



SPECTRAMATCH  
TECHNOLOGY

# SPECTRAMATCH

## Teknik Veri Sayfası

Tekstil Kalite Kontrol Sistemi

Profesyonel Renk ve Desen Analizi

*Sürüm: 2.2.3*

**Hazırlayan:** Abdelbary Algamel

**Danışman:** Dr. Adem Ükte

|| Pamukkale Üniversitesi  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

Bu belge, SpectraMatch v2.2.3 sürümünün mevcut yeteneklerini yansıtmaktadır.

# Contents

<b>1 Sisteme Genel Bakış</b>	<b>3</b>
1.1 Tanım . . . . .	3
1.2 Amaçlar . . . . .	3
1.3 Pratik Faydalar . . . . .	3
1.4 Sistem İş Akışı . . . . .	4
1.5 Uygulama Biçimleri . . . . .	5
1.5.1 Web Uygulaması . . . . .	5
1.5.2 Masaüstü Uygulaması . . . . .	5
1.5.3 Ortak Özellikler . . . . .	6
1.6 Görüntü Giriş Ortamı . . . . .	6
1.6.1 Çift Görüntü Modu . . . . .	6
1.6.2 Tek Görüntü Modu . . . . .	6
1.6.3 Bölge Seçimi . . . . .	6
1.7 Nokta Seçimi . . . . .	6
1.8 Gelişmiş Ayarlar . . . . .	7
1.8.1 Genel . . . . .	7
1.8.2 Renk . . . . .	7
1.8.3 Desen . . . . .	7
1.8.4 Aydınlatıcı . . . . .	7
1.8.5 Rapor Bölümleri . . . . .	7
1.9 İşleme Süresi . . . . .	7
1.10 Rapor Çıktısı . . . . .	8
1.11 Sürekli İyileştirme . . . . .	8
<b>2 Sistem İşleme Birimleri</b>	<b>9</b>
2.1 Renk Birimi . . . . .	9
2.1.1 Kapak Sayfası . . . . .	9
2.1.2 Giriş Görüntüleri . . . . .	10
2.1.3 RGB Değerleri . . . . .	11
2.1.4 Lab* Değerleri . . . . .	11
2.1.5 XYZ Değerleri . . . . .	13
2.1.6 CMYK Değerleri . . . . .	14
2.1.7 Fark Metrikleri . . . . .	14
2.1.8 Aydınlatıcı Analizi . . . . .	15
2.1.9 Delta Isı Haritası . . . . .	16
2.1.10 Spektral Proksi . . . . .	17
2.1.11 RGB Histogramları . . . . .	18
2.1.12 Renk Benzerlik İndeksi (CSI) . . . . .	19
2.1.13 CSI2000 . . . . .	19
2.1.14 Öneriler . . . . .	20
2.2 Desen Birimi . . . . .	21
2.2.1 Kapak Sayfası ve Giriş Görüntüleri . . . . .	21

2.2.2	Structural SSIM . . . . .	22
2.2.3	Gradient Similarity . . . . .	23
2.2.4	Phase Correlation . . . . .	24
2.2.5	Yapisal Fark Analizi . . . . .	25
2.2.6	Gradient Boundary Detection . . . . .	27
2.2.7	Phase Boundary Detection . . . . .	28
2.2.8	Fourier Alanı Analizi . . . . .	29
2.2.9	GLCM Doku Analizi . . . . .	31
2.2.10	Karar . . . . .	32
2.2.11	Öneriler ve Sonuç . . . . .	33
2.3	Tek Görüntü Birimi . . . . .	34
2.3.1	Giriş . . . . .	34
2.3.2	Ölçüm Verileri . . . . .	35
2.3.3	Spektral Analiz, Fourier Analizi ve Öneriler . . . . .	36
<b>3</b>	<b>Sıkça Sorulan Sorular</b>	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>Yazılım Uygulaması</b>	<b>42</b>
4.1	Programlama Araçları ve Teknolojileri . . . . .	42
4.2	Kod Tabanı Dil Dağılımı . . . . .	43
4.3	Dosya ve Klasör Yapısı . . . . .	43
4.4	Temel Fonksiyonlar ve Sınıflar . . . . .	44
4.4.1	app.py — Flask Uygulaması . . . . .	44
4.4.2	ColorUnitBackend.py — Renk Analizi . . . . .	44
4.4.3	PatternUnitBackend.py — Desen Analizi . . . . .	45
4.4.4	SingleImageUnitBackend.py — Tek Görüntü Analizi . . . . .	45
4.4.5	RecommendationsEngine.py — Bulgular ve Öneriler . . . . .	46
4.4.6	ReportUtils.py — Paylaşılan PDF Araçları . . . . .	46
4.4.7	ReportTranslations.py — İki Dilli Sözlük . . . . .	46
4.4.8	SettingsReceipt.py — Yapılandırma Makbuzu . . . . .	46
4.4.9	desktop/app_desktop.py — Masaüstü Başlatıcı . . . . .	47
4.4.10	Ön Yüz JavaScript . . . . .	47
<b>A</b>	<b>Kısaltmalar Sözlüğü</b>	<b>48</b>
<b>B</b>	<b>Şekil Listesi</b>	<b>49</b>
<b>C</b>	<b>Bilinen Sınırlamalar (v2.2.3)</b>	<b>50</b>

# Chapter 1

## Sisteme Genel Bakış

### 1.1 Tanım

SpectraMatch, tekstil endüstrisi için tasarlanmış, araştırma düzeyinde bir görüntü kalite kontrol sistemidir. Bir **referans** görüntü ile bir **numune** görüntüsünü karşılaştırarak nicel renk ve desen analizi sağlar; ayrıntılı metrikler, görsel tanımlamalar ve indirilebilir PDF raporlar üretir. Sistem, Pamukkale Üniversitesi (PAÜ) Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde yürütülen araştırma çalışmaları kapsamında geliştirilmiştir.

### 1.2 Amaçlar

- Tekstil numuneleri arasındaki renk farkının, yerleşik kolorimetrik standartlar (CIE  $\Delta E_{2000}$ , CIELAB) kullanılarak nesnel ve nicel olarak ölçülmesini sağlamak.
- Referans ile üretim numuneleri arasındaki yapısal benzerlik ve desen sadakatini görüntü analiz teknikleri (SSIM, GLCM, FFT, Phase Correlation) kullanarak değerlendirmek.
- Referans gerektirmeksızın renk dağılımı, doku tekdüzeliği ve kusur göstergeleri için bağımsız tek görüntü analizini desteklemek.
- Grafikler, tablolar ve eşik değerine duyarlı öneriler içeren profesyonel, çok sayfalı PDF raporları İngilizce ve Türkçe olarak oluşturmak.
- Hem laboratuvar değerlendirmesi hem de üretim sahası kullanımı için uygun, pratik bir araç olarak hizmet etmek.

### 1.3 Pratik Faydalar

- Söylenmemiş görsel incelemeyi tekrarlanabilir, sayısal ölçütlerle değiştirir.
- Yapılandırılabilir geçti/koşullu/kaldı eşik değerleri, farklı kalite standartlarına uyum sağlanması olanak tanır.
- İki dilli arayüz ve raporlar (İngilizce ve Türkçe), farklı ekiplerin kullanımını mümkün kılar.
- Farklı görüntüleme koşullarını simüle etmek için birden fazla aydınlatıcıyı (D65, D50, A, C, F2, TL84) destekler.
- Arşivleme, denetim ve birimler arası iletişim için uygun kapsamlı PDF belgeleri oluşturur.

## 1.4 Sistem İş Akışı

Şekil 1.1, SpectraMatch'in tam işleme iş akışını göstermektedir.

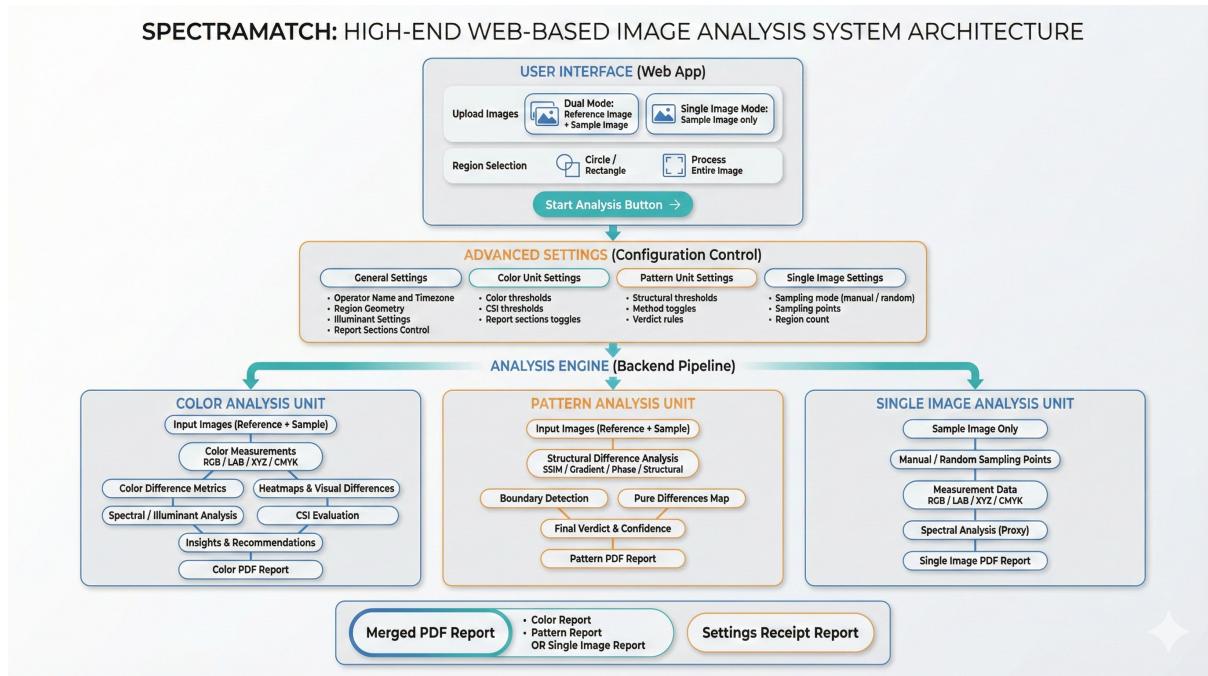


Figure 1.1: SpectraMatch sistem iş akışı. Kullanıcı görüntüleri yükler, çalışma modunu seçer, gelişmiş ayarları yapılandırır ve sistem görüntüleri ilgili birimler aracılığıyla işler. Raporlar indirilebilir PDF dosyaları olarak oluşturulur.

İş akışı aşağıdaki şekilde ilerler:

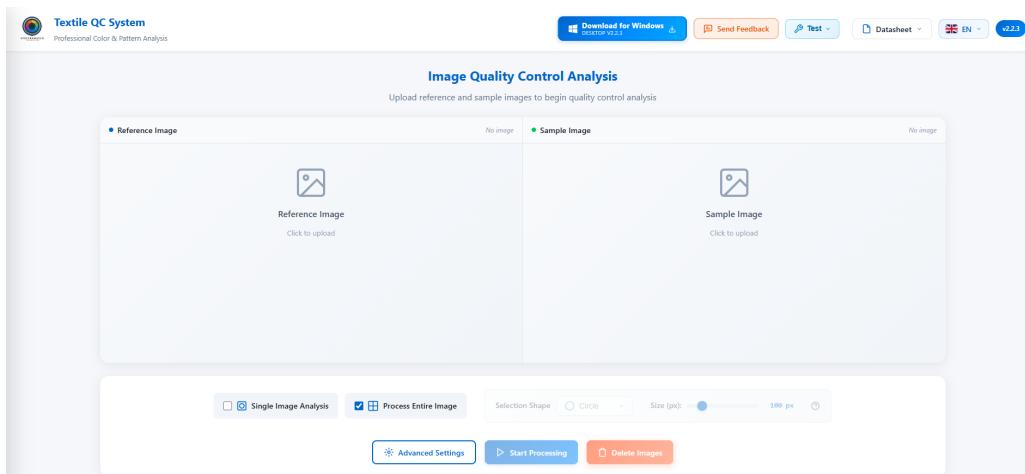
- Görüntü Girişi:** Kullanıcı bir referans görüntü ve bir numune görüntü yükler (Çift Görüntü Modu) veya tek bir numune görüntü yükler (Tek Görüntü Modu).
- Mod Seçimi:** Kullanıcı, Çift Görüntü Modu (karşılaştırma için) veya Tek Görüntü Modu (bağımsız analiz için) arasında seçim yapar.
- Gelişmiş Ayarlar:** Kullanıcı, Ayarlar paneli aracılığıyla analiz parametrelerini yapılandırır.
- İşleme:** Sistem, görüntüleri ilgili birimlere yönlendirir:
  - Renk Birimi** — renk farkı metriklerini hesaplar ( $\Delta E_{2000}$ , CSI, aydınlatıcı analizi).
  - Desen Birimi** — yapısal benzerliği değerlendirir (SSIM, Gradient, Phase, Structural Match, Fourier, GLCM).
  - Tek Görüntü Birimi** — bağımsız renk dağılımı ve doku analizi gerçekleştirir.
- Rapor Oluşturma:** Sistem PDF raporları üretir:
  - Tam Rapor** — kapak sayfası, renk sayfaları ve desen sayfalarını birlestiren bütünsel rapor.
  - Tek Görüntü Raporu** — bağımsız analiz sonuçları.
  - Ayarlar Raporu (Makbuz)** — kullanılan tüm yapılandırma parametrelerini belgeleyen ayrı bir PDF.

## 1.5 Uygulama Biçimleri

Sistem, aynı arka uç mantığını paylaşan iki biçimde sunulmaktadır:

### 1.5.1 Web Uygulaması

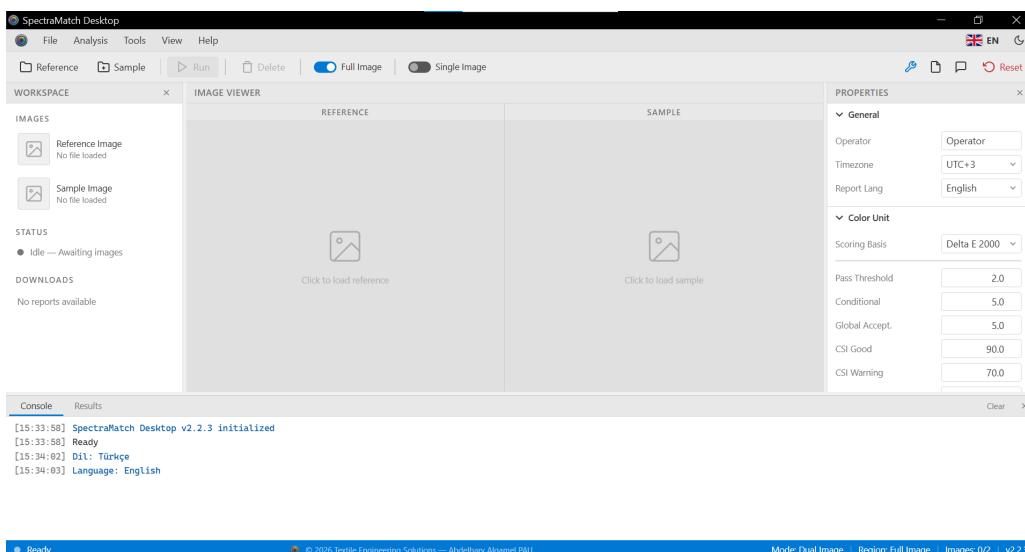
Yapilandırılmış sunucu adresinde bir tarayıcı üzerinden erişilebilir. Web arayüzü tüm analiz özeliliklerini sağlar ve ayrıca kullanıcının masaüstü uygulamasını kullanma hazır bir .exe yükleyicisi olarak indirmesine olanak tanır. Şekil 1.2, web uygulaması arayüzünü göstermektedir.



Şekil 1.2: SpectraMatch web uygulaması arayüzü.

### 1.5.2 Masaüstü Uygulaması

Aynı Flask arka ucunu pywebview kullanarak bir masaüstü penceresi içinde çalıştırılan yerel bir Windows uygulamasıdır. Başlatma sırasında bir açılış ekranı içerir, koyu ve açık mod desteği sunar ve klavye kısayolları içeren bir araç çubuğu sağlar. Şekil 1.3, masaüstü uygulaması arayüzünü göstermektedir.



Şekil 1.3: SpectraMatch masaüstü uygulaması arayüzü.

### 1.5.3 Ortak Özellikler

Her iki uygulama biçimini aşağıdaki ortak özellikleri sağlar:

- **Geri Bildirim Gönder:** Deneme aşamasında ve süregelen geliştirme sürecinde kullanıcı gözlemlerini ve önerilerini toplamak için kullanılan bir düğme.
- **Test İçin Hazır Görüntüler:** Kullanıcının kendi görüntülerini sağlamasına gerek kalmadan hızlı değerlendirme yapabilmesi için önceden tanımlanmış örnek görüntü çiftleri (üç çift olarak düzenlenmiş altı yerleşik test görüntüsü) sunan, yalnızca deneme amaçlı bir özellik.
- **Veri Sayfası:** Bu teknik belgeyi oluşturan ve erişim sağlayan bir düğme.

