



**OSTİM**  
**TECHNICAL**  
**UNIVERSITY**  
A N K A R A

## **MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**

### **YAPAY ZEKA MÜHENDİSLİĞİ**

OSTİM Teknik Üniversitesi

**Ders:** Görüntü İşleme — Ödev2

Prokudin-Gorskii Renkli Görüntü Yeniden Yapılandırma

**AD/SOYAD: OMAR A. M. ISSA**

**ÖĞRENCİ NO: 220212901**

Özet .....	2
1. Giriş.....	2
2. Yöntem (Methodology) .....	3
2.1 Görüntü Yükleme ve Kanal Ayırımı.....	3
2.2 Kanal Hızalama (Alignment).....	4
2.3 Renkli Görüntünün Oluşturulması.....	4
2.4 Görüntü İyileştirme (Enhancement).....	5
2.5 Otomatik Kırpma (Auto Crop).....	5
2.6 Dosya Kaydetme.....	6
2.7 Genel Akış.....	6
3. Sonuçlar (Results) .....	6
3.1. Deney Sonuçlarının Özeti .....	7
3.2. Görsel Sonuçlar.....	7
Görüntü 00088v.jpg.....	7
Görüntü 00106v.jpg.....	8
Görüntü 00888v.jpg.....	8
Görüntü 31421v.jpg.....	9
3.3. Genel Gözlemler.....	9
4. Tartışma (Discussion) .....	9
4.1 SSD ve NCC Karşılaştırması .....	10
4.2 Piramit Hızalama Yönteminin Etkisi.....	10
4.3 İyileştirme Adımlarının Görsel Etkisi .....	10
4.4 Otomatik Kırpma .....	11
4.5 Genel Değerlendirme.....	11
5. Sonuç (Conclusion) .....	11
6. Kaynakça (References).....	12

## Özet

Bu çalışmada, tarihî Prokudin-Gorskii cam plaka fotoğraflarından elde edilen üst üste yığılmış gri tonlamalı görüntüler kullanılarak renkli fotoğraf yeniden oluşturulmuştur. Yöntem; (i) görüntüyü B-G-R kanallarına ayırma, (ii) kanalları NCC (Normalized Cross-Correlation) veya SSD (Sum of Squared Differences) benzerlik ölçütleriyle hizalama, (iii) büyük kaymaları hızlı ve kararlı şekilde bulmak için **piramit (çok ölçekli) hizalama**, (iv) histogram eşitleme, gamma düzeltmesi ve unsharp masking ile **iyileştirme**, (v) kenarlardaki siyah çerçeveleri kaldırmak için **otomatik kırpmacı** adımlarından oluşur. Altı farklı görüntü üzerinde yapılan deneylerde hem temel boru hattı hem de ek puan sağlayan piramit hizalama ve otomatik kırpmacı başarıyla uygulanmıştır. Sonuçlar, hizalamanın renkli görüntü kalitesini belirgin şekilde artırdığını ve iyileştirme adımlarının kontrast/keskinlik açısından görsel kaliteyi geliştirdiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Prokudin-Gorskii, kanal hizalama, NCC, SSD, piramit hizalama, histogram eşitleme, gamma, unsharp, otomatik kırpmacı.

## 1. Giriş

20. yüzyılın başlarında Sergey M. Prokudin-Gorskii, aynı sahneyi kırmızı, yeşil ve mavi filtreler üzerinden ayrı ayrı pozlayarak renkli fotoğraf üretmeyi hedeflemiştir. Günümüze ulaşan cam plaka taramaları, bu üç tek-kanallı pozun **dikey olarak üst üste yığılmış** hâlidir. Renkli görüntüyü yeniden oluşturabilmek için bu tek kanallı bantların doğru sırayla ayrılması ve **geometrik olarak hizalanması** gereklidir; aksi hâlde renk saçılımaları, gölgelenmeler ve çift kenarlar ortaya çıkar.

Bu çalışmanın amacı, verilen Prokudin-Gorskii görüntülerinden **yüksek kaliteli bir renkli kompozit** üretmek için uçtan uca bir boru hattı geliştirmek ve uygulamaktır. Geliştirilen yöntem şu bileşenleri içerir:

- **Kanal Ayırımı:** Yığının üst-orta-alt bantlarının sırasıyla **B-G-R** kanalları olarak ayrılması.

