

Kaynaştırılmış Görüntülerden Elde Edilen Doku Özellikleri ile DVM Sınıflandırma Performansının İyileştirilmesi

Volkan YILMAZ^{1*}

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 08100, Artvin.
(volkanyilmaz.jdz@gmail.com) ORCID ID 0000 – 0003 – 0685 – 8369

Öz

Uzaktan algılanmış görüntülerden elde edilen doku bilgisi yardımıyla yüksek doğruluklu arazi örtüsü haritalarının üretilmesi mümkündür. Kaynaştırılmış bir görüntüdeki doku bilgisinin sınıflandırma işlemine entegre edilmesinin sınıflandırma işleminin doğruluğuna olumlu yönde katkı yapması muhtemeldir. Bu çalışmada Brovey, Multiplicative (MCV), PCA (Principal Component Analysis), Gram-Schmidt (GS), HPF (High-Pass Filtering), Wavelet, Ehlers ve HCS (Hyperspherical Colour Sharpening) kaynaştırma yöntemleri kullanılarak bir WorldView-2 ÇB görüntüsü ile bir WorldView-2 PAN görüntüsü kaynaştırılmıştır. Elde edilen kaynaştırılmış görüntüler Watershed bölütleme (WB) algoritması ile bölütlenmiştir. Elde edilen bölütlerden dört adet eşdizimlilik doku özelliği çıkartılmıştır. Çıkartılan bu doku özellikleri destek vektör makineleri (DVM) sınıflandırıcısına entegre edilerek görüntü üzerindeki sınıfların birbirinden ayrılabilirliğinin artırılması irdelenmiştir. Deneysel sonuçlar bütün kaynaştırma yöntemlerinden elde edilen doku özelliklerinin sınıflandırma doğruluğunu belli bir oranda arttırdığını göstermektedir. Wavelet ve Ehlers kaynaştırma yöntemlerinden elde edilen doku özelliklerinin sınıflandırma doğruluğunu %20.4 ve %18.9 oranında arttırarak bu alanda en başarılı kaynaştırma yöntemleri oldukları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: görüntü kaynaştırma, doku özelliklerinin hesaplanması, görüntü sınıflandırma, destek vektör makineleri, görüntü bölütleme

Exploiting Image Fusion-Based Texture Features to Increase the Performance of the SVM Classifier

Abstract

Texture information extracted from remotely sensed imageries enables accurate production of land cover maps. Integrating the texture information of a fused image to a classification process is a reasonable approach to increase the classification accuracy. This study used the Brovey, Multiplicative (MCV), PCA (Principal Component Analysis), Gram-Schmidt (GS), HPF (High-Pass Filtering), Wavelet, Ehlers and HCS (Hyperspherical Colour Sharpening) algorithms to fuse the WorldView-2 MS and WorldView-2 PAN images. Four GLCM (Gray Level Co-occurrence Matrix) texture features of the fused images were extracted from the image segments obtained from the WS (Watershed Segmentation) algorithm. Extracted texture features were integrated into the SVM (Support Vector Machines) classification process to increase the separability among classes. Experiments revealed that the texture features of all fused images helped increase the classification accuracy to some extent. However, the Wavelet- and Ehlers-derived texture features led to the greatest classification accuracy increase by 20.4% and 18.9%, respectively.

Keywords: image fusion, texture feature calculation, image classification, support vector machines, image segmentation

* Sorumlu Yazar

1. GİRİŞ

Görüntü kaynaştırma yüksek konumsal çözünürlüklü bir pankromatik (PAN) görüntüdeki konumsal detayların düşük konumsal çözünürlüklü bir çok bantlı (ÇB) görüntüye aktarılacak yüksek çözünürlüklü bir ÇB görüntü elde edilmesidir (Yılmaz ve Gungor 2016a). Başarılı bir görüntü kaynaştırma algoritması PAN görüntüdeki konumsal detayları aktarırken ÇB görüntünün renk yapısını da mümkün olduğunca korumalıdır. Literatürde oldukça fazla sayıda görüntü kaynaştırma yöntemi tanımlanmıştır. Literatürdeki görüntü kaynaştırma yöntemleri hakkında detaylı bilgiler Pohl vd. (1998), Blum ve Liu (2005), Stathaki (2011), Pohl ve van Genderen (2016) ve Yılmaz ve Gungor (2016a) tarafından sağlanmıştır. Brovey, Multiplicative (MCV), Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis-PCA) ve Gram-Schmidt (GS) gibi yöntemler konumsal detay aktarımında genelde daha başarılı iken High-Pass Filtering (HPF), Wavelet, Ehlers ve Hyperspherical Colour Sharpening (HCS) gibi daha gelişmiş kaynaştırma yöntemleri renk yapısının korunmasında daha başarılıdır. Ancak, literatürde renk yapısını tamamen korurken konumsal detayları da kusursuz bir şekilde aktarabilen herhangi bir görüntü kaynaştırma yöntemi mevcut değildir (Yılmaz ve Gungor 2016b). Bu nedenle görüntü kaynaştırma yöntemlerinden faydalanırken ya renk yapısından ya da konumsal detay kalitesinden belli bir oranda fedakârlık yapmak gerekmektedir. Kaynaştırılmış görüntülerin sınıflandırılması literatürdeki birçok çalışmaya konu olmuştur (Simone vd. 2002; Colditz vd. 2006; Yılmaz ve Gungor 2016a). Yılmaz ve Gungor (2016a), Amarsaikhan ve Douglas (2004) ve Wenbo vd. (2008) görüntü kaynaştırılmış görüntülerin sınıflandırma doğruluğuna olumlu yönde etki ettiği sonucuna varanlardan sadece birkaçıdır.

Görüntü sınıflandırma doğruluğunu arttırmak amacıyla faydalanılan yöntemlerden bir tanesi sınıflandırma işlemine doku bilgisinin entegre edilmesidir. Lloyd vd. (2004) Yapay Sinir Ağları (YSA) sınıflandırıcısının performansını eşdizimlilik matrisinden türetilen doku özellikleri (kontrast, entropi, açısız ikinci moment/angular second moment, asimetri ve ters mesafe) (Haralick vd. 1973) ve istatistiksel

bazı fonksiyonlar yardımıyla iyileştirmişlerdir. Puissant vd. (2005) çalışmalarında farklı boyutlarda pencereler yardımıyla çıkartılan homojenlik (homogeneity), benzeşmezlik (dissimilarity), entropi ve açısız ikinci moment doku özelliklerini kullanarak yüksek çözünürlüklü görüntülerin sınıflandırma performansını iyileştirmişlerdir. Akar ve Güngör (2015) Rastgele Orman (Random Forest) yönteminin sınıflandırma performansını arttırmak için Gabor doku özellikleri ile beraber eşdizimlilik matrisinden türetilen benzerlik (similarity), entropi, kontrast, homojenlik ve korelasyon doku özelliklerinden faydalanmışlardır. Serifoglu Yılmaz vd. (2017) yaptıkları çalışmada Gabor doku özelliklerinin yanı sıra ortalama, varyans, homojenlik, kontrast, benzeşmezlik, entropi, ikinci moment (second moment) ve korelasyon doku özellikleri yardımıyla Destek Vektör Makineleri (DVM) sınıflandırma yönteminin performansını iyileştirmişlerdir. Çalışmada Gabor doku özelliklerinin DVM sınıflandırma performansını en fazla oranda iyileştiren doku özellikleri oldukları belirlenmiştir.

