

**İNFRARED YANSIMALI KAMUFLAJ BOYA FORMÜLASYONU VE  
PİGMENTLERİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Yavuz ARDAHANLIOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2006  
ANKARA**

Yavuz ARDAHANLIOĞLU tarafından hazırlanan İNFRARED YANSIMALI KAMUFLAJ BOYA FORMÜLASYONU ve PİGMENTLERİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç. Dr Muzaffer BALBAŞI  
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Kimya Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Serdar S. ÇELEBİ

Üye : Prof. Dr. Emine KILIÇ

Üye : Prof. Dr. Ahmet ALICILAR

Üye : Prof. Dr. M. Atilla MURATHAN

Üye : Yrd.Doç. Dr. Muzaffer BALBAŞI

Tarih : 16 / HAZİRAN / 2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Yavuz ARDAHANLIOĞLU

**İNFRARED YANSIMALI KAMUFLAJ BOYA FORMÜLASYONU VE  
PİGMENTLERİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Yavuz ARDAHANLIOĞLU**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
Haziran 2006**

**Ö Z E T**

Doğadaki bitki örtüsünün ve renklerinin görünür (380-700 nm) ve yakın infrared (700-900 nm) bölgelerde yansıma değerleri olduğu bilinmektedir. Doğadaki bitki örtüsüne ve rengine uyumlu yansıma değerlerini sağlayan boyalar; askeri amaçlı silah araç ve teçhizatlar için düşmanın çıplak gözü ve infrared türü gece görüş cihazlarına karşı koruma sağlar. İnfrared yansimalı boya formülasyonu MIL-STD-595 standardında ve Türkiye'nin bitki örtüsü dikkate alınmak suretiyle hazırlanmıştır. Yeşil pigment, asitte çözünmeyen kobalt, titan, çinko ve krom oksit karışımlarından meydana gelmektedir. Boyada kullanılan diğer pigmentler sırasıyla yeşil krom oksit, kırmızı demir oksit, sarı demir oksit, siyah demir oksit, açık krom oranj ve karbazol dioksazin menekşedir. Bu çalışmada, infrared yansimalı boyada kullanılan pigmentlerin etkisi ve boyanın uygulanabilirliği incelenmiştir. Hazırlanan infrared yansimalı kamuflaj boyanın kromatisite, görünür parlaklık, CIE LAB ( $L^*$   $a^*$   $b^*$ ) ve 320-1500 nm dalga boyundaki yansıma değerleri ölçülmüştür. Çalışmalar neticesinde; doğadaki yeşil renk bitki örtüsüne uyumlu infrared yansimalı kamuflaj boya hazırlanmıştır. Deney sonucunda, infrared yansimalı boya numunelerinin farklı açılarda gönderilen ışıklarda infrared yansıma değerlerinde bir değişme

olmadığı gözlenmiştir. Formülasyonu hazırlanan boya askeri amaçlı silah, araç ve teçhizatların düşmanın çıplak gözüne ve 450-750 nm dalga boyunda çalışan gece görüş yeteneğine sahip cihazlarına karşı koruma sağlamak amacıyla uygulanabilir.

Bilim Kodu : 912  
Anahtar Kelimeler : infrared, kamuflaj, boya  
Sayfa Adeti : 100  
Tez Yöneticisi : Yrd.Doç.Dr Muzaffer BALBAŞI

**FORMULATION OF INFRARED REFLECTION CAMOUFLAGE PAINT  
AND INVESTIGATION OF PIGMENT EFFECTS**

**(M.Sc.Thesis)**

**Yavuz ARDAHANLIOĞLU**

**GAZI UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**June 2006**

**ABSTRACT**

Natural plant cover and its color have certain reflection values in both visible (380-700 nm) and near infrared (700-900 nm) regions. Camouflage paint formulation that have reflection values appropriate to the natural plant cover provides protection for the military purpose weapons, vehicles and equipments against enemy naked eye and IRR type night vision devices. Acid insoluble green pigments predominately composed of cobalt, titanium, zinc and chromium oxides with other oxides permitted, chromium oxide, red iron oxide, yellow iron oxide, black iron oxide, chromium orange and carbazole dioxazine violet pigments containing green (MIL-STD-595 color standards, green 383 34094 color code) colored aliphatic polyurethane based infrared reflection camouflage paint is formulated by considering the plant cover of Türkiye. The chromaticity, visible brightness, CIE LAB ( $L^*$   $a^*$   $b^*$ ) and 320-1500 nm wavelength reflection values of the formulated infrared reflection camouflage paint are measured. CIE LAB color space are measured with respect to CIE 1976 color space at 2° observation angle. As a result of these studies, the aliphatic polyurethane based IRR camouflage paint is formulated which is appropriate to the green plant cover in nature. The formulated paint is applicable to the military purpose weapons, vehicles and equipments for protection against

**enemy naked eye and the night vision devices (working range 450-750 nm)**

**Science Code : 912**  
**Key Words : infrared, camouflage, paint**  
**Page Number : 100**  
**Adviser : Yrd.Doç.Dr Muzaffer BALBAŞI**

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Doç. Dr Muzaffer BALBAŞI'na yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Hocam Prof. Dr Ahmet ALICILAR'a, Doç. Dr Atilla MURATHAN'a, ayrıca laboratuvar çalışmalarımda bana yardımcı olan Kimya Mühendisi Alpay İNAL'a, DPT2001K120590 proje kodu ile çalışmalarımıza maddi katkı sağlayan Devlet Planlama Teşkilatına, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli arkadaşlarım Makine Mühendisi Ömer ERCAN ve Kimya Mühendisi Hüseyin KOCA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

|                                              | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------------|--------------|
| ÖZET .....                                   | iv           |
| ABSTRACT .....                               | vi           |
| TEŞEKKÜR.....                                | viii         |
| İÇİNDEKİLER .....                            | ix           |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....                   | xiii         |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....                     | xiv          |
| RESİMLERİN LİSTESİ.....                      | xvi          |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....                | xvii         |
| 1. GİRİŞ .....                               | 1            |
| 2. BOYA VE ÖZELLİKLER .....                  | 3            |
| 2.1. Bağlayıcılar .....                      | 3            |
| 2.2. Pigment ve Dolgu Malzemeleri .....      | 3            |
| 2.3. Çözücüler.....                          | 4            |
| 2.4. İlave Katkı Maddeleri .....             | 4            |
| 3. RENK VE RENK KARŞILAŞTIRILMASI .....      | 5            |
| 3.1. Işık .....                              | 5            |
| 3.2. Eklemeli Renk Karışımı .....            | 6            |
| 3.3. Eklemeli Renk Karışımı .....            | 8            |
| 3.4. CIE Renk Sistemi .....                  | 10           |
| 4. KAMUFLAJ VE İNFRARED YANSIMALI BOYA ..... | 14           |
| 4.1. Kamufraj ve Aldatmanın Önemi .....      | 14           |
| 4.2. İnfrared Radyasyonun Tanımı .....       | 16           |

|                                                                                 | <b>Sayfa</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 4.3. İnfrared Fotoğrafı .....                                                   | 17           |
| 4.4. İnfrared ile Isı Arasındaki İlişkiler .....                                | 18           |
| 4.5. Kamuflaj ve İnfrared Özellikli Boyanın Önemi.....                          | 19           |
| 4.6. İnfrared Yansımali Boyanın Özellikleri.....                                | 24           |
| 4.7. Toplama Küresi Teorisi.....                                                | 28           |
| 4.7.1. Kapalı küre içinde radyasyon değişimi .....                              | 29           |
| 4.7.2. Toplama küresi radyasyon eşitliği .....                                  | 31           |
| 4.7.3. Uzaysal toplama .....                                                    | 35           |
| 4.8. Toplama Küresi Uygulamaları.....                                           | 36           |
| 4.8.1. Radyometreler ve fotometreler .....                                      | 37           |
| 4.8.2. Malzemelerin yansması ve geçirgenliği .....                              | 37           |
| 5. MATERYAL VE YÖNTEM.....                                                      | 44           |
| 5.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar .....                            | 44           |
| 5.2. Yeşil Boyanın Hazırlanışı.....                                             | 45           |
| 5.3. Pigmentlerin Boyanın Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi .....             | 48           |
| 5.3.1. Yeşil ve karbon siyahı pigmentlerin etkisinin incelenmesi .....          | 48           |
| 5.3.2. Demir oksit kırmızı ve krom oksit yeşilin etkisinin<br>incelenmesi ..... | 49           |
| 5.3.3. Karbazol menekşe ve krom oksit sarının etkisinin<br>incelenmesi .....    | 51           |
| 5.4. Farklı Açılardan İnfrared Yansıma Değerlerinin İncelenmesi .....           | 52           |
| 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....                                                   | 53           |
| 6.1. İnfrared Yansıma Değerleri.....                                            | 53           |
| 6.2. Renk Uzayındaki Yerlerinin İncelenmesi .....                               | 55           |

|                                                                                           | <b>Sayfa</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 6.2.1. Boyanın standart değerleri .....                                                   | 56           |
| 6.2.2. Yeşil ve karbon siyahı pigmentlerin etkisi .....                                   | 57           |
| 6.2.3. Demir oksit kırmızı ve krom oksit yeşil pigmentlerinin etkisi ....                 | 58           |
| 6.2.4. Krom oksit sarı ve karbozel violet pigmentlerinin etkisi.....                      | 66           |
| 6.3. Farklı Açılardan Gönderilen Işığa Karşı İnfrared<br>Yansımalarının İncelenmesi ..... | 73           |
| KAYNAKLAR .....                                                                           | 77           |
| EKLER .....                                                                               | 78           |
| EK-1 UV/VIS/NIR spektrofotometresinin genel görünüşü .....                                | 79           |
| EK-2 UV/VIS/NIR spektrofotometresinin genel görünüşü .....                                | 79           |
| EK-3 150 mm toplama küresi ve. aparatını yerleştirme şekli .....                          | 80           |
| EK-4 150 mm toplama küresinin optik dizaynı .....                                         | 80           |
| EK-5 Yayma ve speküler yansıma için örnek konfigürasyonlar .....                          | 81           |
| EK-6 Yansıma ölçümü için numune bölümü .....                                              | 81           |
| EK-7 Transmission/Absorbans ölçümler için numune bölümü .....                             | 82           |
| EK-8 "Center Mounth Sample Holders" aparatı .....                                         | 82           |
| EK-9 Kimyasallar ve yardımcı maddelerin isimleri .....                                    | 83           |
| EK-10 Pigment ve dolgu maddelerinin özellikleri .....                                     | 84           |
| EK-11 Yeşil pigmentin infrared yansıma değerleri .....                                    | 85           |
| EK-12 Boya ilave edilen dolgu maddeleri .....                                             | 86           |
| EK-13 Yeşil pigment ve karbon siyahına ait formülasyonlar .....                           | 87           |
| EK-14 Krom oksit sarı ve demir oksit kırmızının formülasyonlar .....                      | 88           |
| EK-15 Krom oksit sarı ve karbozel violet ait formülasyonlar .....                         | 89           |
| EK-16 ÇALIŞMA-1'e ait yansıma değerleri.....                                              | 90           |
| EK-17 ÇALIŞMA-2'ye ait yansıma değerleri.....                                             | 90           |
| EK-18 ÇALIŞMA-3'e ait yansıma değerleri.....                                              | 91           |
| EK-19 ÇALIŞMA-4'e ait yansıma değerleri.....                                              | 91           |
| EK-20 ÇALIŞMA-5'e ait yansıma değerleri.....                                              | 92           |
| EK-21 ÇALIŞMA-6'ya ait yansıma değerleri.....                                             | 92           |
| EK-22 ÇALIŞMA-7'ye ait yansıma değerleri.....                                             | 93           |
| EK-23 ÇALIŞMA-8'e ait yansıma değerleri.....                                              | 93           |
| EK-24 ÇALIŞMA-9'a ait yansıma değerleri.....                                              | 94           |
| EK-25 ÇALIŞMA-10'a ait yansıma değerleri.....                                             | 94           |
| EK-26 ÇALIŞMA-11'e ait yansıma değerleri.....                                             | 95           |
| EK-27 ÇALIŞMA-12'ye ait yansıma değerleri .....                                           | 95           |
| EK-28 ÇALIŞMA-13'e ait yansıma değerleri.....                                             | 96           |
| EK-29 ÇALIŞMA-14'e ait yansıma değerleri.....                                             | 96           |
| EK-30 ÇALIŞMA-15'e ait yansıma değerleri.....                                             | 97           |
| EK-31 ÇALIŞMA-16'ya ait yansıma değerleri .....                                           | 97           |

|                                                        | <b>Sayfa</b> |
|--------------------------------------------------------|--------------|
| EK-32 <i>ÇALIŞMA-17</i> ye ait yansıma değerleri ..... | 98           |
| EK-33 <i>ÇALIŞMA-18</i> 'e ait yansıma değerleri ..... | 98           |
| EK-34 Tüm çalışmalara ait yansıma değerleri .....      | 99           |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                         | 100          |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                                                                                           | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1. Katkı maddeleri ve fonksiyonları .....                                                               | 4     |
| Çizelge 3.1. İkinci renklerin yansıttığı ve absorpladığı ışık.....                                                | 7     |
| Çizelge 3.2. Görünür ışık dağılımında algılanan renkler .....                                                     | 8     |
| Çizelge 3.3. İkincil renklerin karıştırılmasıyla elde edilen<br>rengin yansıttığı ve absorpladığı ışınlar .....   | 9     |
| Çizelge 3.4. Absorblanan ışık ile gözlenen renk arasındaki ilişki .....                                           | 10    |
| Çizelge 4.1. Renk ve yansıma değerleri.....                                                                       | 25    |
| Çizelge 4.2. Kırmızı ve infrared bölgeler için dalga boyu sınırları .....                                         | 26    |
| Çizelge 4.3. Açık yeşil, orman yeşili, koyu yeşil ve zeytin yeşili renklerin<br>yansıma değerleri sınırları ..... | 27    |
| Çizelge 4.4. Açık yeşil rengin yansıma değerleri sınırları .....                                                  | 28    |
| Çizelge 6.1. Kromatisite koordinatları, görünür parlaklık ve $L^* a^* b^*$<br>sonuçları .....                     | 57    |
| Çizelge 6.2. Kromatisite (x, y), görünür parlaklık (Y) ve $L^* a^* b^*$<br>sonuçları .....                        | 58    |
| Çizelge 6.3. Demir oksit sarı miktarı .....                                                                       | 65    |
| Çizelge 6.4. Krom oksit yeşil miktarı .....                                                                       | 65    |
| Çizelge 6.5. Kromatisite (x,y), görünür parlaklık ve $L^* a^* b^*$ sonuçları .....                                | 66    |
| Çizelge 6.6. Karbazol menekşe miktarı.....                                                                        | 72    |
| Çizelge 6.7. Krom oksit sarı miktarı .....                                                                        | 73    |
| Çizelge 6.8. İnfrared yansımali boya formülasyonu .....                                                           | 75    |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                                                                          | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 3.1. Işık ve renk tayfı .....                                                                                            | 6     |
| Şekil 3.2. CIE 1931 x y ve CIE 1964 $x_{10}$ $y_{10}$ kromatisite diyagramı .....                                              | 12    |
| Şekil 3.3. $L^*$ $a^*$ $b^*$ renk uzayı .....                                                                                  | 13    |
| Şekil 3.4. Örnek $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ renk uzayı değerlerinin karşılaştırılması .....                                         | 13    |
| Şekil 4.1. İki diferansiyel dağılım yüzeyi arasında radyasyon değişimi .....                                                   | 29    |
| Şekil 4.2. Bir dağılım yüzeyi içinde $dA_1$ ve $dA_2$ dağılımı .....                                                           | 30    |
| Şekil 4.3. Bir küreye port giriş ve çıkışı .....                                                                               | 31    |
| Şekil 4.4. Bir küre çarpanı ile yansıması grafiği .....                                                                        | 34    |
| Şekil 4.5. Yansıma sayısı ile bağlı radyasyon arasındaki grafik.....                                                           | 36    |
| Şekil 4.6. Küre giriş portuna numunenin yerleşme şekli.....                                                                    | 38    |
| Şekil 4.7. Yansıma ölçümlerinde portuna numunenin yerleşme şekli .....                                                         | 38    |
| Şekil 4.8. Yansıma ölçümlerinde değiştirme ve karşılaştırma küresi.....                                                        | 39    |
| Şekil 4.9. Yansıma ölçümlerinde, referans küre .....                                                                           | 40    |
| Şekil 4.10. Gerçek yansımanın ölçülen yansıma grafiği.....                                                                     | 41    |
| Şekil 4.11. Küreye karşılaştırma ve numuneyi yerleştirme şekli.....                                                            | 41    |
| Şekil 4.12. Küreye karşılaştırma ve numuneyi yerleştirme şekli.....                                                            | 42    |
| Şekil 5.1. Boyanın hazırlanışı ışık akış diyagramı .....                                                                       | 47    |
| Şekil 6.1. Açık yeşil, orman yeşili, koyu yeşil ve zeytin yeşili renklerin<br>infrared yansıma değerleri ve toleransları ..... | 53    |
| Şekil 6.2. Doğadaki bazı şekillerin yansıma değerleri.....                                                                     | 54    |
| Şekil 6.3. Karbon siyahı ve IRR yansımali siyahının yansıma<br>değerleri .....                                                 | 55    |
| Şekil 6.4. Boyanın kromatisite koordinatları diyagramı .....                                                                   | 56    |

| <b>Şekil</b>                                                                 | <b>Sayfa</b> |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 6.5. Demir oksit kırmızı miktarına karşı $a^*$ değerleri grafiği ..... | 59           |
| Şekil 6.6. Demir oksit kırmızı miktarına karşı $b^*$ değerleri grafiği ..... | 59           |
| Şekil 6.7. Demir oksit kırmızı miktarına karşı $x$ değerleri grafiği .....   | 60           |
| Şekil 6.8. Demir oksit kırmızı miktarına karşı $y$ değerleri grafiği .....   | 60           |
| Şekil 6.9. Krom oksit yeşil miktarına karşı $a^*$ değerleri grafiği .....    | 62           |
| Şekil 6.10. Krom oksit yeşil miktarına karşı $b^*$ değerleri grafiği .....   | 62           |
| Şekil 6.11. Krom oksit yeşil miktarına karşı $x$ değerleri grafiği .....     | 63           |
| Şekil 6.12. Krom oksit yeşil miktarına karşı $y$ değerleri grafiği .....     | 63           |
| Şekil 6.13. Karbazol menekşe miktarına karşı $a^*$ değerleri grafiği .....   | 67           |
| Şekil 6.14. Karbazol menekşe miktarına karşı $b^*$ değerleri grafiği .....   | 68           |
| Şekil 6.15. Karbazol menekşe miktarına karşı $x$ değerleri grafiği .....     | 68           |
| Şekil 6.16. Karbazol menekşe miktarına karşı $y$ değerleri grafiği .....     | 69           |
| Şekil 6.17. Krom oksit sarı miktarına karşı $a^*$ değerleri grafiği .....    | 70           |
| Şekil 6.18. Krom oksit sarı miktarına karşı $b^*$ değerleri grafiği .....    | 70           |
| Şekil 6.19. Krom oksit sarı miktarına karşı $x$ değerleri grafiği .....      | 71           |
| Şekil 6.20. Krom oksit sarı miktarına karşı $y$ değerleri grafiği .....      | 71           |

**RESİMLERİN LİSTESİ**

| <b>Resim</b>                                                               | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Resim 4.1. Kamuflaj renklere boyanmış araç fotoğrafı .....                 | 20           |
| Resim 4.2. Kamuflaj renklere boyanmış araç fotoğrafı .....                 | 21           |
| Resim 4.3. Kamuflaj renklere boyanmış araç fotoğrafı .....                 | 21           |
| Resim 4.4. Kamuflaj ile kamuflaj yapılmamış durumda görüntüler.....        | 22           |
| Resim 4.5. Kamuflaj ve infrared yansımanın etkisini gösteren fotoğraf..... | 23           |
| Resim 4.6. Kamuflaj ve infrared yansımanın etkisini gösteren fotoğraf..... | 24           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| <b>Simgeler</b>         | <b>Açıklama</b>     |
|-------------------------|---------------------|
| <b>nm</b>               | Nanometre           |
| <b>L<sup>*</sup></b>    | Açıklık-koyuluk     |
| <b>a<sup>*</sup></b>    | Kırmızılık-yeşillik |
| <b>b<sup>*</sup></b>    | Sarılık-mavilik     |
| <b>(-a<sup>*</sup>)</b> | Yeşillik            |
| <b>(+a<sup>*</sup>)</b> | Kırmızılık          |

| <b>Kısaltmalar</b> | <b>Açıklama</b>                        |
|--------------------|----------------------------------------|
| <b>CIE</b>         | Commission Internainale de l'Eclairage |
| <b>IRR</b>         | Infrared reflectance                   |
| <b>UV</b>          | Ultre violet                           |

## 1. GİRİŞ

Doğadaki bitki örtüsünün ve renklerinin görünür (380-700 nm) ve yakın infrared (700-900 nm) bölgelerde yansımaya değerleri olduğu çok iyi bilinmektedir. Bundan dolayı, doğadaki bitki örtüsü ve renklere uyumlu görünür ve infrared yansımaya değerlerini sağlayan boyalar; kamuflaj amaçlı silah araç ve teçhizatların düşmanın çıplak gözüne ve infrared türü gece görüş yeteneğine sahip cihazlarına karşı koruma sağlamak amacıyla kullanılabilir. Dünyada bu tür boyalar askeri amaçlı olması nedeniyle patentli olarak üretilmektedir. Bu nedenle; üreticilerin infrared boya formülasyonlarını başka ülkelere vermediği ve açık literatürde konuyla ilgili pek fazla yayın olmadığı bilinmektedir.

Ayrıca her ülkelerin kendi bitki örtüsünü tanımlayan bir infrared haritası olması gerekmektedir. Amerika Birleşik Devletleri, İtalya, İngiltere, Almanya vb. gelişmiş ülkelerin kendilerine ait infrared haritalarının olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada infrared yansımaya boya formülasyonu hazırlanırken, Nato ülkelerince kullanılan MIL-C-46168 (ME) numaralı standart esas alınmıştır. Ülkemizde üretimi olmayan ve kamuflaj amacıyla kullanılabilecek alifatik poliüretan esaslı infrared yansımaya yeşil boyanın formülasyonu için ülkemizin bitki örtüsü dikkate alınmıştır.

Dünya üzerindeki kara parçalarının %98'inin rengi beyaz (kar), yeşil (bitki) ve esmer (çöl ve kaya) renktedir. Çok az kısmı ise kırmızı ve kahverengi toprak ile kaplıdır. Bu renkler göz önünde bulundurulduğunda, kamuflajlı malzemelerin rengi, yapısı ve kullanım özellikleri yeşil, kahverengi ve siyah renklerine göre ayarlanabilmektedir. Dünyadaki bitki örtüsü dikkate alındığında renklerin kullanım yüzdeleri; %65 yeşil, %25 siyah ve %10 kahverengi olup, kullanılacak bölgeye göre tonlar değişmektedir. Türkiye'de bu renkler ve oranları MIL-STD-595 numaralı askeri renk standardına göre belirlenmiştir. Bölgeler bitki örtüsüne göre batı ve doğu olmak üzere ikiye ayrılmış ve sırasıyla renk tonları ve oranları %65 Yeşil (Green 383, 34094),

%25 Siyah (Black 37030), %10 Kahverengi (Brown 383, 30051) ve %65 Toprak sarısı (Eart yellow 33245), %25 Yeşil (Green 383, 34094), %10 Siyah (Black 37030) şeklindedir.

Asitte çözünmeyen yeşil pigment kobalt, titan, çinko ve krom oksit karışımlarından meydana gelmektedir. Bu çalışmada yeşil krom oksit, kırmızı demir oksit, sarı demir oksit, siyah demir oksit, açık krom oranj ve karbazol dioksazin menekşe pigmentleri kullanılarak MIL-STD-595 renk standardında poliüretan esaslı infrared yansımali kamuflaj boya formülasyonu hazırlanmış ve formülasyon da kullanılan pigmentlerin etkisi incelenmiştir. Formülasyonu hazırlanan infrared yansımali kamuflaj boyanın kromatisite koordinatları, görünür parlaklık,  $L^* a^* b^*$  ve 320-1500 nm dalga boyundaki yansıma değerleri spektral reflektans prensibine göre ölçülmüştür. Sonuçlar, CIE LAB  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , kromatisite (Bir rengin niteliğini koordinat sistemi ile belirleyen özellik) koordinatları ve görünür parlaklık değerleri CIE 1931 standart kolorimetrik sistemine göre 2° standart gözlemciye göre değerlendirilmiştir. Boya formülasyonunda ağırlıkça %20-25 miktarında pigment kullanılmıştır. Kullanılan pigment cinsleri MIL-C-46168(ME) standardına göre belirlendi.

Çalışmalar neticesinde; formülasyonu hazırlanan boyanın kamuflaj amaçlı silah, araç ve teçhizatların düşmanın çıplak gözüne ve 450-750 nm dalga boyu aralığında çalışan gece görüş yeteneğine sahip cihazlarına karşı korumak amacıyla uygulanabileceği değerlendirilmiştir. Böylece infrared boya yönünden yurt dışına bağımlı olan ülkemizin bu bağımlılıktan kurtulacağı ve kendi milli koruma sistemimizin oluşturulmasında önemli bir basamak taşı olacağı düşünülmektedir.

## **2. BOYA VE ÖZELLİKLERİ**

Boya, koruyucu ve dekoratif amaçlı bir kaplama malzemesidir. Boya; imalatı esnasında kullanılan hammadde ve yarı mamul malzeme cinsine göre dört ana grupta toplanır. Bunlar sırasıyla bağlayıcılar, pigment ve dolgu malzemeleri, çözücüler ve ilave katkıları olarak isimlendirilir.

### **2.1. Bağlayıcılar**

Bağlayıcı, pigment parçalarını, düzgün boya filmi oluşturmak üzere bağlar ve aynı zamanda boyanın yüzeye yapışmasını sağlayan boyanın ana hammaddesidir. Boyanın koruyucu özelliği bağlayıcıların oluşturduğu filmin dayanıklılığına bağlıdır. Bağlayıcının cinsi ve miktarı, boyanın yıkanabilirlik, sertlik, yapışma ve renk dayanımı gibi performans özelliklerini belirler. Başlıca bağlayıcı tipleri olarak alkid, poliüretan, epoksi ve silikon reçineleri sayılabilir. Boyalar kullanılan bağlayıcı cinsine göre de sınıflandırılabilir. Ayrıca poliüretan boyalar zincirin yapısına göre alifatik ve aromatik poliüretan boya olarak isimlendirilir [1-2].

### **2.2. Pigment ve Dolgu Malzemeleri**

Pigmentler, renk verme, örtücülük, direnç ve yansıma özelliği sağlayan boyanın ana katkı maddeleridir. Pigmentler genel olarak üç sınıfta gösterilebilir; inorganik, organik ve özel pigmentler. İnorganik pigmentler doğaldır ve etkili örtücülük sağlar, fakat renk seçenekleri sınırlıdır. İnorganik pigmentlere krom sarıları, krom yeşilleri, karbon siyahları, prusya mavileri örnek olarak verilebilir. Organik pigmentler üretim sürecinde kullanım hacmi düşük olmasına rağmen, çok pahalı bir pigment türü olmasından dolayı maliyetleri yüksektir. Ürün fiyatı renk seçimine bağlı olarak büyük değişimler gösterir. Organik pigment üreticileri arasında BASF, Ciba, Clariant ve ICI gibi üreticiler bulunmaktadır. Özel pigmentlerin %70'ini otomotiv sanayi için üretilen metalik boyada kullanılan alüminyum oluşturur. Geriye kalan %30'u

da sedef boya teşkil etmektedir. Dolgu malzemeleri, boyayı matlaştırmak, dış koşullara karşı dayanıklılığı sağlamak ve dolgu malzemelerin dolgu gücünden faydalanarak maliyeti azaltmaktadırlar. Dolgu malzemelerine titan dioksit (aynı zamanda pigment olarak kullanılır), kalsit, barit ve talk örnek verilebilir [1-2].

### 2.3. Çözücüler

Katı ve viskoz bağlayıcıları (reçineleri) kimyasal yapılarını bozmadan inceltmek ve boyayı kullanmadan önce viskozitesini ayarlamak amacıyla kullanılırlar. Boyalar kullanılan çözücüler ve kurutucu tipine göre ayrıca sentetik ve selülozik boya olarakta isimlendirilir [1-2].

### 2.4. İlave Katkı Maddeleri

Boyanın çökmesini önlemek, kurummasını ayarlamak, UV direncini artırmak, imalat esnasında ıslatmayı kolaylaştırmak vb. amaçlarla kullanılan ilave katkılardır. Katkı maddelerinin önemli türleri ve boyadaki fonksiyonları Çizelge 2.1’de verilmiştir [1-2].

Çizelge 2.1. Katkı maddeleri ve fonksiyonları

| Katkı maddeleri         | Fonksiyonu                                                                    |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Dispersanlar            | Pigmentlerin dağılmasını sağlamak,                                            |
| Yüzey ajanları          | Yüzeyi düzgünleştirir, kayganlaşmasını sağlamak ve yüzey sertliğini ayarlamak |
| Köpük kesiciler         | Boyadaki havanın dışarıya atılmasını sağlamak                                 |
| Viskozite ayarlayıcılar | Boyanın rahat sürülmesini sağlamak ve damlamasını engellemek,                 |
| Çökme önleyici          | Pigment ve dolgu maddelerin dibe çökmesini önlemek,                           |
| Bakteri önleyiciler     | Bakterileri öldürmek,                                                         |
| Antifriz                | Donmayı engellemek,                                                           |

### 3. RENK VE RENK KARŞILAŞTIRILMASI

#### 3.1. Işık

Işık uzayda çok hızlı hareket eden elektromanyetik dalgadır. Bu elektromanyetik dalganın boyu 6000 nm ile 0,0005 nm arasında değişebilmektedir. Işığın tamamının gözümüz tarafından algılanması mümkün değildir. Işığın gözümüzün algılayabildiği (gördüğü) bölümüne görünür ışık bölgesi denir. Bu bölge, 400 nm ile 700 nm dalga boyu ile sınırlıdır [3-4].

