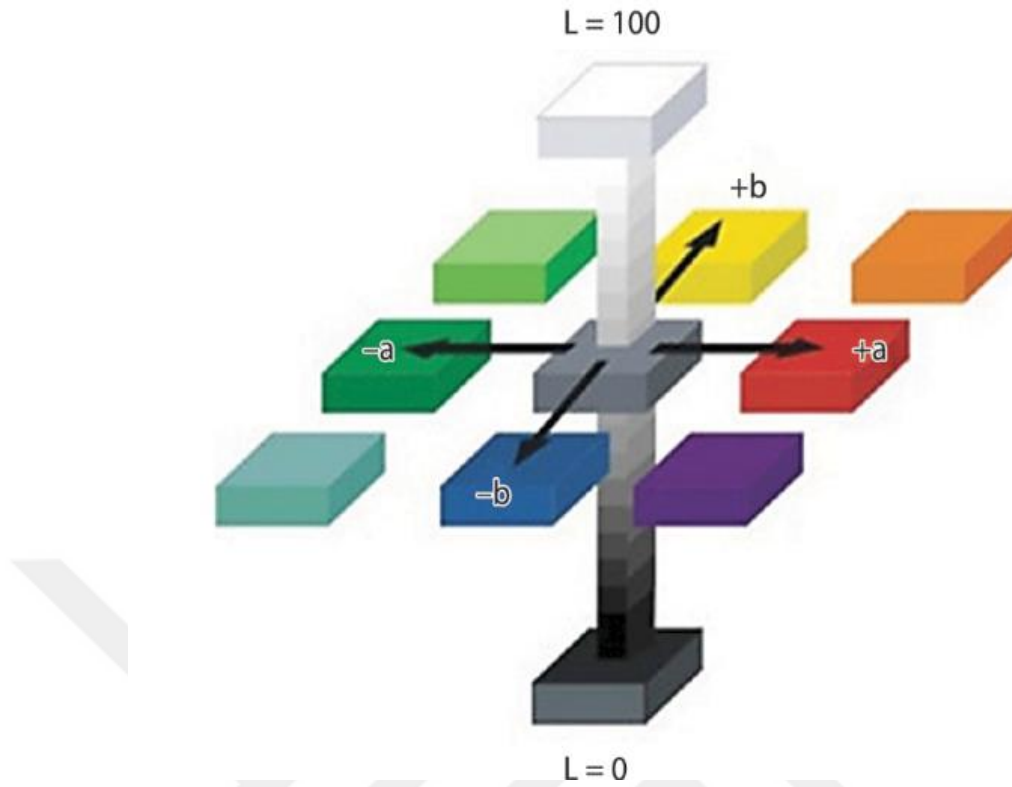
Şekil 1.15. Elektrostatik Tabanca ile Uygulama

Toz boya elektrostatik tabancalar yardımıyla, boyanmak istenen topraklanmış yüzeye püskürterek uygulanır. Şekil 1.15'de elektrostatik tabanca örnekleri ve uygulaması gösterilmiştir. Elektrostatik tabancada yüklenen toz taneleri kaplanmak istenen yüzeye yapışır. Termoset toz boyaların uygulamasında son aşama olarak kürlenme basamağı bulunmaktadır. Toz boya kürlenme için boyanın tipine uygun kürlenme koşullarında fırınlanır.

## 1.8.2. Karakterizasyon yöntemleri

### 1.8.2.1. Renk ölçümü

Rengi karakterize etmek için yaygın olarak, fotometri ve kolorimetri için uluslararası önerilerden sorumlu düzenleyici kurum olan CIE' ye (Commission Internationale de l'Eclairage) göre ölçüm yapılmaktadır [37]. Bu sistemde ölçülen değerler  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  olup CIELAB olarak adlandırılmaktadır. Her bir renk, üç boyutlu bir sistemdeki koordinatlarla temsil edilir ve üç bileşenden oluşan bir set oluşturur (Şekil 1.16).



Şekil 1.16. CIE Renk Sisteminde  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  Koordinatları [10]

Dikey  $L^*$  eksenini, üstte açık ( $L^* = 100$ ) ve altta koyu ( $L^* = 0$ ) arasındaki farkları temsil eder. Eksen  $a^*$ , kırmızı ( $+a^*$ ) ve yeşil ( $-a^*$ ) arasındaki farkı gösterir. Eksen  $b^*$  ise, sarı ( $+b^*$ ) ve mavi ( $-b^*$ ) arasındaki farka karşılık gelir. CIELAB uzayındaki iki renk noktası arasındaki renk farkı ( $\Delta E^*$ ),  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  [10] ile tanımlanan üç boyutlu uzaydaki konumları arasındaki Öklid mesafesi olarak hesaplanır. Böylece matematiksel olarak, Denklem (1.7) kullanılarak hesaplanır [10, 37]:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1.7)$$

Renk ölçümü spektrofotometreler yardımıyla yapılmaktadır (Şekil 1.17). Spektrofotometre, malzemenin görünebilir spektrum içindeki fotometrik karakteristiklerini belirler ve numunenin spektral grafiklerini çıkartır. Aynı zamanda numunelerin farklı ışık kaynakları altındaki görüntülerini belirleyerek, metamerizmi hesaplayabilirler.

Cisim üzerine ışık verilerek, yansıyan ışığın bir kısmı alınıp, analiz edilir ve yoğunluğu kaydedilir. Ancak, reflektans spektrofotometrelerde, yansıyan ışığın yoğunluğu, 10

nm aralıklı bir seri dalga boyunda, tüm görünür spektrum (400-700 nm arası) boyunca ölçülür.



Şekil 1.17. Renk Ölçüm Spektrofotometresi

Spektrofotometreler yardımıyla kaplamaların örtücülük değeri de ölçülmektedir. Örtücülük değeri kaplamanın opaklığını % olarak tanımlamaktadır. Opak ile kastedilen, toz kaplamanın siyah ve beyaz opasite paneli üzerine uygulandığında kontrast oranının %95 olmasıdır. Kontrast oranı, yüzde olarak ifade edilen, beyaz bölüm ile karşılaştırıldığında grafiğin siyah bölümü üzerinde ölçülen ışık yansıtma oranıdır [38].

### 1.8.2.2. Film kalınlığı ölçümü

Toz kaplamalarda film kalınlığı ölçümü, uygulamadan hemen sonra kürlenme öncesi ya da sonrası olarak iki şekilde yapılmaktadır. Kürlenme öncesi kaplamada film kalınlığı toz taraklar ve özel problemlere sahip manyetik cihazlar yardımıyla ölçülür. Ancak ölçülen bölgenin tekrar boyanması gerekir. Daha çok tercih edilen kürlenme sonrası kalınlık ölçümünde ise tahribatsız cihazlar kullanılır. Bu cihazlar ya manyetik ya da eddy akımı prensibiyle çalışmaktadır. Bu cihazlar ile demir gibi (ferrous) malzemelerin ve alüminyum, pirinç, çinko gibi (non-ferrous) malzemelerin kalınlık ölçümleri alınabilmektedir.

### 1.8.2.3. Parlaklık ölçümü

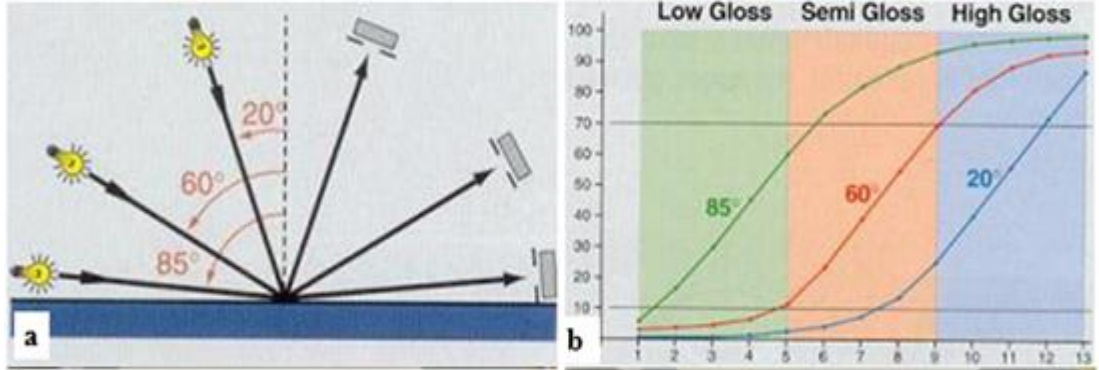
Parlaklık ölçüm cihazları, herhangi bir düz yüzeydeki parlaklık değerinin hassas, hızlı ve kolayca ölçülmesine olanak sağlar (Şekil 1.18). Parlaklık ölçümünde kullanılan glossmetre, yansıma prensibi olarak bilinen bir ışık kaynağından test edilecek yüzey

üzerine ışık göndererek çalışır ve yansıyan ışığa göre yüzey parlaklık seviyesini hesaplar.



Şekil 1.18. Parlaklık Ölçme Cihazı

Işığın geliş açısı Şekil 1.19a'da gösterildiği gibi (20 °, 60 °, 85 °) ölçülecek yüzeyin parlaklığına göre farklı olmaktadır. Şekil 1.19b'deki gibi mat yüzeylerde 85°, yarı mat yüzeylerde 60° ve parlak yüzeylerde 20° geliş açısı ile ölçüm alınır.



Şekil 1.19.a- Işığın Üç Farklı Geliş Açısı b- Farklı Parlaklık Değerleri için Geliş Açıları

#### 1.8.2.4. UV/VIS/NIR Yansımaya spektrumlarının ölçümü

Ultraviyole, görünür bölge ve yakın kızılötesi (UV-VIS-NIR) bölge spektroskopisi bir ışın demetinin bir örnekten geçtikten veya bir örnek yüzeyinden yansıtıldıktan sonraki azalmasını ölçmektedir. Cisimlerin absorptans, reflektans ve transmittans ölçümleri için UV/VIS/NIR Spektrofotometresi kullanılmaktadır (Şekil 1.20). Ölçümün yapıldığı aralık genellikle 280 nm ile 2500 nm arasındadır. Üst sınırı belirleyen, yansıtmayı ölçmek için bir entegre kürenin gerekli olması ve bu aksesuarlarda kullanılan en yaygın malzemenin, 2500 nm'nin üzerinde güçlü bir şekilde emen yüksek performanslı

beyaz sinterlenmiş politetrafloroetilen (PTFE) malzemesidir. UV-VISNIR spektrofotometre ile toplam güneş ışığı yansıtma (TSR) ve güneş ışığı yansıtma indisi (SRI) değerleri hesaplanabilmektedir. TSR hesaplaması, ham yansıtma verilerinin alınmasını ve toplanan her dalga boyu için güneş ağırlıklandırma faktörlerinin uygulanmasını gerektirir. Bu faktörler ve hesaplamalar, ASTM G 173-03 dahilindedir. SRI değeri ASTM E 1980-11'e göre hesaplanmaktadır.



Şekil 1.20. UV/VIS/NIR Spektrofotometre

İçme suyu analizleri, atık su analizleri, çözeltiliye alınabilen katı maddelerdeki anyonların belirlenmesi, organik bileşiklerin değişik çözücülerde spektrumlarının alınması, ince filmlerin optik özelliklerinin belirlenmesinde, nanomalzemelerin farklı dalga boyunda ışıkla etkileşimleri ve soğurma bantlarının belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır.

#### **1.8.2.5. IR lamba etkisinde sıcaklık değişimi ölçümü**

Daha önce yapılan çalışmalarda görülmüştür ki standart ve serin kaplamaların karakterizasyon yöntemlerinden biri de IR lamba etkisinde panellerin sıcaklık değişimlerinin ölçülmesidir. IR ışınları etkisiyle ısınan yüzeylerin sıcaklık farklarını karşılaştırarak analiz edilmektedir. Kaplanmış paneller 250 W'lık bir IR lambaya 30 cm mesafede konumlandırılır. Panel yüzeyi ve panel arkasından sıcaklık değerleri ölçülür [2, 5].

### **1.8.2.6. Güneş ışığı etkisinde sıcaklık değişimi ölçümü**

Literatür araştırmasında, standart ve serin kaplamaların karakterizasyon yöntemlerinden birinin de gün ışığında bekletilen panellerin sıcaklık farklarının ölçülmesi olduğu görülmüştür. Gün ışığında ısınan yüzeylerin sıcaklık farkları karşılaştırılarak analiz edilmektedir.

Kaplanmış paneller yatayla 65 ° açı yapan bir sunta desteğine güneye bakacak şekilde yerleştirilerek, doğrudan güneş ışığına maruz bırakılır. Panellerin yüzey sıcaklığı, bir termal görüntüleme kamerası kullanılarak kaydedilir. Yaklaşık dört ölçüm ortalaması alınır. Kaplama yüzeyinin sıcaklığı yükselir ve yaklaşık 10-15 dakika sonra stabil hale gelir [38].

## **1.9. Literatür Araştırması**

Berdahl P. ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, yansıtıcı kaplamaların, bina yüzey sıcaklıklarını düşürme ve kentsel çevrenin diğer yüzeyleri üzerindeki etkilerini araştırma ve bu sayede ortam sıcaklıklarını düşürmeye ve kentsel ısı adası etkisiyle savaşmaya uygunluğu test edilmiştir. Ağustos-Ekim 2004 arasında uluslararası pazardan seçilen 14 tip yansıtıcı kaplama 24 saat esasına göre incelenmiştir. Bu kaplamalar binalarda ve kentsel çevrenin diğer yüzeylerinde (kaldırımlar, otoparklar vb.) kullanılabilir kaplamalardır. Yansıtıcı kaplamaların termal performansını araştırmak için yüzey sıcaklığı sensörleri ve bir veri kayıt sisteminin yanı sıra kızılötesi termografi prosedürleri kullanılmıştır. Numunelerin spektral yansıması ve kızılötesi yayımı ölçülmüştür. Siyah asfalt tipi bir bağlayıcı içindeki alüminyum metal pigment pullarından oluşan numunenin spektral değerleri incelendiğinde, artan dalga boyu ile artan yansıma eğilimi ve 0,8 µm'deki düşüş, saf alüminyumun özellikleri olarak belirtilmiştir. Ultraviyole bölgede (0,4 µm'nin altında) absorblayan beyaz kaplamaların aksine, alüminyum kaplamalar bu aralıkta daha yansıtıcı olduğu tespit edilmiştir. Her bir kaplama niteliksel olarak diğerlerine benzer olsa da, genel güneş yansıması %30 ile 56 arasında değişmektedir. Asfalt shingle malzemedeki pürüzlülüğün önemini tahmin etmek için, tipik bir beyaz kiremit ve bir mikroskop lamı üzerine beyaz bir aerosol kaplama (2 kat) püskürtülmüştür. Shingle'ın ışığa maruz kalan yüzey alanının, nominal alanının yaklaşık iki katı olduğu tahmin edilmektedir. Örnekler



tartılarak değerlendirilmiştir ve kaplama kalınlığı her iki durumda da yaklaşık aynıdır. Ölçülen spektral yansımalarda pürüzlü yüzey pürüzsüz yüzeyin yansıtıcılığının yalnızca 3/4'üne sahiptir. Çalışmada safsızlıkların yüzey yansıtıcılığına etkisi de tartışılmıştır. İncelenen bazı çalışmalarda çoklu saçılma ortamının küçük miktarlarda absorpsiyona karşı bu duyarlılığının görüldüğünden söz edilmiştir. Bir malzemenin safsızlığının yansıtıcılığını olumsuz etkileyebileceğine dair bir örnek çalışma aktarılmıştır. Yansıtıcı kaplamaların kullanımının beyaz bir beton karonun yüzey sıcaklığını sıcak yaz koşullarında 4°C ve geceleri 2°C azaltabileceği gösterilmiştir. Gündüz ortam havasından sadece 2°C daha sıcak, gece ise ortam havasından 5,9°C daha soğuk olabileceği belirtilmiştir. Bu çalışma, bina zarfları ve kentsel çevrenin diğer yüzeyleri için daha uygun kaplamaların seçilmesine yardımcı olabileceği belirtilmiştir [8].

Sheemol ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, IR yansıtıcı bir sarı pigment belirli bir oranda LaPO<sub>4</sub>, TiO<sub>2</sub> ve NiO alınarak katı hal yöntemi ile sentezlenmiştir. Tüm bileşenler tartılıp, karışım homojen ve ince olana kadar iyice öğütülmüştür. Homojen karışım daha sonra 5°C/dakikalık bir ısıtma hızıyla yüksek sıcaklıklı bir fırında 1000°C'de 2 saat süreyle kalsinasyona tabi tutulmuştur. Kalsinasyon sıcaklığı ve temas süresi optimize edilmiştir. Sentezlenen toz, 24 saat boyunca bilyeli öğütülüp ve ince toz, ayrıca karakterizasyonlara tabi tutulmuştur. Ardından ısı yönetimi kaplamalarını geliştirmek için polimer reçineye gömülmüştür. Pigmentin ve kaplamanın karakteristik özellikleri analiz edilmiştir. Pigment, IR radyasyonlarının mükemmel yansımalarını göstermiştir ve NIR aralığının en sıcak bölgesi olan 1030 nm'de %82 yansıtma oranına sahiptir olduğu bildirilmiştir. Pigmentin partikül boyutu, IR yansıtma özelliklerinin belirleyici faktörlerinden biri olduğu belirtilmiştir. Parçacık boyutunun, ışığın dalga boyunun yarısından fazla olması gerektiği bildirilmiştir. Buna göre en uygun partikül boyutu, NIR' ın ısıtan bölümünü geri yansıtma için 350-550 nm civarında olabileceği gösterilmektedir. Partikül boyutu analizinde, pigmentin ortalama partikül boyutunun 484 nm olduğunu ve bunun pigmentin yansıtıcı özelliğine atfedilebileceğini gösterilmektedir. Kaplanmış yüzey NIR yansımalarının %32'sini göstermiştir ve kaplama ortamı yalnızca %2'den az yansıtıcılığa sahip olduğu belirtilmiştir. Pigmentin etkinliği, kaplama ortamının zayıf yansıtma özelliğine sahip

olmasına rağmen kaplamanın yansıtıcılığını 20 kat arttıracak kadar iyi olduğu tespit edilmiştir. Pigment ve kaplamanın toplam güneş yansımaları sırasıyla %45 ve %25 olarak ölçülmüştür [11].

Synnefa ve arkadaşlarının çalışmasında, on dört tip yansıtıcı kaplama incelenmiş ve uygun bir yansıtıcı kaplamanın kullanımının yüzey sıcaklıklarını önemli ölçüde azaltabildiği bulunmuştur. Yansıtıcı kaplamaların ısı performansını araştırmak için yüzey sıcaklık sensörleri ve bir veri kayıt sistemi ile kızılötesi termografi prosedürleri kullanılmıştır. Örneklerin spektral yansımaları ve kızılötesi yayımı da ölçülmüştür. Toplanan veriler kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Güneş ışınlarının olmadığı gece boyunca, emisivite karoların termal performansını etkileyen baskın faktör haline gelir Alüminyum pigmentli kaplamaların emisivite değerleri düşük olduğu için gece sıcaklık ölçümlerinde beyaz kaplamalara kıyasla daha sıcak kalmışlardır. Beyaz renkli kaplamalar alüminyum pigmentli kaplamalardan daha iyi performans göstermiştir. Düşük emisivite değerlerinden kaynaklı geç soğuyacağı için tercih edilmedikleri belirtilmiştir. Aynı tür ve renkteki kaplamalar arasında bile istatistiksel analizden gözlemlenen termal davranış farklılıkları, esas olarak gün içindeki performanslarını ve emisivite değerlerini etkileyen spektral yansımalarındaki farklılıklardan kaynaklanmakta olduğu ve gece boyunca numunelerin ısı performansını etkileyen en önemli faktör olduğu belirtilmiştir [27].

Kolas ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada alüminyum levhanın bobin kaplaması için tek katmanlı serin kaplama sistemi üzerine çalışılmıştır. Piyasada bulunan 8 farklı NIR ileten pigment ile 8 farklı beyaz olmayan tek katmanlı kaplama sistemi hazırlanmıştır. Güneş ışığı yansıtma ölçümleri, bir 150 mm entegre küre aksesuara sahip UV/VIS/NIR spektrofotometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve geliş açısı 8°'dir. Siyah ve alüminyum alt tabaka üzerine uygulanan kaplamalar için yansıtma grafikleri karşılaştırılarak, NIR geçirgenliği hakkında bilgi edinilmiştir. Al ve siyah alt tabaka üzerindeki yansıtma arasındaki büyük fark, yüksek geçirgenliğe ve düşük emisiviteye sahip bir kaplamayı gösterdiği belirtilmiştir. Paliogen Siyah S 0084 sistemi buna iyi bir örnek olarak verilmiştir. Yüksek yansıtma özelliğine sahip alüminyum alt tabaka sayesinde yüksek TSR değerleri elde edilmiştir. Ölçümlerde, TSR değerlerindeki varyasyonların IR yayılımındaki varyasyonlardan daha büyük olduğu görülmüştür. Bu

nedenle, öncelikle VIS ve NIR yansımalarının SRI değerleri üzerindeki etkisini dikkate alınmıştır. NIR yansımalarının TSR üzerindeki etkisinin VIS yansımısından gelen etkiden biraz daha güçlü olduğunu belirtilmiştir. Koyu renklerin VIS yansımaları düşüktür ve bu nedenle daha koyu renkler için yüksek SRI elde etmek daha zordur şeklinde ifade edilmiştir. Tüm kaplamalar 0.68'in üzerinde bir NIR güneş yansımalarına ve 0,68 veya daha yüksek bir IR yayma gücüne sahiptir. Elde edilen renkler, değişen açıklık değerlerine ( $L^*$ ) sahip siyah, sarı, turuncu ve kırmızıdır. Yaşlandırma testleri, turuncu, kırmızı ve siyah kaplamaların güneşte bozulmaya karşı dayanıklıdır. Bununla birlikte, iki sarı kaplama hem kritik UV-A testinde hem de açık havada yapılan yaşlandırmadan sonra güçlü renk değişiklikleri ortaya çıkarmıştır. Tüm kaplamalar, iyi bir görsel homojenlik ve haddelenmiş Al alt tabakanın görsel olarak yeterince gizlendiğini göstermiştir. Serin siyah kaplamalardan birinde, standart bir siyah kaplamaya kıyasla yüzey sıcaklığında 11,5°C'lik bir düşüş gözlenmiştir. Bu kaplamanın mükemmel NIR yansıtma özellikleri, Al alt tabakanın NIR yansıtma özellikleriyle birlikte siyah pigmentin NIR iletme özelliklerinin bir sonucudur şeklinde ifade edilmiştir. Sunulan sonuçlar, yüksek güneş yansımaları, yüksek yayma gücü ve çeşitli renklere sahip bir dizi serin kaplamalı alüminyum ürün elde etmek için mükemmel bir temel sağlamıştır [28].

Cozza ve arkadaşlarının enerji verimli binalar için NIR yansıtan kaplamalar üzerine yaptığı çalışmada siyah rengin ışık absorpsiyonu için en kritik durum olduğuna dair kanıtlardan yola çıkarak, siyah pigmentlere odaklanılmıştır. Bina dış yüzeyine uygulanacak hazırlanan ticari baz boyalar 150 µm nominal ıslak kalınlığa sahip bir aplikatör ile opaklık testleri için kullanılan Leneta kartlarına dökülerek oda koşullarında yedi gün kurutulduktan sonra, boya filmi spektroskopik ve kolorimetrik ölçümlerle test edilmiştir. Pigmentlerin morfolojisini araştırmak için taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Kullanılan standart pigment, demir ve mangan oksit karışımından (FeO ve MnO) oluşmakta ve mikron altı seviyede aglomeralar görülürken, IR yansıtan pigment iyi tanımlanmış bir spinal yapısına sahip ayrı ayrı partiküller sergilemiştir. Boya filmlerinin yansıtma özelliklerini güneş ışınımının toplam dalga boyu aralığında değerlendirmek için yansıtma spektrumları incelenmiştir. Çalışmada kaplamaların hem görünür, hem NIR bölgede opak olması yansıtma

değerlerinin alt tabaka özelliklerinden etkilenmeyeceği belirtilmiştir. Toplam Güneş Işığı Yansıtma (TSR) değerlerinin standart siyah pigmentle tasarlanan kaplamada %5 iken 5 farklı siyah pigmentin kullanıldığı bazı kaplamalarda %30'a kadar çıktığı görülmüştür. Ayrıca beyaz baz boyaya aynı miktarda ilave edilen siyah pigment ile gri numuneler elde edilmiş ve yansıtma değerleri karşılaştırılmıştır. Her iki durumda da siyah pigment ilavesi ile TSR değeri azalmakta, ancak tüm pigmentler için yansıtıcı griler standart griden %35 daha yüksek TSR değerine sahiptir. Yansıtıcı gri kaplamalar standart griye göre daha koyu tonlara sahiptir. Ayrıca boyanın TSR değeri ile boyalı panelin arka tarafında ulaşılan sıcaklık arasındaki uyumun daha iyi araştırmak için standart ve NIR yansıtıcı siyah ve gri boyalar uygulanmıştır. TSR değeri ne kadar yüksekse, boyalı panellerin ısınmasının o kadar düşük olduğu görülmüştür. 120 dakika boyunca açık olan bir halojen lamba karşısında 150 dakika boyunca 60 saniyede bir panel arkasından sıcaklık değeri kaydı alınmıştır. Standart ve yansıtıcı siyah numuneler arasında 7 °C fark görülmüştür. Sonuç olarak bu ürünlerin enerji verimliliği için kullanılabileceği görüşüne varılmıştır [30].

Gao ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, mika yüzeyler üzerine rutil  $TiO_2$  biriktirilmesi için kolay bir çözüm yöntemi ispat edilmeye çalışılmıştır. Mika-titanya pigmentlerinin solar spektral optik özellikleri üzerine faz bileşiminin, morfolojisinin ve partikül boyutunun etkileri araştırılmıştır. Farklı şekilli rutil  $TiO_2$  kaplanmış mika-titanya pigmentler 70°C'de  $TiCl_4$  etanolik çözeltisinin hidroliziyle hazırlanmıştır.  $SnO_2$  gibi bir rutil yükseltgeyici katkı maddesi  $TiO_2$ 'den önce mika üzerine çöktürülmüştür.  $TiCl_4$ 'ün kullanımı rutil  $TiO_2$  kaplamalarının morfoloji kontrolünde önemli bir rol oynamıştır.  $TiO_2$  yüklemesi arttıkça mono dispers nano iğneler artan tanecik boyutu ile nano çiçekler halinde toplaşmıştır. Zengin nano yapıları ile rutil  $TiO_2$ 'in olası kristal büyüme mekanizması önerilmiştir. İlk olarak, anataz  $TiO_2$  ile kıyaslandığında rutil  $TiO_2$  daha güçlü UV kalkanlama özelliği ve daha yüksek NIR yansıtma göstermiştir. İkinci olarak, 400-700 nm bölgesi içerisinde rutil numunelerin yansıtmaları  $TiO_2$  yüklemesinin artışı ile artmıştır. Üçüncü olarak, daha küçük tanecik boyutlu rutil  $TiO_2$  kaplamalar Kubelka-Munk teorisine göre 1300-2500 nm bölgesi içerisinde daha yüksek yansıtma özelliğini göstermektedir. Rutil  $TiO_2$  kaplanmış mika-titanya pigmentlerin yakın kızılötesi solar yansıtma değeri %97 kadar yüksektir.

Bunun yanısıra konvansiyonel rutil TiO<sub>2</sub> pigment ile kıyaslandığında rutil TiO<sub>2</sub> kaplı mika parçaların boyalı ortamda etkili ışık stabilizasyonu sergilediği gösterilmiştir. Bu yüzden form ve boyut kontrolü ile rutil TiO<sub>2</sub> kaplı mika parçaları solar yansıtıcı pigment gibi kullanılabilir sonucuna varılmıştır [42].

Wang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, yüksek yakın kızılötesi yansıtma özelliğine sahip KZn<sub>1-x</sub>(Fe)<sub>x</sub>PO<sub>4</sub> (x=0,00-0,05-0,10-0,15) yeni tür kırmızı inorganik pigment kullanılmıştır. Çalışmada pigmenti hazırlamak için birlikte çöktürme yöntemi kullanılmıştır. Ürünlerin yapısı ve yansıtma özellikleri UV-VIS-NIR spektrofotometre ve XRD cihazı ile incelenmiştir. Sonuçlar, Fe<sup>3+</sup> katkılılandıktan sonra KZnPO<sub>4</sub>'ün kristal yapısının değişmediği gösterilmiştir. KZn<sub>1-x</sub>(Fe)<sub>x</sub>PO<sub>4</sub> toz pigmentinde Fe<sup>3+</sup> (x=0,05-0,10-0,15)'ün artan konsantrasyonu ile numunelerin rengi koyulaşmış ve band aralığı 2,00 eV'da 1,95 eV'a kadar azalmıştır. Yakın kızılötesi yansıtma değeri ise %74,7'den %67,1'e kadar düşmüştür. Buradaki renk değişikliğinin nedeni <sup>6</sup>A<sub>1</sub>-<sup>4</sup>E ve <sup>6</sup>A<sub>1</sub>-<sup>4</sup>T<sub>2</sub>'de Fe<sup>3+</sup> iyonun d-d-orbital elektron geçişi ve 2p(O<sup>2-</sup>)-3d(Fe<sup>3+</sup>)'ün metal ve ligand arasındaki şarj geçişi olabilir şeklinde açıklanmıştır. Yansıtma değerindeki düşüş ise dörtyüzlü [Zn(Fe)PO<sub>4</sub>]<sup>-</sup> 'ün iskeleti üzerindeki azalan elektron miktarından ve <sup>6</sup>A<sub>1</sub>-<sup>4</sup>T<sub>1</sub>'de Fe<sup>3+</sup> iyonun d-d-orbital elektron geçişi kaynaklanıyor olabilir şeklinde açıklanmıştır. Yapılan çalışmalarda x=0,10 için sentezlenen KZn<sub>0,9</sub>(Fe)<sub>0,1</sub>PO<sub>4</sub> toz pigment 170,232 ve 312 µm kalınlıklarda kaplanmıştır. 312 µm kaplama kalınlığında kaplanmış alüminyum levha için yakın kızılötesi yansıtma değeri %46,7'ye ulaşmış ve bu değer 364 µm kalınlığında aynı renk konvansiyonel pigment ile kaplanmış numunenin yansıtma değerinden (%32,1) daha yüksek ölçülmüştür. Bu çalışma daha yüksek NIR yansıtma ile KZn<sub>1-x</sub>(Fe)<sub>x</sub>PO<sub>4</sub> kırmızı pigmentin bina çatı kaplama malzemeleri için 'serin pigmentler' olarak kullanabileceğini göstermektedir [43].

Coser ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, renkli kaplamaların güneş ışığını yansıttığı ve beyaz kaplamalara benzer şekilde ısındığını göstermek amacı ile konvansiyonel pigment içeren 4 kaplama, serin pigment içeren 4 kaplama olmak üzere 8 farklı kaplama üzerine çalışılmış ve elde edilen ürünler lifli çimento plakalarına uygulanmıştır. Numuneler renk ölçümü, spektral yansıtma ölçümü, ön ve arka yüzeyden sıcaklık ölçümleri ile karakterize edilmiştir. Numunelerin ASTM D 2244-14'e göre renk, ASTM E 903-12'e göre yansıtma özellikleri ve ASTM C1371-10'e

göre termal performans özellikleri değerlendirilmiştir. Ayrıca spektral yansıtma ve kızıl ötesi yayılım değerleri ölçülmüş ve numunelerin solar yansıtma değerleri hesaplanmıştır. Aynı rengin serin pigment hali ile standart pigment hali CIELab standardı ile ölçüldüğün de sonuçlar çok benzer çıkmıştır. Boya formülünde serin pigment kullanımı, görünür bölgede renklerin benzer yansıtma sağlarken NIR bölge içerisinde daha yüksek yansıtma sağlayan kaplamaların geliştirilmesine izin vermiştir. Serin boyalar ile kaplanmış lifli çimento plakaları bir IR lamba karşısında tutulduğu zaman standart kaplanmış plakalardan daha düşük sıcaklık göstermiştir. Bu durum yansıtıcı pigment içeren kaplamaların çatı ve duvarlarda kullanılması ile NIR ışınımı yansıtacağı ve binaların sıcaklığının azaltılacağını göstermiştir. Ayrıca serin renklendirilmiş boyalar, beyaz boyanın alternatifi olarak kullanılmıştır [44].

Han ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, yeni geliştirilen bir dizi renklendirilmiş serin kaplamanın termal performansı incelenmiştir. Bu çalışmada akrilamid teknolojisi ile kübik florit yapılı  $La_2Mo_{2-x}Fe_xO_9$  ( $x=0-0,03-0,05-0,08-0,10$ ) nano kristalin malzemeler elde edilmiştir. Bu malzemelerin kristal yapıları, kromatik ve NIR spektral yansıtma özellikleri incelenmiştir. Uygun olan pigmentli kaplamaların termal performansları, NIR yansıtma özellikleri, solar yansıtma özellikleri ve iç mekân hava sıcaklığının etkisi incelenerek hesaplama yapılmıştır. Uygun olan akrilik temelli kaplamalar GB/T 25261-2010 standardına göre hazırlanmıştır.  $La_2Mo_2O_7$  bileşiğinin içeriğinde yer alan  $Mo^{6+}$  ile  $Fe^{3+}$ 'ün yer değiştirmesi, rengin beyazdan parlak sarıya değişimine neden olmuştur.  $Fe^{3+}$  katkılı pigmentler %71-93 gibi yüksek bir yakın kızılötesi spektral yansıtıma sahiptir. Sentezlenen pigmentler ile renklendirilen kaplamalar, aynı rengin konvansiyonel kaplamaları ile kıyaslandığında %61-75 gibi daha yüksek solar yansıtma değeri gösterirken simüle edilmiş deneylerde iç mekân sıcaklık farkı  $4,5^{\circ}C$ 'ye ulaşarak belirgin bir termal performans sergilemiştir. Tasarlanan renklendirilmiş serin kaplamalar herhangi bir toksik metal içermez ve bundan dolayı bu malzemeler çevresel olarak zararsız kabul edilirler. Bu çalışmada binalar için bir dizi yeni ve yüksek performanslı renklendirilmiş serin kaplama geliştirilmiştir [45].

Liu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ferritlerin çevre dostu ve ekonomik olarak uygulanabilirliği dikkate alınıp sol jel teknolojisi ile  $Zn_{1-x}Mg_xF_2O_4$  ( $x=0-0,1-0,2-0,3-$

0,4) genel formülüne sahip bir dizi NIR yansıtıcı inorganik pigment sentezlenmiştir. Kaplamaların termal ve yansıtma performansları değerlendirilmiştir. Geliştirilen nano kristalin tozlar TG- DSC, XRD, FESEM, UV- VIS- NIR yansıtma spektrumu, FLIR, ve CIE- L\*a\*b\* 1976 renk skalası ile karakterize edilmiştir. Sonuçlar tek fazlı  $Zn_{1-x}Mg_xFe_2O_4$ 'ün optimum sıcaklık olan  $800^{\circ}C$ 'de sentezlendiğini göstermiştir. Kalsine edilme sonucunda tozlar iyi geliştirilmiş kübik spinel yapılar ile nano boyutunda parçacıklar haline gelmiştir. Çinko ferrit içerisine magnezyumun katılması ile renk kiremit kırmızısından koyu kahverengiye değişirken band aralığı ise 2,23'den 2,18 eV'a kadar değişmiştir. Renklerin değişimi band aralığının değişmesine dayanmaktadır. Sentezlenen numuneler yüksek bir NIR solar yansıtma (>51%) sergiler ve bu numuneler arasında  $x=0,4$  için maksimum %58'lik değer elde edilir. Sentezlenen pigmentler ayrıca iyi termal performansa ve kimyasal stabiliteye sahiptir. Pigmentlenmiş kaplamaların termal performansı da değerlendirilmiştir. Konvansiyonel pigment ile sentezlenen yeni pigmentli kaplamalar arasındaki yüzey sıcaklık farkının maksimum değeri  $7,6^{\circ}C$ 'ye ulaşırken, simülasyon denemelerinde kullanılan polistiren köpükten yapılmış olan kutuların iç sıcaklık farkı ise  $6,2^{\circ}C$ 'ye ulaşmıştır. Simüle edilmiş deneyde, termal performans analizi şu sonuçları ortaya çıkarmıştır: Yüzey sıcaklığı ve hazırlanan kaplama ile örtülü cihazların iç sıcaklığı konvansiyonel kaplamalı olanlardan daha düşüktür, hazırlanan pigment ile renklendirilen kaplama NIR bölgede daha az absorpsiyon yapar ve kapalı alana transfer edilen ısı akışını düşürür. Bu da soğutma ihtiyacını düşürürken, yaz aylarında termal konforu artırmaktadır. Tasarlanan renklendirilmiş serin kaplamalar herhangi bir toksik metal içermemektedir ve bu sayede çevre dostu ürünler olarak kabul edilir. Bu çalışmada, sentezlenen yeni pigmentlerin mükemmel serin pigment adayı olduğu öne sürülmüştür [46].