Bu çalışmanın amacı Watershed bölütleme (WB) algoritması ile WorldView-2 kaynaştırılmış görüntülerinden elde edilen segmentlerden çıkartılan doku özellikleri yardımıyla DVM sınıflandırma yönteminin performansının iyileştirilmesidir. Çalışma kapsamında DVM yönteminin seçilmesinin nedeni bu sınıflandırıcının yüksek performansla çalışması ve bu nedenle bir çok görüntü işleme çalışmasında kullanılmasıdır.

1.1. Görüntü Kaynaştırma Yöntemleri

Bu çalışma kapsamında Brovey, MCV, PCA, GS, HPF, Wavelet, Ehlers ve HCS kaynaştırma yöntemleri kullanılmıştır.

Brovey yöntemi ilk olarak ÇB görüntünün bantlarını toplayarak bir yoğunluk bileşeni üretir. Daha sonra ÇB görüntünün her bir bandını PAN ve yoğunluk bileşeninin oranı ile çarpılarak kaynaştırılmış bantları elde eder (Hallada ve Cox 1983; Pohl ve van Genderen 1998).

MCV yöntemi oldukça basit bir yöntemdir. Bu yöntemde ÇB görüntünün her bir bandı PAN görüntü ile çarpılarak kaynaştırılmış bantlar elde edilir (Crippen 1989).

PCA yöntemi ÇB görüntünün bantlarına PCA dönüşümü uygulayarak görüntünün bantları arasındaki korelasyonu minimize eder. PCA dönüşümü sonucu elde edilen ilk bileşen ÇB görüntüdeki varyansın çoğunu içinde barındırır. Bu bileşenin PAN görüntüdeki konumsal detayları tek başına içerdiği varsayımı ile bu bileşen PAN ile yer değiştirilir. Elde edilen görüntüye ters PCA dönüşümü uygulanarak kaynaştırılmış görüntü elde edilir (Chavez ve Kwarteng 1989).

GS yöntemi PCA yöntemine oldukça benzeyen istatistik tabanlı bir yöntemdir. Bu yöntemde ilk olarak ÇB görüntünün bantlarının doğrusal (linear) kombinasyonları şeklinde düşük çözünürlüklü bir bant oluşturulur. GS yöntemi ÇB görüntünün bantlarının ortalamasını alarak da bu bantı oluşturabilir. Oluşturulan bu bant ilk bant olmak üzere ÇB görüntünün bantları ile birleştirilir. Ardından, elde edilen bu ara görüntüye GS dönüşümü uygulanır. İlk GS bileşeni ile PAN bant yer değiştirilir ve elde edilen görüntüye ters GS dönüşümü uygulanarak kaynaştırılmış bantlar elde edilir (Laben ve Brower 2000).

HPF yöntemi PAN bant üzerinde bir yüksek geçirgen filtre gezdirerek o banttaki konumsal detayları zenginleştirir. Zenginleştirilen bu detaylar daha sonra ÇB görüntünün bantlarına eklenir (Schowengerdt 1980; Gangkofner vd. 2007).

Wavelet (Dalgacık) dönüşümü tabanlı kaynaştırma yöntemi girdi PAN bandına ardışık olarak Ayrık Wavelet Dönüşümü (Discrete Wavelet Transformation) uygular. Her bir dönüşüm seviyesinde konumsal çözünürlük iki kat kötüleştirilerek renk bilgisini içeren yaklaşım (approximation) bandının yanı sıra, yatay, düşey ve çapraz yönlerdeki detayları temsil eden dört adet alt bant elde edilir. Konumsal çözünürlük ÇB görüntünün çözünürlüğüne kötüleşinceye kadar dönüşümler devam eder. En son aşamada elde edilen yaklaşım bandı ile ÇB görüntünün bantları yer değiştirilir. Son olarak, ters Ayrık Wavelet Dönüşümü uygulanarak kaynaştırılmış bantlar elde edilir (Hill vd. 2002; Yılmaz ve Gungor 2016a).

Ehlers yöntemi ilk aşama olarak ÇB görüntüye IHS (Intensity-Hue-Saturation) dönüşümü uygular. Elde edilen intensity (yoğunluk) bileşeni ile PAN bandına Fourier dönüşümü

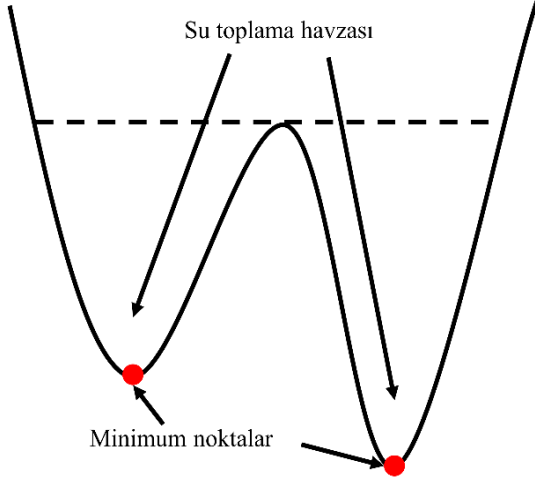
uygulanır. PAN spektrumu yüksek geçirgen bir filtre ile filtrelenirken yoğunluk spektrumu düşük geçirgen bir filtre ile filtrelenir. Filtrelenen spektrumlara ters Fourier dönüşümü uygulanır ve sonuçlar birbirine eklenerek yardımcı bir yoğunluk bandı üretilir. Elde edilen bu yardımcı yoğunluk bileşeni ve daha önceden elde edilen hue (ton) ve saturation (renksel doygunluk) bileşenleri ters IHS dönüşümüne tabi tutularak kaynaştırılmış bantlar elde edilir (Ehlers 2004; Klonus ve Ehlers 2007).