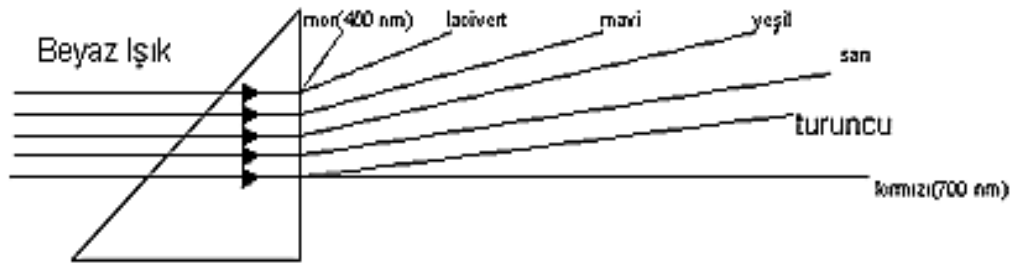
Gün ışığı beyaz renkte bir ışıktır. Homojen bir yapıda değildir. Farklı dalga boyundaki ışıklar bir araya gelerek gün ışığını meydana getirir. Eğer gün ışığını bir prizmadan geçirecek olursak gün ışığını oluşturan ve her biri farklı dalga boyundaki ışıklara ve renklere ayrılır. Bu her bir farklı dalga boyundaki ışıklar bizim “renk” diye adlandırdığımız, kavramı meydana getirirler. Bu renkli ışık demetleri tekrar birleştirilirse beyaz gün ışığı meydana gelir. Beyaz ışığın kendisi oluşturan farklı dalga boyundaki renkli ışıklarına ayrılmasına ışık tayfı, veya renk tayfı denir.

Işık tayfı incelendiği zaman; mordan kırmızıya doğru çeşitli renkler oluşur. Bu renkler alt alta sıralanırsa beyaz ışık şu renklerin birleşiminden oluşur. Sıralama en büyük dalga boyundan küçüğe doğrudur.

- Kırmızı 700 nm
- Turuncu
- Sarı
- Yeşil
- Mavi
- Lacivert
- Mor 400 nm

Gün ışığının bileşiminde en küçük dalga boyuna sahip olan ışınma 400 nm ile mordur. 400 nm den daha küçük dalga boyuna sahip ışımaya Ultraviyole (UV) adı verilir.

Görünür spektral ışık bir prizmadan veya su damlaları gibi dispers bir ortamdan geçirildiği zaman, görünür spektrumu, Şekil 3.1'deki gibi renk ve dalga boyları aralıkları elde edilir.



Şekil 3.1. Işık ve renk tayfı

Elde edilen bu renk serisine spektrum denir. Bu renk serisi bir prizma yardımıyla tekrar toplanırsa beyaz ışık elde edilir. Bunun yanında beyaz ışık yalnızca kırmızı, mavi ve yeşil renkli ışınların birleştirilmesiyle de elde edilebilir. Çünkü bu üç rengin her biri spektrumun yaklaşık 1/3 ünü oluşturur. Bunların arasındaki diğer spektrum renkleri bu renklerin girişimiyle oluşmuştur. Doğada gördüğümüz diğer renkler spektrumu oluşturan renklerin birbiriyle karışımı sonucunda meydana gelmektedir. Renk karışımlarını belirleyen iki ayrı yöntem vardır.

### 3.2. Eklemeli Renk Karışımı

Beyaz ışık, ışığın temel (primer) renkleri olan, kırmızı, yeşil ve mavi renklerin birbirine karıştırılmasıyla oluşur. Bu temel renkler, diğer iki temel rengin karıştırılmasıyla oluşturulamazlar. Bu temel renklerin ışıkları eşit miktarda karıştırılmasıyla aşağıdaki ikincil (sekonder) renkler oluşmaktadır:

- Kırmızı + Mavi = Magenta
- Kırmızı + Yeşil = Sarı
- Mavi + Yeşil = Siyan(Cyan)

Beyaz ışık bir yüzeye çarparak yansıdığı zaman, yüzey mavi ışığı absorbe eder kırmızı ve yeşil ışığı yansıtır ve gözlemci ışığı sarı renkte görür. Aynı şekilde, magenta rengi de, yeşil ışığın absorbe edilip, kırmızı ve mavi ışığın yansıtılması ile gözlemci ışığı magenta renkte görür. Cyan ise, kırmızı ışık absorbe edilip yeşil ve mavi ışık yansıtıldığında gözlenir. Pratikte, absorbe edilmemiş ışığın bir bölümü geriye yansıtılmadan önce, ara yüzeylerin altına girer, kırılır ve yüzey bloğundaki parçacıklarda dağılarak, renkli yüzeyin görünüşünü değiştirir.

Primer renklerin ikişer ikişer karıştırılmasıyla elde edilen sekonder renkler bir cismin rengi olarak düşünüldüğünde cisim tarafından hangi ışınların absorplanıp hangilerinin yansıtıldığı Çizelge 3.1’de verilmiştir [3-4].

Çizelge 3.1. İkinci renklerin yansıttığı ve absorpladığı ışık

| Cismin Rengi    | Yansıtılan Işık | Absorplanan Işık |
|-----------------|-----------------|------------------|
| Magenta         | Kırmızı + Mavi  | Yeşil            |
| Sarı            | Kırmızı + Yeşil | Mavi             |
| Cyan (Turkuvaz) | Mavi + Yeşil    | Kırmızı          |

Eklemeli (additive) renk karışımı renkli televizyonlarda olduğu gibi ışık demeti kombinasyonlarında uygulanır.

Görünür spektrumu; Çizelge 3.2’de verilen dalga boylarındaki renkleri kapsar. Renk spektrumunun göz ile görülebilmesinin nedeni de yüzeyde yansımanın ve absorbsiyonun değişik bölgelerde üst üste gelmesidir.

Çizelge 3.2. Görünür ışık dağılımında algılanan renkler

| Dalga Boyu (nm) | Algılanan Renk |
|-----------------|----------------|
| 380-400         | Menekşe        |
| 400-435         | İndigo         |
| 435-480         | Mavi           |
| 480-490         | Yeşilimsi mavi |
| 490-500         | Mavimsi yeşil  |
| 500-560         | Yeşil          |
| 560-580         | Sarımsı yeşil  |
| 580-595         | Sarı           |
| 595-605         | Portakal rengi |
| 605-740         | Kırmızı        |

### 3.3. Çıkarmalı Renk Karışımı

İnsanlara en çok tanidik gelen renk karışımı yöntemi; temel renklerden elde edilen sarı, magenta ve turkuvaz ikincil renklerinin çıkarmalı (subtractive) renk karışımıdır. Çıkarmalı renk karışımı yöntemi, boya ve pigment alanında geçerli geniş aralıktaki renkleri elde etmekte kullanılır. Ayrıca substraktif yöntemle sekonder renklerin ikili karışımından primer renkler elde edilir. Çok iyi bilindiği gibi, sarı ve mavi pigment veya boyanın karışımından yeşil renk elde edilmektedir.

- Mavi bölgede sarı ışık absorbe edilir,
- Kırmızı bölgede turkuvaz ışık absorbe edilir.
- Böylece karışım kırmızı ve maviyi absorbe eder ve yalnızca yeşili yansıtır.

İkincil renklerin karıştırılmasıyla elde edilen rengin yansıttığı ve absorbladığı ışınlar Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. İkincil renklerin karıştırılmasıyla elde edilen rengin yansıttığı ve absorpladığı ışınlar

| Renk Karışımı             | Yansıyan Işık(Cismin Rengi) | Absorplanan Işık       |
|---------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Magenta + Sarı            | Kırmızı                     | Yeşil + Mavi           |
| Sarı + Turkuvaz           | Yeşil                       | Mavi + Kırmızı         |
| Turkuvaz + Magenta        | Mavi                        | Kırmızı + Yeşil        |
| Turkuvaz + Magenta + sarı | Renk yok (siyah)            | Kırmızı + Yeşil + Mavi |

İkincil renklerin değişik miktarda karıştırılması ile üç temel rengin dışındaki renkler de elde edilebilir. Çok az miktarda magenta ile sarı karıştırıldığında turuncu, bir miktar turkuvaz ile magenta karıştırılırsa purpur da denilen kırmızı-mor renk oluşur. Değişik miktarda ikişer ikişer kullanılan sekonder renklerden tam bir renk tonu çemberi elde edilir.

Renk teknolojistleri tarafından boya veya pigment malzemelerinin genel özellikleri tanımlanırken şu üç görünür özelliği kullanılır; renk (Hue), güç veya derinlik, parlaklık veya matlık. Renk(Hue) baskın olarak yeşil, mavi, sarı, kahverengi gibi tanımlanan renklerdir .

- Şiddet : Seçilmiş bir standarda göre belirli miktar boyanın renk ürünüdür, derinlik ile eşanlamli kullanılır.
- Derinlik : Diğer bütün değişkenler sabitken (görünüş değişkenleri gibi) renklendirici miktarındaki artışla bağlantılı olarak artan renk kalitesidir.
- Matlık : Küçük miktarlardaki nötr gri eklenmesinin etkisi ile karşılaştırılabilecek renk kalitesindeki artıştır, fakat güç ayarlamasıyla aynı sonucu vermez.
- Parlaklık : Matlığın tersidir.

Tek bileşenli boyanın kesin rengi (Hue) ve buna göre herhangi diğer bir bileşikle karışımı, onun absorpsiyon özelliklerine bağlıdır; örneğin, hem dalga boyu ( $\lambda_{max}$ ) hem de molar absorpsiyon katsayısı ( $\epsilon_{max}$ ) veya absorpsiyon

maksimumunun yüksekliğine. Aynı zamanda eğrinin altında kalan alanın şekli ve büyüklüğü (bant genişliği) ile de değişir Absorplanan ışık ile gözlenen renk arasındaki ilişki Çizelge 3.4’de verilmiştir [3-4].

Çizelge 3.4. Absorblanan ışık ile gözlenen renk arasındaki ilişki

| Dalga Boyu (nm) | Renk                   | Gözlenen Baskın Renk   |
|-----------------|------------------------|------------------------|
| 400-430         | menekşe-mavi           | sarı                   |
| 430-470         | mavi                   | portakal rengi         |
| 470-500         | mavi-yeşil             | portakal rengi-kırmızı |
| 500-540         | yeşil                  | kırmızı-pembe          |
| 540-570         | sarı-yeşil             | pembe                  |
| 570-590         | sarı                   | menekşe                |
| 590-610         | portakal rengi         | mavi                   |
| 610-700         | portakal rengi-kırmızı | yeşilimsi mavi         |

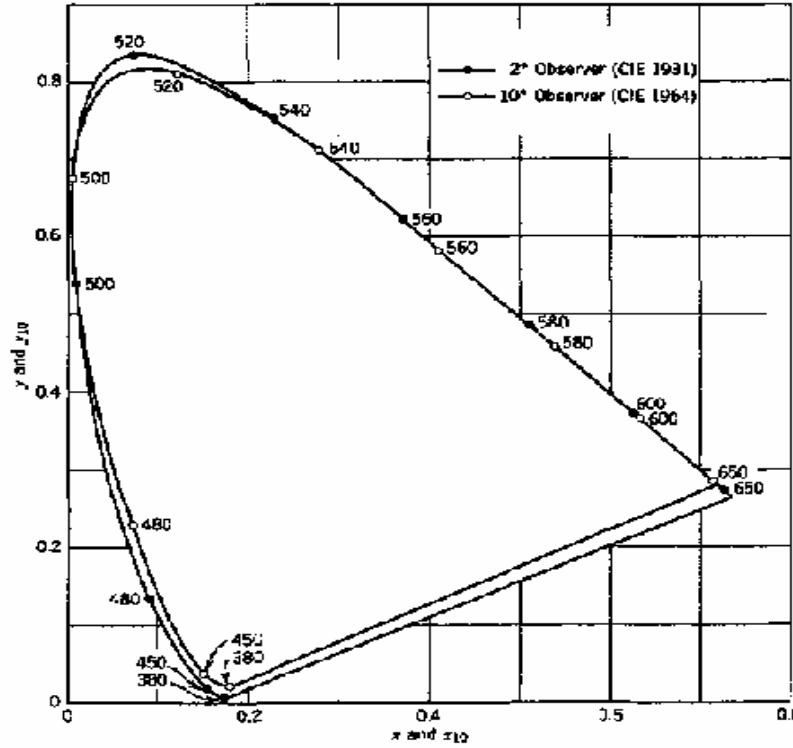
### 3.4. CIE Renk Sistemi

Bir boya veya pigmentin rengini tanımlarken kullanılacak kelimelerdeki problem çok subjektif olunmasıdır. İnsanlar ürünün kırmızı olduğunda hemfikir olabilirler ama herhangi bir renk derecesinde gül kırmızısı veya ateş kırmızısı olabilir yani argümanlar sonsuzdur. Ek olarak bir rengin görünüşü farklı koşullarda çevrenin rengi ve ışık koşullarına bağlı olarak değişik görünebilir. Bu zorluklar bir boya fabrikası veya boya dükkanında bir rengi yeniden tanımlamak gerektiğinde renk teknolojistleri için pratikte büyük önem taşımaktadır [4-5]. Bunun üstesinden gelebilmek için yıllar boyunca CIE (Commission Internationale de l’Eclairage) tarafından standart bir sistem geliştirilerek, CİE kolorimetrik sistem oluşturulmuştur. Bu sistemin amacı, kesin bir rengi, kelimelerle tanımlamaktansa, kırmızı, yeşil ve mavi ana renk kaynaklarını karıştırarak yapmayı sağlayabilmektir. CIE kolorimetrik sistemi ilk kez 1931’de tanımlanmış ve CIE 1931 standart kolorimetrik sistemi olarak adlandırılmıştır. CIE 1931 2° standart gözlemciye göre tristimulus (X, Y, Z) ve

kromatisite koordinatlarını (x y) kapsamaktadır. Kromatisite; bir rengin niteliğinin kromatisite koordinatları ile tarif edilmesi olarak tanımlanır. CIE 1931 standart kolorimetrik sistemde; kromatisite koordinatları(x, y) tristimulus (X Y Z) değerlerinden hesaplanmaktadır [5].

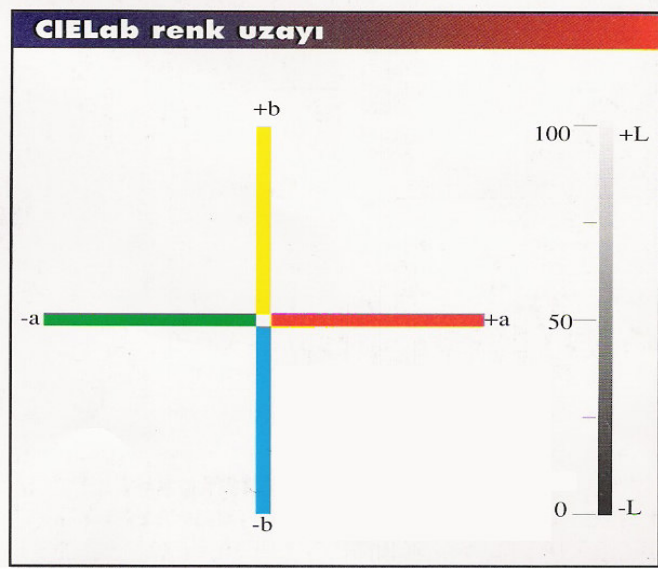
$$x = \frac{X}{(X + Y + Z)} \quad y = \frac{Y}{(X + Y + Z)}$$

Burada X, Y, Z üçlü uyamcı ( tristimulus) değerlerdir. Herhangi bir rengin tristimulus değeri, CIE standart gözlemciye (2°) göre 5 nm aralıklarla 380-780 nm dalga boyu aralığındaki referans olarak verilen x, y, z (renk-karşılaştırma fonksiyonları) değerlerini kullanılarak hesaplanır. CIE renk sistemi 1964'de 10° gözlemciye göre hesaplanmış ve CIE 1964 tamamlayıcı standart kolorimetrik sistemi olarak adlandırılmıştır. CIE 1964 10° gözlemciye göre tristimulus (X<sub>10</sub> Y<sub>10</sub> Z<sub>10</sub>) ve kromatisite koordinatlarını (x<sub>10</sub> y<sub>10</sub>) kapsamaktadır. CIE 1964 standart kolorimetrik sisteminde de aynı şekilde yukarıdaki formüller kullanılarak kromatisite koordinatları (x<sub>10</sub> y<sub>10</sub>) hesaplanmaktadır. CIE 1931 x y ve CIE 1964 x<sub>10</sub> y<sub>10</sub> kromatisite koordinatları diyagramı Şekil 3.2'de verilmiştir [5].

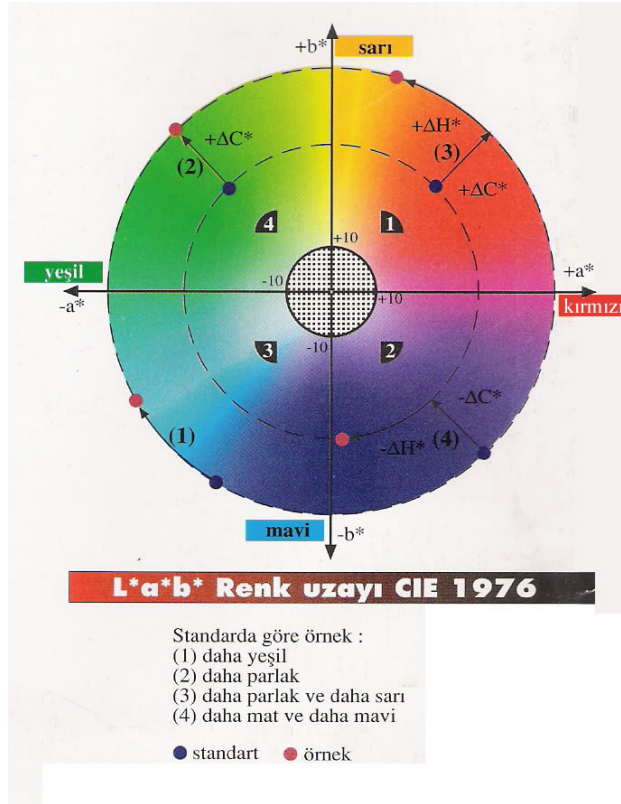


Şekil 3.2. CIE 1931  $x$   $y$  ve CIE 1964  $x_{10}$   $y_{10}$  kromatisite koordinatları diyagramı

CIE renk sistemi, 1976' da geliştirilerek  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  değerlerinin ilavesi CIELAB renk skalası olarak adlandırılmıştır. Bu sistemde renk uzayının üç boyutlu doğası göz önüne alınır. İsimlendirmek gerekirse, Hue (renk vermek), doyum (siyah renkte beyaz ve tonlarının olmaması) ve ışık (parlaklı) olarak adlandırılır. CIELAB renk uzayında  $L^*$  koordinatı açıklık ve koyuluğun bir ölçüsüdür, mükemmel siyah 0 (sıfır) ve mükemmel beyaz 100 olur;  $a^*$  kırmızıya (+a) ve yeşil (-a);  $b^*$  sarı (+b) ve mavi (-b) olur. Bu parametreler kullanılarak herhangi bir renk için kesin bir tanım yapılabilir. Boya ve pigment endüstrisindeki renk uzmanları tarafından kullanılan sistem CIELAB olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3.3'de  $L^*$   $a^*$   $b^*$  renk uzayı, Şekil 3.4'de  $L^*$   $a^*$   $b^*$  renk uzayı değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Ayrıca 1976 yılında CIELUV renk skalası ilave edilmiştir. Renk skalasında  $u^*$  pozitif kırmızıyı ve negatif yeşili,  $v^*$  pozitif sarıyı ve negatif mavi rengi göstermektedir. CIELUV genellikle görüntü endüstrilerinde kullanılan sistemdir [5].



Şekil 3.3.  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  renk uzayı skalası



Şekil 3.4. Örnek  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  renk uzayı değerlerinin karşılaştırılması

## 4. KAMUFLAJ VE İNFRARED YANSIMALI BOYA

### 4.1. Kamufraj ve Aldatmanın Önemi

İnsanlar, kamufraj sayesinde kendisini çevreye karşı gizlemeye başlamadan çok zaman önce bu davranış hayvanlar aleminde başarılı bir şekilde kullanılmaktaydı. Hayvanlar aleminde kamufraj olayı Mimese ve Mimikry olarak ikiye ayrılır. Mimese de hayvan cansız bir cisim gibi görünmek maksadıyla renk ve vücut biçimini fondaki zemine uydurmaya çalışır. Örneğin; yeşil çim üzerindeki kurbağa gibi. Mimikry ise daha ilginçtir. Çünkü aldatmaya nazaran kamufrajla az ilgilidir. Zararsız bir sineğin sarı-siyah renkleri sayesinde tehlikeli bir arı gibi görünmesi ve bu sayede hayatta kalması mükemmel bir "Mimikry"dır. Bu iki kamufraj yöntemi yaklaşık yüz yıldır uçakları, gemileri, araçları ve binaları bir savaş durumunda düşmanın gözünden saklamak için insanoğlu tarafından da sıkça kullanılmaktadır. İnsanoğlu daha eski çağlardan itibaren kamufraj ve aldatma prensiplerini farkında olmadan kullanmaya başlamıştır. Buna yönelik ilk bilgiler Robin Hood efsanesinde yer almaktadır. Efsaneye göre Robin Hood ve adamlarının orman renginde kıyafetler giymekteydiler. Bu çok mantıklı görünmektedir. Çünkü daha üstün bir güce karşı yürütülen savaşı kazanmak, arazide iyi kamufle olmakla mümkün olabilir. Robin Hood'un gerçekten yaşayıp yaşamadığı kesin olmamakla beraber, kesin olan şudur ki, tenekeden yapılmış zırhları giyen düşmanlarının bu kıyafetleri kamufraj ve gizlenme ile kesinlikle bağdaşmıyordu. Aksine o zamanlar gizlenme düşmandan korkmak anlamına geliyordu. Kutsal topraklardaki haçlı askerleri hiçbir zaman Müslümanların taktiklerini benimseyememişlerdi. Aksine açık arazide savaşmayı seviyorlardı. Kamufrajın bu kadar uzun süre göz ardı edilmesinin ana sebeplerinden birisi, büyük savaşların genellikle "savaş alanı" olarak adlandırılan açık arazilerde adam adama mücadele şeklinde yapılıyor olmasıdır. Çoğunlukla savaşlar için sonbaharın gelmesi beklenirdi. Çünkü o zaman tarladaki ürünler hasat edilmiş oluyordu. Kullanılan silahların kısa menzilli olması ve insan hayatına değer vermeyen savaş düzenlerinin

kullanılması kamuflajı lüzumsuz hale getiriyordu. İlk ateşli silahların kullanılması ile birlikte farklı renkli üniformalar halen ortadan kalkmamıştı. Savaşı yöneten komutanlar barut dumanından kararmış savaş alanında dost ve düşmanı ayırt edebilmek amacıyla askerleri için özellikle kırmızı, mavi, sarı ve beyaz gibi göz alıcı renkleri tercih ediyorlardı. Portekizli bir askeri yazar 16. Yüzyılda şöyle yazmıştır. “Bir asker savaşta kolayca fark edilebilmek için kiremit kırmızısı, beyaz, mavi, sarı ve eflatun renklerdeki kumaşlardan yapılmış kıyafetler giymelidir ve bu renkler birbirlerine karıştırılmalıdır; bu motive edici renkler askerlerin kendilerini savaş alanında göstermelerine imkan verir. Yeşil gibi arazi üzerinde dikkat çekmeyen renkler ise isteksiz askerler içindir.”

Kamuflaj renklerin bu şekilde garip kullanımı 19. Yüzyılın sonuna kadar devam etmiştir. Ancak o zamanlar dahi istisnalar mevcuttur. Özellikle İngilizlerin daha 400 yıl önce kamuflajlı renkli üniformalara yönelik ilk deneyleri yapmış oldukları anlaşılmaktadır. Böylece 1595 yılında İrlanda’daki görevi için mat yeşil ve kırmızı kahverengi tavsiye edilmiştir. 1754-1763 yıllarındaki Kuzey Amerika’daki İngiliz-Fransız koloni savaşlarında Mayer Rogers komutası altındaki “Ranger”ler muhtemelen dünyanın tamamen yeşil üniforma giyen ilk birliğidir. 1881-1882 yıllarındaki Mısır savaşında İngiliz birliklerinin giydiği gri kumaş kıyafet ilk savaş kıyafeti olarak kabul edilmektedir. Almanya’da Johann Wolfgang ve Goethe’ye kadar hiç kimse renklerin etkilerini ele almamıştır. 1810 yılında yayınlanmış olan “Renklerin Öğretisi” adlı kitabında örneğin sıcak ve soğuk renklerle kırmızı, mavi ve sarı ana renkleri tasvir etmiştir. O zaman içinde Almanya’da kamuflaj renkleri söz konusu değildi. Yeni ve göze batmayan üniformalarla ilgili ilk deneylere ancak 1905 yılında başlanabilmiştir. İki yıl sonra kara kuvvetlerine resmi renk olarak giren “gri-yeşil” renk tonu “arazi-grisi” olarak adlandırılmış ve 1908 yılından itibaren araçların, silahların ve askeri teçhizatın boyanmasında yüzey boyası olarak kullanılmıştır. Üniforma haricindeki askeri malzemelerin kamuflaj amaçlı boyanması bu yüzyılda başlamıştır. 1908-1945 yılları arasında tüm üniforma ve askeri malzemeler “arazi-grisi” renklerle

boyanmaktaydı. Bu renk tonu; günümüzde kullanılan RAL 6006 zeytuni grinin biraz daha yeşilce tonudur.

#### **4.2. İnfrared Radyasyonun Tanımı**

İnfrared radyasyonun mevcudiyeti 1809 yıllarında İngiliz filozofu William HERSCHEL tarafından keşfedilmiştir. Bir cam prizmadan geçirilen güneş tayfının, görünür bölgesinin ötesine yerleştirilen termometreler vasıtasıyla infrared ışıklar incelenmiştir. Sürpriz olarak nitelendirilen bu incelemede William HERSCHEL, gözle görünmeyen, henüz inceleme safhasında olan bu ışıkları termometre vasıtasıyla ölçebileceğini ortaya çıkarmıştır. Diğer bir deyimle; görünen ve bilinen ışıktan farklı bir radyasyonun mevcudiyeti söz konusudur [6].

İnfrared dalga bölgesi elektromanyetik spektrumun görünür ışık ve mikrodalga bölgesi arasında uzanır. İnfrared dalga, yakın, orta ve uzak infrared olmak üzere üç bölgeye ayrılır. Bunlardan yakın infrared, dalga boyu olarak görülebilen ışığa en yakın olanıdır. Uzak infrared elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesine en yakın olanıdır.

İnfrared; ışığa benzer, toplanabilir ve objektif ile aynalardan yansıtılabilir. Işıktan farklı tarafları da vardır. Işık kimyevi madde olan solüsyondan geçmez, fakat infrared geçer. İnfrared enerji halinde yayıldığında boşlukta ışık süratinde ilerler. Enerji ışınlarını, frekansları vasıtasıyla saptamak mümkündür. Yüksek frekanslı radyasyonun dalga boyu kısa, alçak frekanslı radyasyonun dalga boyu uzundur. İnfrared radyasyon, takriben 700 nm ile 2500 nm arasında geniş dalga uzunluklarına sahiptir [6-7].

- Ultraviyole bölge : 295-400nm
- Görünür bölge : 400-700 nm
- İnfrared bölge : 700-2500 nm

İnfrared radyasyonun ana kaynağı, ısı yada termal radyasyon olduğu için, bir sıcaklığa sahip herhangi bir cisim infrared dalga yayımlar. Soğuk olduğunu düşündüğümüz objeler bile, bir buz küpü gibi, infrared yayar. Bir obje görünür ışın yaymak için yeterince sıcak olmadığı zaman enerjisinin çoğunu infrared bölgede yayacaktır. Örneğin sıcak odun kömürü ışık yaymaz ancak infrared dalgalar yaydığı için biz sıcaklığını hissederiz. Objeye ne kadar sıcaksa o kadar infrared dalga yayacaktır [6-7].

İnsanlar infrared ışığı görme kabiliyetinde değildir, ancak yılanların özellikle de çingiraklı yılanların infrared ışığa karşı duyarlı alanları oldukları fark edilmiştir. Bu durum, yılanlara karanlıkta bile, daha derinlerde olan sıcak kanlı hayvanların algılanması fırsatını verir.

İnfrared film, bir cismin güneşten (ya da diğer kaynaklardan) yayılan infrared ışığın yansıtılmış yada soğurulmuş miktarını görür. Yansıtılmış yada soğurulmuş bu infrared, kırmızı, yeşil, mavi ve infraredin bir kombinasyonu olarak cismin rengini belirlemeye yardım eder.

#### **4.3. İnfrared Fotoğrafı**

Işınlar ışığa duyarlı bir yüzeye kaydedilebilir. İnfrared ışınlara duyarlı filmlere infrared film, IR filmlerle yapılan fotoğraflara da infrared fotoğraf denir. Pratikte pek çok kullanım alanı vardır. Yalnız fotoğraf amaçlı kullanımı diğer kullanım amaçlarına göre çok küçük bir bölümü tutar. Esas kullanım askeri ve bilimsel alanlardadır [6-7]. Bunların dışında :

- Kararmış, silinmiş ve okunamayan belgelerin okunmasında,
- Resimlerde verniğin altındaki ilk katın incelmesinde (ünlü resimlerin taklitlerinin ortaya çıkarmada),
- Yapay kamuflajların ortaya çıkarılmasında,
- Büyük ormanlık alanlarda, hasta ağaçların tespiti ve hastalığın yayıldığı alanların tespitinde,

- Bitki örtüsünün incelenmesinde,
- Tarım ürünlerinin tahmini rekolte miktarının tayininde kullanılır.

İnfrared filmler, fotoğrafta özel efektler verirler ve ton kaymaları yaparlar. Sağlıklı bitkilerin yaprakları gün ışığını emer, infrared olarak yansıtırlar ve görüntüde yeşillikler beyaz renkte gözükür. Mavi gökyüzü infrared ışınları soğurduğu için infrared fotoğraflarda mavi gökyüzü rengi siyah renk olarak görünür. Ayrıca bütün sular infrared ışınlarını soğurduğu için infrared filmde siyah olarak görünür. Bulutlar infraredi geçirirler ve beyaz renklerinde bir değişim meydana gelmez ve kendine özgü renk verirler [6-7].