## 1.6 Görüntü Giriş Ortamı

### 1.6.1 Çift Görüntü Modu

Kullanıcı iki görüntü yükler: bir **referans** görüntü (standart) ve bir **numune** görüntü (değerlendirilecek üretim çıktısı). Her iki görüntü de Renk Birimi ve Desen Birimi aracılığıyla işlenir.

### 1.6.2 Tek Görüntü Modu

Kullanıcı tek bir **numune** görüntü yükler. Sistem, bir referansla karşılaştırma yapmaksızın renk dağılımı, doku tekdüzeligi ve spektral özelliklerin bağımsız analizini gerçekleştirir.

### 1.6.3 Bölge Seçimi

Analizden önce kullanıcı, aşağıdaki araçlardan birini kullanarak görüntüler üzerinde bir ilgi bölgesi tanımlayabilir:

- **Daire** — ayarlanabilir çaplı dairesel seçim.
- **Kare** — ayarlanabilir kenar uzunluklu kare seçim.
- **Dikdörtgen** — bağımsız genişlik ve yükseklik kontrolüyle dikdörtgen seçim.
- **Serbest Çizim (Kalem)** — doğrudan görüntü üzerinde özel bir kapalı çokgen çizimi.

Tüm araçlar tıkla-yerleştir, sürükle-taşı ve kaydır-boyutlandır (Kalem hariç) desteği sağlar. Seçilen bölge, her iki görüntü üzerinde eş zamanlı olarak görsel olarak bindirilir. Bölge seçilmemezse görüntünün tamamı kullanılır.

## 1.7 Nokta Seçimi

Renk Birimi ve Tek Görüntü Birimi, seçilen bölge içindeki ayrik noktalarda renk örneklemesi yapar. Sistem şunları destekler:

- **Manuel yerleştirme** — kullanıcı her bir örneklemeye noktasını yerleştirmek için doğrudan görüntü üzerine tıklar.
- **Rastgele oluşturma** — sistem, reddetme örneklemesi kullanarak seçilen bölge içinde düzgün dağılmış  $N$  adet rastgele nokta otomatik olarak oluşturur.
- **Karma** — kullanıcı bazı noktaları manuel olarak yerleştirir ve sistem geri kalanını rastgele noktalarla tamamlar.

Arka uç sıkı doğrulama uygular: her nokta (manuel veya rastgele) tanımlanan bölge içinde ve görüntü sınırları dahilinde yer almmalıdır. Bölge dışına yerleştirilen noktalar reddedilir.

## 1.8 Gelişmiş Ayarlar

Gelişmiş Ayarlar paneli beş alt bölüm halinde düzenlenmiştir:

### 1.8.1 Genel

- Seçim şekli (daire, kare, dikdörtgen, kalem).
- Rapor dili (uygulama dilinden bağımsız)
- Operatör adı (raporlara dahil edilir).
- Saat dilimi farkı (UTC, rapor zaman damgaları ve kimlik oluşturma için kullanılır).

### 1.8.2 Renk

- Renk puanlama yöntemi ( $\Delta E_{2000}$ , CSI veya CSI2000).
- Örneklemme noktası sayısı ( $N$ ).
- Örneklemme modu (manuel, rastgele, karma).
- Geçme eşiği (bir noktanın GEÇTİ olarak sınıflandırıldığı parametre değerleri).
- Koşullu eşik (bir noktanın KOŞULLU olarak sınıflandırıldığı parametre değerleri).
- Puanlar (İyi / Uyarı) eşik değerleri.
- Lab\* bileşen eşik değerleri ( $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$ ).

### 1.8.3 Desen

- Genel desen eşiği.
- Yönteme özgü eşik değerleri (SSIM, Gradient, Phase, Structural Match), her biri geçme ve koşullu değerleriyle.

### 1.8.4 Aydınlatıcı

- Birincil aydınlatıcı seçimi (D65, D50, A, C, F2, CWF, TL84).
- Test aydınlatıcıları listesi (çoklu aydınlatıcı karşılaştırması için bir veya daha fazla aydınlatıcı).

### 1.8.5 Rapor Bölümleri

- Bireysel rapor bölümleri için açma/kapama düğmeleri

## 1.9 İşleme Süresi

İşleme süresi, görüntü boyutuna ve etkinleştirilen rapor bölümlerinin sayısına bağlıdır. Daha büyük görüntüler, piksel düzeyindeki işlemler (ısı haritaları, SSIM, FFT, yapısal analiz) için daha fazla hesaplama gerektir. GLCM veya Fourier analizi gibi bölümlerin devre dışı bırakılması, bu hesaplamları tamamen ortadan kaldırarak toplam işleme süresini azaltır.

## 1.10 Rapor Çıktısı

Raporlar, seçilen dilde PDF dosyaları olarak oluşturulur. Her rapor, otomatik olarak oluşturulan bir analiz kimliği kullanılarak adlandırılır: **SPEC\_YMMDD\_HHMMSS** — burada zaman damgası yapılmış saat dilimi farkını kullanır. Bir dil son eki (**\_EN** veya **\_TR**) eklenir. Analiz raporuyla birlikte aynı temel dosya adını paylaşan ve **\_AYARLAR** son ekine sahip ayrı bir **Ayarlar Raporu** (yapilandırma makbuzu) oluşturulur; bu rapor kullanılan tüm yapılandırma parametrelerini belgelendirir. Şekil 1.4, bir Ayarlar Raporunun kapak sayfasını göstermektedir.

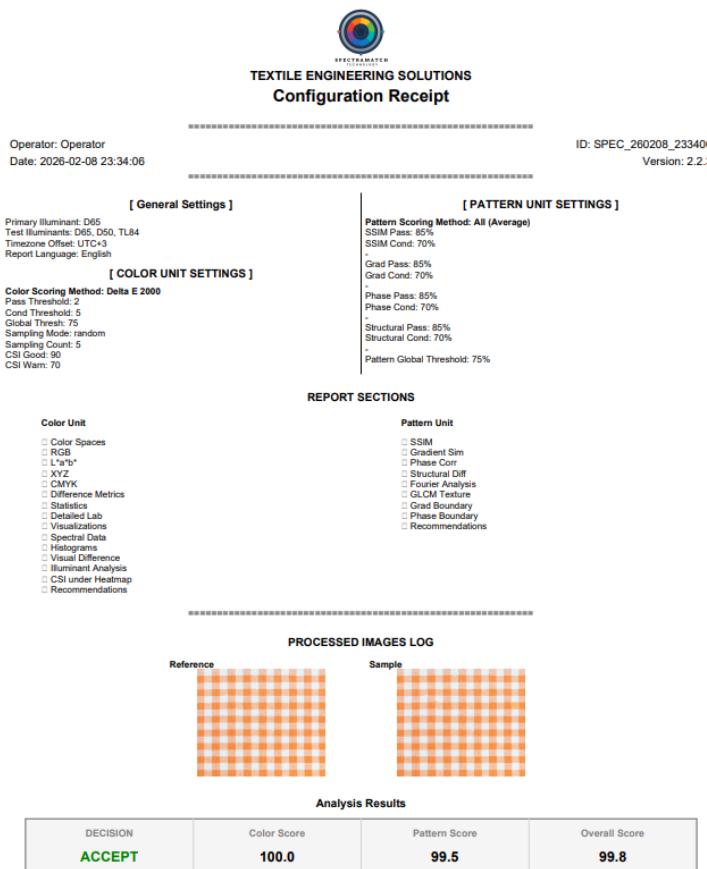


Figure 1.4: Ayarlar Raporu — Yapılandırma makbuzu PDF’inin kapak sayfası. Eşik değerleri, aydınlatıcı seçimleri, etkinleştirilen bölümler ve puanlama yöntemi dahil tüm analiz parametrelerini belgelendirir.

## 1.11 Sürekli İyileştirme

Proje, v2.2.3 sürümünün ötesinde aktif olarak geliştirilmektedir. İyileştirmeler; gerçek kullanım gözlemleri, yapılmış testler ve akademik araştırma gereksinimleri doğrultusunda yönlendirilmektedir.

# Chapter 2

## Sistem İşleme Birimleri

Bu bölüm, SpectraMatch'in arka uç işleme omurgasını tanımlar. Her işleme birimi, belirli bir analiz kategorisinden sorumludur ve oluşturulan PDF raporu içinde kendine ayrılmış bir bölüm üretir. Sistemin ürettiği her rapor bölümü, tablo ve şekil için bu bölüm şunları sağlar: (1) tanım ve amaç, (2) nasıl hesaplandığı, (3) sonucun nasıl okunacağı ve (4) nasıl değerlendirileceği.

### 2.1 Renk Birimi

Renk Birimi, referans görüntü ile numune görüntü arasında nicek renk karşılaştırması gerçekleştirir.  $N$  örnekleme noktasında renk değerlerini çıkarır, bunları birden fazla renk uzayına dönüştürür, renk farkı metriklerini hesaplar ve eşik değerine uygun kararlar üretir.

#### 2.1.1 Kapak Sayfası

##### Tanım ve Amaç

Kapak sayfası, Renk Raporunun ilk sayfasıdır. Rapor kimliğini, meta verilerini ve genel renk analizi sonucunun yönetici özeti sunar.

##### Nasıl Oluşturulur

Kapak sayfası; şirket logosu, rapor başlığı, oluşturma zaman damgası, operatör adı, birincil aydınlatıcı, rapor kimliği ve yazılım sürümünü içerir. Bir Yönetici Özeti bandı, genel durumu (GEÇTİ, KOŞULLU veya KALDI) renk kodlamasıyla (yeşil, turuncu, kırmızı) gösterir. Bandın altında, birincil puanlama metriği (seçilen puanlama yöntemine göre:  $\Delta E_{2000}$ , CSI veya CSI2000) görüntülenir ve ardından  $\Delta E_{76}$ ,  $\Delta E_{94}$  ve  $\Delta E_{2000}$  için ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri gösteren bir özet istatistik tablosu yer alır.

##### Sonuç Nasıl Okunur

Yönetici özeti bandı, genel renk eşleşme kalitesinin yanında görsel bir göstergesini sağlar. Birincil puan, 100 üzerinden degeriyle belirgin şekilde gösterilir. İstatistik tablosu, tüm örnekleme noktalarındaki renk farkının dağılım özelliklerini verir.

## Nasıl Değerlendirilir

- **GEÇTİ** (yeşil): Numune tanımlanan kalite eşik değerlerini karşılamaktadır.
- **KOŞULLU** (turuncu): Numune kalite sınırlarına yakındır; ek inceleme önerilir.
- **KALDI** (kırmızı): Numune gerekli kalite standartlarını karşılamamaktadır.

### 2.1.2 Giriş Görüntüleri

#### Input Images

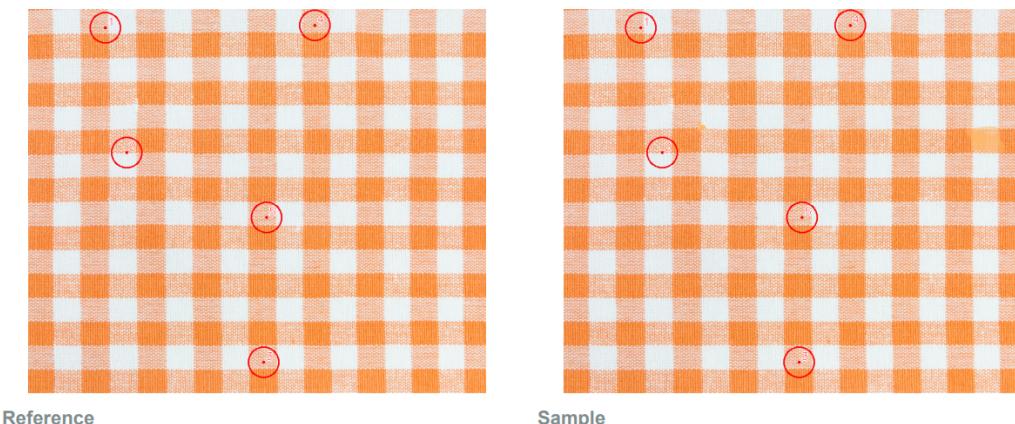


Figure 2.1: Renk Birimi — Giriş Görüntüleri. Referans (sol) ve numune (sağ) örnekleme noktası bindirmeleriyle. Yeşil daireler manuel olarak yerleştirilen noktaları; turuncu daireler rastgele oluşturulan noktaları gösterir.

#### Tanım ve Amaç

Bu bölüm, örnekleme noktası konumları numaralı daireler olarak bindirilmiş şekilde referans ve numune görüntülerini yan yana gösterir.

#### Nasıl Oluşturulur

Sistem, her iki görüntüde de her örnekleme noktası konumunda daireler çizer. Noktalar renk kodludur: manuel olarak yerleştirilen noktalar için yeşil, rastgele oluşturulan noktalar için turuncu. Her nokta sıralı olarak numaralandırılmıştır.

#### Sonuç Nasıl Okunur

Bindirme, örnekleme noktalarının kumaşın amaçlanan alanlarına konumlandırıldığının görsel doğrulamasını sağlar. Numaralandırma, sonraki ölçüm tablolarındaki satırlara karşılık gelir.

#### Nasıl Değerlendirilir

Tüm örnekleme noktalarının ilgi bölgesi içinde ve kumaşın temsili alanlarında yer aldığıni doğrulayın. Kenarlardaki, kıvrımlardaki veya artefaktlardaki noktalar güvenilmez ölçümler üretebilir.

### 2.1.3 RGB Değerleri

#### RGB Color Values

Region	Position	Ref R	Test R	Ref G	Test G	Ref B	Test B
1	(158, 38)	239	239	198	198	174	174
2	(202, 294)	238	238	210	210	193	193
3	(483, 724)	242	242	186	186	150	150
4	(588, 33)	242	242	189	189	157	157
5	(489, 427)	240	240	191	191	161	161

Figure 2.2: Renk Birimi — RGB Değerleri tablosu. Referans ve numune için nokta bazlı Kırmızı, Yeşil ve Mavi kanal değerleri (0–255).

#### Tanım ve Amaç

RGB Değerleri tablosu, her bir örnekleme noktasında hem referans hem de numune görüntülerini için çıkarılan ham Kırmızı, Yeşil ve Mavi kanal yoğunluklarını (0–255 ölçeği) sunar.

#### Nasıl Hesaplanır

Her örnekleme noktasında, dairesel bir piksel yaması çıkarılır. Geçerli alfa değerine (saydam olmayan) sahip piksellerin ortalaması alınarak ortalama RGB değeri elde edilir. Yama yarıçapı  $r = \max(12, \lfloor 0.04 \times \min(h, w) \rfloor)$  olarak hesaplanır; burada  $h$  ve  $w$  görüntü boyutlarıdır.

#### Sonuç Nasıl Okunur

Her satır bir örnekleme noktasına karşılık gelir. Tablo; Referans R, Numune R, Referans G, Numune G, Referans B, Numune B değerlerini gösterir. Sütunlar renk kodludur (R için kırmızı arka plan, G için yeşil, B için mavi).

#### Nasıl Değerlendirilir

Herhangi bir kanalda referans ile numune değerleri arasındaki büyük farklar bir renk kaymasına işaret eder. RGB değerleri cihaza bağımlıdır ve algısal doğruluk için Lab\* değerleriyle birlikte yorumlanmalıdır.

### 2.1.4 Lab\* Değerleri

Aşağıdaki şekil, referans ve numune görüntülerini için ortalama CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) değerlerini tablosunu göstermektedir.

#### LAB\* Color Space Values

Region	Ref L*	Test L*	Ref a*	Test a*	Ref b*	Test b*
1	82.75	82.75	11.00	11.00	17.00	17.00
2	86.27	86.27	7.00	7.00	12.00	12.00
3	80.00	80.00	15.00	15.00	26.00	26.00
4	80.78	80.78	15.00	15.00	23.00	23.00
5	81.18	81.18	13.00	13.00	22.00	22.00

Figure 2.3: Ortalama CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) değerleri ve bileşen bazlı farklar.