HCS yöntemi PAN görüntüsü üzerinde kayan bir filtre gezdirerek onun yumuşatılmış bir versiyonunu üretir. Daha sonra ÇB görüntüden elde edilen yoğunluk bileşeni ile yumuşatılmış PAN bandının karelerinin ortalama ve standart sapmaları hesaplanır. Doğal renk uzayından (native colour space) hiperküresel renk uzayına (hyperspherical colour space) dönüşüm gerçekleştirilerek kaynaştırılmış bantlar üretilir (Padwick vd. 2010).

1.2. Görüntü Bölütleme

Watershed bölütleme yöntemi literatürde en fazla kullanılan bölütleme yöntemlerinden bir tanesidir. Bu yöntem gri seviyeli görüntüleri topoğrafik bir rölyef gibi kabul etmektedir (Parvati vd. 2008). Rölyef üzerindeki minimum yüksekliğe sahip olan noktalar tespit edilir ve 'delinir'. Rölyefin suya batırıldığı düşünüldüğünde 'delinen' noktalardan su içeriye girer ve rölyefteki bölgeler suyla dolmaya başlar. Belli bir seviyedeki noktalardan sonra bölgelerdeki sular birleşmeye başlar. Suların birleşmenin önlenmesi için suların birleşmeye başladığı noktalara sonsuz yükseklikte duvarlar yerleştirilir. Bu şekilde yerleştirilen duvarların hepsi verinin watershed bölütleme sonucunu verir (Shafarenko vd. 1997). WB yönteminin teorisi Şekil 1' de özetlenmiştir.

WB yöntemi genellikle görüntünün gradyanına uygulanır (Tarabalka vd. 2010). Görüntüdeki her bir noktanın etrafındaki 8 komşu nokta kullanılarak görüntüdeki en inişli ve çıkışlı yönler tespit edilir. Görüntüdeki minimum yüksekliğe sahip olan noktalar ayrı ayrı tanımlayıcılar ile işaretlenir. Görüntüdeki gradyan bilgisi kullanılarak inişli bölgeler belli oranlarda takip edilir. WB yöntemi bütün pikselleri ilgili oldukları minimum noktalar ile ilişkilendirir (Gauch 1999).



Şekil 1. WB yönteminin teorisi

1.3. Doku Özelliklerinin Çıkartılması

Bu çalışma kapsamında aralık (range), ortalama (mean), varyans ve entropi eşdizimlilik matrisi doku özellikleri kullanılmıştır. Anys vd. (1994) bu doku özelliklerini şöyle vermektedir:

$$\text{Aralık (R)} = g_{max} - g_{min} \quad (1)$$

$$\text{Ortalama (M)} = \sum_{i=0}^{P_g-1} i T(i) \quad (2)$$

$$\text{Varyans (V)} = \sum_{i=0}^{P_g-1} (i - M)^2 T(i) \quad (3)$$

$$\text{Entropi (E)} = - \sum_{i=0}^{P_g-1} T(i) * \ln T(i) \quad (4)$$

Bu formüllerde g_{max} ve g_{min} kullanılan kerneldeki maksimum ve minimum değerleri ifade etmektedir. $T(i)$ her bir piksel değerinin olasılığını ve P_g ise görüntüdeki gri seviye sayısını göstermektedir (Anys vd. 1994; Harris Geospatial Solutions).

1.4. DVM Sınıflandırma Yöntemi

Literatürde en fazla kullanılan görüntü sınıflandırma yöntemlerinden olan ve Vapnik (1995) tarafından geliştirilen DVM sınıflandırıcısı sınıflar arasındaki ayrılabilirliği maksimum seviyede tutan optimum hiper düzlemin belirlenmesi esasına dayanır. Optimum düzleme en yakın olan veri noktaları 'destek vektörleri' olarak adlandırılır. Eğer iki sınıf birbirinden doğrusal bir eşitlikle ayırt edilebiliyorsa destek vektörleri üzerinden geçirilen ve birbirine paralel olan düzlemlerin tam ortasına yerleştirilen optimum hiper

düzlem yardımıyla sınıflar birbirinden ayrılır. Birbirine paralel olan düzlemler arasındaki mesafeyi maksimum yapmak için 2. dereceden standart optimizasyon teknikleri kullanılır (Vapnik 1995). Eğer sınıflar doğrusal olarak birbirinden ayıramıyorsa veri doğrusal olmayan dönüşümler yardımıyla daha yüksek boyutlu başka bir uzaya dönüştürülür ve bu uzayda sınıfların ayrılabilirliği artırılır (Tso ve Mather 2009). DVM sınıflandırıcısı ilk başta iki sınıflı problemler için önerilmiştir. Ancak, gerçek dünyadaki birçok durumda ayırt edilmesi gereken sınıf sayısı ikiden fazla olduğu için çok sınıflı yaklaşımlar öne sürülmüştür (Yılmaz vd. 2018). Bire karşı bir (Melgani ve Bruzzone 2004) ve Bire karşı hepsi (Liu ve Zheng 2005) yaklaşımları bu yaklaşımlardan sadece ikisidir.

2. UYGULAMA

2.1. Çalışma Bölgesi ve Veri

Çalışma bölgesi Trabzon ilinin Sürmene ilçesinde yer almaktadır. Çalışma bölgesine ait 2012 yılında elde edilmiş WorldView-2 ÇB ve WorldView-2 PAN görüntüleri kaynaştırma için kullanılmıştır. 11 bitlik radyometrik çözünürlüğe sahip olan WorldView-2 ÇB görüntüsü konumsal çözünürlüğü 2 m olan 8 adet banttan (kırmızı, mavi, yeşil, kızılötesi-1, kırmızı kenar/red edge, kıyı/coastal, sarı ve kızılötesi-2) oluşmaktadır. WorldView-2 PAN bandının konumsal çözünürlüğü ise 50 cm' dir. Şekil 2 çalışma bölgesinin konumunu, Şekil 3 ise çalışma bölgesini göstermektedir.



Şekil 2. Çalışma bölgesinin konumu



Şekil 3. Çalışma bölgesi

2.2. Metodoloji

WorldView-2 ÇB ve WorldView-2 PAN görüntüleri geometrik ve atmosferik olarak düzeltildiği için herhangi bir ön işleme işlemine gerek duyulmamıştır. Ayrıca, her iki girdi görüntünün de çekim tarihi aynı gün olduğundan dolayı görüntüler arasında atmosfer koşullarından kaynaklı olağanüstü farklar bulunmamaktadır.