Yerküreyi görüntülemek için infrared fotoğraflar kullanılmasının sebebi, kara yüzeyinden bulutları ayırt etmek ve daha fazla ayrıntıyı görünür bölgedekinden daha kolay ayıt edilmesidir. Daha koyu renkli bulutlar daha sıcak, daha açık renkli bulutlar da daha soğuktur. Bu özellik, bulut yapısının incelenmesi için oldukça faydalıdır [6-7].

#### **4.4. İnfrared ile Isı Arasındaki İlişkiler**

Gözle görmediğimiz infrared radyasyonu Hava Kuvvetleri tarafından keşif hizmetleri amacıyla kullanılmaktadır. Dünya üzerindeki bütün cisimler gece gündüz kendi özellikleri ve çevre etkisine bağlı olarak değişik miktarda radyasyon yaymaktadırlar. Cisimlerin kendi özellikleri arasında 'ısı' da vardır. Isı ile infrared arasında yakın ilişki olmasına rağmen bazı farklıklar da vardır. Bunlar kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir [6-7].

- İnfrared ısıyı elektromanyetik enerjiye sahip olmasına karşın, ısı mekanik enerjiye dönüştürülebilir.
- İnfrared moleküllerin hareketinden, ısı ise moleküllerin sürtünmesinden meydana gelmektedir.
- İnfraredin frekansı vardır, ısıнын frekansı yoktur.

- İnfraredin dalga boyu olmasına karşın, ısıнын dalga boyu yoktur.
- İnfrared bir vakum içinde hareket eder, ısıнын nakli için bir ortama ihtiyaç vardır.
- İnfrared hissedilmez, ısı ise hissedilebilir.

Görüntü yorumlamalarında, infrared fotoğrafların analiz edebilmesi için ısı ile infrared arasındaki farkların çok iyi bilinmesi gerekir. Isı, moleküler düzeydeki bir mekanik enerjidir. Herhangi bir cisim ısıtıldığı zaman hakiki ısıısına dönebilmek için belirli bir miktarda ısı yayımlar. Bütün cisimler moleküllerden meydana gelmiştir moleküller bir veya birden fazla atomun kimyasal bağlarla bağlanmasıyla elde edilir. Bazı moleküller içerisinde yüzlerce veya hatta binlerce atom vardır. Moleküller enerjiyi soğurur ve tutar, enerjinin soğurulması, moleküllerin hareket etmesine sebep olmaktadır. Katı cisimlerde moleküller ileri geri hareket etmekle titreşim hareketini meydana getirirler. Isı, moleküllerin hareket etmesi suretiyle ve birbirleri ile çarpışmak suretiyle iç enerji olarak meydana gelir.

#### **4.5. Kamufraj ve İnfrared Yansımali Boyanın Önemi**

Kamufraj düşman tarafından görülmeyi önlemek için alınan tedbirler olup görölme kelimesi siyah-beyaz veya renkli fotoğraflarla veya optik aletlerle (Gece görüş cihazları, termal kamera vb. cihazlar) tespit anlamında kullanılmaktadır. Parlaklık farkı, renk farkı, uzaklığa bağlı yansıma farkı, doku farklılığı görme ve ayırma işlemlerini etkileyen önemli unsurlardır. Doğada bulunan toprak, çimen, ağaç, kum gibi maddelerin dokusu uzaktan mat görünmesine karşın, yakından incelendiğinde parlak olduğu görünmektedir. Dolayısıyla, kamufraj boyaların dokusu mat görünüm sağlayacak yapıda olmalıdır. Bu unsurlar göz önüne alınarak gözle tespiti engelleyici veya zorlaştıracı bir kamufraj yapmak mümkündür. Kamufraj işlemi;

- Kamufle edilmesi istenilen cismi üzerinde bulunduğu zeminin rengine boyamak,
- Boyanmış cisim üzerine bir ağ gererek kullanılan boyanın dokusunu, rengini ve desenini bulunduğu zemine uydurmak,
- Cismi göze çarpmayan bir yere yerleştirmek şeklinde yapılmaktadır.
- Kamufleme ile ilgili örnek fotoğraflar Resim 4.1, Resim 4.2 ve Resim 4.3'de verilmiştir [7].



Resim 4.1. Kamuflej renklere boyanmış araç fotoğrafı

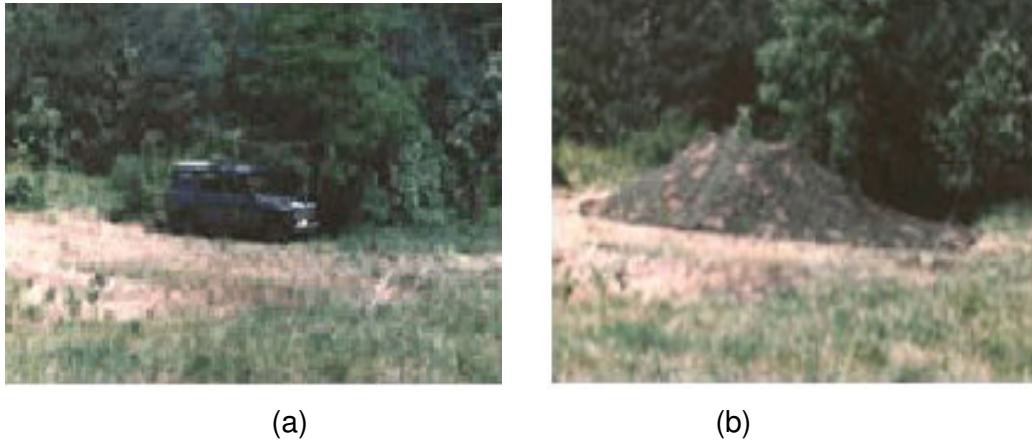


Resim 4.2. Kamuflaj renklere boyanmış araç fotoğrafı



Resim 4.3. Kamuflaj renklere boyanmış araç fotoğrafı

Boyanmış araç üzerine bulunduğu zeminin dokusuna, rengine ve desenine uygun boyanmış gizleme ağı örtmek suretiyle yapılan kamuflleme ile ilgili örnek fotoğraflar Resim 4.4'de verilmiştir [7].

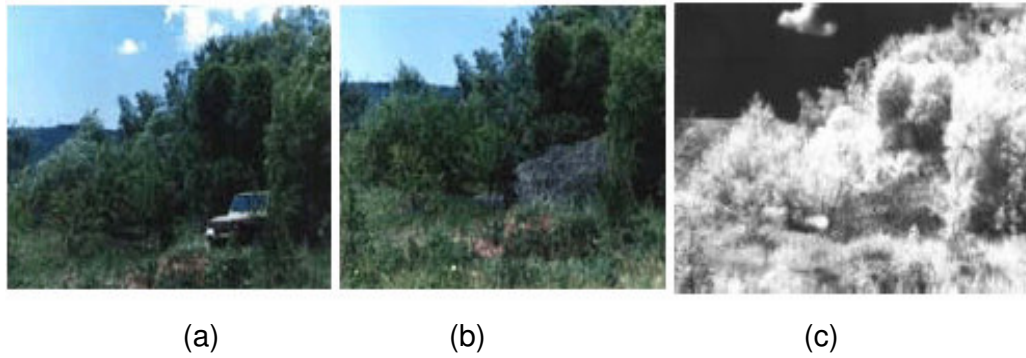


Resim 4.4. Kamufraj ile kamufraj yapılmamış durumda görüntüler  
(a) Kamufraj yapılmamış araç fotoğrafı (b) Gizleme ağı ile kamufraj yapılmış araç fotoğrafı

Söz konusu tedbirler gözle tespiti önleyici niteliktedir. Bugün için gelişen teknoloji cisimlerin fotoğrafı, optik aletlere ve infrared ışınlarına duyarlı cihazlarla çekilerek yerlerinin tespitini mümkün kılmaktadır. Yukarıda bahsedilen kamuflaj işlemi; görünür bölgede (380-700 nm ) görünen ışık bölgesi için cisimleri çevrenin rengine boyayarak ve çevreye uygun desen vererek (Kaya, orman, maki, toprak vb) yapılmaktadır. İnfrared algılama yapan filmler ve infrared ışınları ile çalışan gece görüş cihazları ile bu tür kamuflajlı boya ile boyanan cisimler tespit edilebilmektedir.

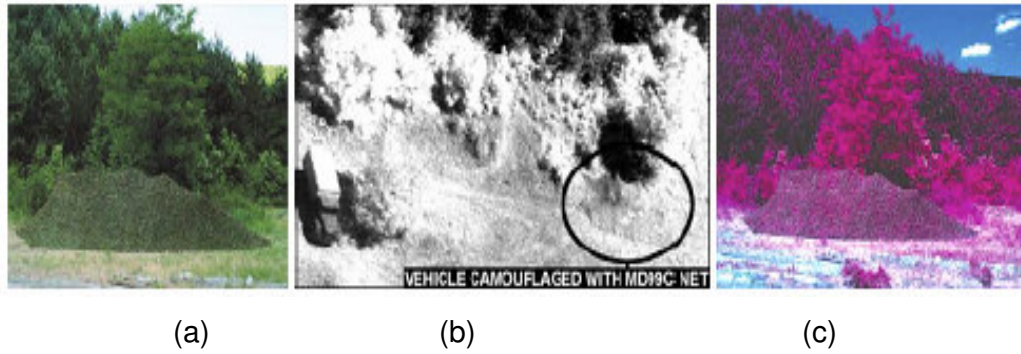
İnfrared esaslı kamuflaj boyalar; infrared yansıma özellikleri yönünden tabiata ve çevreye uyum sağladıklarından dolayı infrared ışınları ile çekilen filimler ve infrared ışınları ile çalışan gece görüş cihazlarıyla tespit edilememektedir. Doğada bulunan toprak, çimen, ağaç, kum gibi maddelerin her birinin ayrı bir yansıma değerleri vardır.

İnfrared yansımali boyalar; (IRR-düşük infrared yansımali) doğadaki şekil ve cisimlerin görünür bölge (380-700 nm) ve yakın infrared (700-900 nm) bölgedeki spektral yansıma değerlerini ve renklerini karşılamaktadır. Bu nedenle infrared ışınlar duyarlı cihazlara karşı koruma sağlamaktadır. İnfrared yansımali kamuflaj boyanın etkisini gösteren örnek fotoğraflar Resim 4.5 ve Resim 4.6'da verilmiştir [7].



Resim 4.5. Kamuflaj ve infrared yansımanın etkisini gösteren fotoğraflar  
 (a) Kamuflaj yapılmamış araç fotoğrafı (b) Gizleme ağı ile kamuflaj yapılmış araç fotoğrafı (c) İnfrared koruma yapılmış araç fotoğrafı

Siyah-beyaz olarak çekilmiş infrared fotoğrafta(c) infrared özellikli kameralara ve gece görüş cihazlarına karşı korumanın, ortadaki renkli fotoğrafta da (b) çıplak göze karşı yapılan gizlemenin etkisi görülmektedir.



Resim 4.6. Kamuflaj ve infrared yansımanın etkisini gösteren fotoğraf  
 (a) Gizleme ağı ile kamuflaj yapılmış araç resmi (b) İnfrared koruma yapılmış ve yapılmamış araç resmi (c) İnfrared koruma yapılmış araç resmi

Soldaki resimde(a) çıplak göze karşı yapılan gizlemenin, siyah-beyaz çekilmiş infrared fotoğrafta (b) infrared korumalı ve infrared korumasız iki askeri aracın etkisi görülmektedir. Renkli olarak çekilmiş infrared fotoğrafta (c) ise infrared korumalı boyanın etkisi görülmektedir.

#### 4.6. İnfrared Yansımali Boyanın Özellikleri

İnfrared yansımali boyalar; renk kontrastı, parlaklık, infrared yansıma yönünden, tabiat ve çevreye uyum sağlayabilen, dolayısıyla askeri açıdan gizlemeye imkan verebilen boyalardır. Böylece askeri araç, silah ve teçhizatın düşman gece görüş cihazlarına karşı korunma sağlanmış olur. Bu özelliklerinden dolayı üretimleri gizlilik çerçevesinde yapılmaktadır, ancak askeri standartlar boya ile ilgili renk, kromatisite koordinatları, görünür parlaklık, infrared yansıma gibi özellikleri kapsamaktadır. İnfrared yansımali kamuflaj boyanın, görünür parlaklık, kromatisite ve infrared yansıma değerleri Çizelge 4.1’de belirtilen değerlerde olmalıdır [8].

Çizelge 4.1. Renk ve infrared yansıma değerleri

| Renk ve Kodu             | Kromatisite<br>(Merkezi Koordinatlar) |       | Görünür Parlaklık | İnfrared Yansıma Yüzdesi |      | Müsaade edilir oran (en az) |
|--------------------------|---------------------------------------|-------|-------------------|--------------------------|------|-----------------------------|
| Açık Yeşil (34085)       | 0,367                                 | 0,413 | 9,8-12,3          | -                        | 65,0 | 4,7                         |
| Orman Yeşili (383 34094) | 0,333                                 | 0,357 | 5,8-7,5           | -                        | 60,0 | 5,2                         |
| Koyu Yeşil (34082)       | 0,339                                 | 0,390 | 7,1-9,1           | -                        | 60,0 | 5,2                         |
| Zeytin Yeşili (34088)    | 0,357                                 | 0,373 | 6,1-8,0           | -                        | 60,0 | 5,2                         |
| Arazi Yeşili (33105)     | 0,390                                 | 0,383 | 9,3-11,7          | 25,0                     | 35,0 | -                           |
| Toprak Sarısı (33245)    | 0,420                                 | 0,395 | 22,5-26,6         | 30,0                     | 40,0 | -                           |
| Kahverengi (383 30051)   | 0,357                                 | 0,342 | 6,0-8,0           | 8,0                      | 20,0 | -                           |
| Kum (33303)              | 0,360                                 | 0,366 | 28,0-32,7         | 55,0                     | 65,0 | -                           |
| Toprak (33510)           | 0,376                                 | 0,363 | 7,1-9,1           | 10,0                     | 25,0 | -                           |
| Tan (686 33440)          | 0,368                                 | 0,364 | 3,6-4,0           | 40,0                     | 50,0 | -                           |
| Siyah (37030)            | 0,310                                 | 0,315 | 3,0-4,1           | 0,0                      | 15,0 | -                           |
| Beyaz (37875)            | 0,312                                 | 0,318 | 84,0-100,0        | 7,0                      | 89,0 | -                           |
| Nato Yeşili (34031)      | 0,331                                 | 0,314 | 8,5-10,2          | 2,0                      | 37,0 | -                           |

Müsaade edilir oran infrared bölgedeki ortalama yansıma değerinin kırmızı-mor (magenta) bölgedeki ortalama değerlere bölünmesi ile elde edilen orandır. Kırmızı ve infrared bölgeler için dalga boyu sınırları Çizelge 4.2’de, verilmiştir [8].

Çizelge 4.2. Kırmızı ve infrared bölgeler için dalga boyu sınırları

| Magneta Kırmızı Bölge<br>(nm) | İnfrared Bölge<br>(nm) |
|-------------------------------|------------------------|
| 620,0                         | 714,0                  |
| 626,0                         | 725,0                  |
| 638,0                         | 730,0                  |
| 645,0                         | 737,0                  |
| 649,0                         | 742,0                  |
| 652,0                         | 747,0                  |
| 653,0                         | 751,0                  |
| 655,0                         | 756,0                  |
| 658,0                         | 760,0                  |
| 663,0                         | 764,0                  |
|                               | 769,0                  |
|                               | 773,0                  |
|                               | 777,0                  |
|                               | 783,0                  |
|                               | 787,0                  |
|                               | 793,0                  |
|                               | 797,0                  |
|                               | 802,0                  |
|                               | 807,0                  |
|                               | 811,0                  |
|                               | 816,0                  |
|                               | 821,0                  |
|                               | 826,0                  |
|                               | 831,0                  |
|                               | 836,0                  |
|                               | 842,0                  |
|                               | 848,0                  |
|                               | 855,0                  |
|                               | 862,0                  |

Her rengin 600-900 nm dalga boyu aralığında bir yansıma değeri vardır. Açık yeşil, orman yeşili, koyu yeşil ve zeytin yeşili renklerin 600-900 nm dalga boyu aralığındaki infrared yansıma değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir [8].

Çizelge 4.3. Açık yeşil, orman yeşili, koyu yeşil ve zeytin yeşili renklerin yansıma değerleri sınırları

| Dalga Boyu<br>(nm)) | Yansıma Yüzdesi |       |
|---------------------|-----------------|-------|
|                     | En çok          | En az |
| 600*                | 10,2            | -     |
| 610*                | 9,8             | -     |
| 620*                | 9,8             | -     |
| 630*                | 9,8             | -     |
| 640*                | 9,5             | -     |
| 650*                | 9,5             | -     |
| 660*                | 9,5             | -     |
| 670                 | 10,0            | 4,0   |
| 680                 | 13,0            | 5,8   |
| 690                 | 21,5            | 8,5   |
| 700                 | 28,0            | 11,0  |
| 710                 | 35,8            | 15,0  |
| 720                 | 41,0            | 19,0  |
| 730                 | 48,5            | 27,0  |
| 740                 | 51,8            | 30,0  |
| 750                 | 56,0            | 36,0  |
| 760                 | 59,5            | 40,0  |
| 770                 | 61,5            | 42,0  |
| 780                 | -               | 42,0  |
| 800                 | -               | 42,0  |
| 820                 | -               | 42,0  |
| 830                 | -               | 42,0  |
| 840                 | -               | 42,0  |
| 860                 | -               | 42,0  |
| 880                 | -               | 42,0  |
| 900                 | -               | 42,0  |

\* işaretli değerler açık yeşile uygulanmaz

Açık yeşil rengin IRR yansımaya değerleri sınırları Çizelge 4.4'de verilmiştir [8].

Çizelge 4.4. Açık yeşil rengin yansımaya değerleri sınırları

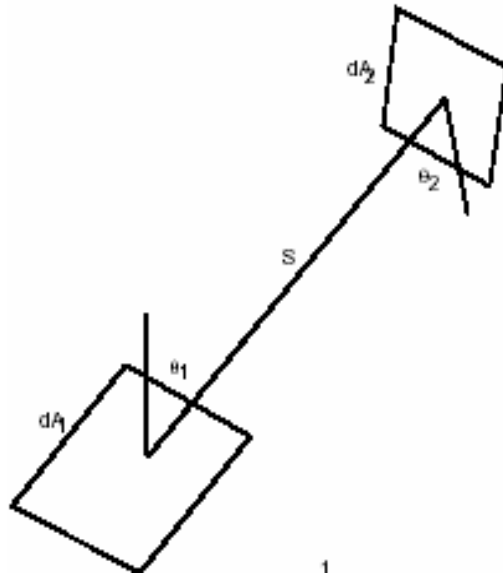
| Dalga Boyu<br>(nm) | Yansımaya Yüzdesi |       |
|--------------------|-------------------|-------|
|                    | En çok            | En az |
| 600                | 11,4              | -     |
| 610                | 11,3              | -     |
| 620                | 11,2              | -     |
| 630                | 11,2              | -     |
| 640                | 11,2              | -     |
| 650                | 11,0              | -     |
| 660                | 11,0              | -     |
| 670                | 11,9              | 4,0   |

#### 4.7. Toplama Küresi Teorisi

Toplama küresi, hala sıkça yanlış anlaşılan optik radyasyon ölçen basit bir cihazdır. Kürenin işlevi ışımaya akısını uzaysal olarak toplamaktır. Küre tasarımı özel bir uygulama için optimize edilmelidir, ancak toplama küresinin çalışma şeklini anlamak önemlidir. Işığın küreden geçişini anlamak için, difüz yansıtma (diffuse reflective) yüzeylerindeki dağılımın bilinmesi önemlidir. Buradan, toplama küresi iç yüzeylerinin parlaklığı türetilbilir ve birbirlerine bağlı iki parametre olan küre çarpanı ve ortalama yansımaya değerleri ele alınmıştır. Son olarak, toplama küresinin zaman sabitiyle hızlı atım veya kısa ömürlü radiant enerjisi konularıyla ilgili uygulamalar sunulmuştur [11].

#### 4.7.1. Kapalı küre içinde radyasyon değişimi

Toplama küresi teorisinin kaynağı, dağılım yüzeyleri ile çevrili küre içinde radyasyon değişimi teorisidir. Genel teori oldukça karmaşık olmasına karşın, küre anlaşılması kolay bir çözüm sunar. Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi iki diferansiyel dağılım yüzeyi arasında radyasyon değişimi olduğunu göz önüne alınmaktadır [11].



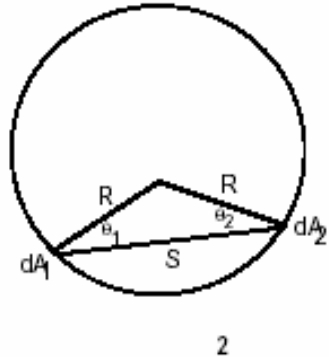
Şekil 4.1. İki diferansiyel dağılım yüzeyi arasında radyasyon değişimi

$dA_1$  yüzeyinden ayrılan enerji,  $dA_2$  yüzeyine ulaşan enerji oranları  $dF_{d1-d2}$  değişim faktörüdür ve aşağıdaki gibi türetilir.

$$dF_{d1-d2} = \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi S^2} dA_2 \quad (4.1)$$

Burada  $\theta_1$  ve  $\theta_2$  yüzey normallerinden ölçülen değerler.

Difüz yüzeyli bir küre içinde  $dA_1$  ve  $dA_2$  iki diferansiyel eleman dikkate alınırsa;



Şekil 4.2. Bir dağılım yüzeyi içinde  $dA_1$  ve  $dA_2$  dağılımı

S uzaklığı  $S = 2R\cos\theta_1 = 2R\cos\theta_2$  olduğundan:

$$dF_{d1-d2} = \frac{dA_2}{4\pi R^2} \quad (4.2)$$

Bu sonuç anlamlıdır, çünkü bakış açısı ve alanlar arasındaki uzaklıklar birbirlerinden bağımsızdır. Bu yüzden  $dA_2$  tarafından alınan akı kürenin yüzeyindeki her radyasyon noktası için aynıdır.

*Sonlu  $A_2$  alanıyla radyasyon değişimi yapan çok küçük bir  $dA_1$  alanı olsaydı o zaman Eş. 4.2 aşağıdaki şekli alır.*

$$dF_{d1-d2} = \frac{1}{4\pi R^2} \int_{A_2} dA_2 = \frac{A_2}{4\pi R^2} \quad (4.3)$$

Bu sonuçta eşitlik  $dA_1$ 'den bağımsız olduğu için ;

$$F_{1-2} = \frac{A_2}{4\pi R^2} = \frac{A_2}{A_s} \quad (4.4)$$

Burada  $A_s$  kürenin toplam alanıdır. Bu yüzden  $A_2$  tarafından alınan radiant akı fraksiyonu küre içinde yok edilen fraksiyon yüzey alanıdır.

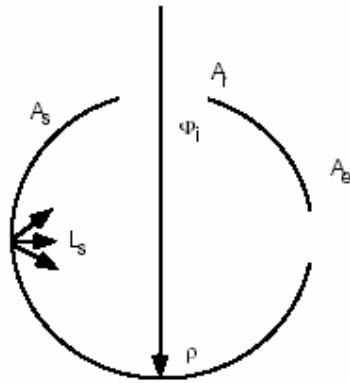
#### 4.7.2. Toplama küresi radyasyon eşitliği

Difüz yüzeylerde yansıyan ışık gerçek bir ışık kaynağı yaratır. Yüzeyden yayılan ışığı en iyi tanımlayan şey onun radiantı ve akı yoğunluğudur. Radiance önemli bir mühendislik ölçüsüdür, çünkü ışıklandırılmış yüzeylerde optik sistemler tarafından toplanabilen akıyı tahmin etmek amacıyla kullanılır. Işıma yapan bir toplama küresi eşitliğinin çıkarımında radiance tanımıyla başlar, difüz bir yüzeyin  $\Phi_i$  giriş akısı  $L$  ;

$$L = \frac{\phi \rho}{\pi A} \quad (\text{w/m}^2/\text{sr}) \quad (4.5)$$

Burada  $\rho$  yansıma  $A$  aydınlatılan alan ve  $\pi$  yüzeyden yansıyan toplam katı açısıdır.

Bir toplama küresi için ışıma (radiance) bağıntısı çoklu yüzey yansımaları ve meydana gelen ışımayı incelemenin yanı sıra, giriş akısı,  $\Phi_i$  yi almak için gereken delik açıklıkları sebebiyle meydana gelen kayıpları da dikkate almalıdır. Giriş port alanı  $A_i$  ve çıkış portu  $A_e$  olan bir küre olsun.



Şekil 4.3. Bir küreye port giriş ve çıkışı

Giriş akısı başlangıç yansımasıyla mükemmel bir şekilde yayılır. Bütün küre yüzeyindeki toplam akı miktarı;

$$L = \phi_s \rho \left( \frac{A_s - A_f - A_e}{A_s} \right) \quad (4.6)$$

Parantez içindeki büyüklük küre yüzeyi tarafından alınan akının yani port açıklığıyla kaybolmayan akının fraksiyonunu gösterir. Bu terimi (1-f) olarak yazmak çok daha kullanışlıdır, burada f delik kesri ve  $f = (A_f + A_e)/A_s$ . İki den fazla delik olduğunda, f bütün delik alanlarının toplamından hesaplanır [11].

Benzer mantıkla, küre yüzeyinde akı yükünün miktarı;

$$= \phi_s \rho^2 (1-f)^2 \quad (4.7)$$

Üçüncü yansıma aşağıdaki akı miktarını üretir.

$$= \phi_s \rho^3 (1-f)^3 \quad (4.8)$$

n yansımadan sonra toplama küresi yüzeyinin tamamı üzerinde toplam akı yükü;

$$\phi_s \rho (1-f) \{ 1 + \rho(1-f) + \dots + \rho^{n-1} (1-f)^{n-1} \} \quad (4.9)$$

Sonlu güç serisine açılırsa,  $\rho(1-f) < 1$  durumunda bu aşağıdaki daha basit şekle döner.

$$= \frac{\phi_s \rho (1-f)}{1 - \rho(1-f)} \quad (\text{WATTS}) \quad (4.10)$$

Eş. 4.10 göstermektedir ki, küre yüzeyindeki toplam akı yükü oyukların içindeki çoklu yansımalarından dolayı giriş akısından daha büyüktür. Küre yüzeyindeki ışınım aşağıdaki şekilde verilir;

$$L_s = \frac{\phi_s}{\pi A_s (1-f)} * \frac{\rho(1-f)}{1-\rho(1-f)} \quad (4.11)$$

$$= \frac{\phi_i}{\pi A_s} * \frac{\rho}{1-\rho(1-f)} \quad (4.12)$$

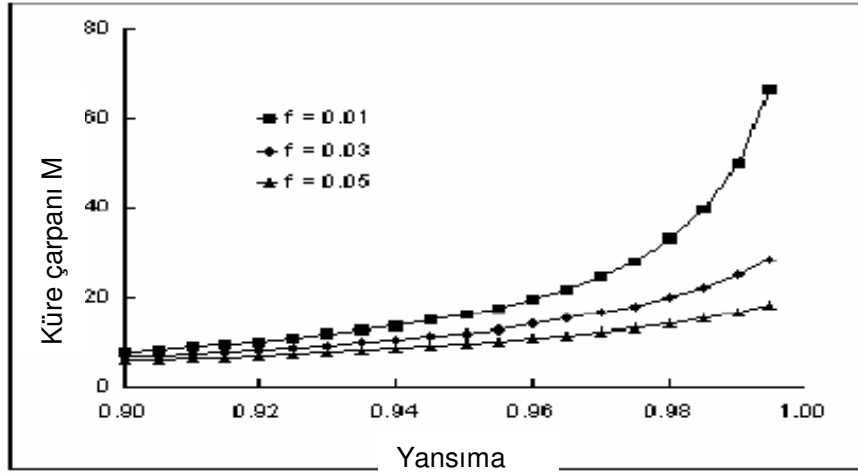
Bu eşitlik bilinen bir giriş akısı için küre çapı, yansıma ve delik kesrinin bir fonksiyonu olarak toplama küresi ışınlamını tahmin etmek için kullanılır. Çap büyüdükçe ışınlamın azalır.

#### Küre çarpanı

Eş. 4.12 kasıtlı olarak iki parçaya bölünebilir. Birinci parça yaklaşık Eş. 4.5'e denk gelir, difüz yüzeyin ışınlamı. Eşitliğin ikinci parçası küre çarpanı olarak atfedilebilen birimsiz bir büyüklüktür.

$$M = \frac{\rho}{1-\rho(1-f)} \quad (4.13)$$

Eşitlik çoklu yansımalarından dolayı ışımadaki artışı hesaba katar. Aşağıdaki grafik küre çarpanı, M, in delik kesri f ve küre yüzeyi yansıması 'p' ya bağlılığını göstermektedir [11].



Şekil 4.4. Bir küre çarpanı ile yansımaları grafiği

Toplama küresinin içindeki akı yoğunluğunun tahmin edilmesinde basitleştirilmiş sezgisel bir yaklaşım giriş akısının basitçe kürenin toplam yüzeyine bölünmesidir. Bununla beraber, küre çarpanının etkisi şudur ki, toplama küresinin ışınlamı en azından basit sezgisel yaklaşımından bir derece daha büyük olmalıdır. Başparmak pratik kuralına göre çoğu gerçek toplama küreleri için  $.94 < p < .99$ ,  $.02 < f < .05$  ve küre çarpanı da 10 ile 30 aralığında olmalıdır [11].

#### Ortalama yansımalar

Eş. 4.13'deki küre çarpanı yük akısının küre duvarlarına çarptığı, duvar yansımaları her yerde aynı (uniform) ve bütün delik alanlarının sıfır olduğu spesifik bir durumdur [11]. Genel eşitlik;

$$M = \frac{\rho_D}{1 - \rho_w \left( 1 - \sum_{i=0}^n f_i \right) - \sum_{i=0}^n \rho_i f_i} \quad (4.14)$$

$\rho_0$  = yük akısı için ilk yansımaya  
 $\rho_w$  = küre duvarının yansımaya  
 $\rho_i$  = delik (port) açıklığı  $i$  nin yansımaya  
 $f_i$  = delik (port ) açıklığı port  $i$  nin fraksiyonel alanı

denklem toplama küresinin ortalama yansımaya,  $\bar{\rho}$ , kullanılarak da gösterilebilir. Bu yüzden küre çarpanı başlangıç ve ortalama yansımaya cinsinden tekrar yazılabilir.