Qin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, farklı siyah renklendiriciler ile pigmentlenmiş kaplamaların optik özellikleri sistematik olarak incelenmiş ve yüzey sıcaklıkları ile soğutma enerjisi tasarrufları değerlendirilmiştir. Bu çalışmada karbon siyahı, bakır kromit, kromit demir nikel siyahı, manganez ferrit siyah spinel, perilen siyahı ve dioksazin mor pigmentleri kullanılarak kaplamasız alüminyum alaşım yüzeylere spreycaplama yöntemi ile kaplanmıştır. Daha sonra bu numuneler serin beyaz astar ile

boyanmıştır ve sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Spektrofotometre sonuçları incelendiğinde solar yansıtma değeri karbon siyahı ve bakır kromit siyah renklendirici ile pigmentlenmiş siyah kaplamalardan daha yüksek olmasına rağmen kromit demir nikel siyah ve manganez ferrit siyah spinel renklendiricileri ile pigmentlenmiş siyah kaplamaların gerçekte serin kaplama olamadığı görülmüştür. Sırasıyla yeşil ve mor renklerin tonlarına sahip olmasına rağmen NIR gönderilen perilen siyah ve dioksazin mor renklendiriciler ile pigmentlenmiş siyah kaplamalar, serin siyah kaplamalardır. Pekin’de kaplamalı malzemelerin soğutma etkileri ve soğutma enerjisi tasarrufları değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır. Perilen siyah ve dioksazin mor renklendirici ile pigmentlenmiş siyah kaplamaların yüzey sıcaklığı düşüş değerleri sırasıyla kaplamasız alüminyum alaşım yüzey için 11,2°C ve 12°C’yken serin beyaz astar yüzey üzerinde 12,4°C ve 13,8°C’dir. Siyah kaplamaların uygulamaları sayesinde elde edilen enerji tasarrufları kromit demir nikel siyah renklendirici ile pigmentlenmiş kaplamalar için 1, 21 kWhm<sup>-2</sup>yr<sup>-1</sup>, dioksazin mor renklendirici ile pigmentlenmiş kaplamalar için 5,52 kWhm<sup>-2</sup>yr<sup>-1</sup> ölçülmüştür [47].



## 2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde, çalışmada kullanılan malzemeler ve özellikleri, numunelerin hazırlanma yöntemleri ve hazırlanan numunelerin karakterizasyonları ile ilgili bilgi verilmiştir.

### 2.1. Malzemeler

Çalışmada kaplamaların tasarımında kullanılan hammaddeler, tanımları ve özellikleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Çalışmada Kullanılan Hammaddeler, Kimyasal Tanımları ve Özellikleri

Hammadde	Kimyasal Tanımı	Özellikleri
Reçine 1	Superdurable karboksil fonksiyonel polyester reçine	Asit değeri (mg KOH/g): 33 Viskosite (mPa.s): 3700/200 °C Tg: 59 °C Kürlenme Sıcaklığı: 190 °C
Reçine 2	Superdurable karboksil fonksiyonel polyester reçine	Asit değeri (mg KOH/g): 20 Viskosite (mPa.s): 4300/200 °C Tg: 60 °C Kürlenme Sıcaklığı: 200 °C
Reçine 3	Superdurable karboksil fonksiyonel polyester reçine	Asit değeri (mg KOH/g): 51 Viskosite (mPa.s): 5500/200 °C Tg: 64 °C Kürlenme Sıcaklığı: 200 °C
Kürlenme ajanı	Hidroksialkilamid (HAA) çapraz bağlayıcı	Hidroksil numarası (mgKOH/g): 620-700 Tm: 120-124°C
Gaz çıkarıcı ajan	1.Amid wax (n n'-bis stearoil etilendiamin), 2.Benzoin C <sub>14</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub> Benzoil Fenil Karbinol) 3.Amid modifiye fenollü üre sürfaktan	Asit değeri (mg KOH/g): 5-8 Tm: 135 °C Tm: 125 °C
Çizilme direnci ajanı	PTFE- modifiye polietilen wax	Tm: 115 °C
Yüzey düzeltici ajan	Silikon dioksite adsorbe edilmiş poliakrilat	d: 1,28g/ml (20 °C)
Yüzey bozucu ajan	PTFE tekstüre ajanı	Yumuşama noktası: 325-350°C

Tablo 2.1.(Devam) Çalışmada Kullanılan Hammaddeler, Kimyasal Tanımları ve Özellikleri

Hammadde	Kimyasal Tanımı	Özellikleri
Pigmentler	Karbon siyahı, Perilen siyahı, Demiroksit ve manganoksit (Fe,Mn) <sub>2</sub> O <sub>3</sub> siyahı, Demir/krom oksit siyahı, Ultramarin mavisi, Kromoksit, Demir hidroksit alfa-FeOOH, Demir oksit kırmızısı, Cu fitalosiyanın, Fitalosiyanın, Cu-fitalosiyanın beta, Diketo-Pirol-Pirol	Pigment Siyah 7 Pigment Siyah – Pigment Siyah 33  Pigment Kahverengi 29 Pigment Mavi 29 Pigment Yeşil 17 Pigment Sarı 42 Pigment Kırmızı 101 Pigment Mavi15:1 Pigment Yeşil 7 Pigment Mavi 15:3 Pigment Kırmızı 254
Dolgu	Baryum sülfat, BaSO <sub>4</sub>	D50: 3,5 µm
Al pigmentler	Silver dolar alüminyum pigment	D50: 35 µm

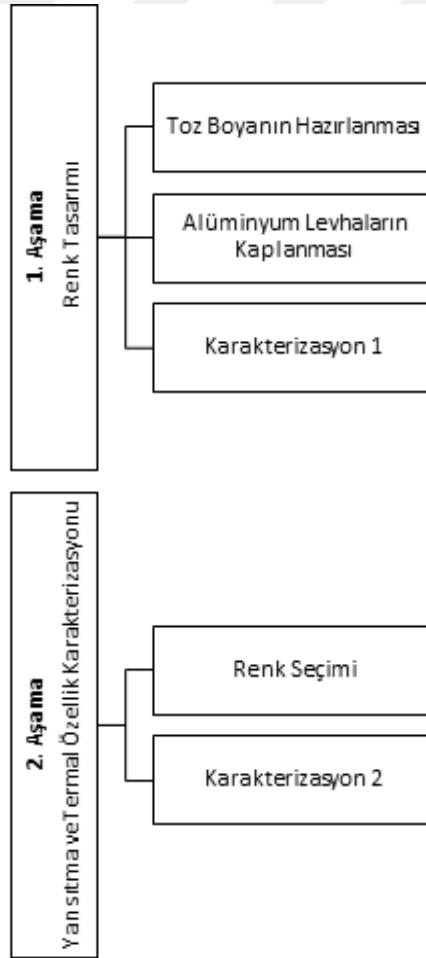
Çalışmada geleneksel siyah pigmentlere alternatif olarak kullanılan ‘serin’ siyah pigmentlerin özellikleri ayrıca Tablo 2.2’de verilmiştir. Serin pigmentlerin seçimi literatür bulgularının yanı sıra pigment tedarikçileri tarafından verilen bilgilere dayanmaktadır. Boya endüstrisinde çokça kullanılan karbon siyahı (organik pigment) ve demir oksit-mangan oksit siyahı (inorganik pigment) ile karşılaştırmak için iki tip serin pigment kullanılmıştır. Bunlar NIR transparan organik siyah pigment ve NIR yansıtıcı inorganik siyah pigmenttir. NIR transparan pigment içeren kaplamalarda alüminyum olan alt tabakanın mükemmel yansıtma özelliğinden faydalanılmıştır. NIR yansıtıcı pigment içeren kaplamalarda ise gelen güneş ışınları kaplama sayesinde yansıtılmıştır.

Tablo 2.2. Çalışmada Kullanılan Serin Pigmentler, Kimyası/Renk İndeksi ve NIR Davranışları

Pigment	Kimyası/ Renk İndeksi	NIR Davranışı
Organik Serin Pigment	Perilen/-	NIR Transparan (>850nm)
İnorganik Serin Pigment	Fe/Cr oksit/ PBr29	NIR Yansıtıcı (>1120)

## 2.2. Yöntem

Çalışmada kullanılan yöntemler ve karakterizasyon aşamaları bu bölümde incelenmiştir. Hazırlanan kaplamalar için kullanılan karakterizasyon yöntemleri iki aşamaya ayrılmıştır. İlk aşamada, bölüm 2.2.1’de anlatıldığı şekilde toz boya, verilen formüllere göre hazırlanmıştır. Elde edilen toz alüminyum plakalara uygulanıp 200°C’de, 10 dakika fırınlanmıştır. Seçilen RAL renkleri referans alınarak, kaplanan panellerin renk ölçümleri alınmıştır. Uygun renk değerleri elde etmek için renk çalışması yapılmıştır. İstenen renk değerleri elde edildiğinde parlaklık, örtücülük ve film kalınlığı testleri yapılarak, paneller ikinci aşama karakterizasyona hazır hale getirilmiştir. İkinci aşamada kaplanmış panellerin UV/VIS/IR Spektroskopisi, Güneş ışığı etkisinde ve IR lamba etkisinde termal davranışları incelenmiştir. Genel çalışma planı Şekil 2.1’de özetlenmiştir.



Şekil 2.1. Çalışma Planının Şematik Gösterimi

### 2.2.1. Deneysel tasarım

Çalışmanın ilk aşamasında RAL8017, RAL9002, RAL5005, RAL7001, RAL6005, RAL3011, RAL7016 ve RAL9005 renkleri referans alınarak geleneksel pigmentler ile parlak, pürüzsüz yüzeyli toz kaplamalar tasarlanmıştır. Ayrıca bu standart kaplamalara ek olarak RAL9005 rengine mat, pütürlü yüzeyde, %20 BaSO<sub>4</sub> ihtiva eden, %0,7 ve %3 alüminyum pigment ihtiva eden standart kaplamalar hazırlanmıştır. Daha sonra aynı formüller geleneksel siyah pigmentler yerine ‘serin’ siyah pigmentler ile tasarlanmıştır. Pigment renkleri aynı olmadığı için bu geçişte birçok formüle renk çalışması gerekmiştir. Renk değerlerine göre seçilen formüller Tablo 2.3’den Tablo 2.27’ye kadar aşağıda verilmiştir. Standart pigment ile tasarlanan kaplamalar ‘S’, serin pigment ile tasarlanana kaplamalar ‘C’ ile kodlanmıştır.

Tablo 2.3. RAL8017 rengi standart kaplama içeriği

<b>Standart RAL8017 (RAL8017S)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine 1	88,10
Kürlenme Ajanı	4,80
Gaz Çıkarıcı Ajan	1,90
Çizilme Direnci Ajanı	0,50
Yüzey Düzeltici Ajan	1,50
Pigment (Demir oksit sarısı)	1,00
Pigment (Demir oksit kırmızısı)	1,85
Pigment (Karbon siyahı)	0,35

Tablo 2.4. RAL8017 rengi serin kaplama içeriği

<b>Serin RAL8017 (RAL8017C)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine 1	88,80
Kürlenme Ajanı	4,75
Gaz Çıkarıcı Ajan	1,90
Çizilme Direnci Ajanı	0,50
Yüzey Düzeltici Ajan	1,50
Pigment (Demir oksit sarısı)	1,50
Pigment (Demir oksit kırmızısı)	0,60
Pigment (Perilen siyahı)	0,45

Tablo 2.5. RAL9002 rengi standart kaplama içeriği

<b>Standart RAL9002 (RAL9002S)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine I	71,93
Kürlenme Ajanı	3,80
Gaz Çıkarıcı Ajan	1,90
Çizilme Direnci Ajanı	0,50
Yüzey Düzeltici Ajan	1,50
Pigment (Titanyum dioksit)	20,00
Pigment (Demir oksit sarısı)	0,12
Pigment (Krom oksit yeşili)	0,09
Pigment((Fe,Mn) <sub>2</sub> O <sub>3</sub> siyahı)	0,16

Tablo 2.6. RAL9002 rengi serin kaplama içeriği

<b>Serin RAL9002 (RAL9002C)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine I	71,92
Kürlenme Ajanı	3,80
Gaz Çıkarıcı Ajan	1,90
Çizilme Direnci Ajanı	0,50
Yüzey Düzeltici Ajan	1,50
Pigment (Titanyum dioksit)	20,00
Pigment (Demir oksit sarısı)	0,13
Pigment (Krom oksit yeşili)	0,08
Pigment (Demir/krom oksit siyahı)	0,17

Tablo 2.7. RAL6005 rengi standart kaplama içeriği

<b>Standart RAL6005 (RAL6005S)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine I	87,63
Kürlenme Ajanı	4,65
Gaz Çıkarıcı Ajan	1,90
Çizilme Direnci Ajanı	0,50
Yüzey Düzeltici Ajan	1,50
Pigment (Titanyum dioksit)	0,50
Pigment (Demir oksit sarısı)	1,80
Pigment (Ftalosiyenin yeşil)	1,45
Pigment (Karbon siyahı)	0,08

Tablo 2.8. RAL6005 rengi serin kaplama içeriği

<b>Serin RAL6005 (RAL6005C)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine I	87,00

Tablo 2.8.(Devam) RAL6005 rengi serin kaplama içeriği

<b>Serin RAL6005 (RAL6005C)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Kürlenme Ajanı	4,60
Gaz Çıkarıcı Ajant	1,90
Çizilme Direnci Ajanı	0,50
Yüzey Düzeltici Ajant	1,50
Pigment (Titanyum dioksit)	0,50
Pigment (Demir oksit sarısı)	1,80
Pigment (Ftalosiyanin yeşil)	1,45
Pigment (Demir/krom oksit siyahı)	0,75

Tablo 2.9. RAL7001 rengi standart kaplama içeriği

<b>Standart RAL7001 (RAL7001S)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine 1	79,4
Kürlenme Ajanı	4,2
Gaz Çıkarıcı Ajant	1,9
Çizilme Direnci Ajanı	0,5
Yüzey Düzeltici Ajant	1,5
Pigment (Titanyum dioksit)	10,0
Pigment (Ultramarin mavisi)	0,6
Pigment (Krom oksit yeşili)	0,4
Pigment ((Fe,Mn) <sub>2</sub> O <sub>3</sub> siyahı)	1,5

Tablo 2.10. RAL7001 rengi serin kaplama içeriği

<b>Serin RAL7001 (RAL7001C)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine 1	79,4
Kürlenme Ajanı	4,2
Gaz Çıkarıcı Ajant	1,9
Çizilme Direnci Ajanı	0,5
Yüzey Düzeltici Ajant	1,5
Pigment (Titanyum dioksit)	10,0
Pigment (Ultramarin mavisi)	0,6
Pigment (Krom oksit yeşili)	0,4
Pigment (Demir/krom oksit siyahı)	1,5

Tablo 2.11. RAL5005 rengi standart kaplama içeriği

<b>Standart RAL5005 (RAL5005S)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine 1	85,0

Tablo 2.11.(Devam) RAL5005 rengi standart kaplama içeriği

<b>Standart RAL5005 (RAL5005S)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Kürlenme Ajanı	4,5
Gaz Çıkarıcı Ajan	1,9
Çizilme Direnci Ajanı	0,5
Yüzey Düzeltici Ajan	1,5
Pigment (Titanyum dioksit)	4,0
Pigment (Cu ftalosiyenin mavisi)	2,1
Pigment ((Fe,Mn) <sub>2</sub> O <sub>3</sub> siyahı)	0,5

Tablo 2.12. RAL5005 rengi serin kaplama içeriği

<b>Serin RAL5005 (RAL5005C)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine 1	85,8
Kürlenme Ajanı	4,6
Gaz Çıkarıcı Ajan	1,9
Çizilme Direnci Ajanı	0,5
Yüzey Düzeltici Ajan	1,5
Pigment (Titanyum dioksit)	3,5
Pigment (Cu ftalosiyenin mavisi)	1,7
Pigment (Demir/krom oksit siyahı)	0,5

Tablo 2.13. RAL3011 rengi standart kaplama içeriği

<b>Standart RAL3011 (RAL3011S)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine 1	86,7
Kürlenme Ajanı	4,5
Gaz Çıkarıcı Ajan	1,9
Çizilme Direnci Ajanı	0,5
Yüzey Düzeltici Ajan	1,5
Pigment (Titanyum dioksit)	1,5
Pigment (DPP kırmızı)	1,0
Pigment (Demir oksit kırmızısı)	1,5
Pigment ((Fe,Mn) <sub>2</sub> O <sub>3</sub> siyahı)	0,9

Tablo 2.14. RAL3011 rengi serin kaplama içeriği

<b>Serin RAL3011 (RAL3011C)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine 1	86,6
Kürlenme Ajanı	4,5
Gaz Çıkarıcı Ajan	1,9
Çizilme Direnci Ajanı	0,5

Tablo 2.14.(Devam) RAL3011 rengi serin kaplama içeriği

<b>Serin RAL3011 (RAL3011C)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Yüzey Düzeltici Ajan	1,5
Pigment (Titanyum dioksit)	1,5
Pigment (DPP kırmızı)	1,0
Pigment (Demir oksit kırmızısı)	1,6
Pigment (Demir/krom oksit siyahı)	0,9

Tablo 2.15. RAL7016 rengi standart kaplama içeriği

<b>Standart RAL7016 (RAL7016S)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine 1	88,94
Kürlenme Ajanı	4,50
Gaz Çıkarıcı Ajan	1,90
Çizilme Direnci Ajanı	0,50
Yüzey Düzeltici Ajan	1,50
Pigment (Titanyum dioksit)	2,25
Pigment (Cu ftalosiyenin beta mavisi)	0,03
Pigment (Ftalosiyenin yeşil)	0,05
Pigment (Karbon siyahı)	0,34

Tablo 2.16. RAL7016 rengi düşük pigmentli standart kaplama içeriği

<b>Standart RAL7016 (RAL7016S1)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine 1	90,19
Kürlenme Ajanı	4,50
Gaz Çıkarıcı Ajan	1,90
Çizilme Direnci Ajanı	0,50
Yüzey Düzeltici Ajan	1,50
Pigment (Titanyum dioksit)	1,15
Pigment (Cu ftalosiyenin beta mavisi)	0,02
Pigment (Ftalosiyenin yeşil)	0,03
Pigment (Karbon siyahı)	0,18

Tablo 2.17. RAL7016 rengi serin kaplama içeriği

<b>Serin RAL7016 (RAL7016C)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine 1	87,25
Kürlenme Ajanı	4,60
Gaz Çıkarıcı Ajan	1,90
Çizilme Direnci Ajanı	0,50



Tablo 2.17.(Devam) RAL7016 rengi serin kaplama içeriği

<b>Serin RAL7016 (RAL7016C)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Yüzey Düzeltici Ajan	1,50
Pigment (Titanyum dioksit)	1,00
Pigment (Ftalosiyenin yeşil)	0,05
Pigment (Demir/krom oksit siyahı)	3,20

Tablo 2.18. RAL9005 rengi standart kaplama içeriği

<b>Standart RAL9005 (RAL9005S)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine 1	90,3
Kürlenme Ajanı	4,8
Gaz Çıkarıcı Ajan	1,9
Çizilme Direnci Ajanı	0,5
Yüzey Düzeltici Ajan	1,5
Pigment (Karbon Siyahı)	1,0

Tablo 2.19. RAL9005 rengi serin kaplama içeriği

<b>Serin RAL9005 (RAL9005C)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine 1	88,8
Kürlenme Ajanı	4,7
Gaz Çıkarıcı Ajan	1,9
Çizilme Direnci Ajanı	0,5
Yüzey Düzeltici Ajan	1,5
Pigment (Ftalosiyenin yeşil)	0,6
Pigment (Perilen Siyahı)	2,0

Tablo 2.20. RAL9005 rengi dolgulu standart kaplama içeriği

<b>Dolgulu Standart RAL9005 (RAL9005DS)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine 1	71,3
Kürlenme Ajanı	3,8
Gaz Çıkarıcı Ajan	1,9
Çizilme Direnci Ajanı	0,5
Yüzey Düzeltici Ajan	1,5
Dolgu	20,0
Pigment (Karbon Siyahı)	1,0

Tablo 2.21. RAL9005 rengi dolgulu serin kaplama içeriği

<b>Dolgulu Serin RAL9005 (RAL9005DC)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine 1	69,8
Kürlenme Ajanı	3,7
Gaz Çıkarıcı Ajan	1,9
Çizilme Direnci Ajansı	0,5
Yüzey Düzeltici Ajan	1,5
Dolgu	20,0
Pigment (Ftalosiyanın yeşil)	0,6
Pigment (Perilen Siyahı)	2,0

Tablo 2.22. RAL9005 rengi mat standart kaplama içeriği

<b>Mat Standart RAL9005 (RAL9005MS)</b>			
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>		<b>%</b>
Reçine 2	92,2	Reçine 3	87,5
Kürlenme Ajansı	2,9	Kürlenme Ajansı	7,6
Gaz Çıkarıcı Ajan	1,9	Gaz Çıkarıcı Ajan	1,9
Çizilme Direnci Ajansı	0,5	Çizilme Direnci Ajansı	0,5
Yüzey Düzeltici Ajan	1,5	Yüzey Düzeltici Ajan	1,5
Pigment (Karbon Siyahı)	1,0	Pigment (Karbon Siyahı)	1,0

Tablo 2.23. RAL9005 rengi mat serin kaplama içeriği

<b>Mat Serin RAL9005 (RAL9005MC)</b>			
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>		<b>%</b>
Reçine 2	90,6	Reçine 3	85,9
Kürlenme Ajansı	2,9	Kürlenme Ajansı	7,6
Gaz Çıkarıcı Ajan	1,9	Gaz Çıkarıcı Ajan	1,9
Çizilme Direnci Ajansı	0,5	Çizilme Direnci Ajansı	0,5
Yüzey Düzeltici Ajan	1,5	Yüzey Düzeltici Ajan	1,5
Pigment (Ftalosiyanın yeşil)	0,6	Pigment ((Ftalosiyanın yeşil)	0,6
Pigment (Perilen Siyahı)	2,0	Pigment (Perilen Siyahı)	2,0

Tablo 2.24. RAL9005 rengi pütürlü yüzey standart kaplama içeriği

<b>Pütürlü Standart RAL9005 (RAL9005TS)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine 1	92,7
Kürlenme Ajansı	4,9
Çizilme Direnci Ajansı	0,5
Yüzey Bozucu Ajan	0,9
Pigment (Karbon siyahı)	1,0

Tablo 2.25. RAL9005 rengi pütürlü yüzey serin kaplama içeriği

<b>Pütürlü Serin RAL9005 (RAL9005TC)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Reçine 1	91,1
Kürlenme Ajanı	4,9
Çizilme Direnci Ajanı	0,5
Yüzey Bozucu Ajan	0,9
Pigment (Ftalosiyanın yeşil)	0,6
Pigment (Perilen Siyahı)	2,0

Tablo 2.26. RAL9005 rengi alüminyum pigment ilaveli standart kaplama içeriği

<b>Alüminyum Pigmentli Serin RAL9005 (RAL9005AC1)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Serin RAL9005	99,3
Alüminyum Pigment	0,7

Tablo 2.27. RAL9005 rengi alüminyum pigment ilaveli serin kaplama içeriği

<b>Alüminyum Pigmentli Serin RAL9005 (RAL9005AC2)</b>	
<b>Bileşenler</b>	<b>%</b>
Serin RAL9005	97
Alüminyum Pigment	3,0

Serin kaplamaların potansiyelini anlamak için, siyah ve beyaz referans yüzeyler (ASTM E1980'de belirtildiği gibi) için ortaya çıkan yüzey sıcaklıklarını (ASTM E1980-orta rüzgar koşullarına göre) "mükemmel" serin yüzeylerinkilerle karşılaştırmak önemlidir. Öncelikle ASTM E1980'de belirtilen Siyah ve Beyaz Referans yüzeyleri ele alalım. Bunların tipik siyah veya beyaz yüzeyleri temsil etmesi beklenir. Referans Beyaz yüzeyin SRI değeri 100 ve yüzey sıcaklığı 45°C'dir. Referans Siyah yüzeyinin SRI değeri 0 ve yüzey sıcaklığı 82°C'dir. ASTM E1980'de (orta rüzgar koşullarında) belirtilen koşullar için, Referans Siyah ve Referans Beyaz yüzey arasında 37°C'lik bir yüzey sıcaklığı farkı vardır. Şimdi "mükemmel" bir serin beyaz ve "mükemmel" bir serin siyah yüzey düşünelim. "Mükemmel" serin beyaz bir yüzey, güneş bölgesinde %100 yansıtma yapmaktadır ve IR emisyonu 1'dir. Böyle bir yüzeyin SRI değeri 130 yüzey sıcaklığı 33°C olacaktır. Bu, mükemmel serin beyaz bir yüzeyin, Referans Beyaz yüzeyden 12°C daha düşük bir yüzey sıcaklığına sahip olduğunu

gösterir. Şimdi "mükemmel" bir serin siyah yüzey düşünelim. Burada "mükemmel" serin siyah, UV ve NIR yansımaları 1, VIS yansıtma oranı 0 ve IR yayma değeri 1 olan bir yüzey olarak tanımlıyoruz. Böyle bir yüzeyin SRI değeri 71 ve yüzey sıcaklığı 56°C olacaktır. Bunu, mükemmel bir serin siyah yüzeyin, Referans Siyah yüzeyden 26°C daha düşük bir yüzey sıcaklığına sahip olduğu takip eder. Buradan, sonuçta ortaya çıkan yüzey sıcaklıkları ile ilgili olarak, serin beyazdan çok serin siyahla kazanmanın çok daha fazla olduğu sonucuna varabiliriz [28]. Literatür bilgisinden yola çıkılarak, en çok ısınan renk olarak tanımlanan siyah renk serin tasarlandığında, en büyük iyileşmenin gözleneceği düşünülmüştür. RAL9005 (siyah) renginde parlak, pürüzsüz yüzeyli tasarlanan standart ve serin kaplamaya ek olarak farklı parametreler değiştirilmiş ve etkileri gözlenmiştir. %20 BaSO<sub>4</sub> ilave edilerek dolgunun etkisi gözlenmiştir. %0,7 ve %3 oranlarında alüminyum pigment ilave edilerek etkisi gözlenmiştir. Mat numuneler ve pütürlü numuneler tasarlanarak parlaklık ve yüzey dokusunun etkileri gözlenmiştir. Film kalınlığının etkisini gözlemek için de RAL9005 standart ve serin kaplamaları kalın uygulanarak karakterize edilmiştir.

Serin siyah pigmentlerin etkisini renkli kaplamalarda da gözlemek için parlak pürüzsüz yüzeyli renkli numuneler tasarlanmıştır. RAL8017 (kahverengi), RAL9002 (beyaz), RAL6005(yeşil), RAL7001 (açık gri), RAL5005 (mavi), RAL3011 (kırmızı), RAL7016 (koyu gri) renklerinde hem serin hem standart kaplamalar tasarlanarak karakterizasyonları yapılmıştır. Pigment konsantrasyonunun etkisini gözlemek için standart tasarlanan RAL7016'da pigment konsantrasyonu %50 azaltılarak karakterize edilmiştir.

### **2.2.2. Toz kaplamanın hazırlanması ve uygulanması**

Bölüm 2.2.1'de verilen formüllere göre tartılan bileşenler 20 dakika ön karıştırmaya tabi tutulmuştur. Daha sonra eritme ve yoğurma için ekstrüdere beslenen ara ürün, eriyik olarak soğutmalı silindirlerden geçirilip soğutma bandına verilmiştir. Soğutma bandı sonundaki kırıcılarda ön kırma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra değirmene beslenerek öğütme ve elemeyle uygun tane dağılımı aralığında toz boyalar elde edilmiştir. Alüminyum pigment içeren tozlara bu aşamadan sonra kuru karışım olarak Tablo 2.24 ve Tablo 2.25'de verilen formüllere göre alüminyum pigment ilave

edilmiştir. Mat numuneler de Tablo 2.21 ve Tablo 2.22’de verilen formüllere göre hazırlanan çift bileşenli sistem, kuru karışım olarak birbirine eklenmiştir.

Hazırlanan tozlar yalıtılmış alüminyum levhalara elektrostatik tabancalar ile uygulanmıştır. Kaplanan levhalar 200°C 10 dakika fırınlanarak kaplamanın kürlenmesi sağlanmıştır.

UV/VIS/IR spektrofotometre ölçümlerinde ise 5x5 cm boyutlarında alüminyum paneller kullanılmıştır. IR lamba etkisinde sıcaklık artışı tayini için A4 boyutunda alüminyum paneller kullanılmıştır. Güneş ışığı etkisinde sıcaklık artışı tayini için A5 boyutunda alüminyum paneller kullanılmıştır.

### **2.3. Karakterizasyon Yöntemleri**

#### **2.3.1. Renk ve örtücülük ölçümleri**

Kaplama panellerinin uygun film kalınlıklarından ( $65\pm 5 \mu\text{m}$ ) renk değerleri spektrofotometre ile ISO 11664-4 standardına göre ölçülmüştür. Kaplamanın örtücülük gücü yine spektrofotometre cihazı ile ASTM D 6441-05 standardına göre ölçülmüştür.

#### **2.3.2. Film kalınlığı ölçümleri**

Yansıtma ve yüzey sıcaklığı değerlerinde etkili olacağı için tüm numune kalınlıklarının benzer olmasına dikkat edilmiştir. Panellerde film kalınlığı, kalınlık ölçer cihazı ile ISO 2360 standardına göre ölçülmüştür. Pütürlü yüzeyli ve kalın numuneler dışında tüm numuneler  $65\pm 5 \mu\text{m}$  film kalınlığında kaplanmıştır. Pütürlü yüzeyli numuneler dokusu gereği daha kalın uygulanmaktadır. Burada da kaplama kalınlıkları  $85\pm 5 \mu\text{m}$  olarak uygulanmıştır. Film kalınlığının etkisini görmek amacıyla RAL9005 standart ve serin kaplamalar  $120\pm 5 \mu\text{m}$  film kalınlığında uygulanmıştır.

#### **2.3.3. Parlaklık ölçümü**

3 açılı parlaklık ölçer ile tüm numunelerin parlaklık değerleri ISO 2813 standardına göre ölçülmüştür.

### 2.3.4. UV/VIS/NIR spektrofotometre ölçümleri

Ölçümler için 5x5 cm'lik alüminyum levhalar boyanmıştır. Endüstriyel alüminyum yüzeyler, ekstrüzyon veya haddeleme işleminden kaynaklanan ışık saçılmasında genellikle güçlü bir yönlülüğe sahiptir. Bu yönlü ışık saçılması, entegre kürenin geometrisi nedeniyle ölçümde sistematik hatalara yol açabilir. Bu tür numuneler için, numunenin yönünü geliş düzlemine göre hizalamak önemlidir [28]. Tüm numuneler haddeleme yönündeki geliş düzlemi ile ölçülmüştür.

Yansıtma grafikleri, toplam güneş ışığı yansıtma (TSR) değerleri UV/VIS/NIR Spektrofotometresi (Lambda 950 ve 150 mm'lik küre) kullanılarak ASTM G173-03 metoduna göre elde edilmiştir. ASTM G173 Standardında malzemelerin kendi performansları ve birbirlerine göre performanslarını gözlemek için referans standart güneş spektral dağılım değerleri tablo olarak verilmektedir. Toplam güneş ışığı yansıtma (TSR) değerleri hesaplanırken bu tablodan faydalanılmıştır. Tabloda 280-4000 nm dalga boyu aralığında güneşin atmosfer dışındaki ve yarı küresel ışınım değerleri bulunmaktadır. Yarı küresel burada doğrudan ışınım artı dağınık gökyüzü ışınımı için kullanılır. Ölçüm alınan malzemenin absorptans, yansıtma ve geçirgenlik değerleri güneş ışınları referans alınarak ölçülmektedir. Ayrıca üç farklı konvektif katsayısı 5, 12, 30  $Wm^{-2}K^{-1}$  için, düşük-rüzgar (0 ila 2  $m s^{-1}$ ), orta-rüzgar (2 ila 6  $m s^{-1}$ ) ve şiddetli-rüzgar (6 ila 10  $m s^{-1}$ ) koşullarında ASTM E 1980-11'e göre kararlı hal yüzey sıcaklığı  $T_s$  ve güneş yansıtma endeksi SRI hesaplanmıştır.

### 2.3.5. IR lamba etkisinde sıcaklık artışı tayini

Literatürde genellikle panel ön yüzeyi ve arka yüzeyinden sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Kaplanmış paneller 250 W'lık IR lambaya 30 cm mesafede konumlandırılmıştır. Panel yüzeyi ve panel arkasından sıcaklık değerleri ölçülmüştür [2, 5]. Bunun yanı sıra ASTM D 4803, laboratuvarında güneş ışığına maruz kalan nesnelerin ısı birikimini tahmin eden bir test yöntemidir. Bu test yöntemi, test edilecek numunenin yalıtımlı bir kutuda bir termokuplun üzerine yerleştirilmesinden oluşur. Örnek, termal denge sağlanana kadar 250 W'lık bir ısı lambasına maruz bırakılır. Ortaya çıkan ortam sıcaklığının üzerindeki sıcaklık deltası, güneş ışığına maruz kalan bir dış yüzeyin sıcaklığıyla ilişkili tahmin edilen bir ısı oluşumunu hesaplamak için

kullanılır [40]. Çalışmada bu yöntemden yola çıkarak bina içi sıcaklığını da simüle edebilmek için, galvanizli sacdan 30x20x20 boyutlarında bir kutu tasarlanmıştır. Kaplanan A4 boyutundaki alüminyum paneller bu kutuya kapak olacak şekilde yerleştirilmiştir. Panel yüzeyi bir kızılötesi lambaya (Philips BR125 IR, 250W) 30 cm mesafede olacak şekilde konumlandırılmıştır.

Kaplanmış paneller 250 W'lık IR lambaya 30 cm mesafede konumlandırılmıştır. Panel yüzeyi ve panel arkasından sıcaklık değerleri 15-30 dakika arasında ölçülmüştür [2, 5]. Panellerin boyalı yüzeyine, kutu içinde kalan arka yüzeyine ve kutu tabanına yakın bir noktaya termokupllar (K tipi) yerleştirilmiş ve bir veri kaydediciye bağlanmıştır. Şekil 2.2'deki gibi yerleştirilen termokupllar ile sıcaklığın sabitlenmesi için 20 dakika kayıt tutulmuştur. Ölçümler sırasında ortam klimatize edilmiştir.