## Lab\* Visualizations

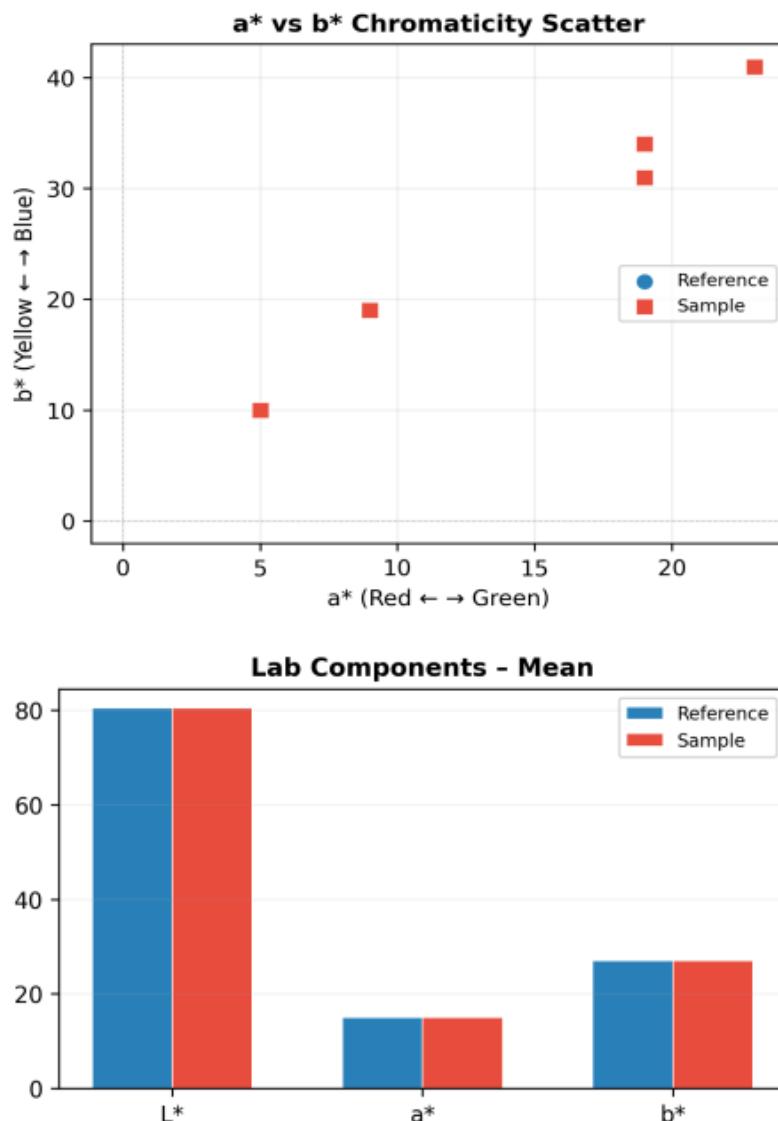


Figure 2.4: Renk Birimi — Lab\* Görselleştirmesi. a\*b\* krominans saçılım grafiği ve referans ile numune için ortalama L\*, a\*, b\* grublandırılmış çubuk grafiği.

### Tanım ve Amaç

Lab\* bölümü, algısal olarak tekdüze bir renk uzayı analizi sağlar. CIELAB, açıklığı ( $L^*$ ) krominanstan ( $a^*$ : kırmızı–yeşil ekseni;  $b^*$ : sarı–mavi ekseni) ayırarak algılanan renk farklarının nicelleştirilmesi için uygun hale getirir.

### Nasıl Hesaplanır

RGB değerleri şu dönüşüm hattından geçirilir: sRGB → doğrusal RGB (ters gama) → XYZ (sRGB-XYZ matrisi kullanılarak) → kromatik adaptasyon (seçilen aydınlatıcıya Bradford dönüşümü) → CIELAB (aydınlatıcı beyaz noktası kullanılarak). Her bileşen için tüm örnekleme noktalarındaki ortalama değerler hesaplanır.  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$  farkları hesaplanır ve genel büyülüklük  $\sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$  türetilir.

Bir kalite değerlendirme tablosu, her bileşen farkını kullanıcı tanımlı eşik değerleriyle karşılaştırır ve bileşen başına GEÇTİ veya KALDI atar. Yorumlar sağlanır: ihmal edilebilir ( $< 0.25 \times$  eşik), fark edilebilir ( $<$  eşik), belirgin ( $< 2 \times$  eşik) veya kritik ( $\geq 2 \times$  eşik).

Bir  $a^* - b^*$  krominans saçılım grafiği ve ortalama  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  gruplandırılmış çubuk grafiği oluşturulur.

### Sonuç Nasıl Okunur

- $\Delta L^* > 0$ : numune daha açık;  $\Delta L^* < 0$ : numune daha koyu.
- $\Delta a^* > 0$ : numune daha kırmızı;  $\Delta a^* < 0$ : numune daha yeşil.
- $\Delta b^* > 0$ : numune daha sarı;  $\Delta b^* < 0$ : numune daha mavi.

### Nasıl Değerlendirilir

Her bileşen kendi eşik değeriyle karşılaştırılır. Tüm bileşenler geçerse rapor “sıkı tolerans dahilinde” ifadesini belirtir. Herhangi biri kalırsa, kalan parametreler ve aşım değerleri listelenir.

### 2.1.5 XYZ Değerleri

**XYZ Tristimulus Values**

Region	Ref X	Ref Y	Ref Z	Test X	Test Y	Test Z
1	63.86	62.30	48.80	63.86	62.30	48.80
2	68.32	68.43	60.17	68.32	68.43	60.17
3	60.06	56.40	36.71	60.06	56.40	36.71
4	61.18	58.05	39.88	61.18	58.05	39.88
5	61.05	58.43	41.87	61.05	58.43	41.87

Figure 2.5: Renk Birimi — XYZ Değerleri tablosu. Referans ve numune için nokta bazlı CIE XYZ tristimulus değerleri.

### Tanım ve Amaç

XYZ tablosu, her örnekleme noktasındaki CIE 1931 XYZ tristimulus değerlerini sunar. XYZ, CIELAB’ın türetildiği cihazdan bağımsız renk uzayıdır.

### Nasıl Hesaplanır

sRGB değerleri doğrusallaştırılır (ters sRGB kompaddingi), ardından sRGB-XYZ dönüşüm matrisiyle çarpılır ve 100 ile ölçeklendirilir:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = 100 \times \begin{pmatrix} 0.4124564 & 0.3575761 & 0.1804375 \\ 0.2126729 & 0.7151522 & 0.0721750 \\ 0.0193339 & 0.1191920 & 0.9503041 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_{\text{lin}} \\ G_{\text{lin}} \\ B_{\text{lin}} \end{pmatrix}$$

### Sonuç Nasıl Okunur

$Y$ , parlaklığa karşılık gelir.  $X$  ve  $Z$ , krominansi kodları. Değerler, hem referans hem de numune için örnekleme noktası bazında sunulur.

### Nasıl Değerlendirilir

XYZ değerleri ara değerlerdir ve öncelikle renk dönüşüm hattını doğrulayan uzmanlar için yararlıdır. Pratik kalite kararları için Lab\* ve  $\Delta E_{2000}$  değerleri daha doğrudan yorumlanabilirdir.

## 2.1.6 CMYK Değerleri

**CMYK Color Values**

Region	Ref C	Ref M	Ref Y	Ref K	Test C	Test M	Test Y	Test K
1	0.0	17.0	27.3	6.0	0.0	17.0	27.3	6.0
2	0.0	11.9	19.1	6.3	0.0	11.9	19.1	6.3
3	0.0	23.4	38.1	4.7	0.0	23.4	38.1	4.7
4	0.0	21.8	35.2	4.9	0.0	21.8	35.2	4.9
5	0.0	20.4	32.8	5.9	0.0	20.4	32.8	5.9

Figure 2.6: Renk Birimi — CMYK Değerleri tablosu. Referans ve numune için nokta bazlı Cyan, Magenta, Sarı, Anahtar (Siyah) yüzdeleri.

### Tanım ve Amaç

CMYK tablosu, baskı ve boyama süreçlerinde kullanılan eksiltici renk modelinde renk değerlerini sağlar. Değerler yüzde olarak ifade edilir (0–100%).

### Nasıl Hesaplanır

Normalleştirilmiş RGB değerlerinden ( $r, g, b \in [0, 1]$ ):

$$K = 1 - \max(r, g, b), \quad C = \frac{1 - r - K}{1 - K}, \quad M = \frac{1 - g - K}{1 - K}, \quad Y = \frac{1 - b - K}{1 - K}$$

### Sonuç Nasıl Okunur

Daha yüksek değerler, o bileşenden daha fazla mürekkep/boya kullanıldığını gösterir.  $K = 100\%$  saf siyah anlamına gelir.

### Nasıl Değerlendirilir

CMYK, boya formülasyonuyla çalışan kullanıcılar için bilgilendirmecidir. Referans ile numune CMYK değerleri arasındaki farklar, hangi boya bileşenlerinin ayarlanması gerektiğini gösterir.

## 2.1.7 Fark Metrikleri

**Color Difference Metrics**

Region	$\Delta E_{76}$	$\Delta E_{94}$	$\Delta E_{2000}$	Status
1	0.00	0.00	0.00	PASS
2	0.00	0.00	0.00	PASS
3	0.00	0.00	0.00	PASS
4	0.00	0.00	0.00	PASS
5	0.00	0.00	0.00	PASS

Figure 2.7: Renk Birimi — Fark Metrikleri. Nokta bazlı  $\Delta E_{76}$ ,  $\Delta E_{94}$  ve  $\Delta E_{2000}$  değerleri ile nokta bazlı GEÇTİ/KOŞULLU/KALDI durumu.

### Tanım ve Amaç

Bu bölüm, her örnekleme noktasındaki temel renk farkı metriklerini sunar. Üç  $\Delta E$  formülü hesaplanır:  $\Delta E_{76}$  (CIELAB'da Öklid uzaklığı),  $\Delta E_{94}$  (geliştirilmiş ağırlıklandırma) ve  $\Delta E_{2000}$  (mevcut CIE standarı, algısal olarak en tekdüze).

## Nasıl Hesaplanır

$\Delta E_{76}$  — CIELAB'da basit Öklid uzaklığı:

$$\Delta E_{76} = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}$$

$\Delta E_{94}$  — Açıklık, kroma ve ton için ağırlık fonksiyonları ekler:

$$\Delta E_{94} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{k_H S_H}\right)^2}$$

burada  $S_L = 1$ ,  $S_C = 1 + 0.045 C_1^*$ ,  $S_H = 1 + 0.015 C_1^*$ .

$\Delta E_{2000}$  — Dönme ve etkileşim terimleri içeren açıklık, kroma ve ton ağırlıklandırmamasını kapsayan tam CIEDE2000 formülü. Uygulama;  $G$  kroma ayarlama faktörü,  $T$  tona bağlı ağırlıklandırma,  $R_T$  dönme terimi ve parametrik ağırlık faktörleri  $k_L$ ,  $k_C$ ,  $k_H$  dahil tam spesifikasyonu takip eder.

Ardından her metrik için tüm örnekleme noktalarındaki ortalama, standart sapma, minimum ve maksimumu gösteren bir özet istatistik tablosu yer alır.  $\Delta E_{2000}$  satırı genel durumu taşır.

## Sonuç Nasıl Okunur

Her satır bir örnekleme noktasına karşılık gelir. Durum sütunu,  $\Delta E_{2000}$ 'e uygulanan kullanıcı tanımlı eşik değerlerine göre GEÇTİ (yeşil), KOŞULLU (turuncu) veya KALDI (kırmızı) olarak gösterilir.

## Nasıl Değerlendirilir

- $\Delta E_{2000} < 1.0$ : algılanamaz fark (cihaz gürültü düzeyi).
- $1.0 \leq \Delta E_{2000} < 2.0$ : hafif fark, yalnızca kontrollü aydınlatma altında görülebilir.
- $2.0 \leq \Delta E_{2000} < 3.5$ : eğitimli gözlemciler tarafından fark edilebilir.
- $3.5 \leq \Delta E_{2000} < 5.0$ : açıkça görülebilir.
- $\Delta E_{2000} \geq 5.0$ : belirgin uyumsuzluk.

Karar metriği  $\Delta E_{2000}$ 'dır.  $\Delta E_{2000} <$  geçme eşiği olan noktalar GEÇTİ;  $\leq$  koşullu eşik olanlar KOŞULLU; bunun üzerindekiler KALDI olarak değerlendirilir.

### 2.1.8 Aydınlatıcı Analizi

#### Illuminant Analysis

Illuminant Analysis - Color Similarity Index

Illuminant	Mean ΔE2000	CSI	Status
D65	0.00	99.89	PASS
D50	0.00	100.00	PASS
TL84	0.00	100.00	PASS

Figure 2.8: Renk Birimi — Aydınlatıcı Analizi. Her yapılandırılmış aydınlatıcı altında hesaplanan ortalama  $\Delta E_{2000}$  ve CSI değerleri ile aydınlatıcı bazlı durum.

## Tanım ve Amaç

Aydınlatıcı Analizi, farklı standart ışık kaynakları altında referans ile numune arasındaki renk farkının nasıl değiştiğini değerlendirir. Bu, metamerizmi — iki numunenin bir aydınlatıcı altında eşleşip diğerinde farklı görünmesi olgusunu — tespit eder.

## Nasıl Hesaplanır

Birincil aydınlatıcı için, ana analizdeki kanonik  $\Delta E_{2000}$  ve CSI değerleri kullanılır. Her ek test aydınlatıcısı için, başlangıçta D65 altında hesaplanan XYZ değerleri, Bradford dönüşümü kullanılarak hedef aydınlatıcıya kromatik olarak adapte edilir:

$$\mathbf{XYZ}_{\text{hedef}} = \mathbf{M}_A^{-1} \cdot \text{diag}\left(\frac{\rho_d}{\rho_s}, \frac{\gamma_d}{\gamma_s}, \frac{\beta_d}{\beta_s}\right) \cdot \mathbf{M}_A \cdot \mathbf{XYZ}_{D65}$$

burada  $\mathbf{M}_A$  Bradford matrisidir. Adapte edilen XYZ değerleri, hedef aydınlatıcının beyaz noktası altında CIELAB'a dönüştürülür ve  $\Delta E_{2000}$  yeniden hesaplanır. Her aydınlatıcı için CSI,  $\text{CSI} = \max(0, \min(100, 100 - \overline{\Delta E} \times 10))$  olarak türetilir. Aydınlatıcı bazlı durum, sabit eşik değerleri kullanılarak belirlenir:  $\text{CSI} \geq 90 \rightarrow \text{GEÇTİ}$ ,  $\text{CSI} \geq 70 \rightarrow \text{KOŞULLU}$ , aksi halde KALDI.

## Sonuç Nasıl Okunur

Her satır, bir aydınlatıcıyı ortalama  $\Delta E_{2000}$ , CSI puanı ve durumu ile gösterir.

## Nasıl Değerlendirilir

Durum aydınlatıcılar arasında farklılık gösteriyorsa (örn. D65 altında GEÇTİ ancak TL84 altında KALDI), metamerizm mevcuttur. Bu, perakende, depo veya dış mekan ortamlarında farklı aydınlatma altında görüntülenen tekstiller için kritik öneme sahiptir.

### 2.1.9 Delta Isı Haritası

#### Visual Difference Analysis



Figure 2.9: Renk Birimi —  $\Delta E$  Isı Haritası. Inferno renk haritası kullanılarak piksel düzeyinde renk farkı haritası.

## Tanım ve Amaç

$\Delta E$  Isı Haritası, referans ile numune arasındaki renk farkının tam görüntüsü, piksel düzeyinde görselleştirmesini sağlar.

## Nasıl Hesaplanır

Her iki görüntü de CIELAB'a dönüştürülür. Lab uzayındaki piksel başına Öklid uzaklığı hesaplanır:

$$\Delta E(x, y) = \sqrt{(L_r - L_s)^2 + (a_r - a_s)^2 + (b_r - b_s)^2}$$

Sonuç, "inferno" renk haritası kullanılarak bir ısı haritası olarak işlenir ve ölçüği gösteren bir renk çubuğu eklenir. Maksimum gösterim değeri, aykırı değer bozulmasını önlemek için 99. yüzdelik dilime (minimum 5.0) sınırlandırılır.

## Sonuç Nasıl Okunur

- Koyu/siyah bölgeler:** düşük veya sıfır renk farkı (iyi eşleşme).
- Parlak/sarı bölgeler:** yüksek renk farkı (zayıf eşleşme).

## Nasıl Değerlendirilir

Tekdüze koyu görünüm, tutarlı renk eşleşmesini gösterir. Parlak noktalar veya bantlar, düzensiz boyama, lekeler veya kumaş kusurlarını gösterebilecek yerelleştirilmiş renk sapmalarını ortaya koyar.

### 2.1.10 Spektral Proksi

#### Spectral Analysis (Proxy)

The chart approximates spectral behavior from RGB averages.

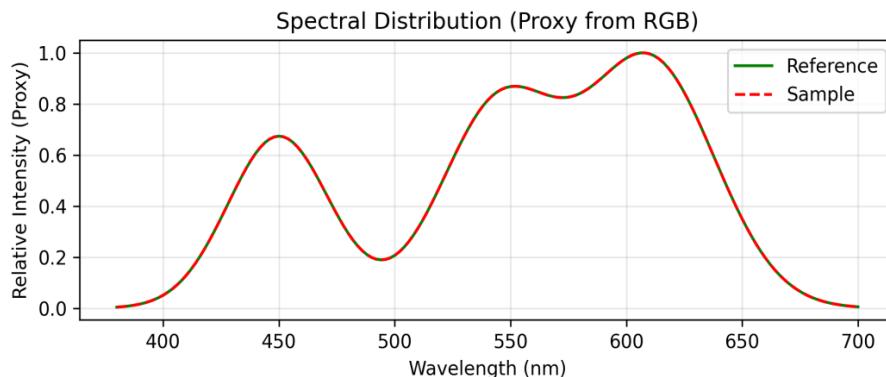


Figure 2.10: Renk Birimi — Spektral Dağılım Proksisi. Referans (yeşil) ve numune (kırmızı kesikli) için yaklaştırılmış spektral yansıtma eğrileri.