Girdi görüntüleri Brovey, MCV, PCA, GS, HPF, Wavelet, Ehlers ve HCS yöntemleri ile kaynaştırılarak konumsal çözünürlüğü 50 cm olan 8 bantlı ÇB görüntüler elde edilmiştir. Üretilen kaynaştırılmış görüntüler WB yöntemi ile segmentlere ayrılmıştır. Elde edilen görüntü segmentleri üzerinde gezdirilen 3x3 boyutundaki filtre sayesinde aralık, ortalama, varyans ve entropi doku özellikleri çıkartılmıştır. Çıkartılan bu doku özellikleri orijinal ÇB görüntünün bantları ile farklı kombinasyonlarda birleştirilmiştir. Elde edilen bu bant kombinasyonları DVM sınıflandırıcısı yardımıyla sınıflandırılarak görüntüler orman, çay, fındık, yol, kırmızı çatı, parlak çatı, toprak ve gölge olmak üzere sekiz sınıfa ayrılmıştır.

Sınıflandırılmış görüntülerin doğrulukları irdelenirken görüntüdeki bütün piksellerin tematik görüntüdeki sınıflarının gerçek sınıf değerleri ile kıyaslanması pratik değildir. Bu nedenle görüntüdeki arazi sınıflarını temsil eden belli sayıda test noktası kullanılarak sınıflandırılmış görüntüler için doğruluk analizi gerçekleştirilir.

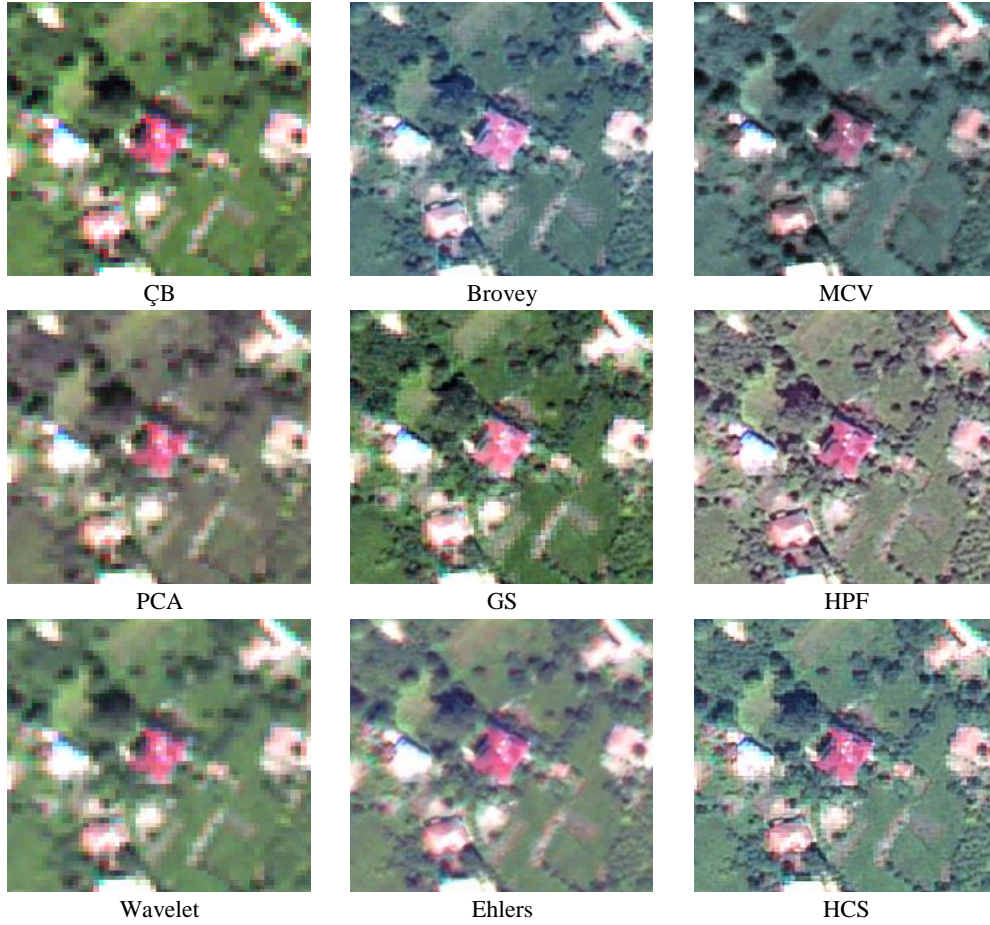
Kullanılacak olan test noktalarının sayısı doğruluk analizi işleminin istatistiksel anlamlılığı açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada kullanılması gereken minimum test noktası sayısı Congalton ve Green (1999) tarafından önerilen multinomial dağılım yöntemine göre belirlenmiştir. Bu yöntemle göre arazideki sınıfların dağılımı hakkında net bir bilgi yoksa minimum test noktası sayısı (n) aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$n = \frac{B}{4\rho^2} \quad (5)$$

Bu formüldeki $B = \rho/k$ ($\rho = 1 -$ güven aralığı ve $k =$ toplam sınıf sayısı) olarak hesaplanmaktadır. Çalışmada güven aralığı 0.95 olarak seçilmiştir. Kaynaştırılmış görüntüler toplamda sekiz sınıfa ayrıldığı için $B = 0.006$ ($0.05/8$) olarak hesaplanmıştır. 0.006 değerinin ki-kare tablosunda 1 serbestlik derecesindeki karşılığı ise 7.55'tir. Bu nedenle B değeri 7.55 olarak belirlenmiştir. Bu durumda minimum kullanılması gereken test noktası sayısı 755 olarak hesaplanmıştır. Ancak, sınıflandırma doğruluğunun daha yüksek bir hassasiyette hesaplanabilmesi için 2045 adet test noktasının kullanılmasına karar verilmiştir. Her bir sınıflandırılmış görüntü için aynı 2045 test noktası kullanılmıştır. Farklı bant kombinasyonlarından elde edilen görüntülerin sınıflandırma doğrulukları ÇB görüntünün sınıflandırma doğruluğu ile karşılaştırılarak hangi kaynaştırma yöntemlerinden elde edilen bantların sınıflandırma doğruluğunu en fazla oranda arttırdığı tespit edilmiştir.