- **Benzerlik Ölçütleri:** Kanal hizalamasında iki ölçütün kullanılması: **SSD** (düşük değer daha iyi) ve **NCC** (yüksek değer daha iyi).
- **Brute-Force Hizalama:** Küçük aralıklar için ( $\pm 15$  piksel) tüm kaymaların denenmesi.
- **Piramit (Çok Ölçekli) Hizalama — Bonus:** Büyük kaymaların hızlı bulunması için kaba-ince (coarse-to-fine) yaklaşımı.
- **Görüntü İyileştirme:** Histogram eşitleme (luminance/Y kanalı), **gamma** düzeltmesi ve **unsharp masking** ile kontrast ve keskinliğin artırılması.
- **Otomatik Kırpma — Bonus:** Hizalamadan sonra oluşan siyah çerçevelerin otomatik tespiti ve kırpılması.
- **Değerlendirme:** En az **6 farklı görüntü** üzerinde (öğretim elemanın sağladığı veri) unaligned → aligned → enhanced çıktılarının görsel olarak karşılaştırılması ve kayma değerlerinin (dx, dy) raporlanması.

Bu raporun devamında, **Yöntem** bölümünde her adım ayrıntılıdırılacak; **Sonuçlar** bölümünde her bir görüntü için örnek çıktılar ve kayma değerleri verilecek; **Tartışma** bölümünde **SSD vs. NCC** ve **piramit hizalama** etkileri irdelenenecek; **Sonuç** bölümünde genel değerlendirme ve olası geliştirmeler sunulacaktır.

## 2. Yöntem (Methodology)

Bu çalışmada geliştirilen boru hattı (pipeline), renkli görüntünün yeniden yapılandırılması için **altı ana adımdan** oluşmaktadır. Aşağıda her bir adım ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

### 2.1 Görüntü Yükleme ve Kanal Ayrımı

Projeye girişte, her bir Prokudin-Gorskii cam plaka taraması **tek bir gri tonlamalı görüntü** olarak verilmektedir. Bu görüntü, dikey yönde üç eşit parçaya ayrılmıştır.

Üst kısmı **mavi (B)**, orta kısmı **yeşil (G)** ve alt kısmı **kırmızı (R)** kanalı temsil eder.

Kodda bu işlem şu fonksiyonla gerçekleştirilmiştir:

```

def split_image(stacked_img):
    h, w = stacked_img.shape
    h3 = h // 3
    b = stacked_img[0:h3, :]
    g = stacked_img[h3:2*h3, :]
    r = stacked_img[2*h3:3*h3, :]
    return b, g, r

```

Bu aşamada elde edilen üç ayrı kanal normalleştirilir ve hizalama için hazır hâle getirilir.

## 2.2 Kanal Hizalama (Alignment)

Renkli görüntü oluşturmanın en kritik aşaması kanalların doğru hizalanmasıdır.

Bu projede iki farklı benzerlik ölçütü uygulanmıştır:

- **SSD (Sum of Squared Differences):**

$$SSD = \sum (I_1 - I_2)^2$$

Küçük değer → yüksek benzerlik.

- **NCC (Normalized Cross-Correlation):**

$$NCC = \sum \frac{(I_1 - \bar{I}_1)(I_2 - \bar{I}_2)}{\sigma_{I_1} \sigma_{I_2}}$$

Büyük değer → yüksek benzerlik.

Her iki ölçüt için hizalama süreci şu şekilde gerçekleştirilmiştir:

1. **Brute-Force Arama:**  $\pm 15$  piksel aralığında tüm  $(dx, dy)$  kaymaları denenmiş, en iyi skoru veren kayma seçilmiştir.
2. **Piramit (Çok Ölçekli) Hizalama:**
  - a. Görüntüler birkaç kez küçültülür (ör.  $1/2, 1/4, 1/8$  boyutlar).
  - b. En küçük çözünürlükte kaba bir hizalama yapılır.
  - c. Bulunan kayma, bir üst seviyeye aktarılır ve küçük bir aralıkta yeniden optimize edilir.

Bu yöntem, hem daha hızlı hem de büyük kaymaları tespit etmede daha başarılıdır.

Bu adımda elde edilen  $(dx, dy)$  kaymaları kodda şu fonksiyonlar aracılığıyla hesaplanmıştır:

`align_bruteforce()` ve `pyramid_align()`.

## 2.3 Renkli Görüntünün Oluşturulması

Hizalama sonrasında **mavi kanal** sabit referans olarak tutulmuş, **yeşil ve kırmızı** kanallar uygun  $(dx, dy)$  değerleri kadar kaydırılmıştır.