Şekil 2.2. IR lamba etkisinde sıcaklık artışı tayini düzeneği

### 2.3.6. Güneş ışığı etkisinde yüzey sıcaklığı tayini

A5 boyutunda alüminyum paneller tasarlanan kaplamalar ile uygun film kalınlıklarında kaplanmıştır. Şekil 2.3'de görüldüğü gibi yatayla 65° yapan platforma dizilen paneller 15 dakika yüzey sıcaklıkları stabil hale gelene kadar gün ışığında bekletilmiştir. Test, değişen parametreleri minimuma indirmek için bulutsuz ve güneşli hava şartlarında

yapılmıştır. Termal kamera (FLIR marka, E8 model) ile 3 farklı ölçüm alınıp, ortalaması hesaplanmıştır.



Şekil 2.3. Güneş Işığı Etkisinde Yüzey Sıcaklığı Ölçüm Düzenegi



### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Kaplama Tasarımları

Karakterizasyonun ilk aşamasında tasarlanan standart kaplamaların renk değerleri referans olarak belirlenen RAL renklerine göre kontrol edilmiştir. Aynı renkte serin kaplamalar tasarlanırken formülasyonun gereksinimine göre organik ya da inorganik, serin siyah pigment kullanılmıştır.

Renk çalışmaları sırasında görülmüştür ki inorganik siyah pigmentlerde, serin ve standart pigment renk olarak çok benzerdir. Formüllerde kullanım miktarı da benzerlik göstermektedir. Organik siyah pigmentlerde ise serin ve standart pigmentte hem renk, hem örtücülük gücü farklılık göstermektedir. Bu durumda yansıtmayı etkileyen faktörlerden olan bireysel pigment seçimi ve pigment konsantrasyonu değişmektedir. Renk ve yansıtmayı etkileyen parametreler göz önünde bulundurularak tasarlanan formüllerdeki siyah pigment içerikleri ve toplam pigment konsantrasyonları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan kaplamaların toplam pigment ve siyah pigment içerikleri

Numune Adı	Toplam Pigment %	Siyah Pigment %	Siyah Pigment/Toplam Pigment %
RAL8017S	3,2	0,35	10,9
RAL8017C	2,55	0,45	17,6
RAL9002S	20,37	0,16	0,8
RAL9002C	20,38	0,17	0,8
RAL6005S	3,83	0,075	2,0
RAL6005C	4,48	0,75	16,7
RAL7001S	12,5	1,5	12,0
RAL7001C	12,5	1,5	12,0
RAL5005S	6,6	0,5	7,6
RAL5005C	5,7	0,5	8,8
RAL3011S	4,9	0,9	18,4

Tablo 3.1.(Devam) Çalışmada kullanılan kaplamaların toplam pigment ve siyah pigment içerikleri

Numune Adı	Toplam Pigment %	Siyah Pigment %	Siyah Pigment/Toplam Pigment %
RAL3011C	5	0,9	18,0
RAL7016S	2,65	0,34	12,8
RAL7016S1	1,36	0,17	12,5
RAL7016C	4,25	3,2	75,3
RAL9005S	1	1	100,0
RAL9005C	2,6	2	76,9

RAL8017 rengi standart kaplama karbon siyahı ile tasarlanırken serin kaplama perilen siyahı ile tasarlanmıştır. RAL rengine yaklaşmak için siyah pigment miktarını %0,1 arttırırken diğer inorganik pigmentlerin miktarları azaltılmıştır. Serin kaplama, toplam pigment miktarı %3,2'den %2,6'ya düşürülerek tasarlanmıştır.

RAL9002 rengi standart kaplama tasarımında  $(Fe,Mn)_2O_3$  siyahı kullanılmış ve serin kaplamada da benzer renkteki Demir/krom oksit siyahı benzer miktarda kullanılmıştır. Bu renk serin tasarlanırken yalnızca %0,01 pigment miktarı artış göstermiştir. Bu küçük fark önemsiz sayılarak pigment miktarları eşit kabul edilmiştir.

RAL6005 rengi standart kaplama karbon siyahı ile tasarlanmıştır. Ancak aynı renk perilen siyahı ile tasarlandığında farklı pigmentlere ihtiyaç duyulmuştur. Farklı pigment ihtivasi yansıtma özelliklerini karşılaştırırken yeni bir parametre doğuracağından, renk inorganik serin siyah pigment ile tasarlanmıştır. Ancak bu durumda da pigment konsantrasyonunu arttırmak gerekmiştir. Siyah pigment konsantrasyonu %0,075'ten %0,75'e arttırılmıştır. Serin kaplama tasarlanırken toplam pigment %3,83'ten %4,48'e arttırılmıştır.

RAL7001 rengi standart ve serin kaplama tasarlanırken inorganik siyah pigmentler kullanılmıştır. Pigment miktarları aynıdır.

RAL5005 rengine standart ve serin kaplamalar inorganik siyah pigment ile tasarlanmıştır. Siyah pigment miktarları aynıdır ancak toplam pigment miktarı %6,6'dan %5,7'ye düşürülmüştür.

RAL3011 rengine standart ve serin kaplamalar inorganik siyah pigmentler ile tasarlanmıştır. Siyah pigment miktarları eşitken, toplam pigment %0,1 arttırılmıştır.

RAL7016 rengine standart kaplama karbon siyahı ile tasarlanmıştır. Daha sonra pigment miktarının etkisini görmek için standart kaplamada toplam pigment miktarı %2,65'ten %1,36'ya çekilmiştir. Serin kaplama tasarlanırken organik pigmentler arasındaki renk farkı sebebiyle inorganik serin pigment kullanılmıştır. Bu durumda pigment konsantrasyonunu arttırmak gerekmiştir. Serin kaplamada toplam pigment miktarı %4,35'e arttırılmıştır.

RAL9005 rengi için standart kaplama karbon siyahı ile tasarlanmıştır. Ancak serin kaplama tasarlanırken organik serin pigmentin renk farkından dolayı ilave olarak ftalosiyanın yeşil eklemek gerekmiştir. Ayrıca örtücülük gücü düşük olduğundan siyah pigment içeriği %1'den %2'ye çıkartılmıştır. Bu renk serin tasarlanırken pigment yüzdesi arttırılmış ve ilave pigment eklenmiştir.

Diğer siyah numuneler hazırlanırken RAL9005 rengi üzerinden çalışılmıştır. Pigment miktarları sabit tutularak (RAL9005 ile aynı) tek parametrenin etkisi gözlenmiştir.

Tasarlanan kaplamaların renk değerleri ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) ve standart kaplamaya göre serin kaplamanın renk farkı ( $\Delta E^*$ ) değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Numunelere ait  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  ve  $\Delta E^*$  değerleri

Numune Adı	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E^*$
RAL8017S	29,70	4,84	4,19	-
RAL8017C	30,16	5,07	3,51	0,82
RAL9002S	86,94	-1,14	5,55	-
RAL9002C	86,84	-1,20	5,05	0,51
RAL6005S	32,39	-11,28	2,57	-
RAL6005C	32,12	-11,08	2,30	0,43
RAL7001S	64,06	-1,94	-3,02	-
RAL7001C	64,09	-2,05	-4,02	1,00
RAL5005S	37,79	-4,65	-31,44	-
RAL5005C	37,75	-5,00	-30,76	0,75
RAL3011S	38,14	25,55	12,30	-
RAL3011C	38,03	25,99	12,53	0,50
RAL7016S	34,25	-1,41	-2,34	-
RAL7016S1	34,33	-1,31	-1,64	0,33
RAL7016C	33,76	-0,61	-2,98	1,13

Tablo 3.2.(Devam) Numunelere ait L\*, a\*, b\* ve  $\Delta E^*$  değerleri

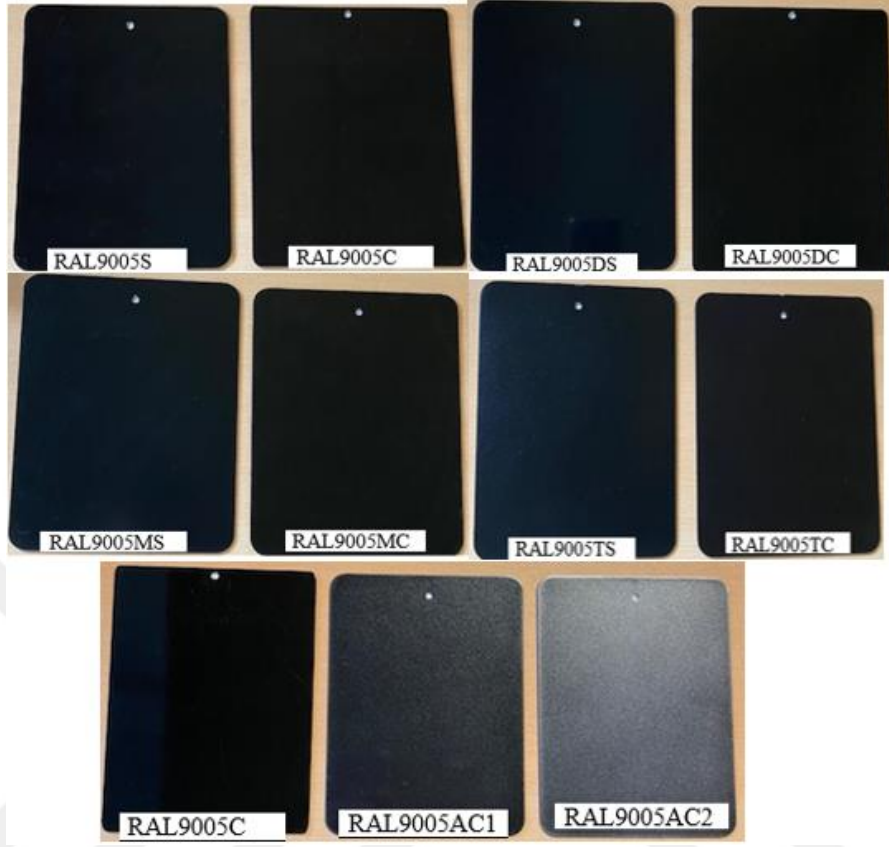
Numune Adı	L*	a*	b*	$\Delta E^*$
RAL9005S	26,36	0,03	0,18	-
RAL9005C	27,0	0,22	0,45	0,56
RAL9005DS	26,33	-0,01	-0,05	-
RAL9005DC	26,06	-0,03	0,18	0,35
RAL9005MS	26,74	0,01	-0,25	-
RAL9005MC	26,65	0	0,10	0,35
RAL9005TS	27,23	0,23	-0,16	-
RAL9005TC	26,95	1,30	-0,62	1,35
RAL9005AC1	39,06	0,64	-1,31	-
RAL9005AC2	54,08	0,99	-2,73	-

RAL7016S1 ve RAL7016C'nin  $\Delta E^*$  değerleri RAL7016S'ye göre hesaplanmıştır.

Alüminyum pigment içeren numuneler, tasarlanan RAL9005 renkleri ile hazırlanmıştır. Bu numuneler için renk farkı hesaplanmamıştır.



şekil 3.1. Standart ve serin renkli kaplamalar



Şekil 3.2. Standart ve serin siyah kaplamalar

Tasarlanan renklerin görüntüleri Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilmiştir. Standart kaplamaların ve geliştirilen serin kaplamaların renkleri göz ile de oldukça benzer görünmektedir.

Renklere göre formüller belirlenirken örtücülük değerleri de göz önünde bulundurulmuştur. Güneş ışığını yansıtan ya da alt tabakaya ileten kaplamaların yansıtma özelliği için filmin örtücülüğü önemli bir parametredir. Bu parametreyi sabitlemek için örtücülük değerleri yakın tutulmuştur. Tüm değerler 65 µm film kalınlığında %96’dan büyüktür. Numune tipine göre uygun film kalınlıkları ve o kalınlıktaki örtücülük değerleri ve numunelerin parlaklık değerleri Tablo 3.3’te verilmiştir.

Tasarlanan numuneler ile kaplanan test panelleri düz yüzey toz boyalar için optimum film kalınlığı olan  $65\pm 5$  µm, pütürlü yüzeyler için  $85\pm 5$  µm uygulanmıştır.

RAL9005KS ve RAL9005KC numuneleri de film kalınlığının etkisini gözlemek için uygun film kalınlığının üzerinde,  $120\pm 5$   $\mu\text{m}$  uygulanmıştır.

Tablo 3.3. Uygulanan kaplamaların film kalınlığı, örtücülük ve parlaklık değerleri

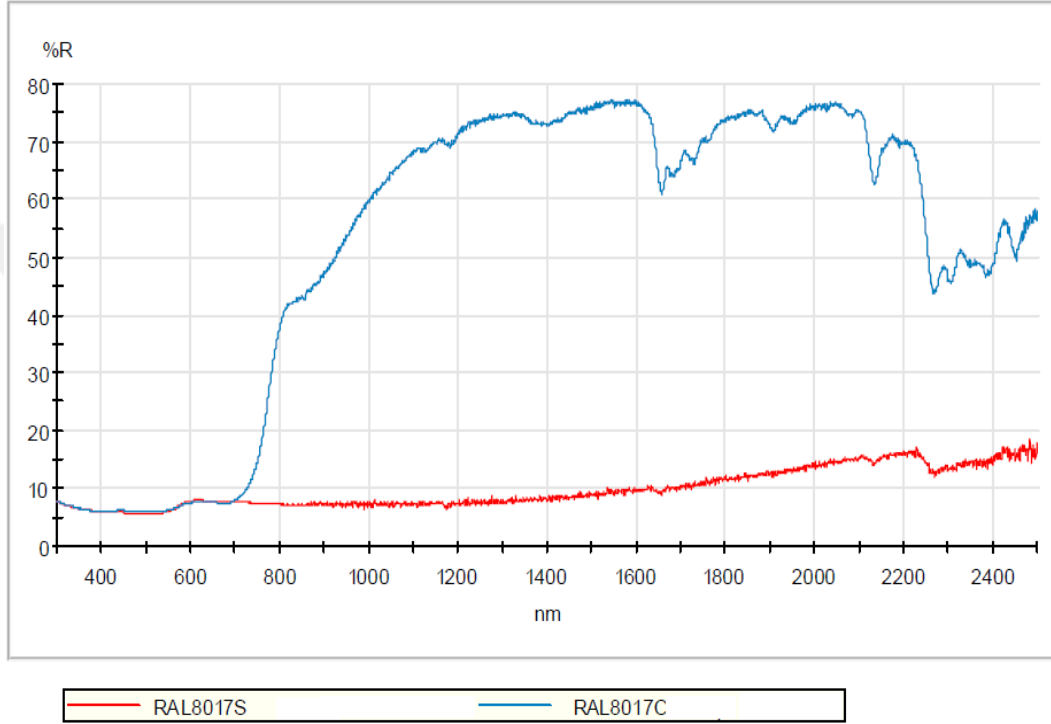
Numune Adı	Film Kalınlığı ( $\mu\text{m}$ )	Örtücülük %	Parlaklık (gloss)
RAL8017S	65	99	92
RAL8017C	65	98	92
RAL9002S	65	99	90
RAL9002C	65	99	90
RAL6005S	65	98	92
RAL6005C	65	96	92
RAL7001S	65	98	86
RAL7001C	65	98	90
RAL5005S	65	99	89
RAL5005C	65	99	92
RAL3011S	65	99	93
RAL3011C	65	99	92
RAL7016S	65	99	91
RAL7016S1	65	97	90
RAL7016C	65	98	92
RAL9005S	65	98	93
RAL9005C	65	99	95
RAL9005DS	65	98	73
RAL9005DC	65	99	74
RAL9005MS	65	98	25
RAL9005MC	65	99	28
RAL9005TS	85	98	4
RAL9005TC	85	99	7
RAL9005AC1	65	99	97
RAL9005AC2	65	99	95
RAL9005KS	120	99	94
RAL9005KC	120	99	95

Parlaklık yüzey düzlüğüne bağlı bir parametre olduğundan ve yansımayı etkileyen faktörlerden biri olduğundan, tasarım sırasında parlaklık değerlerinin, karşılaştırılan numuneler için benzer olmasına dikkat edilmiştir.

Karakterizasyonun ilk aşaması olan renk tasarımı; renk, örtücülük, parlaklık, film kalınlığı ölçümleri ile tamamlanmıştır. Seçilen renkler ile ikinci aşamada yansıma değerleri ve termal özellik karakterizasyonları yapılmıştır.

### 3.2. UV/VIS/NIR Spektrofotometre Ölçümleri

Bu bölümde tasarlanan toz boyalar ile kaplanan alüminyum panellerin, UV, VIS ve IR bölgedeki farklı dalga boylarına karşılık gelen reflektans grafikleri incelenmiştir. İlk olarak numunelere ait spektrum eğrilerinden TSR değerleri (ASTM G 173-03/300-2500 nm/direkt) hesaplanmıştır. Spektrum eğrileri ve TSR değerleri incelenmiştir.



Şekil 3.3. RAL8017S ve RAL8017C'ye ait reflektans spektrumu

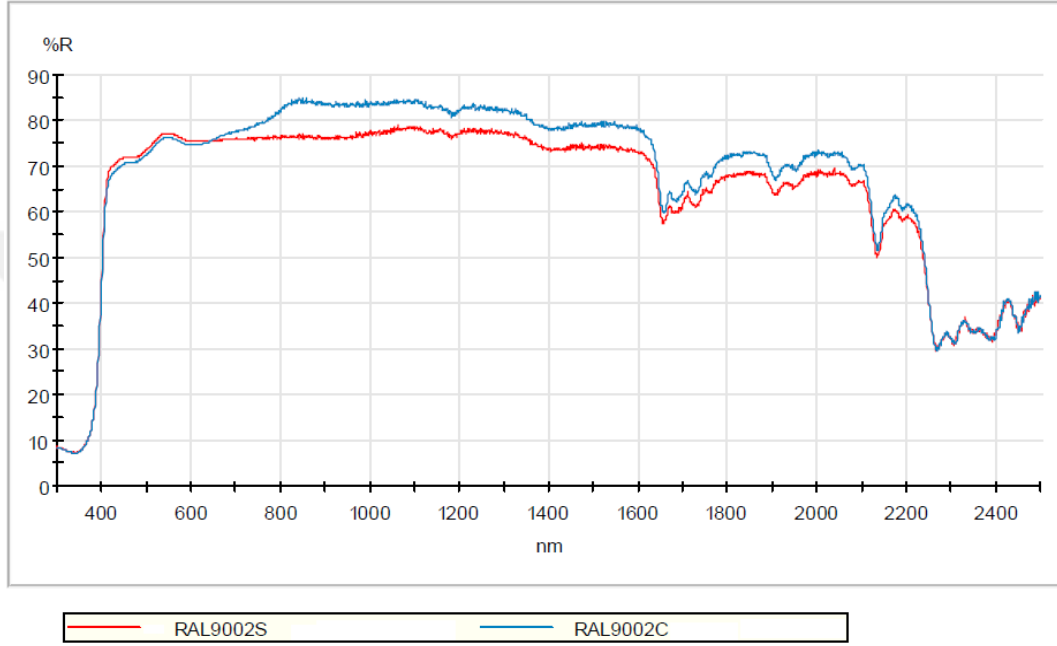
Spektrum RAL8017S için toplam güneş ışığı yansıtma değeri %7,4, RAL8017C için %31,3 hesaplanmıştır.

Spektral analiz yapılırken, iki bölgeyi ayırt etmek faydalıdır. UV ve görünür bölge, renk görünümü hakkında bilgi veren, 300-700 nm aralığıdır. Emilimiyle malzemenin aşırı ısınmasına neden olan, 700 ila 2500 nm arasındaki NIR bölgesidir [30].

RAL8017 renginde standart ve serin kaplamalar UV ve görünür bölgede benzer yansıtma değerleri verdiği görülmüştür. Eğrilerin üst üste olması renk değerlerinin birbirine yakın olduğunu, renk görünümlerinin benzer olduğunu gösterir. 700nm

sonrasında serin kaplamanın yansıtma değerleri belirgin şekilde standart kaplamanın üstüne çıkmıştır (Şekil 3.3). Standart kaplama karbon siyahı içermektedir ve kaplama serin tasarlandığında yansıtma değerlerinde büyük fark gözlenmiştir.

Spektrumlarında, 2200 ile 2500 nm arasında görünen absorpsiyon bantları, polimerin CH bağlarından kaynaklanmaktadır [28].



Şekil 3.4. RAL9002S ve RAL9002C'ye ait reflektans spektrumu

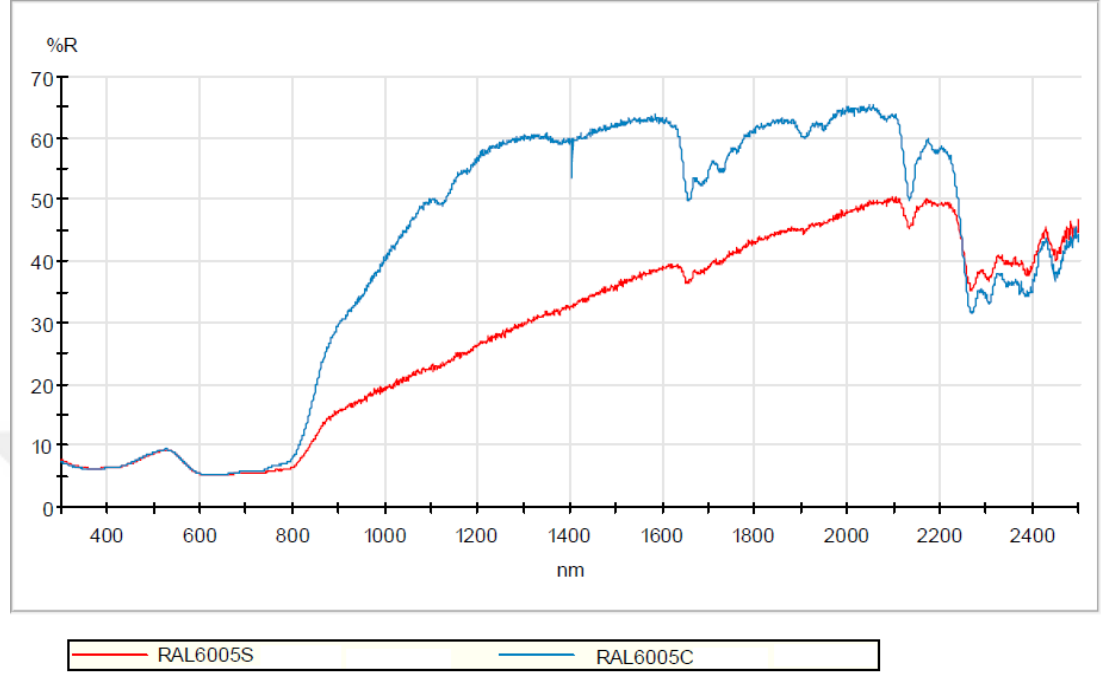
Spektrum RAL9002S için toplam güneş ışığı yansıtma değeri %72,1, RAL9002C için %74,6 hesaplanmıştır.

RAL9002 rengi için her iki numune de UV bölgede benzer yansıtma değerleri göstermektedir (Şekil 3.4). 400 nm sonrası görünür bölgede ise standart numunenin yansıtma değerleri grafiğin daha yukarısında kalmıştır. Görünür bölgede az da olsa renk farklılığı olduğu anlamına gelmektedir. 700 nm sonrasında ise RAL9002C yansıtma değerleri IR bölgeyi de kapsayarak daha yüksek ölçülmüştür. IR bölgede gösterdiği yüksek yansıtma ile serin kaplama RAL9002C daha yüksek toplam yansıtma değerine sahiptir.

2250 nm sonrası grafikler çakışmakta, serin kaplamada standart kaplamaya benzer yansıtma değerleri elde edilmiştir. Spektrumun geneline baktığımızda beyaz renkli



numunelerin yüksek TiO<sub>2</sub> içeriğinden dolayı diğer renklere göre daha yüksek yansıtma değerlerine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 3.5. RAL6005S ve RAL6005C'ye ait reflektans spektrumu

Spektrum RAL6005S için TSR değeri %14,3, RAL6005C için %22,5 hesaplanmıştır.

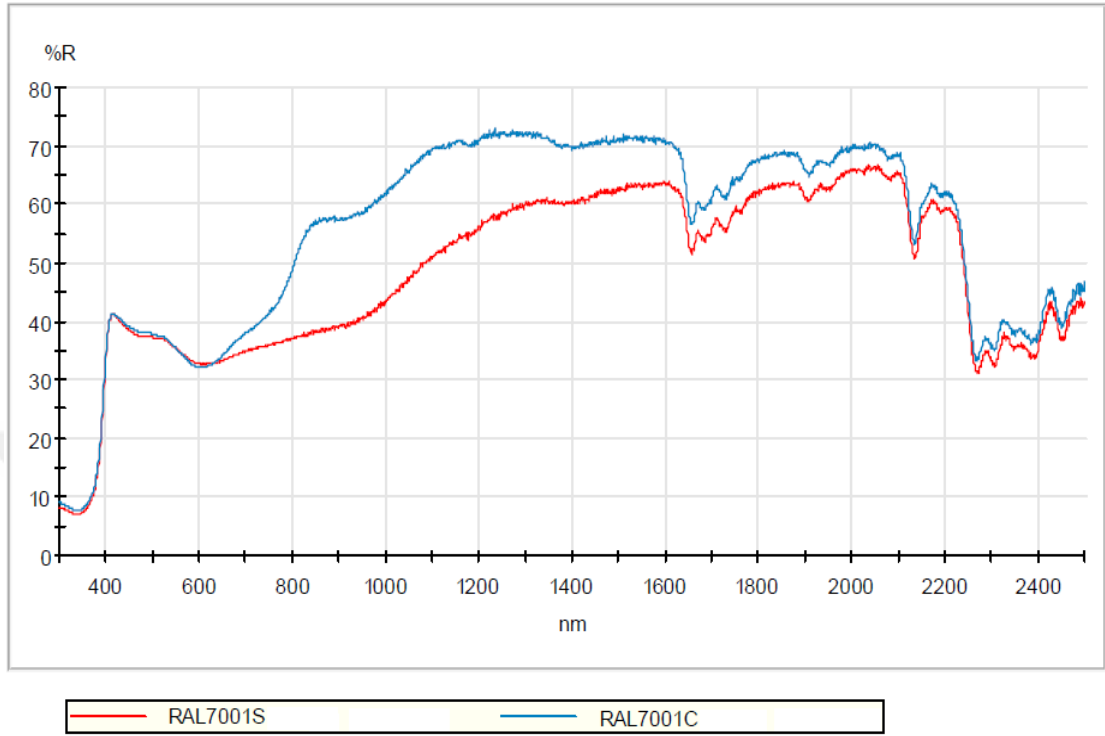
RAL6005 rengi standart ve serin kaplama 700nm 'ye kadar benzer yansıtma değerleri gösterirken, IR bölgede belirgin yansıtma farkı sergilemiştir (Şekil 3.5). Geliştirilen kaplama serin kaplama olarak kullanılabilmesi görülmektedir. RAL6005S karbon siyahı ile tasarlandığından, serin kaplama RAL6005C'de yansıtma değerinde büyük iyileşme göstermiştir.

Spektrum RAL7001S için TSR değeri %40,6, RAL7001C için %47,6 hesaplanmıştır.

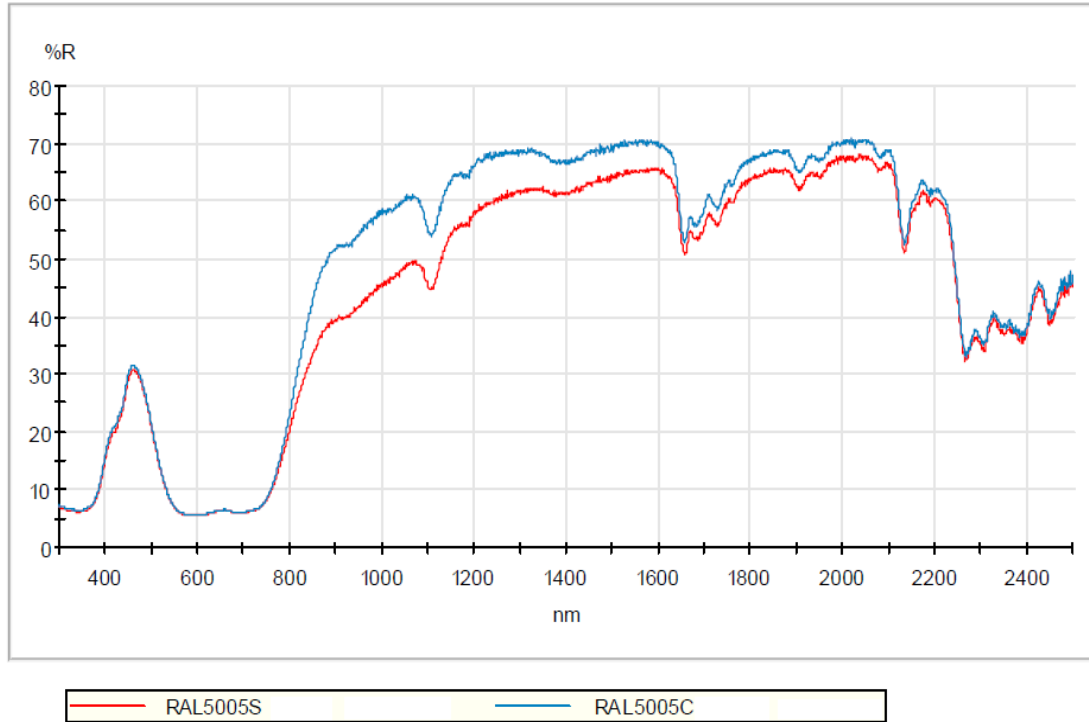
RAL7001 rengi numuneler karşılaştırıldığında spektral eğrilerde 600 nm'ye kadar küçük farklar olduğu görülmektedir. Görünür bölgedeki yüksek yansıtma değerleri her iki renk için de TiO<sub>2</sub> içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

600nm sonrasında yansıtma değerleri arasındaki fark Şekil 3.6'da görülmektedir. Yansıtma değerlerinde en büyük fark 700-1600 nm aralığında görülmektedir. Bu aralık yüzey sıcaklığını etkileyen en büyük unsur olan 700-1200 nm aralığını kapsadığından,

geliştirilen serin kaplama soğutma için kullanılan enerji bakımından tasarruf sağlayabilecektir.



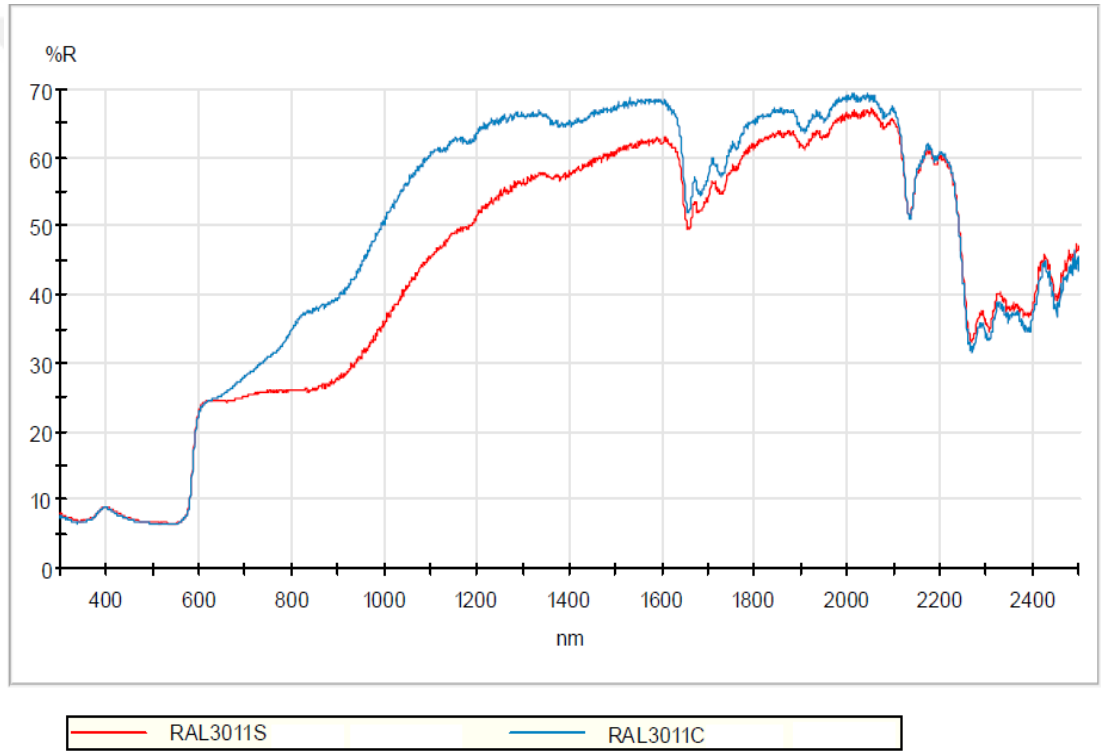
Şekil 3.6. RAL7001S ve RAL7001C'ye ait reflektans spektrumu



Şekil 3.7. RAL5005S ve RAL5005C'ye ait reflektans spektrumu

Spektrum RAL5005S için TSR değeri %27,2, RAL5005C için %31,4 hesaplanmıştır. RAL5005 rengi serin ve standart kaplama reflektans değerleri UV ve görünür bölgede benzer değerler sergilemektedir (Şekil 3.7).

Renklerin birbirine çok yakın olması bu durumu desteklemektedir. 750nm sonrası serin kaplama daha yüksek yansıtma değerleri sergilemektedir. Yansıtma değerlerinde en büyük fark 800-1600 nm arasında görülmektedir. Yüzeyin ısınmasında en büyük etken olan aralığı (700-1200 nm) kapsadığından geliştirilen kaplama serin kaplama olarak kullanılabilir. 2300-2500nm dalga boyu aralığında serin kaplama yansıtma değerleri standart kaplamanın değerlerine çok yakın çıkmıştır.



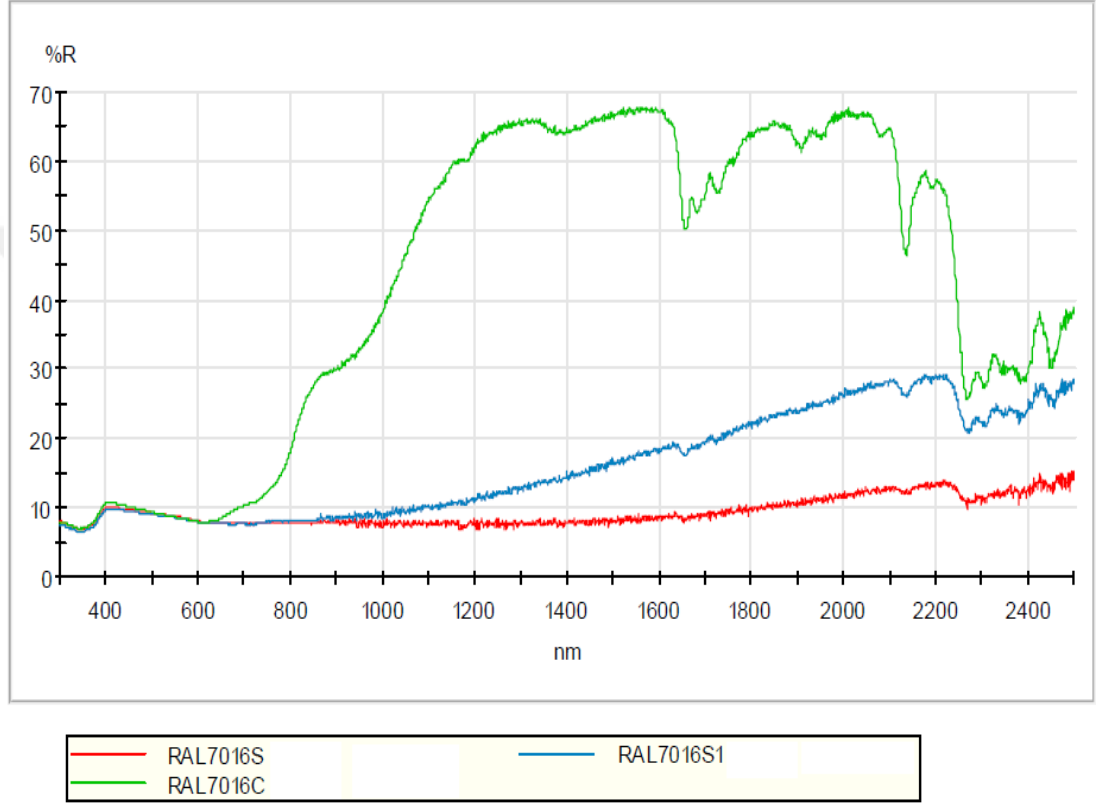
Şekil 3.8. RAL3011S ve RAL3011C'ye ait reflektans spektrumu

Spektrum RAL3011S için TSR değeri %27,4, RAL3011C için %32,5 hesaplanmıştır.