## Tanım ve Amaç

Spektral Proksi grafiği, referans ve numunenin ortalama RGB değerlerinden sentezlenen, yaklaştırılmış spektral yansıtma dağılımının bir görselleştirmesini sağlar.

## Nasıl Hesaplanır

450 nm (Mavi,  $\sigma = 22$ ), 545 nm (Yeşil,  $\sigma = 25$ ) ve 610 nm (Kırmızı,  $\sigma = 28$ ) merkezli üç Gauss temel fonksiyonu, her görüntünün ortalama RGB değerleriyle (0–1 arasında normalleştirilmiş) ağırlıklandırılır. Elde edilen eğriler, en yüksek noktada 1.0'a normalleştirilir. Dalga boyu aralığı 380–700 nm'dir.

## Sonuç Nasıl Okunur

Yeşil eğri referansı, kırmızı kesikli eğri ise numuneyi temsil eder. Örtüşme, spektral benzerliğine işaret eder.

## Nasıl Değerlendirilir

Bu, ölçülmüş bir spektral yansıtma değil, bir yaklaşımdır (proksi). Nitel bir görsel karşılaştırma sağlar. Kesin spektral veriler için bir spektrofotometre gereklidir.

### 2.1.11 RGB Histogramları

#### Histograms (RGB)

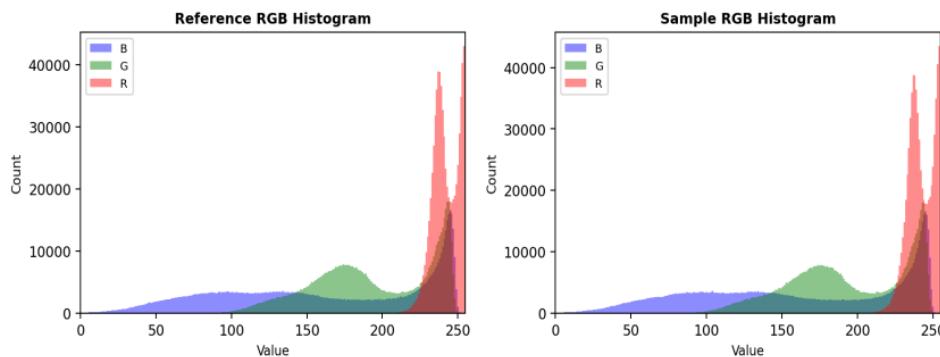


Figure 2.11: Renk Birimi — RGB Histogramları. Referans ve numune görüntülerini için yan yana Kırmızı, Yeşil ve Mavi kanal histogramları.

## Tanım ve Amaç

Yan yana RGB histogramları, referans ve numune görüntülerindeki her renk kanalının piksel yoğunluk dağılımını gösterir.

## Nasıl Hesaplanır

Her kanal (B, G, R) için, OpenCV kullanılarak görüntü piksellerinden 256 bölmeli bir histogram hesaplanır. Histogramlar, her görüntü için bindirilmiş yarı saydam çubuk grafikler olarak çizilir.

## Sonuç Nasıl Okunur

Her histogram, piksel sayısını (y eksen) yoğunluk değerine (x eksen, 0–255) karşı gösterir. Referans ile numune arasında benzer histogram şekilleri, tutarlı renk dağılımına işaret eder.

## Nasıl Değerlendirilir

Histogram tepelerindeki kaymalar, parlaklık veya renk değişikliklerini gösterir. Genişleme, artan değişkenliği ifade eder. Histogramlar bilgilendiricidir ve sayısal  $\Delta E$  metriklerini tamamlar.

## 2.1.12 Renk Benzerlik İndeksi (CSI)

Color Similarity Index (CSI): 99.89 / 100

Figure 2.12: Renk Birimi — CSI Puanı, kapak sayfasında gösterilen genel renk benzerlik yüzdesi.

### Tanım ve Amaç

Renk Benzerlik İndeksi (CSI), referans ve numune görüntülerini arasındaki genel renk benzerliğini tam görüntü düzeyinde temsil eden 0–100 arası tek bir puan sağlar.

### Nasıl Hesaplanır

Her iki görüntü de %25 çözünürlüğe küçültülür. Her biri OpenCV'nin Lab temsiline dönüştürülür ( $L$ : 0–255,  $a/b$ : 128 merkezli 0–255). Bu ölçeklenmiş Lab uzayında tüm pikseller üzerinden piksel başına Öklid uzaklığı hesaplanır ve ortalaması alınır:

$$\text{CSI} = \max\left(0, \min\left(100, 100 \times (1 - \overline{\Delta E}_{\text{piksel}}/100)\right)\right)$$

### Sonuç Nasıl Okunur

CSI yüzde olarak gösterilir. Daha yüksek değerler daha iyi renk eşleşmesine işaret eder.

### Nasıl Değerlendirilir

- $\text{CSI} \geq$  İyi eşiği (varsayılan 90): GEÇTİ.
- $\text{CSI} \geq$  Uyarı eşiği (varsayılan 70): KOŞULLU.
- $\text{CSI} <$  Uyarı eşiği: KALDI.

CSI, *tüm* görüntüyü piksel piksel değerlendirmekken  $\Delta E_{2000}$  yalnızca  $N$  örnekleme noktasında değerlendirme yapar.

## 2.1.13 CSI2000

### Tanım ve Amaç

CSI2000, tam görüntü CSI'sini örnekleme noktası tabanlı  $\Delta E_{2000}$  puanıyla tek bir değerde birleştiren karma bir puanlama metriğidir.

### Nasıl Hesaplanır

Bir  $\Delta E$  Puanı,  $\text{Puan}_{\Delta E} = \max(0, \min(100, 100 - \overline{\Delta E}_{2000} \times 10))$  olarak türetilir. Ardından:

$$\text{CSI2000} = \frac{\text{CSI} + \text{Puan}_{\Delta E}}{2}$$

### Sonuç Nasıl Okunur

CSI2000, 100 üzerinden bir değer olarak gösterilir. Daha yüksek değerler daha iyidir.

### Nasıl Değerlendirilir

CSI2000, genel renk benzerliğini (CSI) nokta bazlı renk doğruluğuyla ( $\Delta E_{2000}$  Puanı) dengeler. CSI ile aynı iyi/uyarı eşik değerlerine göre değerlendirilir.

## 2.1.14 Öneriler

### Key Findings & Recommendations

Mean ΔE2000	0.00
Imperceptible difference — within instrument noise.	
> No action required. Process is optimal.	
Consistency (Std Dev)	0.00
Excellent uniformity — highly consistent across all regions.	
> Process is stable. Maintain current parameters.	
CSI Score	99.89
Excellent color match — meets or exceeds quality standard.	
> Approved. Proceed with production.	

### Conclusion & Decision

PASS	Sample meets all quality standards within the defined tolerances. Approved for production.
------	--

Figure 2.13: Renk Birimi — Temel Bulgular ve Öneriler. Metrik değerlendirmelerini ve eyleme dönüştürülebilir önerileri sonuç bloğuyla birlikte gösteren kart tabanlı düzen.

### Tanım ve Amaç

Öneriler bölümü, analiz sonuçlarına dayalı olarak eşik değerine duyarlı, bağlamsal bulgular ve eyleme dönüştürülebilir rehberlik sağlar. Öneriler Motoru tarafından oluşturulur.

### Nasıl Oluşturulur

Üç metrik değerlendirilir:

- Ortalama  $\Delta E_{2000}$ :** geçme ve koşullu eşik değerlerine göre değerlendirilir. Düzeyler: algılanamaz, hafif, fark edilebilir, belirgin, ciddi.
- Tutarlılık ( $\Delta E$  Standart Sapması):** geçme eşigine göre değerlendirilir. Düzeyler: mükemmel ( $< 0.25 \times$  geçme), iyi ( $< 0.5 \times$  geçme), orta ( $<$  geçme), yüksek ( $\geq$  geçme).
- CSI Puanı:** iyi ve uyarı eşik değerlerine göre değerlendirilir.

Her metrik; metrik adı, değeri, değerlendirme metni ve bir öneri içeren bir bulgu kartı üretir. Bir sonuç bloğu, genel kararı bir durum rengiyle özetler.

### Sonuç Nasıl Okunur

Her kart ciddiyet düzeyine göre renk kodludur: yeşil (mükemmel/iyi), turuncu (sınırda), kırmızı (zayıf). Sonuç, açıklayıcı metinle birlikte nihai kararı verir.

### Nasıl Değerlendirilir

Öneriler, kullanıcı tanımlı eşik değerlerine göre kalibre edilmiştir. “Boya konsantrasyonu, sıcaklık ve zamanlama parametrelerini gözden geçirin” veya “Partiyi reddeden ve düzeltici faaliyet prosedürünü başlatın” gibi tekstile özgü rehberlik sağlarlar.

## 2.2 Desen Birimi

Desen Birimi, birden fazla tamamlayıcı analiz yöntemi kullanarak referans ile numune görüntülerini arasındaki yapısal benzerliği ve desen sadakatini değerlendirir. Her biri eşit olarak %25 ağırlıkla katkıda bulunan dört birincil yöntemden bir bileşik puan üretir.

### 2.2.1 Kapak Sayfası ve Giriş Görüntüleri

#### Input Images

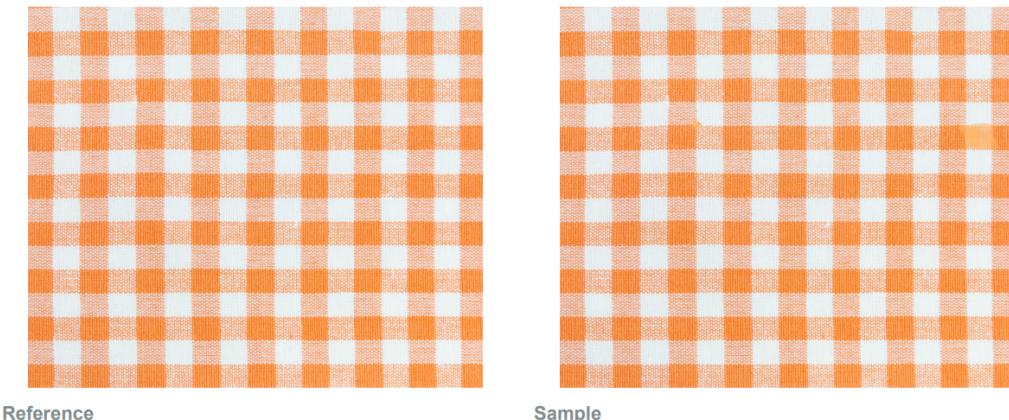


Figure 2.14: Desen Birimi — Giriş Görüntüleri. Referans ve numune görüntülerini yan yana gösterilmektedir.

#### Tanım ve Amaç

Desen Birimi kapak sayfası, bileşik desen puanı ve yönteme özgü puanları içeren bir özet tablo ile yönetici özeti gösterir. Giriş görüntülerini görsel referans olarak yan gösterilir.

#### Nasıl Oluşturulur

Kapak, Renk Birimi ile aynı meta veri yapısını (logo, başlık, operatör, rapor kimliği, sürüm) içerir. Yönetici özeti tablosu, her yöntemi (Structural SSIM, Gradient Similarity, Phase Correlation, Structural Match) puanı, ağırlığı (%25) ve bireysel durumu ile listeler. Bileşik puan, ağırlıkları toplama ile hesaplanır.

#### Sonuç Nasıl Okunur

Bileşik puan (0–100%), genel desen eşleşme kalitesini sağlar. Bireysel yöntem puanları, desen benzerliğinin hangi yönünün en güclü veya en zayıf olduğunu belirler.

#### Nasıl Değerlendirilir

- Bileşik  $\geq$  genel eşik: GEÇTİ.
- Bileşik  $\geq$  (genel eşik – 15): KOŞULLU.
- Bunun altında: KALDI.

Not: Kullanıcı eşik değerlerini ayarlayabilir.

## 2.2.2 Structural SSIM

### Structural SSIM

Similarity Score: 99.93%

PASS

### Difference Visualization



Figure 2.15: Desen Birimi — SSIM fark haritası. Mavinin yüksek benzerliği gösterdiği JET renk haritası.

### Tanım ve Amaç

Structural Similarity Index Measure (SSIM), parlaklık, kontrast ve yapıyı dikkate alarak iki görüntü arasındaki algılanan yapısal benzerliği değerlendirir.

### Nasıl Hesaplanır

Her iki görüntü ön işleminden geçirilir: siyah üzerine birleştirilir (alfa kanalı varsa), gri tonlamaya dönüştürülür ve bilateral filtre uygulanır (çekirdek 9,  $\sigma_{\text{renk}} = 75$ ,  $\sigma_{\text{uzay}} = 75$ ). SSIM, scikit-image kullanılarak kayan pencereyle hesaplanır; piksel başına bir benzerlik haritası ve skaler bir puan üretir. Puan 0–100% aralığına ölçeklenir. Fark haritası  $255 - \text{SSIM\_harita} \times 255$  olarak hesaplanır ve JET renk harasıyla işlenir.

### Sonuç Nasıl Okunur

JET renkli fark haritasında: **mavi** bölgeler yüksek benzerliği; **kırmızı/sarı** bölgeler düşük benzerliği (yapısal farkları) gösterir.

### Nasıl Değerlendirilir

Daha yüksek SSIM puanları daha iyi yapısal korunmaya işaret eder. Puan, ayarlarda tanımlanan yönteme özgü geçme ve koşullu eşik değerleriyle karşılaştırılır.

### 2.2.3 Gradient Similarity

## Gradient Similarity

**Similarity Score:** 99.61%

PASS

## Difference Visualization



Figure 2.16: Desen Birimi — Gradient Similarity fark haritası. Koyu alanların benzerliği, parlak alanların kenar/doku farklarını gösterdiği HOT renk haritası.

### Tanım ve Amaç

Gradient Similarity, gradyan büyüklük alanlarını analiz ederek referans ile numunenin kenar ve doku yapısını karşılaştırır.

### Nasıl Hesaplanır

Her görüntü için gradyan büyülüüğünü hesaplamak amacıyla Sobel operatörleri (yatay ve dikey, çekirdek boyutu 3) uygulanır:  $G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$ . Gradyan büyülüklükleri  $[0, 1]$  aralığına normalleştirilir. Ardından normalleştirilmiş gradyan büyülüklük görüntülerine SSIM uygulanarak bir benzerlik puanı ve fark haritası üretilir. Fark haritası HOT renk haritasıyla işlenir.

### Sonuç Nasıl Okunur

**Koyu** bölgeler eşleşen kenar/doku yapısını; **parlak/beyaz** bölgeler gradyan farklarını gösterir.

### Nasıl Değerlendirilir

Yüksek puanlar tutarlı kenar ve doku desenlerini gösterir. Düşük puanlar desen bozulması, hizalama bozukluğu veya doku kalitesinin düşmesine işaret edebilir.

## 2.2.4 Phase Correlation

### Phase Correlation

**Similarity Score:** 98.56%

PASS

### Difference Visualization



Figure 2.17: Desen Birimi — Phase Correlation fark haritası. Öteleme hizalama farklarını gösteren INFERO renk haritası.

#### Tanım ve Amaç

Phase Correlation, Fourier faz ilişkisini kullanarak iki görüntü arasındaki öteleme hizalamasını ölçer.

#### Nasıl Hesaplanır

Her iki gri tonlamalı görüntü float32'ye dönüştürülür. OpenCV'nin `phaseCorrelate` fonksiyonu kayma vektörünü ve bir yanıt değerini (güven) hesaplar. Puan yanıt  $\times 100$  olarak belirlenir. Mutlak piksel farkı hesaplanır ve INFERO renk haritasıyla işlenir.

#### Sonuç Nasıl Okunur

**Koyu** bölgeler hizalanmış alanları; **parlak/sarı** bölgeler hizalanmamış alanları gösterir.

#### Nasıl Değerlendirilir

Yüksek puanlar iyi öteleme hizalamasına işaret eder. Düşük puanlar numunenin referansa göre kaymış, gerilmiş veya bozulmuş olduğunu düşündürür.