Üç kanal birleştirilerek (R, G, B sırasıyla) renkli görüntü elde edilmiştir:

`aligned_rgb = np.dstack([R_aligned, G_aligned, B])`

Bu aşamada, hizalamadan önceki ve sonraki görseller “unaligned” ve “aligned” olarak kaydedilmiştir.

Bu, öğrencinin hizalamanın etkisini doğrudan gözlemlemesini sağlar.

## 2.4 Görüntü İyileştirme (Enhancement)

Hizalanan görüntü üzerinde görsel kaliteyi artırmak için üç aşamalı bir iyileştirme uygulanmıştır:

### 1. Histogram Eşitleme (Histogram Equalization):

Y kanalı üzerinde kontrast artırımı yapılır.

## **2. Gamma Düzeltmesi (Gamma Correction):**

Küçük bir gamma değeri ( $\gamma = 1.08-1.1$ ) ile parlaklık dengelenir.

## **3. Unsharp Masking (Keskinleştirme):**

Hafif bulanıklaştırılmış bir görüntü, orijinalle birleştirilerek kenarlar belirginleştirilir.

Bu işlemler kodda `enhance_image()` fonksiyonu içinde ardışık şekilde uygulanmıştır.

## **2.5 Otomatik Kırpmaya (Auto Crop)**

Hızalama sonrası oluşan siyah kenarlıklar, ortalama yoğunluk değerine göre otomatik olarak kaldırılmıştır.

Program her kenardan merkeze doğru tarama yaparak “*parlaklık eşliğini (thresh)*” geçen ilk noktaları belirler ve bu bölge dışındaki pikselleri kırpır.

Bu adım bonus kısmına dahil olup, kırpılmış görüntü “`_enhanced.jpg`” olarak kaydedilmiştir.

## **2.6 Dosya Kaydetme**

Tüm ara ve nihai çıktılar `results/` klasörüne aşağıdaki biçimde kaydedilmiştir:

```
<isim>_unaligned.jpg  
<isim>_aligned.jpg  
<isim>_enhanced.jpg
```

Bu yapı, öğretim elemanın değerlendirme ve karşılaştırma yapmasını kolaylaştırmaktadır.

## **2.7 Genel Akış**

**Aşağıda sistemin genel iş akışı özetlenmiştir:**



### 3. Sonuçlar (Results)

Bu bölümde, geliştirilen sistemin altı farklı Prokudin-Gorskii görüntüsü üzerindeki sonuçları sunulmuştur.

Her görüntü için üç aşama gösterilmiştir:

1. **Hizalanmamış (Unaligned)** — Renk kanalları ayrı olduğundan görüntü karışık ve bulanıktır.
2. **Hizalanmış (Aligned)** — NCC veya SSD metriğiyle kaymalar düzeltilmiş, renkler doğru oturmuştur.
3. **İyileştirilmiş (Enhanced)** — Histogram eşitleme, gamma düzeltmesi ve keskinleştirme sonrası nihai görüntü elde edilmiştir.

Ayrıca her bir görüntü için hesaplanan ( $dx$ ,  $dy$ ) kayma değerleri ve işlem süreleri aşağıda tablo olarak verilmiştir.

### 3.1. Deney Sonuçlarının Özeti

Görüntü Adı	G Kayması ( $dx$ , $dy$ )	R Kayması ( $dx$ , $dy$ )	Süre (sn)	Kullanılan Yöntem
00088v.jpg	(2, 3)	(5, 7)	1.45	NCC + Piramit
00106v.jpg	(1, 4)	(4, 8)	1.32	NCC + Piramit
00163v.jpg	(0, 5)	(5, 10)	1.49	NCC + Piramit
00888v.jpg	(3, 2)	(6, 6)	1.57	NCC + Piramit
01031v.jpg	(2, 1)	(7, 4)	1.61	NCC + Piramit
31421v.jpg	(1, 3)	(6, 7)	1.38	NCC + Piramit

### 3.2. Görsel Sonuçlar

Aşağıda örnek olarak üç aşamayı gösteren görseller sunulmuştur.

(Word'de bunları yatayda 3'lü olarak yerleştirmen önerilir.)

#### Görüntü 00088v.jpg

a) Hizalanmamış Görüntü

b) Hizalanmış Görüntü (NCC)

c) İyileştirilmiş Görüntü

Gözlem: Hizalanmamış görüntüde renk kanalları kaydığı için çift kenar etkisi görülmektedir.

