

Seyrek Gösterime Dayalı Süper-Çözünürlükte Belirgin Bölgelerin Tespit Metotları Detection Methods of Salient Regions in Super- Resolution Based on Sparse Representation

Ömer BERK ve Gülcihan ÖZDEMİR

Bilişim Enstitüsü
İstanbul Teknik Üniversitesi
Ayazağa Yerleşkesi, Maslak, İstanbul, Türkiye
berko@itu.edu.tr, gulcihan.ozdemir@be.itu.edu.tr

Behçet Uğur TÖREYİN ve Abdulkerim ÇAPAR

Bilişim Enstitüsü
İstanbul Teknik Üniversitesi
Ayazağa Yerleşkesi, Maslak, İstanbul, Türkiye
toreyin@itu.edu.tr, capar@itu.edu.tr

Özetçe— Süper-çözünürlükte seyrek gösterim modeli ile başarılı sonuçların elde edilmesi bu alanda yapılan çalışmalara ilgiyi arttırmaktadır. Süper-çözünürlükte önemli bir metod olan seyrek gösterim modeli, görüntü yamaları, doğru bir sözlük ve bu sözlüğün elemanlarının seyrek doğrusal birleşiminden oluşmaktadır. Bu noktada süper-çözünürlük düşük çözünürlüklü görüntü yamalarından seyrek gösterim modeli ile yüksek çözünürlüklü görüntü elde ederek seyrek gösterim modelini başarılı bir şekilde yansıtmaktadır. Burada görüntü bölgelerinin tespit edilmesi kritik bir öneme sahiptir. Önerilen metotta bu bölgelerin tespiti için Bulanık C-Ortalama Tabanlı Kümeleme ve Renk Özü-Doymuluk-Parlaklık (RDP) Tabanlı Bölümleme yöntemleri kullanılarak sonuçların başarıları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler — görüntü işleme, seyrek gösterim, süper-çözünürlük, sözlük, bulanık mantık, .

Abstract— Achieving successful results with the sparse representation in super-resolution increases the interest in the field. The sparse representation model, which is an important method in super-resolution, consists of image patches, a correct dictionary and a sparse linear combination of the elements of this dictionary. At this point, the super-resolution successfully reflects the sparse pattern by obtaining high-resolution images with the sparse pattern from low-resolution image patches. The detection of image regions is critical here. In the proposed method, the successes of the results are compared by using Fuzzy C-Means Clustering and Hue-Saturation-Value (HSV) Based Segmentation methods for determination of these regions.

Keywords — image processing, sparse representation, super-resolution, dictionary, fuzzy c-means clustering, hsv segmentation.

I. GİRİŞ

Süper-Çözünürlük, düşük çözünürlüklü görüntüden yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilmesini sağlayan bir yöntemdir. Çeşitli kısıtlamalardan (düşük çözünürlüklü kameralar, doğru olmayan görüntüleme açıları gibi.) dolayı düşük çözünürlüklü olarak elde edilen görüntüler ile yüksek çözünürlük görüntüsünün elde edilmesi sağlık, güvenlik, uzaktan algılama, uydu görüntüleri gibi çok farklı alanlarda etkin olarak kullanılmaktadır [1].

Süper-Çözünürlükteki temel yöntem, görüntünün düşük çözünürlüklü olmasını sağlayan farklılıkları modelleyip tersine

çevirerek yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilmesini sağlamaktır (Şekil 1). Bu iki çözünürlük arasındaki boşlukları eşleştirmeyi amaçlayan seyrek gösterim modeli, çözünürlüğün artırılmasında oldukça başarılı sonuçlar elde etmiştir. Medikal görüntüleme seyrek gösterimli süper-çözünürlük modeli ise kullanım açısından oldukça önemli zorluklara sahiptir [2].