3. BULGULAR ve İRDELEME

Görüntü kaynaştırma yöntemleri PAN bantlardaki konumsal detayları aktarırken orijinal ÇB görüntüdeki renk yapısını da korumalıdır. Bu nedenle kaynaştırma işlemi sonucu elde edilen görüntüler ile orijinal ÇB görüntünün renk yapısının karşılaştırılması kullanılan kaynaştırma yönteminin başarısı hakkında fikir verebilmektedir. Şekil 4' de orijinal ÇB görüntü ve kaynaştırılmış görüntülerin bir bölümü gösterilmiştir. Şekil 4' de yer alan bütün görüntüler gerçek renk (true colour) bant kombinasyonu (5-3-2) ile herhangi bir kontrast iyileştirme olmadan görüntülenmiştir.



Şekil 4. Orijinal ÇB görüntü ve kaynaştırılmış görüntüler

Şekil 4’ de görüldüğü üzere Brovey, MCV, HPF, HCS, GS ve Ehlers yöntemleri konumsal detay kalitesini arttırmada diğer yöntemlere göre daha başarılı olmuşlardır. PCA ve Wavelet yöntemleri görüntüyü bulanıklaştırdıkları gibi yer yer piksel efektleri de üretmişlerdir. Şekil 4’ de de görüldüğü gibi hiçbir kaynaştırma yöntemi renk içeriğini tam anlamıyla koruyamamıştır. Brovey, MCV ve HPF yöntemleri konumsal detay aktarmadaki başarılarına rağmen orijinal ÇB görüntünün renk yapısını koruyamamışlardır. Özellikle Brovey ve MCV yöntemleri arazi sınıflarının renk yapılarında ciddi değişikliklere neden olmuşlardır. Görsel irdeleme GS, Wavelet, HCS ve Ehlers yöntemlerinin orijinal ÇB görüntünün renk içeriğini en fazla koruyan yöntemler olduğunu ortaya koymaktadır.

Kaynaştırılmış görüntülerin görsel olarak değerlendirilmesi kullanılan kaynaştırma yöntemlerinin başarısı hakkında sadece fikir sahibi olmaya yarar, ancak kesin bir hükme varmak için kullanılamaz. Bunun nedeni ise görsel değerlendirmenin tamamen sübjektif

olup, kişilerin bakış açısına bağlı olmasıdır. Görüntü kaynaştırma yöntemleri gözle tespit edilemeyen renk bozulmalarına neden olabilmektedir (Yılmaz ve Gungor 2016b). Bu nedenle kaynaştırılmış görüntülerin renk yapılarının niceliksel olarak irdelenmesi için literatürde kullanılan performans metriklerinden faydalanılarak daha objektif ve tutarlı bir değerlendirme yapılabilir.

Kaynaştırılmış görüntülerin renk kalitelerinin irdelenmesi için Karesel Ortalama Hata (KOH) (Wald 2002), Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse (ERGAS) (Wald 2000), Relative Average Spectral Error (RASE) (Ranchin ve Wald 2000) ve Universal Image Quality Index (UIQI) (Wang ve Bovik 2002) metriklerinden faydalanılmıştır. Kaynaştırılmış görüntülerinin kalitelerinin irdelenmesi için kullanılan bu metrikler Wald vd. (1997) tarafından öne sürülen birinci protokole göre hesaplanmıştır. Bu protokole göre kaynaştırılmış bir bandın boyutu orijinal ÇB görüntünün boyutuna yeniden örneklediğinde elde edilen görüntü orijinal ÇB görüntüye eşit olmalıdır. Bu protokol daha önce Park ve Kang

(2004), Padwick vd. (2010) ve Yılmaz ve Gungor (2016a) tarafından kullanılmıştır. Ayrıca, kaynaştırılmış görüntüler ile ÇB görüntünün bantları arasındaki korelasyon katsayıları (KK) da hesaplanmıştır. KOH, ERGAS ve RASE metrikleri için optimum değer 0 iken, UIQI ve KK metrikleri için optimum değer 1'dir.

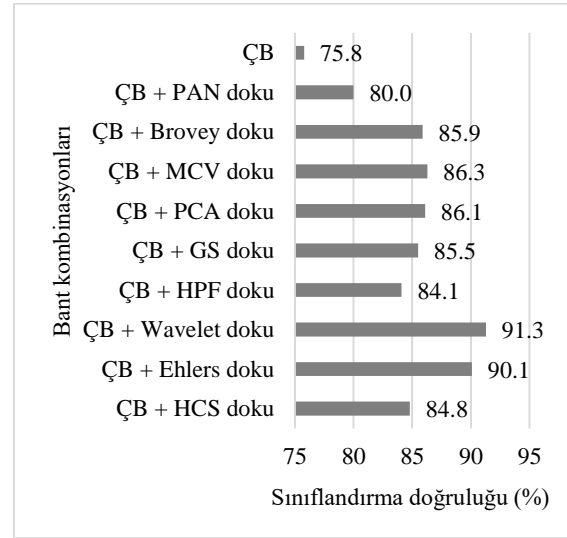
Tablo 1' de kaynaştırılmış görüntülerden hesaplanan metrik değerleri gösterilmiştir. Her bir metrikten alınan en başarılı sonuçlar tabloda gri renkle vurgulanmıştır.

Tablo 1. Kaynaştırılmış görüntüler için hesaplanan metrik değerleri

Yöntem	KOH	ERGAS	RASE	UIQI	KK
Brovey	370.510	228.360	18.353	0.020	0.854
MCV	517.245	28.912	598.290	0.001	0.837
Ehlers	45.110	4.350	2.235	0.337	0.934
HPF	49.870	3.780	2.471	0.229	0.867
Wavelet	60.060	3.260	2.975	0.306	0.875
PCA	279.240	7.970	13.832	0.279	0.560
GS	54.610	3.220	2.705	0.272	0.884
HCS	49.470	3.310	2.451	0.263	0.864

Tablo 1' e göre Ehlers yöntemi ile elde edilen kaynaştırılmış görüntünün ERGAS metriği hariç bütün metriklerden en başarılı sonuçları aldığı görülmektedir. Bu, Ehlers yönteminin niceliksel sonuçlara göre renk yapısını korumada en başarılı yöntem olduğunu göstermektedir. Bu yargı görsel değerlendirme sonuçları tarafından da desteklenmektedir. Ayrıca, Ehlers yöntemi ile elde edilen kaynaştırılmış bantlar orijinal ÇB görüntünün bantları ile en yüksek korelasyona sahip olan bantlardır. ERGAS metriğine göre renk içeriğini en başarılı şekilde koruyan yöntem GS yöntemi olmuştur. GS yöntemi ile elde edilen kaynaştırılmış görüntü Ehlers yönteminden sonra en başarılı metrik sonuçlarını almıştır. Bu durum da niteliksel değerlendirme sonuçlarını doğrulamaktadır. Wavelet, HCS ve HPF yöntemlerinin metrik değerlere renk yapısını korumada ortalama bir başarı elde ettikleri sonucuna varılabilir. Ancak, Brovey, MCV ve PCA yöntemleri en kötü metrik sonuçlara ulaşmışlardır, bu da bu yöntemlerin renk yapısına ciddi zararlar verdiğini göstermektedir. Bu yöntemler aynı zamanda orijinal ÇB görüntünün bantları ile en düşük korelasyona sahip bantları üretmişlerdir. Çalışma kapsamında, metrik sonuçlarının genel olarak görsel sonuçlarla paralel doğrultuda olduğu sonucuna varılmıştır.