Serin ve standart tasarlanan RAL3011 rengi kaplamalarda reflektans değerleri farkı spektrumda 600nm 'de başlamaktadır (Şekil3.8). Serin kaplama eğrisi daha yukarıda kalarak yüksek yansıtma değerlerini göstermektedir. En büyük fark yine 700-1600 nm arasında görülmektedir. Bu durum geliştirilen kaplamanın yüzeyinin daha az ısınarak soğutma enerjisi ihtiyacında avantaj sağlayabileceğini göstermektedir.

Spektrum RAL7016S için TSR değeri %8,4, RAL7016S1 için %10,1, RAL7016C için %25,6 hesaplanmıştır.

Standart kaplama RAL7016S ve standart kaplama pigment miktarı %50 azaltılarak tasarlanan RAL7016S1 reflektans değerleri arasındaki fark 850 nm civarında başlamaktadır (Şekil 3.9).



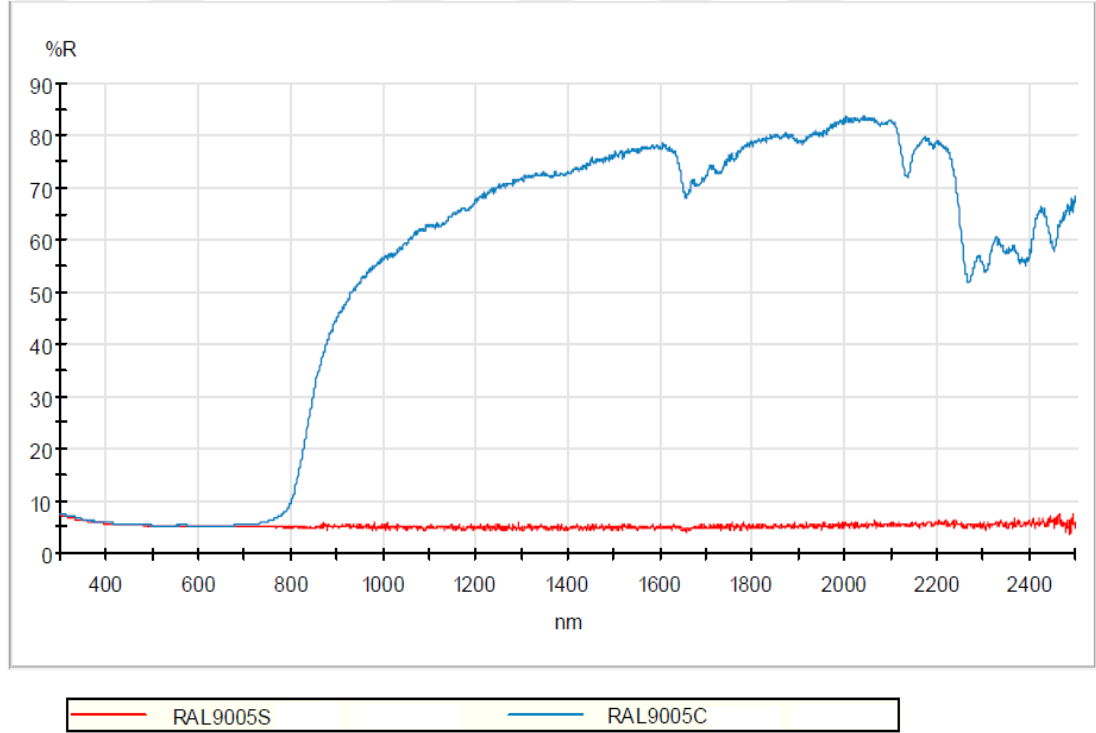
Şekil 3.9. RAL7016S, RAL7016S1 ve RAL7016C'ye ait reflektans spektrumu

Bu durum iki rengin de göz ile aynı görüldüğü anlamına gelmektedir. Belirgin fark ise 1000-2200 nm aralığında görülmektedir. Formül içeriğindeki azalan karbon siyahı miktarı ile RAL7016S1'in yansıtma değerleri daha yüksek çıkmıştır. Yüzey sıcaklığının artmasında önemli faktör 700-1200nm aralığında farkın az olması sıcaklık değerlerinin yakın çıkacağına göstergesidir.

Serin tasarlanan RAL7016C ise RAL7016S numunesine göre 650 nm'den itibaren yüksek yansıtma değerleri sergilemektedir. NIR bölgede yansıtma değerlerindeki belirgin artış yüzey sıcaklıklarında fark yaratacağının göstergesidir. Geliştirilen RAL7016C serin kaplama olarak nitelendirilebileceği görülmektedir.

Spektrum RAL9005S için toplam güneş ışığı yansıtma değeri %5,1, RAL9005C için %27,7 hesaplanmıştır.

RAL9005S ve RAL900C numuneleri karşılaştırıldığında UV bölge (300-400 nm) ve görünür bölge (400-700 nm) arasında farklı reflektans değerleri göstermediği görülmüştür. Eğrilerin üst üste olması renk değerlerinin birbirine yakın olduğunu, renk görünümlerinin benzer olduğunu gösterir. 700-2500 nm arasındaki kızılötesi bölgede ise büyük farklar gözlenmiştir. IR ışınları ileten pigment kullanılarak alt tabakadaki alüminyumun yüksek yansıtma özelliğinden faydalanmak hedeflenmiş ve serin kaplamada bu hedefe ulaşılabilceği gözlenmiştir. Standart kaplamaya göre IR bölge ışınlarını çok daha iyi yansıttığı Şekil 3.10 reflektans spektrumundan görülmektedir.

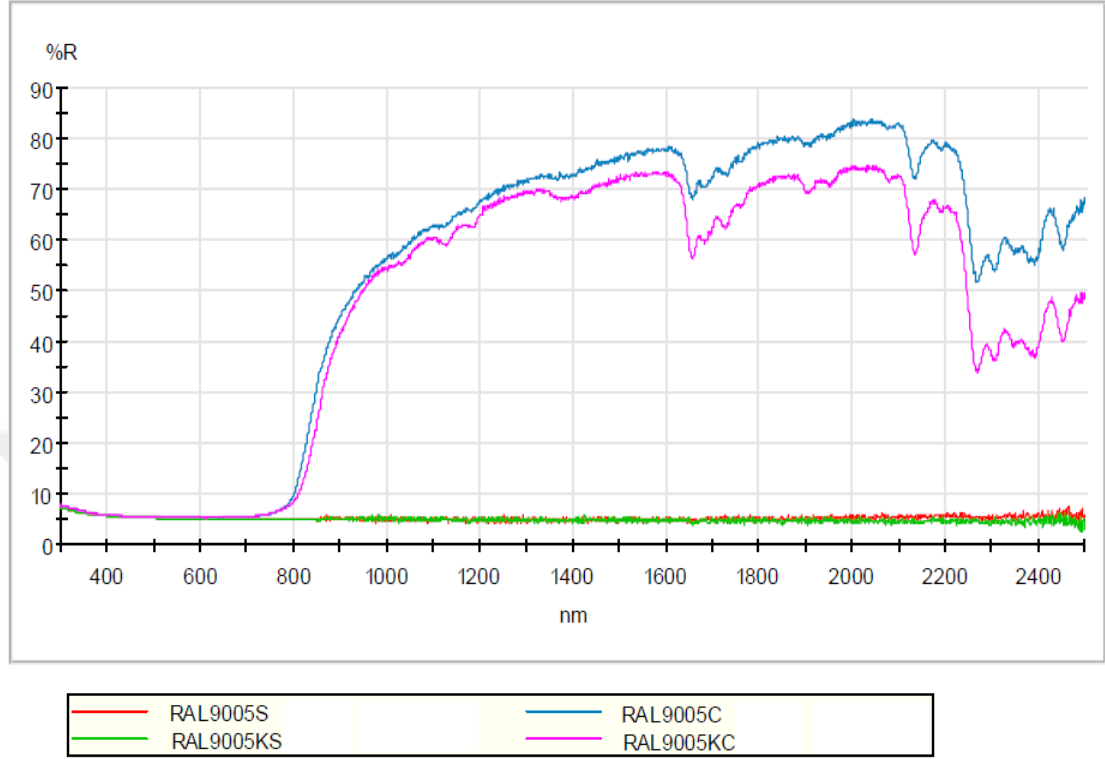


Şekil 3.10. RAL9005S ve RAL9005C'ye ait reflektans spektrumu

Spektrum RAL9005KS için toplam güneş ışığı yansıtma değeri %5,1, RAL9005KC için %25,7 hesaplanmıştır.

Film kalınlığının güneş yansıtma etkilerini gözlemek için hem standart kaplama (RAL9005S), hem serin kaplama (RAL9005C) yüksek film kalınlığında uygulanmıştır. Kalın uygulanan kaplamaların ( $120 \pm 5 \mu\text{m}$ ) normal film kalınlığındaki

(65±5µm) kaplamalarla karşılaştırıldığı reflektans spektrumları Şekil 3.11'de verilmiştir.



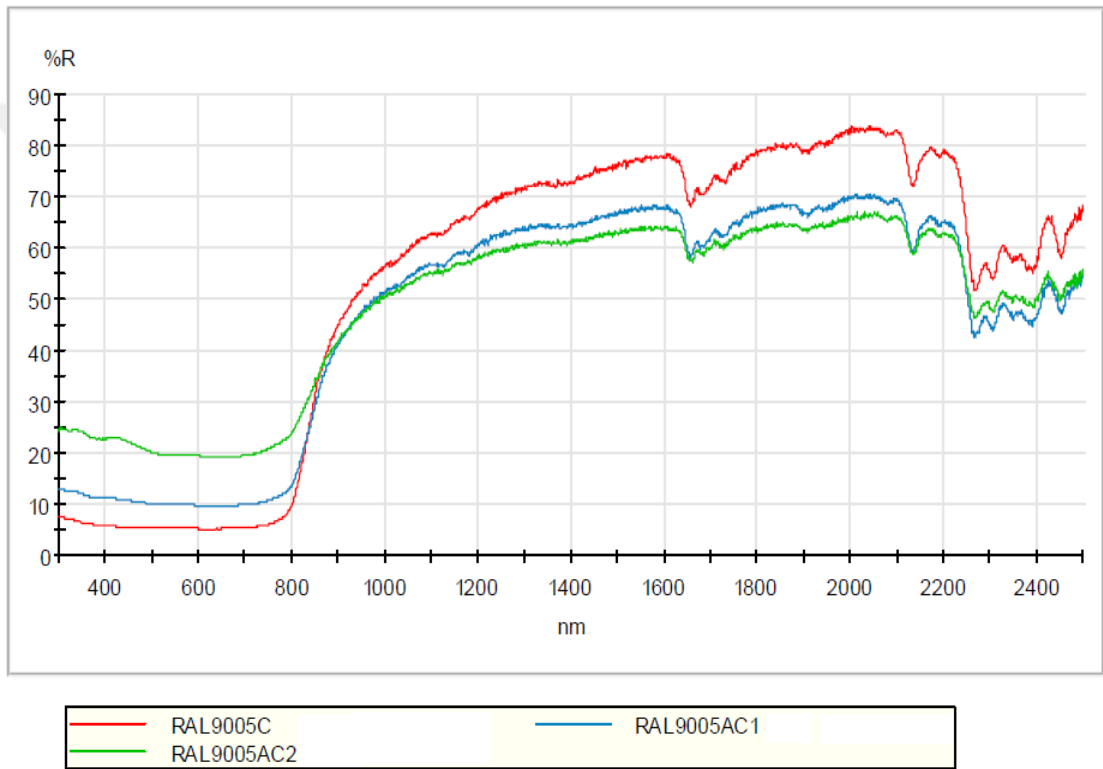
Şekil 3.11. RAL9005S, RAL9005C, RAL9005KS ve RAL9005KC'ye ait reflektans spektrumu

Karbon siyahı ile tasarlanan kaplama kalın uygulandığında, beklendiği üzere toplam güneş ışığı yansıtma değerinde bir fark gözlenmemiştir. TSR değeri her ikisinde de %5,1'dir. Ancak güneş ışınlarını alt tabakaya ileterek alüminyumun yansıtma özelliğinden faydalanan serin kaplamada, film kalınlığı arttıkça IR ışınlarını yansıtma özelliğinin azaldığı görülmüştür. TSR değeri normal kalınlıktaki serin kaplamada %27,7 iken, kalın serin kaplamada %25,7'ye düşmüştür. Film kalınlığı arttıkça alt tabakaya iletkenliğin azaldığı ve sonuç olarak alüminyum alt tabakadan gelen yansıtmanın azaldığı düşünülmektedir.

Spektrum RAL9005AC1 için toplam güneş ışığı yansıtma değeri %27,8 ve RAL9005AC2 için %33,5 hesaplanmıştır.

Literatürde, ultraviyole bölgede (400 nm altında) alüminyum içeren kaplamaların, yüksek yansıtma özelliği göstererek beyaz kaplamalardan daha yansıtıcı olduğu

belirtilmiştir [8]. Alüminyum pigment ilavesi ile kaplamalarda UV ve görünür bölge yansıtma davranışlarında RAL9005C'ye göre farklılıklar gözlenmiştir (Şekil 3.12). Alüminyum pigment ilavesi bu bölgede yüksek reflektans değerlerine yol açmıştır. Alüminyum pigment içeriği arttıkça, UV ve görünür bölgede reflektans değerinin arttığı görülmüştür. Görünür bölgede farklı reflektans değerleri numunelerin renklerinin farklı görüldüğü anlamına gelmektedir. Gözle yapılan inceleme de, spektral değerleri doğrular niteliktedir. Alüminyum pigment ilavesi ile renk siyahtan, metalik griye doğru kaymıştır. Renkler birbirinden oldukça farklı görünmektedir.

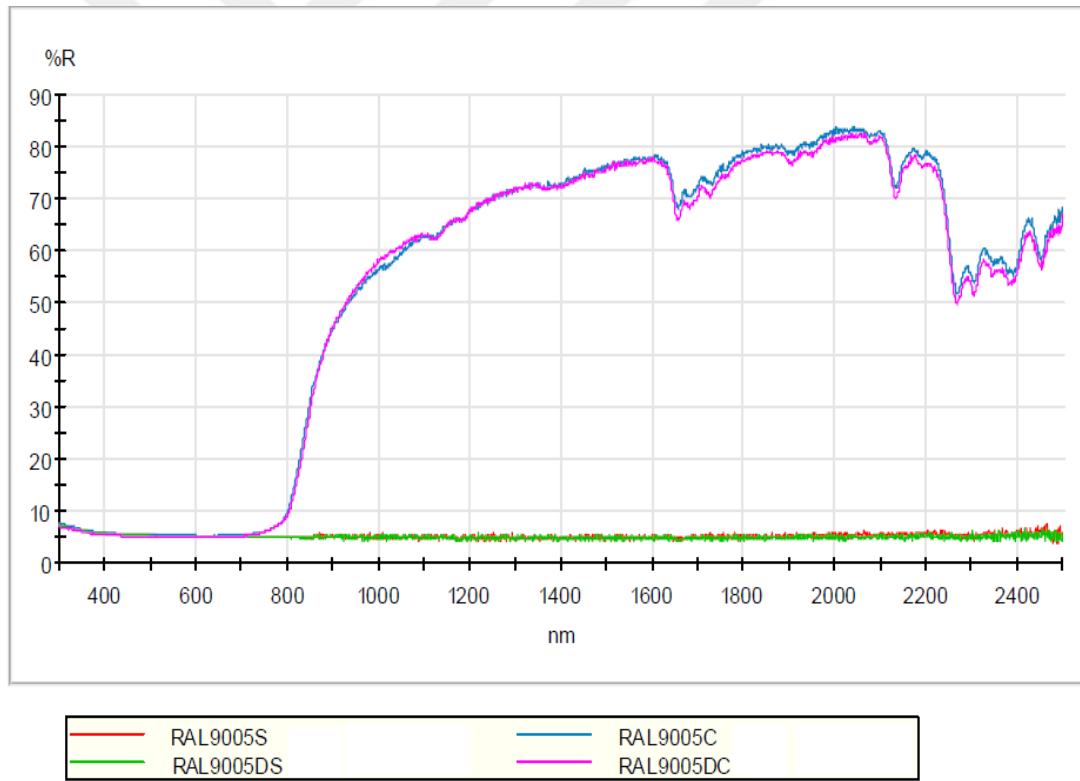


Şekil 3.12. RAL9005C, RAL9005AC1 ve RAL9005AC2'ye ait reflektans spektrumu

Alüminyum pigment içeren kaplamaların spektral yansımalarının, artan dalga boyu ile artması ve 800 nm civarında aniden düşme eğilimi saf alüminyum özellikleridir [8, 27]. IR bölgeye gelindiğinde ise alüminyum pigment içeren numunelerde 800 nm civarında ani düşüş gözlenmiştir. Alüminyum pigment miktarı arttıkça IR bölgede reflektans değerlerinde daha fazla düşüş görülmüştür.

900nm öncesi ve sonrası farklı sıralanan reflektans eğrilerini yorumlamak farkın çok açık olduğu diğer numunelerin eğrilerinden daha zordur. Burada biraz daha detaylı

inceleme gerekebilir. Isı oluşumunu etkileyen en önemli faktör olan pigmentlerin renk özelliklerini bir kenara bırakırsak (TSR ve L\* arasındaki korelasyon faktörleri,  $R = 0,9523$ ), TSR ile ilişkili olan en güçlü parametreler sırasıyla; 700-1200 nm aralığında spektral yansımaya, R değeri 0,9182 ve 1000 nm dalga boyunda spektral yansımaya, R değeri 0,9048. Daha az önemli olan 1200 nm dalga boyundaki spektral yansımaya, R değeri 0,7645 ve 1200–2500 nm aralığında spektral yansımaya, R değeri 0,7129'dir. Bu nedenle, 700–1200 nm aralığındaki spektral özelliklerin ısı oluşumunda 1200–2500 nm aralığından daha büyük bir rol oynadığı sonucuna varabiliriz [48]. Eğrileri bu bilgiyi dikkate alarak incelediğimizde, 700-1200 nm dalga boyu arasındaki yansımaya değeri en yüksek numunenin RAL9005AC2 olduğu görülmektedir. İkinci sırada RAL9005C ve en düşük yansımaya değerine sahip olan numune RAL9005AC1'dir.

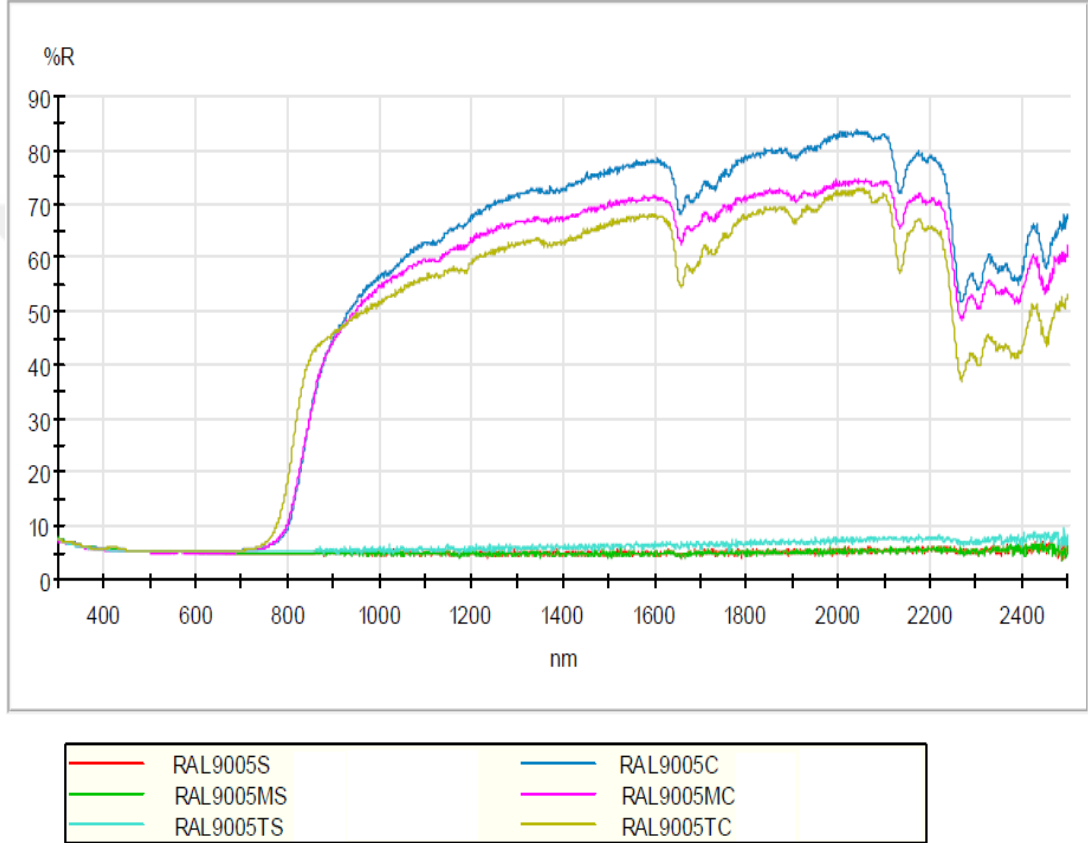


Şekil 3.13. RAL9005S, RAL9005C, RAL9005DS ve RAL9005DC'ye ait reflektans spektrumu

Spektrum RAL9005DS için toplam güneş ışığı yansıtma değeri %5,0 ve RAL9005DC için %27,5 hesaplanmıştır. RAL9005S ve dolgu içeren RAL9005DS numunesinin reflektans değerleri çok benzer çıkmıştır (Şekil 3.13). Karbon siyahı içeren numunede



dolgu ihtivası yansıtma değerlerinde fark yaratmamıştır. Serin kaplamada da BaSO<sub>4</sub> ihtivası, güneş ışınlarını alt tabakaya iletme özelliğinde büyük fark yaratmamıştır. RAL9005C ve RAL9005DC yansıtma değerleri çok benzerdir. Yaklaşık 1400 nm ve sonrasında dolgu ilavesi daha düşük reflektans değerlerine sebep olmuştur. Yansıtma değerlerinde büyük fark gözlenmemesi serin kaplamaların maliyet avantajı sebebiyle dolgu ihtiva edebileceğini göstermektedir.

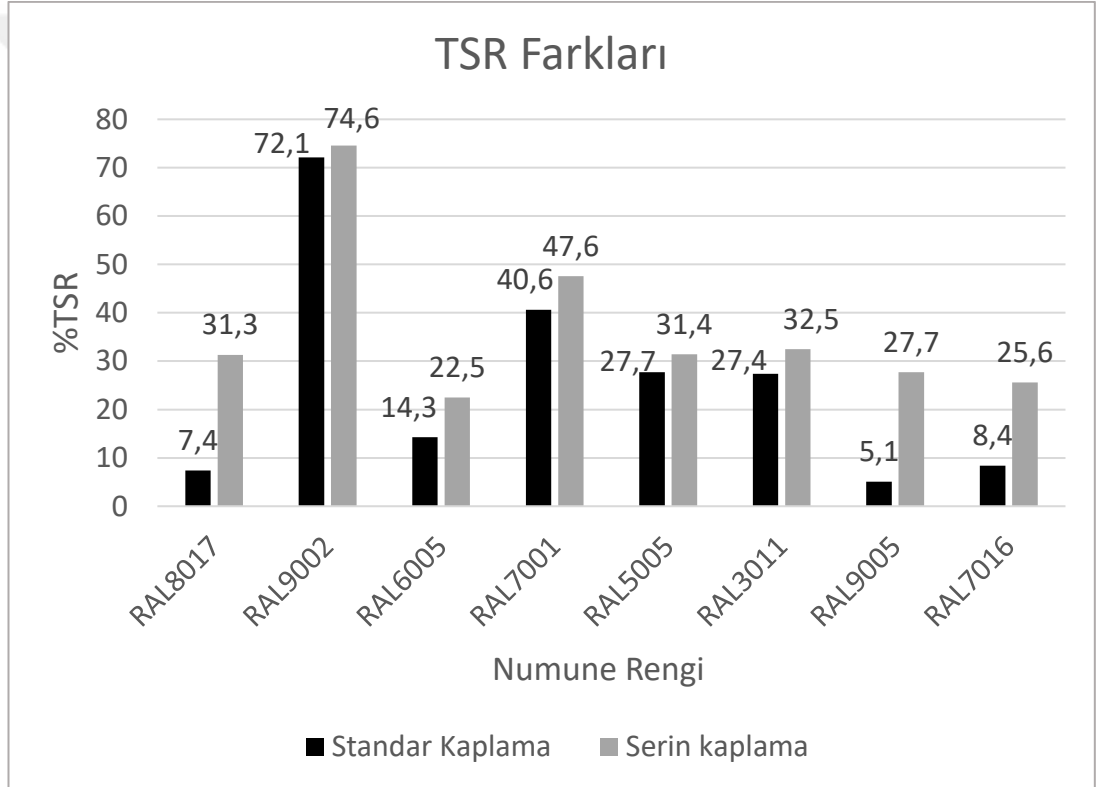


Şekil 3.14. RAL9005S, RAL9005C, RAL9005MS, RAL9005MC, RAL9005TS ve RAL9005TC'ye ait reflektans spektrumu

Spektrum RAL9005MS için TSR değeri %5,1, RAL9005MC için %26,3, RAL9005TS için %5,5 ve RAL9005TC için %26,2 hesaplanmıştır. Şekil 3.14'te RAL9005S, RAL9005C ve matlık ve yüzey pütürünün reflektans değerine etkisini gözlemek için RAL9005MS, RAL9005MC, RAL9005TS, RAL9005TC yansıtma grafikleri gösterilmiştir. Standart kaplamalara baktığımızda mat ve pütürlü tasarımlarında reflektans değerlerinde büyük farklar gözlenmemiştir. Pütürlü yüzeyli standart kaplamada, RAL9005TS 700nm sonrası az da olsa reflektans artışı gözlenmiştir.

Reflektans değerindeki artışa, pütürlü yüzey dokusu için kullanılan PTFE bazlı yüzey bozucu ajanın yüksek yansıtma özelliğinin sebep olabileceği düşünölmüştür.

Serin kaplamalarda ise UV ve görünür bölgede benzer yansıtma özellikleri gösteren RAL9005C, RAL9005MC, RAL9005TC'nin 700nm'den sonra yansıtma değerlerinde artış görölmektedir. RAL9005TC 900 nm'ye kadar diğer serin kaplamalardan daha yüksek reflektans değeri göstermiştir. 850 nm'de değişen artış ivmesi ile 900nm sonrasında yansıtma değerleri, diğer serin kaplamaların altında kalmıştır. RAL9005MC'ye ait reflektans eğrisi de 900nm sonrasında RAL9005C'ye ait eğrinin altında kalmaktadır.

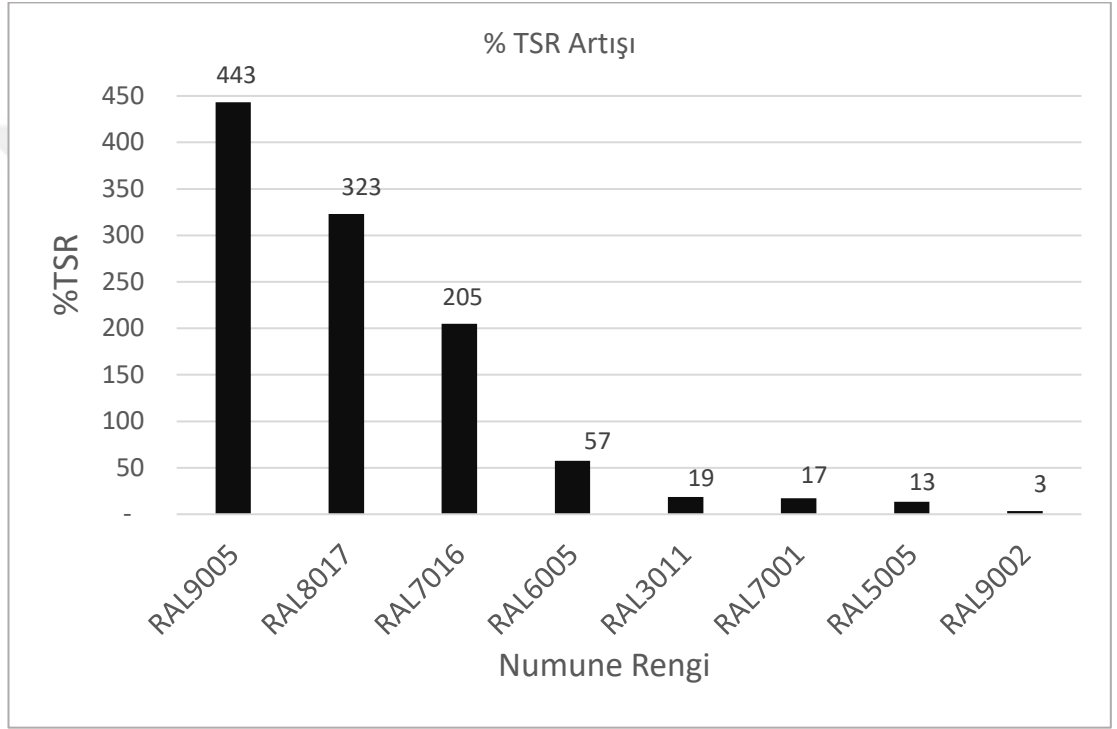


Şekil 3.15. Standart ve serin renkli kaplamalarda TSR değeri karşılaştırması

Reflektans eğrileri karşılaştırılırken farkın belirgin olarak görölememesi yüzey sıcaklığını etkileyen önemli parametre olan 700-1200 nm dalga boyu aralığını incelemeyi gerektirmiştir. 700-1200nm arasındaki yansıtma değerleri incelendiğinde en yüksek yansıtmayı pütürlü yüzeyli kaplama RAL9005TC yapmaktadır. Daha sonra RAL9005C ve son sırada RAL9005MC gelmektedir. Burada yüzey özellikleri incelendiğinde en yüksek yansıtmayı parlak pürüzsüz yüzeyin yapması

beklenmektedir. Daha sonra mat kaplama ve en düşük yansıtma değerlerine de pütürlü yüzeyin sahip olması beklenmektedir. Yansıtma değerlerinde beklenen sıralamanın değişmesinin PTFE bazlı yüzey bozucunun yüksek yansıtma özelliği olduğu düşünülmektedir.

RAL9005TS ve RAL9005TC için film kalınlığının  $85\pm 5$   $\mu\text{m}$  olması ve pütürlü yüzeydeki tepeler ve çukurlar sebebiyle homojen olmayan film kalınlığı da yansıtmayı etkileyen parametrelerden olduğu düşünülmektedir.

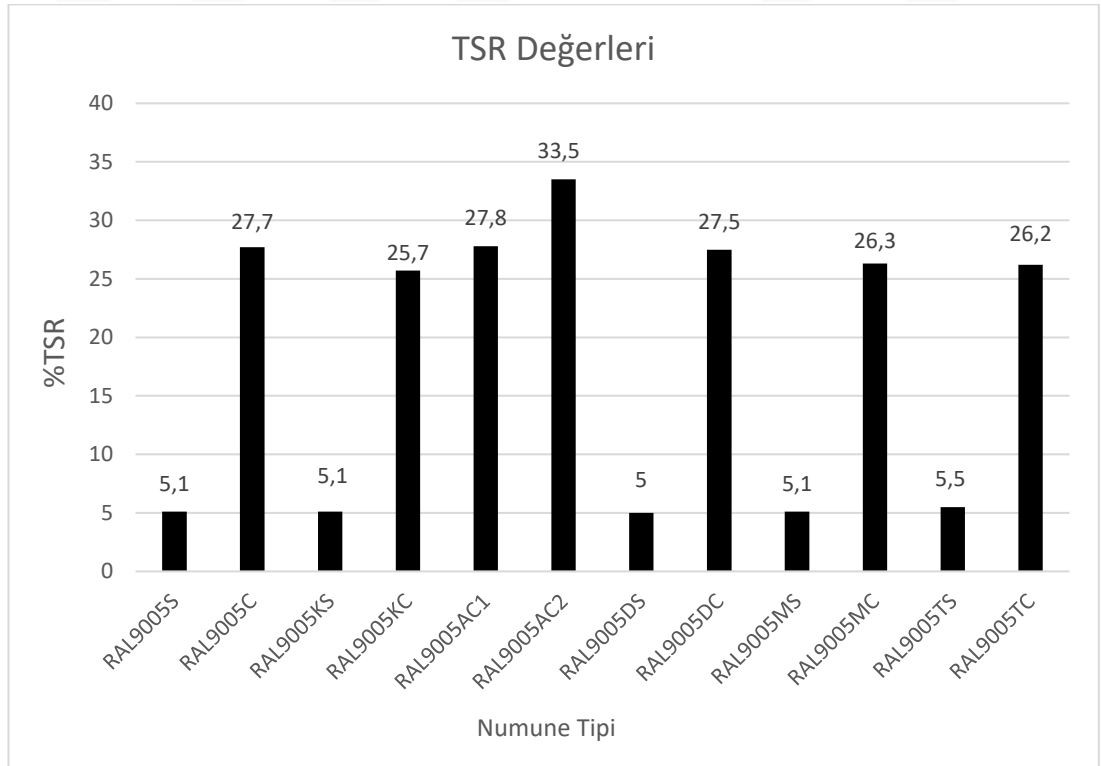


Şekil 3.16. Serin kaplamalar ile %TSR değeri artışları

En yüksek TSR değeri iyileşmesi %443 iyileşme ile RAL9005 renginde görülmüştür. Daha sonra RAL8017 renginde %323 TSR değeri iyileşmesi görülmüştür. Her iki renginde ortak özelliği karbon siyahından, NIR ileten perilen siyahına geçilerek serin kaplamanın tasarlanmış olmasıdır. RAL7016 renginde %205 ve RAL6005 rengindeki %57'lik TSR iyileşmeleri de karbon siyahından, NIR yansıtan demir/krom oksit siyahına geçişten kaynaklanmaktadır. Buradan varılan sonuç TSR değerinde en iyi iyileşme karbon siyahından perilen siyahına geçişte, daha sonra karbon siyahından demir/krom oksit siyahına geçişte elde edilmektedir. Standart kaplama içeriğindeki karbon siyahı miktarı da iyileşme miktarını etkileyen bir faktördür. Son sıralarda yer

alan RAL3011, RAL7001, RAL5005 ve RAL9002 renklerinde ise demir/mangan oksit standart siyahından demir/krom oksit serin siyaha geçilerek daha düşük TSR iyileşmeleri gözlenmiştir. Siyah pigment miktarının toplam pigment miktarına oranı bu sıralamayı etkileyen bir faktördür. TSR farkları Şekil 3.15 'de ve iyileşme değerleri Şekil 3.16'da verilmiştir.