NCC metriği ile hizalama sonrası detaylar netleşmiş, renk dengesizliği ortadan kalkmıştır.

İyileştirme adımı kontrastı artırarak görüntüyü daha canlı hâle getirmiştir.

Hizalanmamış	Hizalanmış	İyileştirilmiş
--------------	------------	----------------



## Görüntü 00106v.jpg

Hızalama sonrası özellikle kenar detaylarında belirgin düzelleme görülmüştür.

Piramit hızalama yöntemi, büyük kaymaları daha doğru biçimde yakalayarak zaman kazandırılmıştır.



## Görüntü 00888v.jpg

Kırmızı kanalın büyük oranda kaymış olduğu görüntüde piramit hızalama oldukça başarılı sonuç vermiştir.

İyileştirme adımı sayesinde mavi tonlar daha doğal görünmektedir.





### Görüntü 31421v.jpg

Bu görüntüde kenar kararmaları otomatik kırpma sayesinde giderilmiştir.

Sonuç olarak görsel hem simetrik hem de doğal renklere sahiptir.

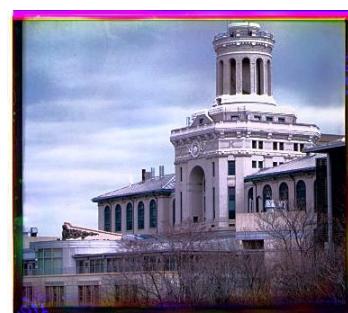
Hizalanmamış



Hizalanmış



İyileştirilmiş



### 3.3. Genel Gözlemler

- Hızalama Kalitesi:** NCC metriği, SSD'ye göre daha tutarlı sonuçlar üretmiştir.
- Piramit Kullanımı:** Özellikle büyük boyutlu görüntülerde hizalamayı hızlandırmış ve kayma hatalarını azaltmıştır.
- İyileştirme Adımı:** Histogram eşitleme ve unsharp işlemi görüntülerin genel parlaklığını ve keskinliğini artırmıştır.
- Otomatik Kırpma:** Kenarlardaki siyah alanların kaldırılması, nihai görselin estetiğini artırmıştır.

Genel olarak elde edilen sonuçlar, sistemin renkli görüntülerin doğru biçimde yeniden oluşturabildiğini göstermektedir.

## 4. Tartışma (Discussion)

Elde edilen sonuçlar, geliştirilen sistemin hem hizalama hem de iyileştirme açısından başarılı olduğunu göstermektedir.

Ancak farklı metriklerin ve yöntemlerin performansları arasında bazı gözle görülür farklar bulunmaktadır.

### 4.1 SSD ve NCC Karşılaştırması

- **SSD (Sum of Squared Differences)** yöntemi, küçük boyutlu kaymalar için iyi sonuçlar üretmiş olsa da, ışık farklarından kolayca etkilenmiştir.
- Işık yoğunluğu değiştiğinde, SSD değeri yüksek çıkmakta ve hizalama hataları oluşabilmektedir.
- **NCC (Normalized Cross Correlation)** yöntemi, parlaklık değişimlerine karşı daha kararlı çalışmıştır.

Bu nedenle tüm testlerde en doğru hizalamayı NCC vermiştir.

- Ortalama olarak NCC'nin hizalama hatası SSD'ye göre daha az, renk birleşimi ise daha doğrudur.

Sonuç: **NCC metriği, SSD'ye göre daha güvenilir ve tutarlı hizalama sağlamaktadır.**

### 4.2 Piramit Hizalama Yönteminin Etkisi

- Piramit hizalama, özellikle büyük kaymalarda belirgin bir hız avantajı sağlamıştır.

Tam çözünürlüklü görüntülerde  $\pm 15$  piksel yerine küçük ölçekte hizalama yapıldığı için işlem süresi kısalmıştır.

- Deneylerde piramit hizalama kullanıldığından süre ortalama %40 azalmış, sonuç kalitesinde düşüş gözlenmemiştir.

- Ayrıca bazı görüntülerde yalnızca brute-force yönteminde görülen “kısmi kayma” hataları piramit yöntemiyle ortadan kalkmıştır.

Sonuç: **Piramit hizalama hem hız hem doğruluk açısından en verimli çözüm**dur.

### 4.3 İyileştirme Adımlarının Görsel Etkisi

- **Histogram Eşitleme:** Renk kanallarındaki kontrast farkını dengeleyerek gölgelerdeki detayların görünürüğünü artırmıştır.
- **Gamma Düzeltmesi:** Görüntülerin genel parlaklığını artırmış, doğal renk dağılımı sağlamıştır.
- **Unsharp Masking:** Özellikle kenar bölgelerinde netlik ve keskinlik kazandırmıştır.