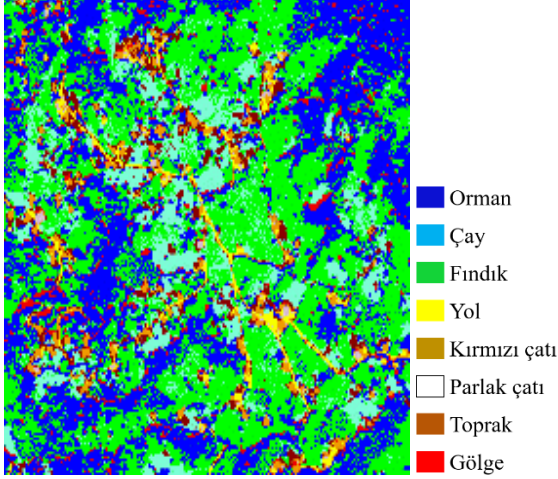
Şekil 5' de orijinal ÇB görüntünün, ÇB görüntüye PAN bandının doku özellikleri eklenmesiyle elde edilen görüntünün (ÇB+PAN doku) ve kaynaştırma sonuçlarından elde edilen doku özelliklerinin ÇB görüntüye eklenmesiyle elde edilen görüntülerin DVM ile sınıflandırılması sonucu üretilen tematik görüntülerin sınıflandırma doğrulukları verilmiştir.



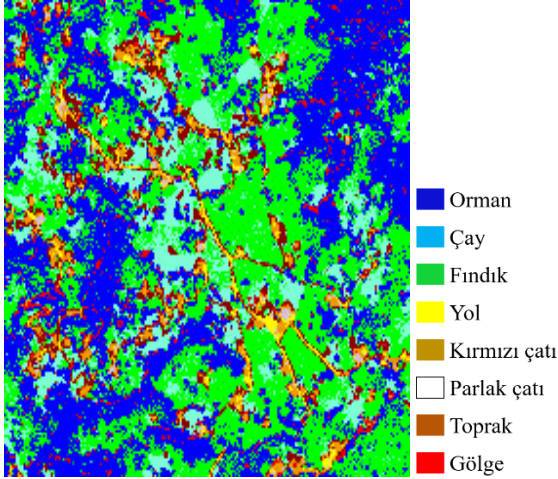
Şekil 5. Çalışmada kullanılan bütün bant kombinasyonlarının sınıflandırma doğrulukları

Şekil 5' de görüldüğü üzere PAN bandından elde edilen doku özellikleri ÇB görüntünün %75.8 olan sınıflandırma doğruluğunu %80'e çıkartmıştır. Ayrıca, bütün kaynaştırma yöntemleri ile elde edilen doku özelliklerinin DVM performansına olumlu yönde etki ettikleri Şekil 5' de görülmektedir. HPF ve HCS yöntemleriyle üretilen kaynaştırılmış görüntülerden elde edilen doku özellikleri sınıflandırma doğruluğunu sırasıyla %10.9 ve %11.8 oranında arttırmıştır. Bu iki yöntemin sağladığı doku özellikleri sınıflandırma doğruluğunu en az oranda arttırmışlardır. Başarılı metrik sonuçlarına rağmen GS yöntemi DVM sınıflandırma performansını arttırmada beklenen başarıyı gösterememiştir. GS sonucundan üretilen doku özellikleri %75.8 olan sınıflandırma doğruluğunu %85.5'e çıkartabilmiştir. Brovey, PCA ve MCV yöntemlerinden elde edilen doku özellikleri GS yönteminden elde edilen doku özellikleri ile benzer oranda sınıflandırma performansını arttırmışlardır. Buna karşın, Wavelet ve Ehlers yöntemleri sınıflandırma performansını en fazla arttıran doku özelliklerini üretmişlerdir. Wavelet ve Ehlers yöntemlerinden üretilen

doku özellikleri %75.8 olan sınıflandırma doğruluğunu sırasıyla %20.4 ve %18.9 oranında arttırarak %91.3 ve %90.1'e çıkarmışlardır. Wavelet ve Ehlers kaynaştırma sonuçlarından elde edilen doku özelliklerinin ÇB görüntüye eklenmesi ile elde edilen görüntülerin sınıflandırılmasıyla üretilen tematik görüntüler sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6. ÇB görüntü ile Wavelet kaynaştırma sonucundan elde edilen doku özelliklerinin birleştirilmesi ile elde edilen görüntünün DVM sınıflandırma sonucu (ölçek=1:75 m)



Şekil 7. ÇB görüntü ile Ehlers kaynaştırma sonucundan elde edilen doku özelliklerinin birleştirilmesi ile elde edilen görüntünün DVM sınıflandırma sonucu (ölçek=1:75 m)

Brovey yöntemi yoğunluk bileşenini üretirken ÇB görüntünün her bir bandının ağırlığını eşit olarak kabul eder. Kaynaştırılmış görüntüleri üretirken herhangi bir normalizasyon işlemi de gerçekleştirmediğinden dolayı Brovey yöntemi ile üretilen kaynaştırılmış görüntünün piksel değerleri olması gerektiğinden daha yüksek

olmaktadır. Bu durum da orijinal ÇB görüntünün renk yapısında ciddi oranda renk bozulmalarına yol açmaktadır. MCV yöntemi de Brovey yöntemi gibi yüksek piksel değerleri üreterek renk yapısını bozmaktadır.

PCA yöntemi istatistiksel bir yöntemdir ve başarısı ÇB ve PAN görüntülerinin birbirleriyle olan ilişkisine bağlıdır. Orijinal ÇB görüntünün bantları ve PAN bant arasında ortalama 0.58 oranında korelasyon (KK) olduğu tespit edilmiştir. Bu da her iki girdi görüntünün de aynı algılayıcı aynı anda çekilmiş olmalarına rağmen, birbirleriyle istatistiksel olarak yüksek oranda ilişkilerinin olmadığını göstermektedir. Bu nedenle PCA yöntemi bu bölgede düşük performans göstermiştir.