Siyah kaplamaların TSR değerleri Şekil 3.17'de karşılaştırılmıştır. RAL9005S serin tasarlandığında belirgin TSR artışı görülmektedir. %0,7'lik alüminyum pigment ilavesi ile TSR değerinde değişim olmazken, %3'lük alüminyum ilavesi TSR değerini arttırmıştır. Serin kaplama dolgulu tasarlandığında da, dolgusuz kaplamaya benzer TSR değeri vermektedir. Dolgunun yansıtma özelliği üzerinde büyük olumsuz etkisi olmadığı, serin kaplamalarda ucuzlatma amacı ile kullanılabileceği görülmüştür. Kaplamalar mat ve pütürlü yüzeyde tasarlandığında RAL9005S ve RAL9005C numunelerinden daha düşük TSR değerleri elde edilmiştir. Yine de mat ve pütürlü yüzey yansıma değerlerinde büyük değişimlere sebep olmamıştır. Bu durum tasarımcılara, serin kaplamaları mat ve pütürlü yüzeyde tasarlama imkanı sağlayabilecektir.



Şekil 3.17. Siyah renkli numunelerde TSR değeri karşılaştırması

TSR değerlerinin yanı sıra SRI hesaplamasında kullanılmak üzere ASTM E 903-20'ye göre solar reflektans (a) ve solar absorbens ( $\alpha$ ) değerleri de Tablo 3.4'de verilmiştir. Reflektans değeri %TSR değerini verirken, absorbens da 1-a değerine eşittir.

Tablo 3.4. ASTM E 903- 20'ye göre solar reflektans a, solar absorbens  $\alpha$  değerleri

Numune Adı	Solar Reflektans a	Solar Absorbans $\alpha$
RAL8017S	0,074	0,926
RAL8017C	0,313	0,687
RAL9002S	0,721	0,279
RAL9002C	0,746	9,254
RAL6005S	0,143	0,857
RAL6005C	0,225	0,775
RAL7001S	0,406	0,594
RAL7001C	0,476	0,524
RAL5005S	0,277	0,723
RAL5005C	0,314	0,686
RAL3011S	0,274	0,726
RAL3011C	0,325	0,675
RAL7016S	0,084	0,916
RAL7016S1	0,101	0,899
RAL7016C	0,256	0,744
RAL9005S	0,051	0,949
RAL9005C	0,277	0,723
RAL9005DS	0,050	0,950
RAL9005DC	0,275	0,725
RAL9005MS	0,051	0,949
RAL9005MC	0,263	0,737
RAL9005TS	0,055	0,945
RAL9005TC	0,262	0,738
RAL9005AC1	0,278	0,722
RAL9005AC2	0,335	0,665
RAL9005KS	0,051	0,949
RAL9005KC	0,257	0,743

SRI değeri, hem TSR hem de IR emisyonuna bağlıdır ve bu özelliklerin her ikisini de hesaba katar. ASTM E1980'e göre hesaplanan SRI değerleri ve yüzey sıcaklıkları karşılaştırılarak, kaplamaların TSR ve IR yayılımının birleşik etkisini tahmin etmek mümkündür. SRI hesaplamaları, TSR'deki bir varyasyonun etkisinin, IR emisyonundaki bir varyasyondan (orta rüzgar koşulları için) daha güçlü olduğunu ortaya koymaktadır. TSR'deki varyasyonlar, IR emisyonundaki varyasyonlardan daha

büyükür. Bu nedenle, öncelikle VIS ve NIR yansımalarının SRI değeri üzerindeki etkisi dikkate alınmalıdır. NIR'deki güneş enerjisi yüzdesi (%52) görünür bölgedekinden (%43) daha büyük olduğu için, NIR yansımalarının TSR üzerindeki etkisi VIS yansımısından gelen etkiden biraz daha güçlüdür. Koyu renklerin VIS yansımaları düşüktür ve bu nedenle daha koyu renkler için yüksek SRI elde etmek daha zordur [28].

Tablo 3.5. Düşük rüzgar şartlarında  $T_s$  ve SRI değeri

Numune Adı	$T_s$ [°C]	SRI
RAL8017S	99	6,7
RAL8017C	83	36,5
RAL9002S	54	89,6
RAL9002C	53	93,0
RAL6005S	95	15,2
RAL6005C	89	25,4
RAL7001S	77	48,3
RAL7001C	72	57,3
RAL5005S	86	31,9
RAL5005C	83	36,6
RAL3011S	86	31,5
RAL3011C	83	38,0
RAL7016S	99	8,0
RAL7016S1	97	10,0
RAL7016C	87	29,3
RAL9005S	101	3,9
RAL9005C	86	31,9
RAL9005DS	101	3,8
RAL9005DC	86	31,7
RAL9005MS	101	3,9
RAL9005MC	87	30,1
RAL9005TS	100	4,4
RAL9005TC	87	30,0
RAL9005AC1	86	32,0
RAL9005AC2	82	39,2
RAL9005KS	101	3,9
RAL9005KC	87	29,4

Numunelerin üç farklı şart altında; düşük rüzgar ( $0$  ila  $2 \text{ m s}^{-1}$ ,  $h_c = 5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ), orta-rüzgar ( $2$  ila  $6 \text{ m s}^{-1}$ ,  $h_c = 12 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ) ve şiddetli-rüzgar ( $6$  ila  $10 \text{ m s}^{-1}$ ,  $h_c = 30 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ) ASTM E 1980-11'e göre kararlı hal yüzey sıcaklığı,  $T_s$  ve güneş ışığı yansıtma indisi, SRI hesaplanmıştır. Hesaplamalar emisivite,  $\epsilon$  0,95 kabul edilerek yapılmıştır. Sonuçlar Tablo3.5, Tablo3.6, Tablo3.7'da verilmiştir.

Tablo 3.6. Orta rüzgar şartlarında Ts ve SRI değerleri

Numune Adı	T <sub>s</sub> [°C]	SRI
RAL8017S	80	6,1
RAL8017C	69	36,0
RAL9002S	49	89,4
RAL9002C	47	92,8
RAL6005S	77	14,6
RAL6005C	73	24,8
RAL7001S	64	47,9
RAL7001C	61	56,9
RAL5005S	70	31,4
RAL5005C	69	36,1
RAL3011S	70	31,0
RAL3011C	68	37,5
RAL7016S	80	7,3
RAL7016S1	79	9,4
RAL7016C	71	28,7
RAL9005S	81	3,3
RAL9005C	70	31,4
RAL9005DS	81	3,1
RAL9005DC	70	31,1
RAL9005MS	81	3,3
RAL9005MC	71	29,6
RAL9005TS	81	3,8
RAL9005TC	71	29,5
RAL9005AC1	70	31,5
RAL9005AC2	68	38,8
RAL9005KS	81	3,3
RAL9005KC	71	28,9

Tablo 3.7. Yüksek rüzgar şartlarında Ts ve SRI değerleri

Numune Adı	T <sub>s</sub> [°C]	SRI
RAL8017S	60	5,5
RAL8017C	54	35,5
RAL9002S	43	89,3
RAL9002C	42	92,7
RAL6005S	58	14,0
RAL6005C	56	24,3
RAL7001S	51	47,5
RAL7001C	49	56,6
RAL5005S	55	30,9
RAL5005C	54	35,6
RAL3011S	55	30,5
RAL3011C	53	37,0
RAL7016S	60	6,7

Tablo 3.7.(Devam) Yüksek rüzgar şartlarında Ts ve SRI değerleri

Numune Adı	T <sub>s</sub> [°C]	SRI
RAL7016S1	59	8,8
RAL7016C	55	28,2
RAL9005S	61	2,6
RAL9005C	55	30,9
RAL9005DS	61	2,5
RAL9005DC	55	30,6
RAL9005MS	61	2,6
RAL9005MC	55	29,1
RAL9005TS	61	3,1
RAL9005TC	55	29,0
RAL9005AC1	55	31,0
RAL9005AC2	53	38,3
RAL9005KS	61	2,6
RAL9005KC	55	28,4

Üç farklı şart altında yapılan hesaplamalar karşılaştırıldığında rüzgar gücü azaldığında, yüzey sıcaklıkları artmakta, standart ve serin kaplamalar arasındaki sıcaklık farkları açılmaktadır. Yüksek sıcaklık değerlerinde serin kaplamaların sağladığı termal konforun etkisinin daha da artacağı gözlenmiştir.

Kararlı durum yüzey sıcaklığı, Ts ve SRI değerlerini yorumlarken orta rüzgar şartları ile yapılan hesaplama sonuçları kullanılmıştır (Tablo 3.6).

Kararlı durum yüzey sıcaklıkları karşılaştırıldığında RAL8017 için belirgin sıcaklık farkı gözlenmiştir. RAL8017S yüzey sıcaklığı 80°C, RAL8017C 69°C'dir. Aradaki 11°C tasarlanan serin kaplama için anlamlı bir sıcaklık farkıdır. SRI değerleri de sırasıyla 6,1 ve 36,0 hesaplanmıştır.

RAL9002S ve RAL9002C karşılaştırıldığında yüzey sıcaklıkları sırasıyla 49°C ve 47°C'dir. Küçük de olsa yüzey sıcaklıkları arasında fark görülmüş. Tasarlanan serin kaplamada 2°C daha düşük yüzey sıcaklığına sahiptir. Sıcaklık farkının düşük olması kaplamanın toplam pigment miktarında siyah pigment oranının düşük olması sebebiyle yansıtmadaki iyileşmenin az olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Ayrıca numuneler arasında en düşük yüzey sıcaklığı beyaz numunelerde görülmüştür. Yüksek miktarda TiO<sub>2</sub> içeriği numunelerin düşük yüzey sıcaklıklarında ana etkidir. SRI değerleri de sırasıyla, 89,4 ve 92,8 hesaplanmıştır.



Yüzey sıcaklığı RAL6005S numunesinde 77°C, RAL6005C numunesinde 73°C'dir. Kaplama serin tasarlandığında 4°C'lik yüzey sıcaklığı farkı sağlanmıştır. SRI değerleri de sırasıyla 14,6 ve 24,8 hesaplanmıştır.

RAL7001S numunesi için Ts değeri 64°C, RAL7001 C için 61°C'dir. Kaplama serin tasarlandığında yüzey 3°C daha soğuk kalmıştır. SRI değerleri de sırasıyla; 47,9 ve 56,9 hesaplanmıştır.

RAL5005S numunesi için Ts değeri 70°C, RAL5005C için 69°C'dir. Serin kaplama 1°C daha düşük yüzey sıcaklığına sahiptir. SRI değerleri sırasıyla; 31,4 ve 36,1 hesaplanmıştır.

RAL3011S numunesi için Ts değeri 70°C, RAL3011C için 68°C'dir. Serin kaplama 2°C daha düşük yüzey sıcaklığına sahiptir. SRI değerleri sırasıyla; 31,0 ve 37,5 hesaplanmıştır.

RAL7016S numunesi için Ts değeri 80°C, RAL7016S1 için 79°C'dir. Pigmenti %50 azaltılan standart kaplamada yüzey sıcaklığı 1°C düşmüştür. Yüzey sıcaklıkları arasında küçük fark olacağı, yansıtma grafiklerinde 700-1200nm arasındaki küçük değişime bakarak öngörülmüştür. Fark az da olsa pigment yüzdesi düşürüldüğünde yansıtma miktarının artacağı görülmüştür. RAL7016C için yüzey sıcaklığı 71°C'dir. Serin kaplama standart kaplamaya göre 9°C daha düşük yüzey sıcaklığına sahiptir. SRI değerleri sırasıyla; 7,3, 9,4 ve 28,7 olarak hesaplanmıştır.

RAL9005S rengi kararlı durum yüzey sıcaklığı 81°C, RAL9005C yüzey sıcaklığı 70°C'dir. Serin kaplamanın yüzey sıcaklığı 11°C daha düşüktür. SRI değerleri sırasıyla, 3,3 ve 31,4 'dür.

RAL9005DS Ts değeri 81°C, RAL9005DC Ts değeri 70°C'dir. Dolgu içeriği yansıma grafiklerinde olduğu gibi yüzey sıcaklığı değerlerinde de fark yaratmamıştır. Sonuçlar yansıma grafiklerini desteklemektedir. SRI değerleri sırasıyla, 3,1 ve 31,1'dir

RAL9005MS için Ts değeri 81, RAL9005MC için 71°C'dir. SRI değerleri sırasıyla, 3,3 ve 29,6'dır. Matlık yüzey sıcaklığında küçük değişimler yaratmıştır. Mat serin kaplama, parlak serin kaplamaya göre 1°C daha düşük yüzey sıcaklığına sahiptir.

RAL9005TS için kararlı durum yüzey sıcaklığı 81°C iken RAL9005TC için 71°C'dir. SRI değerleri sırasıyla 3,8 ve 29,5 olarak hesaplanmıştır. Pütürlü serin kaplama, düz yüzeyli parlak kaplamaya göre 1°C daha düşük yüzey sıcaklığına sahiptir.

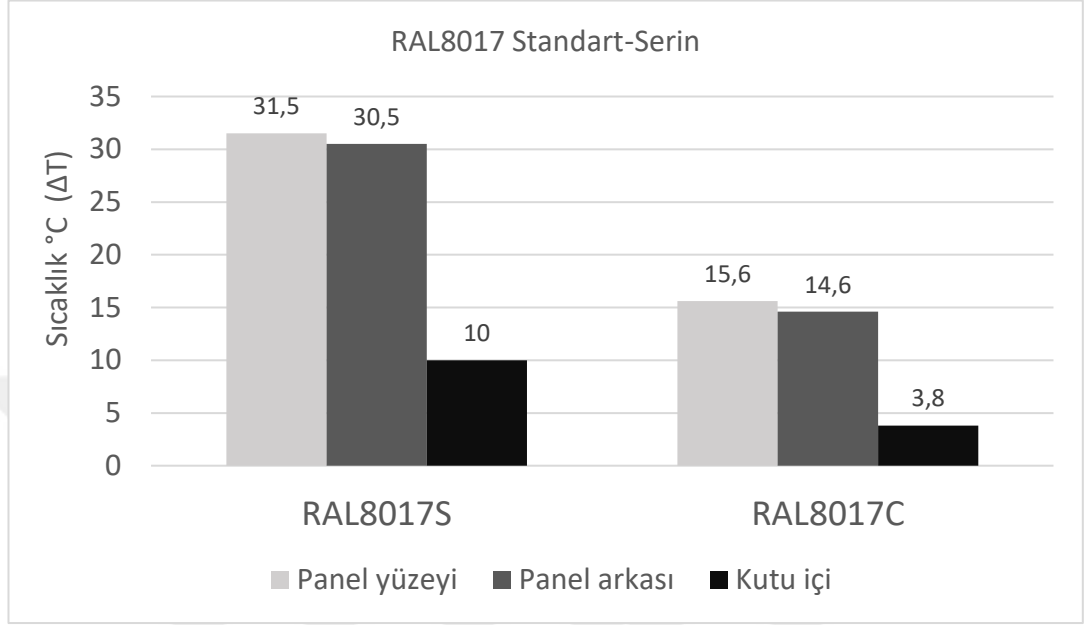
RAL9005AC1 için Ts değeri 70°C'dir. Bu değer alüminyum pigment içermeyen serin kaplama RAL9005C yüzey sıcaklığı ile aynıdır. RAL9005AC2 ise 68°C'dir ve RAL9005C'den 2°C daha düşük yüzey sıcaklığına sahiptir. SRI değerleri sırasıyla, 31,5 ve 38,8 hesaplanmıştır. Alüminyum pigment ilavesi kaplamalarda emisivite,  $\epsilon$  değerini düşürecektir. Bu alanda yapılan hesaplamalar sırasında emisivite değerinin sabit tutulması sonuçlarda hataya sebep olacaktır. Bu sebeple alüminyum pigment içerikli numunelerin yüzey sıcaklığı karşılaştırmasını bu yöntemle emisiviteyi sabit kabul ederek yapmak doğru değildir. Buradan elde edilen sonuç ile yalnızca RAL9005AC1 yüzey sıcaklığı için şu şekilde bir yorum yapılabilir; sabit emisivite değeri ile hesaplanan yüzey sıcaklığı RAL9005C ile aynıdır, daha düşük emisivite değeri ile hesaplandığında yüzey sıcaklığının RAL9005C'den yüksek olması beklenir. Yüzey sıcaklıklarını yorumlamak için bir sonraki adımda yapılan IR etkisinde termal analiz incelenmelidir.

Alüminyum pigment miktarının artırılması ile daha yüksek TSR değerleri elde edilir, ancak bu durum düşen emisivite değeri ile dengelenir. Yansıtıcı bir alüminyum yüzeyin, emisivitesi yüksek siyah bir yüzeyden sıcak olması, ancak konveksiyon sabit tutulduğunda mümkündür. Bununla birlikte, konveksiyon en az IR emisyonu ile soğutma kadar önemli olduğundan, koyu renk standart kaplamalar yerine alüminyum pigment içeren kaplamalar genellikle avantaj sağlar [8]. Serin kaplamada yansımanın daha da iyileşmesi için alüminyum pigment ilave edildiğinde, her numune için emisivite ve konveksiyonu da hesaba katarak SRI hesaplaması yapılmalıdır. Ancak standart kaplamalara alüminyum pigment ilavesi avantaj sağlayacaktır.

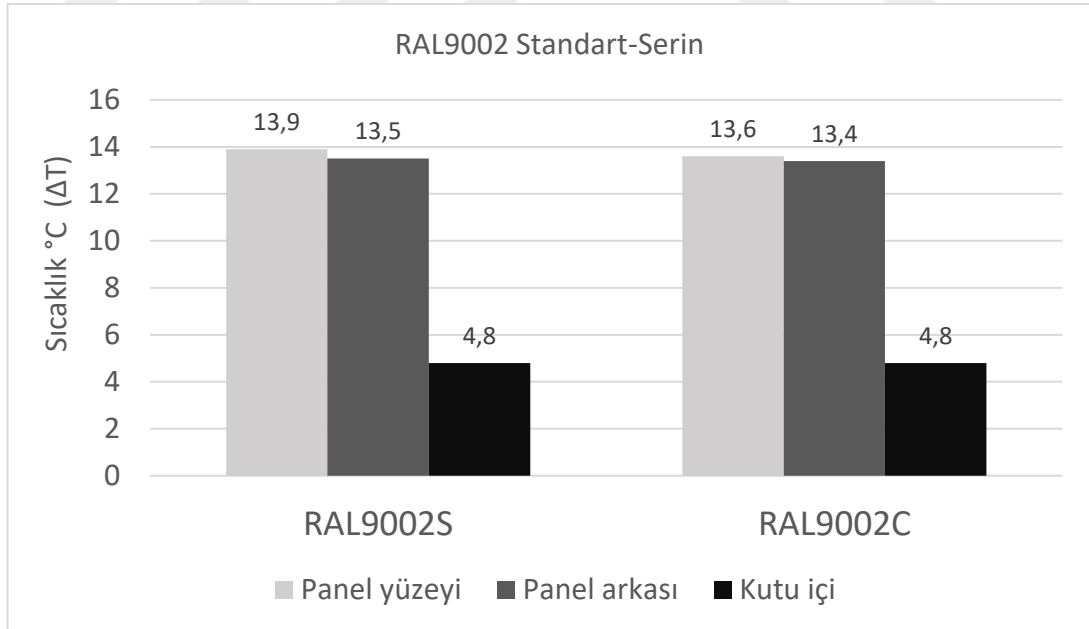
### **3.3. IR Lamba Etkisinde Yüzey Sıcaklığı Tayini**

Ölçülen ve kaydedilen değerler, yüzey sıcaklığı, panel arkası ve kutu içi sıcaklığı olarak adlandırılmıştır. 20 dakika boyunca ölçülen veriler kaydedilmiştir. Sıcaklık grafikleri Ek-A'da verilmiştir. Analizler hatayı minimumda tutmak amacıyla klimatize

ortamda yapılmıştır. Ancak yine de başlangıç sıcaklıklarında küçük farklar gözlenmiştir. Bu sebeple analiz sonuçları sıcaklık farkları üzerinden yorumlanmıştır. Şekil 3.18’de RAL8017S ve RAL8017C’ye ait sıcaklık farkları karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.18. IR lamba etkisinde RAL8017S ve RAL8017C’ye ait sıcaklık artışları

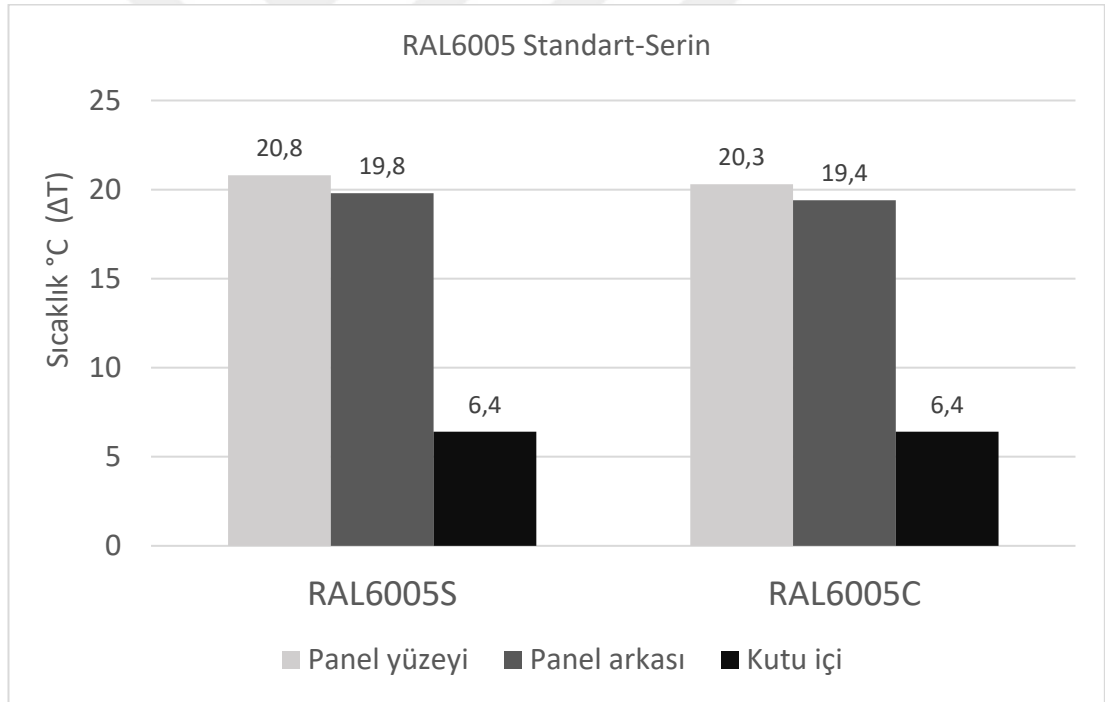


Şekil 3.19. IR lamba etkisinde RAL9002S ve RAL9002C’ye ait sıcaklık artışları

RAL8017S standart kaplama ölçüldüğünde panel yüzeyi, panel arkası, kutu içi sıcaklık artışları sırasıyla 31,5°C, 30,5°C ve 10°C iken, 20 dakikanın sonunda RAL8017C serin

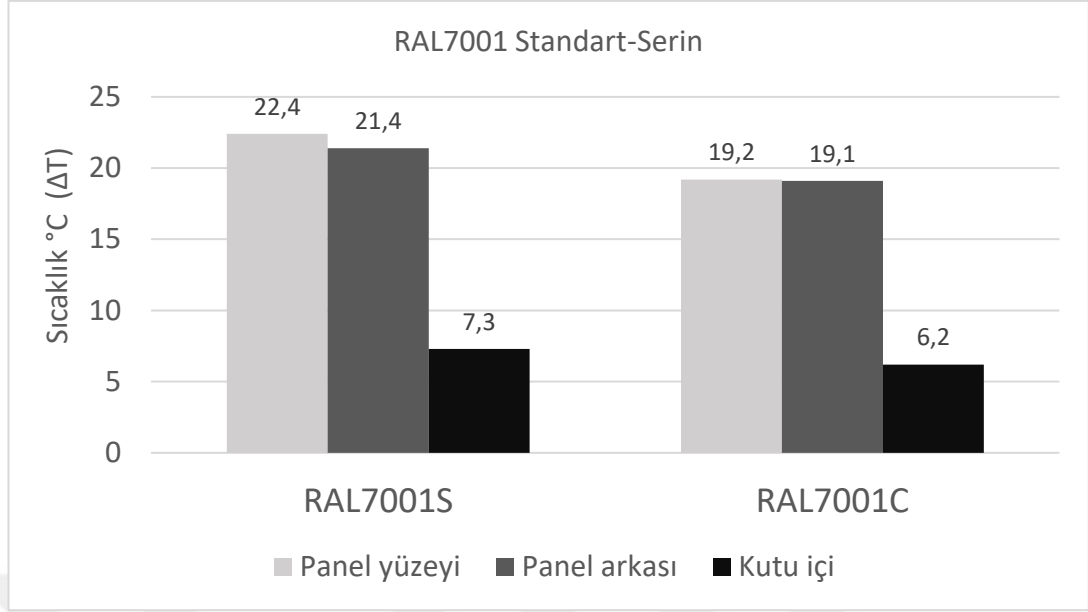
kaplama daha soğuk kalmıştır. Sıcaklık artışları sırasıyla; 15,6°C, 14,6°C ve 3,8°C ölçülmüştür. Sonuçlar yansıtma grafikleri ve Ts değerleri ile benzerlik göstermektedir. Yüze 15,9°C ve panel arkası 15,9°C daha az ısınmıştır. Bina içi sıcaklığı simüle eden kutu içi sıcaklık farkı artışı farkı ise 6,2°C'dir. Geliştirilen RAL8017C kaplamanın oldukça belirgin termal konfor sağlayabileceği düşünülmektedir.

RAL9002 rengi standart kaplamada 20 dakika test süresi sonunda sıcaklık artışları sırasıyla; 13,9°C, 13,5°C ve 4,8°C iken, aynı renk serin kaplamada sıcaklık farkları sırasıyla; 13,6°C, 13,4°C, 4,8°C hesaplanmıştır. RAL9002 rengine ait ölçüm sonuçları Şekil 3.19'da verilmiştir. Düşük siyah pigment oranına sahip beyaz renkli kaplama serin tasarlandığında sıcaklık artışlarında büyük farklar gözlenmemiştir. Yüzeiden alınan ölçümde serin kaplama 0,3°C, panel arkası ölçümde serin kaplama 0,1°C daha az ısınmıştır. Kutu içi sıcaklıkları ikisinde de 4,8°C artmıştır.



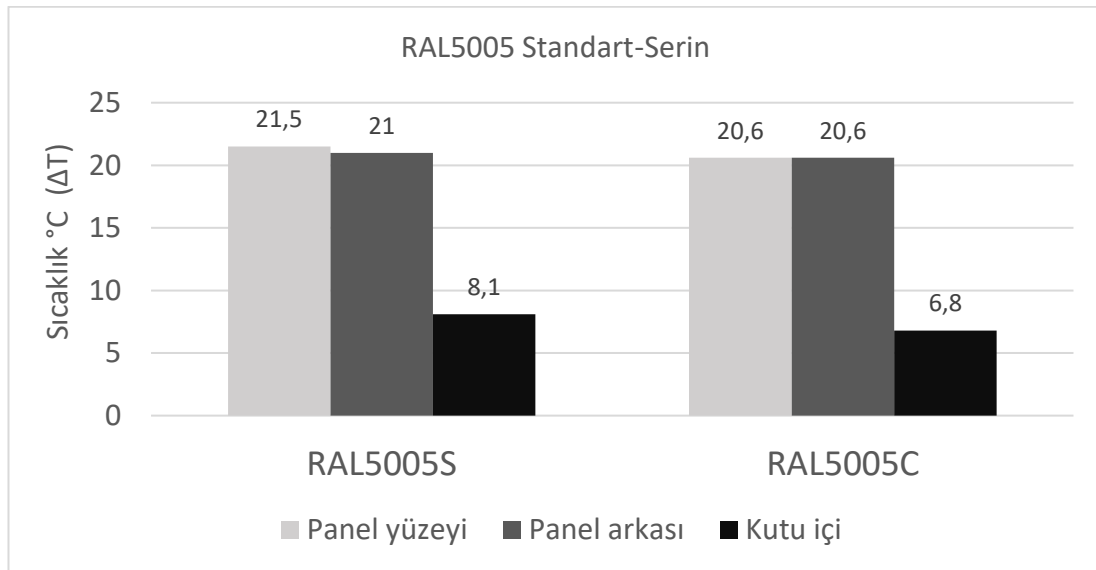
Şekil 3.20. IR lamba etkisinde RAL6005S ve RAL6005C'ye ait sıcaklık artışları

RAL6005 renginde standart kaplama sıcaklık artışları sırasıyla; 20,8°C, 19,8°C ve 6,4°C hesaplanmıştır. Serin kaplamada benzer sıcaklık artışları gözlenmiştir. Sıcaklık artışları sırasıyla 20,3°C, 19,4°C ve 6,4°C hesaplanmıştır (Şekil 3.20). Ölçülen sonuçlar yansıtma grafiklerini ve Ts değerlerini desteklemektedir.



Şekil 3.21. IR lamba etkisinde RAL7001S ve RAL7001C'ye ait sıcaklık artışları

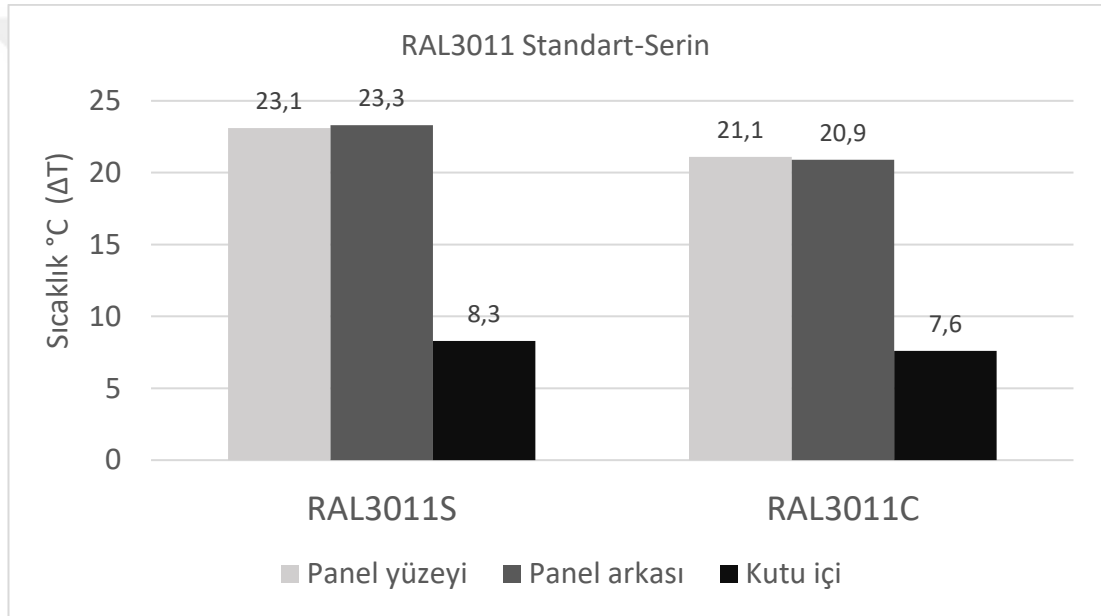
RAL7001S standart kaplama sıcaklık artışları sırasıyla; 22,4°C, 21,4°C, 7,3°C hesaplanmıştır. Aynı renk kaplama serin tasarlandığında daha düşük sıcaklık artışları gözlenmiştir. Sıcaklık artışları sırasıyla; 19,2°C, 19,1°C ve 6,2°C olarak hesaplanmıştır. Panel yüzeyi 3,2°C, Panel arkası 2,3°C ve kutu içi 1,1°C daha az ısınmıştır. Ölçülen değerler yansıtma spektrumlarını destekler niteliktedir. Geliştirilen kaplama standart kaplamaya kıyasla termal konfor sağlayacağından serin kaplama olarak adlandırılabilirliği düşünülmektedir.



Şekil 3.22. IR lamba etkisinde RA5005S ve RA5005C'ye ait sıcaklık artışları

RAL5005 mavi renk standart kaplamada sıcaklık artışları 21,5°C, 21°C ve 8,1°C hesaplanmıştır. Aynı renk serin kaplamada sıcaklık artışları 20,6°C, 20,6°C ve 6,8 °C hesaplanmıştır. Ölçümlere genel olarak bakıldığında serin kaplama daha az ısınmıştır.

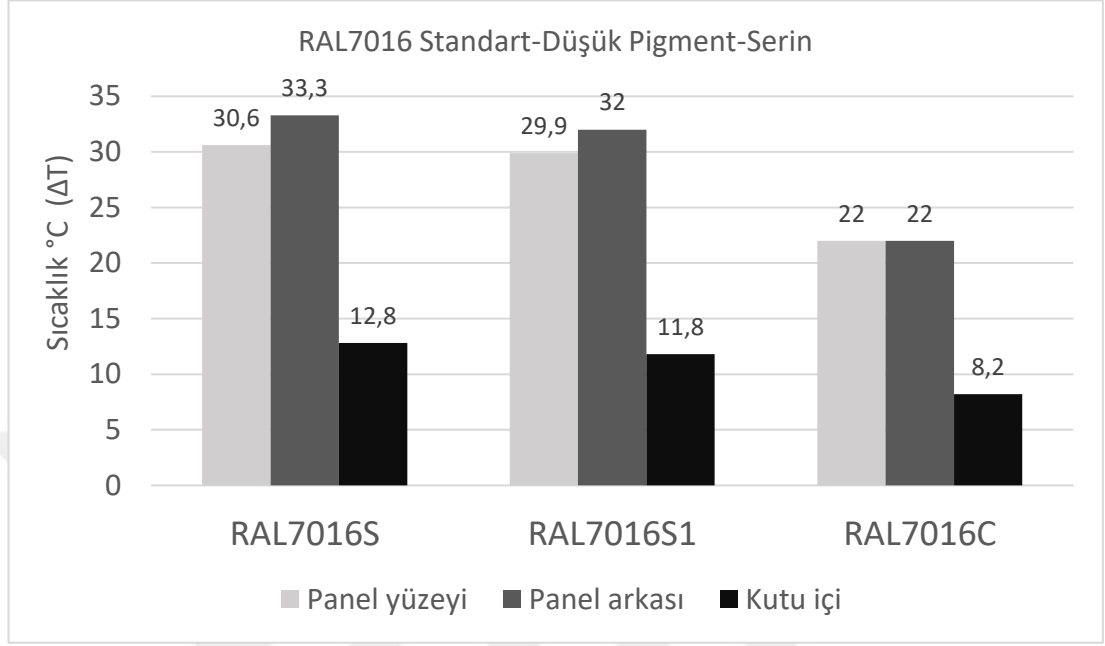
RAL3011S standart kaplama sıcaklık artışları sırasıyla; 23,1°C, 23,3°C, 8,3°C hesaplanmıştır. Aynı renk kaplama serin tasarlandığında daha düşük sıcaklık artışları gözlenmiştir. Sıcaklık artışları sırasıyla; 21,1°C, 20,9°C ve 7,6°C olarak hesaplanmıştır. Panel yüzeyi 2°C, Panel arkası 2,4°C ve kutu içi 0,7°C daha az ısınmıştır. Ölçülen değerler yansıtma spektrumlarını desteklemektedir. Geliştirilen kaplama standart kaplamaya kıyasla termal konfor sağlayacağı düşünülmektedir.



