

Göktürk-2 ve Worldview-2 Uydu Görüntüleri için Görüntü Keskinleştirme Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

Özlem AKAR* 

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Harita ve Kadastro Programı, Erzincan

Geliş / Received: 12/12/2018, Kabul / Accepted: 12/07/2019

Öz

Bu çalışmada, Göktürk-2 keskinleştirme yapılmış görüntüsünün kırsal ve kentsel bölgelerdeki başarısının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanı olarak Trabzon ilinin Sürmene ilçesi seçilmiştir. Görüntü keskinleştirilmesi için 5m konumsal çözünürlüklü dört adet Multispektral (MS) banda ve bir adet 2.5 m konumsal çözünürlüklü Pankromatik (PAN) banda sahip Göktürk-2 uydu görüntüsü ve 0.5 m konumsal çözünürlüklü Worldview-2 PAN bandı kullanılmıştır. İlk olarak, görüntülerin ön işleme için Göktürk-2 MS ve PAN görüntüleri, Worldview-2 PAN görüntüsüne göre piksel altı Root Mean Square (RMS) değeriyle geometrik olarak düzeltilmiştir. Ardından Göktürk-2 MS ile Göktürk-2 PAN görüntüleri, ve Göktürk-2 MS ile Worldview-2 PAN görüntülerinin sekiz farklı yöntem ile keskinleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Görüntü keskinleştirme işlemi için Ehler's, Gram-Schmidt (GS), Hyperspherical Colour Sphere (HCS), High-Pass Filter (HPF), Intensity Hue Saturation (IHS), Principal Component (PC), Color Normalized (CN) ve Wavelet tabanlı yöntemleri kullanılmıştır. Keskinleştirme yapılmış görüntülerin kalitesi yaygın olarak kullanılan ve, spektral ve konumsal kaliteyi ölçen metrikler ile değerlendirilmiştir. Ayrıca doku bilgisini çıkaran Gabor filtresi de bu çalışmada metrik olarak kullanılmıştır. Bunun yanında keskinleştirme yapılmış görüntülerin değerlendirilmesi için bitki ve su indisleri çıkarılmıştır. Orijinal ve keskinleştirme yapılmış görüntülerin indisleri arasındaki korelasyon katsayıları hesaplatılmıştır. Değerlendirme sonucuna göre, kentsel alan için CN, kırsal alanda ise HPF ve HCS görüntü keskinleştirme yöntemleri ile elde edilen sonuçların spektral ve konumsal anlamda daha az bozulmaya sahip olduğu görülmüştür. Genel olarak kentsel ve kırsal alan için CN yönteminin doku bilgisini daha iyi yansıttığı ve indisler yönünden de daha yüksek korelasyona sahip olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Görüntü keskinleştirme, Gabor, Göktürk-2, Worldview-2.

Assessment of Image Fusion for Göktürk-2 and Worldview-2 Satellite Images

Abstract

In this study, it is aimed assessment of success of Göktürk-2 fused image for urban and rural regions. Sürmene district of Trabzon were selected as study area. For image fusion, Göktürk-2 space borne sensor, which captures data in four Multispectral MS (5 m spatial resolution) bands and one Panchromatic (PAN) (2.5 m spatial resolution) band, and Worldview-2 PAN (0.5 m spatial resolution) band were used. Firstly, for the images pre-processing Göktürk-2 MS and PAN images were registered by using Worldview-2 PAN images as sub-pixel RMS value. And then Göktürk-2 MS and Göktürk-2 PAN images, and Göktürk-2 MS and Worldview-2 PAN images were fused with the eight different methods. It was used Ehler's, Gram-Schmidt (GS), Hyperspherical Colour Sphere (HCS), High-Pass Filter (HPF), Intensity Hue Saturation (IHS), Principal Component (PC), Color Normalized (CN) and Wavelet based methods for image fusion. Quality of fused images were assessed commonly used metrics that measures the spectral and spatial quality. Also Gabor filter that extracts texture information was used as metric. Furthermore, Vegetation and water indices were exploited to assess the fused images. The correlation coefficient between the indices of the original and the fused images was calculated. As a result of evaluation, it was seen that for urban CN, for rural HPF and HCS fusion methods had less deterioration in spectral and spatial terms. Generally, it has been observed that CN methods better reflect texture information in and has a higher correlation in terms of indices urban and rural areas.

Keywords: Image fusion, Gabor, Göktürk-2, Worldview-2

1. Giriş

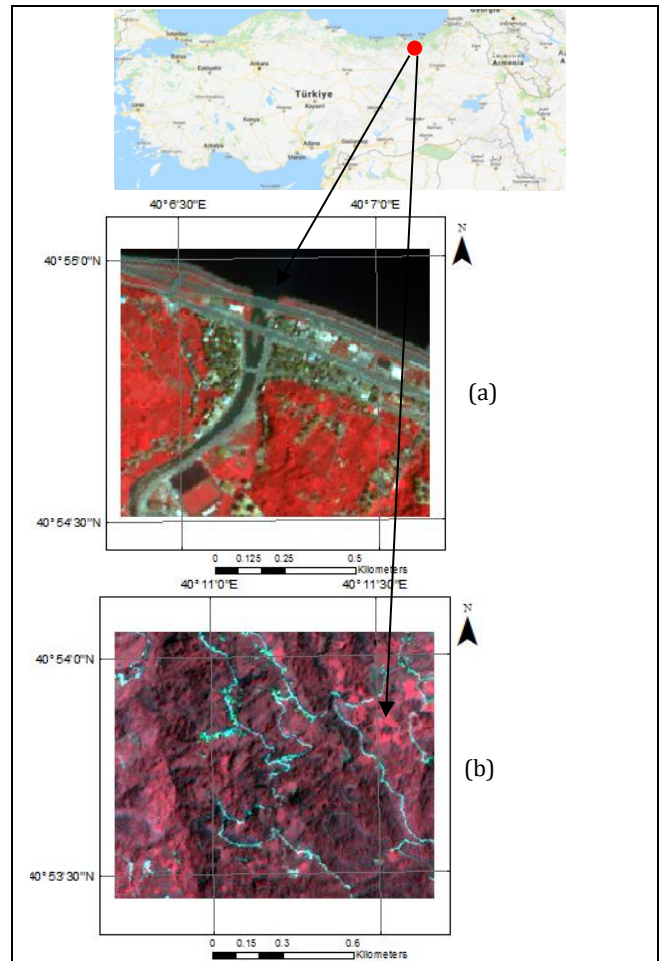
Görüntü keskinleştirme, uzaktan algılama uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir işlemdir. Görsel yorumlama, obje tanıma değişim belirleme, arazi kullanım haritalarının oluşturulması, görüntü sınıflandırma, harita güncelleme gibi birçok uygulamada tercih edilen önemli bir işlemdir (Yuhendra ve Kuze 2011; Yılmaz ve Güngör 2013; Blasch ve Liu 2011, Türker ve Özdarıcı 2011). Görüntü keskinleştirme, yüksek spektral çözünürlüklü fakat düşük konumsal çözünürlüklü MS görüntülerin spektral özelliklerini bozmadan, konumsal çözünürlüğünü artırmak amacıyla yüksek konumsal çözünürlüklü görüntü ile birleştirilmesi işlemidir (Shah vd. 2008). Özellikle kentsel ve arazi kullanım haritalarının oluşturulması için yapılacak sınıflandırma çalışmalarında karmaşık verileri ayırmada yüksek konumsal ve spektral çözünürlük gereklidir. Bunun için görüntü keskinleştirme kullanılır (Shah vd. 2008). Tüm görüntü keskinleştirme algoritmalarının temel amacı, daha doğru bilgiyi elde edecek daha iyi bir görsel yorumlama sağlayacak görüntüyü elde etmektir (Suthakar ve Esther 2014).