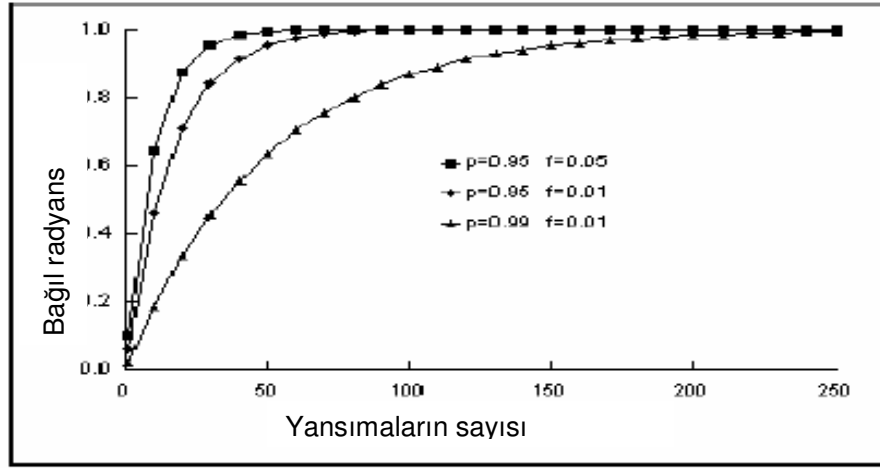
$$M = \frac{\rho_0}{1 - \rho} \quad (4.15)$$

#### 4.7.3. Uzaysal toplama

Gerçek bir toplama küresi içindeki ışın dağılım analizi; yük akı dağılımı, gerçek küre tasarımı geometrik ayrıntısı ve toplama küresinin içinde yada port açıklıkları üzerinde yerleştirilmiş her bir cihazın her bir yüzeyi yanı sıra küre kaplamasının bir fonksiyonuna bağlı olmalıdır. Optimum uzaysal performans için tasarım ilkeleri kaplama yansımaya ve küre çapının gereken port açıklıklarına ve sistem cihazlarına göre maksimize edilmesine dayanırlar. Uzaysal toplam akıda yansımaya ve port kesrinin etkisi Eş. 4.10'la verilen küre yüzeyi üzerindeki toplam yük akısına erişmek için gerekli olan yansımaya sayısının dikkate alınmasıyla gösterilebilir, toplam akı için gereken yansımaya sayısı göz önüne alınarak Eş.4.10'da gösterilmiştir.  $n$  yansımaya sonraki küre yüzeyindeki toplam akı şöyle gösterilir [11].

$$= \phi_i \sum_{n=1}^n \rho^n (1 - f)^n \quad (4.16)$$

$n$  yansımaya sonra üretilen radyasyon yatışkın koşullar altında karşılaştırılabilir.



Şekil 4.5. Yansıma sayısı ile bağlı radyasyon arasındaki grafik

Toplama küresi genelde yatışkın durumda kullanıldığından çok sayıda yansıma üretildiğinde  $f$  düşer ve  $p$  yükselir. Bu yüzden toplama küresi tasarımında ışınım akısının en iyi toplanması için her iki parametrenin de optimize edilmesine çalışılır.

#### 4.8. Toplama Küresi Uygulamaları

Toplama küresi radyasyon akılarını uzaysal olarak toplarlar. Akı direk ölçülebildiği gibi maddeyle etkileştikten sonrada ölçülebilir. Radyometreye yada fotometreye bağlı küre akıyı lamba veya lazerlerden direk ölçebilir yada yarı kürede oluşan akı yoğunluğundan ölçülebilir. Toplama küresinin en çok kullanıldığı alan dağıtıcı ve yayıcı maddelerde toplam yansıma veya geçirgenliğin ölçülmesidir. Bir diğer alternatif uygulama içten aydınlatmalı toplama küresinin port açıklığının düzgün şekilde radyasyon veren büyük bir kaynak olarak kullanılmasıdır. Bu kaynaklar elektronik aletleri veya sistemleri kalibre etmek için veya basitçe düzgün geri aydınlatıcı olarak kullanılırlar [11].

#### 4.8.1. Radyometreler ve fotometreler

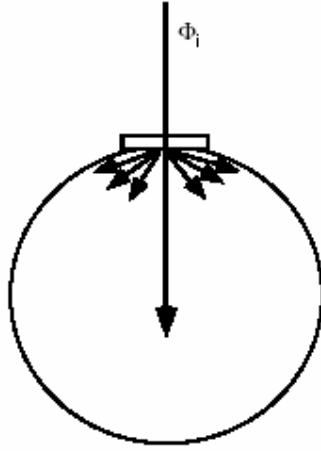
Uygun foto tarayıcı eklenmiş bir toplama küresi ışık kaynağından yayılan toplam geometrik akıyı veya aydınlatılmış bölgenin akı yoğunluğunu direk ölçebilir. Işığın geometrik dağılımı uygun toplama küresinin tasarımını etkiler. Işık kaynağının spectral özelliği ise uygun foto tarayıcı sistemini belirler.

Genelde, radyometreler ışığı radyasyon akısının SI birim sistemine göre watt biriminde ölçer. Kuantum yanıt foto algılayıcıları genelde radyometrelerde kullanılırlar. Sıcaklık algılayıcıları ışığın bütün dalga boyları için aynı tepkiyi verirler. Bu özellikleri onları zemin ısı radyasyonuna karşı daha dayanıksız kılar. Genellikle bunların sıcaklık kontrolü olması lazım ve giriş radyasyonun aynı anda tespit etmek için ayarlanmış olması gerekir.

#### 4.8.2. Malzemelerin yansımaları ve geçirgenliği

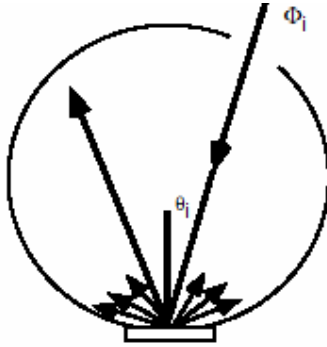
Toplama küresinin en büyük uygulaması dağıtıcı ve yayıcı maddelerin yansıma ve geçirgenliklerinin ölçülmesidir. Ölçümler genelde dalga boyunun fonksiyonu şeklinde spektral yapılır. Ultraviyolede, ecza dolaplarının, güneşe karşı kullanılan giysilerin veya araba boyalarının UV dirençlerinin ölçülmesinde kullanılır. Görünür ışık spektrumunda, boya, tekstil ve grafik sanatları gibi endüstrilerdeki malzemelerin boyalarının kontrol edilmesinde ve sınıflandırılmasında kullanılır. Kızılötesinde, havacılık sanayinde kullanılan termal kontrol kaplamaların ve yakıtların radiant ısı transfer analizlerde ve toplam küresel yansımalarının hesaplanmasında kullanılır [11].

Geçirgenlik ölçümlerinde; örnek madde kürenin açık olan aralığına konur.



Şekil 4.6. Küre giriş portuna numunenin yerleşme şekli

Yansıtma ölçümlerinde; numune giriş portunun karşısındaki açıklığa yerleştirilir. Anlık akı numune tarafından yansıtılır. Toplam yarımküresel yansıtma, yayılma ve speküler elemanlarla toplama küresi tarafından toplanır.



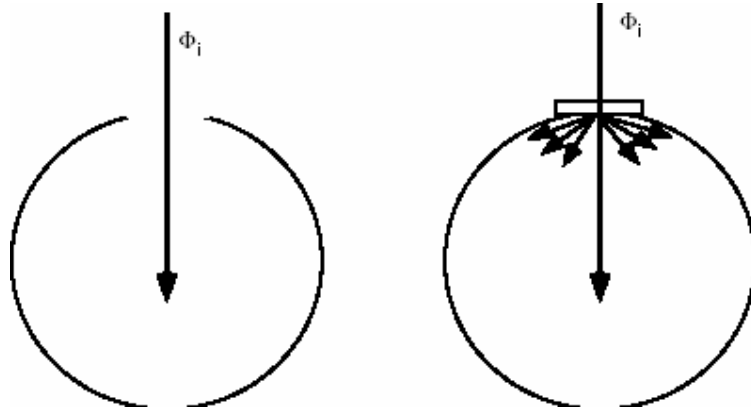
Şekil 4.7. Yansıtma ölçümlerinde portuna numunenin yerleşme şekli

Yansıtma ölçümlerinde ışının açısı genelde normalden 10 dereceye kadardır. Speküler bileşen normal (0 derece) ışıtma kullanılarak veya speküler yola başka bir port koyarak ve speküler akıyı söndürmek için siyah ışık kaparı kullanılarak ölçümden çıkarılabilir. Yüksek ve değışken açılarda yansıtma ölçümleri örneği kürenin merkezine koyarak ve sabit bir giriş ışıtına göre döndürerek gerçekleştirilir.

Şaşırtıcılar küre üzerindeki foto algılayıcısının direk olarak ışıma yapan örneği görmesine ölçümlerde mani olur. Yansıma geometrisinde, şaşırtıcı genellikle kürenin duvarının speküler bileşen alan parçasına yerleştirilir. Hassaslığı gidermek için yarı küresel görüşlü bir foto algılayıcı kullanmak en iyisidir.

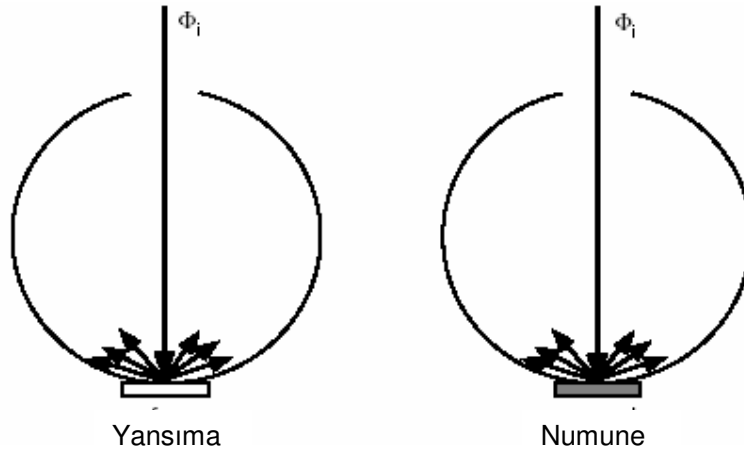
#### Değiştirme-karşılaştırma küreleri

Tek toplama küresi hatası Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da bağlanabilir. Çünkü örnek küre duvarının yansımaları değiştirir. Geçirgenlik skalasını kalibrasyonu örnek giriş aralığına konmadan anlık akının ölçülmesiyle yapılır[11].



Şekil 4.8. Yansıma ölçümlerinde değiştirme ve karşılaştırma küresi

Yansıma, standart referans maddesinin yansımalarının kürede kalan anlık akıyla karşılaştırılması yapılarak bulunur.



Şekil 4.9. Yansıtma ölçümlerinde, referans küre

İdeal ölçme ilişkisi; kürenin içinde üretilen radyasyonun oranı her bir maddenin yansıtmasının oranına eşit olmasıdır.

$$\frac{L_s}{L_f} = \frac{\rho_s}{\rho_f} \quad (4.17)$$

Burada  $\rho_r$  = referans maddesinin yansıtmasıdır. Örnek ölçme miktarı  $\rho_r$  yansıtma faktörü (*reflectance factor*) olarak bilinir. Gerçekte anlık akı direkt olarak ölçülemez. Fakat Şekil 4.12'deki değiştirme küresinde, kürenin yansıtma ortalaması örnek referans maddesiyle değiştirildiğinde değişir. Doğru olan ölçüm eşitliği değiştirme küresi için;

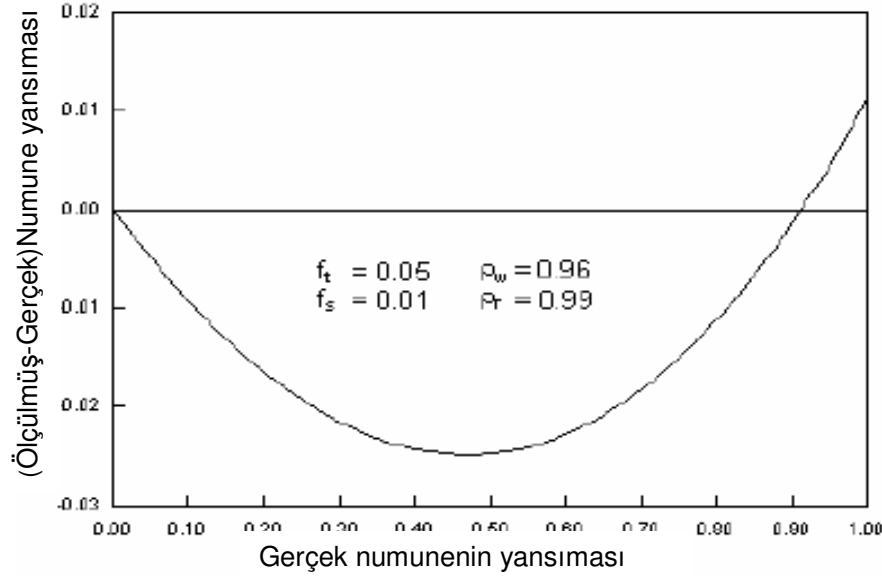
$$\frac{L_s}{L_r} = \frac{\rho_s}{\rho_r} * \frac{1 - \rho_r}{1 - \rho_s} \quad (4.18)$$

$\rho_s$  ortalama duvar yansıtması örnek için

$\rho_r$  ortalama duvar yansıtması referans için

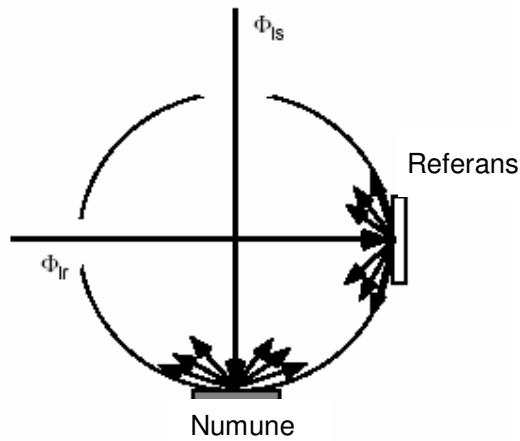
$\rho_s$  kolayca bulunamaz çünkü  $\rho_s$  ye bağlıdır.

Bu hatanın büyüklüğü tipik bir spectraflect toplama küresi için %5 ve %1 port açıklığı için çizilebilir. Burada referans maddesi de spectralon dur.



Şekil 4.10. Gerçek yansımının ölçülen yansıma grafiği

Eş. 4.17'yi kullanmak için uygun küre tasarımı ortama yansımının sabit olduğu küredir. Karşılaştırma küresi toplama küresinde referansın ve örneğin birlikte port açıklığına konduğu küredir.



Şekil 4.11. Küreye karşılaştırma ve numuneyi yerleştirme şekli

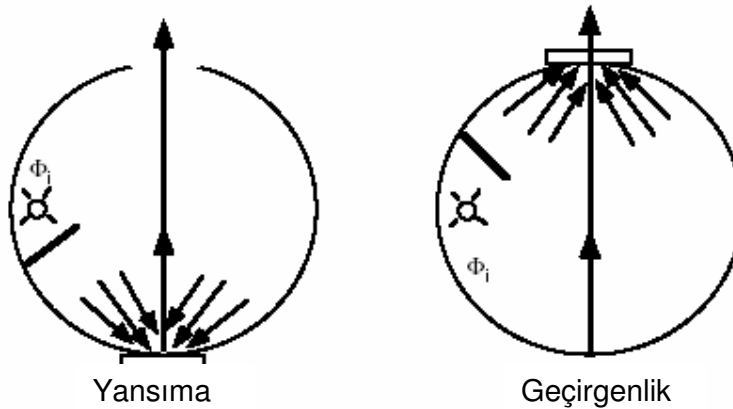
Karşılaştırma küresinin göze çarpan özelliği ortalama küre duvarı yansımalarının sabit olmasıdır. Tek ışıklı bir cihazda küre döndürülerek her madde için pozisyonu değiştirilir. Çift ışıklı yansıtıcılarda ise her ışın için akı oranını bulmak için taban alanına referans maddesi konur.

Yer değiştirme hatası geçirgenlik ölçümleri içinde kullanılır, çünkü örnek yüzeyin port açıklığına tanjantsal olması küre açıklığının yansıma ortalamasına katkı sağlar. Geçirgenlik ölçümleri için karşılaştırma küresi tavsiye edilir.

#### Ölçüm geometrisi $0^0/d$ , $d/0^0$

Önceki örnekler yansıma ve geçirgenlik geometriler ilerinin direk anlık akı ve örnek maddeyle temasından sonra küre tarafından toplanmasını ilişkilendirir. Geometri direk / yarıküresel olarak adlandırılır ve genelde kısaltılır  $0^0/d$  normal dağılım toplamı. Özel bir toplama küresi tanımlandığında  $0^0$  asıl derecesiyle değiştirilmesi gerekir. Mesela  $8^0/d$ ; yansıma faktörü  $0^0/d$  geometrisinde ölçülen bir büyüklüktür [11].

Karşılıklı optik geometri yansıma ve geçirgenlik ölçümleri için kullanılabilir.  $d/0^0$  şeklinde örnek parlamazlığı yarıküresel ve örnek yakın düz hizada görülebiliyor.



Şekil 4.12. Küreye karşılaştırma ve numuneyi yerleştirme şekli

Yansıma geometrisindeki ölçme miktarı ışıma faktörü olarak adlandırılır. Yaygın matlık altındaki örneğin ışıması referans maddesinin ışıması ile kıyaslanır. Işıma faktörü yansıma faktörüne karşılıklı şekiller için eşittir.

$d/0^0$  geometrisinin iki ana avantajı vardır. Anlık akı büyük bir şekilde artar, çünkü toplama küresi toplam ışığı toplamaktadır. Bu yüzden sinyal yükseltir ve aletin ses oranı yükselir. Çoğu ticari renk ölçme aletleri flash lambaları kullanırlar bu da ısısal ölçme hatasını ortadan kaldırır.

## 5. MATERYAL VE YÖNTEM

### 5.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar

- Perkin Emer imali LAMDA 900 model UV-VIS-NIR spektrofotometre
- Boya Karıştırıcı (300-900 devir/dakika)
- Brookfield Tipi Viskozimetre
- Aplikatör (10, 20, 30, 60, 90, 120, 150,180 mikron film uygulayabilen)
- Glossmetre (Boya parlaklığını ölçme cihazı)

Formülasyonu hazırlanan infrared yansımali kamuflajlı boyanın spektral yansıma, kromatisite koordinatları, görünür parlaklık, CIE 1976 renk skalası ( $L^*$   $a^*$   $b^*$ ) ve açılı yansıma değerleri UV/VIS/NIR spektrofotometresi ile ölçülmüştür. Cihazın teknik özellikleri;

- Tungsten-halojen ve deuterium lamba
- Kolayca lamba değişme özelliği
- Çift monokromator
- Çift ışık kaynağı
- Ölçüm aralığı :175-3300 nm dalga boyu
- Dalga boyu hassasiyet i :0,08 nm UV/VIS
- Dalga boyu hassasiyeti :0,32 nm NIR
- Dedektör :UV/VIS dalga aralığında photomultiplier
- Dedektör :NIR dalga aralığında peltier-cooled PbS
- Monokromator :440 kanal/mm UV/VIS
- Monokromator :360 kanal/mm NIR

LAMDA 900 model UV/VIS/NIR spektrofotometresinin genel görünüş fotoğrafları EK-1 ve EK-2'de, yansıma ölçümü için numune bölümünün fotoğrafı EK-3'de ve transmission/absorbansı ölçümler için numune bölümünün fotoğrafı EK-4'de verilmiştir. 150 mm toplama küresi (integrating

sphere) ve “Center Mounth Sample Holders” (merkeze monte edilebilen örnek tutucu) aparatını yerleştirme şeklini gösteren fotoğraf EK-5’de, 150 mm toplama küresinin optik dizaynı şekli EK-6’da ve yayma ve speküler yansıma için örnek konfigürasyonlar EK-7’de görülmektedir.

“Merkeze monte edilebilen örnek tutucu” aparatı; infrared yansıma boya plakalarına farklı açılarda (0-180°) ışık gönderilerek boyanın farklı açılardaki yansıma değerlerinin ölçümlerinde kullanılmıştır. Askeri amaçlar için kullanılan infrared yansımali boyanın farklı açılardaki yansıma davranışları da bilinmelidir. “Merkeze monte edilebilen örnek tutucu” aparatının fotoğrafı EK-8’de verilmiştir

## 5.2. Yeşil Boyanın Hazırlanışı

İnfrared yansımali boyaların askeri amaçlı kullanılması nedeniyle formülasyonları üreticiler tarafından verilmemektedir. Bu tür çalışmalarda; ülkelerin kendi askeri silah ve teçhizatlarının düşman gece görüş yeteneğine sahip cihazlara koruma sağlamak amacı güdülmektedir. Bu da ülkelerin birbirlerine karşı avantaj sağlamaktadır. Bu çalışmada, kamuflaj amaçlı kullanılan infrared yansımali (Infrared reflectance dye) boya formülasyonu üzerinde durulmuş ve pigmentlerin etkisi incelenmiştir. Boyanın farklı açılardan bakıldığında yansıma değerlerindeki değişim de dikkate alınmıştır. İnfrared yansımali boyanın bu özelliği yanı sıra bağlayıcı tipi, renk, parlaklık, kromatisite koordinatları, görünür parlaklığı gibi pek çok özelliği bir arada barındırması istenmektedir.

Formülasyonda kullanılan kimyasallar, yeşil rengi oluşturan başlıca yeşil pigmentler, krom ve demirin farklı oksitleri ve yardımcı kimyasallardan oluşmaktadır. Kimyasallar ve yardımcı maddelerin ticari isimleri ve renk indeksleri EK-9’da ayrıntılı olarak verilmiştir [8-9].

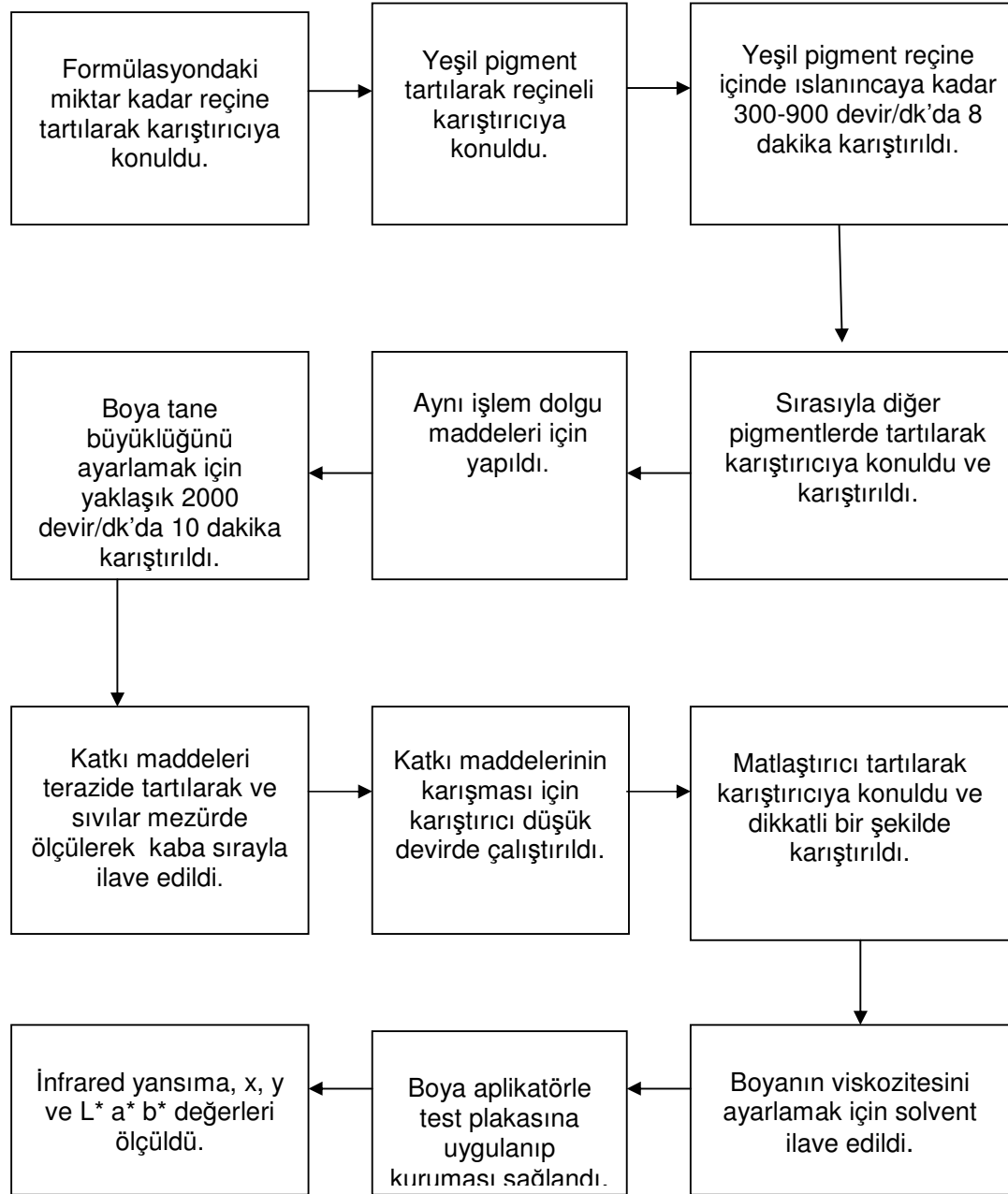
İnfrared yansımali boyalarda; askeri standartlarda belirlenen infrared yansıma, kromatisite koordinatları, görünür parlaklık vb. değerlerin

sağlanabilmesi için kullanılan pigment, dolgu maddesi, bağlayıcı gibi boya hammaddelerinin belirli özelliklerde olması gerekmektedir. Pigment ve dolgu maddelerinin özellikleri EK-10'da verilmiştir. Ayrıca kobalt, titan, çinko ve krom karışımlarından meydana gelen asitte çözünmeyen yeşil pigmentin infrared yansıma değerleri EK-11'de verilen limitler içinde olmalıdır.

İnfrared özellikli boyanın yapısı %20-25 bağlayıcı, %20-25 pigment, %15-20 dolgu maddesi, %5-7 ilave katkı maddesi ve geri kalan kısmı çözücülerden oluşmaktadır. Boyanın reçetesi yukarıda verilen oranlara göre oluşturuldu.

Reçetede kullanılan pigment cinsleri infrared boya şartnamesinde verilmekte, ancak pigment oranları bilinmemektedir. Reçete içindeki pigment oranları; %20-25 oran baz alınarak ayarlandı [9]. Boyanın hazırlanışı ilgili iş akış diyagramı Şekil 5.1'de verilmiştir.

## İŞ AKIŞ DİYAGRAMI



Şekil 5.1. Boyanın hazırlanışı iş akış diyagramı

### 5.3. Pigmentlerin Boyanın Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Yeşil boyada kullanılan pigmentlerin; boyanın infrared yansıma özelliğine, kromatisite koordinatlarına ve renk uzayındaki yerine etkisini incelemek için boyaya ilave edilen pigmentlerin miktarlarını değiştirerek boyanın infrared yansıması, kromatisite koordinatları ve renk uzayındaki değişimler belirlendi. Deneysel çalışmalarda (x, y) ve  $L^*a^*b^*$  değerleri incelenerek yorumlanmıştır.

Burada;  $L^* a^* b^*$  CIE 1976 renk uzayında  $L^*$  açıklık-koyuluk,  $a^*$  kırmızılık-yeşillik,  $b^*$  sarılık-mavilik olarak tanımlanmaktadır. Kromatisite koordinatları (x,y) CIE 1931 standart kolorimetrik sisteminde,  $2^\circ$  gözlemciye göre kromatisite koordinatlarını diyagramındaki yerini göstermektedir.

İnfrared yansımali boya formülasyonunda; reçine, dolgu maddesi ve ilave katkı maddeleri boyanın infrared yansıma, renk uzayındaki yeri ve kromatisite koordinatlarını değiştirmediginden deneysel çalışmalarda reçine, dolgu maddesi ve ilave katkı maddelerinin miktarları sabit tutulmuştur. Deneysel çalışmalarda; pigmentlerin etkisinin incelenmesi için yeşil, krom oksit yeşil, krom oranj, krom oksit sarı, demir oksit kırmızı, demir oksit siyah, karbon siyahı ve karbazol dioksazin menekşe miktarları değiştirilmiştir. Yeşil renk için askeri standartta tavsiye edilen pigmentler kullanılmıştır.

Laboratuar çalışmasında kullanılan dolgu maddeleri, reçine ve ilave katkı maddelerin sabit tutulmuştur. Dolgu maddeleri, reçine ve ilave katkı maddelerin listesi ve miktarları EK-12'de verilmiştir.

#### 5.3.1. Yeşil ve karbon siyahı pigmentlerin etkisinin incelenmesi

Boyanın; referansında verilen  $L^*$  açıklık-koyuluk değerlerinin tutturulabilmesi için siyah pigment ilave edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle yansıma (reflectance) değerleri birbirinden farklı olan karbon siyahı ve demir oksit siyah pigmenti kullanıldı.

Siyah pigmentlerin yansımalarının birbirinden farklı olmasından dolayı boyanın infrared yansıma özelliğine olan etkisini incelemek için deneysel çalışmalardan *ÇALIŞMA1* ve *2'de* karbon siyahı, *ÇALIŞMA3* ve *4'* demir oksit siyahı kullanıldı.

Yeşil pigmentin boyanın yansıma,  $L^*$   $a^*$   $b^*$  x ve y değerlerine etkisini incelemek için demir oksit siyah ve karbon siyahı miktarı sabit tutularak yeşil pigment miktarı değiştirilmek suretiyle boya hazırlandı. Formülasyonlara ait detaylı reçeteler EK-13'de verilmiştir. Deneysel çalışmalar neticesine hazırlanan deney numunelerinin infrared yansıma, kromatisite koordinatları ve  $L^*$ ,  $a^*$   $b^*$  değerleri okunmuştur.