HPF yönteminin performansı PAN görüntü üzerinde gezdirilecek olan yüksek geçirgen filtrenin boyutu ve içeriği ile doğru orantılıdır. Çalışma kapsamında kullanılan HPF yöntemi yüksek geçirgen filtre boyutunu girdi görüntülerinin konumsal çözünürlüklerinin oranının bir fonksiyonu belirler (Erdas Imagine Field Guide). Kullanılan yöntem girdi görüntüleri için 9x9 boyutunda bir yüksek geçirgen filtre kullanılmasını öngörmüştür. Daha yüksek filtre boyutlarının daha keskin görüntüler üretilmesine olanak sağladıkları ancak renk yapısını daha da bozdukları gözlemlenmiştir.

Wavelet yöntemi ardışık dalgacık dönüşümleri gerçekleştirirken konumsal detayların bir kısmının yutulmasına neden olmasına rağmen renk yapısını belli oranda korumada başarılı olduğu söylenebilir. 2 boyutlu Ayrık Wavelet Dönüşümünün sadece yatay, dikey ve çapraz yöndeki detayları ortaya çıkartabilmesi bu yöntemin en büyük dezavantajlarından biridir. Bu yönlerin dışındaki yönlerde uzanan detayların yutulması muhtemeldir. Wavelet dönüşümünün avantajı sadece görüntüdeki frekans detaylarını yakalamaması, bunun yanında frekanslara ait konum bilgilerini de tespit edebilmesidir.

HCS yönteminin performansının da PCA yöntemi gibi girdi görüntülerinin birbirleri ile olan istatistiksel ilişkisine bağlı olduğu tespit edilmiştir. HCS yöntemi kaynaştırma işlemi esnasında üretilen yoğunluk bandı ile PAN bant arasında histogram eşleme uygulamaktadır. Bu işlem esnasında hem konumsal detayların bir kısmının yutulduğu hem de renk yapısının belli oranda bozulduğu gözlemlenmiştir.

GS yöntemi de PCA yöntemi gibi istatistiksel bir yöntemdir ve başarısı girdi görüntülerinin

frekansına bağlıdır. Bu yöntemde kullanılan düşük çözünürlüklü PAN görüntü ÇB görüntünün bantlarının ortalamasının alınması ile elde edilmiştir. Bu şekilde renk yapısının korunması sağlanmıştır. Aynı çözünürlüğe sahip renk dağılımı daha başarılı olan başka bir PAN görüntünün kullanılması bu yöntemin performansını daha da artırabilir.

Ehlers yöntemi Fourier dönüşümünün görüntüyü frekanslarına ayırmadaki başarısından faydalanmaktadır. Ehlers yönteminin Fourier dönüşümü ile elde edilen PAN spektrumunu yüksek geçiren bir filtre ile filtrelerken yoğunluk spektrumunu düşük geçiren bir filtre ile filtrelemesi bu yöntemin renk yapısını korumasında çok önemli rol oynamıştır. Bu sayede ters Fourier dönüşümü uygulandığında konumsal detaylar başarılı şekilde aktarılmış olur. Ayrıca, farklı bir IHS dönüşümü yöntemi uygulanarak daha faydalı bir yoğunluk bileşeni elde etmek de mümkündür. Bu sayede Ehlers yönteminin hem konumsal hem de spektral anlamda başarısı artacaktır.

4. SONUÇ

Bu çalışmanın amacı farklı kaynaştırma yöntemleriyle üretilen görüntülerden çıkartılan doku özelliklerinin DVM yönteminin sınıflandırma performansına etkilerinin irdelenmesidir. Çalışma kapsamında kullanılan Brovey, MCV, PCA, GS, HPF, Wavelet, Ehlers ve HCS kaynaştırma yöntemlerinin hepsinin sınıflandırma performansına olumlu yönde etki eden doku özellikleri elde edilmesine olanak sağladıkları tespit edilmiştir. Wavelet ve Ehlers yöntemleri sınıflandırma doğruluğunu en yüksek oranda arttıran doku özelliklerinin üretilmesini sağlamışlardır. Bu çalışma kapsamında, kaynaştırma yoluyla üretilen görüntülerin doku özellikleriyle sınıflandırma doğruluğunu belli oranda arttırmanın mümkün olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, additive wavelet luminance proportional (Otazu vd. 2005), criteria-based method (Gungor 2008) ve nearest neighbour diffuse (Sun vd. 2014) gibi daha iyi performans sergileyen ileri seviye görüntü kaynaştırma yöntemleriyle sınıflandırma doğruluklarını daha da fazla arttıran doku özelliklerinin elde edilmesi mümkündür. Gelecek çalışmalar daha gelişmiş görüntü kaynaştırma yöntemlerinden elde edilen doku özellikleri ile sınıflandırma performansını iyileştirmeye odaklanacaktır.

KAYNAKÇA

- Akar, Ö., ve Güngör, O. (2015). Integrating multiple texture methods and NDVI to the Random Forest classification algorithm to detect tea and hazelnut plantation areas in northeast Turkey. *International Journal of Remote Sensing*, 36 (2), 442-464.
- Amarsaikhan, D., ve Douglas, T. (2004). Data fusion and multisource image classification. *International Journal of Remote Sensing*, 25 (17), 3529-3539.
- Anys, H., Bannari, A., He, D.C., ve Morin, D. (1994). Texture analysis for the mapping of urban areas using airborne MEIS-II images. *1st International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition*, 3, 231-245.
- Blum, R.S., ve Liu, Z. (2005). *Multi-sensor image fusion and its applications*. CRC press.
- Chavez, A., ve Kwarteng, P. (1989). Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using selective principal component analysis. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 55, 339-348.
- Colditz, R.R., Wehrmann, T., Bachmann, M., Steinnocher, K., Schmidt, M., Strunz, G., ve Dech, S. (2006). Influence of image fusion approaches on classification accuracy: a case study. *International Journal of Remote Sensing*, 27 (15), 3311-3335.
- Congalton, R.G., ve Green, K. (1999). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. Boca Raton, FL: Lewis.
- Crippen, R.E. (1989). A simple spatial filtering routine for the cosmetic removal of scan-line noise from Landsat TM P-tape imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 327-331.
- Ehlers, M. (2004). Spectral characteristics preserving image fusion based on Fourier domain filtering. *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology IV*, 5574, 1-14.
- Erda Imagine Field Guide, Leica Geosystems.
- Gangkofner, U.G., Pradhan, P.S., ve Holcomb, D.W. (2007). Optimizing the high-pass filter addition technique for image fusion. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 73 (9), 1107-1118.
- Gauch, J.M. (1999). Image segmentation and analysis via multiscale gradient watershed hierarchies. *IEEE Transactions on Image Processing*, 8 (1), 69-79.
- Gungor, O. (2008). Multi sensor multi resolution image fusion. PhD thesis, Purdue University.
- Hallada, W.A., ve Cox, S. (1983). Image sharpening for mixed spatial and spectral resolution satellite systems". *17th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, Ann Arbor, MI, 1023-1032.
- Haralick, R.M., Shanmugam, K., ve Dinstein, I.H. (1973). Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-3 (6): 610-621.
- Harris Geospatial Solutions, online help, <http://www.harrisgeospatial.com/docs/backgroundtexturemetrics.html#Data>, Erişim Tarihi: 13 Aralık 2018).
- Hill, P.R., Canagarajah, C.N., ve Bull, D.R. (2002). Image Fusion Using Complex Wavelets. In *BMVC*, 1-10.
- Klonus, S., ve Ehlers, M. (2007). Image fusion using the Ehlers spectral characteristics preservation algorithm. *GIScience & Remote Sensing*, 44 (2), 93-116.
- Laben, C.A., ve Brower, B.V. (2000). Process for enhancing the spatial resolution of multispectral