Bu çalışmada, 18 Aralık 2012 tarihinde fırlatılan ve Türkiye'nin ikinci uydusu olan (Teke 2016) Göktürk-2 uydusunun MS bandınının 5 m olan konumsal çözünürlüğünün artırılarak görüntü üzerindeki detayların daha belirgin hale getirilmesi amaçlanmıştır ve bunun için farklı keskinleştirme yöntemleri denenmiştir. Bunun için Göktürk-2 MS (GMS) görüntüsü ayrı ayrı 2.5 m konumsal çözünürlüklü Göktürk-2 PAN (GPAN) ve 0.5 m konumsal çözünürlüklü Worldview-2 PAN (WV-2 PAN) görüntüleriyle farklı keskinleştirme yöntemleri kullanılarak keskinleştirilmiştir. Elde edilen görüntülerin spektral ve konumsal kaliteleri de spektral ve

konumsal metriklerle test edilmiştir. Çalışmada literatürde doku çıkarımı alanında yaygın olarak kullanılan Gabor filtresi, keskinleştirilen görüntülerin konumsal kalitesinin testinde metrik olarak kullanılmış ve PAN görüntüdeki dokunun keskinleştirilmiş görüntüye aktarımı incelenmiştir. Bunun yanında metrikler haricinde spektral kalite, indisler ile de test edilmiştir. Bu çalışmanın, Göktürk-2 uydu görüntüsünün keskinleştirilmesi için yaygın olarak kullanılan yöntemlerin spektral ve konumsal bozulmalara etkisini ortaya koyarak görüntünün konumsal çözünürlüğünü artırmaya ve elde edilen görüntüden detay çıkarımı, bitki ayırımı ve arazi kullanım haritalarının üretimi gibi konularda veri üretilmesine katkı sağlaması planlanmaktadır.

1.1 Çalışma Alanı ve Veriler

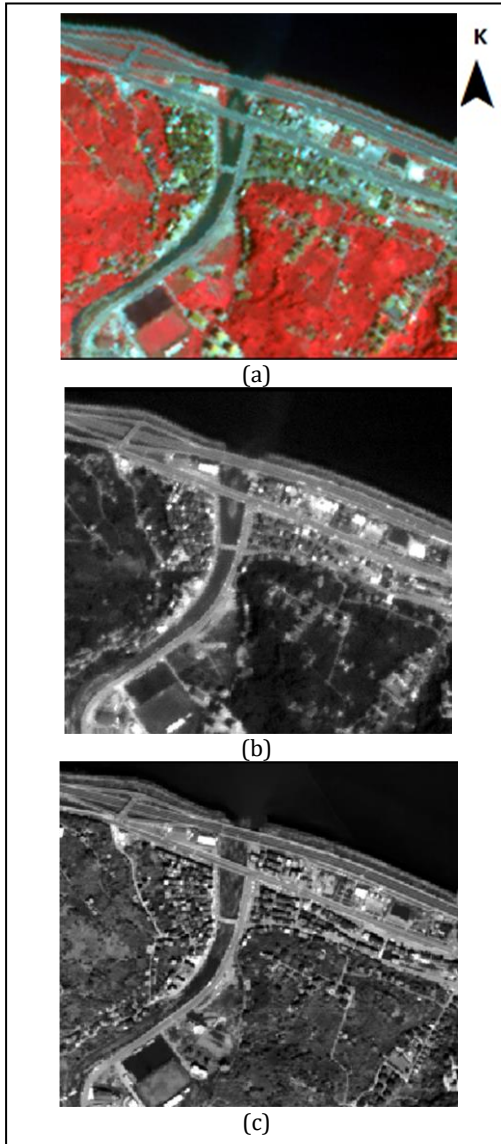
Çalışma alanı olarak Trabzon ilinin Sürmene ilçesi seçilmiştir. Kentsel alan yaklaşık 101 hektarlık, kırsal alan ise yaklaşık 150 hektarlık bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma Alanları (a)Kentsel (b)Kırsal

Çalışmada GMS, GPAN ve WV-2 PAN görüntüleri kullanılmıştır. Göktürk-2 görüntüsü, 5 m konumsal çözünürlüklü 4 adet Multispektral banda (Kırmızı, Yeşil, Mavi ve Kızılötesi) ve 2.5 m konumsal çözünürlüklü 1 adet PAN banda sahiptir. Worldview-2 PAN görüntüsü ise 0.5 m konumsal çözünürlüğe sahiptir.

Kentsel alan deniz, nehir, yol, çatısız ve kiremit çatılı binalar, yeşil alan ve toprak gibi birbirine yakın spektral özellikte ve küçük arazi kullanım sınıflarını içermektedir. Kırsal alan ise yeşil alan, çatısız binalar, yol gibi arazi kullanım sınıflarını içermektedir.



Şekil 2. Kullanılan uydu görüntüleri (a)GMS, (b)GPAN, (c)WV-2 PAN

GMS uydu görüntüsünün konumsal çözünürlüğü, bina gibi küçük detayları, yolların sınırlarını, birbirine yakın spektral özellikteki arazi sınıflarını ayırt etmekte yeterli olmamaktadır. Detayları daha anlaşılır kılmak adına görüntünün konumsal çözünürlüğünü artırmak gerekmektedir. Bunun için de GMS'nin spektral bantları ile GPAN ve WV-2 PAN'ın konumsal çözünürlüğünden yararlanılmıştır (Şekil 2).

2. Yöntem

2.1. Görüntü Keskinleştirme

Görüntü keskinleştirme, çok bantlı görüntülerin konumsal içeriklerini keskinleştirmek amacıyla yapılan ve uzaktan algılama uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir tekniktir (Flusser vd. 2007; Ma vd. 2019). Bu işlemde görüntünün konumsal çözünürlüğü artarken görüntüdeki spektral özelliklere de en az zarar verilmesi amaçlanır. Bunun için farklı görüntü keskinleştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Çalışmada tercih edilen Ehler's, Gram-Schmidt (GS), Hyperspherical ColourSphere (HCS), High-Pass Filter (HPF), Intensity Hue Saturation (IHS), Principal Component (PC), Color Normalized (CN) ve Wavelet tabanlı yöntemler, yaygın olarak kullanılan görüntü keskinleştirme yöntemleridir.