## 2.2.5 Yapısal Fark Analizi

### Difference Visualization (Multi-Method)

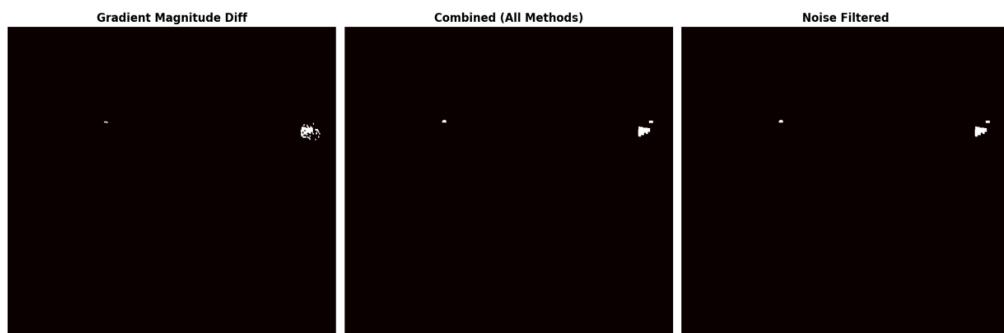


Figure 2.18: Desen Birimi — Yapısal Fark Analizi. Gradyan büyüklük farkı, birleşik (tüm yöntemler) ve gürültü filtrelenmiş görüntümleri gösteren çoklu yöntem fark görselleştirmesi.

#### Tanım ve Amaç

Yapısal Fark Analizi, referans ile numune arasındaki piksel düzeyinde yapısal değişiklikleri belirlemek için birden fazla fark tespit yöntemini birleştirir.

#### Nasıl Hesaplanır

Her iki görüntü gri tonlamaya dönüştürülür ve CLAHE (Kontrast Sınırlamalı Uyarlanabilir Histogram Eşitleme) ile geliştirilir. Beş yöntem hesaplanır ve birleştirilir:

- Basit Fark** (%25 ağırlık): mutlak piksel farkı, 30 eşiginde, morfolojik olarak temizlenmiş.
- Kenar tabanlı** (%20 ağırlık): her iki görüntüde Canny kenar tespiti, kenar haritalarının mutlak farkı, genişletilmiş.
- Gradyan** (%25 ağırlık): Sobel gradyan büyüklük farkı, 40 eşiginde, temizlenmiş.
- Frekans** (%15 ağırlık): FFT büyüklük farkı, uzaysal alana ters dönüştürülmüş, eşiklenmiş.
- SSIM** (%15 ağırlık): ters çevrilmiş SSIM benzerlik haritası, 200 eşiginde.

Birleştirme, bu beş haritayı listelenen ağırlıklarla kombine eder. Sonuç eşiklenir, morfolojik olarak temizlenir ve 50 pikselden küçük bağlantıları kaldırılarak gürültü filtrelemesi yapılır.

Benzerlik puanı: Puan =  $\max(0, 100 - \text{değişim\_yüzdesi})$ .

#### Sonuç Nasıl Okunur

Alt grafik üç aşamayı gösterir: gradyan farkı, birleşik (tüm yöntemler) ve gürültü filtrelenmiş. Parlak/beyaz bölgeler tespit edilen farkları; koyu/siyah bölgeler değişiklik olmadığını gösterir.

Ayrıca bir **Saf Fark** görüntüsü oluşturulur: gri tonlamalı referans üzerinde bindirilen kırmızı pikseller yalnızca tespit edilen fark bölgelerini gösterir (Şekil 2.19).

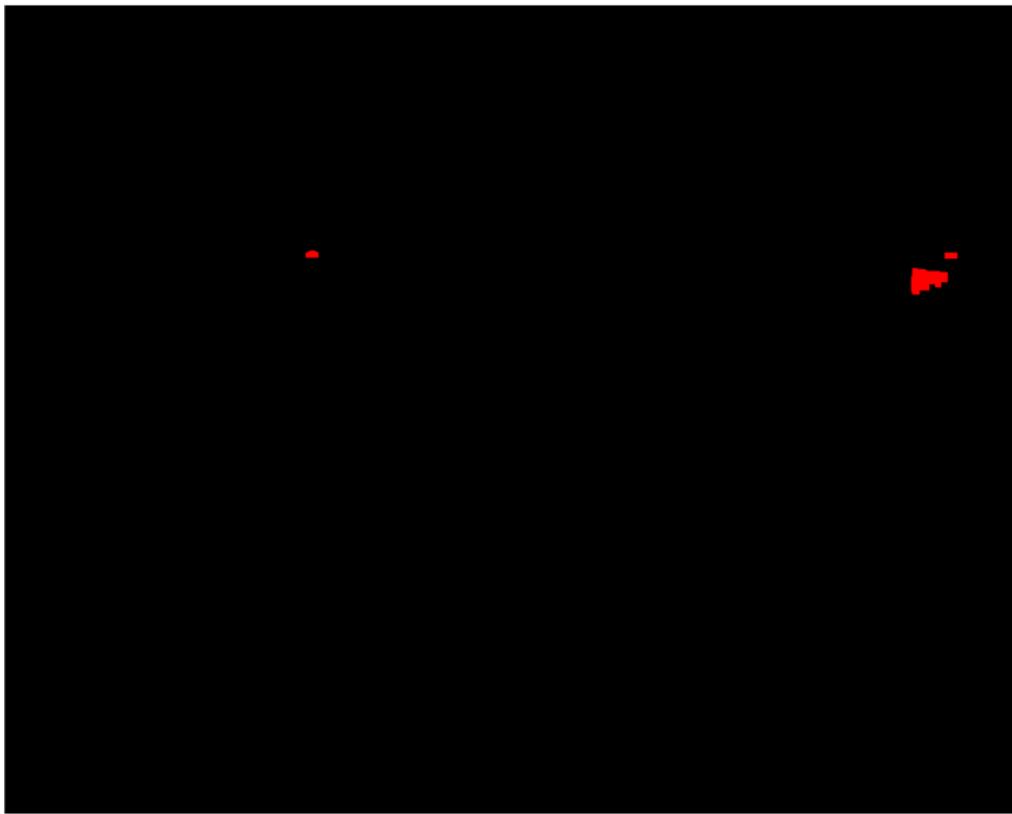


Figure 2.19: Desen Birimi — Saf Fark. Gri tonlamalı referans üzerinde bindirilen kırmızı pikseller yalnızca tespit edilen fark bölgelerini gösterir.

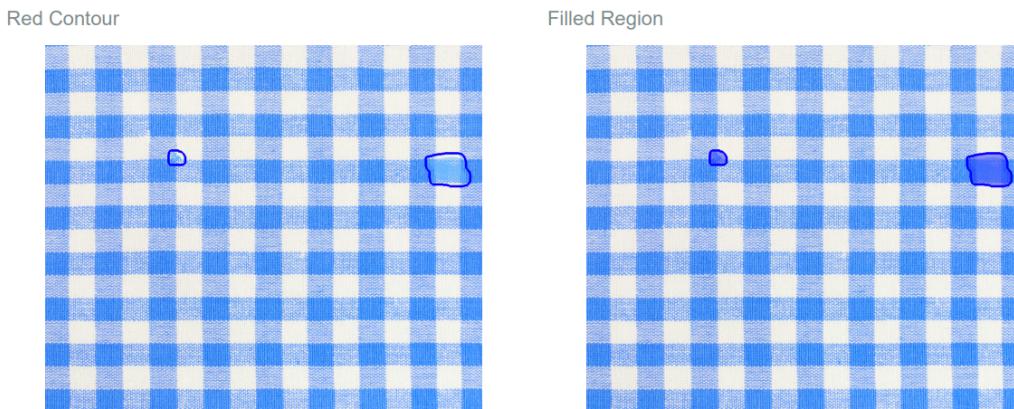
### Nasıl Değerlendirilir

- Benzerlik  $\geq \text{Eşik}_1$ : AYNI.
- Benzerlik  $\geq \text{Eşik}_2$ : ÇOK BENZEŞİYOR.
- Benzerlik  $\geq \text{Eşik}_3$ : BENZEŞİYOR.
- Benzerlik  $< \text{Eşik}_3$ : FARKLI.

*Eşik değerleri kullanıcı tarafından tanımlanır ve değerlendirme gereksinimlerine göre ayarlanabilir.*

## 2.2.6 Gradient Boundary Detection

### Gradient Similarity - Boundary Detection



#### Detection Metrics

Metric	Value
Binary Similarity	99.06%
Weighted Similarity	99.87%

Figure 2.20: Desen Birimi — Gradient Boundary Detection. Sol: tespit edilen fark bölgelerini çevreleyen kırmızı (veya mavi) konturlar. Sağ: fark alanlarını vurgulayan doldurulmuş bindirme.

#### Tanım ve Amaç

Gradient Boundary Detection, numunenin gradyan tabanlı farklarının bir önem esigini aştiği belirli bölgelerini tespit eder ve çerçeveler.

#### Nasıl Hesaplanır

Gradyan fark haritası 70. yüzdelik dilimde eşiklenir. Morfolojik kapanma (çekirdek  $7 \times 7$ , 2 iterasyon), açılma (1 iterasyon) ve genişletme (çekirdek  $5 \times 5$ , 2 iterasyon) uygulanır. Konturlar çıkarılır; alanı  $> 100$  piksel olanlar tutulur. İki görselleştirme üretilir: (1) numune görüntüsü üzerinde kırmızı kontur çizgileri ve (2) numune görüntüsü üzerinde kırmızı doldurulmuş bindirme (%40 karıştırma).

İki metrik hesaplanır:

- **İkili Benzerlik:** renklendirilmemiş piksellerin yüzdesi.
- **Ağırlıklı Benzerlik:** aynı formül ancak normalleştirilmiş gradyan yoğunluğuyla ağırlıklandırılmış.

#### Sonuç Nasıl Okunur

Kırmızı (veya mavi) konturlar/doldurulmuş bölgeler, sistemin önemli gradyan farkları tespit ettiği yerleri gösterir. Daha fazla kırmızı alan daha fazla sapmaya işaret eder.

#### Nasıl Değerlendirilir

Daha az ve daha küçük kırmızı (veya mavi) bölgeler daha iyi desen eşleşmesine işaret eder.

## 2.2.7 Phase Boundary Detection

### Phase Correlation - Boundary Detection



#### Detection Metrics

Metric	Value
Binary Similarity	99.13%
Weighted Similarity	99.87%

Figure 2.21: Desen Birimi — Phase Boundary Detection. Gradient Boundary ile aynı düzen ancak faz korelasyonu farklarına dayalı.

#### Tanım ve Amaç

Phase Boundary Detection, faz tabanlı farkların önem eşğini aştiği bölgeleri, Gradient Boundary ile aynı sınır çıkarma hattını kullanarak ancak faz fark haritasına uygulayarak tespit eder.

#### Nasıl Hesaplanır

Gradient Boundary Detection (Bölüm 2.2.6) ile aynıdır ancak girdi olarak faz korelasyonu fark haritası kullanılır.

#### Sonuç Nasıl Okunur

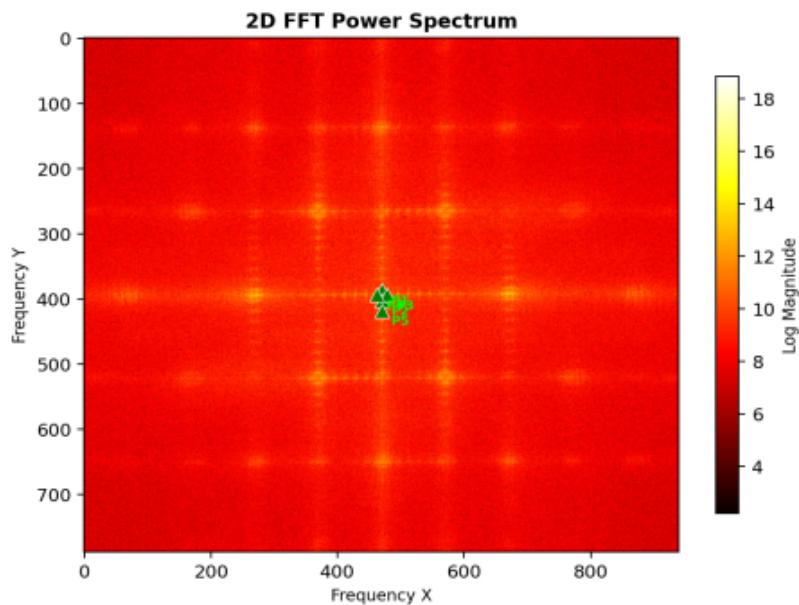
Gradient Boundary ile aynı yorum: kırmızı (veya mavi) bölgeler tespit edilen faz tabanlı farkları gösterir.

#### Nasıl Değerlendirilir

Faz sınırları, gradyan sınırlarına (kenar/doku değişiklikleri) kıyasla farklı türde bozulmaları (öteleme kaymaları) tespit edebilir.

## 2.2.8 Fourier Alanı Analizi

### 2D FFT Power Spectrum



### Frequency Peaks

Peak	Radius	Angle (°)	Magnitude
P1	8.00	90.00	8126859.89
P2	8.00	-90.00	8126859.89
P3	8.00	0.00	6715481.19
P4	8.00	180.00	6715481.19
P5	24.00	-90.00	2590453.43

### Fourier Metrics

Metric	Reference	Sample
Fundamental Period (px)	117.50	117.50
Dominant Orientation (°)	-90.00	90.00
Anisotropy Ratio	3.00	3.00

Figure 2.22: Desen Birimi — Fourier Alanı Analizi. FFT büyülüklük spektrumu ısı haritası, baskın tepeler tablosu ve spektral metrikler.

### Tanım ve Amaç

Fourier Alanı Analizi, görüntüyü frekans bileşenlerine ayırtarak baskın periyodik desenleri, dokuları ve yönlü yapıları (örn. dokuma kumaşlarında çözgütük hizalaması) karakterize eder.

## Nasıl Hesaplanır

Gri tonlamalı görüntüye 2 boyutlu Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) uygulanır. DC bileşeni (sıfır frekans) spektrumun merkezine kaydırılır. Büyüklük spektrumu görselleştirme için logaritmik dönüşüm tabi tutulur: spektrum =  $\log(1 + |\text{FFT}|)$ .

**Tepe Tespit:** DC bileşeni maskelenir. Uyarlanabilir komşuluk bastırmasıyla (yarıçap  $\max(3, \lfloor 0.15 \times r_{\text{tepe}} \rfloor)$ ) iteratif maksimum bulma yöntemiyle ilk 5 tepe belirlenir. Her tepe için yarıçap (uzaysal frekans), açı (derece cinsinden yönelim) ve büyülüklük kaydedilir.

**Metrikler:** Üç özet metrik hesaplanır:

- **Temel Periyot:**  $\max(h, w)/r_{\text{baskın}}$  — görüntü boyutunun baskın tepenin yarıçapına (uzaysal frekans) bölümü.
- **Baskın Yönelim:** en güçlü tepenin açısı (derece).
- **Anizotropi Oranı:** tespit edilen tepeler arasındaki maksimum ve minimum tepe yarıçaplarının oranı. 1.0 değeri izotropik (tekdüze) frekans dağılımını gösterir.

## Sonuç Nasıl Okunur

FFT spektrum görüntüsü, baskın uzaysal frekanslarda parlak noktalar gösterir. Tepeler tablosu, ilk 5 tepeyi uzaysal frekansları (yarıçap), yönelimleri (açı) ve güçleriyle (büyülüklük) listeler.

## Nasıl Değerlendirilir

Yüksek anizotropi oranı yönlü dokuya (örn. güçlü çözgütük hizalaması) işaret eder. Kısa temel periyot ince dokuyu; uzun periyot kaba deseni gösterir. Referans ile numune metriklerinin karşılaştırılması, numunenin orijinal doku özelliklerini koruyup korumadığını ortaya koyar.

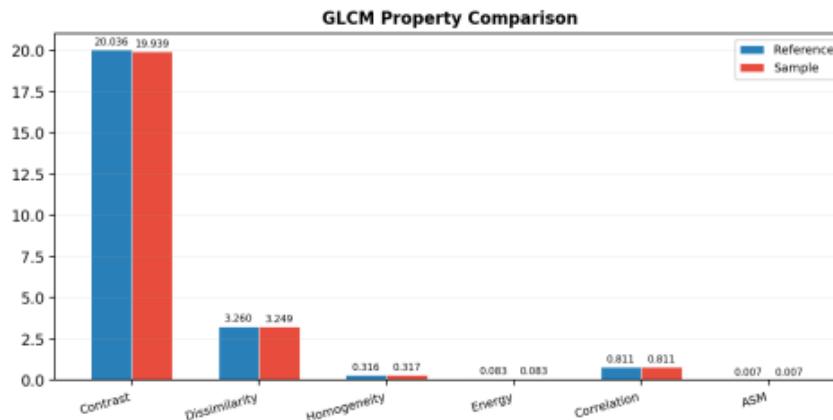
## 2.2.9 GLCM Doku Analizi

### GLCM Texture Analysis

Gray-Level Co-occurrence Matrix quantifies texture properties by analyzing spatial relationships between pixel intensities.