Şekil 1: Yüksek – Düşük Çözünürlük İlişkisi (a): Yüksek çözünürlüklü kromozom görüntüsü (b): düşük çözünürlüklü kromozom görüntüsü

Sitogenetik, hücrede bulunan kromozomları inceleyen bir genetik bilim dalıdır. Doğum öncesi ve doğum sonrası genetik rahatsızlıklar, kanser vb. gibi teşhisler sitogenetik tanı yöntemleri ile başarılı şekilde yapılabilmektedir [3]. Karyotipleme, temel bir sitogenetik analiz yöntemidir. Kan, kemik iliği gibi örnekler çeşitli laboratuvar aşamaları sonrası cam slaytlara aktarılır. Slaytlar üzerinde yer alan metafaz öbekleri kameralı mikroskop sistemleri ve çeşitli bilgisayar yazılımları kullanılarak karyotip tablosu oluşturulur. Uzmanlar bu karyotip tablosunu inceleyerek genetik teşhisi yaparlar. Karyotip tablosu oluşum aşamasında metafaz öbeklerinin saptanması ve bölütlenmesinde sistemin tarama ve görüntüleme hızı önem arz etmektedir. Sistemlerin hızları gerekli cam slayt yüzeyini taramak için çektiği resim sayısı ile doğru orantılıdır. Taramak için çekilmesi gereken resim sayısı da mikroskop lensinin büyütme çarpanı (10x, 20x vb.) ile orantılıdır. Düşük çarpanlı büyütme oranı ile daha geniş alanlar resimlenebilmekte ve yüzeyi taramak için gerekli resim sayısı da düşmekte olup sistemin hızı bu nedenle yükselmektedir. Düşük çarpanlı büyütme oranıyla alınan görüntüde çözünürlük ve resim kalitesi

düşük olmaktadır. Çalışmanın hedef noktası, bu düşük çözünürlüklü görüntülerin yüksek çözünürlüklü görüntüye çevrilmesindeki yöntemleri kıyaslayarak en iyi yöntemi elde etmektir.

Kromozom görüntülerinin arka planında yer alan görüntü ve segmentler arasındaki farkın çok az olması, süper-çözünürlük yönteminin direkt olarak uygulanmasında önemli bir kısıt oluşturmaktadır. Bu kısıtı gidermek için Bulanık C-Ortalama Tabanlı Kümeleme ve RDP Tabanlı Bölümleme yöntemleri ile kromozomda yer alan bölgeler tespit edilmiştir. Bu bölgeler için süper-çözünürlük işleminin gerçekleştirilmesi ile de başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

II. BÖLGELERİN TESPİTİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Kromozom görüntülerinde bölgelerin tespit edilmesi, süper-çözünürlük aşamalarında önemli bir noktaya sahiptir. Klasik bölge tespit çalışmaları kromozom görüntülerinde sağlıklı sonuç üretmemektedir. "Bulanık C-Ortalama Tabanlı Kümeleme" ve "Renk Özü-Doygunluk-Parlaklık Tabanlı Bölümleme" olarak isimlendirilen yöntemler ile oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

A. Bulanık C-Ortalama Tabanlı Kümeleme

Bulanık mantık ilk olarak 1965 yılında Lotfi Aliasker Zadeh'in yayınladığı bir makalenin sonucu oluşmuş bir mantık yapısıdır ve kaleme aldığı makalesinde bulanık kümelerin bilinen geleneksel kümelere farklı olduğunu açıklamıştır. 1980 sonrası ivme kazanan bulanık mantık uygulamaları günümüzde oldukça etkin şekilde kullanılmaktadır. Bulanık mantık, insan gibi düşünmeyi esas almış ve bu düşünceyi matematiksel fonksiyonlarla gerçekleştirmeyi hedef almıştır. En önemli özelliği ise klasik mantık yerine Bulanık Küme teorisine dayanan matematiksel bir disiplin olmasıdır. Doğrusal olmayan sistemlerde başarılı sonuçlar veren ve karmaşık sistemlerin denetimine basit çözümler getiren bulanık mantık, endüstriyel kullanımın yanı sıra görüntü işleme de önemli bir yere sahiptir.

Görüntü işleme birçok bulanık mantık algoritması kullanılmaktadır. Bulanık C-Ortalama Algoritması, görüntü bölümlenmesinde kullanılan en popüler yöntemdir. Belirsizlik için güçlü bir karaktere sahip olması ve bölümlenme algoritmaları arasında daha fazla bilgi tutabilmesi bu yöntemi tercih edilebilir kılmaktadır [4].

Bulanık C-Ortalama Metodunda, nesnelere birden fazla kümeye ait olabilmektedir. Her bir nesne, kümelerin her birine $[0,1]$ arasında değişen üyelik değeri ile atanmaktadır. Ayrıca bu nesnenin tüm sınıflara olan üyelik değerleri toplamı "1" olmalıdır. Nesne hangi küme merkezine yakın ise o kümeye ait olma üyeliği diğer kümelere ait olma değerinden daha büyük olacaktır. Kullanılan üyelik matrisi, kümeleme üzerinde kritik bir etkiye sahiptir. Bu matris, belirsiz durumların tanımlanmasını kolaylaştırır [5].