Intensity Hue Saturation (IHS) yöntemi en yaygın kullanılan keskinleştirme yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde MS görüntü RGB uzayından IHS uzayına dönüştürülür. I bantı PAN bant ile yer değiştirilir. Keskinleştirme işlemi öncesi MS ve PAN görüntülerin histogramları eşlenir. Son olarak tekrar RGB uzayına dönüşüm yapılır ve keskinleştirilmiş görüntü elde edilmiş olunur (Shah vd. 2008).

Ehler's, MS görüntünün IHS dönüşümü ile üretilen I görüntüsüne ve PAN görüntüye hızlı Fourier dönüşümü uygulanmasını amaçlar. Alçak ve yüksek geçiren filtreler ile hızlı Fourier dönüşümü uygulanmış I ve PAN görüntüleri

filtrelenir. Bu filtrelenmiş görüntüye ters hızlı fourier dönüşümü uygulanır. Sonuçlar birleştirilir. Ardından bu toplama, orijinal H ve S bileşenlerine ters IHS dönüşümü uygulanır (Yılmaz ve Güngör 2013).

Gram-Schmidt (GS) yönteminde, MS görüntüsünün bantlarının ağırlıklı ortalamaları hesaplanır, böylece düşük çözünürlüklü PAN görüntüleri elde edilir. Bir sonraki aşamada PAN görüntüsü ilk spektral bant olarak seçilir. Bütün bantlar, Gram-Schmidt ortogonalizasyon algoritması kullanılarak dikey olarak eşitlenir (Teke vd. 2018).

Hyperspherical Colour Sphere (HCS) yönteminde MS görüntü hiper küresel renk uzayına dönüştürülür. I görüntü eşleştirme algoritması PAN ve MS görüntüye uygulanır. Görüntü keskinleştirme işleminden sonra ters dönüşüm ile keskinleştirilmiş görüntü elde edilir.

High-Pass Filter (HPF) yöntemi, ilk olarak Schowengerdt (1980) tarafından geliştirilmiştir. HPF yönteminin amacı yüksek frekanslı bilgi çıkarmaktır. Bu bilgi de yüksek frekanslı bir filtre kullanılarak filtreleme işlemi ile gerçekleştirilir (Masood vd., 2017). Bu yöntemde ilk olarak, girdi MS ve PAN görüntülerinin konumsal çözünürlükleri arasında bir oran hesaplanır. Bu orana göre yüksek frekanslı filtre ve onun boyutu belirlenir. Ardından bu filtre PAN görüntüye uygulanır ve görüntüden yüksek frekansa sahip detaylar çıkarılır ve MS bantlarının her birine eklenir (Akar vd., 2017). Keskinleştirme bantlarına doğrusal bir germe işlemi uygulanarak keskinleştirme işlemi (Klonus & Ehler's 2009). HPF filtresi Denklem (1) ile ifade edilir;

$$HPF_{i,j,k} = (MS_{i,j,k} + FP_{i,j}) / 2 \quad (1)$$

Bu formülde $HPF_{i,j,k}$ çıktı görüntüsünü; i ve j , k bandındaki pikselin konumunu; MS

çok bantlı görüntüyü göstermektedir. FP ise yüksek frekanslı filtreyi işaret eder (Han vd. 2009).

Principal Component (PC), ortogonal bir faktöre dayanan dönüşümleri kullanan matematiksel bir yaklaşımdır (Masood vd. 2017). PC, Karhunen-Loève dönüşüm ya da Hotelling dönüşümü olarak da bilinmektedir (Sahu ve Parsaid 2012). PC, birbiriyle ilişkili olan değişkenleri, temel bileşen olarak adlandırılan ve birbiriyle ilişkili olmayan değişkenlere dönüştüren bir yöntemdir. Bu sayede orijinal görüntüdeki bilgiler kaybedilmeden görüntünün boyutu azaltılmaktadır (Ma vd. 2019). Yüksek varyanslı ilk temel bileşen, MS görüntüsündeki bilgilerin çoğunu içerir. Yüksek konumsal çözünürlüğe sahip PAN görüntü ile ilk temel bileşenin histogramları eşlenir ve ilk temel bileşen, PAN görüntü ile yer değiştirilir. Kalan temel bileşenler değiştirilmez. Son olarak, PAN ve diğer temel bileşenlere ters PC dönüşümü uygulanarak keskinleştirilmiş görüntü elde edilir (Shah vd. 2008).

Color Normalized (CN) keskinleştirme yönteminde MS görüntüsünün bantları, keskinleştirilmiş bantların spektral aralığıyla tanımlanan spektral bölümlere göre gruplandırılır. Bu bantların spektral aralıkları bantların dalga boyunun merkezleriyle tanımlanır. Her bir spektral aralığa karşılık gelen bant aşağıdaki formülle işlenir. Her girdi bandı keskinleştirme bandı ile çarpılır. Son olarak bölümdeki girdi bantlarının toplamına bölünerek normalize edilir (ENVI, 2018).

Wavelet yöntemi, görüntünün yerel frekans içeriğini esas alan farklı bileşenlere ayrıştırılmasını amaçlar. MS görüntüden düşük frekansları ve PAN görüntüden de yüksek frekansları çıkarmak için bu her iki görüntüye Ayrık Wavelet Dönüşümü uygulanır. Bu dönüşüm sonucunda her iki görüntüden elde edilen frekans bileşenleri birleştirilir ve ters Wavelet dönüşümü ile keskinleştirilmiş görüntü elde edilir (Strait vd. 2008).

2.2. Metrikler

Çalışmada keskinleştirme görüntülerin spektral ve konumsal kalitelerini ölçmek için değerlendirme metrikleri kullanılmıştır. Bunlar spektral kaliteyi ölçen Korelasyon katsayısı (KK), ERGAS, Relative Average Spectral Error (RASE), Spectral Angular Mapper (SAM), QAVE ve Spectral Information Divergence (SID) ve Spatial (SP) gibi Laplacian tabanlı konumsal kaliteyi ölçen metriklerdir. Ayrıca konumsal kaliteyi ölçmek için Gabor filtresi de metrik olarak kullanılmıştır.

Korelasyon Katsayısı (KK), MS görüntü ile keskinleştirilmiş görüntüdeki korelasyon katsayılarını (CC) hesaplar (Denklem (2)). X MS görüntüyü, Y ise keskinleştirilmiş görüntüyü temsil eder. Optimum değeri 1'dir (Teke vd. 2018).

$$CC(x/y) = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x_{i,j} - \bar{x})(y_{i,j} - \bar{y})}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x_{i,j} - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (y_{i,j} - \bar{y})^2} \quad (2)$$

ERGAS, spektral bozulmanın miktarını ölçmektedir (Denklem (3)). Optimum değeri 0'dır (Teke vd. 2018).

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{RMSE(n)}{\mu(n)} \right)^2} \quad (3)$$

Burada, N band sayısını, $RMSE$, karesel ortalama hatayı, h/l PAN ve MS görüntüdeki piksellerin oranını, $\mu(n)$ ise bantların ortalamasını temsil etmektedir.

RASE, PAN bantlarının RMSE'lerine göre ortalama performanslarını ölçen spektral bir metriktir (Denklem (4)). Optimum değeri 0'dır (Teke vd. 2018).

$$RASE = \frac{100}{M} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N RMSE^2(B_i)} \quad (4)$$

Denklemde M , spektral bantların ortalama radyansını; B_i MS görüntünün spektral

bantlarını, N band sayısını, $RMSE$, karesel ortalama hatayı temsil etmektedir.