#### GLCM Property Comparison

Property	Reference	Sample
Contrast	20.0359	19.9390
Dissimilarity	3.2605	3.2491
Homogeneity	0.3162	0.3175
Energy	0.0833	0.0832
Correlation	0.8109	0.8113
ASM	0.0070	0.0070



#### GLCM Matrix Visualization

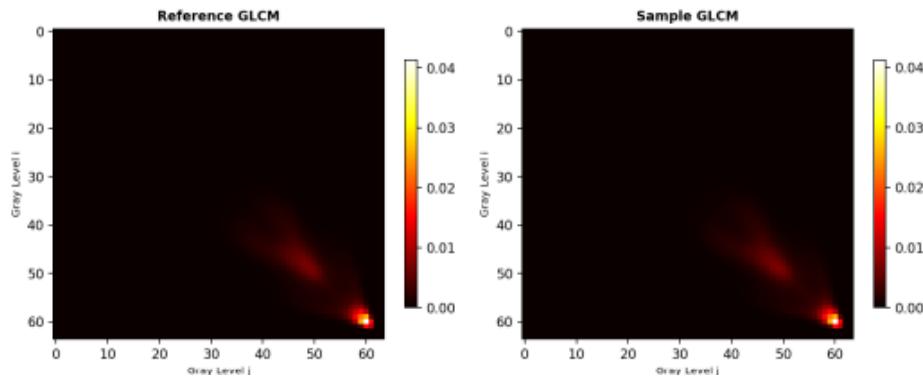


Figure 2.23: Desen Birimi — GLCM Doku Analizi. Özellik karşılaştırma çubuk grafiği ve referans ile numune için eş oluşum matrisi ısı haritaları.

#### Tanım ve Amaç

Gri Düzey Eş Oluşum Matrisi (GLCM) analizi, belirli bir uzaysal ilişkide piksel yoğunluk çiftlerinin istatistiksel dağılımını ölçerek doku özelliklerini nicelleştirir.

## Nasıl Hesaplanır

Gri tonlamalı görüntüyü 64 düzeye kuantize edilir. GLCM, scikit-image'in `graycomatrix` fonksiyonu kullanılarak mesafe 1 ve açılar  $[0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4]$  ile hesaplanır, ardından açılar üzerinden ortalaması alınır. `graycoprops` kullanılarak altı özellik çıkarılır:

- **Kontrast:** komşu pikseller arasındaki yoğunluk farkı.
- **Farklılık:** komşu pikseller arasındaki ortalama mutlak fark.
- **Homojenlik:** eleman dağılımının GLCM kösegenine yakınlığı.
- **Enerji:** kare elemanların toplamı (tekdüzelik ölçüsü).
- **Korelasyon:** komşu piksellerdeki gri düzeylerin doğrusal bağımlılığı.
- **ASM (Açısız İkinci Moment):** enerjinin karesi, düzenlilik ölçüsü.

Bir çubuk grafiği referans ve numune özelliklerini karşılaştırır. GLCM ısı haritaları eş oluşum matrislerini yan yana görselleştirir.

## Sonuç Nasıl Okunur

Özellik karşılaştırma tablosu, her özellik için referans ve numune değerlerini gösterir. Çubuk grafiği görsel bir karşılaştırma sağlar. Isı haritaları ham eş oluşum desenlerini gösterir.

## Nasıl Değerlendirilir

Referans ile numune arasında benzer değerler tutarlı dokuya işaret eder. Kontrast veya farklılıkta büyük farklar doku kalitesinin düştüğünü düşündürür. Yüksek enerji/ASM tekdüze dokuyu; düşük değerler karmaşık veya düzensiz dokuyu gösterir.

### 2.2.10 Karar

#### Analysis Verdict

Metric	Value
Changed Pixels	745
Structural Match	99.90%
VERDICT	≈ VERY SIMILAR

Figure 2.24: Desen Birimi — Yapısal Fark Kararı. Değişen piksel sayısı, benzerlik puanı ve karar (AYNI / ÇOK BENZEŞİYOR / BENZEŞİYOR / FARKLI).

## Tanım ve Amaç

Karar tablosu, Yapısal Fark Analizi sonucunu tek bir sınıflandırma ile özetler.

## Nasıl Oluşturulur

Değişen pikseller, gürültü filtrelenmiş maskeden sayılır. Benzerlik puanı 100 – değişim\_yüzdesi şeklindedir. Karar: AYNI ( $\geq 99.9\%$ ), ÇOK BENZEŞİYOR ( $\geq 99.0\%$ ), BENZEŞİYOR ( $\geq 95.0\%$ ) veya FARKLI ( $< 95.0\%$ ).

## Sonuç Nasıl Okunur

Karar bir simge ile gösterilir: AYNI için ✓, BENZEŞİYOR/ÇOK BENZEŞİYOR için ≈, FARKLI için ×.

## Nasıl Değerlendirilir

AYNI veya ÇOK BENZEŞİYOR, üretim tutarlılığına işaret eder. FARKLI, üretim sürecinin incelenmesini gerektirir.

### 2.2.11 Öneriler ve Sonuç

#### Key Findings & Recommendations

Composite Score	99.5%
Excellent structural alignment — pattern integrity preserved.	
> Process is optimal. No corrective action needed.	
Structural Match	99.90%
Structurally identical — no geometric distortion detected.	
> No layout issues. Fabric handling is consistent.	

#### Conclusion & Decision

PASS

Sample meets all quality standards within the defined tolerances. Approved for production.

Figure 2.25: Desen Birimi — Temel Bulgular ve Öneriler. Bileşik puan, yapısal eşleşme ve en zayıf metrik için kart tabanlı bulgular.

## Tanım ve Amaç

Desen önerileri, desen analizi sonuçları için eşik değerine duyarlı bulgular ve eyleme dönüştürülebilir rehberlik sağlar.

## Nasıl Oluşturulur

Üç metrik değerlendirilir:

- Bileşik Puan:** genel desen eşigine göre değerlendirilir. Düzeyler: mükemmel, iyi, sınırlı, zayıf.
- Yapısal Eşleşme:** sabit eşik değerlerine göre değerlendirilir ( $\geq 99.5\%$ : aynı,  $\geq 97\%$ : küçük sapma,  $\geq 90\%$ : orta bozulma,  $< 90\%$ : ciddi bozulma).
- En Zayıf Metrik:** en düşük puana sahip bireysel yöntem, geçme eşığının altındaysa işaretlenir.

## Conclusion & Decision

ACCEPT

Sample matches reference within acceptable tolerances.

Figure 2.26: Desen Birimi — Genel durum ve karar metni içeren sonuç bloğu.

### Sonuç Nasıl Okunur

Renk Birimi önerileriyle aynı kart tabanlı düzen. Sonuç bloğu, renk kodlu bir durum rozetiyle nihai kararı verir: yeşil (GEÇTİ), turuncu (KOŞULLU), kırmızı (KALDI).

### Nasıl Değerlendirilir

Öneriler, “Hızalama sensörlerini kalibre edin ve kumaş besleme gerginliğini doğrulayın” veya “Üretimi durdurun. Tam makine kalibrasyonu ve denetimi gerçekleştirin” gibi tekstile özgü rehberlik içerir.

## 2.3 Tek Görüntü Birimi

Tek Görüntü Birimi, referans olmaksızın tek bir numune görüntünün bağımsız analizi için uyarlanmış Renk Biriminin bir uzantısıdır. Renk dağılımını, doku tekdüzelliğini ve spektral özellikleri değerlendirir.

### 2.3.1 Giriş

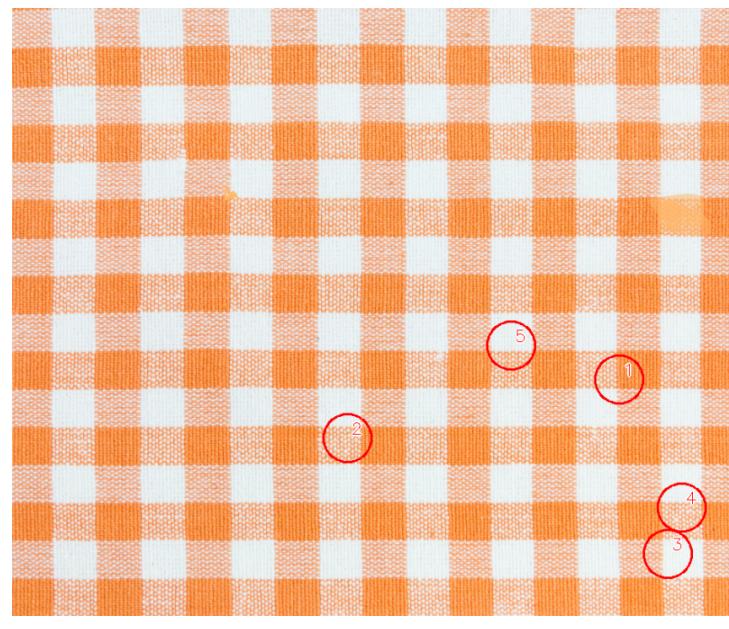


Figure 2.27: Tek Görüntü Birimi — Giriş. Analiz noktası bindirmeleriyle numune görüntüsü.

## Tanım ve Amaç

Numune görüntüsünü, Renk Birimiyle aynı tarzda numaralı örneklemeye noktası bindirmeleriyle gösterir.

## Nasıl Oluşturulur

Renk Birimi ile aynı nokta yerleştirme ve görselleştirme. Manuel noktalar için yeşil daireler; rastgele noktalar için turuncu.

## Sonuç Nasıl Okunur

Örneklemeye noktalarının kumaşın temsili alanlarını kapsadığını doğrulayın.

## Nasıl Değerlendirilir

Noktalar, renk veya dokudaki uzaysal değişkenliği yakalamak için kumaş genelinde dağıtılmalıdır.

### 2.3.2 Ölçüm Verileri

#### Measurement Data

##### RGB Values

Pt	Position	R	G	B
1	(786, 481)	246	182	138
2	(434, 557)	241	196	164
3	(849, 707)	242	222	207
4	(867, 647)	244	212	191
5	(646, 437)	239	221	208

##### Lab\* Values (D65)

Pt	L*	a*	b*
1	425.57	82.24	146.52
2	441.20	54.42	102.66
3	475.72	20.23	45.19
4	463.43	34.86	68.38
5	473.50	17.15	40.12

##### CYMK Values

Pt	C	M	Y	K
1	0.00	0.26	0.44	0.03
2	0.00	0.19	0.32	0.05
3	0.00	0.08	0.14	0.05
4	0.00	0.13	0.22	0.04
5	0.00	0.07	0.13	0.06

##### XYZ Values (D65)

Pt	X	Y	Z
1	59.52	55.16	31.63
2	63.15	61.23	43.86
3	74.49	76.17	70.37
4	70.56	70.60	59.33
5	73.18	75.14	70.70

Figure 2.28: Tek Görüntü Birimi — Ölçüm Verileri. RGB, Lab\*, XYZ ve CMYK tabloları; Lab\* istatistikleri; aydınlatıcı bazlı Lab\* değerleri; ve RGB histogramı.

## Tanım ve Amaç

Ölçümler bölümü, birden fazla renk uzayında (RGB, Lab\*, XYZ, CMYK) nokta bazlı renk değerlerini, Lab\* istatistiksel özeti (ortalama, standart sapma, minimum, maksimum — bileşen başına) ve aydınlatıcı bazlı Lab\* tablolarını sağlar.

## Nasıl Hesaplanır

Her örnekleme noktasında, Renk Birimiyle aynı dairesel yama çıkarma ve renk dönüşüm hattı uygulanır ( $sRGB \rightarrow XYZ \rightarrow$  kromatik adaptasyon  $\rightarrow CIELAB$ ;  $sRGB \rightarrow CMYK$ ). Çoklu aydınlatıcı analizi için her aydınlatıcı, nokta bazlı ve ortalama değerleri içeren ayrı bir Lab\* tablosu üretir. RGB histogramı tam numune görüntüsünden hesaplanır.

## Sonuç Nasıl Okunur

Tablolar nokta bazlı sayısal değerler sağlar. Lab\* istatistik tablosu, örnekleme noktaları arasındaki yayılımı gösterir. Çoklu aydınlatıcı tabloları, rengin farklı aydınlatma altında nasıl göründüğünün karşılaştırılmasına olanak tanır.

## Nasıl Değerlendirilir

Örnekleme noktaları arasında  $L^*$ 'deki yüksek standart sapma, zayıf renk tekdüzeliğine işaret eder.  $a^*$  veya  $b^*$ 'deki geniş yayılım krominans değişkenliğini gösterir. Histogram şekli, renk dağılımının dar (tekdüze) veya geniş (değişken) olduğunu ortaya koyar.

### 2.3.3 Spektral Analiz, Fourier Analizi ve Öneriler

Bu bölümler burada yeniden tanımlanmamıştır; **Renk Birimi** dahilinde mevcut olan ve daha önce Bölüm 2.1'de tanıtılp açıklanan analiz bileşenlerine karşılık gelir. Bu bağlamda, yönetsel açıklamalarını tekrarlamaksızın tek görüntü analizi sonuçlarını sağlamak üzere yeniden kullanılmaktadır.

# Chapter 3

## Sıkça Sorulan Sorular

### S1: RGB ile CIELAB arasındaki fark nedir?

RGB, cihaza bağımlı bir renk modelidir: aynı RGB değerleri farklı ekranlarda farklı görünebilir. CIELAB (CIE  $L^*a^*b^*$ ), CIE XYZ'den türetilmiş, algısal olarak tekdüze, cihazdan bağımsız bir renk uzayıdır. CIELAB'da eşit sayısal farklar, yaklaşık olarak eşit algılanan renk farklarına karşılık gelir. Kalite kontrol için, CIELAB ve  $\Delta E_{2000}$  (CIELAB'dan türetilmiş), insan renk algısıyla uyumlu oldukları için ham RGB farklarına tercih edilir.

### S2: Sistem neden üç Delta E formülü hesaplar?

$\Delta E_{76}$ ,  $\Delta E_{94}$  ve  $\Delta E_{2000}$ , insan renk algısını modelleme konusundaki ardışık gelişmeleri temsil eder:

- $\Delta E_{76}$ : CIELAB'da Öklid uzaklığı. Basit ancak tüm renk yönlerini eşit ele alır ki bu, insan algısıyla örtüşmez.
- $\Delta E_{94}$ : Gözün açıklık değişikliklerine kroma veya ton değişikliklerinden daha duyarlı olduğunu ve duyarlılığın kroma düzeyine göre değiştigini hesaba katan ağırlıklandırma ekler.
- $\Delta E_{2000}$ : Mevcut CIE standarı. Ton dönme terimleri, geliştirilmiş kroma ağırlıklandırması ve kroma ile ton farkları arasında bir etkileşim terimi ekler. Algısal olarak en doğru olanıdır ve SpectraMatch'in karar metriğidir.

Her üçü de eksiksizlik için raporlanır.  $\Delta E_{76}$  ve  $\Delta E_{94}$ , özet tablosunda “bilgilendirici” olarak etiketlenir; yalnızca  $\Delta E_{2000}$  geçme/kalma durumunu belirler.

### S3: CSI nedir ve Delta E'den nasıl farklıdır?

Renk Benzerlik İndeksi (CSI), her iki görüntüyü %25 çözünürlüğe küçülterek, CIELAB'a dönüştürerek ve ortalama piksel başına  $\Delta E_{76}$ 'yı hesaplayarak elde edilen tam görüntü, piksel düzeyinde bir metriktir. Ardından 0–100 ölçegine eşlenir. Buna karşılık,  $\Delta E_{2000}$  yalnızca  $N$  ayrık örnekleme noktasında hesaplanır. CSI, tüm görüntüdeki genel renk dağılımını yakalar;  $\Delta E_{2000}$  ise nokta bazlı renk doğruluğu sağlar. Birbirlerini tamamlarlar: CSI, örnekleme noktalarının kaçırabileceği genel kaymaları tespit edebilirken,  $\Delta E_{2000}$  daha kesin yerel ölçümler sağlar.

### S4: CSI2000 nedir?

CSI2000, CSI ile  $\Delta E_{2000}$  türevli bir puanın ortalamasını alan karma bir metriktir:

$$\text{CSI2000} = \frac{\text{CSI} + \text{Puan}_{\Delta E}}{2}, \quad \text{Puan}_{\Delta E} = \max(0, \min(100, 100 - \overline{\Delta E}_{2000} \times 10))$$

## S5: Metamerizm nedir ve aydınlatıcı analizi neden önemlidir?

Metamerizm, iki renk numunesinin bir ışık kaynağı altında aynı görünüp diğerinde farklı görünmesi durumudur. Bu, tekstillerde yaygın bir sorundur: bir kumaş gün ışığı altında (D65) referansla eşleşebilir ancak mağaza aydınlatması altında (F2, TL84) farklı görünebilir. Aydınlatıcı analizi bölümü, Bradford kromatik adaptasyon dönüşümünü kullanarak her seçilen aydınlatıcı altında  $\Delta E_{2000}$ 'i yeniden hesaplayarak bunu test eder. Sonuçlar aydınlatıcılar arasında önemli ölçüde farklılık gösteriyorsa, boyalı formülasyonunun ayarlanması gerekebilir.

## S6: Spektral proksi grafiği gerçekte ne gösterir?

Spektral proksi, RGB değerlerinden üç Gauss temel fonksiyonu (450, 545 ve 610 nm merkezli) kullanılarak sentezlenmiş, spektral yansıtmanın bir yaklaşımıdır. Ölçülmüş bir spektral yansıtma eğrisi *değildir*. Renk enerjisinin dalga boyları arasında nasıl dağıldığına dair nitel bir görsel gösterge sağlar. Kesin spektral veriler için bir spektrofotometre gereklidir.