Amaç fonksiyonu temelli bir metod olan Bulanık C-Ortalama Metodu, en küçük kareler yöntemini kullanarak amaç fonksiyonunu minimize etmeyi hedefler ve bu sayede veri kümesindeki noktalar ile küme merkezleri arasındaki uzaklıklar

toplamı minimize edilmiş olur. "U" üyelik matrisi ve "V" küme merkezleri (1) ve (2)'de yer alan denklem çifti ile hesaplanır.

$$U_{ik} = \left[\sum_{j=1}^c \left(\frac{D_{ijk}}{D_{jk}} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right]^{-1} \forall i, k \quad (1)$$

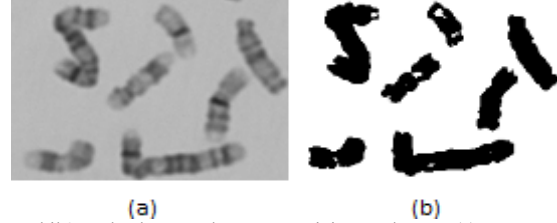
$$V_i = \left(\frac{\sum_{k=1}^n u_{ik}^m x_k}{\sum_{k=1}^n u_{ik}^m} \right) \forall i \quad (2)$$

"D" uzaklık ölçümü ve "J" uzaklıklar toplamını ifade eden optimizasyon problemi ise (3) ve (4)'de yer alan denklemler ile ifade edilmiştir [6].

$$\min\{J(U, V) = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n U_{ik} D_{ik}\} \quad (3)$$

$$D_{ik} = \|X_k - V_i\|^2 \quad (4)$$

Bulanık C-Ortalama Tabanlı Kümeleme yöntemi ile bölgelerin tespit edilmesinde Giriş görüntüsüne 3 Sınıflı Bulanık C-Ortalama Algoritması başarılı şekilde uygulanarak çıkış maskesi ile bölgeler tespit edilmiştir (Şekil 2).

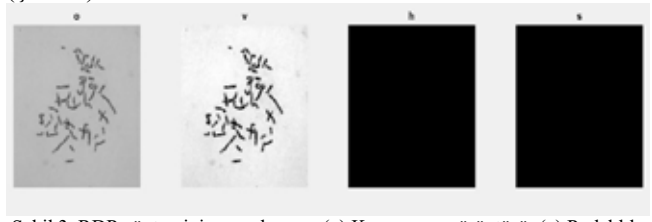


Şekil 2. Bulanık C-Ortalama yönteminin uygulaması: (a) Kromozom görüntüsü, (b) Uygulama sonrası bölgenin görüntü

B. Renk Özü-Doygunluk-Parlaklık (RDP) Tabanlı Bölümleme

Renk özü, doygunluk ve parlaklık değerleri ile belirtilen renk uzayı türü, insan görme sistemine daha benzer bir yapı oluşturmak amacıyla 1978 yılında Alvy Ray Smith tarafından tanımlanmıştır. Renk Özü (Hue), rengin baskın dalga uzunluğunu ifade ederken Doygunluk (Saturation), rengin canlılığını ifade etmektedir. Parlaklık (Value) ise rengin aydınlığını yani içindeki beyaz oranını ifade etmektedir. Belirli renkteki bir nesneyi ayırt etmek istediğimizde eşik değer uygulanabilmesi nedeni ile RDP renk uzayını kullanmak daha elverişlidir.

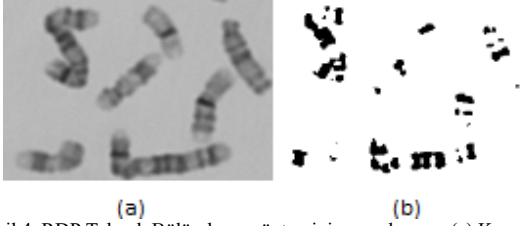
Renk özü tabanlı bölümlenme yaygın bir şekilde kullanılan bölümlenme çeşididir. Renkli görüntülerde istenen renk tonunu başarılı şekilde ayırt etmeyi sağlamaktadır [7]. Kromozom görüntüleri ile arka plan arasındaki farkın az olması renk özü tabanlı bölümlenmeyi mümkün kılmamaktadır. Onun yerine parlaklık tabanlı bölümlenme kullanılarak sonuç alınmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. RDP yönteminin uygulaması: (o) Kromozom görüntüsü, (v) Parlaklık, (h) Renk Özü, (s) Doygunluk