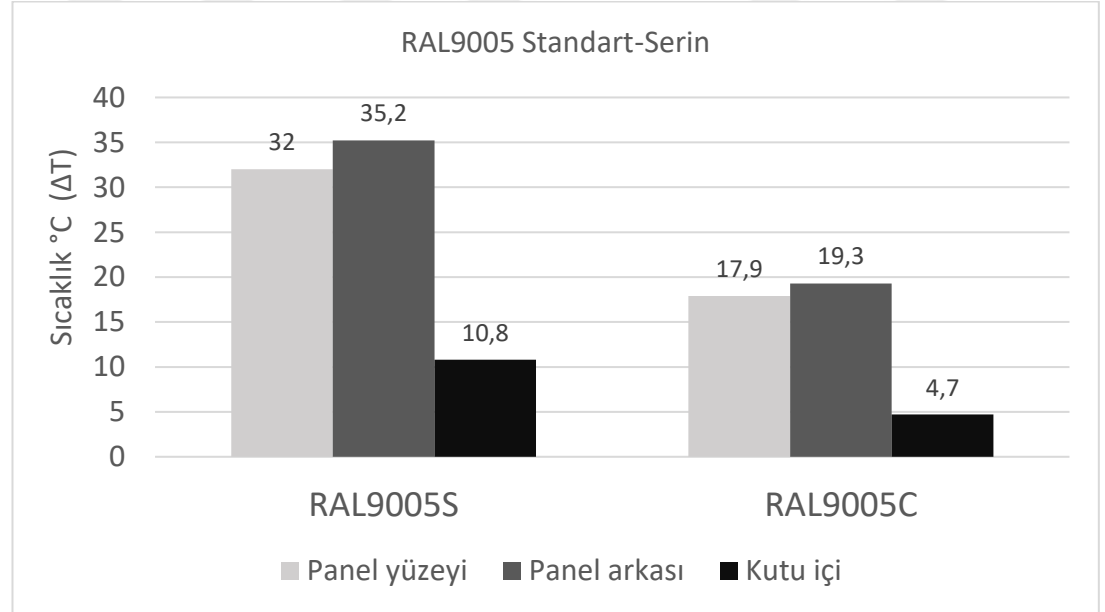
Şekil 3.23. IR lamba etkisinde RAL3011S ve RAL3011C'ye ait sıcaklık artışları

RAL7016 rengi standart kaplamanın sıcaklıkları sırasıyla 30,6°C, 33,3°C, 12,8°C arttığı gözlenmiştir. RAL7016S1 numunesinde pigment miktarı yarıya çekilerek tasarlanan kaplamada sıcaklıkların daha az arttığı gözlenmiştir. Sıcaklık artışları sırasıyla; 29,9°C, 32°C, 11,8°C olarak hesaplanmıştır. Kaplamaların ısınma miktarları yakın olsa da pigment miktarı düşürülen numunenin daha az ısındığı görülmektedir. Bu sonuç yansıtma spektrumlarından elde edilen verileri desteklemektedir. Pigment azaltma az da olsa yansıtma değerlerinde artışa, sıcaklıklarda düşmeye yol açmıştır. RAL7016C ise RAL7016S numunesine göre belirgin şekilde daha az ısınmıştır. Sıcaklık artışları sırasıyla; 22°C, 22°C ve 8,2°C olarak hesaplanmıştır. Panel yüzeyi

8,6°C, Panel arkası 11,3°C ve kutu içi 4,6°C daha az ısınmıştır. Burada da değerler daha önce elde edilen verileri desteklemektedir.



Şekil 3.24. IR lamba etkisinde RAL7016S, RAL7016S1 ve RAL7016C'ye ait sıcaklık artışları

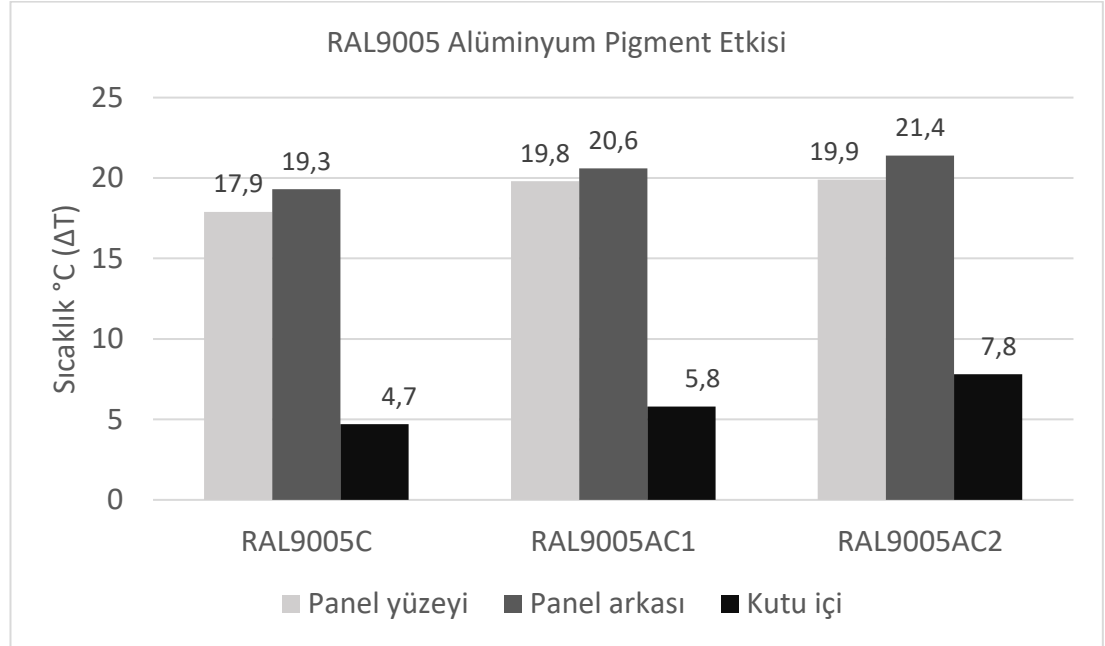


Şekil 3.25. IR lamba etkisinde RAL9005S ve RAL9005C'ye ait sıcaklık artışları

RAL9005S sıcaklık artışları sırasıyla; 32°C, 35,2°C, 10,8°C ve RAL9005C sıcaklık artışları 17,9°C, 19,3, 4,7°C hesaplanmıştır. Serin kaplamamın panel yüzeyinde

14,1°C, panel arkası 15,9°C ve kutu içi 6,1°C daha düşük sıcaklık artışı gözlenmiştir. Belirgin sıcaklık farkları geliştirilen siyah kaplamanın termal konfor avantajı sağlayacağını göstermektedir. Elde edilen sonuçlar yansıtma grafiklerinde yapılan yorumları doğrular niteliktedir.

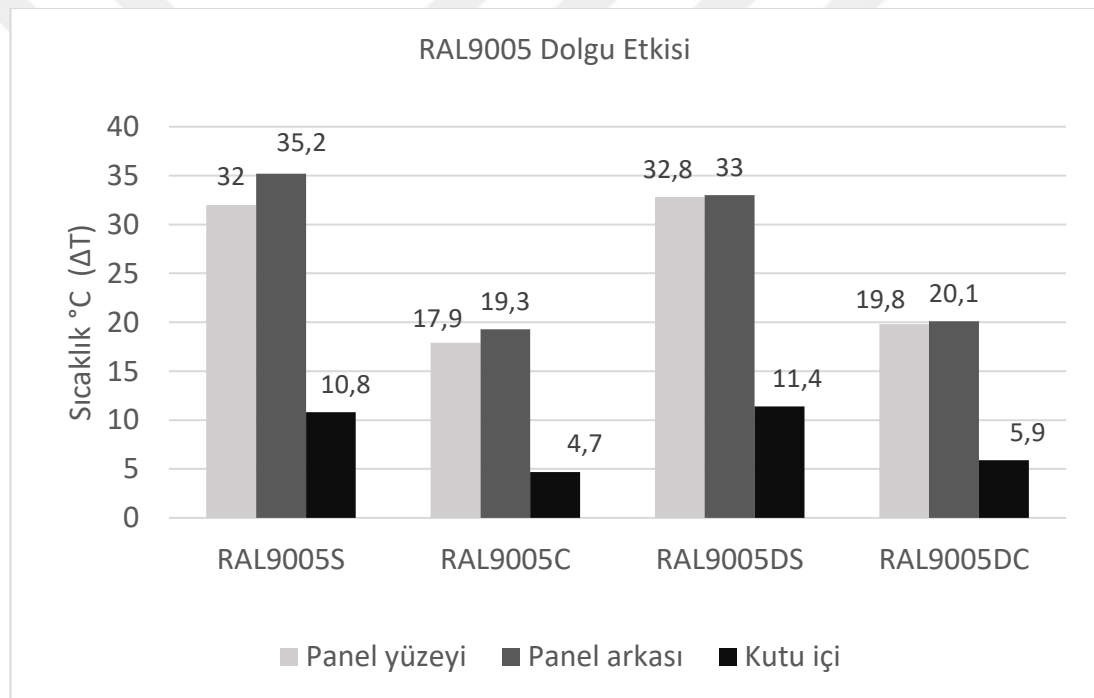
RAL9005AC1 sıcaklık artışları panel yüzeyinde 19,8°C, panel arkasında 20,6°C ve kutu içinde 5,8°C ölçülmüştür. RAL9005AC2’de ise sırasıyla 19,9°C, 21,4°C ve 7,8°C ölçülmüştür. Serin kaplamaya %0,7 oranında alüminyum pigment ilave edilerek hazırlanan numunede sırasıyla 1,9°C, 1,3°C ve 1,1°C daha yüksek sıcaklık artışları görülmüştür. %3 pigment ilave edilen numunede de 2°C, 2,1°C ve 3,1°C daha yüksek sıcaklık artışları görülmüştür. Alüminyum pigment yansıtmayı olumlu etkilerken, kaplamanın emisivite değerini düşürerek yüksek yüzey sıcaklıklarına sebep olmuştur. UV/VIS/NIR spektrofotometre ölçümlerinde sabit emisivite değeri ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında IR lamba etkisinde termokupl ölçümleri daha doğru sonuç verecektir. Alüminyum pigment ilavesi yüzey sıcaklıklarında RAL9005C’ye göre daha fazla artışa sebep olmaktadır. Yine de sıcaklık artışları RAL9005C’den daha azdır. Serin kaplamalar kontrollü bir şekilde alüminyum pigment kullanımına izin verebilir.



Şekil 3.26. IR lamba etkisinde RAL9005C, RAL9005AC1 ve RAL9005AC2’ye ait sıcaklık artışları



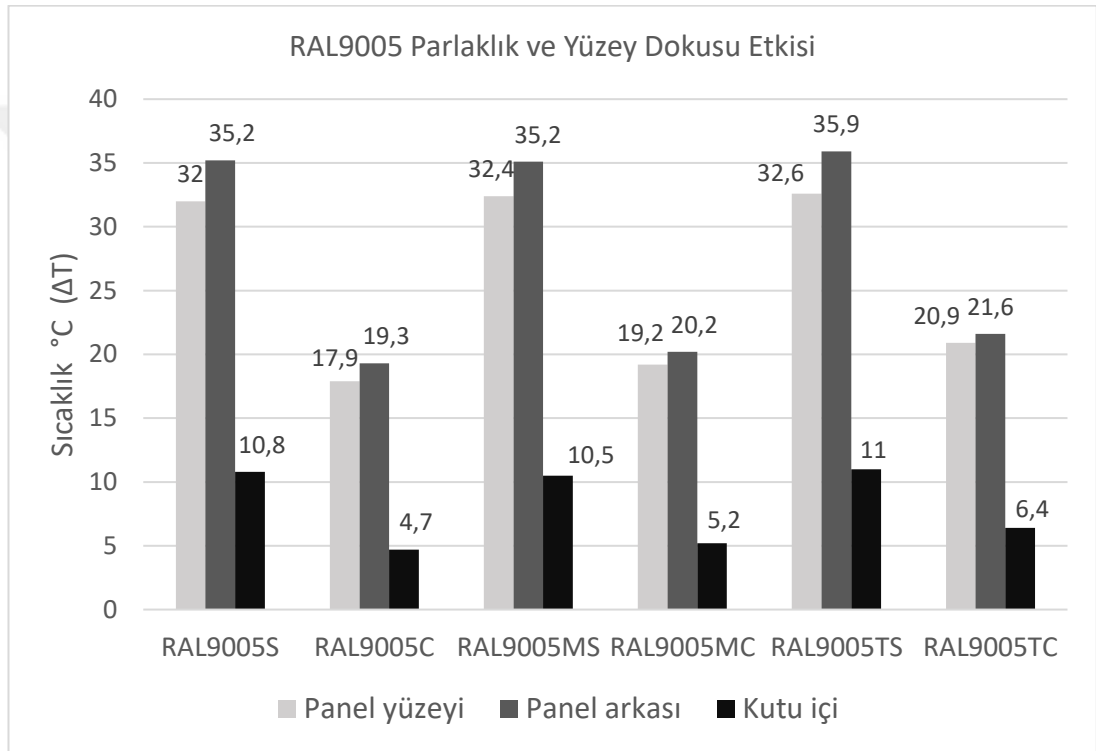
RAL9005DS sıcaklık artışları sırasıyla; 32,8°C, 33°C, 11,4°C ve RAL9005DC sıcaklık artışları 19,8°C, 20,1°C, 5,9°C hesaplanmıştır. Standart kaplamaya da serin kaplamaya da dolgu ilavesi olduğunda sıcaklık farklarının arttığı gözlenmiştir. Dolgu ilavesi ile standart kaplamada panel yüzeyi 0,8°C, kutu içi 0,4°C daha fazla sıcak artışı olmuştur. Panel arkasında ise standart kaplamada 2,2°C daha fazla sıcaklık artışı olmuştur. Bu durum, dolgu ilavesi ile kaplamanın ısı iletim özelliğinin değişmesi ile açıklanabilir. Serin kaplamada panel yüzeyinde 1,9°C, panel arkasında 0,8°C ve kutu içinde 1,2°C daha fazla sıcak artışı olmuştur. Dolgu ilavesi ile yansıtma değerleri olumsuz etkilense de RAL9005DC, RAL9005DS'ye göre sırasıyla; 11,9°C, 11,3 °C ve 4,9°C daha az sıcaklık artışı göstermiştir.



Şekil 3.27. IR lamba etkisinde RAL9005S, RAL9005C, RAL9005DS ve RAL9005DC'ye ait sıcaklık artışları

RAL9005MS için sıcaklık artışları panel yüzeyinde 32,4°C, panel arkasında 35,2°C, kutu içinde 10,5°C ölçülmüştür. RAL9005MC'de ise sıcaklık farkları sırasıyla; 19,2°C, 20,2°C ve 5,2°C ölçülmüştür. Mat kaplamalarda, parlak kaplamalara göre sıcaklık artışlarının geneline bakıldığında artış değerlerinin daha fazla görülmüştür. Tek uyumsuz sonuç RAL9005MS kutu içi sıcaklığı 10,5°C'dir. RAL9005S kutu içi sıcaklığı 10,8°C'den yüksek olması beklenmektedir. Sıcaklık farkı çok küçük olduğu

için bu durum önemsenmemiştir. Sonuçlar Şekil 3.28’de verilmiştir. Standart kaplama mat tasarlandığında önemli fark görülmemiştir ancak durum serin kaplamalarda daha belirgin sıcaklık artışı farkları ile gözlenmektedir. RAL9005C ve RAL9005MC sıcaklık artışı farkları sırasıyla; 1,3°C, 0,9°C, 0,5°C ölçülmüştür. Kaplamalar mat tasarlandığında parlak olanlara göre yüzey sıcaklıkları artsa da RAL9005MC, RAL9005MS’ye göre sırasıyla; 13,2°C, 15°C ve 5,3°C daha az sıcaklık artışı göstermiştir. Bu durum serin kaplamaların mat tasarlanabileceği fikrini desteklemektedir.



Şekil 3.28. IR lamba etkisinde RAL9005S, RAL9005C, RAL9005MS, RAL9005MC, RAL9005TS ve RAL9005TC’ye ait sıcaklık artışları

RAL9005TS’de ise sıcaklık artışları sırasıyla; 32,6°C, 35,9°C ve 11°C, RAL9005TC’de ise sırasıyla 20,9°C, 21,6°C, 6,4°C ölçülmüştür. Düz kaplamalar pütürlü tasarlandığında sıcaklık değerlerinin daha fazla arttığı görülmüştür. RAL9005S ve RAL9005TS arasında küçük farklar gözlenmiştir. Fark sırasıyla; 0,6, 0,7, 0,2 ölçülmüştür. Serin kaplama pütürlü tasarlandığında ölçülen sıcaklıklarda daha belirgin bir artış görülmüştür. RAL9005C ve RAL9005TC sıcaklık farkları sırasıyla; 3°C, 2,2°C, 1,1°C’dir. Serin kaplamanın pütürlü tasarlanması sıcaklık değerlerini

olumsuz etkilese de RAL9005TC sıcaklık artışları RAL9005TS'den sırasıyla; 12°C, 15,2°C, 5,2°C daha az olduğu görülmüştür.

Bu analiz yönteminde bina içi sıcaklığı simüle etmek için tasarlanan metal kutu ölçüm sırasında bazı sapmalara sebep olabileceği düşünülmüştür. Ölçümler arasında termokupl sıcaklıklarının ilk değerlerine gelmesi beklenmiştir. Ancak termokupl ilk sıcaklığa dönse de yeni ölçüm için panel yerleştirildiğinde metal kutunun sıcaklığı ölçümleri etkileyerek, hızlı sıcaklık artışlarına sebep olabileceği düşünülmüştür. Bu durumu engellemek için hatalı olduğu düşünülen sonuçlar için test tekrarlanmış ve hata oranı düşürülmüştür.

Yüzeylerin ısı birikimi, TSR ile güçlü bir şekilde ilişkilidir ve bu nedenle, ısı kutusundaki laboratuvar testlerinin sonuçları "soğuk kaplamalar" için optimum pigment seçimine izin verir [48]. Yapılan termal analizler sonucunda TSR değeri ve sıcaklık artışı değerlerinin güçlü bir şekilde ilişkili olduğu görülmüştür. Bu durum tahmin edilemez TSR değeri hakkında tasarımcıya yol gösterebilecektir. Serin kaplama tasarımlarında optimum pigment seçinde termal analizler yöntemleri kullanılabilir.

#### 3.4. Güneş Işığı Etkisinde Yüzey Sıcaklığı Tayini

Paneller iki grup halinde test edilmiştir. İlk grupta RAL9005 rengi numuneler, ikinci grupta 8 farklı renkte numune test edilmiştir. Paneller 15 dakika güneş ışığında bekledikten sonra termal kamera ile yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Ölçümlerde emisivite,  $\epsilon$  0,95 kabul edilmiştir. İlk grubun üç ölçüm sonrası yüzey sıcaklığı değerleri Tablo 3.8. 'de verilmiştir.

Tablo 3.8. Siyah numunelere ait ortalama yüzey sıcaklıkları

Numune Adı	Ortalama Yüzey Sıcaklığı (°C)
RAL9005S	57,1
RAL9005C	51,9
RAL9005AC1	49,2
RAL9005AC2	41,7
RAL9005DS	58,9
RAL9005DC	52,9
RAL9005MS	59,1

Tablo 3.8.(Devam) Siyah numunelere ait ortalama yüzey sıcaklıkları

Numune Adı	Ortalama Yüzey Sıcaklığı (°C)
RAL9005MC	51,9
RAL9005TS	59,5
RAL9005TC	53,0

RAL9005S yüzey sıcaklığı üç ölçüm ortalamasında 57,1°C'dir. RAL9005C için bu değer 51,9°C'dir. Geliştirilen RAL9005 rengi numune serin tasarlandığında 5,2°C daha düşük yüzey sıcaklığı ölçülmüştür.

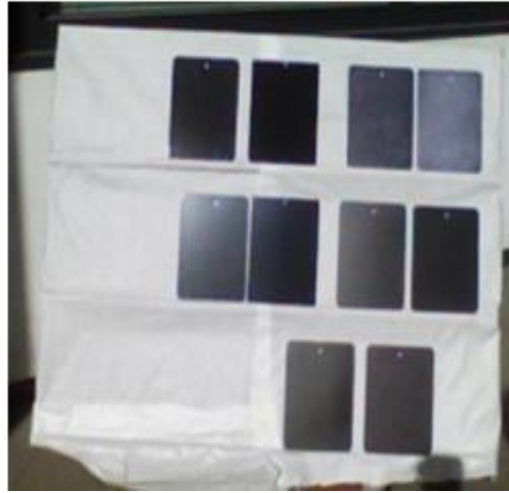
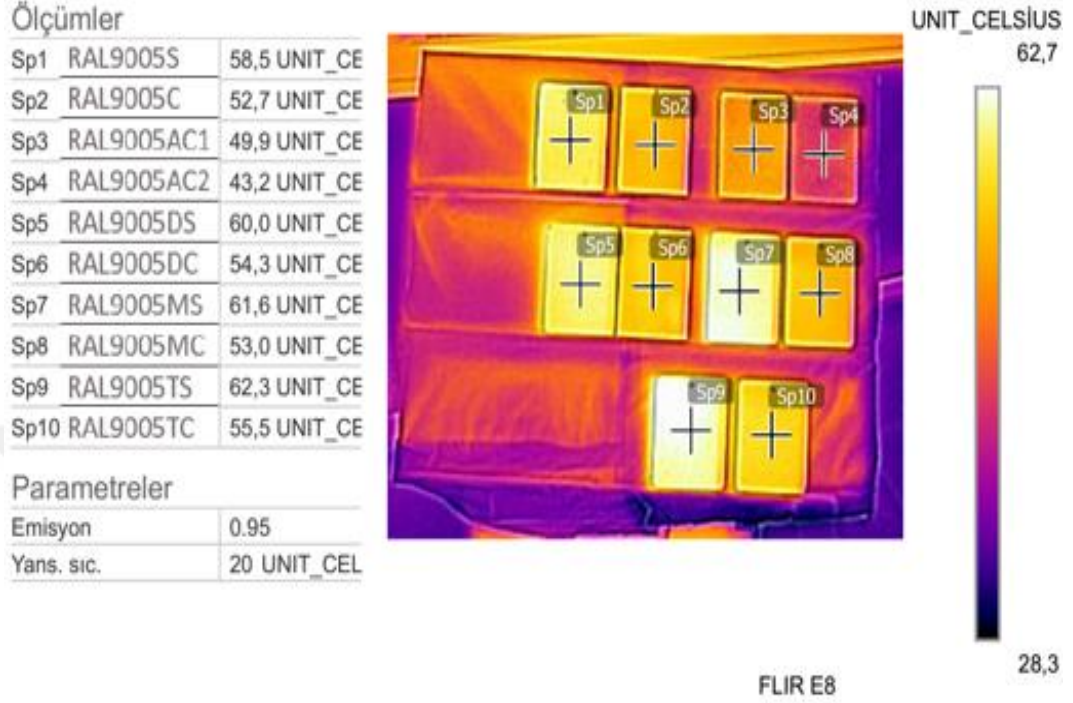
RAL9005AC1 ve RAL9005AC2 için yüzey sıcaklıkları sırasıyla 49,2°C ve 41,7°C ölçülmüştür. Alüminyum pigment içeren numunelerde yüzey sıcaklıkları RAL9005C'den daha düşüktür. IR lamba etkisinde yapılan ölçümlerde sıcaklık değerleri RAL9005C'den yüksek çıkmıştır. Kaplama içerisindeki alüminyum pullar, kaplamaların IR yayılımını düşürmektedir. Ancak burada sabit kabul edilen emisivite değeri, termal kamera ile alınan ölçümlerde düşük sıcaklıklar elde edilmesine sebep olmaktadır. Alüminyum pigment içeren numuneler için IR lamba etkisinde termokupl ile alınan ölçümlerin daha doğru sonuç vereceği düşünülmektedir.

Yüzey sıcaklıkları RAL9005DS'de 58,9°C, RAL9005DC'de 52,9°C ölçülmüştür. RAL9005S'e göre RAL9005DS 1,8°C ve RAL9005C'ye göre RAL9005DC 1°C daha çok ısınmıştır. Sonuçlar IR etkisinde yapılan sıcaklık artışı ölçümlerini desteklemektedir. Dolgu ilavesi yüzey sıcaklıklarında artışa sebep olsa da, RAL9005DC hala RAL9005DS'den 6°C daha düşük yüzey sıcaklığına sahiptir. Bu durum serin kaplamaları ucuzlatma avantajı sağlamaktadır.

RAL9005MS yüzey sıcaklığı 59,1°C, RAL9005MC 51,9°C ölçülmüştür. Mat tasarım RAL9005S'den 2°C daha sıcak ölçülürken, serin kaplamada artış gözlenmemiştir. RAL9005MC, RAL9005MS'den 7,2°C daha soğuk kalmıştır. Bu sonuçlar serin kaplamaların mat tasarımına imkan sağlamaktadır.

RAL9005TS sıcaklığı 59,5°C, RAL9005TC 53,0°C ölçülmüştür. Yüzeyin pütürlü olması standart kaplamada 2,4°C, serin kaplamada 1,1°C sıcaklık artışına sebep olmuştur. Pütürlü yüzey sıcaklık artışına sebep olsa da RAL9005TC hala,

RAL9005TS'ye göre 6,5°C daha soğuk kalmıştır. Tasarımcılar serin kaplamaları pütürlü yüzeyde tasarlayabilecektir.



Şekil 3.29. Siyah numunelere ait termal kamera görüntüsü

Siyah numunelere ait termal kamera görüntülerinden biri Şekil 3.29'da verilmiştir. Numunelerin sıcaklık farkları gösterilen farklı renklerden anlaşılmaktadır. RAL9005AC2 ve RAL9005AC2 dışında tüm numunelerde serin kaplamaların daha soğuk olduğu görülmektedir. RAL9005AC1 ve RAL9005AC2'de ise alüminyum pullar yüzeyde homojen olmayan sıcaklık değeri vermektedir. Alüminyum pulların bir kısmı soğuk noktacıklar olarak görülmektedir.

İkinci grupta termal kamera ile renkli numunelerin yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür, üç ölçüm sonrası yüzey sıcaklığı değerleri Tablo 3.9'da verilmiştir.

RAL8017S yüzey sıcaklığı 51,4°C, RAL8017C'de 44°C ölçülmüştür. Geliştirilen serin kaplama 7,4°C daha soğuk ölçülmüştür.

RAL9002S yüzey sıcaklığı 34,6°C, RAL9002C yüzey sıcaklığı ise 34,3°C ölçülmüştür. Sıcaklık farkı 0,3°C'dir.

RAL6005S 54,7°C, RAL6005 51,8°C ölçülmüştür. Numuneler arasındaki sıcaklık farkı 2,9°C'dir.

RAL7001S yüzey sıcaklığı 43,9°C, RAL7001C yüzey sıcaklığı 39,9°C ölçülmüştür. Serin kaplama standart kaplamadan 4°C daha soğuktur.

Tablo 3.9. Renkli numunelere ait ortalama yüzey sıcaklıkları

Numune Adı	Ortalama Yüzey Sıcaklığı (°C)
RAL8017S	51,4
RAL8017C	44
RAL9002S	34,6
RAL9002C	34,3
RAL6005S	54,7
RAL6005C	51,8
RAL7001S	43,9
RAL7001C	39,9
RAL5005S	44,5
RAL5005C	42,2
RAL3011S	50,2
RAL3011C	49,1
RAL9005S	52,1
RAL9005C	43,7
RAL7016S	47,4
RAL7016S1	47,2
RAL7016C	42,4

RAL5005S yüzey sıcaklığı 44,5°C, RAL5005C yüzey sıcaklığı 42,2°C ölçülmüştür. Sıcaklık farkı 2,3°C'dir.

RAL3011S sıcaklığı 50,2°C ölçülürken, beklenenden farklı olarak RAL3011C yüzey sıcaklığı daha sıcaktır ve 49,1°C ölçülmüştür. Sıcaklık farkı 1,1°C'dir.

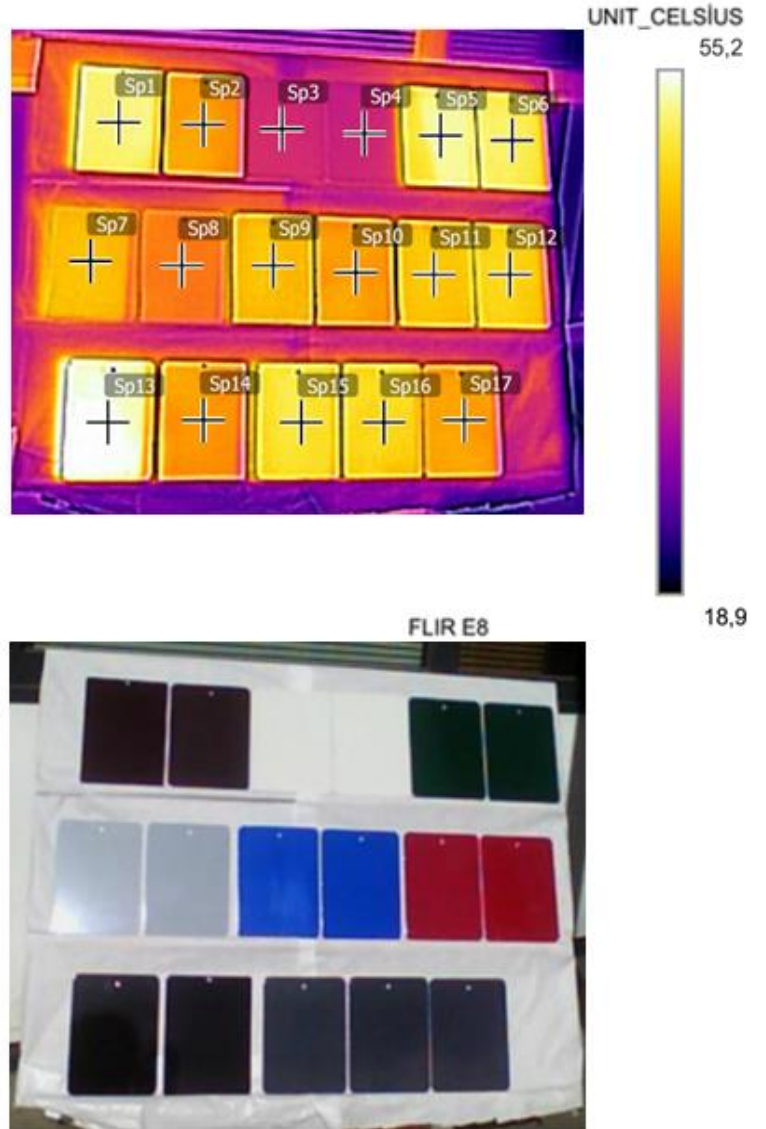
RAL9005 hem siyah numuneler hem renkli numuneler ile karşılaştırmak için iki gruba da dahil edilmiştir. RAL9005S yüzey sıcaklığı 52,1 °C ölçülürken, RAL9005C 43,7°C ölçülmüştür. Sıcaklık farkı 8,4°C'dir. Burada sıcaklık değerleri bir önceki ölçüm grubu olan, siyah numunelerden alınan sıcaklık değerlerinden farklıdır. Farklı zamanda alınan ölçümlerde hava ve çevre şartları sebebiyle sıcaklık değerlerinin dengelenmemiş olabileceği düşünülmektedir. Her iki grup da kendi içinde değerlendirildiğinden bu durum sorun teşkil etmemektedir.

#### Ölçümler

Sp1	RAL8017S	50,9_C
Sp2	RAL8017C	43,4_C
Sp3	RAL9002S	34,0_C
Sp4	RAL9002C	33,6_C
Sp5	RAL6005S	52,1_C
Sp6	RAL6005C	50,4_C
Sp7	RAL7001S	45,7_C
Sp8	RAL7001C	40,4_C
Sp9	RAL5005S	45,9_C
Sp10	RAL5005C	42,9_C
Sp11	RAL3011S	46,2_C
Sp12	RAL3011C	47,5_C
Sp13	RAL9005S	55,2_C
Sp14	RAL9005C	42,7_C
Sp15	RAL7016S	49,0_C
Sp16	RAL7016S1	47,5_C
Sp17	RAL7016C	43,1_C

#### Parametreler

Emisyon	0.95
Yans. sic.	20 UNIT_CEL



Şekil 3.30. Renkli numunelere ait termal kamera görüntüsü

RAL7016S sıcaklığı 47,5°C, RAL7016S1 sıcaklığı 47,2°C ölçülmüştür. Pigment miktarı azaltılan numunenin 0,2°C daha düşük yüzey sıcaklığına sahip olduğu görülmektedir. RAL7016C yüzey sıcaklığı 42,4 °C ölçülmüştür. Kaplama serin tasarlandığında yüzey sıcaklığı 5,1°C daha düşük ölçülmüştür.

Farklı renklerdeki numunelere ait termal kamera görüntülerinden biri Şekil 3.30'da verilmiştir. RAL3011 dışında tüm numunelerde serin kaplamaların daha soğuk olduğu görülmektedir. Burada da serin kaplamada daha yüksek yüzey sıcaklığı ölçülmesinin sebebinin ölçüm sırasında yüzeydeki bir gölgelenme ya da yansıma olduğu düşünülmektedir. En soğuk numunelerin RAL9002 rengi numuneler olduğu ve en sıcak numunenin RAL9005S olduğu termal kamera görüntüsündeki renk farklarından belirgin bir şekilde anlaşılmaktadır.

Gün ışığı altında termal kamera ile alınan ölçümlerde en ufak bir yansıma, parlama ve gölgelenmenin ölçülen sıcaklık değerlerini etkilediği görülmüştür. Buna rağmen görüntülere bakıldığında sıcaklık farkları hakkında bilgi vermektedir. Serin numuneler ve standart numuneler arasında sıcaklık farkları belirgin olarak görülmektedir



#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, binaların güneş ışınlarından kaynaklı aşırı ısınmasını sınırlandırmak için, kızılötesi bölgede gelişmiş yansımaya özelliğine sahip toz kaplamaların formülasyonu ile serin kaplamalar üzerine odaklanmıştır. Çalışma, kaplamalarda standart siyah pigmentin (karbon siyahı), NIR ileten pigment ile değiştirilmesinin, siyah rengin toplam güneş yansımada %443 gibi büyük bir gelişme sağladığını göstermiştir. Daha yüksek TSR değerlerinin, daha yüksek IR yansımaları ve dolayısıyla daha düşük yüzey sıcaklığı anlamına geldiği doğrulanmıştır. Pigment miktarı azaltılarak TSR değerinin iyileştirilebileceği görülmüştür. Buradan yola çıkılarak laboratuvarında yapılan yüzey sıcaklığı tayinleri ile optimum pigment miktarları belirlenerek TSR değerleri geliştirilebileceği görülmüştür.

Toz kaplamaların sunduğu farklı renk, parlaklık, yüzey dokusu, dolgu ihtivasi ile ucuzlatma, alüminyum pigmentler ile özel efektler kazanma gibi avantajları serin kaplamalarda da sağlanabilmektedir. Yapılan çalışmalar, geliştirilen tüm serin tüm kaplamaların, standart kaplamalardan daha yansıtıcı ve soğuk kaldığını göstermiştir.

Çalışmanın bir sonraki adımında emisivite değerleri ölçülebilir. Bu sayede teorik olarak hesaplanan kararlı durum yüzey sıcaklığı değerinde, gerçeğe yakın sonuçlar elde edilecektir. Alüminyum pigment içeren numunelerde, TSR değerlerini geliştirme çalışmaları sonsuz pigment ve alüminyum pigment kombinasyonu ile geliştirilebilecektir.

Geliştirilen toz kaplamalar, bina cephelerinden farklı kullanım alanlarına göre temel özellikleri değiştirilerek ve farklı ihtiyaçlar için geliştirilerek kullanılabilir. Soğuk zincir nakliye konteynırları, askeri ekipmanlar, otomotiv sanayii, elektrik panoları, depolama tankları bu kullanım alanlarından birkaç tanesidir.