### 5.3.2. Demir oksit kırmızı ve krom oksit yeşilin etkisinin incelenmesi

Krom oksit yeşil ve demir oksit kırmızı pigmentlerinin boyanın infrared yansıma özelliğine, kromatisite koordinatlarına ve renk uzayındaki etkilerini incelenmesi için;

- *ÇALIŞMA-5, 6* ve *7'de* krom oksit yeşil miktarı 0 g olarak sabit tutulup, demir oksit kırmızı miktarı değiştirildi.
- *ÇALIŞMA-8* ve *9'da* krom oksit yeşil miktarı 9 g olarak sabit tutulup, demir oksit kırmızı miktarı değiştirildi.
- *ÇALIŞMA10, 11* ve *12'de* krom oksit yeşil miktarı 15 g sabit tutulup, demir oksit kırmızı miktarı değiştirildi. Formülasyonlara ait detaylı reçeteler EK-14'de verilmiştir.

Deneysel çalışmalar neticesinde hazırlanan deney plakaları üzerinden kromatisite koordinatları(x y),  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  ve infrared yansıma değerleri okunmuştur.

### Demir oksit kırmızı etkisi

Demir oksit kırmızının; infrared yansımali boyanın CIE 1931 ve CIE 1976 renk uzayındaki yerine etkisini incelemek ve boyanın referans standardında belirtilen  $x$ ,  $y$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerini elde etmek için boyada kullanılması gereken demir oksit kırmızı miktarının tespiti aşağıdaki örnekten verilmiştir.

Sabit krom oksit yeşil değerlerinde, demir oksit kırmızı pigmentin değiştirilmesiyle elde edilen  $a^*$  değerleri grafiği oluşturuldu. Bu grafik üzerinden demir oksit kırmızının, boyanın  $a^*$  (yeşillik-kırmızılık) değerine olan etkisi belirlendi. Aynı grafik kullanılarak  $a^*$  nın minimum ve maksimum referans değerine karşılık gelen minimum ve maksimum demir oksit kırmızı miktarı tespit edildi. Ayrıca aynı yöntemle demir oksit kırmızının, boyanın  $b^*$ ,  $x$  ve  $y$  değerlerine olan etkisi belirlendi.

### Krom oksit yeşilin etkisi

Krom oksit yeşilin; infrared yansımali boyanın CIE 1931 ve CIE 1976 standardına göre renk uzayındaki yerine etkisinin incelenmesi, boyanın standartlarda belirtilen  $x$ ,  $y$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerini elde etmek için boyada kullanılması gereken krom oksit yeşil miktarının tespiti aşağıdaki örnekten verilmiştir.

Sabit demir oksit kırmızı değerlerinde, krom oksit yeşil pigmentin değiştirilmesiyle elde edilen  $a^*$  değerleri grafiği oluşturuldu. Bu grafik üzerinden krom oksit yeşilin boyanın  $a^*$  (yeşillik-kırmızılık) değerine olan etkisi belirlendi. Aynı grafik kullanılarak  $a^*$  nın minimum ve maksimum referans değerine karşılık gelen minimum ve maksimum krom oksit yeşil miktarı tespit edildi. Ayrıca aynı yöntemle krom oksit yeşilin boyanın  $b^*$ ,  $x$  ve  $y$  değerlerine olan etkisi belirlendi.

### 5.3.3. Karbazol menekşe ve krom oksit sarının etkisinin incelenmesi

Krom oksit sarı ve karbazol menekşe pigmentlerinin boyanın infrared yansıma özelliğine, kromatisite koordinatlarına ve renk uzayındaki etkilerinin incelenmesi için ;

- *ÇALIŞMA-13,14 ve 15*'de krom oksit sarı miktarı 0 g olarak sabit tutulup, karbazol menekşe miktarı değiştirildi.
- *ÇALIŞMA-17 ve 18*'de krom oksit sarı miktarı 0,9 g sabit tutulup, karbazol menekşe miktarı değiştirildi.
- *ÇALIŞMA-15 ve 18*'de karbazol menekşe miktarı 0,9 g sabit tutulup krom oksit sarı miktarı değiştirildi. Formülasyonlara ait detaylı reçeteler EK-15'de verildi.

Deneyisel çalışmalar neticesine hazırlanan deney plakaları üzerinden kromatisite koordinatları(x y), L\*, a\*, b\* ve infrared yansıma değerleri okunmuştur.

#### Karbazol menekşenin etkisi

Karbazol menekşenin; infrared yansımali boyanın CIE 1931 ve CIE 1976 renk uzayındaki yerine etkisinin incelenmesi, boyanın referans standardında belirtilen x, y, a\* ve b\* değerlerini elde etmek için boyada kullanılması gereken karbazol menekşe miktarının tespiti aşağıdaki örnekte verilmiştir.

Sabit krom oksit sarı değerlerinde, karbazol menekşe pigmentin değiştirilmesiyle elde edilen a\* değerleri grafiği oluşturuldu. Bu grafik üzerinden karbazol menekşenin, boyanın a\* (yeşillik-kırmızılık) değerine olan etkisi belirlendi. Aynı grafik kullanılarak a\* ın minimum ve maksimum referans değerine karşılık gelen minimum ve maksimum karbazol menekşe miktarı tespit edildi. Ayrıca aynı yöntemle karbozel violetin, boyanın b\* x ve y değerlerine olan etkisi belirlendi.

### Krom oksit sarının etkisi

Krom oksit sarının; infrared yansımali boyanın CIE 1931 ve CIE 1976 renk uzayındaki yerine etkisini incelenmesi ve boyanın referans standardında belirtilen  $x$ ,  $y$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerini elde etmek için boyada kullanılması gereken krom oksit sarı miktarının tespiti aşağıdaki örnekte verilmiştir.

Sabit karbazol menekşe değerlerinde, krom oksit sarı pigmentin değiştirilmesiyle elde edilen  $a^*$  değerleri grafiği oluşturuldu. Bu grafik üzerinden krom oksit sarının, boyanın  $a^*$  (yeşillik-kırmızılık) değerine olan etkisi belirlendi. Aynı grafik kullanılarak  $a^*$  nın minimum ve maksimum referans değerine karşılık gelen minimum ve maksimum krom oksit sarı miktarı tespit edildi. Ayrıca aynı yöntemle krom oksit sarının, boyanın  $b^*$   $x$  ve  $y$  değerlerine olan etkisi belirlendi.

### **5.4. Farklı Açılardan İnfrared Yansıma Değerlerinin İncelenmesi**

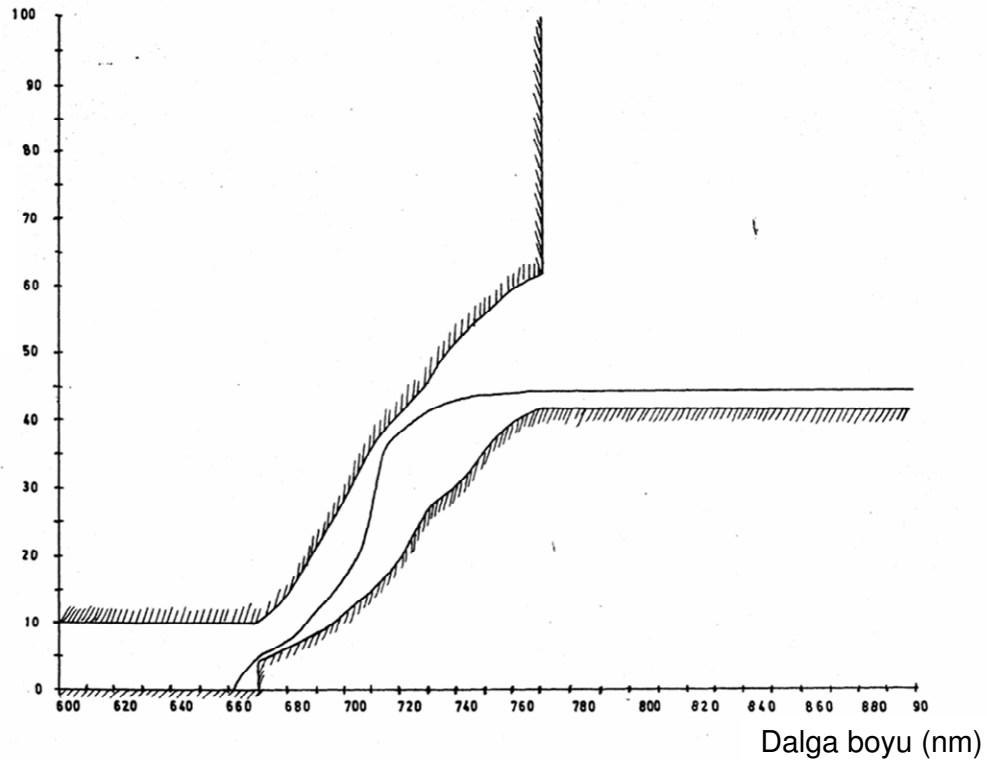
İnfrared yansımali boyanın gece görüş cihazlarına karşı farkı açılardan da koruma sağlayacak özellikte olması tercih edilmelidir. Çünkü muharebe sahasında düşmanın hangi yönden ve açıdan gözlem yaptığı tahmin edilemez. Bu nedenle farklı açılardan gelen ışınlara karşı boyalı yüzeyin davranışı bilinmelidir. İnfrared yansımali boya ile ilgili askeri şartnamelerde infrared yansıma değerleri  $90^\circ$  lik ışın baz alınarak verilmektedir.

LAMDA 900 model UV-VIS-NIR spektrofotometresi yalnız karşıdan ( $90^\circ$  'lik bir aı) gelen ışınlara göre ölçüm yapmaktadır. Açısal yansımaların ölçülmesinde merkeze monte edilebilen örnek tutucu UV-VIS-NIR tarama küresi aparatı kullanılmıştır. Test numuneleri kesilerek aparata yerleştirilir. Aparat zerindeki aı ayarları sayesinde numune istenen açıda döndürülerek farklı açılardaki yansıma değerleri ölçülmüştür.

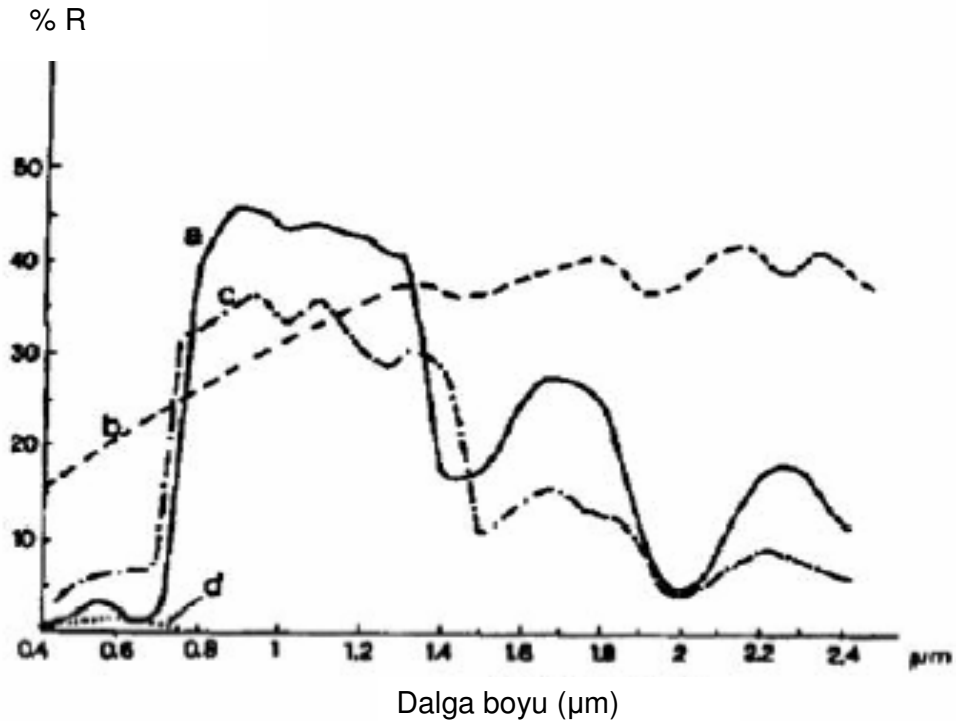
## 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 6.1. İnfrared Yansım Değerleri

Deneysel çalışmalar sonunda, hazırlanan plakaların LAMDA 900 model UV-VIS-NIR spektrofotometre ile 320-1500 nm dalga boyundaki infrared yansım değerleri okunmuş ve sonuçlar EK-16.....EK-33'de verilmiştir. Açık yeşil, orman yeşili, koyu yeşil ve zeytin yeşili renkleri için 600-900 nm dalga boyundaki yansım değerleri ve toleransları Şekil 6.1'de verilmiştir [8]. Ayrıca doğada bulunan çayırılık, gri-kahverengi toprak, 60 cm yüksekliğinde buğday tarlası ve göllerin görünür bölge (380-700 nm) ve yakın infrared (700-900 nm) bölgedeki tipik yansım eğrileri de Şekil 6.2'de verilmiştir [7].



Çizelge 4.3. Açık yeşil, orman yeşili, koyu yeşil ve zeytin yeşili renklerin yansım değerleri sınırları

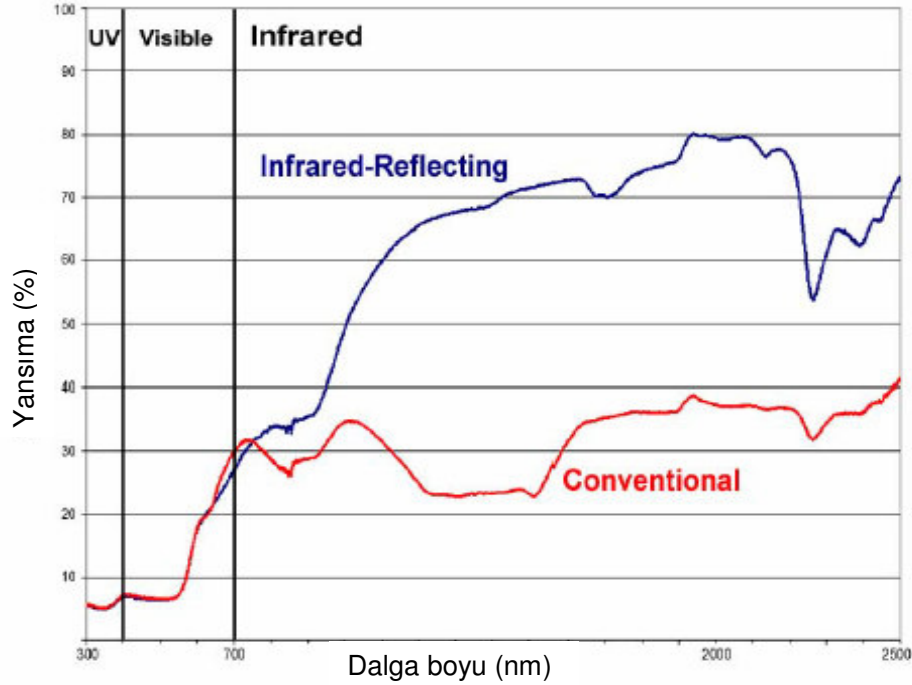


Şekil 6.2. Doğadaki bazı şekillerin yansıma değerleri  
(a) Çayırılık, (b) Gri Kahverengi(c) 60 cm yüksekliğinde  
buğday tarlası (d) Göl

Yapılan çalışmalar neticesinde, infrared yansıma sonuçları Şekil 6.1'de verilen yeşil açık yeşil, orman yeşili, koyu yeşil ve zeytin yeşili renklerinin 600-900 nm dalga boyundaki referans infrared yansıma değerleri ile Şekil 6.2'de verilen referans yansıma limitleri (çayırılık alanlar için) karşılaştırıldığında; ÇALIŞMA-1 ve ÇALIŞMA-2'de boyaların standartta verilen limitler içinde olmadığı, diğer çalışmaların ise yansıma değerleri yönünden istenen limitler içinde olduğu görülmektedir.

ÇALIŞMA-1 ve ÇALIŞMA-2'deki boyalardaki sapmalar siyah pigment olarak karbon siyahı kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Formülasyonda siyah pigment olarak karbon siyahı yerine demir oksit siyahı kullanılıncaya boyanın infrared yansıma değerleri sonuçları limitlerin içinde elde edilmiştir. Şekil 6.3'de verilen Karbon siyahı ve infrared yansımali siyah pigmentin yansıma değerleri incelendiğinde konvensiyonel karbon siyahının yansıma değeri

%40'ların altında olması nedeniyle boyanın yansımada değerini olumsuz yönde etkilemektedir [6]. Bu nedenle boyanın infrared yansımada değeri etkilenmiştir.



Şekil 6.3 Karbon siyahı ve infrared yansımali siyahının yansımada değeri

Bu çalışmanın sonuçları, kamuflaj için istenen infrared yansımada değerlerinin elde edildiğini göstermiştir. Optimum formülasyon çizelge 6.8'de verilmiştir. Formülasyonu belirlenen infrared yansımali yeşil boya, infrared özellikli gece görüş cihazlarına (450-750 nm dalga boyunda çalışan) karşı koruma sağlayacak özellikte olması nedeniyle kamuflaj amaçlı olarak kullanılabilir.

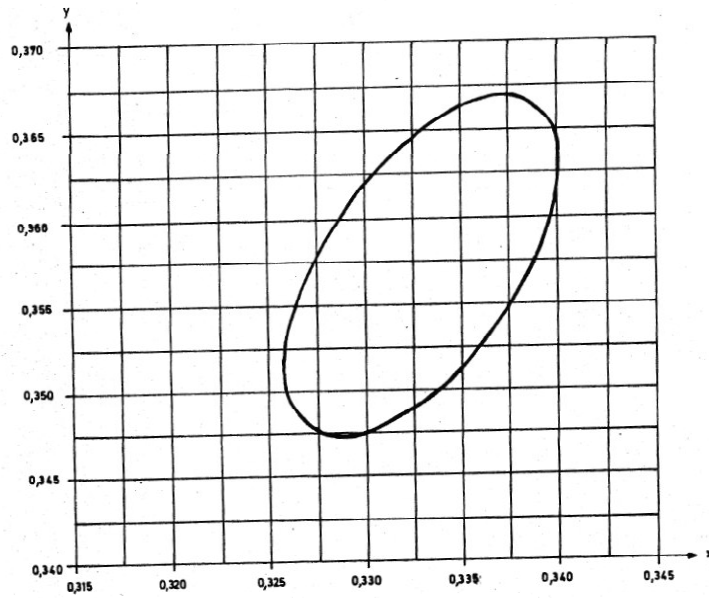
## 6.2. Renk Uzayındaki Yerlerinin İncelenmesi

Deneysel çalışmalar neticesinde, hazırlanan plakalar üzerinden UV-VIS-NIR spektrofotometre ile boyanın kromatisite koordinatları, görünür parlaklık ve  $L^*$   $a^*$   $b^*$  değeri okunmuş ve her çalışmanın sonunda hazırlanan boyanın renk uzayındaki yeri belirlenmiştir. Çalışmalarda, pigment miktarları değiştirilerek

pigmentlerin boyanın kromatisite koordinatları, görünür parlaklık ve  $L^* a^* b^*$  değerlerine etkisi incelenerek yorumlanmıştır.

### 6.2.1. Boyanın standart değerleri

- Renk : Yeşil (green 383 34094) [10].
- Kromatisite koordinatları : x: 0,333, y: 0,357 (Merkezi koordinatlar)  
tolerans değerleri Şekil 6.4'de verilmiştir [8].
- Görünür parlaklık (Y) : 5,8-7,5
- $L^* a^* b^*$  : 34,00 ( $\pm 1,0$ ), -6,5 ( $\pm 0,5$ ), 10 ( $\pm 0,5$ )



Şekil 6.4. Boyanın kromatisite koordinatları diyagramı

### 6.2.2. Yeşil ve karbon siyah pigmentlerin etkisi

Kromatisite koordinatları, görünür parlaklık ve  $L^*a^*b^*$  sonuçları Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Kromatisite koordinatları, görünür parlaklık ve  $L^* a^* b^*$  sonuçları

|           | KROMATİSİTE |        | GÖRÜNÜR<br>PARLAKLIK<br>(Y) | $L^*$ | $a^*$ | $b^*$ |
|-----------|-------------|--------|-----------------------------|-------|-------|-------|
|           | x           | y      |                             |       |       |       |
| ÇALIŞMA-1 | 0,3272      | 0,3584 | 5,80                        | 28,90 | -2,58 | 5,38  |
| ÇALIŞMA-2 | 0,3269      | 0,3613 | 6,90                        | 31,57 | -3,33 | 6,11  |
| ÇALIŞMA-3 | 0,3544      | 0,3811 | 8,64                        | 35,29 | -1,59 | 12,33 |
| ÇALIŞMA-4 | 0,3533      | 0,3794 | 8,46                        | 34,92 | -1,48 | 11,86 |

Yeşil pigment miktarındaki değişiklikler boyanın; CIE 1931 kromatisite koordinatları diyagramındaki x ve y'nin yerlerinin belirlenmesinde etkili olmadığı ve boyanın CIE 1976  $L^* a^* b^*$  renk uzayındaki  $L^* a^* b^*$  değerlerini de değiştirmediyi göstermektedir.

ÇALIŞMA-1 ve ÇALIŞMA-2 sonuçlarına göre karbon siyahı pigmentinin, boyanın görünür parlaklık ve  $L^*$  (açıklık-koyuluk) özelliğini etkilemektedir. Özellikle boyanın görünür parlaklığını referans limitlerin altına düşürmekte ve boyanın  $L^*$  değerini koyuluk yönünde etkilemektedir.

ÇALIŞMA-3 ve ÇALIŞMA-4 deneylerinde karbon siyahı yerine demir oksit siyah kullanıldığında görünür parlaklık ve  $L^*$  değerinin istenilen limitlerde olduğu görülmektedir.

### 6.2.3. Demir oksit kırmızı ve krom oksit yeşil pigmentlerinin etkisi

Demir oksit kırmızı ve krom oksit yeşil pigmentlerinin; kromatisite koordinatları, görünür parlaklık ve  $L^*$   $a^*$   $b^*$  sonuçları Çizelge 6.2'de verilmiştir.

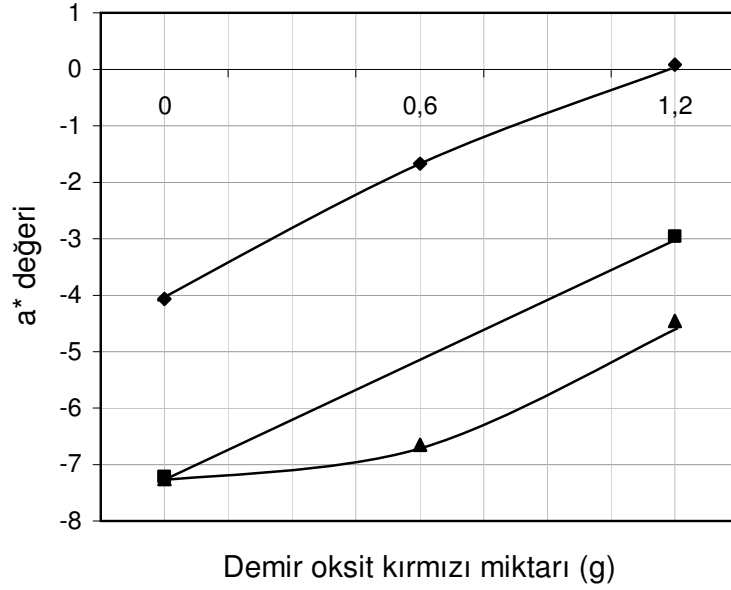
Çizelge 6.2. Kromatisite koordinatları, görünür parlaklık ve  $L^*$   $a^*$   $b^*$  sonuçları

|            | KROMATİSİTE |        | GÖRÜNÜR<br>PARLAKLIK<br>(Y) | $L^*$ | $a^*$ | $b^*$ |
|------------|-------------|--------|-----------------------------|-------|-------|-------|
|            | x           | y      |                             |       |       |       |
| ÇALIŞMA-5  | 0,3367      | 0,3745 | 8,67                        | 35,33 | -4,06 | 9,61  |
| ÇALIŞMA-6  | 0,3468      | 0,3733 | 8,54                        | 35,08 | -1,67 | 10,30 |
| ÇALIŞMA-7  | 0,3497      | 0,3676 | 8,43                        | 34,87 | 0,08  | 9,60  |
| ÇALIŞMA-8  | 0,3327      | 0,3867 | 8,60                        | 35,21 | -7,21 | 11,18 |
| ÇALIŞMA-9  | 0,3443      | 0,3774 | 8,35                        | 34,70 | -2,96 | 10,64 |
| ÇALIŞMA-10 | 0,3260      | 0,3790 | 8,72                        | 35,44 | -7,25 | 9,40  |
| ÇALIŞMA-11 | 0,3370      | 0,3883 | 8,86                        | 35,72 | -6,65 | 11,93 |
| ÇALIŞMA-12 | 0,3376      | 0,3777 | 8,48                        | 34,96 | -4,46 | 10,13 |

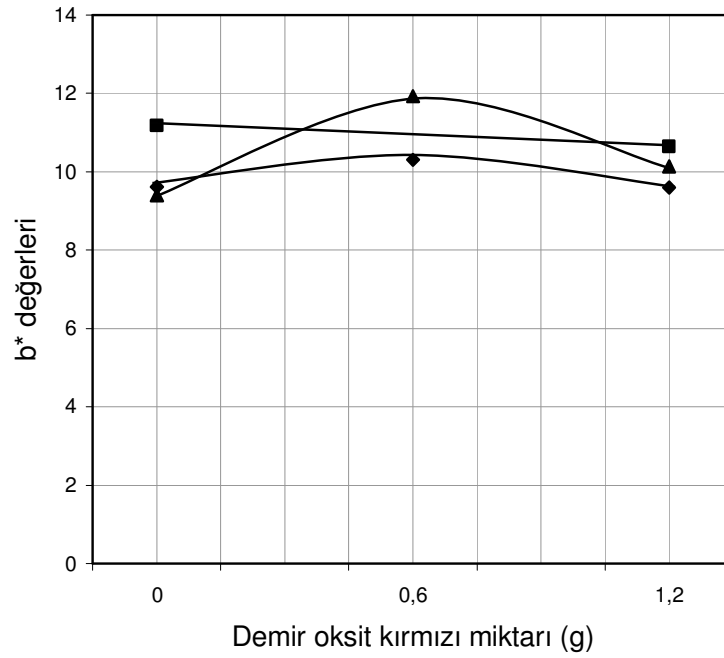
Demir oksit kırmızı pigmentinin; boyanın CIE 1931 kromatisite koordinatları diyagramındaki ve CIE 1976  $L^*$   $a^*$   $b^*$  renk uzayındaki yerine etkisinin incelenmesi için;

Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen ve Çizelge 6.2'de verilen sonuçlardan, sabit krom oksit yeşil değerlerinde, demir oksit kırmızı pigmentin değişen değerlerine karşı  $a^*$ ,  $b^*$ , x ve y grafikleri oluşturuldu. Demir oksit kırmızı miktarlarına karşı çizilen  $a^*$  değerleri grafiği Şekil 6.5'de,  $b^*$

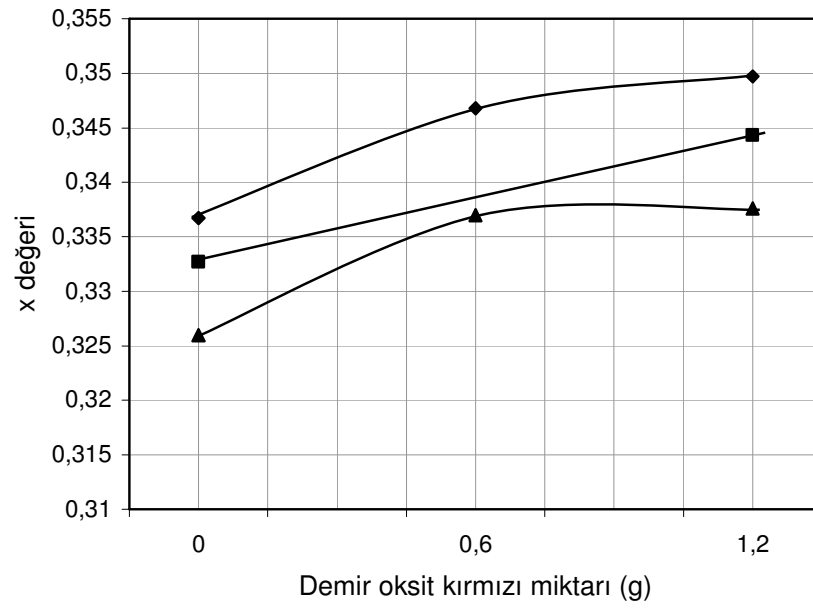
değerleri grafiği Şekil 6.6'da, x değerleri grafiği Şekil 6.7'de ve y değerleri grafiği Şekil 6.8'de verilmiştir.