- imagery using pan-sharpening. U.S. Patent No. 6,011,875, Washington, DC: U.S.
- Liu, Y., ve Zheng, Y.F. (2005). One-against-all multi-class SVM classification using reliability measures. *Neural Networks*, 2, 849-854.
- Lloyd, C.D., Berberoglu, S., Curran, P.J., ve Atkinson, P.M. (2004). A comparison of texture measures for the per-field classification of Mediterranean land cover. *International Journal of Remote Sensing*, 25 (19), 3943-3965.
- Melgani, F., ve Bruzzone, L. (2004). Classification of hyperspectral remote sensing images with support vector machines. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42, 1778-1790.
- Otazu, X., González-Audicana, M., Fors, O., ve Núñez, J. (2005). Introduction of sensor spectral response into image fusion methods. Application to wavelet-based methods. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43 (10), 2376-2385.
- Padwick, C., Deskevich, M., Pacifici, F., ve Smallwood, S. (2010). WorldView-2 pan-sharpening. *ASPRS 2010 Annual Conference*, San Diego, CA, USA, vol. 2630.
- Park, J.H., ve Kang, M.G. (2004). Spatially adaptive multiresolution multispectral image fusion. *International Journal of Remote Sensing*, 25 (23), 5491-5508.
- Parvati, K., Rao, P., ve Mariya Das, M. (2008). Image segmentation using gray-scale morphology and marker-controlled watershed transformation. *Discrete Dynamics in Nature and Society*.
- Pohl, C., ve van Genderen, J. (2016). *Remote sensing image fusion: A practical guide*. Crc Press.
- Pohl, C., ve van Genderen, J.L. (1998). Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. *International Journal of Remote Sensing*, 19 (5), 823-854.
- Puissant, A., Hirsch, J., ve Weber, C. (2005). The utility of texture analysis to improve per-pixel classification for high to very high spatial resolution imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 26 (4), 733-745.
- Ranchin, T. ve Wald, L. (2000). Fusion of high spatial and spectral resolution images: The ARSIS concept and its implementation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 66, 49-61.
- Schowengerdt, R.A. (1980). Reconstruction of multispatial, multispectral image data using spatial frequency content. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 46 (10), 1325-1334.
- Serifoglu Yılmaz, C., Tunc Gormuş, E., ve Gungor, O. (2017). Texture Based Classification of Hyperspectral Images with Support Vector Machines Classifier. *International Symposium on GIS Applications in Geography & Geosciences (ISGGG)*, Çanakkale, Turkey.
- Shafarenko, L., Petrou, M., ve Kittler, J. (1997). Automatic watershed segmentation of randomly textured color images. *IEEE Transactions on Image Processing*, 6 (11), 1530-1544.
- Simone, G., Farina, A., Morabito, F.C., Serpico, S.B., ve Bruzzone, L. (2002). Image fusion techniques for remote sensing applications. *Information Fusion*, 3 (1), 3-15.
- Stathaki, T. (2011). *Image fusion: algorithms and applications*. Elsevier.
- Sun, W., Chen, B., ve Messinger, D. (2014). Nearest-neighbor diffusion-based pan-sharpening algorithm for spectral images. *Optical Engineering*, 53 (1).
- Tarabalka, Y., Chanussot, J., ve Benediktsson, J.A. (2010). Segmentation and classification of hyperspectral images using watershed transformation. *Pattern Recognition*, 43 (7), 2367-2379.
- Tso, A., ve Mather, P.M. (2009). *Classification methods for remotely sensed data*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor and Francis Group. ISBN: 978-1-4200-9072-7.
- Vapnik, V.N. (1995). *The nature of statistical learning theory*. New York, NY: Springer-Verlag.
- Wald, L. (2000). Quality of high resolution synthesized images: Is there a simple criterion? *In Proceedings of the third conference "Fusion of Earth data: merging point measurements, raster maps and remotely sensed images*, Sophia Antipolis, France, 99-103.
- Wald, L. (2002). Fusion of Images of Different Spatial Resolutions. *Presses de l'Ecole, Ecole des Mines de Paris*, Paris, France, ISBN: 2-911762-38-X, 200 pp.
- Wald, L., Ranchin, T., ve Mangolini, M. (1997). Fusion of satellite images of different spatial resolutions: Assessing the quality of resulting images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, 691-699.
- Wang, Z., ve Bovik, A.C. (2002). A universal image quality index. *IEEE Signal Processing Letters*, 9 (3), 81-84.
- Wenbo, W., Jing, Y., ve Tingjun, K. (2008). Study of remote sensing image fusion and its application in image classification. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37 (B7), 1141-1146.
- Yılmaz, V., Konakoglu, B., Serifoglu, C., Gungor, O., ve Gökalp, E. (2018). Image classification-based ground filtering of point clouds extracted from UAV-based aerial photos. *Geocarto International*, 33 (3), 310-320.
- Yılmaz, V., ve Gungor, O. (2016a). Determining the optimum image fusion method for better interpretation of the surface of the Earth. *Norsk Geografisk Tidsskrift-Norwegian Journal of Geography*, 70 (2), 69-81.
- Yılmaz, V., ve Gungor, O. (2016b). Fusion of very high-resolution UAV images with criteria-based image fusion algorithm. *Arabian Journal of Geosciences*, 9 (1).