QAVE, spektral bozulmayı modellemek için kullanılan bir metriktir. Optimum değeri 1'dir.

$$Q = \frac{4\sigma_{xy}\bar{x}\bar{y}}{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)[(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2]} \quad (5)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2, \quad \sigma_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2$$

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

Denklem (5)'teki, $x = \{x_i | i = 1, 2, \dots, N\}$ and $y = \{y_i | i = 1, 2, \dots, N\}$, orjinal ve MS ve keskinleştirme yapılmış görüntü vektörlerini ifade etmektedir (Teke vd. 2018).

SAM, iki spektral vektör arasındaki açının mutlak değerini ölçer. Açısı, 0 ise spektral bozulma yoktur anlamına gelmektedir (Yılmaz ve Güngör, 2013).

$$\cos \alpha = \frac{\sum_{i=1}^N A_i B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N A_i A_i} \sqrt{\sum_{i=1}^N B_i B_i}} \quad (6)$$

Denklem (6)'da, $A = (A_1, A_2, A_3, \dots, A_N)$ ve $B = (B_1, B_2, B_3, \dots, B_N)$. MS ve keskinleştirme görüntüye ait spektral vektörlerdir. N , toplam bant sayısını ve α spektral açıyı temsil etmektedir.

SID, piksel değerlerinin benzerliklerini ölçen spektral bir metriktir (Yılmaz ve Güngör, 2013). Optimum değeri 0'dır (Denklem (7)).

$$SID(x, y) = D(x||y) + D(y||x)$$

$$D(x||y) = \sum_{i=1}^L p_i \log(p_i/q_i), D(y||x) = \sum_{i=1}^L q_i \log(q_i/p_i)$$

$$p_j = x_j / \sum_{i=1}^N x_i, \quad q_j = y_j / \sum_{i=1}^N y_i \quad (7)$$

SP, MS görüntüdeki yüksek frekanslar ile keskinleştirilmiş görüntüdeki yüksek frekanslar arasındaki korelasyon katsayılarını hesaplayan konumsal bir metriktir. Yüksek frekansları çıkarmak için aşağıdaki filtreyi kullanmaktadır (Teke vd. 2018). Optimum değer 1'dir (Denklem (8)).

$$\text{Filtre} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

2.3. Gabor filtresi

İnsan gözü görsel yorumlama için hem spektral hem de konumsal bilgiyi kullanmaktadır. Spektral bilgi, renk tonlarındaki değişimlerdir. Konumsal bilgiler ise, bu tansal değişimlerin konumsal dağılımlarını yansıtır. İki tip konumsal ilişki vardır. Birincisi objenin yapısını temsil eden, ilgili obje üzerinde odaklanan tansal değişimdir. İkincisi ise söz konusu obje ile diğerleri arasındaki daha geniş ölçekli bir ilişkidir. Ton ve doku bir görüntüde her zaman mevcuttur. Ancak objenin yüzeyinin durumuna göre çözünürlüğe göre biri diğerine göre baskın olabilir (Tso ve Mather, 2009). Doku, bir pikselin komşuluğunun homojenliğinin ölçümüdür (Mather 2004). Konumsal çözünürlüğü yüksek olan görüntülerde doku özelliği daha iyi belirlenebilir. Görüntüde doku özelliği, ortalama, varyans, entropi, homojenlik, kontrast, korelasyon, benzersizlik gibi bilgileri kullanarak belirlenir. Ayrıca frekans uzayında filtreleme ile de elde edilebilir (Gao 2009). Frekans uzayında filtreleme, doku çıkarımı işlemlerinde yaygın kullanılan yöntemlerdendir. Frekans uzayında doku çıkarımı için kullanılan yöntemlerden biri de Gabor dalgacık dönüşümü yöntemidir. Gabor ilk olarak pencere fonksiyonu olarak Gauss dağılım fonksiyonunu kullanan pencere Fourier dönüşümü olarak tanınmıştır (Debnath 2002). Gabor filtresinin en önemli özelliği hem konumsal uzayda hem de konumsal-

frekans uzayında optimum konumlamaya veya çözüme sahip olmasıdır. Ayrıca Gabor filtresi ile insan gözüyle çıkarılan özelliklere benzer özellikler çıkarabilmektedir (Hamamoto 1998). Gabor, belli bir yön ve ölçekte kenar bilgisini çıkararak bir filtre olarak da düşünülebilir. Doku bilgisini de bu filtre sonuçlarının istatistiklerinden çıkarabildiği için m ölçek ve n yönde filtre uygulandığında görüntüde oluşan bölgeler homojen olarak kabul edilir ve ortalama ve standart sapma gibi katsayılar da bu bölgelerin dokularını temsil eder (Risojevic 2011). Gabor fonksiyonunu kullanan Gabor filtresinin kullandığı parametreler lamda (λ), gamma (γ), açı (θ), faz (ϕ) ve bant genişliği (bw) 'dir. Bu parametrelere göre Gabor filtresi aşağıdaki Denklem (9) ile ifade edilir (Petrov ve Wieling 2012);

$$g_{\lambda, \theta, \phi, \sigma, \gamma}(x, y) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cos\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \phi\right) \quad (9)$$

γ ve λ filtrenin boyutunu belirler. γ değeri büyüdükçe filtrenin boyutu küçülür. λ arttıkça sigma (σ) artar γ değeri azalır. θ , dönüklük matrisini oluşturmada kullanılır. Seçilen yöndeki detayları belirler. θ , 0 değerinde iken, x eksenine dik olan ayrıntılar tespit edilir. θ arttırıldıkça dönüklük matrisinin döndürme yönüne göre artan açılara sahip ayrıntılar tespit edilir. 0 ile 360 derece arasında bir değer seçilebilir. θ açısı pozitifken saat yönünün tersine döndürme (rotasyon) yapan bu matriste, açı negatif alınırsa döndürme işlemi saat yönünde yapılır. Çarpım sonucunda, x ve y koordinatlarından saat yönünde θ kadar dönmüş x' ve y' koordinatları elde edilir (10) (Petrov ve Wieling 2012).

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \theta + y \sin \theta \\ y' &= -x \sin \theta + y \cos \theta \end{aligned} \quad (10)$$

Bant genişliği (bw), sıfırdan büyük bir reel sayıdır. Düşük bant genişliği, dolayısıyla büyük standart sapma, filtreli görüntüdeki paralel şeritlerin sayısının artmasına sebep olur. Bant genişliği, standart sapma ve dalga boyu ile belirlenir. Genelde bant genişliği 1 alınır. Bu durumda standart sapma, dalga boyu ve bant

genişliği değerleri kullanılarak $\sigma = 0.56 \lambda$ olarak bulunur. Kısaca bw parametresi σ değerinin belirlenmesinde etkili rol oynar. Denklem (11) ile hesaplanır (Petrov ve Wieling 2012);

$$bw = \log_2 \frac{\frac{\sigma}{\lambda} \pi + \sqrt{\frac{\ln 2}{2}}}{\frac{\sigma}{\lambda} \pi - \sqrt{\frac{\ln 2}{2}}}, \quad \frac{\sigma}{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\ln 2}{2} \frac{2^{bw} + 1}{2^{bw} - 1}} \quad (11)$$

Bu şekilde seçilen parametre değerlerine göre farklı yönlerdeki doku özellikleri çıkarılır.