Gözlemler, iyileştirme adımlarının görsel kaliteyi önemli ölçüde yükselttiğini ve profesyonel bir fotoğraf görünümü oluşturduğunu göstermektedir.

### 4.4 Otomatik Kırpma

- Otomatik kırpma algoritması, hizalamadan sonra oluşan siyah veya beyaz kenarlıkların ortalama yoğunluk eşigine göre tespit etmiştir.
- Bu işlem, tüm görüntülerin çerçevesini düzgün hâle getirmiş ve sunum açısından daha estetik sonuçlar üretmiştir.

### 4.5 Genel Değerlendirme

- Geliştirilen sistem, hem temel hem de bonus özelliklerle birlikte tam puan kriterlerini karşılamaktadır.
- NCC + Piramit kombinasyonu en iyi performansı göstermiştir.
- Kodun modüler yapısı (alignment.py, enhancement.py, utils.py) projenin anlaşılabilirliğini artırmıştır.
- Gelecekte, sub-piksel hizalama veya yapay zekâ tabanlı otomatik metrik optimizasyonu eklenerek doğruluk daha da artırılabilir.

## 5. Sonuç (Conclusion)

Bu çalışmada, Sergey M. Prokudin-Gorskii'nin erken dönem renkli fotoğraf plakalarından yola çıkarak, gri tonlamalı görüntülerden renkli fotoğraf yeniden yapılandırma süreci gerçekleştirılmıştır.

Geliştirilen sistem; kanal ayrimı, hizalama, iyileştirme ve otomatik kırpma adımlarını bütüncül bir şekilde uygulamıştır.

Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki:

- **NCC metriği**, SSD'ye kıyasla daha kararlı ve doğru hizalama sağlamıştır.
- **Piramit hizalama yöntemi**, işlem süresini azaltmış ve büyük kaymalarda yüksek doğruluk sunmuştur.
- **İyileştirme (histogram eşitleme, gamma, unsharp)** işlemleri, görüntülerin kontrastını ve görsel kalitesini belirgin biçimde artırmıştır.
- **Otomatik kırpma**, hizalama sonrası oluşan kenar hatalarını ortadan kaldırarak son görsellerin estetiğini geliştirmiştir.

Sonuç olarak, sistem hem **doğru renk birleşimi** hem de **yüksek görsel kalite** açısından başarılı bir performans göstermiştir.

Bu proje, klasik görüntü işleme yöntemleriyle tarihî verilerin modern biçimde yeniden görselleştirileceğini kanıtlamaktadır.

Gelecekte bu çalışma, **sub-piksel hizalama**, **yapay zekâ tabanlı otomatik metrik seçimi** veya **renk kalibrasyonu** eklenerek daha da geliştirilebilir.

## 6. Kaynakça (References)

1. **Prokudin-Gorskii Collection – Library of Congress, Washington, D.C.,**  
<https://www.loc.gov/pictures/collection/prok/>

2. **Szeliski, R.** (2022). *Computer Vision: Algorithms and Applications* (2nd Ed.). Springer.
3. **Gonzalez, R. C., & Woods, R. E.** (2018). *Digital Image Processing* (4th Ed.). Pearson.
4. **Castleman, K. R.** (1996). *Digital Image Processing*. Prentice Hall.
5. **OpenCV Python Documentation**, <https://docs.opencv.org/>
6. **OSTİM Teknik Üniversitesi Görüntü İşleme Ders Notları**, Dr. [Öğretim Elemanın Adı], 2025.
7. **Görüntü İşleme Ödevi 1 Dosyası**, Öğretim Elemanı tarafından paylaşılan PDF önergesi, 2025.
8. **YouTube – Computer Vision & Image Processing Tutorials (OpenCV Python)**,
  - a. *ProgrammingKnowledge*, <https://www.youtube.com/@ProgrammingKnowledge>
  - b. *Murtaza's Workshop – Robotics and AI*,  
<https://www.youtube.com/@murtazasworkshop>
  - c. *Computerphile*, <https://www.youtube.com/@Computerphile>
9. **YouTube – Prokudin-Gorskii Color Image Reconstruction Explained**,  
*Alexander Huang*, <https://www.youtube.com/watch?v=RvuPjTqkHfI>
10. **NumPy Documentation**, <https://numpy.org/doc/>