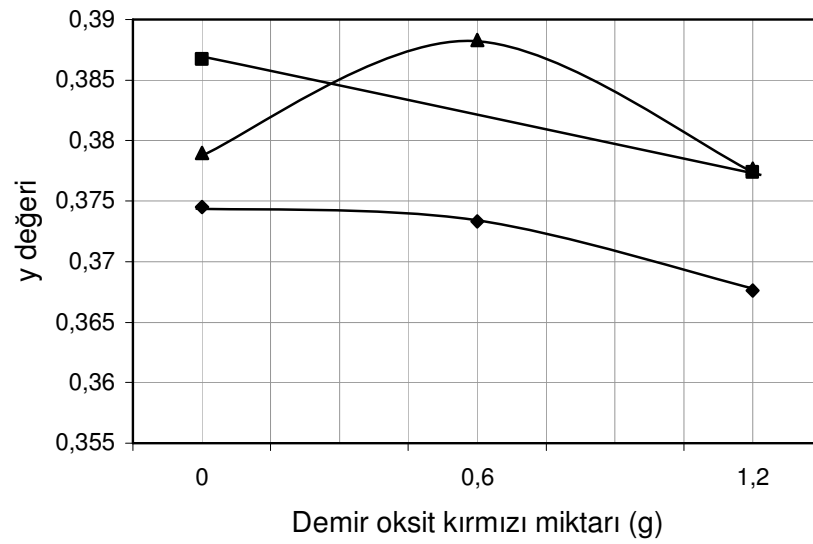
Şekil 6.5. Demir oksit kırmızı miktarına karşı a\* grafiği



Şekil 6.6. Demir oksit kırmızı miktarına karşı b\* grafiği



Şekil 6.7. Demir oksit kırmızı miktarına karşı x grafiği



Şekil 6.8. Demir oksit kırmızı miktarına karşı y grafiği

Demir oksit kırmızı değerlerine karşı çizilen  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $x$  ve  $y$  grafiklerinde;

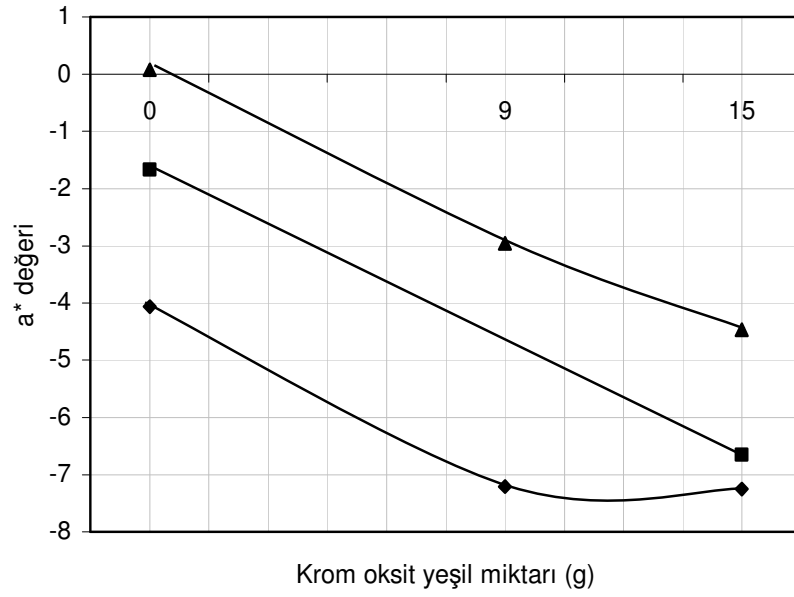
- ◆ 0 g Krom oksit yeşil
- 9 g Krom oksit yeşil
- ▲ 15 g Krom oksit yeşil miktarını göstermektedir.

Demir oksit kırmızının değişen değerlerine karşı çizilen  $a^*$  değerleri grafiği incelendiğinde; krom oksit yeşilin 9 ve 15 g sabit miktarlarında demir oksit kırmızı miktarı artırıldığında  $a^*$ 'da kırmızılık yönünde artma meydana gelmiştir. Krom oksit yeşilin 0 g sabit miktarında sonuç alınamamıştır.

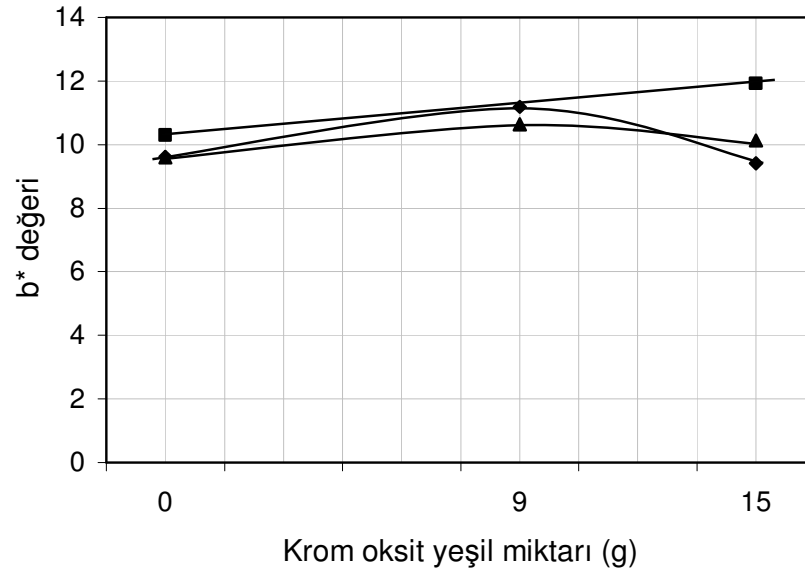
Aynı şekilde demir oksit kırmızının değişen değerlerine karşı çizilen  $x$ ,  $y$  ve  $b^*$  grafikleri incelendiğinde; demir oksit kırmızı pigmentin, boyanın renk uzayındaki  $b^*$  skalasını değiştirmemektedir. Boyanın kromatisite koordinatları diyagramında; krom oksit yeşilin 9 ve 15 g sabit miktarlarında demir oksit kırmızı miktarı artırıldığında,  $x$  (0,326-0,340) koordinatında artma olmuştur. Krom oksit yeşilin 0 g sabit miktarında  $x$  değeri yönünden sonuç alınamamıştır. Demir oksit kırmızı miktarındaki değişimler  $y$  (0,347-0,369) koordinatını değiştirmemektedir.

Yukarıdaki tespit edilen sonuçlar neticesinde; krom oksit yeşilin 9 g sabit miktarında demir oksit kırmızı miktarı artırıldığında  $a^*$  ve  $x$ 'in değerlerini değiştirmektedir. Demir oksit kırmızı miktarı artırıldığında  $a^*$  ve  $x$  referans değerinden uzaklaşmaktadır. Demir oksit kırmızı miktarındaki artma  $a^*$  ve  $x$  değerlerini istenmeyen yönde etkilemektedir.

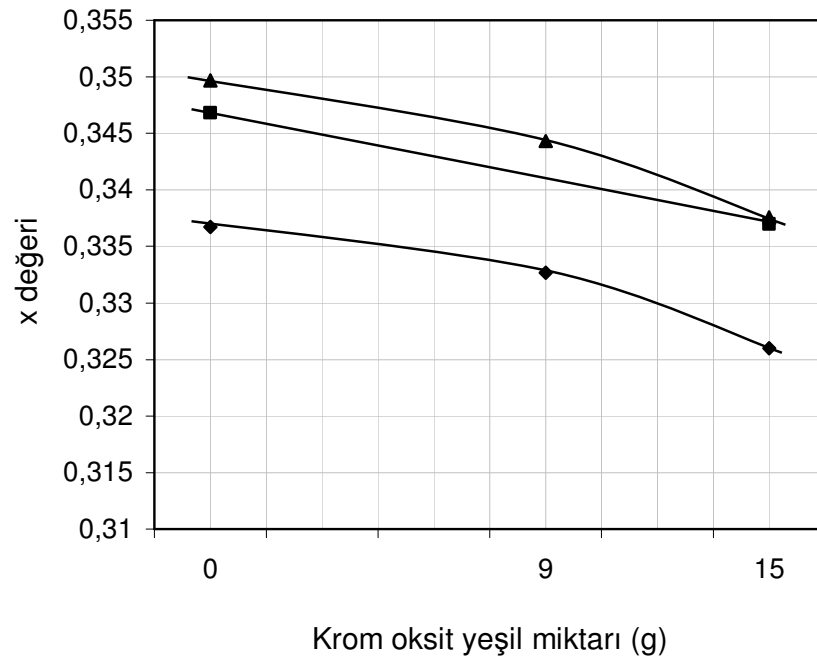
Benzer şekilde; sabit demir oksit kırmızı değerlerinde, krom oksit yeşil pigmentin değişen değerlerine karşı  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $x$  ve  $y$  grafikleri oluşturuldu. Krom oksit yeşil miktarlarına karşı çizilen  $a^*$  değerleri grafiği Şekil 6.9'da,  $b^*$  değerleri grafiği Şekil 6.10'da,  $x$  değerleri grafiği Şekil 6.11'de ve  $y$  değerleri grafiği Şekil 6.12'de verilmiştir.



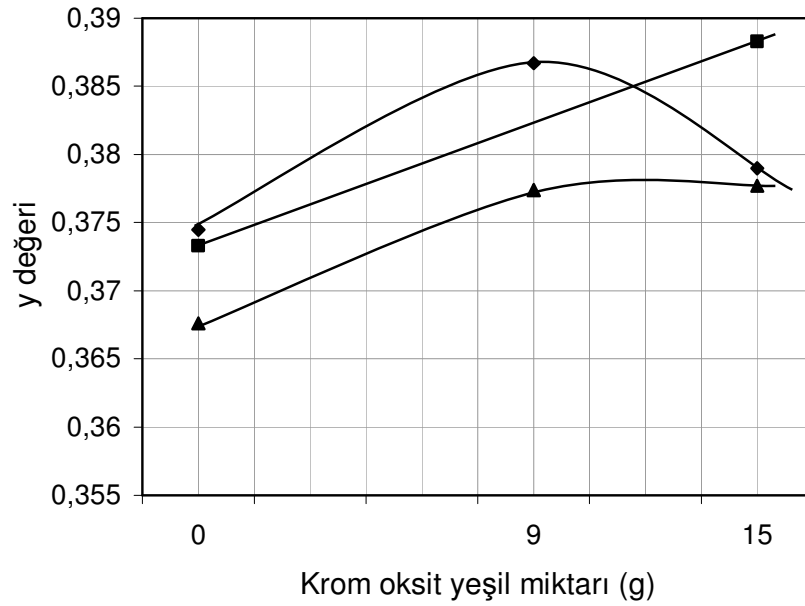
Şekil 6.9. Krom oksit yeşil miktarına karşı  $a^*$  grafiği



Şekil 6.10. Krom oksit yeşil miktarına karşı  $b^*$  grafiği



Şekil 6.11. Krom oksit yeşil miktarına karşı x grafiği



Şekil 6.12. Krom oksit yeşil miktarına karşı y grafiği

Krom oksit yeşil değerlerine karşı çizilen  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $x$  ve  $y$  grafiklerinde;

- ◆ 0 g Demir oksit kırmızı
- 0,6 g Demir oksit kırmızı
- ▲ 1,2 g Demir oksit kırmızı miktarını göstermektedir

Boyanın kromatisite koordinatları diyagramında; krom oksit yeşil miktarı artırıldığında,  $x$  (0,326-0,340) koordinatında azalma,  $y$  (0,347-0,369) koordinatında değişme olmamaktadır. Demir oksit kırmızının 1,2 g da sonuç alınamamıştır.

Yukarıdaki tespit edilen sonuçlar neticesinde; demir oksit kırmızının 0,6 g sabit miktarında krom oksit yeşil miktarın artırıldığında,  $a^*$  ve  $x$  referans değerine yaklaşma olmaktadır. Krom oksit yeşil miktarındaki artma  $a^*$  ve  $x$  değerlerini istenen yönde etkilemektedir.

Boyadaki krom oksit yeşil ve demir oksit kırmızı miktarlarındaki değişmeler boyanın  $L^*$  ve görünür parlaklık özelliklerini değiştirmemektedir.

#### Demir oksit kırmızı ve krom oksit yeşil miktarların tespiti

İnfrared yansımali boya standardında belirlenen referans  $x$ ,  $y$ ,  $a^*$  ve  $b$  değerlerinin elde edilebilmesi için boyaya ilave edilecek demir oksit kırmızı ve krom oksit yeşil miktarlarının tespiti için;

Şekil 6.5 ve Şekil 6.7’de verilen demir oksit kırmızı pigmentin  $a^*$  ve  $x$  grafiklerinden,  $a^*(-6,5 \pm 0,5)$  ve  $x$  (0,326-0,340)’in minimum ve maksimum referans değerlerine karşılık gelen demir oksit kırmızı miktarları tespit edildi. Demir oksit kırmızı miktarları Çizelge 6.3’de verildi. Demir oksit kırmızı miktarı boyanın  $b^*$  ve  $y$  değerlerini etkilemediğinden ve krom oksit yeşilin 0 gramında sonuç alınmadığından dikkate alınmamıştır.

Çizelge 6.3. Demir oksit kırmızı miktarı

| Krom oksit yeşil miktarı | Demir oksit kırmızı miktarı (g) |               |                |               |
|--------------------------|---------------------------------|---------------|----------------|---------------|
|                          | x değeri için                   | y değeri için | a* değeri için | b*değeri için |
| 0                        | -                               | -             | -              | -             |
| 9 g                      | >0,75                           | -             | <0,35          | -             |
| 15 g                     | <0,15                           | -             | >0,80          | -             |

Benzer şekilde krom oksit yeşil miktarına karşı çizilen ve Şekil 6.9 ve Şekil 6.11'de verilen a\* ve x grafiklerinden, a\* ve x'in minimum ve maksimum referans değerlerine karşılık gelen krom oksit yeşil miktarları tespit edildi. Krom oksit yeşil miktarları Çizelge 6.4'de verildi. Krom oksit yeşil miktarı boyanın b\* ve y değerlerini etkilemediğinden dikkate alınmamıştır.

Çizelge 6.4. Krom oksit yeşil miktarı

| Demir oksit kırmızı miktarı | Krom oksit yeşil miktarı (g) |               |                |               |
|-----------------------------|------------------------------|---------------|----------------|---------------|
|                             | x değeri için                | y değeri için | a* değeri için | b*değeri için |
| 0                           | <12,8                        | -             | <5,2           | -             |
| 0,6 g                       | >10,5                        | -             | >12,5          | -             |
| 1,2 g                       | -                            | -             | -              | -             |

Boyanın renk uzayındaki standarda verilen referans değerlerinin elde edilmesi için boyaya ilave edilecek krom oksit yeşil ve demir oksit kırmızı miktarları;

Çizelge 6.3'e göre demir oksit kırmızı miktarı 0,35-0,75 g arasında ve Çizelge 6.4'e göre krom oksit yeşil miktarı 10,5-12,8 g arasında olması gerekmektedir. Ancak krom oksit yeşil miktarına karşı çizilen  $a^*$  ve  $x$  değerleri grafiklerine göre demir oksit kırmızı miktarı max 0,6 g olduğundan, demir oksit kırmızı miktarı 0,35-0,6 g arasında kullanılmalıdır. Sonuç olarak boyaya, 0,35-0,6 g arasında demir oksit kırmızı, 10,5-12,8 g arasında krom oksit yeşil ilave edilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

#### 6.2.4. Karbazol menekşe ve krom oksit sarının etkisi

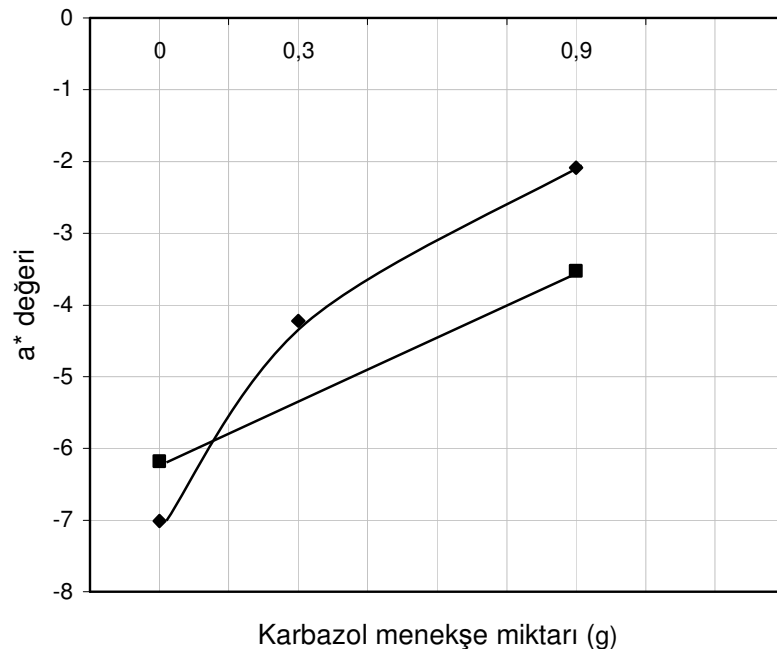
Karbazol menekşe ve krom oksit sarı pigmentlerinin; kromatisite koordinatları, görünür parlaklık ve  $L^*$   $a^*$   $b^*$  sonuçları Çizelge 6.5'de verilmiştir.

Çizelge 6.5. Kromatisite koordinatları, görünür parlaklık ve  $L^*$   $a^*$   $b^*$  sonuçları

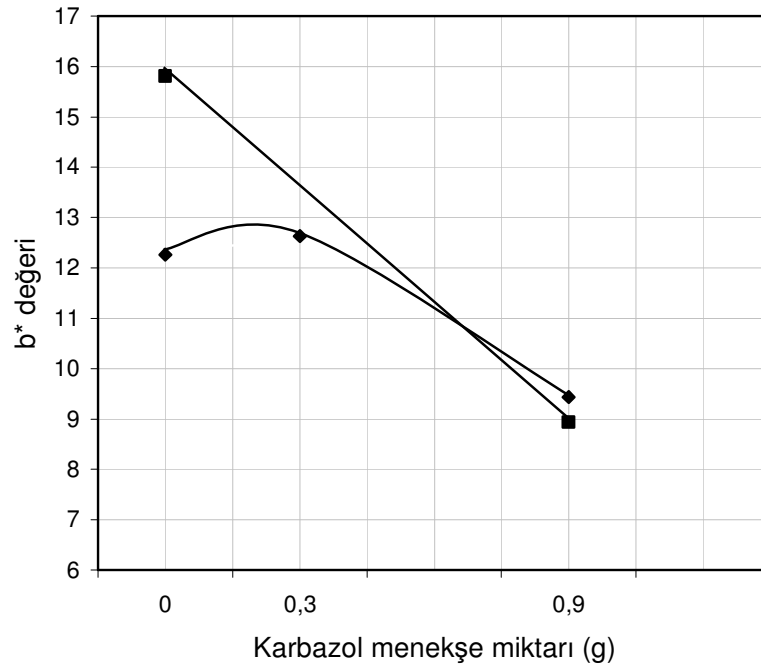
|            | KROMATİSİTE |        | GÖRÜNÜR<br>PARLAKLIK<br>(Y) | $L^*$ | $a^*$ | $b^*$ |
|------------|-------------|--------|-----------------------------|-------|-------|-------|
|            | x           | y      |                             |       |       |       |
| ÇALIŞMA-13 | 0,3364      | 0,3883 | 9,75                        | 37,38 | -7,01 | 12,26 |
| ÇALIŞMA-14 | 0,3472      | 0,3869 | 8,77                        | 35,53 | -4,22 | 12,63 |
| ÇALIŞMA-15 | 0,3432      | 0,3719 | 7,75                        | 33,45 | -2,09 | 9,44  |
| ÇALIŞMA-16 | 0,3483      | 0,3972 | 9,60                        | 37,12 | -6,07 | 14,83 |
| ÇALIŞMA-17 | 0,3507      | 0,4000 | 10,11                       | 38,03 | -6,18 | 15,81 |
| ÇALIŞMA-18 | 0,3359      | 0,3710 | 8,58                        | 35,17 | -3,53 | 8,94  |

Karbazol menekşe pigmentinin; boyanın CIE 1931 kromatisite koordinatları diyagramındaki ve CIE 1976  $L^*$   $a^*$   $b^*$  renk uzayındaki yerine etkisinin incelenmesi için;

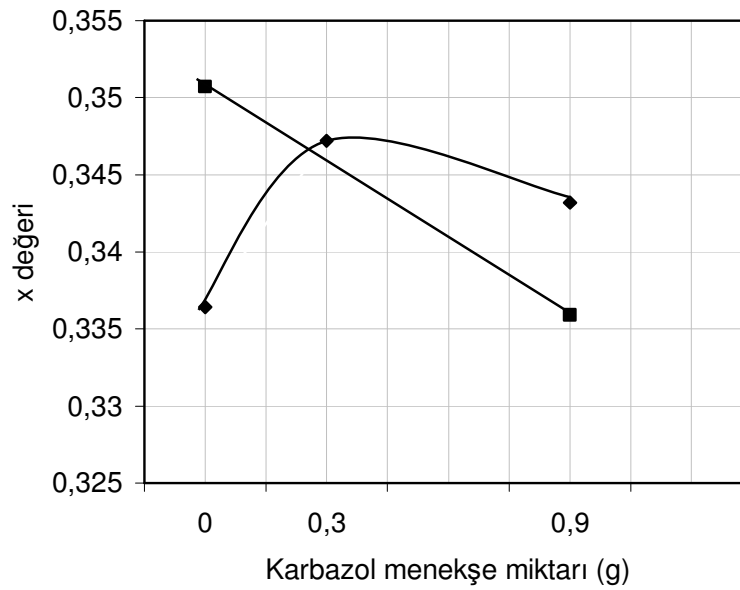
Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen ve Çizelge 6.5'de verilen sonuçlardan, sabit krom oksit sarı değerlerinde, demir oksit kırmızı pigmentin değişen değerlerine karşı  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $x$  ve  $y$  grafikleri oluşturuldu. Karbazol menekşe miktarlarına karşı çizilen  $a^*$  değerleri grafiği Şekil 6.13'de,  $b^*$  değerleri grafiği Şekil 6.14'da,  $x$  değerleri grafiği Şekil 6.15'de ve  $y$  değerleri grafiği Şekil 6.16'de verilmiştir.



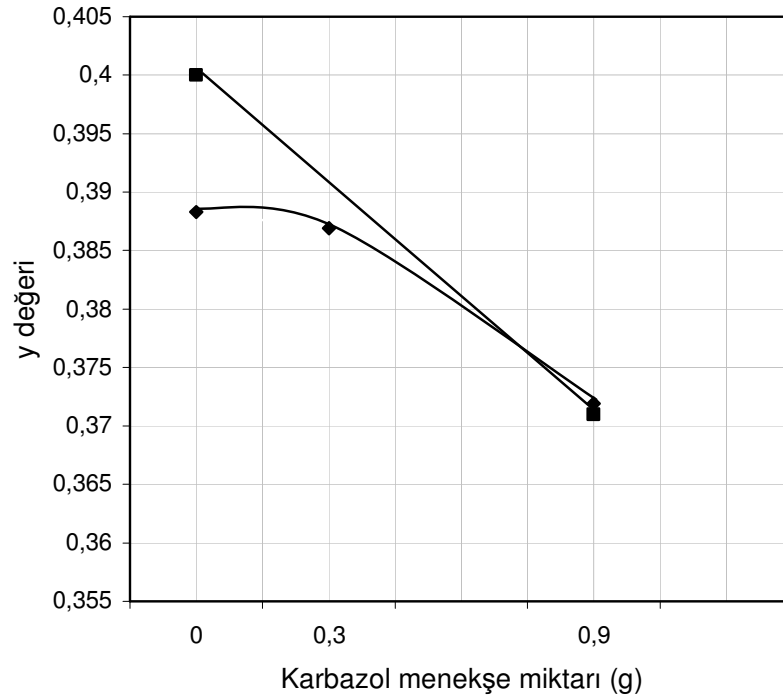
Şekil 6.13 Karbazol menekşe miktarına karşı  $a^*$  grafiği



Şekil 6.14. Karbazol menekşe miktarına karşı b\* grafiği



Şekil 6.15. Karbazol menekşe miktarına karşı x grafiği



Şekil 6.16. Karbazol menekşe miktarına karşı y grafiği

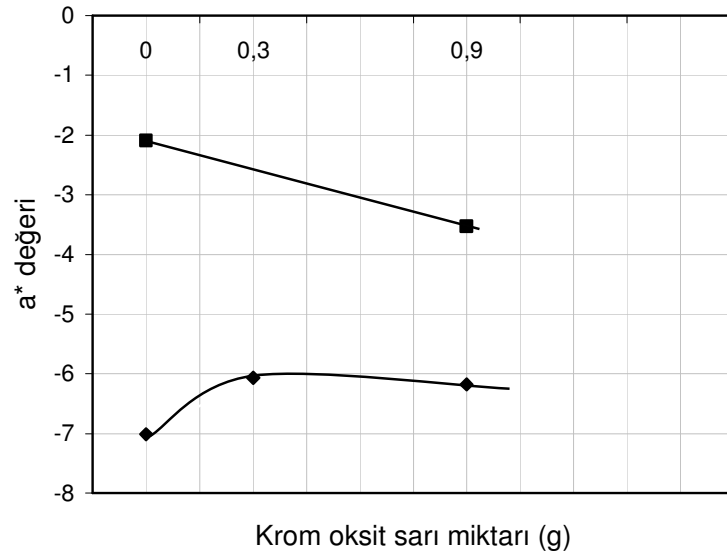
Karbazol menekşe değerlerine karşı çizilen  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $x$  ve  $y$  grafiklerinde;

- ◆ 0 g Krom oksit sarı
- 0,9 g Krom oksit sarı miktarını göstermektedir.

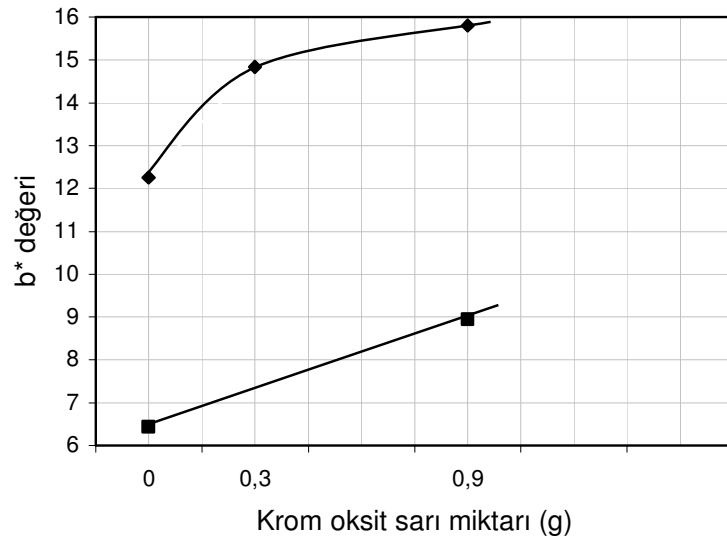
Karbazol menekşe pigmenti, boyanın renk uzayındaki  $a^*$  skalası değerini değiştirmemektedir. Karbazol menekşe miktarı artırıldığında  $b^*$ 'da mavilik yönünde artma meydana gelmiştir. Boyanın kromatisite koordinatları diyagramında; karbazol menekşe miktarı artırıldığında,  $y$  (0,347-0,369) koordinatında azalma,  $x$  (0,326-0,340) koordinatında değişme olmamaktadır.

Benzer şekilde; sabit karbazol menekşe değerlerinde, krom oksit sarı pigmentin değişen değerlerine karşı  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $x$  ve  $y$  grafikleri oluşturuldu. Krom oksit sarı miktarlarına karşı çizilen  $a^*$  değerleri grafiği Şekil 6.17'de,  $b^*$

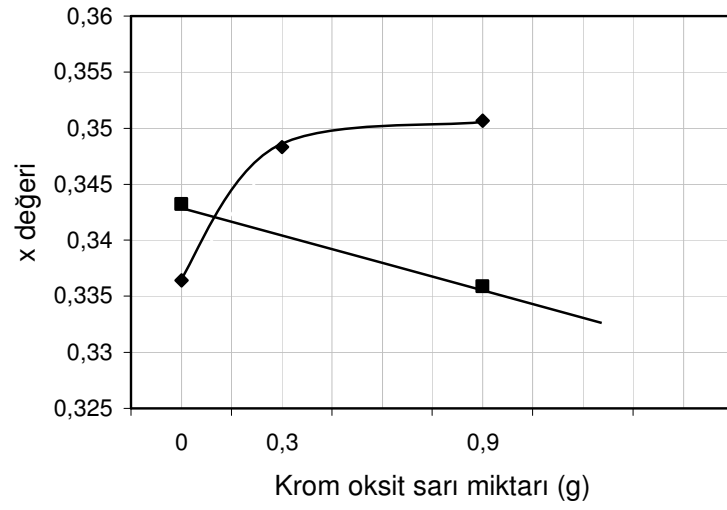
değerleri grafiği Şekil 6.18'de, x değerleri grafiği Şekil 6.19'da ve y değerleri grafiği Şekil 6.20'de verilmiştir



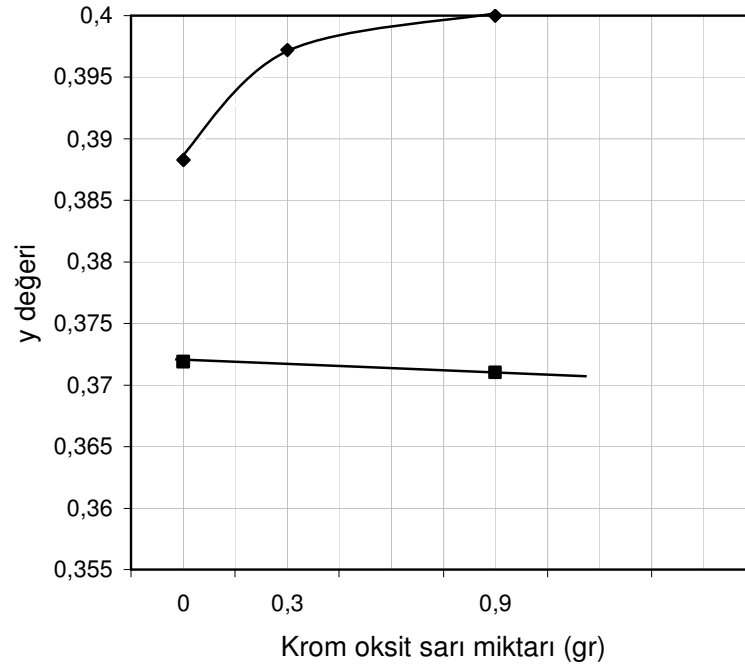
Şekil 6.17. Krom oksit sarı miktarına karşı a\* grafiği



Şekil 6.18. Krom oksit sarı miktarına karşı b\* grafiği



Şekil 6.19. Krom oksit sarı miktarına karşı x değerleri grafiği



Şekil 6.20. Krom oksit sarı miktarına karşı y değerleri grafiği

Krom oksit sarı değerlerine karşı çizilen  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $x$  ve  $y$  grafiklerinde;

- ◆ 0 g Karbazol menekşe
- 0,9 g Karbazol menekşe miktarını göstermektedir

Aynı şekilde; sabit karbazol menekşe değerlerinde krom oksit sarının değişen değerlerine karşı çizilen  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $x$  ve  $y$  grafikleri incelendiğinde; krom oksit sarı miktarı artırıldığında  $x$  değerini azalmaktadır. Boyadaki krom oksit sarı ve karbazol menekşe miktarlarındaki değişimler boyanın  $L^*$  ve görünür parlaklık özelliklerini etkilemektedir.