## S7: Bileşik desen puanı nasıl çalışır?

Bileşik desen puanı, her biri %25 katkıda bulunan dört analiz yönteminin ağırlıklı ortalamasıdır:

- Structural SSIM (%25)
- Gradient Similarity (%25)
- Phase Correlation (%25)
- Structural Match (%25)

Her yöntem 0–100% arasında bir puan üretir. Bileşik puan genel desen eşiğine göre değerlendirilir:  $\geq$  eşik  $\rightarrow$  GEÇTİ,  $\geq$  (eşik – 15)  $\rightarrow$  KOŞULLU, altında  $\rightarrow$  KALDI.

Kullanıcı, gelişmiş ayarlar üzerinden raporun tüm ölçütler yerine yalnızca seçilen tek bir ölçüte dayanmasını sağlayabilir. Ayrıca, eşik değerlerini kendi uygun gördüğü şekilde düzenleyebilir.

## S8: Yapısal fark analizi nedir?

Beş farklı piksel düzeyinde fark tespit teknğini (basit fark, kenar tabanlı, gradyan, frekans ve SSIM) tek bir gürültüfiltrelenmiş ikili maskede birleştiren çoklu yöntem birllestirme yaklaşımıdır. Bu maske, referans ile numune arasında yapısal olarak hangi piksellerin değiştigini belirler. Benzerlik puanı, değişmemiş piksellerin yüzdesidir. Analiz, dört birincil desen yönteminden bağımsızdır ve ek bir yapısal değerlendirme sağlar.

## S9: GLCM nedir ve ne zaman etkinleştirilmelidir?

Gri Düzey Eş Oluşum Matrisi (GLCM), belirli uzaysal ilişkilerde piksel değer çiftlerinin ne sıklıkta olduğunu analiz ederek dokuyu nicelleştirir. Altı özellik (kontrast, farklılık, homojenlik, enerji, korelasyon, ASM) üretir. GLCM varsayılan olarak etkindir ancak belirli bir kullanım durumu için doku analizi gerekmiyorsa Rapor Bölümleri ayarlarından devre dışı bırakılabilir.

## S10: Sistem bölge seçimini nasıl yönetir?

Kullanıcı, dört araçtan birini (daire, kare, dikdörtgen, serbest çizim çokgen) kullanarak bir ilgi bölgesi seçer. Seçilen bölge arka uca geometri verisi olarak gönderilir (daireler için merkez/yarıçap, dikdörtgenler için sınırlayıcı kutu). Arka uç, her iki görüntüyü bölge sınırlayıcı kutusuna kirpar ve bir maske uygular (örn. daireler için dairesel alfa maskesi). Tüm örneklemeye noktaları bölge içinde yer almmalıdır; arka uç, geometrik kapsama kontrolleri kullanarak her noktayı doğrular ve geçersiz noktaları reddeder.

### S11: Bölge seçmezsem ne olur?

Bölge seçilmemezse analiz için görüntünün tamamı kullanılır. Tüm örneklemeye noktaları tam görüntü sınırları içinde oluşturulur.

### S12: Ayarlar Raporu nedir?

Ayarlar Raporu (yapilandırma makbuzu), analiz raporuyla birlikte oluşturulan ayrı bir PDF'dir. Eşik değerleri, aydınlatıcı seçimleri, etkinleştirilen bölümler ve puanlama yöntemi dahil analiz için kullanılan her yapılandırma parametresini belgelendirir. Tekrarlanabilirliği ve denetim izlenebilirliğini sağlar.

### S13: Rapor dilini değiştirebilir miyim?

Evet. Rapor dili (İngilizce veya Türkçe), Gelişmiş Ayarlar'ın Rapor Bölümleri sekmesinde seçilir. Arayüz dili ve rapor dili birbirinden bağımsızdır: İngilizce arayüz kullanıp Türkçe rapor oluşturabilir veya bunun tersini yapabilirsiniz.

### S14: Sistem gereksinimleri nelerdir?

SpectraMatch, Python 3.9 veya üzeri ile şu paketleri gerektirir: Flask, OpenCV (headless), NumPy, PyPDF, Pillow, matplotlib, scikit-image, SciPy ve ReportLab. Masaüstü uygulaması ek olarak pywebview gerektirir. Görüntü başına maksimum yükleme boyutu 100 MB'dır.

### S15: Geçici dosyalar nasıl yönetilir?

Geçici dosyalar (kirpılmış görüntüler, görselleştirme grafikleri, PDF ara dosyaları) sistem geçici dizininde saklanır. Arka planda çalışan bir temizleme iş parçasığı her saat çalışır ve 24 saatten eski geçici dosyaları kaldırır.

## Karşılaştırmalı Tartışma — Benzer Yöntemler Neden Bir Arada Bulunuyor

Aşağıdaki sorular tekrarlayan bir gözlemi ele alır: SpectraMatch'teki çeşitli analiz yöntemleri görüntünün benzer yönlerini ölçüyor gibi görünmektedir, ancak her biri raporda korunmaktadır. Aşağıdaki yanıtlar, görünürdeki fazlalığın neden kasıtlı olduğunu ve her yöntemin hangi benzersiz bilgiyi sağladığını açıklar.

### S16: Gradient Similarity ve Phase Correlation, genellikle benzer sonuçlar üretmelerine rağmen neden birlikte kullanılıyor?

İlk bakışta her iki yöntem de referans ile numune arasındaki “yapısal yakınlığı” değerlendirir ve puanları genellikle benzer bir aralığa düşer. Ancak görüntünün temelden farklı yönlerini yakalarlar:

- **Gradient Similarity**, *uzaysal alanda* çalışır. Her görüntü için Sobel gradyan büyüklüklerini hesaplar, ardından gradyan alanlarına SSIM uygular. Kenar keskinliği, doku yoğunluğu ve yerel kontrast değişikliklerine duyarlıdır. Desen konumsal olarak doğru olsa bile bulanık veya hafif odak dışı bir numune, gradyan düşüşü gösterecektir.
- **Phase Correlation**, *frekans alanında* çalışır. Öteleme (kayma) hizalama bozukluğunu tespit etmek için Fourier faz ilişkisini kullanır. Tekdüze parlaklık veya kontrast değişikliklerine büyük ölçüde duyarsızdır ancak geometrik yer değiştirmeye son derece duyarlıdır.

#### Ne zaman ayırsırlar:

- *Doğru konumda* olan ancak *daha yumuşak kenarlara* sahip bir numune (örn. farklı dokuma gerginliği nedeniyle), Phase Correlation'da yüksek ancak Gradient Similarity'de düşük puan alacaktır.
- Çekim sırasında *hafif kaymış* ancak doku olarak aynı olan bir numune, Gradient Similarity'de yüksek ancak Phase Correlation'da düşük puan alacaktır.

Her iki yöntemin birlikte kullanılması, bileşik desen puanının hem konumsal doğruluğu hem de kenar/doku sadakatini *birlikte* yansıtmasını sağlar. Yalnızca birine güvenmek, diğerinin tespit ettiği hata türü için bir kör nokta bırakır.

### S17: CSI ve $\Delta E_{2000}$ her ikisi de renk farkını ölçüdüğü halde neden birlikte kullanılıyor?

CSI ve  $\Delta E_{2000}$  aynı soruyu yanıtlıyor gibi görünür (“renkler ne kadar farklı?”) ancak *kapsam*, *uzaysal çözünürlük* ve *duyarlılık* açısından farklılık gösterirler:

Özellik	$\Delta E_{2000}$	CSI
Örneklemme	Kullanıcı tarafından veya rastgele yerleştirilen $N$ ayrık nokta	Her piksel (%25 çözünürlükte)
Formül	Ton dönmesi ve etkileşim terimleri içeren tam CIEDE2000	Ölçeklenmiş Lab'da Öklid $\Delta E_{76}$
Güçlü Yön	Her noktada yüksek algısal doğruluk	Tam görüntüdeki genel dağılım kaymalarını yakalar
Zayıf Yön	Örneklemme noktaları arasındaki kusurları kaçıracaktır	Pikselt başına algısal olarak daha az doğru, daha basit formül kullanır

### Ne zaman ayırsırlar:

- Örnekleme noktaları *arasına* düşen yerelleştirilmiş bir leke veya çizgi,  $\Delta E_{2000}$ 'i etkilemez ancak CSI'yi düşürür.
- Kumaş genelinde tekdüze, algısal olarak belirgin bir ton kayması, gelişmiş CIEDE2000 formülünü kullanan  $\Delta E_{2000}$  tarafından daha hassas tespit edilir; basit  $\Delta E_{76}$  kullanan CSI tarafından daha az kesin algılanır.

Karma metrik **CSI2000**, tek başına hiçbirinin yeterli olmaması nedeniyle mevcuttur. Birlikte hem genişlik (tam görüntü kapsamı) hem de derinlik (kritik noktalarda algısal hassasiyet) sağlarlar.

### S18: Gradient Boundary Detection ve Phase Boundary Detection aynı işleme hattını kullanıyorlarsa neden ikisi de mevcut?

Her iki sınır tespiti aynı morfolojik son işlemeyi (esikleme, kapanma, açılma, genişletme, kontur çıkarma) paylaşır. Fark tamamen *girdi haritalarında* yatar:

- **Gradient Boundary**, Sobel gradyan fark haritasını kullanır. *Kenar yoğunluğu veya doku keskinliğinin* farklılığı bölgeleri vurgular.
- **Phase Boundary**, faz korelasyonu mutlak fark haritasını kullanır. *Piksel düzeyinde öteleme hizalamasının* farklılığı bölgeleri vurgular.

Aynı kontur çıkarma hattı iki farklı kaynak haritaya uygulandığından, ortaya çıkan sınır bölgeleri önemli ölçüde farklılık gösterebilir:

- Gradyan sınırları, dokuma yapısının veya baskı tanımının değiştiği *desen kenarlarında* belirme eğilimindedir.
- Faz sınırları, numunenin referansa göre uzaysal olarak yer değiştirdiği *geniş alanlarda* belirme eğilimindedir.

Pratikte, her iki sınır haritası örtüştüğünde, bu gerçek bir kusurun güclü kanıtını sağlar. Yalnızca biri tetiklendiğinde, kök nedeni daraltır (doku bozulması veya konumsal kayma).

### S19: SSIM hem Desen Birimi puanında hem de Yapısal Fark Analizinde kullanılıyor — bu çifte sayım mı?

Hayır. "SSIM" kısaltması her iki bağlamda da görünse de, iki kullanım farklı amaçlara hizmet eder ve farklı girdiler üzerinde çalışır:

- **Structural SSIM (Desen Yöntemi 1)**, bilateral filtreleme sonrası tam gri tonlamalı görüntülere SSIM uygular. 0–100% bir puan üretir ve bileşik desen puanına %25 katkıda bulunur. Rolü, *tek bir algısal benzerlik sayısı* sağlamaktır.
- **Yapısal Fark Analizi içindeki SSIM**, ters çevrilmiş SSIM harmasını (200 eşliğinde) *beş* ikili fark maskesinden biri olarak kullanır. Birleştirilmiş maskeye yalnızca %15 katkıda bulunur. Rolü, yapısal karar (AYNI / ÇOK BENZEŞİYOR / BENZEŞİYOR / FARKLI) için *değişen piksellerin yerini belirlemeye* yardımcı olmaktadır.

İlk kullanım bir *puan* üretir; ikincisi bir *uzaysal maske* üretir. Farklı soruları yanıtlarlar: "Genel olarak ne kadar benzer?" ile "Farklar tam olarak nerede?" Yapısal Fark Analizi, her dedektörün farklı yanlış pozitif ve yanlış negatif karakteristikleri olduğu için SSIM'i kasıtlı olarak beş tamamlayıcı dedektörden biri olarak dahil eder. Birleştirme, herhangi bir bireysel yöntemin zayıflıklarını azaltır.

# Chapter 4

## Yazılım Uygulaması

### 4.1 Programlama Araçları ve Teknolojileri

SpectraMatch aşağıdaki teknolojiler kullanılarak geliştirilmiştir:

Table 4.1: SpectraMatch v2.2.3'te kullanılan teknoloji yiğimi.

Kategori	Teknoloji	Rol
Web Çerçevesi	Flask	Arka uç HTTP sunucusu, API yönlendirmesi, şablon işleme
Görüntü İşleme	OpenCV (headless)	Görüntü G/Ç, renk uzayı dönüşümü, filtreleme, morfoloji, FFT, faz korelasyonu
Sayısal Hesaplama	NumPy	Dizi işlemleri, doğrusal cebir, istatistiksel hesaplamalar
Bilimsel Hesaplama	SciPy	Sinyal işleme araçları
Görüntü Analizi	scikit-image	SSIM hesaplama, GLCM doku analizi
Grafik Oluşturma	matplotlib	Grafik üretimi (histogramlar, saçılım grafikleri, çubuk grafikler, ısı haritaları, spektral eğriler)
PDF Oluşturma	ReportLab	Tablolar, görüntüler, stilize metin ve özel akış öğeleri içeren çok sayfalı PDF rapor yapısı
PDF Birleştirme	PyPDF	Kapak sayfası, renk raporu ve desen raporu PDF'lerinin tek dosyada birleştirilmesi
Görüntü İşleme	Pillow (PIL)	Görüntü biçim dönüşümü, PDF gömme için NumPy-PIL köprüleme
Masaüstü Kabuğu	pywebview	Flask arka ucu için yerel pencere sarmalayıcı, JavaScript–Python köprüsü
Ön Yüz	Vanilla JavaScript	Arayüz denetleyicisi, bölge seçimi, nokta seçimi, uluslararasılaştırma
Stilleme	CSS	Arayüz stilleme, duyarlı düzen, koyu/açık mod

## 4.2 Kod Tabanı Dil Dağılımı

Aşağıda, dosya boyutlarından tahmin edilen kod tabanının programlama diline göre yaklaşık dağılımı verilmektedir:

Table 4.2: Yaklaşık kod tabanı dil dağılımı.

Dil	Yaklaşık Boyut	Yüzde
Python (arka uç modülleri)	~240 KB	~30%
JavaScript (ön yüz)	~365 KB	~45%
HTML (şablonlar)	~196 KB	~20%
CSS / Yapılandırma / Diğer	~40 KB	~5%

## 4.3 Dosya ve Klasör Yapısı

```
SPECTRAMATCH_PROJECT/
app.py                                # Flask uygulama giriş noktası
wsgi.py                                 # WSGI dağıtım giriş noktası
requirements.txt                         # Python bağımlılıkları
README.md                               # Proje belgelendirmesi
modules/
    ColorUnitBackend.py                 # Renk analizi ve PDF oluşturma
    PatternUnitBackend.py              # Desen analizi ve PDF oluşturma
    SingleImageUnitBackend.py         # Tek görüntü analizi ve PDF
    RecommendationsEngine.py          # Eşik değerine duyarlı öneriler
    ReportUtils.py                   # Paylaşılan PDF araçları ve stiller
    ReportTranslations.py            # EN/TR çeviri sözlüğü
    SettingsReceipt.py               # Ayarlar makbuzu PDF oluşturucusu
desktop/
    app_desktop.py                   # pywebview masaüstü başlatıcısı
templates/
    index.html                        # Web uygulaması şablonu
    desktop.html                      # Masaüstü uygulaması şablonu
static/
    js/
        app.js                          # Ana arayüz denetleyicisi
        region-selector.js              # Bölge seçim araçları
        region-validator.js             # Nokta-bölge doğrulama
        point-selector-enhanced.js    # Gelişmiş nokta seçimi
        i18n.js                           # Uluslararasılaştırma (EN/TR)
        development-modal.js            # Geliştirme bilgi penceresi
    css/
    images/
desktop/
READYTOTEST/                            # Yerleşik test görüntü çiftleri
```

## 4.4 Temel Fonksiyonlar ve Sınıflar

Aşağıdaki tablolar, her modüldeki birincil fonksiyonları ve sınıfları konumları ve rolleriyle listeler.

### 4.4.1 app.py — Flask Uygulaması

Fonksiyon / Rota	Rol
<code>crop_image()</code>	Yüklenen görüntüleri seçilen bölgeye kirpar; daire seçimleri için dairesel alfa maskeleri uygular.
<code>@app.route("/")</code>	Web uygulaması şablonunu sunar.
<code>@app.route("/desktop")</code>	Masaüstü uygulaması şablonunu sunar.
<code>/api/analyze</code>	Ana analiz uç noktası. Görüntüler, ayarları, bölge verisini kabul eder. Renk Birimi, Desen Birimi veya Tek Görüntü Birimini yönetir. PDF'ler oluşturur, görselleştirme görüntülerini kaydeder, JSON yanıtı yapılandırır.
<code>/api/download_report/</code>	Oluşturulan PDF raporlarını (birleşik, renk, desen) sunar.
<code>/api/download_receipt/</code>	Ayarlar makbuzu PDF'ini sunar.
<code>/api/report_image/</code>	Ön yüz görüntüleme için görselleştirme görüntülerini sunar.
<code>cleanup_old_files()</code>	24 saatten eski geçici dosyaları kaldırın arka plan iş parçacığı.
<code>_sanitize_for_json()</code>	JSON serileştirmesi için NumPy türlerini Python-yerel türlere dönüştürür.