RDP Tabanlı Bölümleme ile kromozom görüntülerinde bölgelerin elde edilmesinde özetle şu adımlar kullanılmıştır:

- 1- Kırmızı-Yeşil-Mavi uzayındaki görüntü, RDP uzayındaki görüntüye dönüştürülür.
- 2- Görüntü eşikleme (5)'te yer alan formüle göre gerçekleştirilerek görüntü arka plandan daha da ayrıştırılır.
$$O = (ReÖz x (Parl > \max(Parl) x \%10)) > 0.5 \quad (5)$$
- 3- Ayrıştırılan görüntüde bölgelerden örneklem yapılarak çıkış maskesi elde edilir (Şekil 4).



Şekil 4. RDP Tabanlı Bölümleme yönteminin uygulaması: (a) Kromozom görüntüsü, (b) Uygulama sonrası bölgenin görüntü

III. SÜPER-ÇÖZÜNÜRLÜK

Bu bölümde klasik süper-çözünürlük çalışmalarıyla [8] kullanılan metodun detayları açıklanmaktadır.

Düşük çözünürlüklü görüntüden yüksek çözünürlüklü görüntü elde etmeyi amaçlayan süper-çözünürlükte iki kısıtlama bulunmaktadır:

1) Görüntünün Yeniden Oluşturulması: Düşük çözünürlüklü Y görüntüsü, yüksek çözünürlüklü X görüntüsünün bulanık (B) ve alt örnekleme (D) halidir:

$$Y = DBX \quad (6)$$

Burada X görüntüsü küçük x yamalarına bölünerek bu olumsuzluğun giderilmesi hedeflenmektedir.

2) Seyreklik: Yüksek çözünürlüklü X görüntüsünün yamaları olan x , yüksek çözünürlüklü yamalar ile oluşturulan D_h sözlüğünün seyrek doğrusal birleşimidir:

$$a \in \mathbb{R}^K, \|a\|_0 \ll K, x \approx D_h a \quad (7)$$

Düşük ve yüksek çözünürlüklü sözlükler olan D_l ve D_h benzer şekilde eğitilir. Seyrek gösterim a , giriş görüntüsü Y 'nin yamalarını ifade eden y 'lerden oluşmaktadır.

Süper-çözünürlükte ilk olarak komşular arasındaki konumsal uyumluluğun sağlanması amacıyla, her yerel yamanın seyrek gösterimi elde edilir. Ardından elde edilen bu seyrek gösterim ile tüm görüntüde, görüntü yeniden oluşturularak elde edilir.

A. Seyrek gösterim için yerel model

D_h ve D_l sözlükleri yerel model için yüksek ve düşük çözünürlüklü yama çiftlerinin seyrek gösterimi olarak eğitilen sözlüklerdir. Görüntünün yeniden oluşturma işleminde, yüksek çözünürlüklü görüntü yamasının ortalama değeri düşük çözünürlüklü versiyonu kullanılarak tahmin edilir. Düşük çözünürlüklü giriş yaması y için D_l ile seyrek gösterim bulunmaktadır. Yüksek çözünürlüklü yamalar, yüksek çözünürlüklü x yama çıktılarını oluşturmak için katsayılar ile

birleştirilir. y 'nin en seyrek temsilini bulmak (8)'te ifade edilir:

$$\min \|a\|_0, \|FD_l a - Fy\|_2^2 \leq \varepsilon \quad (8)$$

Burada F , doğrusal özneliği temsil eder. F 'in (8)'teki ana rolü, a 'nın katsayılarının y 'ye yakınlık derecesine anlamlı bir kısıtlama sağlamaktır.

$$\min \|a\|_1, \|FD_l a - Fy\|_2^2 \leq \varepsilon \quad (9)$$

Denklem (9)'da yer alan ifade Lagrange çarpanları ile (10)'da ifade edilmektedir:

$$\min \|FD_l a - Fy\|_2^2 + \lambda \|a\|_1 \quad (10)$$

Optimizasyon problemi (11)'deki gibi olmaktadır:

$$\min \|a\|_1, \|FD_l a - Fy\|_2^2 \leq \varepsilon_1, \|PD_h a - w\|_2^2 \leq \varepsilon_2 \quad (11)$$