#### Krom oksit sarı ve karbazol menekşe miktarların tespiti

İnfrared yansımali boya standardında belirlenen referans  $x$ ,  $y$ ,  $a^*$  ve  $b$  değerlerinin elde edilebilmesi için boyaya ilave edilecek karbazol menekşe ve krom oksit sarı miktarlarının tespiti için;

Şekil 6.14 ve Şekil 6.16'da verilen karbazol menekşe pigmentin  $b^*$  ve  $y$  grafiklerinden,  $b^*(10\pm0,5)$  ve  $y(0,347-0,369)$ 'nin minimum ve maksimum referans değerlerine karşılık gelen karbazol menekşe miktarları tespit edildi. Karbazol menekşe miktarları Çizelge 6.6'da verildi. Karbazol menekşe miktarı boyanın  $a^*$  ve  $x$  değerlerini etkilemediğinden dikkate alınmamıştır.

Çizelge 6.6. Karbazol menekşe miktarı

| Krom oksit sarı miktarı | Karbazol menekşe miktarı (g) |                 |                   |                   |
|-------------------------|------------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
|                         | $x$ değeri için              | $y$ değeri için | $a^*$ değeri için | $b^*$ değeri için |
| 0                       | -                            | <0,9            | -                 | 0,65-0,85         |
| 0,9 g                   | <0,65                        | <0,9            | -                 | 0,65-0,80         |

Benzer şekilde krom oksit sarı miktarına karşı çizilen ve Şekil 6.19'da verilen x grafiğinden, x'in minimum ve maksimum referans değerlerine karşılık gelen krom oksit sarı miktarları tespit edildi. Krom oksit sarı miktarları Çizelge 6.7'de verildi. Krom oksit sarı miktarı boyanın a\* b\* ve y değerlerini etkilemediğinden dikkate alınmamıştır

Çizelge 6.7 Krom oksit sarı miktarı (g)

| Karbazol menekşe miktarı | Krom oksit sarı miktarı (g) |               |                |                |
|--------------------------|-----------------------------|---------------|----------------|----------------|
|                          | x değeri için               | y değeri için | a* değeri için | b* değeri için |
| 0                        | -                           | -             | -              | -              |
| 0,9 g                    | <0,30                       | -             | -              | -              |

Boyanın renk uzayındaki standarda verilen referans değerlerinin elde edilmesi için boyaya ilave edilecek krom oksit sarı ve karbazol menekşe miktarları;

Çizelge 6.6'e göre karbazol menekşe miktarı 0,65-0,9 g arasında ve Çizelge 6.7'e göre krom oksit sarı miktarının 0,45 g dan fazla olması gerekmektedir. Ancak krom oksit sarı x koordinatını etkilediğinden karbazol menekşe miktarına karşı çizilen x değerleri grafiğine göre krom oksit sarı miktarı max 0,9 g olduğundan, krom oksit sarı miktarı 0,45-0,9 g arasında olması gerekmektedir. Sonuç olarak boyaya 0,45-0,9 g arasında krom oksit sarı, 0,6-0,9 g arasında karbazol menekşe ilave edilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

### 6.3. Farklı Açılardan Gönderilen Işığa Karşı İnfrared Yansımalarının İncelenmesi

Yapılan deneyler sonucunda "Merkeze monte edilebilen örnek tutucu" aparatı kullanılarak, numunelere farklı açılarda ışık yollanarak yansıma

değerlerindeki değişimler ölçülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, boyanın farklı açılardan gözetlemelere karşı duyarlı olduğu tespit edilmiştir.

Deneysel çalışmalar neticesinde; infrared yansımali boyanın infrared yansıma özelliğinin belirlenmesinde yeşil pigmentin etkili olduğu infrared yansıma özelliği olmayan siyah pigmentler kullanıldığında boyanın infrared yansıma özelliğinin etkilendiği görülmüştür. Krom oksit yeşil, krom oksit sarı, demir oksit kırmızı ve karbazol menekşe pigmentlerin boyanın renk uzayındaki yerinin belirlenmesinde etkili olduğu, ancak boyanın infrared yansıma özelliğini etkilemediği görülmüştür.

Krom oksit yeşil ve demir oksit kırmızı pigmentlerinin; CIELAB renk uzay skalasında, boyanın  $a^*$  skalasındaki yerine belirlenmesinde etkili olmaktadır. Krom oksit yeşil, boyanın renk uzayındaki yerini  $-a^*$  (yeşillik) yönünde, demir oksit kırmızı  $+a^*$  (kırmızılık) yönünde artmasına neden olmaktadır. CIE 1931 kromatisite koordinatları diyagramında ise  $x$  koordinatının yerinin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Krom oksit yeşil miktarı artırıldığında  $x$  referans değerine yaklaşmakta, demir oksit kırmızı miktarı artırıldığında  $x$  referans değerinden uzaklaşmaktadır.

Karbozel violet pigmenti; CIELAB renk uzay skalasında, boyanın  $b^*$  skalasındaki yerine belirlenmesinde etkili olmaktadır. Karbazol menekşe pigmenti boyanın renk uzayındaki yerinin  $-b^*$  (mavilik) yönünde artmasına neden olmaktadır. CIE 1931 kromatisite koordinatları diyagramında ise  $x$  ve  $y$  koordinatlarının yerinin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Karbazol menekşe miktarı artırıldığında  $x$  ve  $y$  referans değerine yaklaşmaktadır.

Krom oksit sarı pigmenti; CIELAB renk uzay skalasında, boyanın  $b^*$  skalasındaki yerine belirlenmesinde kısmen etkili olmaktadır. Krom oksit sarı pigmenti boyanın renk uzayındaki yerinin  $+b^*$  (sarılık) yönünde artmasına neden olmaktadır. CIE 1931 kromatisite koordinatları diyagramında ise  $x$

koordinatının yerinin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Krom oksit sarı artırıldığında x referans değerine yaklaşmaktadır

Deneysel sonuçların neticesinde; infrared yansıma özellikli yeşil (green 383 34094) renkli boyada kullanılan pigmentlerin formülasyonu Çizelge 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.8 İnfrared yansımali yeşil pigment formülasyonu

| Pigmentin ismi            | İlave edilecek miktar<br>(g) | Ağırlıkça<br>(%) |
|---------------------------|------------------------------|------------------|
| Yeşil pigment             | 16-22                        | 8,95-11,75       |
| Krom oksit yeşil          | 10,5-12,0                    | 5,87-6,41        |
| Krom oksit sarı           | 0,45-0,9                     | 0,25-0,48        |
| Demir oksit kırmızı       | 0,45-0,6                     | 0,25-0,32        |
| Karbozel dioksazin violet | 0,6-0,9                      | 0,34-0,48        |
| Krom oranj                | 9                            | 5,03             |
| Demir oksit siyah         | 0,6                          | 0,34             |

Bu çalışma neticesinde; formülasyonu belirlenen infrared yansımali kamuflajlı boya silahlı kuvvetlerimizde mevcut tank, helikopter, uçak, silah ve askeri teçhizatın çıplak göze ve infrared türü gece görüş yeteneğine sahip cihazlarına karşı koruma sağlamak amacıyla kullanılabilir. Ayrıca TAI, FNNS, Rokeksan vb. askeri amaçlı araç, silah ve teçhizat üreten firmalar infrared yansımali kamuflaj boya kullanmaktadır. Söz konusu firmalar ve Türk Silahlı Kuvvetleri infrared özellikli boya ihtiyacını yurt dışından karşılamaktadır.

Türk Silahlı Kuvvetleri, kamu ve özel sektörün infrared özellikli boya ihtiyacının yıllık 50 ton civarında olduğu düşünülürse, yapılan bu çalışmanın ülke ekonomisine katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Ayrıca ülkemizin infrared özellikli gece görüş cihazlarına karşı milli bir koruma sistemi oluşturulabilir.

Bundan sonraki çalışmalarda; ülkemizin kendi infrared haritası çıkarılabilir. Ülkemizin yeryüzü özelliklerine göre, diğer bitki örtülerine ve renklerinde de çalışma yapılabilir. Ayrıca kobalt, titan, çinko ve krom içeren ısıya dayanıklı yeşil pigment sentezi, infrared yansımali bu formülasyonda minimum kullanım miktarı tespiti konusunda çalışma yapılabilir.

## KAYNAKLAR

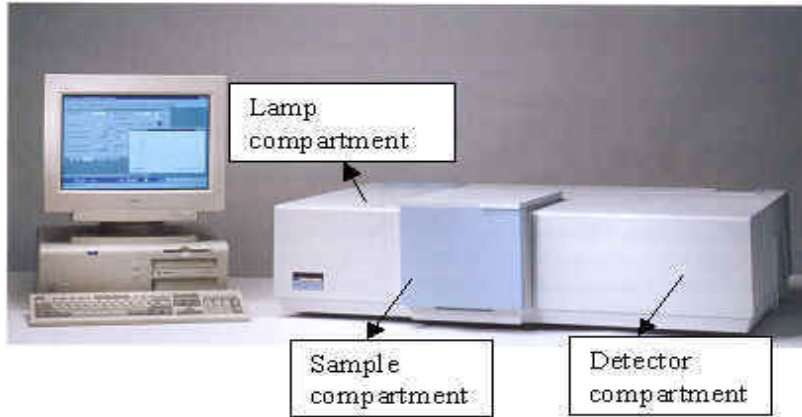
1. Weismantel G. E., "Paint Handbook", **McGraw-Hill Book Company**, New York, 76-89 (1963).
2. Morgans W. M., "Outlines of Paint Technology, 2<sup>nd</sup> ed. Volume 1", **Charles Griffin & Company Ltd.**, London, 6-40, 53-80, 84-90 (1982).
3. Nakazumi "Infrared Absorbing Dyes", **Plenum Press**, New York and London, 76-82 (1990).
4. Matsuoka M., Nakazumi H., Fabian J., "Near-Infrared Absorbing Dyes", **Chemical Review**, London, 1197-1226 (1992).
5. ASTM standardı, "E 308-01 Standart Practice for Computing the Colors of Objects by Using the CIE System" **ASTM international**, West Conshohocken, (2003).
6. İnternet : "Paint and Coatings Industry, Reflective Pigments" Shepherd Color <http://www.shepherdcolor.com/download/PCIAugArctic.pdf> (2006).
7. Ve.Co srl,"Camfouflage nets and temporary camfouflage"**Ve.Co Company** Quanttordio(AL) (2003).
8. Türk standardı, "TS 4856 Kamufraj Boyaları, Alkid Emaye Esaslı (Askeri Amaçla Kullanılan)", **Türk Standardları Enstitüsü**, Ankara, (Mayıs 1986).
9. US Military specifications, "MIL-C-46168(ME), "Coating, Aliphatic Poly urethane, Chemical Agent Resistant amendment 3", **USA Belvoir Research, Development and Engineering Center** Belvoir (2 May 1993).
- 10 US Federal specifications, "FED-STD -595 Colors Used in Government Procurement" **USA Belvoir Research, Development and Engineering Center**, Belvoir, (1996).
11. İnternet : "A Guide to Integrating Sphere Theory and Applications" [http://www.labsphere.com/uploadDocs/A%20Guide%20to%20Integrating%20Sphere%20Theory%20and%20Applications\\_1.pdf](http://www.labsphere.com/uploadDocs/A%20Guide%20to%20Integrating%20Sphere%20Theory%20and%20Applications_1.pdf) (2006).

## EKLER

EK-1 UV/VIS/NIR spektrofotometresinin genel görünüşü



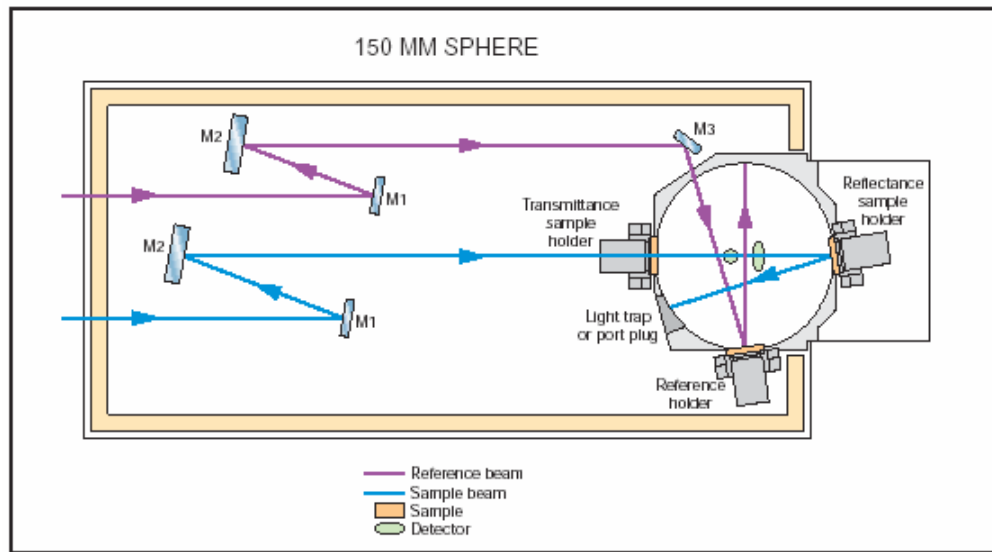
EK-2. UV/VIS/NIR spektrofotometresinin genel görünüşü



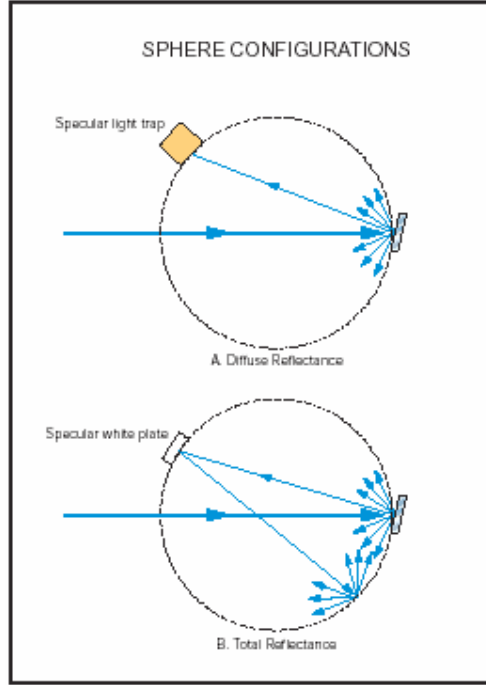
EK-3. 150 mm toplama küresi ve. "Center Mounth Sample Holders" aparatını yerleştirme şekli



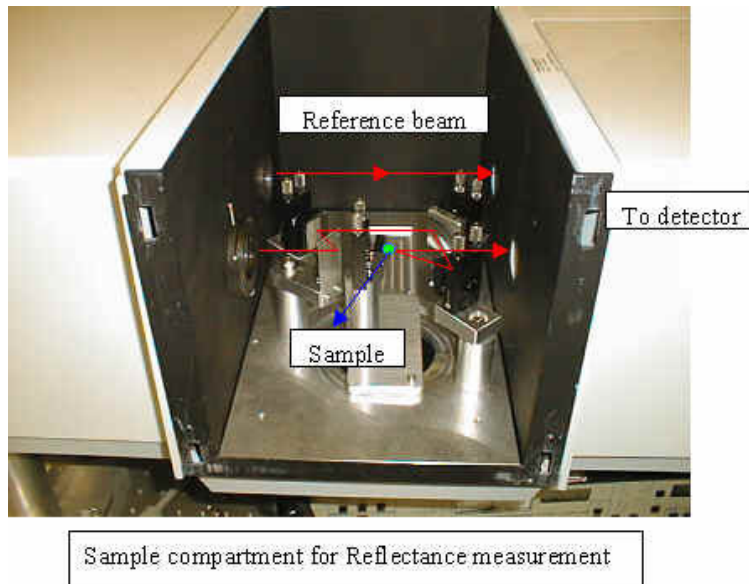
EK-4 150 mm toplama küresinin optik dizaynı



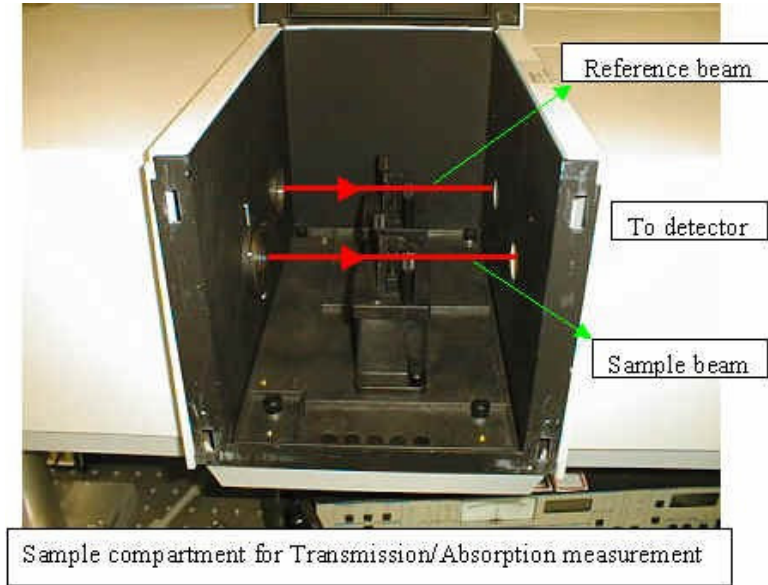
### EK-5 Yayma ve speküler yansıma için örnek konfigürasyonlar



### EK-6 Yansıma ölçümü için numune bölümü



EK-7. Transmission/Absorbansısı ölçümler için numune bölümü



EK-8 “Center Mounth Sample Holders” aparatı



## EK-9 Kimyasallar ve yardımcı maddelerin isimleri

|                         | Renk indeksi       | Üreticisi | Ticari adı                                     |
|-------------------------|--------------------|-----------|------------------------------------------------|
| Yeşil pigment           | Pigment yeşil 26   | Shepherd  | Camouflage green 179                           |
| Krom oksit yeşil        | Pigment yeşil 26   | İBS       | Krom oksit yeşil                               |
| Krom oranj              | Pigment sarı 34    | İBS       | Krom oranj                                     |
| Krom oksit sarı         |                    | İBS       | Krom oksit sarı                                |
| Demir oksit kırmızı     |                    | İBS       | Demir oksit kırmızı                            |
| Demir oksit siyah       | Pigment siyah 30   | Shepherd  | Black 10C909                                   |
| Karbon siyahı           |                    | Degussa   | Printex-U                                      |
| Karbazol menekşe        | Pigment menekşe 23 | Clariant  | Karbazol violet                                |
| Talk                    |                    | Omya      | OMYATALC 20-KP                                 |
| Barit                   |                    | Omya      | Barit                                          |
| Kalsit                  |                    | Omya      | OMYACARB 40-KP                                 |
| Matlaştırıcı            |                    | Degussa   | Acematt TS100                                  |
| Ultraviole absorblayıcı |                    | Bayer     | (bis sebasat) (1,2,2,6-pentametil – piperidil) |
| Çökme önleyici          |                    | Degussa   | Product U                                      |
| Reçine                  |                    | Bayer     | Desmophen 650 MPA                              |
| Sertleştirici           |                    | Bayer     | Desmodur N75 MPA                               |

## EK-10 Pigment ve dolgu maddelerinin özellikleri

|                                          | Yeşil pigment | Krom oranj | Kırmızı demir oksit | Yeşil krom oksit |
|------------------------------------------|---------------|------------|---------------------|------------------|
| pH değeri (% 5'lik sulu çözeltisinde)    | 9-10          | 6-9        | 3-8                 | 6-7              |
| Yağ absorpsiyonu(gr yağ /100 gr pigment) | 12-15         | 12-20      | En çok 75           | 17-20            |
| Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )           | 4,9-5,3       | 5,4-6,2    | -                   | 5,0-5,4          |
| Nem miktarı (105°C'de)                   | -             | -          | En çok % 1,5        | En çok % 1       |
| Elek üstü bakiyesi (63 mikron elek)      | -             | -          | En çok % 0,01       | En çok % 1       |

|                                           | Karbozel dioksazin violet | Talk        | Barit     | Kalsit    | Matlaştırıcı |
|-------------------------------------------|---------------------------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| pH değeri (% 5'lik sulu çözeltisinde)     | 5-8                       | 9 – 9,5     | -         | -         | 6,0-8,5      |
| Yağ absorpsiyonu (gr yağ /100 gr pigment) | -                         | 25 -35      | 10 -12    | 16 -18    | En az 300    |
| Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )            | -                         | 2,65 - 2,85 | 4,3 - 4,5 | 2,5 - 2,8 | 2,5 - 2,8    |
| Nem miktarı (105 <sup>0</sup> C'de)       | En çok % 1                | -           | -         | -         | -            |
| Elek üstü bakiyesi (63 mikron elek)       | En çok % 0.1              | -           | -         | -         | -            |
| Partikül boyutu (mikron)                  | -                         | 2 - 5       | 1-5       | 2-5       | 2-5          |

EK-11 Kobalt, titan, çinko ve krom oksit karışımlarından meydana gelen asitte erimeyen yeşil pigmentin infrared yansımaya değerleri

| Dalga Boyu | Yansımaya Yüzdesi % |       |
|------------|---------------------|-------|
|            | En çok              | En az |
| 600        | 7,0                 | -     |
| 620        | 7,0                 | -     |
| 630        | 7,0                 | -     |
| 640        | 7,0                 | -     |
| 650        | 7,0                 | -     |
| 660        | 7,0                 | -     |
| 670        | 7,5                 | 4,0   |
| 680        | 8,5                 | 5,0   |
| 690        | 9,5                 | 6,0   |
| 700        | 12,5                | 9,0   |
| 710        | 17,0                | 13,0  |
| 720        | 24,0                | 20,0  |
| 730        | 32,0                | 28,0  |
| 740        | 39,0                | 34,5  |
| 750        | 43,5                | 39,0  |
| 760        | -                   | 42,0  |
| 770        | -                   | 45,0  |
| 780        | -                   | 46,0  |
| 790        | -                   | 48,0  |
| 800        | -                   | 50,0  |

EK-12 Boya ilave edilen dolgu maddeleri, reçine ve ilave katkı maddelerin listesi ve miktarları

|                                         | İlave edilen miktar<br>(g) | Ağırlıkça (%) |
|-----------------------------------------|----------------------------|---------------|
| Talk                                    | 8                          | 4,5           |
| Barit                                   | 12                         | 6,7           |
| Kalsit                                  | 10                         | 5,6           |
| Matlaştırıcı                            | 2                          | 1,1           |
| Ultraviyole absorblayıcı                | 0,2                        | 0,1           |
| Çökme önleyici                          | 1                          | 0,5           |
| Alifatik poliüretan reçine<br>(%65'lik) | 45                         | 25,1          |
| Sertleştirici                           | 48                         | 26,8          |
| Poliüretan tiner                        | 15                         | 8,4           |
| Pigment                                 | 38                         | 21,2          |

## EK-13 Yeşil pigment ve karbon siyahına ait formülasyonlar

|                     | ÇALIŞMA-1 | ÇALIŞMA-2 | ÇALIŞMA-3 | ÇALIŞMA-4 |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Yeşil pigment       | 16,0 g    | 22,0 g    | 16,0 g    | 22,0 g    |
| Krom oksit yeşil    | 9,0 g     | 9,0 g     | 9,0 g     | 9,0 g     |
| Krom oranj          | 7,0 g     | 7,0 g     | 7,0 g     | 7,0 g     |
| Krom oksit sarı     | 0,6 g     | 0,6 g     | 0,6 g     | 0,6 g     |
| Demir oksit kırmızı | 0,6 g     | 0,6 g     | 0,6 g     | 0,6 g     |
| Karbon siyah        | 0,6 g     | 0,6 g     | 0         | 0         |
| Demir oksit siyahi  | 0         | 0         | 0,6 g     | 0,6 g     |
| Karbazol menekşe    | 0,6 g     | 0,6 g     | 0,6 g     | 0,6 g     |

## EK-14 Krom oksit sarı ve demir oksit kırmızının formülasyonlar

|                     | ÇALIŞMA-5 | ÇALIŞMA-6 | ÇALIŞMA-7 | ÇALIŞMA-8 |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Yeşil pigment       | 16,0 g    | 16,0 g    | 16,0 g    | 16,0 g    |
| Krom oksit yeşil    | 0         | 0         | 0         | 9,0 g     |
| Krom oranj          | 7,0 g     | 7,0 g     | 7,0 g     | 7,0 g     |
| Krom oksit sarı     | 0,6 g     | 0,6 g     | 0,6 g     | 0,6 g     |
| Demir oksit kırmızı | 0         | 0,6 g     | 1,2 g     | 0         |
| Demir oksit siyah   | 0,6 g     | 0,6 g     | 0,6 g     | 0,6 g     |
| Karbazol menekşe    | 0,6 g     | 0,6 g     | 0,6 g     | 0,6 g     |

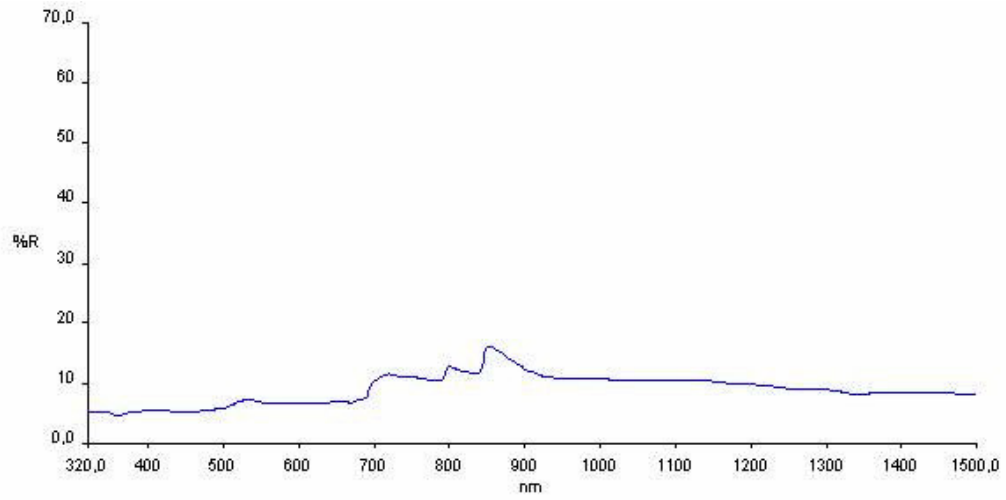
|                     | ÇALIŞMA-9 | ÇALIŞMA-10 | ÇALIŞMA-11 | ÇALIŞMA-12 |
|---------------------|-----------|------------|------------|------------|
| Yeşil pigment       | 16,0 g    | 16,0 g     | 16,0 g     | 16,0 g     |
| Krom oksit yeşil    | 9,0 g     | 15,0 g     | 15,0 g     | 15,0 g     |
| Krom oranj          | 7,0 g     | 7,0 g      | 7,0 g      | 7,0 g      |
| Krom oksit sarı     | 0,6 g     | 0,6 g      | 0,6 g      | 0,6 g      |
| Demir oksit kırmızı | 1,2 g     | 0          | 0,6 g      | 1,2 g      |
| Demir oksit siyah   | 0,6 g     | 0,6 g      | 0,6 g      | 0,6 g      |
| Karbazol menekşe    | 0,6 g     | 0,6 g      | 0,6 g      | 0,6 g      |

## EK-15 Krom oksit sarı ve karbazol menekşe ait formülasyonlar

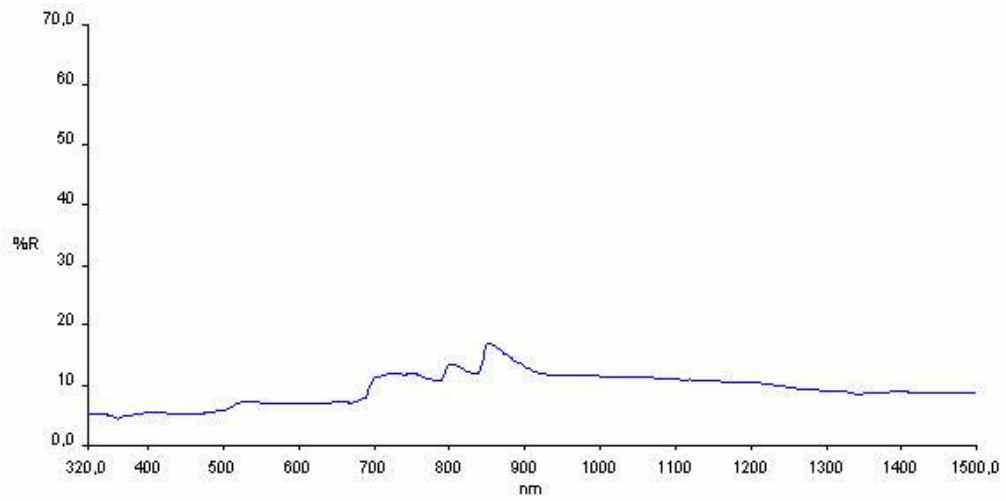
|                     | <i>ÇALIŞMA-13</i> | <i>ÇALIŞMA-14</i> | <i>ÇALIŞMA-15</i> |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Yeşil pigment       | 16,0 g            | 16,0 g            | 16,0 g            |
| Krom oksit yeşil    | 9,0 g             | 9,0 g             | 9,0 g             |
| Krom oranj          | 7,0 g             | 7,0 g             | 7,0 g             |
| Krom oksit sarı     | 0                 | 0                 | 0                 |
| Demir oksit kırmızı | 0,6 g             | 0,6 g             | 0,6 g             |
| Demir oksit siyahi  | 0,6 g             | 0,6 g             | 0,6 g             |
| Karbazol menekşe    | 0                 | 0,3 g             | 0,9 g             |

|                     | <i>ÇALIŞMA-16</i> | <i>ÇALIŞMA-17</i> | <i>ÇALIŞMA-18</i> |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Yeşil pigment       | 16.0 g            | 16,0 g            | 16,0 g            |
| Krom oksit yeşil    | 9.0 g             | 9,0 g             | 9,0 g             |
| Krom oranj          | 7.0 g             | 7,0 g             | 7,0 g             |
| Krom oksit sarı     | 0.3 g             | 0,9 g             | 0,9 g             |
| Demir oksit kırmızı | 0.6 g             | 0,6 g             | 0,6 g             |
| Demir oksit siyah   | 0,6 g             | 0,6 g             | 0,6 g             |
| Karbazol menekşe    | 0                 | 0                 | 0,9 g             |