## KAYNAKLAR

- [1] Oke T.R., City size and the urban heat island Atmospheric Environment, *CrossRef*, 1973, **7**, 769-779.
- [2] Saatçi K.Ö., Güneş Işığı Yansıtıcı Kaplama Alternatifleri Üzerine Bir Araştırma: Serin Kaplamalar, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2014, 321327.
- [3] Tozam İ., Kentsel Isı Adası Etkisinin Azaltılmasında Çatıların Değerlendirilmesi: Yeşil Çatılar Ve Serin Çatılar, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2016, 454799.
- [4] Krimpalis S., Karamanis D., A novel approach to measuring the solar reflectance of conventional and innovative building components, *Energy and Buildings*, 2015, **97**, 137–145.
- [5] Synnefa A., Santamouris M., Apostolakis K., On the development, optical properties and thermal performance of cool coatings for the urban environment, *Solar Energy*, 2007, **81**, 488–497.
- [6] Santamouris M., Cooling the cities-A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments, *Solar Energy*, 2014, **103**, 682–703.
- [7] Akbari H., S. J. Konopacki, The impact of reflectivity and emissivity of roofs on building cooling and heating energy use, *Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings VII*, 1998, Florida.
- [8] Berdahl P., Bretz S.E., Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials-introduction, *Energy and Buildings*, 1997, **25**, 149- 158.
- [9] Meenakshi P., Selvaraj M., Bismuth titanate as an infrared reflective pigment for cool roof coating, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2018, **174**, 530-537.
- [10] Cores E., Moritz V.F., Krenzinger A., Ferreira C.A., Development of paints with infrared radiation reflective properties, *Polimeros*, 2015, **25(3)**, 305-310.
- [11] Sheemol V. N., Peer Mohamed A. and S.Ananthakumar., Optically Transparent Polymer Coating Embedded with IR Reflective Rare Earth Yellow Pigment: Innovative Strategy for Cool Windows, *Materials Today: Proceedings*, 2019, **9**, 32–37.

- [12] Kültür S., Çatı Kaplama Malzemelerinin Güneş Işığı Yansıtma Performansının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 502071717.
- [13] Demir A., Güneş Işınımından Korunmak ve Yararlanmak Amacıyla Mimaride Alınan Tedbirler Üzerine Bir Araştırma, Mimar Sinan Üniversitesi, İstanbul, 1986.
- [14] Oğuzhan B., Direkt Güneş Işınımının Spektral Dağılımının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1995, 46117.
- [15] ASTM, 2003. ASTM G173-03: Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37 Tilted Surface. *American Society for Testing and Materials*, West Conshohocken, PA.
- [16] Fang V., Kennedy J., Futter J., Manning J., A review of near infrared reflectance properties of metal oxide nanostructures. *GNS Science Report* 2013, 39.
- [17] Akman M.S. ve Dilmaç Ş., Bina Opak Yüzeylerinin Güneş Radyasyonu ile Etkileşimi, *Mimarlıkta Malzeme*, 2007, 2, 64- 69.
- [18] Sakai N., Hanzawa T., Applications and advances in far-infrared heating in Japan, *Trends in Food Science and Technology*, 1994, 5, 357-362.
- [19] Soruç S., Kızılötesi (IR) Işınları Yansıtan Kaplamalı Kumaş Yapılarının Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2017, 497152.
- [20] Pan Z., Atungulu G.G., *Infrared Heating For Food and Agrucultural Processing*, 1st ed., CRC Press, 2010.
- [21] Detrie T., Swiler D., Infrared reflecting complex inorganic colored pigments: High performance pigments, Faulkner E. B., Schwartz R. J., Wiley-VCH, Weinheim, 2009, 467- 488.
- [22] ASTM, 1996. ASTM E903-96: Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres. *American Society for Testing and Materials*, West Conshohocken, PA.
- [23] Alchapar N.L., Correa E.N., Comparison of the performance of different facade materials for reducing building cooling needs, Pacheco-Torgal F., Labrincha J. A., Cabeza L.F. and Granqvist C.G., *Eco-efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs*, 1st ed., Woodhead Publishing, 155-194, 2015.

- [24] Akbari H., Levinson R., Berdahl P., ASTM Standards for Measuring Solar Reflectance and Infrared Emittance of Construction Materials and Comparing their Steady-State Surface Temperatures, *Energy and Environment Division Lawrence Berkeley National Laboratory*, University of California, 1996.
- [25] ASTM, 2001. ASTM E1980-01: Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces. *American Society for Testing and Materials*, West Conshohocken, PA.
- [26] Bretz S. E., Akbari H., Long-term performance of high-albedo roof coatings, *Energy and Buildings*, 1997, **25**(2), 159-167.
- [27] Synnefa A., Santamouris V. and Livada I., A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment, *Solar Energy Journal*, 2006, **80**, 968– 981.
- [28] Kolas T., Royset A., Grandcolas M., Cate M., Lacau A., Cool coatings with high near infrared transmittance for coil coated aluminium, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2019, **196**, 94-104.
- [29] Ashwini K. Bendiganavale A.K., Malshe V.C., Infrared Reflective Inorganic Pigments, *Recent Patents on Chemical Engineering*, 2008, **1**, 67-79.
- [30] Cozza E.S., Alloisio M., Comite A., Tanna G.D., Vicini S., NIR-reflecting properties of new paints for energy-efficient buildings, *Solar Energy*, 2015, **116**, 108-116.
- [31] Sainz, J.G., Castello, R.B., Pla, R.M., Gallart, J.C., Method of Forming Inorganic Pigments, 2003, U.S., US20036616744B1.
- [32] White JP. Complex inorganic color pigments: Durable pigments for demanding applications, *Paint Coat Ind* 2000, 16(3), 54-56.
- [33] Hallenstvet M., Mardalen J., Bolm H., Rekowski V., Tanem B.S., Lein J.E., Low Emissive Powder Coating, 2007, U.S., US20070251420A1.
- [34] Hendrickson M., Panandiker K. P., Wiedow T., Low temperature cure carboxyl terminated polyesters, 1996, US08 / 700,764 , *European Patent Office*.
- [35] Akkuş M., Toz boyama sistemlerinin ahşap kompozit levhalara uygulanması ve performans özelliklerine etkisinin incelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018, 506576.
- [36] Du Z., Wen S., Wang J., Yin C., Yu D., Luo J., The Review of Powder Coatings, *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 2016, **4**, 54- 59.

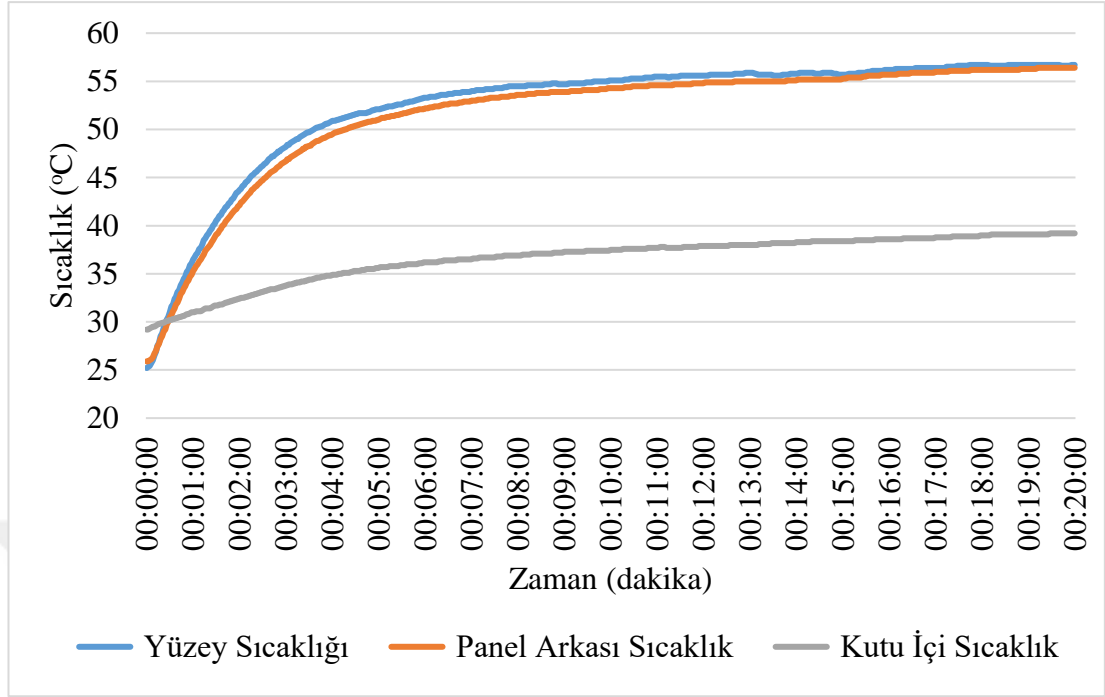
- [37] Khan M. A., Ueno K., Horimoto S., Komai F., Someya T., Inoue K., Tanaka K., Ono Y., CIELAB color variables as indicators of compost stability, *Waste Management*, 2009, **29** (12), 2969- 2975.
- [38] Murray K. A., Osborn B. N., Solar infrared reflective paints, 2011, EP 2 525 011 A1, *European Patent Office*.
- [39] Ravenswaaij B.V., Huijnen J., Solar-Reflective Colorants for Exterior Buildings and Facades, Paint & Coating Industry, <https://www.pcimag.com/articles/98308-solar-reflective-colorants> (Ziyaret tarihi: 12 Ocak 2021).
- [40] Hyde D.M., Infrared Reflective Pigmentation Technologies and the Future of Coatings, Part 2: The Science Behind the Technology, Paint & Coating Industry, <https://www.pcimag.com/articles/87154-infrared-reflective-pigmentation-technologies-and-the-future-of-coatings-part-2-the-science-behind-the-technology>, (Ziyaret tarihi: 5 Aralık 2020).
- [41] Danick C., Resin and Cross-linker Chemistry for Powder Coatings, International Coatings Technology Conference, <http://www.danickspecialties.com/ResinandCross.pdf>, (Ziyaret tarihi: 18 Aralık 2020)
- [42] Gao Q., Wu X., Fan Y., Solar spectral optical properties of rutile TiO<sub>2</sub> coated mica- titania pigments. *Dyes and Pigments*, 2014, **109**, 90- 95.
- [43] Wang D., Su D., Zhong M., Chromatic and near- infrared reflective properties of Fe<sup>3+</sup> doped KZnPO<sub>4</sub>, *Solar Energy*, 2014, **110**, 1- 6.
- [44] Coser E., Moritz V. F., Krenzinger A., Ferreira C. A., Development of paints with infrared radiation reflective properties, *Polimeros*, 25(3), 305- 310.
- [45] Han A., Ye M., Liu L., Feng W., Zhao M., Estimating thermal performance of cool coatings colored with high near- infrared reflective inorganic pigments: Iron doped La<sub>2</sub>Mo<sub>2</sub>O<sub>7</sub> compounds. *Energy and Buildings*, 2014, **84**, 698-703.
- [46] Liu L., Han A., Ye M., Feng W., The evaluation of thermal performance of cool coatings colored with high near- infrared reflective nano- b rown inorganic pigments: Magnesium doped ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> compounds. *Solar Energy*, 2015, **113**, 48- 56.
- [47] Qin J., Qu J., Song J., Song Z., Zhang W., Shi Y., Zhang T., Xue X., Zhang R., Zhang H., Zhang Z., Wu X., The optical properties of black coatings and their estimated cooling effect and cooling energy savings potential, *Journal of Power and Energy Engineering*, 2014, 2(4), 68- 75.

- [48] Zubielewicz M., Tarnawska E. K., Slusarczyk A., Langer E., Prediction of heat build-up of solar reflecting coatings based on physico-chemical properties of complex inorganic colour pigments (CICPs), *Progress in Organic Coatings*, 2011, 72(1-2), 65-72

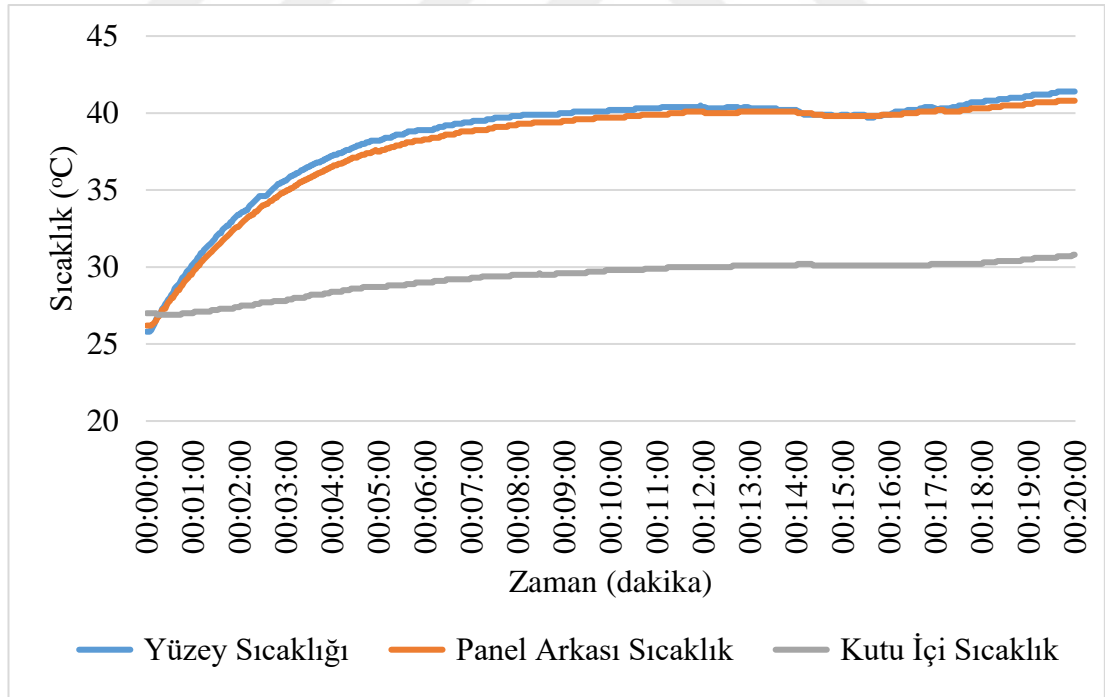




## EK-A

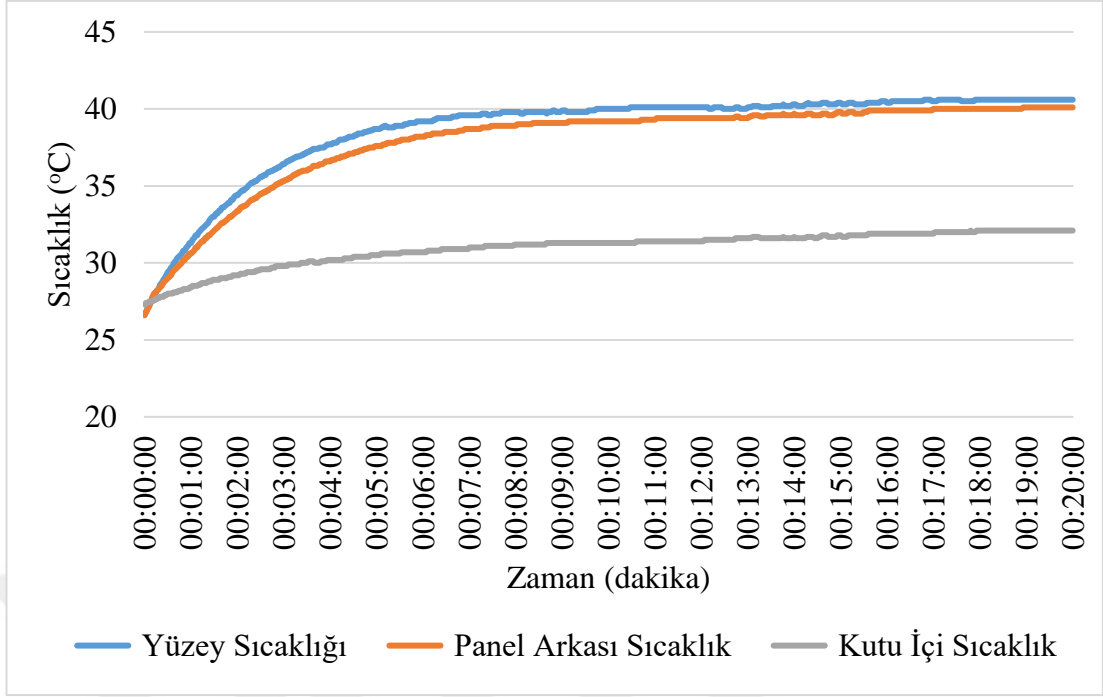


Şekil A.1. IR lamba etkisinde RAL8017S'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı

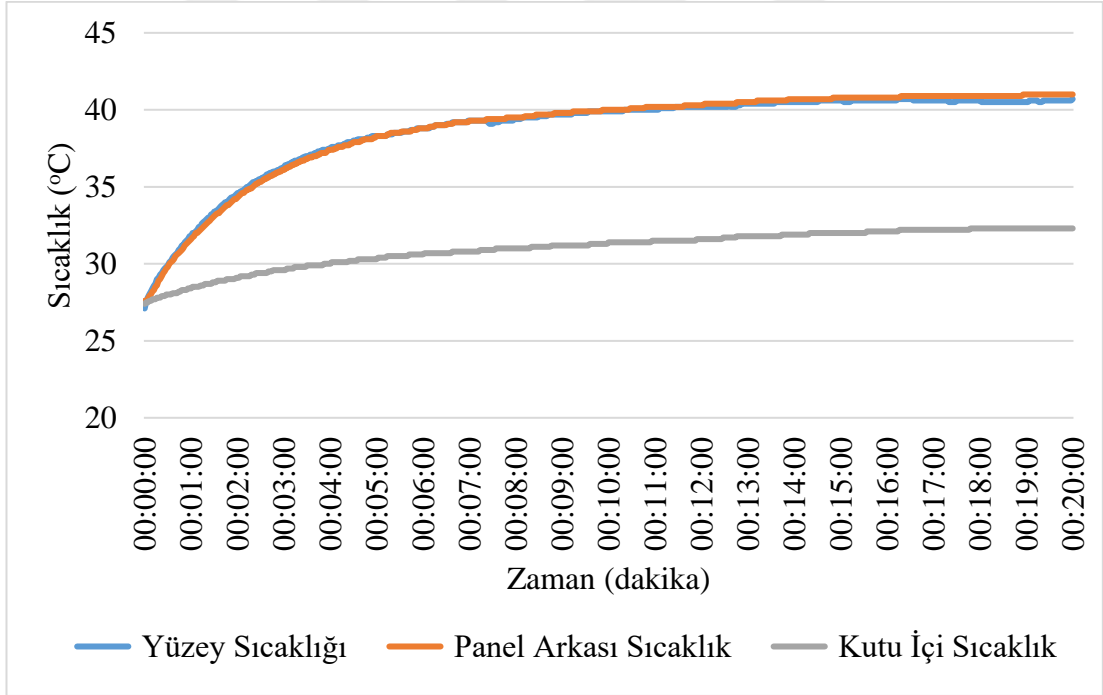


Şekil A.2. IR lamba etkisinde RAL8017C'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı

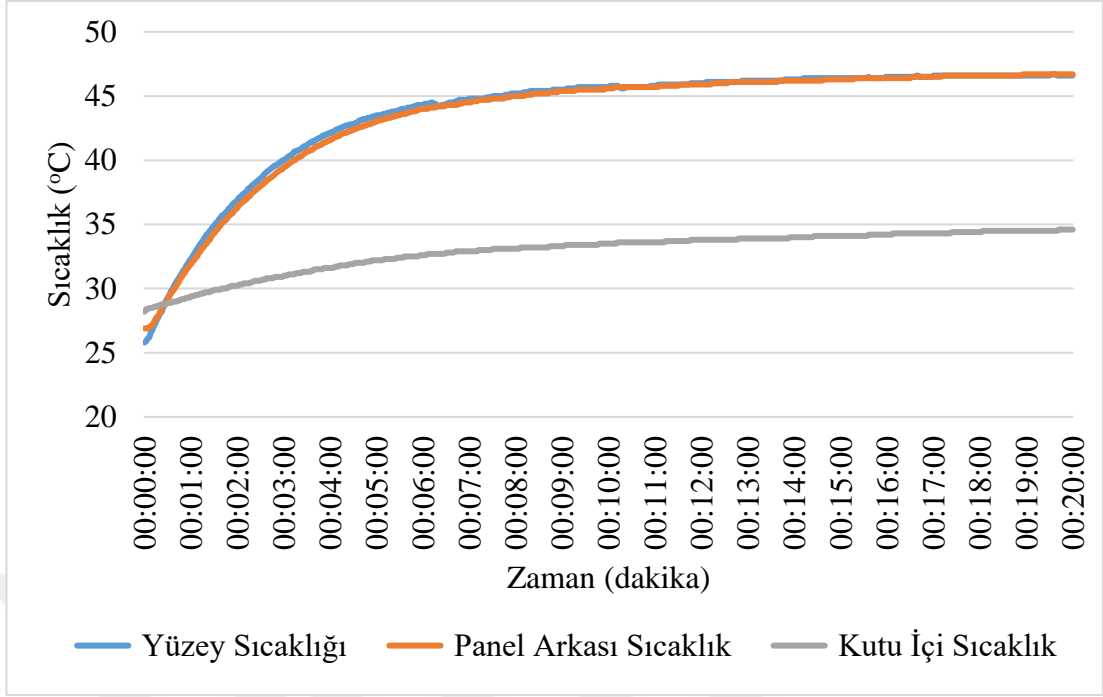




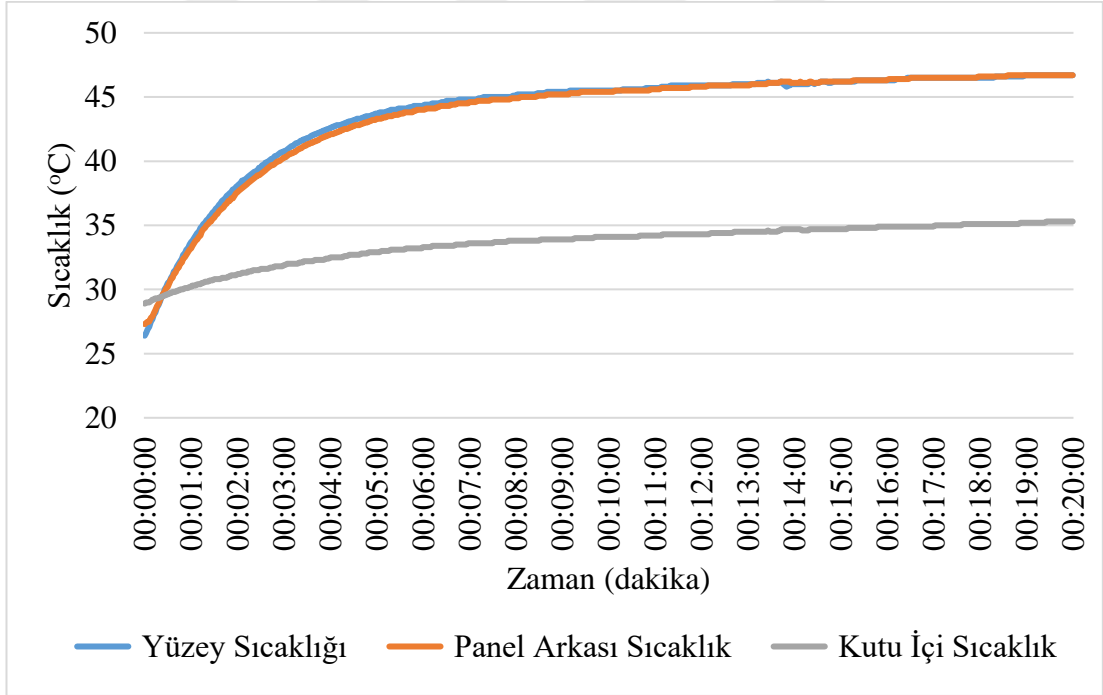
Şekil A.3. IR lamba etkisinde RAL9002S'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı



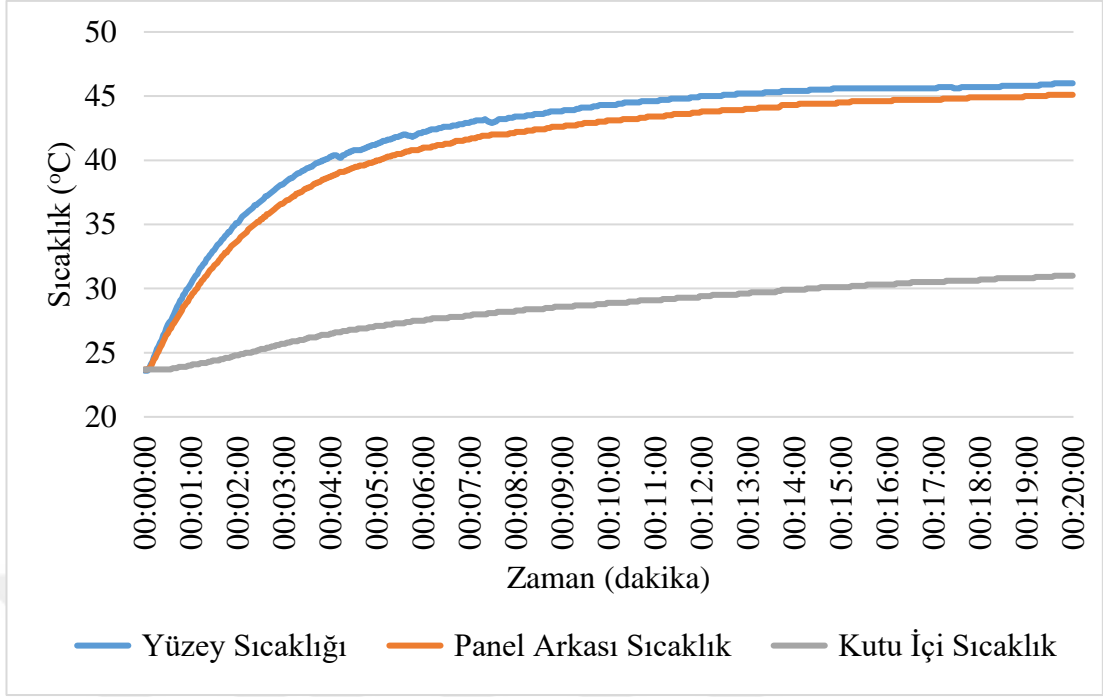
Şekil A.4. IR lamba etkisinde RAL9002C'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı



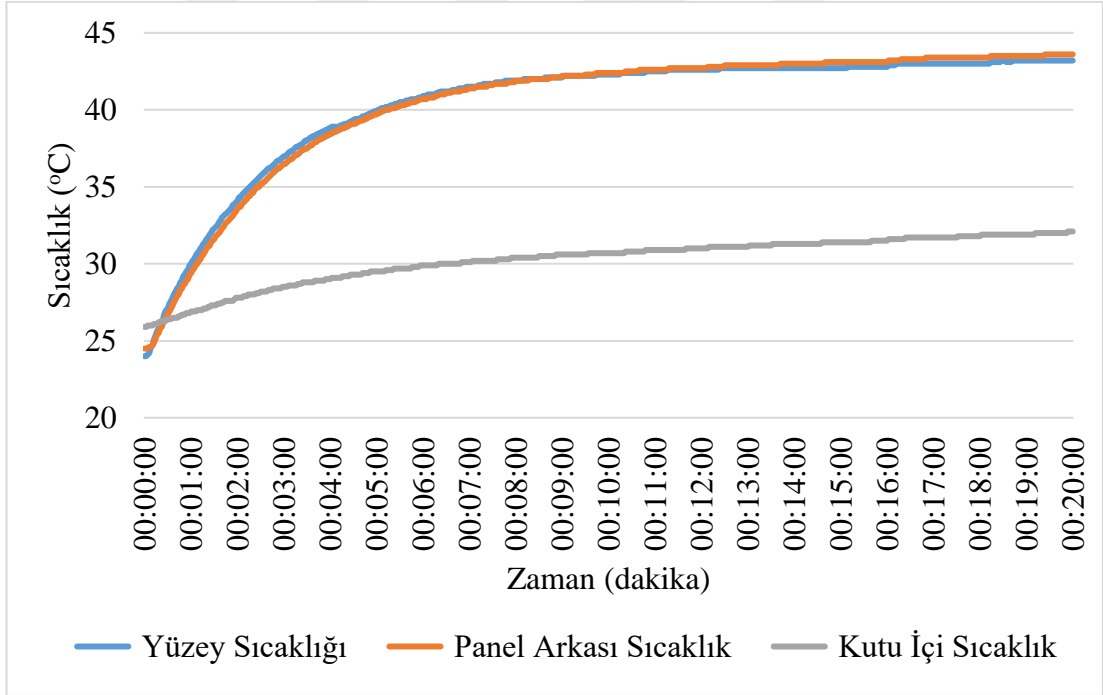
Şekil A.5. IR lamba etkisinde RAL6005S'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı



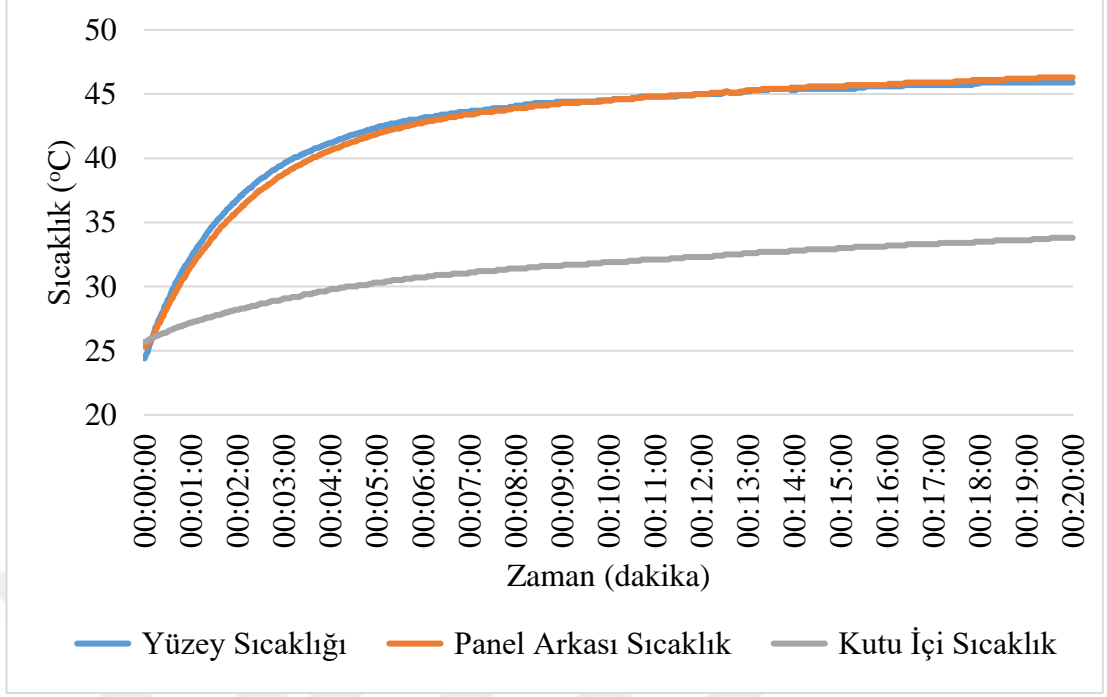
Şekil A.6. IR lamba etkisinde RAL6005C'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı



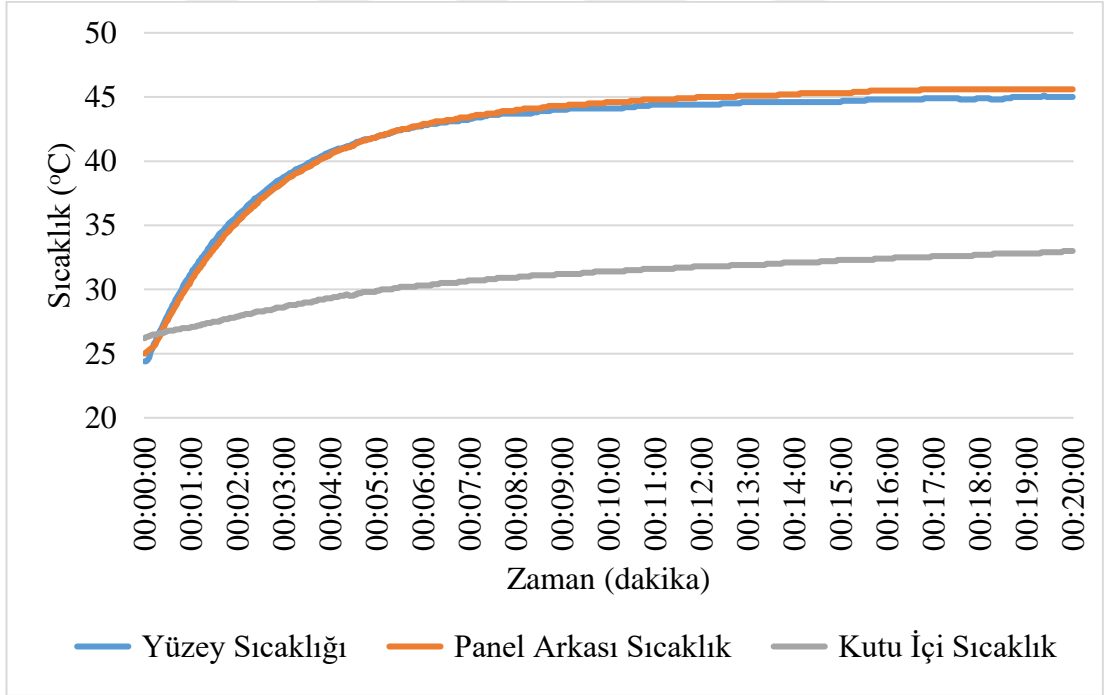
Şekil A.7. IR lamba etkisinde RAL7001S'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı



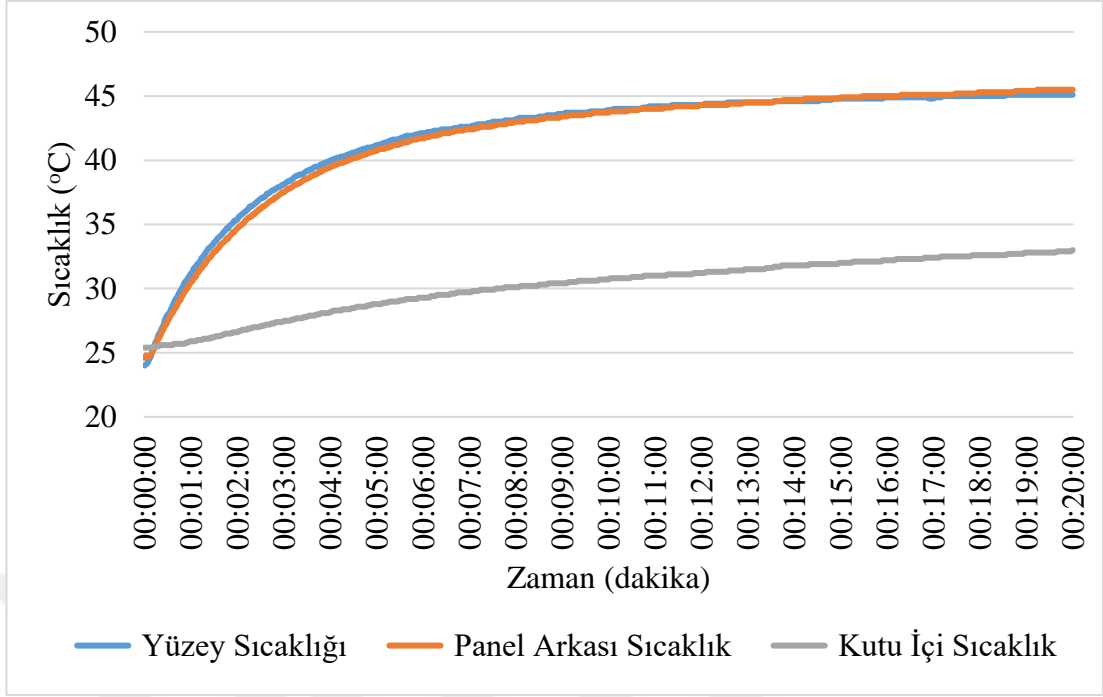
Şekil A.8. IR lamba etkisinde RAL7001C'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı



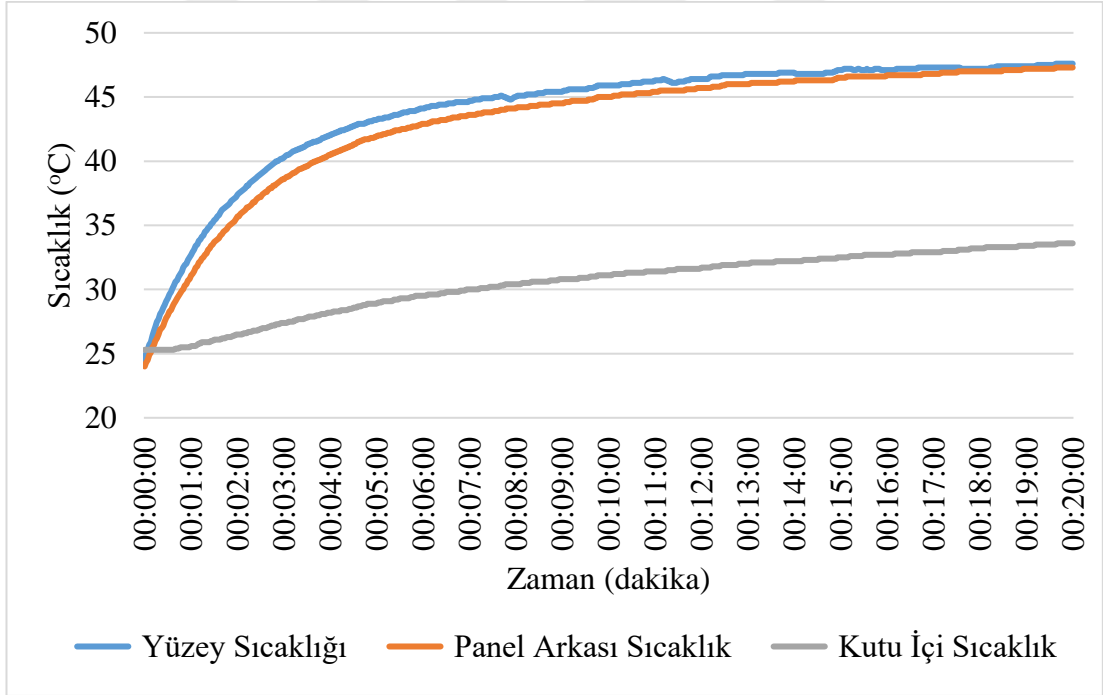
Şekil A.9. IR lamba etkisinde RAL5005S'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı



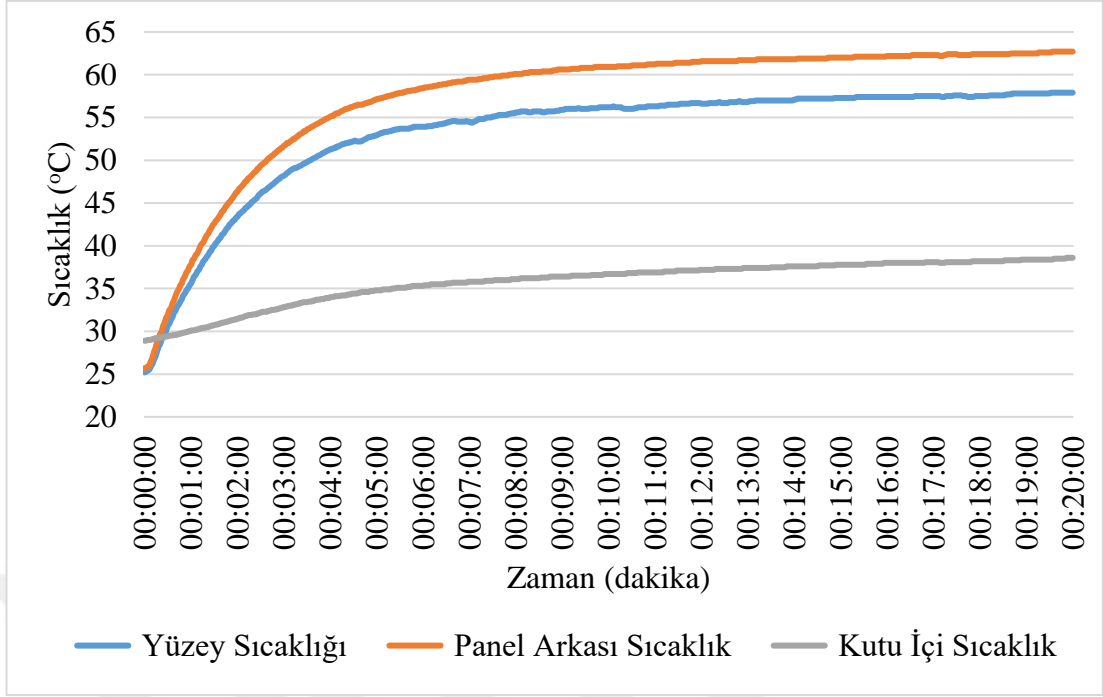
Şekil A.10. IR lamba etkisinde RAL5005C'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı



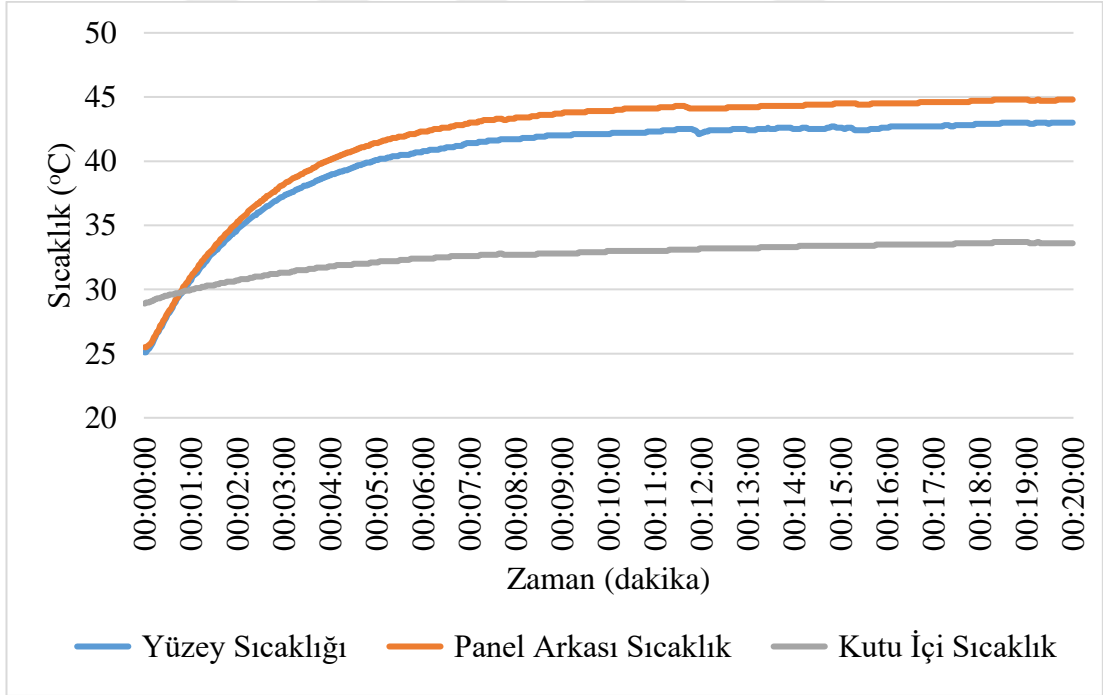
Şekil A.11. IR lamba etkisinde RAL3011S'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı



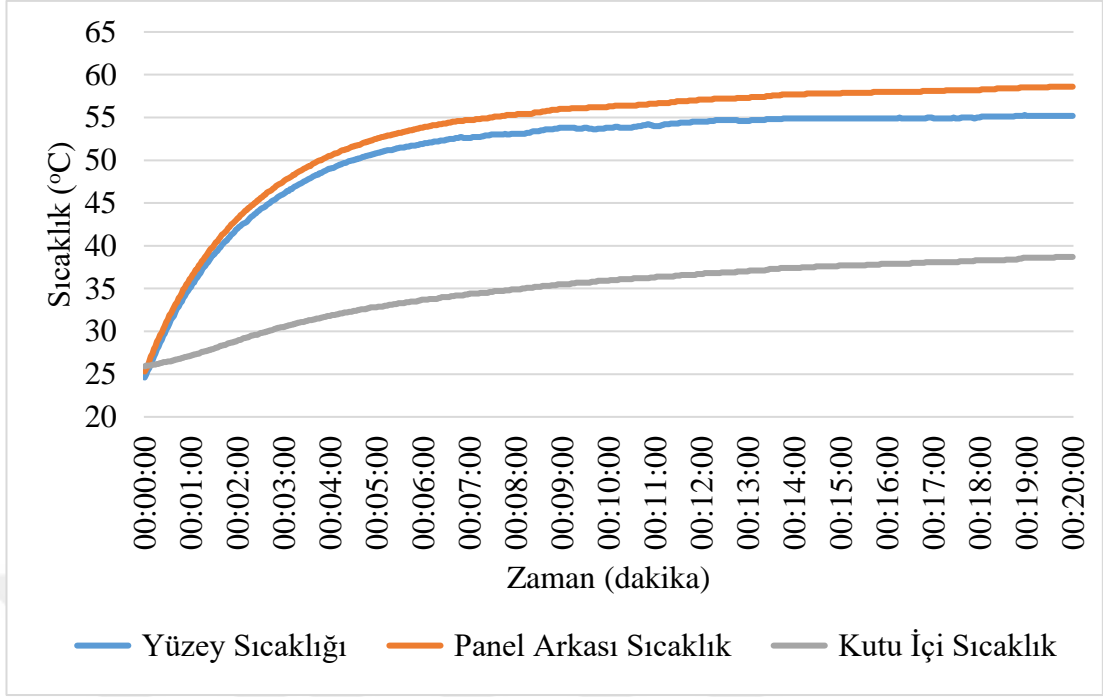
Şekil A.12. IR lamba etkisinde RAL3011C'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı



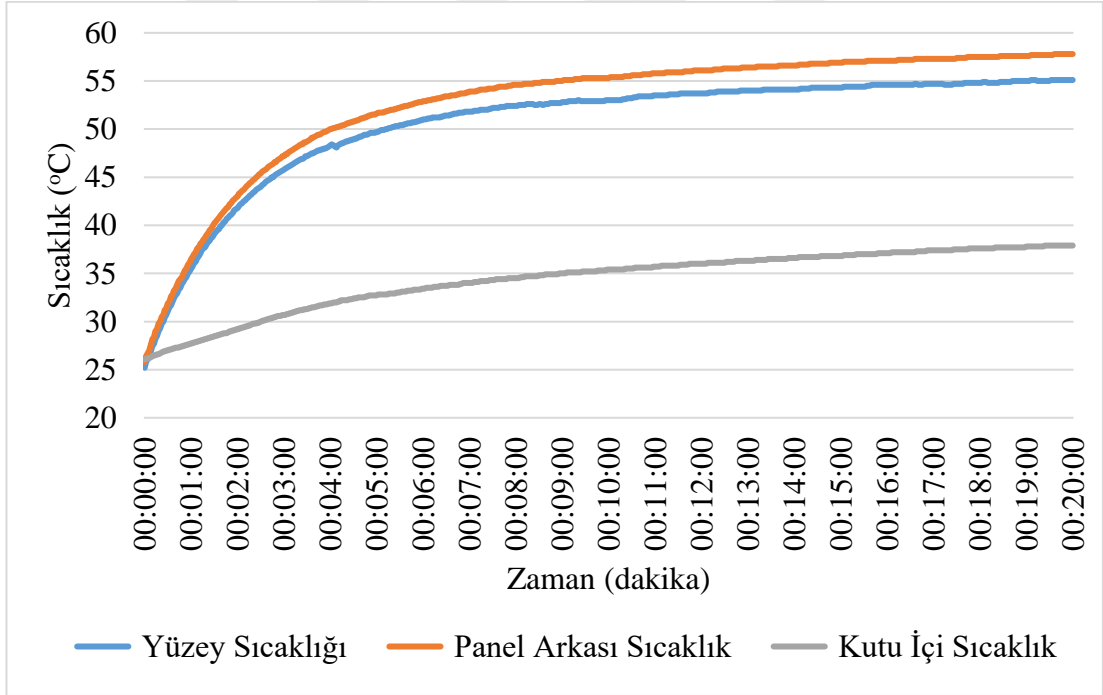
Şekil A.13. IR lamba etkisinde RAL9005S'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı



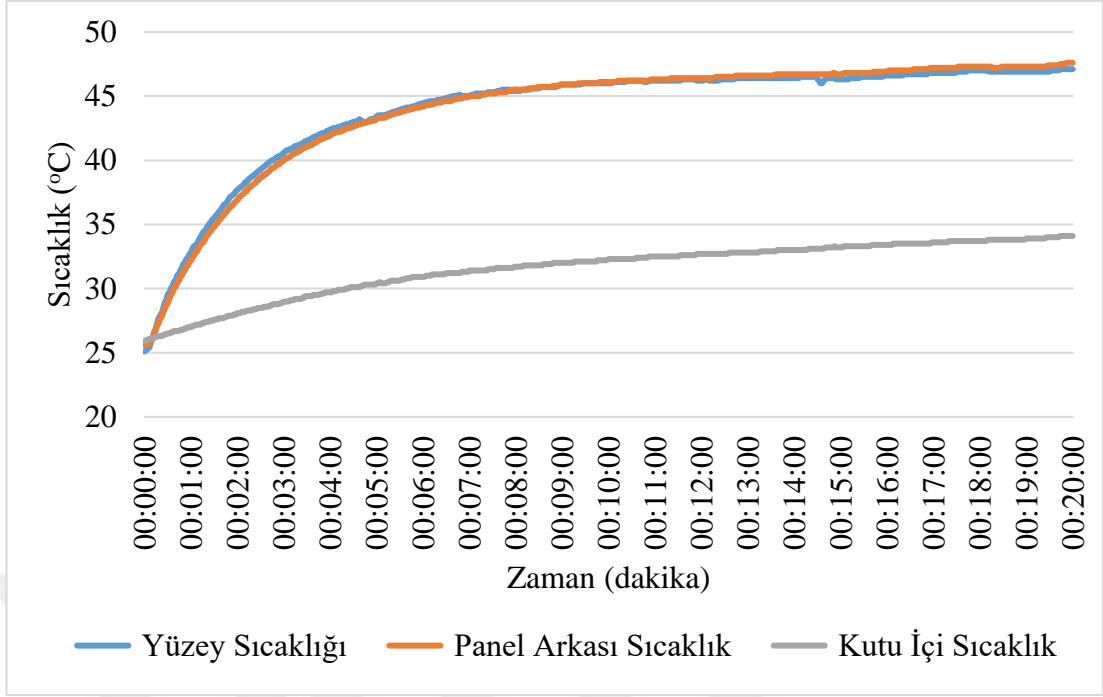
Şekil A.14. IR lamba etkisinde RAL9005C'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı



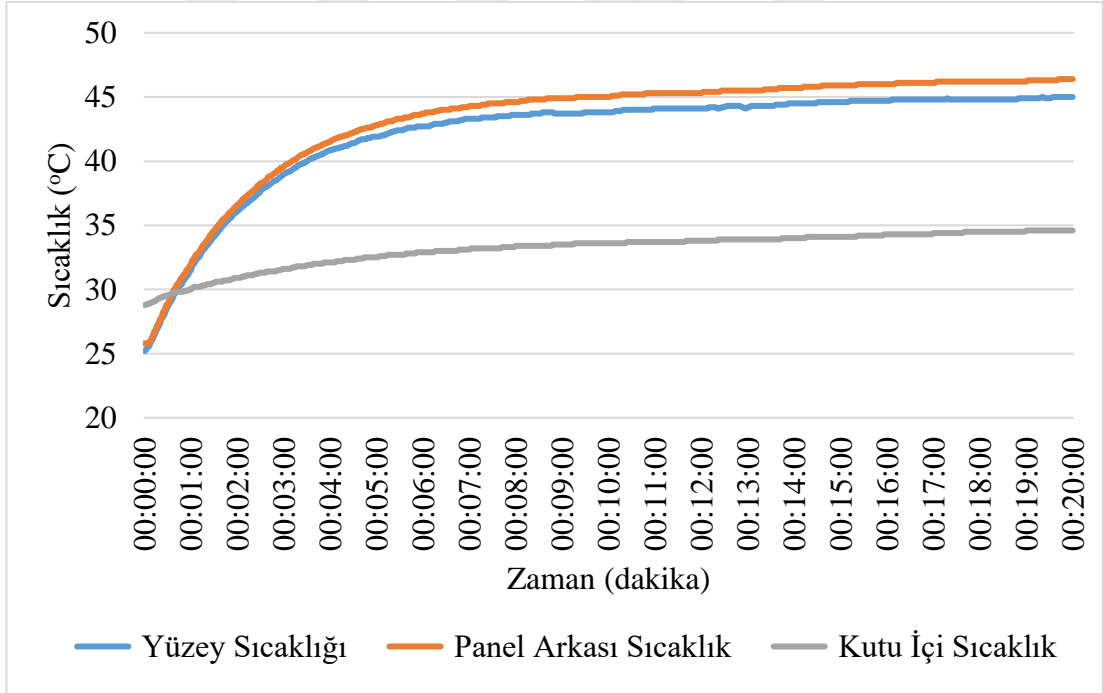
Şekil A.15. IR lamba etkisinde RAL7016S'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı



Şekil A.16. IR lamba etkisinde RAL7016S1'e ait zamana bağlı sıcaklık artışı

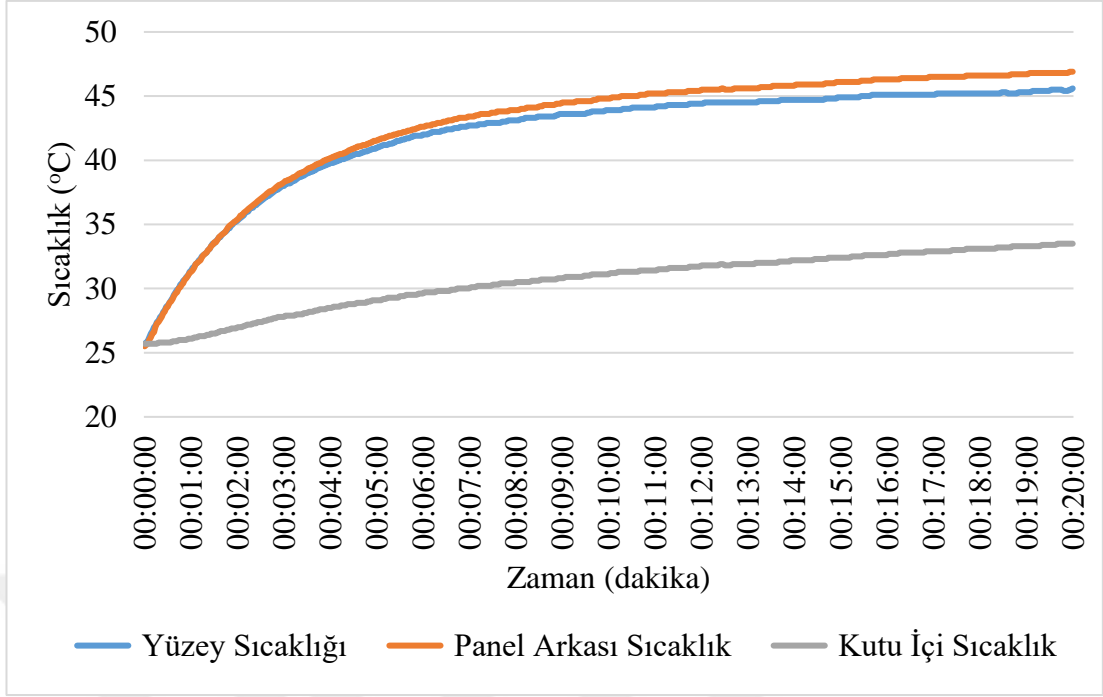


Şekil A.17. IR lamba etkisinde RAL7016C'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı

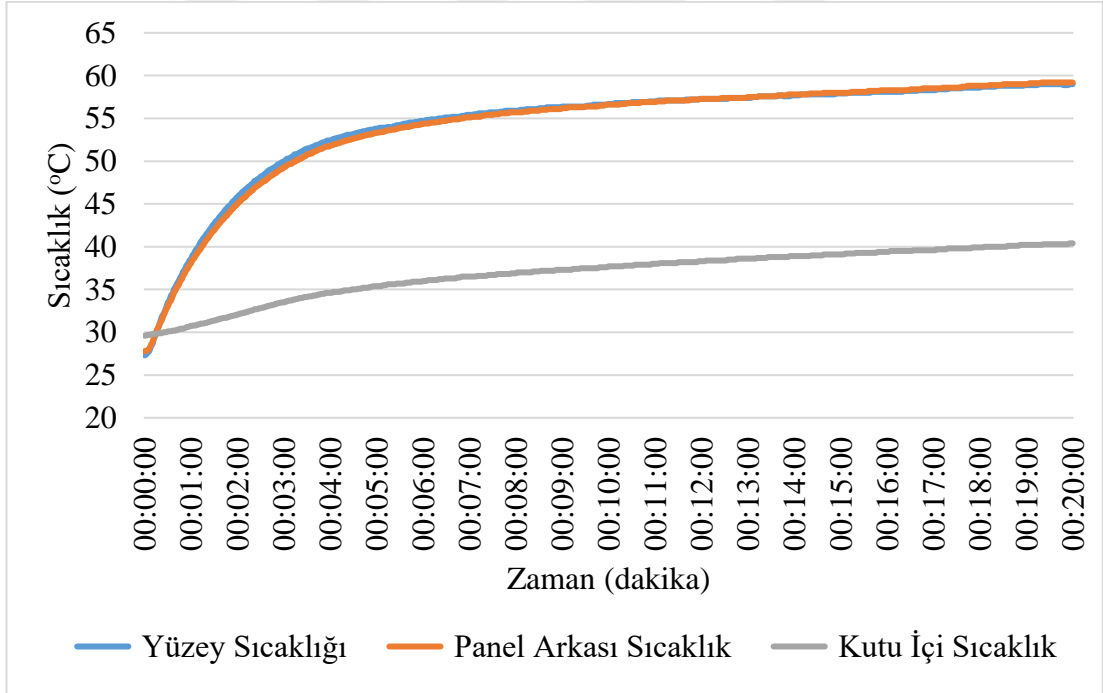


Şekil A.18. IR lamba etkisinde RAL9005AC1'e ait zamana bağlı sıcaklık artışı

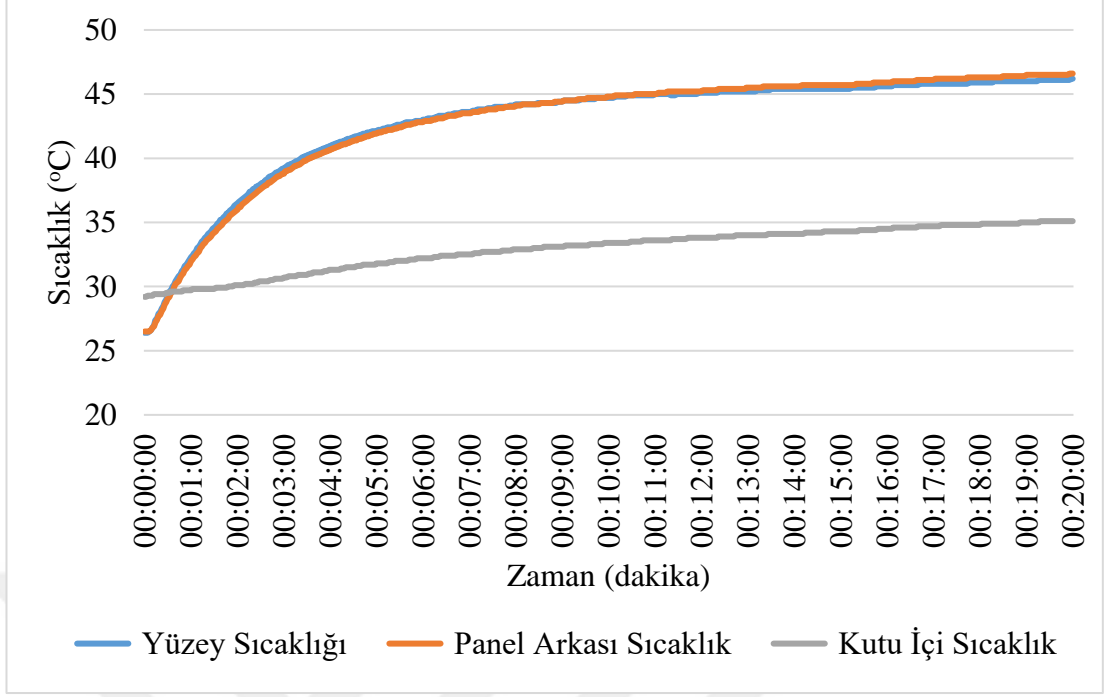




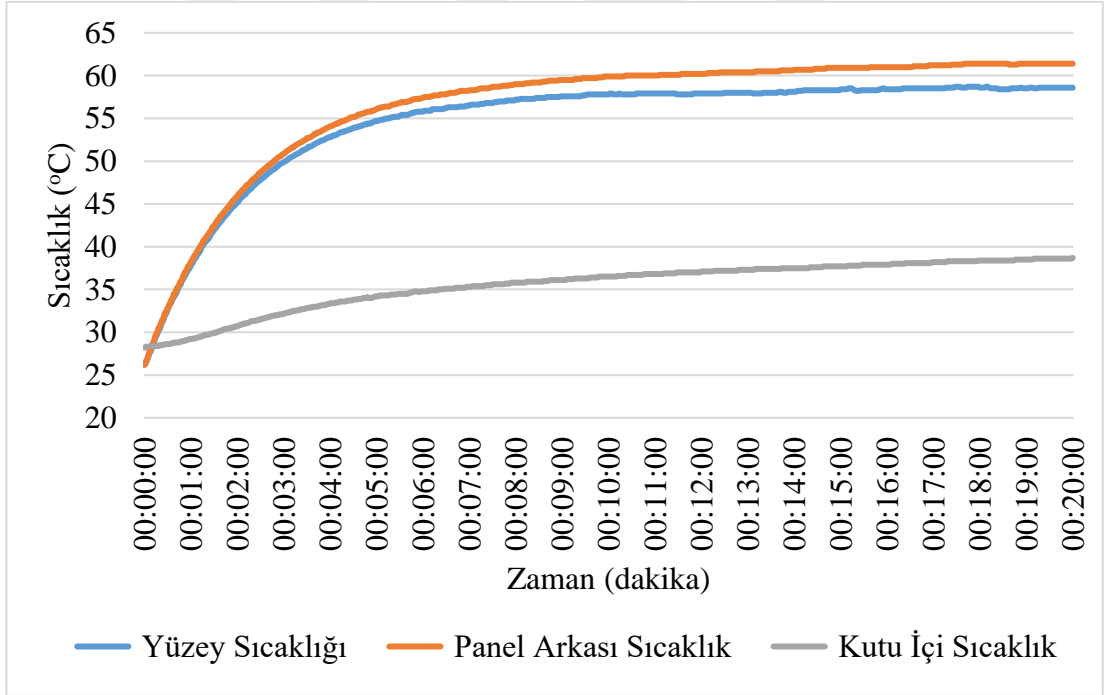
Şekil A.19. IR lamba etkisinde RAL9005AC2'e ait zamana bağlı sıcaklık artışı



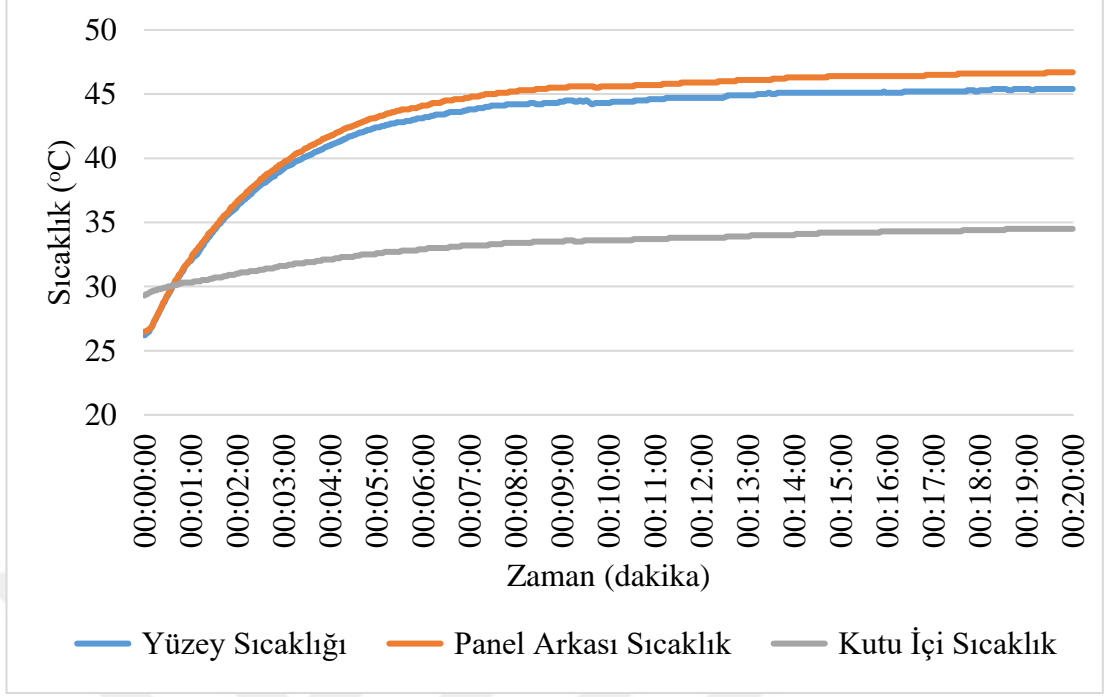
Şekil A.20. IR lamba etkisinde RAL9005DS'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı



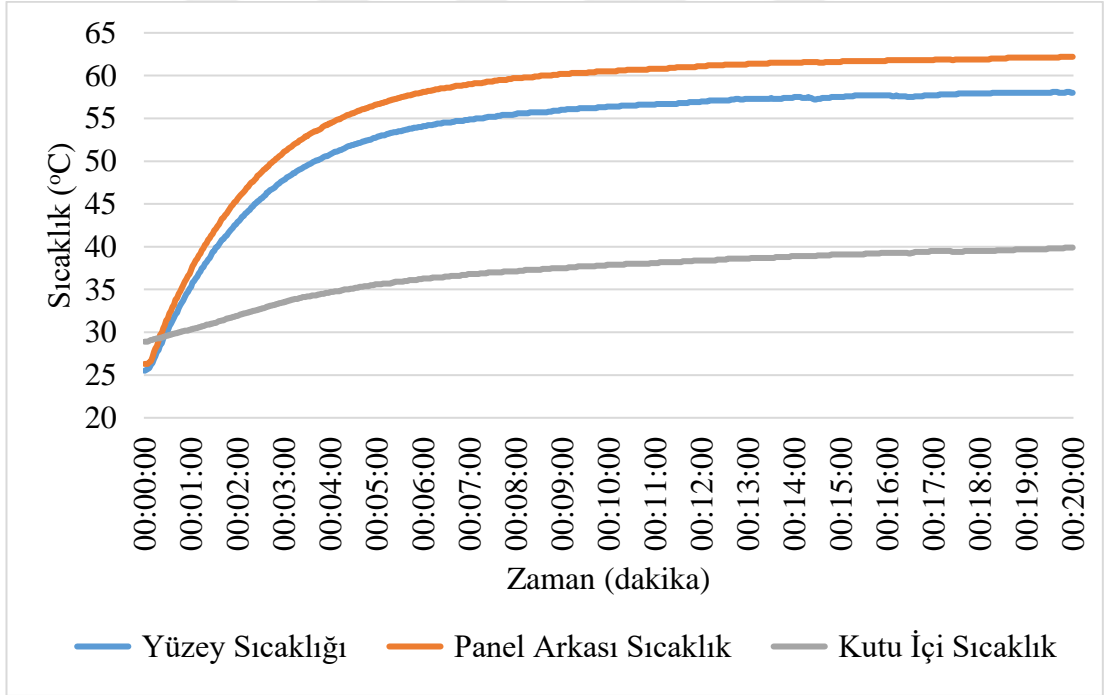
Şekil A.21. IR lamba etkisinde RAL9005DC'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı



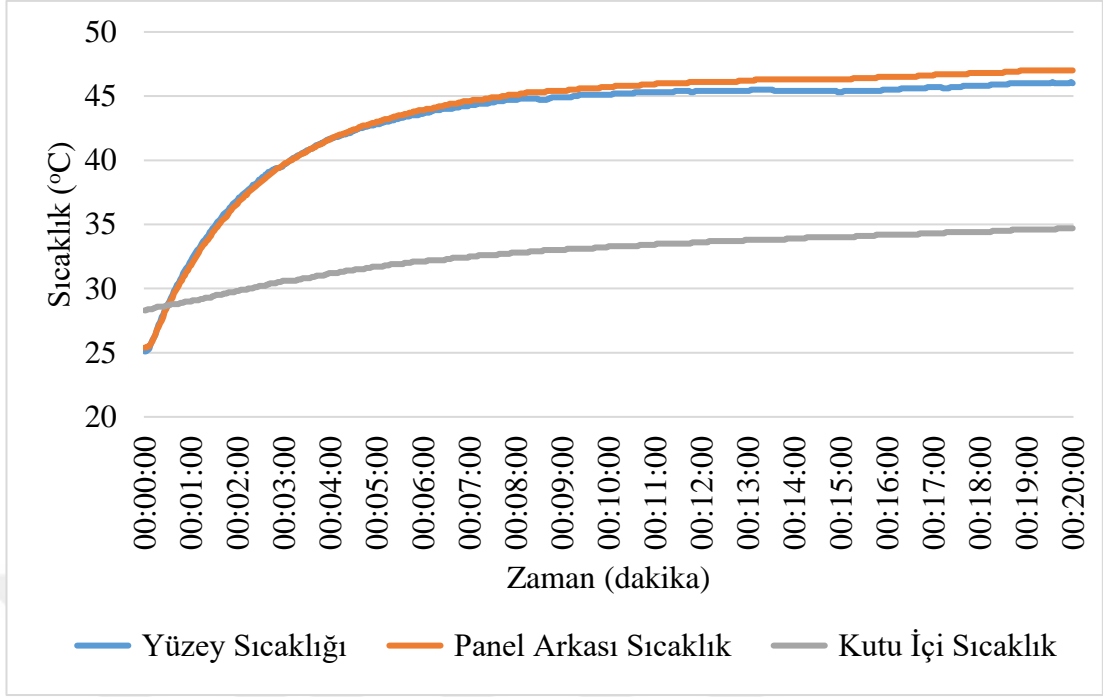
Şekil A.22. IR lamba etkisinde RAL9005MS'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı



Şekil A.23. IR lamba etkisinde RAL9005MC'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı



Şekil A.24. IR lamba etkisinde RAL9005TS'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı



Şekil A.25. IR lamba etkisinde RAL9005TC'ye ait zamana bağlı sıcaklık artışı

## **KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER**

**Akyol S., Özkoç G., Kızılötesi Işınları İleten Serin Kaplamaların Geliştirilmesi, 5. Uluslararası Bilimsel Çalışmalar Kongresi, Türkiye, 15-17 Mart 2021.**



## **ÖZGEÇMİŞ**

İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli’de tamamladı. 2008 yılında girdiği Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü’nden 2013 yılında mezun oldu. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır. Yüksek lisans öğrenimine halen devam etmektedir.