2.4. Uygulama

Çalışmada kullanılan görüntülerin atmosferik ve radyometrik düzeltmeleri uydu görüntülerinin alındığı kurumlar tarafından yapılmıştır. Her bir görüntünün aynı koordinat sisteminde olması için görüntülere geometrik düzeltme işlemi uygulanmıştır. Bunun için GMS ve GPAN görüntüleri, WV-2 PAN görüntüsüne göre piksel altı RMS değeriyle geometrik olarak düzeltilmiştir. Daha sonra GMS ile GPAN görüntüleri, ve GMS ile WV-2 PAN görüntüleri Ehler's, GS, HCS, HPF, IHS, PC, CN ve Wavelet tabanlı yöntemler olmak üzere sekiz adet görüntü keskinleştirme tekniği ile keskinleştirme işlemi yapılmıştır. Toplamda kentsel ve kırsal alanlar için 32 adet keskinleştirilmiş görüntü elde edilmiştir (Şekil 3). Keskinleştirme işlemi uygulanmış görüntülerin kalitesi yaygın olarak kullanılan metrikler ile değerlendirilmiştir. Ayrıca konumsal kaliteyi ölçmek için Gabor filtresi de metrik olarak kullanılmıştır. Bunun yanında keskinleştirilmiş görüntülerin değerlendirilmesi için hem orijinal hem de bu görüntülerin Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ve Normalized Difference Water Index (NDWI) indisleri çıkarılmıştır. Orijinal ve keskinleştirilmiş görüntülerin indisleri arasındaki korelasyon katsayıları hesaplatılmıştır. Görüntülerin NDVI bitki indisleri çıkarılmıştır. GMS uydu görüntüsünde yakın kızıl ötesi (KÖ) bant

olarak 4.bant, kırmızı bant olarak da 3.bant kullanılmıştır (Denklem (12)).

$$NDVI \text{ indeksi} = \frac{KÖ - Kırmızı}{KÖ + Kırmızı} \quad (12)$$

NDWI indeksi ise Denklem (13) kullanılmıştır. GMS uydu görüntüsünde yakın kızıl ötesi (KÖ) bant olarak 4.bant, yeşil bant olarak da 2.bant kullanılmıştır.

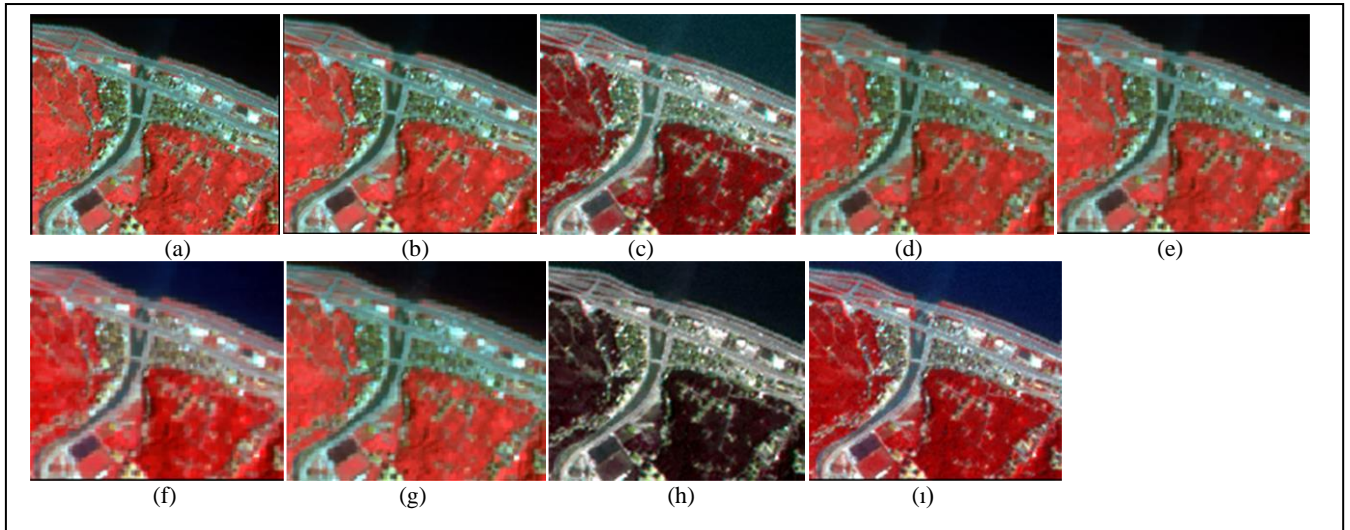
$$NDWI \text{ indeksi} = \frac{Yeşil - KÖ}{Yeşil + KÖ} \quad (13)$$