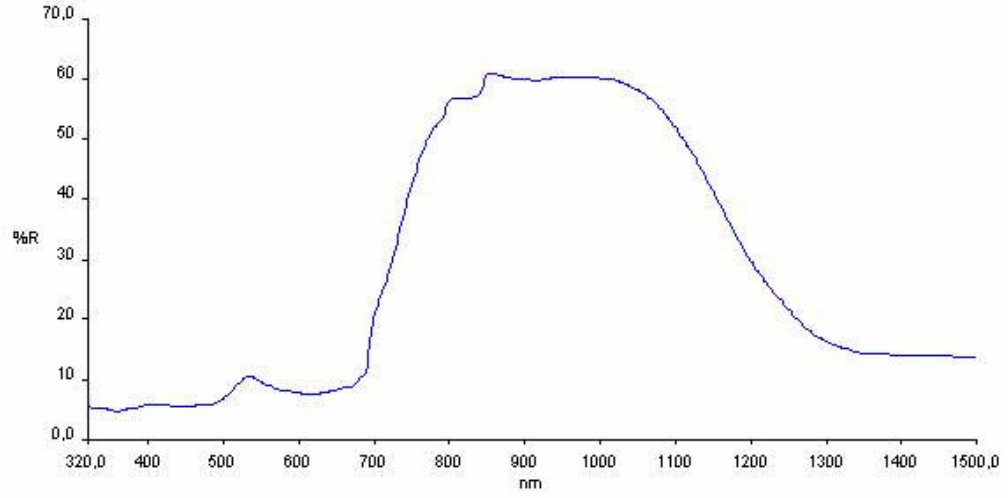
EK-16 ÇALIŞMA-1'e ait yansıma değerleri(1012Y1)



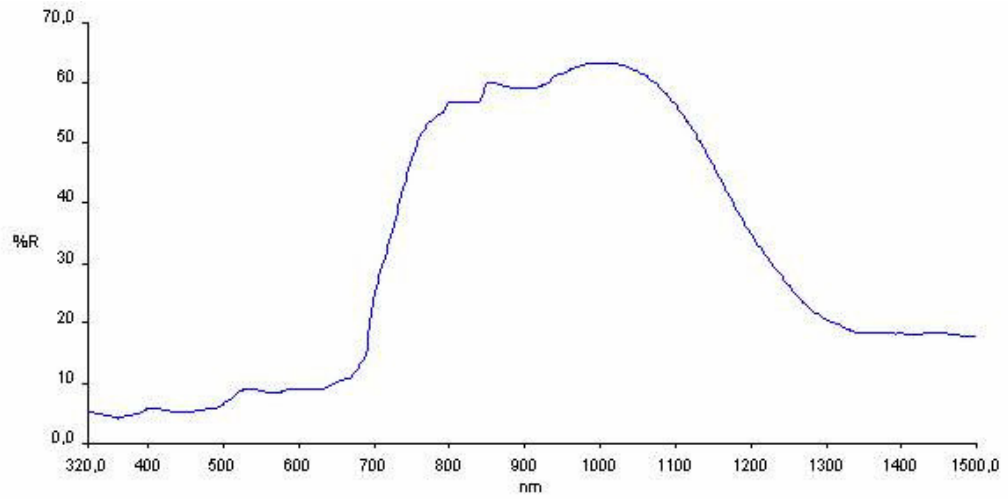
EK-17 ÇALIŞMA-2'ye ait yansıma değerleri(1412Y2)



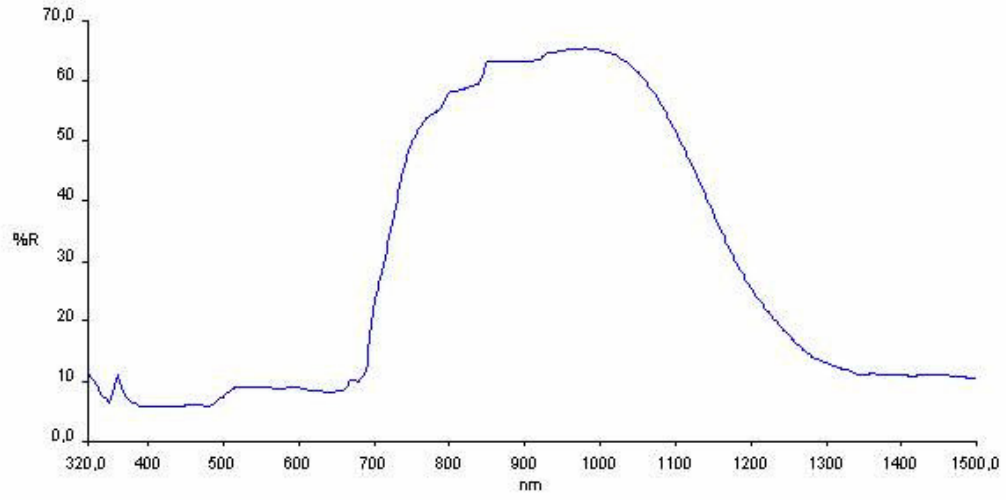
EK-18 ÇALIŞMA-3'e ait yansıma değerleri(19-2YSL1)



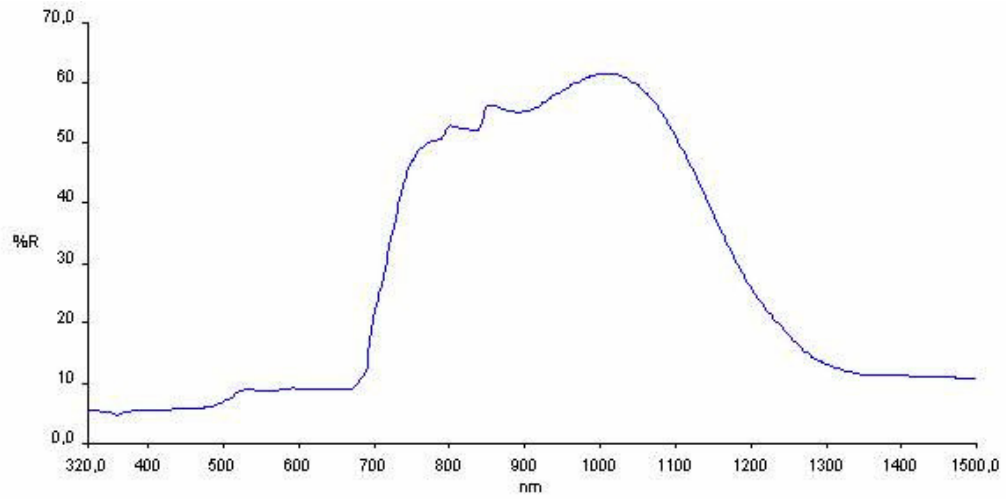
EK-19 ÇALIŞMA-4'e ait yansıma değerleri(19-2YSL2)



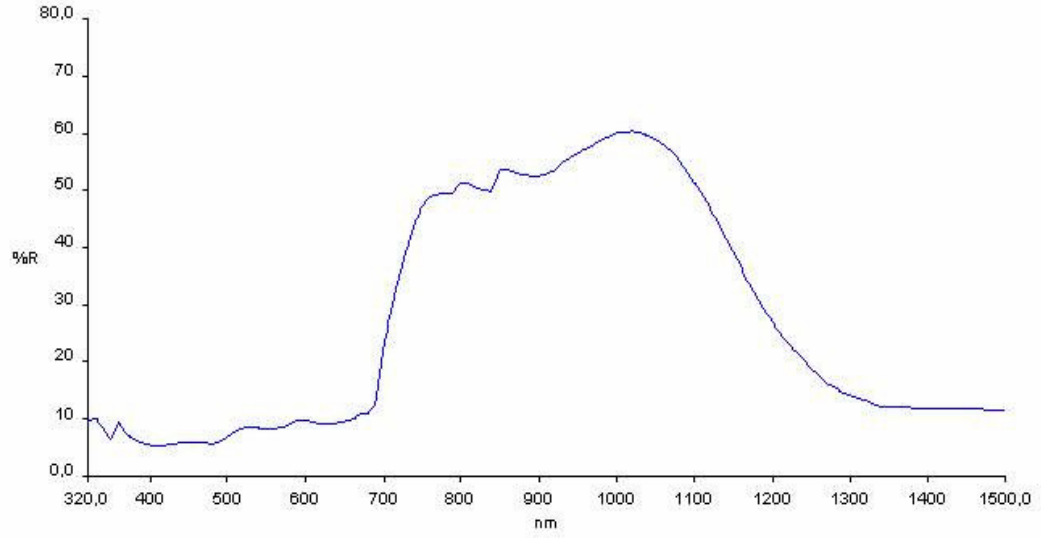
EK-20 ÇALIŞMA-5'e ait yansıtma değerleri(7-5YY01)



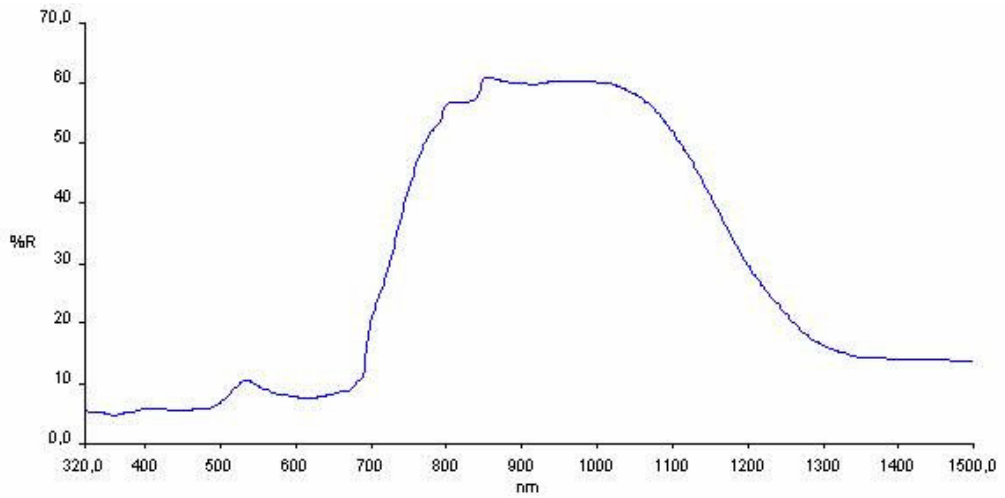
EK-21 ÇALIŞMA-6'ya ait yansıtma değerleri(2703Y1)



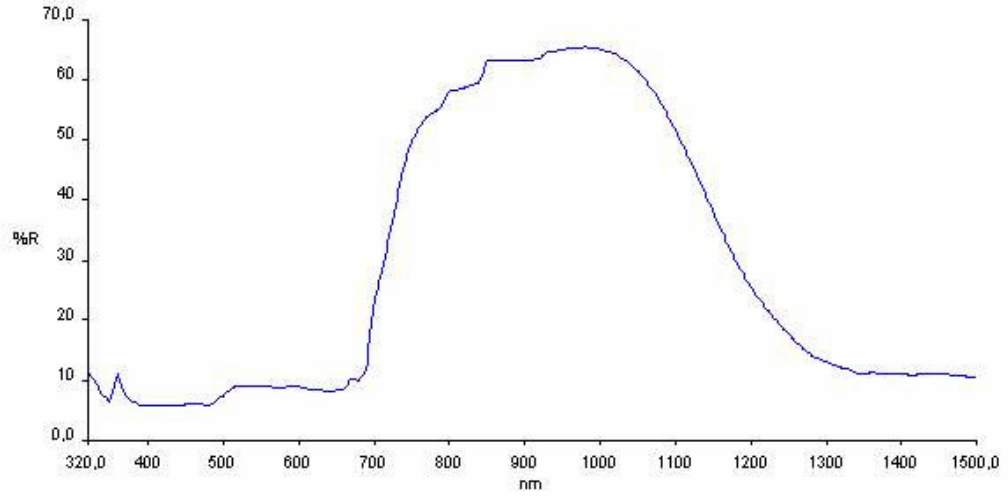
EK-22 ÇALIŞMA-7'ye ait yansıma değerleri(7-5YY02)



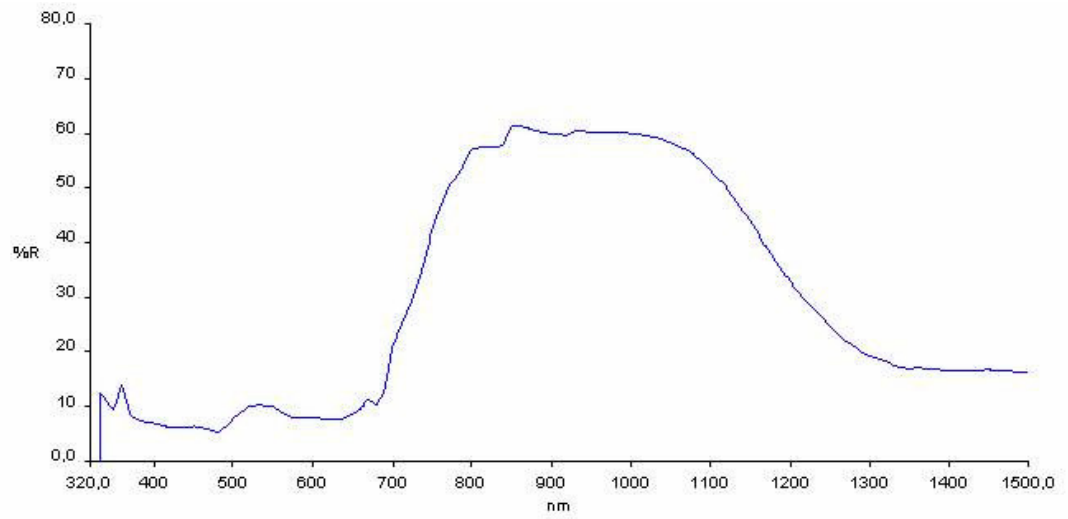
EK-23 ÇALIŞMA-8'e ait yansıma değerleri(2703Y3)



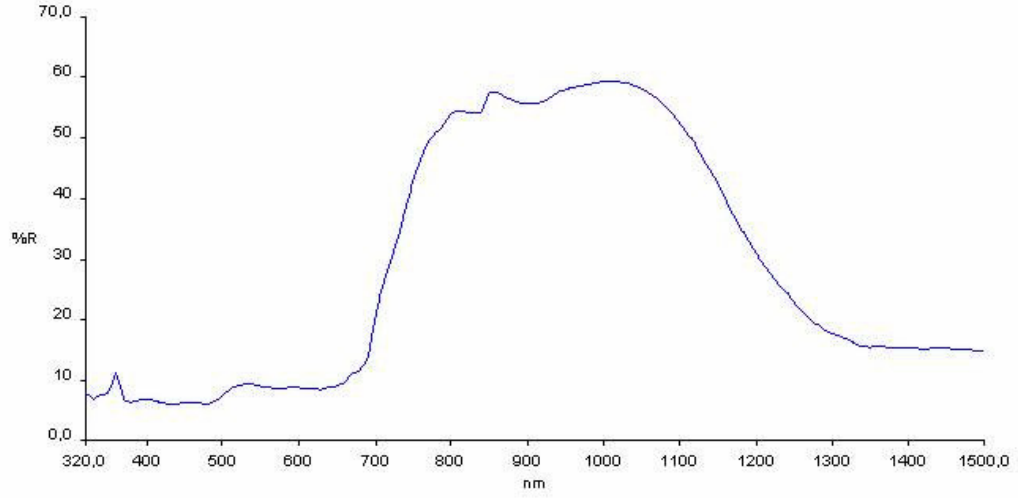
EK-24 ÇALIŞMA-9'a ait yansıtma değerleri(2703Y4)



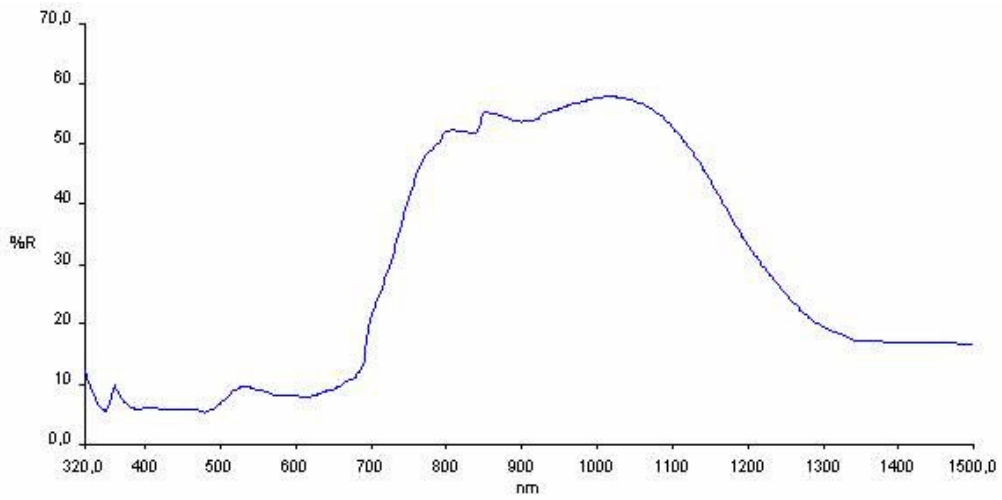
EK-25 ÇALIŞMA-10'a ait yansıtma değerleri(7-5YY04)



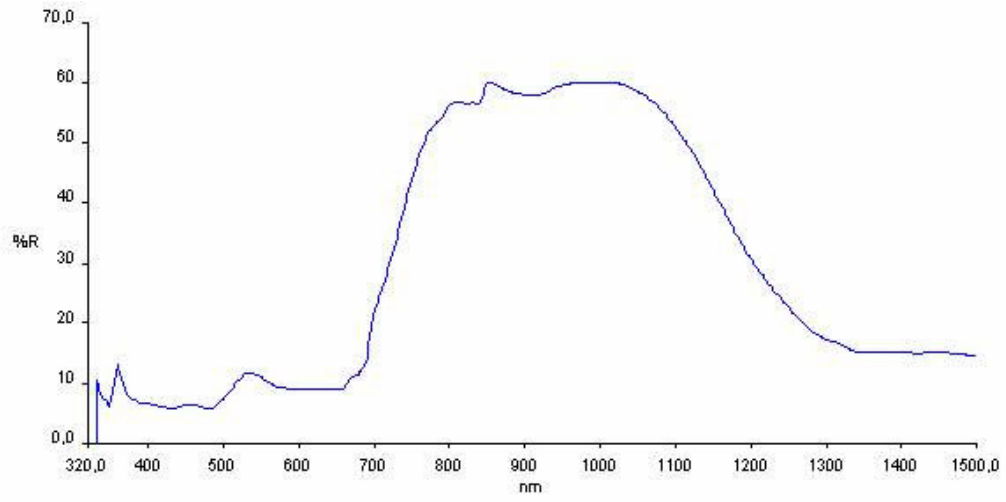
EK-26 ÇALIŞMA-11'e ait yansımadağarları(2703Y2)



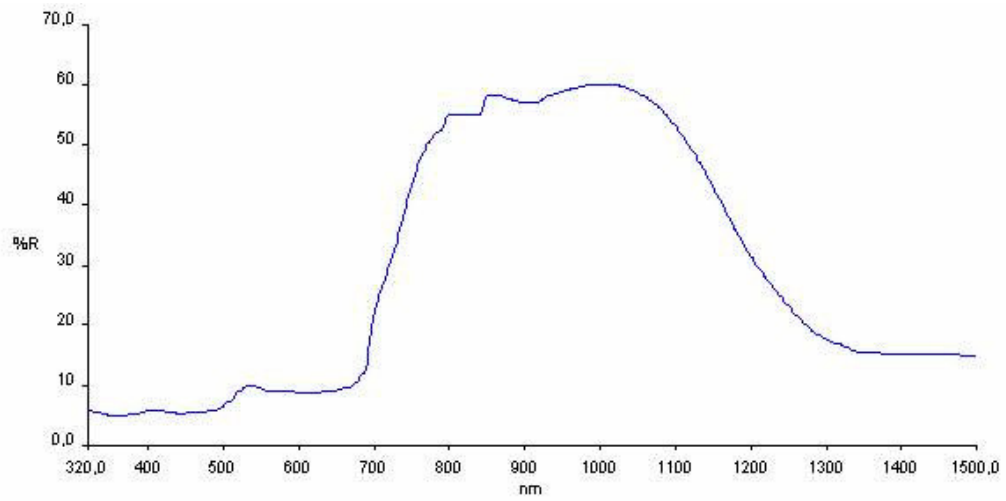
EK-27 ÇALIŞMA-12'ye ait yansımadağarları(7-5YY03)



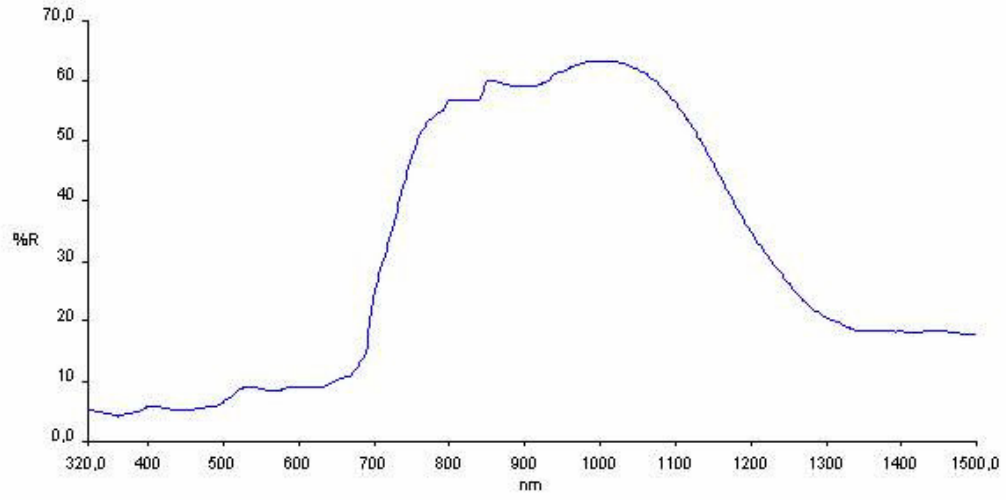
EK-28 ÇALIŞMA-13'e ait yansıma değerleri(7-5YA01)



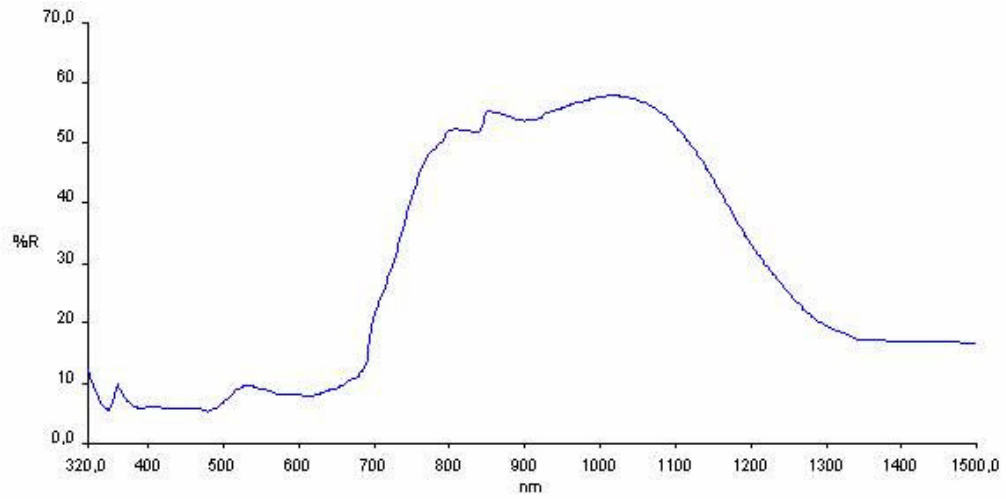
EK-29 ÇALIŞMA-14'e ait yansıma değerleri(2702YSL3)



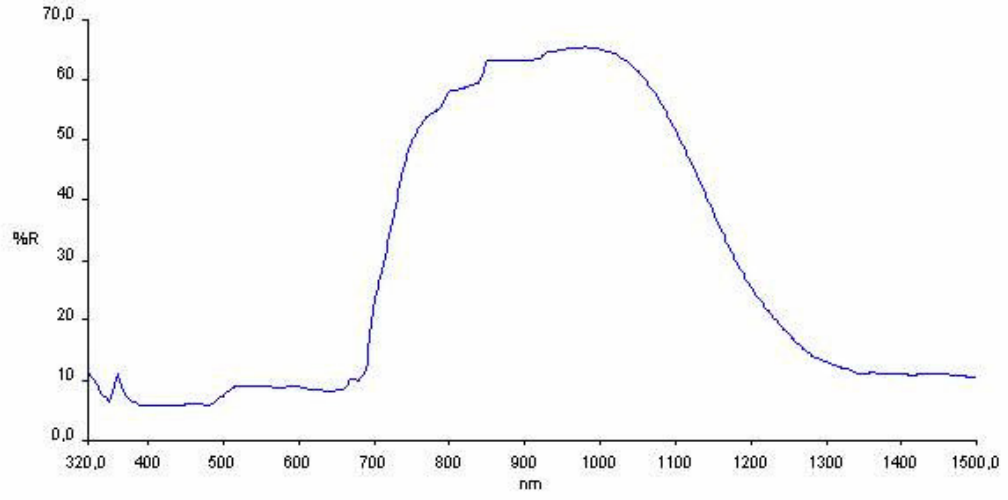
EK-30 ÇALIŞMA-15'e ait yansıtma değerleri(2702YSL4)



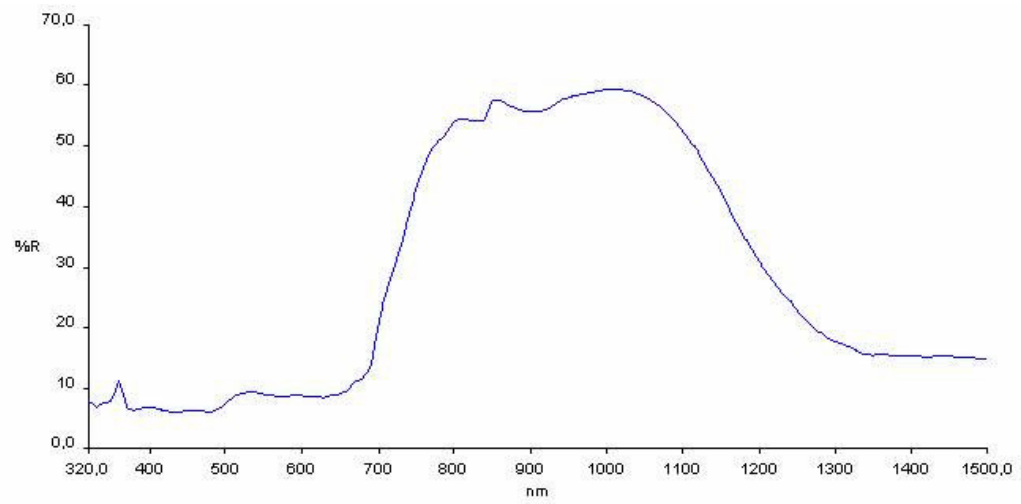
EK-31 ÇALIŞMA-16'ya ait yansıtma değerleri(2702YSL1)



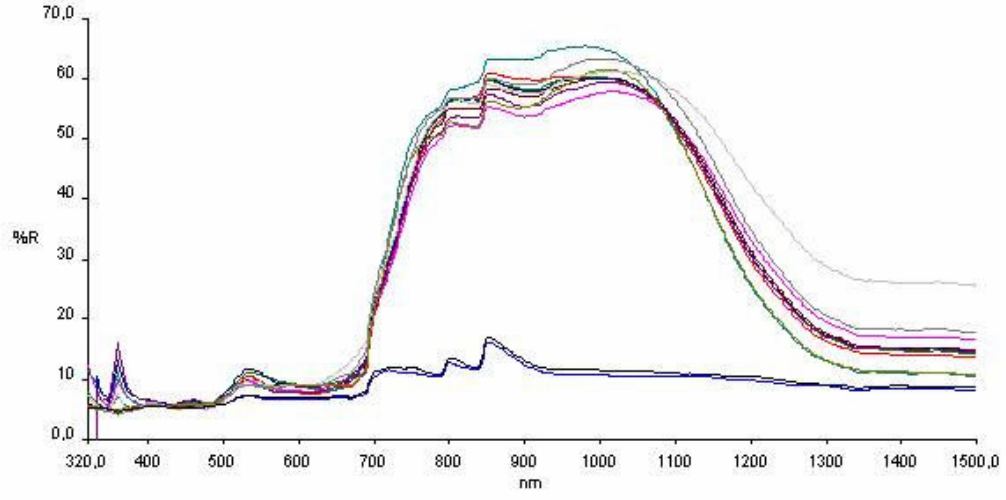
EK-32 ÇALIŞMA-17'ye ait yansıtma değerleri(2702YSL2)



EK-33 ÇALIŞMA-18'e ait yansıtma değerleri(7-5YA03)



### EK-34 Tüm çalışmalara ait yansıma değerleri



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ARDAHANLIOĞLU, Yavuz  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 02.02.1960 Ardahan  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0 (442) 234 28 54  
 Faks : 0 (442) 234 26 90  
 e-mail : [yardahanlioglu@yahoo.com](mailto:yardahanlioglu@yahoo.com).

### Eğitim

#### Derece

#### Eğitim Birimi

#### Mezuniyet tarihi

Lisans

Hacettepe Üniversitesi/ Kimya  
Mühendisliği bölümü

1985

Lise

Abidinpaşa Lisesi

1978

### İş Deneyimi

#### Yıl

#### Yer

#### Görev

1985-1994

1012 Ord. Ana Tamir Fb.

Kaplama Atl. A.

1994-2000

901 Hv. Aracı Ana Dp.ve Fb.

Kim. İşl.Grp A.

2000-2002

1011 Ord. Ana Tamir Fb.

Boya Atl.. Md.

2002-2005

Ankara Klt.Ynt.Blg.Bşk.

Lab. Müdürü

2005-

Erzurum Klt.Ynt.Blg.Bşk.

Lab. Müdürü

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

### Hobiler

Tenis, Basketbol,