P matrisi hedef yama ile yeniden oluşturulmuş olan yüksek çözünürlüklü görüntü arasındaki örtüşme bölgesini, w örtüşme üzerinde yeniden oluşturulmuş yüksek çözünürlüklü görüntü değerlerini ifade eder. Optimizasyon problemi, (12)'de yeniden ifade edilir:

$$\min \|\tilde{D}a - \tilde{y}\|_2^2 + \lambda \|a\|_1, \tilde{D} = \begin{bmatrix} FD_l \\ \beta PD_h \end{bmatrix}, \tilde{y} = \begin{bmatrix} Fy \\ \beta w \end{bmatrix} \quad (12)$$

Düşük çözünürlüklü girişi eşleştirme ile komşularıyla uyumlu yüksek çözünürlüklü bir yama bulma arasındaki dengeyi kontrol eden β parametresi, en uygun sonuç için 1 kabul edilir ve yüksek çözünürlüklü yamaların yeniden oluşturulmasında (13) kullanılır.

$$x = D_h \times a \quad (13)$$

B. Kromozom Görüntülerine Süper-Çözünürlük Uygulanması

Arka plan piksel değerleri ile kromozomların piksel değerlerinin yakın olması ve kromozom bölgeleri arasındaki geçişlerde piksel farklarının düşük olması klasik süper-çözünürlük yöntemlerini yetersiz bırakmaktadır.

Bu sorunları gidermek amacıyla bölgelerin tespit edilmesini sağlayan iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bölgeler üzerinde uygun yoğunluk değerinde görüntü yamaları elde edilerek sözlük öğrenilerek süper-çözünürlük işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kullanılan algoritmanın adımları şu şekildedir:

- 1- Düşük çözünürlüklü Y giriş görüntüsünde Bulanık C-Ortalama Tabanlı Kümeleme ve RDP Tabanlı Bölümleme ile bölgeler ayrı ayrı elde edilir.
- 2- Bölgelerden uygun yoğunluk değerleri için sözlük giriş görüntüleri çıkarılır.
- 3- Sözlük giriş görüntüleri ile sözlük öğrenimi gerçekleştirilir.

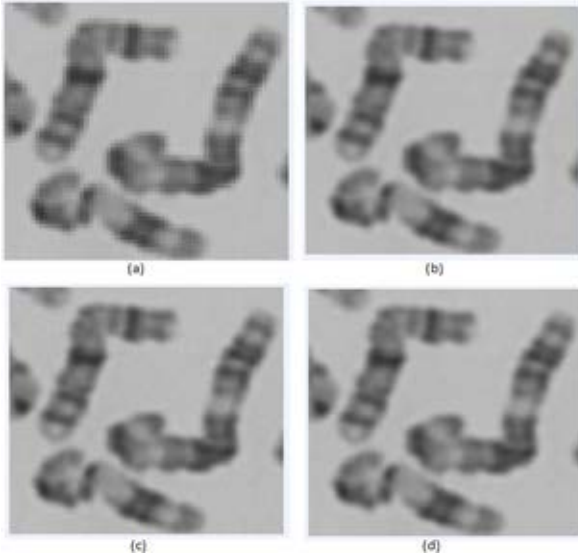
- 4- Düşük çözünürlüklü giriş görüntüsünü sol üst köşesinden 3×3 boyutunda y olarak tanımlanan yamalar alınıp her seferinde 1'er piksel kaydırılarak (iki yönde de) aşağıdaki işlemler gerçekleştirilir.
- y yaması için m ortalama piksel değeri hesaplanır.
 - Denklem (12)'de yer alan optimizasyon problemi çözülmeye çalışılır: $\min ||\tilde{D}a - \hat{y}||_2^2 + \lambda ||a||_1$
 - Yüksek çözünürlüklü x yamaları (13) kullanılarak elde edilir. Bu x yamaları, m ortalama değerler ile toplanarak X_0 yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilir.
- 5- Meyilli azalım ile yeniden oluşturma kısıtına engel olmayan X_0 kullanılarak en yakın süper-çözünürlük çıktısı elde edilir.

IV. SONUÇLAR

1024 × 1024 boyutundaki orijinal görüntüden iki farklı yöntem ile bölgeler elde edilmiştir. Elde edilen bu bölgeler üzerinde kromozom yoğunluğuna göre belirlenen eşik değeri ile 3 farklı yama boyutunda görüntüler oluşturulmuş ve sözlük öğrenilmiştir.