3. Bulgular ve Tartışma

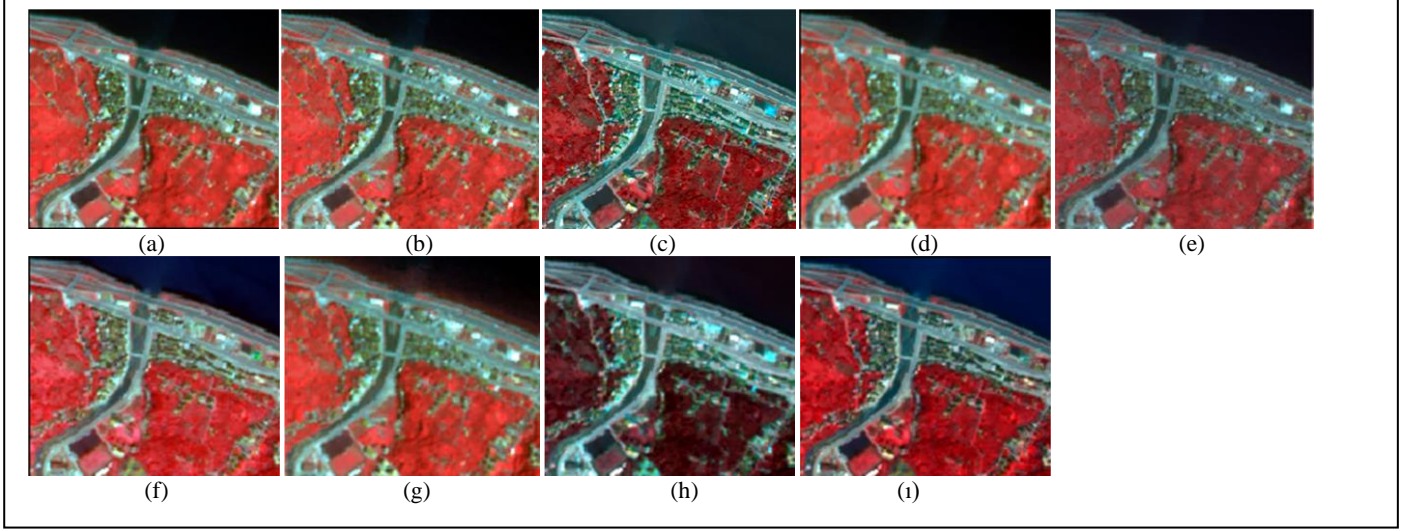
Çalışmada kırsal ve kentsel alan için GMS ve GPAN, ve WV-2 PAN görüntülerinden farklı yöntemlerle elde edilen keskinleştirilmiş görüntülerin spektral ve konumsal kaliteleri metriklerle ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir. Tablo 1'de metrik sonuçlarına göre daha iyi performans gösteren yöntemler sarı renkte gösterilmiştir. Tabloya göre optimum değerler göz önünde bulundurulduğunda Kentsel alan GMS_GPAN için KK (0.5) ve ERGAS (13.2) metrikleri PC yönteminde, RMSE (12.1) ve SAM (0.9) metrikleri ise CN yönteminde spektral bozulmanın daha az olduğunu göstermektedir. Bunun yanında SID (0) ve SP(1) metrikleri ile Ehler's yönteminde konumsal bozulmanın daha az olduğu görülmektedir. Gabor (1) ile doku bilgisinin en iyi GS ve PC yöntemlerinden elde edildiği görülmüştür. Bu sonuçlara göre Kentsel alan için GMS ve GPAN görüntülerinin keskinleştirilmesinde hem konumsal hem de spektral olarak bozulmanın daha az olduğu keskinleştirme yöntemin CN olduğu görülmektedir. Kentsel alan GMS_WV-2 PAN için KK (0.4) ile HPF'de, ERGAS (12.6) ile PC'de, RMSE (10.5) ile GS'de, RASE(10.7) ile Ehler's'de ve SAM (10.8) ile HCS'de spektral bozulmanın daha az olduğunu göstermektedir. SID (0) ile HCS, Ehler's ve CN 'de, SP(1) ile HCS ve Ehler's 'de konumsal bozulmanın daha az olduğunu göstermektedir. NDVI ve NDWI

indekslerine göre de CN, HCS, IHS ve Ehler's daha iyi sonuç vermiştir. Gabor indeksine göre de Ehler's, GS, HPF ve CN maksimum değerde sonuç vermiştir. Buradan da anlaşıldığı gibi GMS ve WV-2 PAN görüntülerinin keskinleştirilmesinde GMS_GPAN ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kırsal alan GMS_GPAN için KK(0.4) ile HCS ERGAS (14.8) ile HPF, RMSE(11.3) ile GS, RASE (19.6) ile PC ve SAM (0.5) ile HPF, SP (1) ile Ehler's optimum değerlere yakın sonuçlar vermiştir. Gabor (0.9) ile GS, PC ve CN doku bilgisini daha iyi yansıttığı gözlenmiştir. Kırsal alan GMS_WV-2 PAN ile spektral bozulmanın ve SID (0.1) ile de konumsal bozulmanın HCS 'de daha az olduğu görülmektedir. için KK(0.3), ERGAS(11.8), RMSE (11.4) Bu sonuçlar GMS ve GPAN görüntüleri için keskinleştirmede hem konumsal hem de spektral bozulmanın HPF'de, GMS ve WV-2 PAN görüntüleri için ise HCS yönteminde

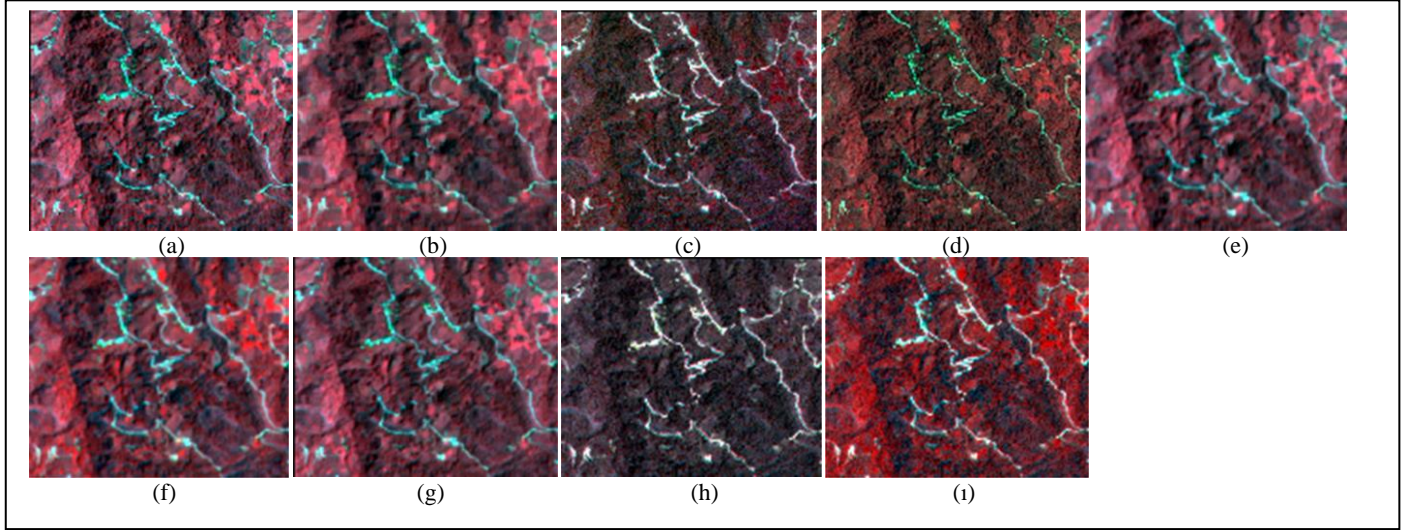
daha az görüldüğü gözlemlenmiştir. Genel olarak bakıldığında CN konumsal bozulmanın en az görüldüğü yöntem olmuştur. Spektral bozulmanın en çok görüldüğü yöntemler, kentsel alan için Wavelet, HPF ve IHS; kırsal alan için ise Ehler, Wavelet, ve IHS' dir. SP konumsal metriğe bakıldığında Wavelet yönteminde konumsal bozulmanın diğerlerine göre fazla olduğu görülmüştür. İndekslere bakıldığında da kentsel alanda Ehler, HCS , IHS ve CN; kırsal da ise Ehler ve CN korelasyonu daha yüksek olan yöntemlerdir. Gabor filtresi ile çıkarılan doku bilgisini orijinale göre en iyi yansıtan yöntemin de, hem kırsal alanda hem de kentsel alanda CN olduğu görülmüştür. Ayrıca QAVE metriği tüm yöntemler ve görüntüler için optimum değere yakın sonuçlar verdiği için bu metriğin kullanımı bu çalışma için çok anlamlı olmadığı görülmüştür.