### 4.4.2 ColorUnitBackend.py — Renk Analizi

Fonksiyon	Rol
<code>srgb_to_xyz()</code>	Normalleştirilmiş sRGB'yi standart matris kullanarak CIE XYZ'ye (D65) dönüştürür.
<code>adapt_to_illuminant()</code>	Bradford dönüşümü kullanarak XYZ'yi D65'ten hedef aydınlatıcıya kromatik olarak adapte eder.
<code>xyz_to_lab()</code>	Belirtilen beyaz noktası kullanarak XYZ'yi CIELAB'a dönüştürür.
<code>deltaE76()</code>	$\Delta E_{76}$ (CIELAB'da Öklid uzaklılığı) hesaplar.
<code>deltaE94()</code>	Açıklık/kroma/ton ağırlıklandırması ile $\Delta E_{94}$ hesaplar.
<code>deltaE2000()</code>	CIEDE2000 renk farkını (tam spesifikasyon) hesaplar.
<code>region_stats()</code>	Bir noktadaki dairesel yamadan ortalama RGB, XYZ, Lab, CMYK çıkarır.
<code>is_point_valid()</code>	Bir noktanın tanımlanan bölge içinde yer alıp olmadığı doğrular.
<code>make_points_strict()</code>	Reddetme örneklemesi kullanarak bölge içinde $N$ rastgele nokta oluşturur.
<code>analyze_color()</code>	Ana analiz fonksiyonu: noktalarda renk çıkarır, tüm metrikleri ve CSI'yi hesaplar.
<code>generate_pdf_headless()</code>	Tüm bölümlerle Renk Birimi PDF raporunu oluşturur.
<code>analyze_and_generate()</code>	Giriş noktası: analizi çalıştırır ardından PDF oluşturur.
<code>plot_spectral_proxy()</code>	Spektral proksi grafiği oluşturur.

---

<code>plot_rgb_...</code>	Yan yana RGB histogramları oluşturur.
<code>histograms_dual()</code>	$\Delta E$ ısı haritası görselleştirmesi oluşturur.
<code>plot_heatmap()</code>	$a^* - b^*$ krominans saçılım grafiği oluşturur.
<code>plot_lab_scatter()</code>	Ortalama $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ gruplandırılmış çubuk grafiği oluşturur.
<code>plot_lab_bars()</code>	

---

#### 4.4.3 PatternUnitBackend.py — Desen Analizi

Fonksiyon	Rol
<code>method1_structural_ssim()</code>	Bilateral filtreleme ve JET renkli fark haritası ile SSIM hesaplar.
<code>method3_gradient_similarity()</code>	SSIM puanlaması ile Sobel gradyan büyülüklük karşılaştırması hesaplar.
<code>method6_phase_correlation()</code>	OpenCV kullanarak faz korelasyonu hizalama puanı hesaplar.
<code>structural_difference_analysis()</code>	Çoklu yöntem birleştirme: basit fark, kenar, gradyan, frekans, SSIM ile gürültü filtreleme.
<code>fourier_domain_analysis()</code>	2B FFT, tepe tespiti, temel periyot, yönlem, anizotropi.
<code>glcm_texture_analysis()</code>	GLCM hesaplama ve özellik çıkarma (kontrast, homojenlik vb.).
<code>create_gradient_red_boundaries()</code>	Gradyan tabanlı sınır tespiti görselleştirmeleri oluşturur.
<code>create_phase_red_boundaries()</code>	Faz tabanlı sınır tespiti görselleştirmeleri oluşturur.
<code>determine_status()</code>	Eşik değerlerine göre genel geçti/koşullu/kaldı mantığı.
<code>generate_pdf_headless()</code>	Tüm bölümlerle Desen Birimi PDF raporunu oluşturur.
<code>analyze_and_generate()</code>	Giriş noktası: tüm analizleri çalıştırır, bileşik puanı hesaplar, PDF oluşturur.
<code>plot_fft_spectrum()</code>	FFT büyülüklük spektrumu ısı haritası oluşturur.
<code>plot_glcm_comparison()</code>	GLCM özellik karşılaştırma çubuk grafiği oluşturur.
<code>plot_glcm_heatmaps()</code>	Yan yana GLCM ısı haritaları oluşturur.

#### 4.4.4 SingleImageUnitBackend.py — Tek Görüntü Analizi

Fonksiyon	Rol
<code>analyze_and_generate()</code>	Giriş noktası: örneklemme, renk çıkarma, spektral proksi, PDF oluşturma.
<code>_generate_pdf()</code>	Kapak, görseller, ölçümler, Fourier, öneriler içeren dahili PDF oluşturma.
<code>plot_single_spectral_proxy()</code>	Tek görüntü spektral proksi grafiği oluşturur.
<code>is_point_valid()</code>	Nokta doğrulama (daire/dikdörtgen kapsama).
<code>make_points_strict()</code>	Bölge sınırları içinde rastgele nokta oluşturma.

#### 4.4.5 RecommendationsEngine.py — Bulgular ve Öneriler

Fonksiyon	Rol
generate_color_recommendations()	Ortalama $\Delta E$ , Tutarlılık ve CSI için eşik değerine göre değerlendirmeler içeren bulgular üretir.
generate_pattern_recommendations()	Bileşik Puan, Yapısal Eşleşme ve En Zayıf Metrik için bulgular üretir.
generate_single_image_recommendations()	Parlaklık, Kroma Yayılımı, Renk Tekdüzeligi ve Baskın Kanal için bulgular üretir.
render_findings_to_flowables(_relative_position())	Bulguları stilize ReportLab akış öğelerine dönüştürür (sonuç bloğu ile kart tabanlı düzen). Sayısal bir değeri eşik değerlerine göre nitel bir düzeye (mükemmel/iyi/sınırda/zayıf) eşler.

#### 4.4.6 ReportUtils.py — Paylaşılan PDF Araçları

Fonksiyon / Sabit	Rol
setup_fonts()	Türkçe karakter desteğiyle TrueType fontları kaydeder (Arial → Segoe UI → Tahoma → Helvetica yedek zinciri).
numpy_to_rl()	NumPy görüntü dizisini BGRA alfa birleştirme işlemiyle ReportLab Image nesnesine dönüştürür.
make_table()	Değişen satır arka planlarıyla tutarlı stilize tablolar oluşturur.
badge()	Renkli yuvarlak köşeli dikdörtgen rozet akış ögesi oluşturur.
make_header_footer()	Sayfa başlıklarını (şirket adı, alt başlık) ve altlıkları (sayfa numarası, zaman damgası, logo) çizen geri çağrıma fonksiyonu döndürür.
generate_unified_cover()	Çift puan kartlarıyla birleştirilmiş raporlar için bütünsel kapak sayfası PDF'yi oluşturur.
pick_logo()	Birincil ve yedek yollardan şirket logo dosyasını bulur.
STATUS_COLORS	Durum dizelerini (PASS, CONDITIONAL, FAIL) ReportLab renklerine eşleyen sözlük.

#### 4.4.7 ReportTranslations.py — İki Dilli Sözlük

Tüm rapor öğeleri için İngilizce ve Türkçe girişleri içeren kapsamlı bir TRANSLATIONS sözlüğü barındırır: bölüm başlıkları, tablo başlıkları, metrik etiketleri, durum dizeleri, değerlendirme metinleri ve yorumlayıcı açıklamalar. Seçilen dil için bir arama fonksiyonu döndüren `get_translator(lang)` ve durum dizesi çevirisisi için `translate_status(status, lang)` fonksiyonlarını sağlar.

#### 4.4.8 SettingsReceipt.py — Yapılandırma Makbuzu

Tüm analiz yapılandırma parametrelerini belgeleyen tek sayfalı bir PDF oluşturur: genel ayarlar, renk eşik değerleri, desen eşik değerleri, aydınlatıcı seçimleri, etkinleştirilen rapor bölümleri ve puanlama yöntemi. Makbuz, ilgili analiz raporuyla aynı rapor kimliğini ve zaman damgasını paylaşır.

#### 4.4.9 desktop/app\_desktop.py — Masaüstü Başlatıcı

Bileşen	Rol
<code>find_free_port()</code>	Flask arka ucu için kullanılabilir bir TCP portunu tarar.
<code>start_flask()</code> Api sınıfı	Flask sunucusunu arka plan iş parçacığında başlatır. Yerel dosya kaydetme diyalogları için <code>save_report()</code> sağlayan JavaScript–Python köprüsü.
Açılış ekranı	Flask arka ucu başlatılırken bir yükleme penceresi gösterir.
<code>webview.create_window()</code>	Flask URL'sine yönlendiren yerel masaüstü penceresini oluşturur.

#### 4.4.10 Ön Yüz JavaScript

Dosya	Rol
<code>app.js</code>	Ana arayüz denetleyicisi: görüntü yükleme işleme, ayar yönetimi, analiz başlatma, sonuç gösterimi, rapor indirme, geri bildirim gönderme.
<code>region-selector.js</code>	Etkileşimli tuval tabanlı bölge seçim araçları: daire, kare, dikdörtgen, serbest çizim çokgen; sürükleme, boyutlandırma ve eş zamanlı çift görüntü bindirme.
<code>region-validator.js</code>	Örnekleme noktası yerleştirme için istemci tarafı nokta-bölge doğrulaması.
<code>pointselectorenhanced.js</code>	Gelişmiş nokta seçim arayüzü: tikla-yerleştir manuel noktalar, görsel geri bildirim, nokta sayısı yönetimi.
<code>i18n.js</code>	Tam İngilizce/Türkçe uluslararasılaşma sözlüğü ve dil değiştirme mantığı.
<code>development-modal.js</code>	Geliştirme bilgi penceresi.

# Appendix A

## Kısaltmalar Sözlüğü

Kısaltma	Tanım
ASM	Angular Second Moment (Açışal İkinci Moment)
BGR	Blue–Green–Red (Mavi–Yeşil–Kırmızı)
CIE	International Commission on Illumination (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu)
CIELAB	CIE L*a*b* renk uzayı
CIEDE2000	CIE Delta E 2000
CLAHE	Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (Kontrast Sınırlamalı Uyarlanabilir Histogram Eşitleme)
CMYK	Cyan–Magenta–Yellow–Black (Camgöbeği–Eflatun–Sarı–Siyah)
CSI	Color Similarity Index (Renk Benzerlik İndeksi)
CSI2000	Color Similarity Index 2000 (Renk Benzerlik İndeksi 2000)
CSS	Cascading Style Sheets
DC	Direct Current (Doğru Akım)
$\Delta E$	Renk Farkı
$\Delta E_{76}$	CIE76 Renk Farkı
$\Delta E_{94}$	CIE94 Renk Farkı
$\Delta E_{2000}$	CIEDE2000 Renk Farkı
EN/TR	İngilizce / Türkçe
FFT	Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
GLCM	Gray-Level Co-occurrence Matrix (Gri Düzey Eş Oluşum Matrisi)
HTML	HyperText Markup Language
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Örgütü)
JS	JavaScript
Lab	CIELAB
PDF	Portable Document Format (Taşınabilir Belge Biçimi)
RGB	Red–Green–Blue (Kırmızı–Yeşil–Mavi)
sRGB	Standard RGB
SSIM	Structural Similarity Index (Yapısal Benzerlik İndeksi)
UTC	Coordinated Universal Time (Eş Güdümlü Evrensel Zaman)
WSGI	Web Server Gateway Interface
XYZ	CIE XYZ Renk Uzayı

# Appendix B

## Şekil Listesi

Sekil	Başlık
1	Sistem İş Akışı
2	Web Uygulaması Arayüzü
3	Masaüstü Uygulaması Arayüzü
4	Ayarlar Raporu Kapak Sayfası
<i>Renk Birimi</i>	
5	Örnekleme Noktalarıyla Giriş Görüntüleri
6	RGB Değerleri Tablosu
7	Ortalama CIELAB Değerleri ve Bileşen Bazlı Farklar
8	Lab* Görselleştirmesi
9	XYZ Değerleri Tablosu
10	CMYK Değerleri Tablosu
11	Fark Metrikleri ( $\Delta E$ )
12	Aydınlatıcı Analizi
13	$\Delta E$ Isı Haritası
14	Spektral Dağılım Proksisi
15	RGB Histogramları
16	Renk Benzerlik İndeksi (CSI)
17	Renk Bulguları ve Öneriler
<i>Desen Birimi</i>	
18	Desen Giriş Görüntüleri
19	SSIM Fark Haritası
20	Gradient Similarity Haritası
21	Phase Correlation Haritası
22	Yapisal Fark Analizi
23	Saf Fark Bindirmesi
24	Gradient Boundary Detection
25	Phase Boundary Detection
26	Fourier Alanı Analizi
27	GLCM Doku Analizi
28	Yapisal Fark Kararı
29	Desen Bulguları ve Öneriler
30	Desen Sonucu
<i>Tek Görüntü Birimi</i>	
31	Tek Görüntü Girişi
32	Ölçüm Verileri

# Appendix C

## Bilinen Sınırlamalar (v2.2.3)

### ‘v2.3.0 İçin Planlanmış — Henüz Uygulanmadı’

Aşağıda, projede şu anda eksik olan ve eklenmesi planlanan bir teknik sunulmaktadır.

Bu teknik, projeyi yeni bir yükseltme seviyesi olan v2.3.0 sürümüne taşıyacaktır.

#### ■ L-3 | Görüntü Tescili (Ana Planlanan Ekleme)

UYGULANMADI

**Mevcut Durum:** SpectraMatch v2.2.3, referans ve numune görüntülerini seçilen bölgeye kirptikten sonra **piksəl piksel** karşılaştırır. Geometrik hizalama adımı yoktur. Bu, sistemin her iki görüntünün zaten uzaysal olarak tescilli olduğunu — aynı görüş açısından, aynı ölçekte ve aynı çerçevelenmeye çekildiğini — varsayıdığı anlamına gelir.

**Sınırlama:** Gerçek kullanımında, referans ve numune görüntülerini nadiren aynı geometrik koşullar altında çekilir. Yaygın farklar şunlardır:

- **Görüş açısı** — kamera, çekimler arasında eğilmiş veya döndürülmüş olabilir.
- **Ölçek farkları** — kamera-kumaş mesafesi değişimdir, farklı büyütmeler üretir.
- **Görüntü boyutu farklılıklarları** — farklı kamera çözünürlükleri veya kirpma ayarları.
- **Öteleme/kayma** — kumaş çerçevede farklı konumlandırılmış olabilir.

Bu geometrik uyumsuzluklar *tüm* aşağı akış metriklerine yayılır: hizalanmamış pikseller karşılaştırıldığı için  $\Delta E$  değerleri şiser, yapılar kaydiği için SSIM düber ve yapısal fark analizi her hizalanmamış sınırlarda yanlış pozitifler raporlar.

**Planlanan Değişiklik:** Herhangi bir analizden önce bir **Görüntü Tescili** ön işleme aşamasının entegre edilmesi. Tescil hattı birden fazla tamamlayıcı teknik kullanacaktır:

1. **Özellik tabanlı hizalama** — anahtar noktalari tespit etme (örn. ORB, SIFT veya AKAZE), referans ile numune arasında tanımlayıcıları eşleme, bir homografi matrisi hesaplama ve numuneyi referansla hizalamak üzere çarpıtma.
2. **Yoğunluk tabanlı hizalama** — piksel düzeyinde korelasyonu maksimize ederek geometrik dönüşümü iyileştirmek için Geliştirilmiş Korelasyon Katsayı (ECC) optimizasyonu kullanma.
3. **Faz tabanlı hizalama** — öteleme ofsetlerini tahmin etmek ve düzeltmek için Fourier faz korelasyonundan yararlanma.

Tescilli (hizalanmış) numune, daha sonra piksel düzeyinde karşılaştırma için Renk Birimi ve Desen Birimine aktarılacak ve görüntü çekim koşullarından kaynaklanan hatalar önemli ölçüde azaltılacaktır.

**Etki:** Yüksek — bu, v2.3.0 için planlanan en etkili tek iyileştirmendir. Piksel düzeyinde karşılığın temel varsayımini ele alır ve gerçek dünya görüntü çiftleri için ölçüm doğruluğunu önemli ölçüde artıracaktır.



# SPECTRAMATCH

Teknik Veri Sayfası

*Sürüm 2.2.3*

Hazırlayan  
**Abdelbary Algamel**  
[aalgamel23@posta.pau.edu.tr](mailto:aalgamel23@posta.pau.edu.tr)

Danışman  
**Dr. Adem Ükte**  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye

Bu belge, SpectraMatch v2.2.3 dağıtımının bir parçasıdır.

Tüm içerik proje kaynak kodundan türetilmiştir ve  
yayın tarihindeki sistemin mevcut yeteneklerini yansıtmaktadır.