1024 × 1024 orijinal görüntüden 128 × 128 boyutunda bir kesit alınıp bu görüntü 64 × 64 boyutuna alt örnekleme işlemi yapılmıştır. Alt örneklenen görüntü süper-çözünürlük işlemi ile 128 × 128 boyutuna getirilmiş olup sonuçlar Şekil 5'te görülmektedir. Biküçük interpolasyon değerleri ve Damla Tespiti [9] kıyaslanan süper-çözünürlük PSNR değerlerinin oldukça başarılı olduğu görülmektedir.

Kromozom görüntülerinde çözünürlüğün artırılması amaçlı yapılan bu çalışmanın devamında süper-çözünürlük algoritmasında ve bölgelerin tespitinde yapılacak geliştirmeler ile PSNR değerlerinin yükseltilecek çözünürlüğün yükseltilmesi hedeflenmektedir.



Şekil 5. Süper-Çözünürlük Sonuçları. (a): alt-örneklemiş giriş görüntüsü, (b): biküçük interpolasyon (43.574401 dB), (c): orijinal görüntü, (d): süper-çözünürlük (44.174686 dB).

Tablo 1'de ise sözlüğü oluştururken kullanılan görüntülerin boyutuna göre değişen PSNR değerleri ile bu yamalardan kaç adet kullanıldığı bilgisi yer almaktadır.

TABLO I. PSNR TABLOSU

Bölge Tespit Yöntemi	Yama Boyutu	Biküçük PSNR(dB)	Süper-Çözünürlük PSNR(dB)	Görüntü Sayısı
Damla Tespiti	12x12	43.574401	44.172555	4228
Damla Tespiti	16x16	43.574401	44.172555	4133
Damla Tespiti	32x32	43.574401	44.173833	3041
Bulanık C-Ortalama	12x12	43.574401	44.173940	3777
Bulanık C-Ortalama	16x16	43.574401	44.174686	3707
Bulanık C-Ortalama	32x32	43.574401	44.173407	2511
RenkÖzü-Doyg-Par	12x12	43.574401	44.174153	704
RenkÖzü-Doyg-Par	16x16	43.574401	44.172768	429
RenkÖzü-Doyg-Par	32x32	43.574401	44.173620	24

Damla tespiti ile kıyaslandığında Bulanık C-Ortalama methodu en iyi sonucu üretirken RDP methodu ise en iyi sonucu yakın bir sonucu daha az görüntü kullanarak elde etmeyi başarmıştır.

V. REFERANSLAR

- [1] Z. Wang, J. Chen, and S.C.H. Hoi, "Deep learning for image super-resolution: A survey" 2019, arXiv:1902.06068. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1902.06068>.
- [2] Yaser Moazzen, Abdulkarim Çapar, Behçet Uğur Töreyn, "A sub-pixel resolution method for chromosome band profile extraction", Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Antalya, 15.05.2017 - 18.05.2017.
- [3] Z. Zhang, Y. Xu, J. Yang, X. Li and D. Zhang, "A survey of sparse representation: Algorithms and applications", IEEE Access, vol.3, pp. 490–530, May 2015.
- [4] Bezdek, J. C.: Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. New York: Plenum Press, 1981.
- [5] Azem, Z. "A Comprehensive Cluster Validity Framework For Clustering Algorithms", MSc Thesis, The University of Guelph, Canada, (2003) 15-19.
- [6] J.C. Bezdek, J. Keller, R. Krisnapuram, N.R. Pal, Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing, 1st edition, Springer Science+Business Media, Inc. pp. 1-75, 2005.
- [7] Reza ZN et al (2016) Detecting jute plant disease using image processing and machine learning. In: 2016 3rd international conference on electrical engineering and information communication technology (ICEEICT), Dhaka, pp 1–6.
- [8] Jianchao Yang, Student Member, IEEE, John Wright, Student Member, IEEE Thomas Huang, Life Fellow, IEEE and Yi Ma, Senior Member, IEEE. Image Super-Resolution via Sparse Representation. IEEE Transactions on Image Processing. (Volume: 19, Issue: 11, Nov. 2010).
- [9] Ömer Berk, Abdulkarim Çapar, Behçet Uğur Töreyn: Salient region detection and sparse representation based super-resolution approach for chromosome images. SIU 2018: 1-4.