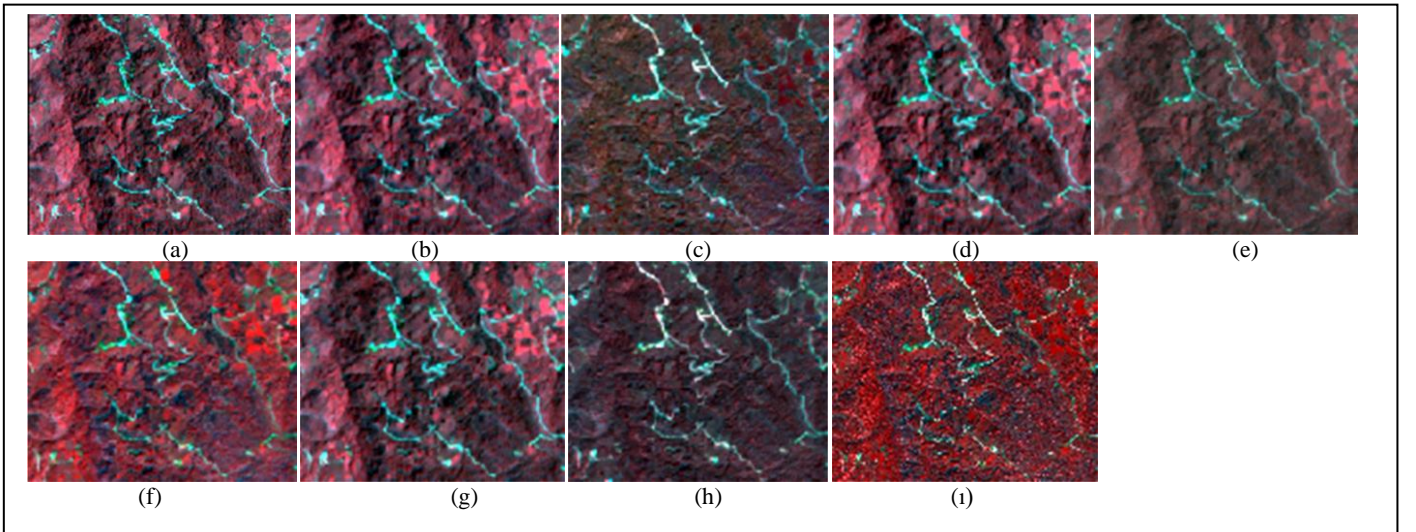
Şekil 3. Kentsel alan için orijinal ve kaynaştırılmış görüntüler (GMS_GPAN); (a) GMS, (b) EHLER, (c) GS, (d) HCS, (e) HPF, (f) IHS, (g)Wavelet, (h)PC, (i)CN



Şekil 4. Kentsel alan için orijinal ve kaynaştırılmış görüntüler (GMS_ WV-2 PAN); (a) GMS, (b) EHLER, (c) GS, (d) HCS, (e) HPF, (f) IHS, (g)Wavelet, (h)PC, (i)CN



Şekil 5. Kırsal alan için orijinal ve kaynaştırılmış görüntüler (GMS_ GPAN); (a) GMS, (b) EHLER, (c) GS, (d) HCS, (e) HPF, (f) IHS, (g)Wavelet, (h)PC, (i)CN



Şekil 6. Kırsal alan için orijinal ve kaynaştırılmış görüntüler (GMS_ WV-2 PAN); (a) GMS, (b) EHLER, (c) GS, (d) HCS, (e) HPF, (f) IHS, (g)Wavelet, (h)PC, (i)CN

Tablo 1. Metrik sonuçları

	Yöntem	KK (1)	ERGAS (0)	QAVE (1)	RMSE (0)	RASE (0)	SAM (0)	SID (0)	SP (1)	NDVI (1)	NDWI (1)	GABOR (1)
Kentsel Alan GMS_GPAN	Ehler's	0.0	35.9	1.0	25.6	71.6	14.4	0.0	1.0	1.0	1.0	0.9
	GS	0.2	97.8	0.9	90.5	25.3	52.1	0.2	0.8	0.9	0.9	1.0
	HCS	0.0	50.9	1.0	39.2	11.0	10.3	0.0	0.8	1.0	1.0	0.8
	HPF	0.1	36.8	1.0	32.9	92.0	13.1	0.0	0.9	1.0	1.0	0.8
	IHS	0.1	59.0	1.0	50.7	14.2	24.8	0.0	0.8	1.0	1.0	0.9
	Wavelet	0.0	37.7	1.0	35.0	97.9	22.2	0.1	0.5	0.9	0.9	0.9
	PC	0.5	13.2	0.8	14.6	40.9	10.3	0.1	0.7	0.8	0.6	1.0
	CN	0.1	18.0	0.9	12.1	33.9	0.9	0.0	0.8	1.0	1.0	0.9
Kentsel Alan GMS_WV-2PAN	Ehler's	0.0	52.0	1.0	38.4	10.7	32.6	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	GS	0.0	11.4	0.8	10.5	29.4	58.6	0.3	0.9	0.2	0.4	1.0
	HCS	0.0	45.8	1.0	35.2	98.6	10.8	0.0	0.8	1.0	1.0	0.7
	HPF	0.4	13.5	0.8	12.0	33.4	71.2	0.4	1.0	0.0	0.0	1.0
	IHS	0.1	93.1	1.0	66.7	18.7	22.6	0.1	0.9	1.0	1.0	0.9
	Wavelet	0.0	62.0	0.9	65.2	18.3	44.5	0.1	0.5	0.8	0.8	0.6
	PC	0.3	12.6	0.8	13.8	38.6	94.2	0.1	0.7	0.6	0.5	0.7
	CN	0.1	19.8	0.9	12.4	34.8	11.1	0.0	0.9	1.0	1.0	1.0
Kırsal Alan GMS_GPAN	Ehler's	0.1	26.5	1.0	23.6	58.4	10.7	0.0	1.0	0.9	0.9	0.8
	GS	0.2	20.7	0.9	11.3	28.0	11.0	0.3	0.8	0.7	0.7	0.9
	HCS	0.4	33.4	1.0	28.7	71.1	0.8	0.1	0.4	0.9	0.8	0.0
	HPF	0.1	14.8	1.0	18.7	46.4	0.5	0.0	0.9	1.0	1.0	0.7
	IHS	0.1	26.6	1.0	28.1	69.7	0.6	0.0	0.9	1.0	1.0	0.8
	Wavelet	0.0	25.0	1.0	34.8	86.1	11.7	0.0	0.7	0.9	0.9	0.7
	PC	0.3	47.2	1.0	79.1	19.6	21.0	0.0	0.8	0.3	0.4	0.9
	CN	0.1	42.9	0.7	23.6	58.5	0.7	0.0	0.9	1.0	0.9	0.9
Kırsal Alan GMS_WV-2PAN	Ehler's	0.0	29.2	1.0	27.0	66.8	13.1	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	GS	0.1	20.9	0.9	12.2	30.3	11.1	0.3	0.8	0.5	0.6	0.8
	HCS	0.3	11.8	1.0	11.4	28.3	0.0	0.1	0.5	0.9	0.9	0.1
	HPF	0.3	51.1	1.0	64.0	15.9	0.0	0.4	0.8	0.0	0.0	0.6
	IHS	0.1	44.6	1.0	46.8	11.6	0.0	0.1	0.8	0.0	0.0	0.5
	Wavelet	0.0	33.1	1.0	49.0	12.1	16.2	0.1	0.6	0.8	0.7	0.4
	PC	0.2	52.7	1.0	87.8	21.7	25.1	0.0	0.8	0.5	0.3	0.7
	CN	0.1	43.3	0.7	23.7	58.8	0.0	0.0	0.9	1.0	0.9	0.9

4. Sonuçlar

Çalışmada, Göktürk-2 MS uydu görüntüsüne kendi PAN bandı ve WV-2 PAN bandı ile keskinleştirmesinin kentsel ve kırsal alanlardaki başarısı test edilmiştir. Metriklerin sonuçları değerlendirildiğinde CN keskinleştirme yönteminin kentsel alan için konumsal çözünürlüğü iyi oranda artırdığı ve orijinal görüntünün spektral bilgisine yakın bir performans sergilediği görülmüştür. Kırsal alanda ise HPF ve HCS keskinleştirme yöntemlerinin diğerlerine göre daha başarılı keskinleştirme işlemi gerçekleştirdiği

gözlemlenmiştir. CN Gabor ile çıkarılan doku bilgisini en iyi yansıtan yöntemler arasında yer almıştır. Ayrıca indekslere göre de korelasyonun en yüksek olduğu yöntemler incelendiğinde de Ehler ve CN 'nin iyi performans sergilediği gözlemlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, kentsel ve kırsal alanlarda bu görüntülerle yapılacak keskinleştirme çalışmalarında uygun olan yöntemin tercihiinde yol gösterici olacaktır. Bu yolla elde edilen keskinleştirme görüntüleri de arazi kullanım haritalarının daha sağlıklı olarak oluşturulmasında bir altlık sağlayacaktır.

Teşekkür

Çalışmada kullanılan Göktürk-2 uydu görüntülerinin temin edildiği Hava Kuvvetleri Komutanlığı'na ve Worldview-2 uydu görüntüsünü sağlayan Karadeniz Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü'ne teşekkür ederim.

5. Kaynaklar

- Akar, A., Gokalp, E., Akar, O. ve Yılmaz, V. 2017. "Improving classification accuracy of spectrally similar land covers in the rangeland and plateau areas with a combination of WorldView-2 and UAV images". *Geocarto International*, 32(9), 990-1003.
- Blasch, E. ve Liu, Z. 2011. "LANDSAT Satellite Image Fusion Metric Assessment". *Proceedings of the 2011 IEEE National Aerospace and Electronics Conference (NAECON)*, 20-22 July 2011, Dayton, OH, USA.
- Debnath, L. 2002. "Wavelet Transforms and Their Applications", *Birkhäuser*, 2002 edition, ISBN-10: 0817642048.
- ENVI. 2018. "CN Spectral Sharpening", *Harris Geospatial Solutions*, <https://www.harrisgeospatial.com/docs/cnspectralsharpening.html>, Erişim tarihi: 10.12.2018
- Flusser, J., Sroubek, F. ve Zitov'a, B. 2007. "Image Fusion: Principles, Methods, and Applications". *Tutorial EUSIPCO 2007 Lecture Notes*, Institute of Information Theory and Automation Academy of Sciences of the Czech Republic.
- Gao, J. 2009. "Digital Analysis of Remotely Sensed Imagery", *The McGraw-Hill Companies*, USA.
- Hamamoto, Y., Uchimura, S., Watanabe, M., Yasuda, T., Mitani, Y. ve Tomita, S. 1998. "A Gabor filter-based method for recognizing handwritten numerals". *Pattern Recognition*, 31 (4), 395–400.
- Han, S.S., Li, H.T., ve Gu, H.Y. 2009. "Study on image fusion for high spatial resolution remote sensing images". *Sci Surveying Mapping*. 5,60–62.
- Klonus, S. ve Ehler's, M. 2009. "Performance of evaluation methods in image fusion". *12th International Conference on Information Fusion*, Seattle, WA, USA, 6-9 July 2009.
- Ma, J., Ma, Y. ve Li, C. 2019. "Infrared and visible image fusion methods and applications: A survey". *Information Fusion*, 45 (2019) 153–178.
- Masood, S., Sharif, M., Yasmin, M., Shahid, MA. ve Rehman A. 2017. "Image Fusion Methods: A Survey", *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 10 (6), 186-194.
- Mather, P.M. 2004. "Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction", Third edition, *Wiley*, USA, ISBN 0-470-84918-5.
- Petkov, N. ve Wieling, M. 2012. "Gabor filter for image processing and computer vision", University of Groningen, *Department of Computing Science, Intelligent Systems*, http://matlabserver.cs.rug.nl/edgedetectionweb/web/edgedetection_params.html, 12 Mart 2012.
- Risojevic, V., Momi'c, S. ve Babi'c, Z. 2011. "Gabor descriptors for aerial image classification", in *Proc. ICANNGA, II, 6594 of LNCS, 51–60*. Springer, Berlin/ Heidelberg.
- Sahu, D.K., ve Parsai, M.P. 2012. "Different Image Fusion Techniques—A Critical Review", *International Journal of Modern Engineering Research*, 2(5), 4298-4301, 2012.
- Schowengerdt, R.A. 1980. "Reconstruction of multispatial, multispectral image data using spatial frequency content". *Photogrammetric Engineering And Remote Sensing*, 46(10),1325–1334.
- Shah, V.P., Younan, N.H. ve King, R.L. 2008. "An Efficient Pan-Sharpener Method Via a Combined Adaptive PCA Approach and Contourlets." *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 46 (5),1323-1335.
- Strait, M., Rahmani, S., Markurjev, D., ve Wittman, T. 2008. "Evaluation of pan-

sharpening methods". *Technical Report*, UCLA Department of Mathematics, Los Angeles, CA, USA.

Suthakar, R.J., Esther, J.M., Annapoorani, D. ve Samuel, F.R.S. 2014. "Study of Image Fusion-Techniques, Method and Applications", *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 3(11), November 2014,469 – 476.

Teke, M., San, E. ve Koç, E. 2018. "Unsharp based Pansharpening of Göktürk-2 Satellite Imagery". *26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, IEEE, Izmir, Turkey, 2-5 May 2018.

Teke, M. 2016. "Satellite Image Processing Workflow for Rasat and Göktürk-2", *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, 9(1), 1-13.

Turker M. ve Ozdarici A. 2011. "Field-based crop classification using SPOT4, SPOT5, IKONOS, and QuickBird imagery for agricultural areas: A comparison study", *International Journal of Remote Sensing*, 32, 9735-9768

Tso, B., Mather, P.M. 2009. "Classification Methods For Remotely Sensed Data", Second Editon, *Taylor & Francis Group*, United States of America.

Yilmaz, V. ve Güngör, O. 2013. "Performance Analysis On Image Fusion Methods", *CaGIS/ASPRS Specialty Conference 2013*, San Antonio, Texas, USA.

Yuhendra, J. ve Kuze, H. 2011."Performance analyzing of high resolution pan-sharpening techniques: Increasing image quality for classification using supervised kernel support vector", *Research Journal of Information Technology*, 3 (1), 12-23.