

LANDSAT 8 VE SENTİNEL 2 GÖRÜNTÜLERİNDE MEDYAN FİLTRE VE CURVELET DÖNÜŞÜMÜ İLE GÜRÜLTÜ GİDERME

Sena Oğuzhanoglu¹, İrem Kapucuoğlu², Filiz Sunar³

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul, oguzhanoglu17@itu.edu.tr

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul, kapucuoğlu17@itu.edu.tr

³Prof. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul, fsunar@itu.edu.tr

ÖZET

Uydu görüntülerinin alınmasında hâlâ teknik sınırlamalar olduğundan görüntüde gürültüler oluşabilmektedir. Yapılan analizlerin doğruluğunu artırmak ve güvenilir sonuçlar elde edebilmek için uydu görüntülerinde mevcut gürültülerin giderilmesi gereklidir. Yazarların bu konuda yaptığı önceki çalışmasında, Landsat 8 ve Sentinel 2 uydu görüntülerinde gürültüyü azaltmak/gidermek için iki farklı işleme alanında (mekânsal ve frekans) çeşitli yöntemler (Medyan filtre (3x3 ve 5x5 pencere), BM3D ($\sigma = 0.2$ ve 0.4), Curvelet (sert ve yumuşak eşikleme), Contourlet) uygulanmış ve 3x3 Medyan filtre ve Curvelet sert eşikleme yöntemlerinin diğerlerinden daha yüksek performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, görüntülerde bilgi kaybı olmaksızın mevcut olan gürültülerin azaltılmasında/giderilmesinde, önceki çalışmada yüksek performans gösteren gürültü giderme yöntemlerinin (Medyan filtre ile Curvelet sert eşikleme) genelleştirilebilirliği özelliğinin incelenmesidir. Bu nedenle İstanbul'da çeşitli arazi örtüsü/kullanımı sınıflarına sahip, bir önceki çalışmada kullanılanlardan farklı bir test alanı seçilmiştir. Landsat 8 ve Sentinel 2 uydularının işlenmemiş görüntülerinin olmaması nedeniyle görüntülere iki farklı yoğunlukta Gauss gürültüsü ($\sigma=10$ ve 20) eklenmiştir. Gürültüsü giderilmiş görüntülerin kalite analizi, kalitatif (istatistiksel yöntemler; SSIM (Yapı Benzerlik İndeksi), PSNR (Tepe Sinyal-Gürültü Oranı), MSE (Ortalama Karesel Hata) ve kantitatif (görsel analiz) olarak değerlendirilmiştir. Kalitatif analiz sonucunda seçilen en iyi görüntü ve orijinal görüntü, kontrollü sınıflandırma tekniklerinden biri olan Rastgele Orman algoritması kullanılarak sınıflandırılmış ve sınıflandırma sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma işlemi görsel ve istatistiksel (Genel Doğruluk ve Kappa katsayısı) olarak yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Curvelet, Gürültü Giderme, Medyan, Rastgele Orman

ABSTRACT

DENOISING WITH MEDIAN FILTER AND CURVELET TRANSFORM IN LANDSAT 8 AND SENTINEL 2 IMAGES

Noise may occur in the images, as there are still technical limitations in image acquisition. To increase the accuracy of the analysis and obtain more reliable results, it is necessary to remove the noise in the satellite images. In the previous study of the authors on this subject, various methods (Median (3x3 and 5x5 kernel), BM3D ($\sigma = 0.2$ and 0.4), Curvelet (hard and soft threshold), and Contourlet) were applied in two different domains (spatial and frequency) to reduce/remove noise in Landsat 8 and Sentinel 2 satellite images, and it was observed that 3x3 Median filter and Curvelet hard threshold methods performed better than the others. The main purpose of this study is to generalize the denoising methods (Median filter and Curvelet hard threshold), which were concluded to have better performance in the previous study, by reducing/removing noise in the images without loss of information. Therefore, a test area in Istanbul with various land cover/use classes different from the previous study was selected. Due to the absence of Landsat 8 and Sentinel 2 raw images, two different densities of Gaussian noise ($\sigma=10$ and 20) were added to the images. The image quality analysis of denoised images was evaluated as qualitative (by statistical methods; SSIM (Structural Similarity Index Measure), PSNR (Peak Signal to Noise Ratio), MSE (Mean Square Error)), and quantitative (by visual analysis). After the qualitative analysis, the selected best image and the original image were classified using the Random Forest algorithm, which is a supervised image classification technique, and the results were compared with each other. Again, this comparison process was done visually and statistically (Overall accuracy and Kappa coefficient).

Keywords: Curvelet, Denoising, Median, Random Forest

1. GİRİŞ

Günümüzde uzaktan algılama, sağladığı düşük maliyet ve erişim kolaylığı ile yeryüzündeki cisimlerin/nesnelerin durumlarını incelemek ve bilgi edinmek için etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda uydu görüntüleri, sivil alanda; (i) kara (tarım, ormancılık, jeoloji, arazi kullanımı/değişimi, afet izleme çalışmaları vb.), (ii) su (kaynak yönetimi, su kalitesi, yağ tabakası kirliliği, okyanus bilimleri vb.), (iii) atmosfer ve hava (atmosferik parçacık türü, atmosferik geçirimsizlik, iklim değişimi vb.) ve askeri alanda; harita yapımı, istihbarat gibi pek çok farklı uygulamalara bölgesel ve global analiz imkânı sağlayarak, yeni bilimsel çalışmaların üretilmesine katkı sağlamaktadır (Sunar vd., 2011). Ancak elde edilen görüntüler, yapılacak çalışmanın gereksinimlerine (çözünürlük, görüntü kalitesi, vb.) göre seçilmeli ve işlenmelidir.

Hızlı gelişen uydu ve bilgisayar teknolojilerine rağmen, görüntülerde algılayıcı hatalarından ve/veya sınırlamalarından, atmosferdeki parçacıkların etkileşimlerinden ve bakış geometrisindeki farklılıklardan kaynaklanan radyometrik hatalar meydana gelebilmektedir. Bu hataların en önemlilerinden biri düşük görüntü kalitesine ve veri kaybına neden olan “gürültüdür”. Analiz doğruluğunun iyileştirilmesi için gürültülerin uygun yöntemler ile giderilmesi uydu görüntülerinin analizindeki ilk adım olan ön işleme adımıdır.

Gürültü giderme, dijital görüntü işleme teknikleri içinde her zaman kritik bir konu olmuştur. Bu nedenle gürültünün istatistiksel özelliklerine (örn. düşük ve yüksek frekans) bağlı olarak mekânsal ve frekans işleme alanlarında çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Konuyla ilgili mevcut literatürde, geliştirilen yöntemler daha çok "Lena", "Barbara" gibi test görüntülerine uygulanmıştır, ancak uydu görüntüleri için yapılan çalışmaların sayısı çok azdır. Bahsedilen bu eksiklikten dolayı daha önce yapılan çalışmada; 1 Temmuz 2020 tarihli optik uydu görüntülerine (Sentinel 2 ve Landsat 8), iki farklı test alanında (homojen ve heterojen), dört farklı gürültü giderme yöntemi (Medyan (3x3 ve 5x5 pencere), BM3D ($\sigma = 0.2$ ve 0.4), Curvelet (sert ve yumuşak eşikleme), Contourlet) uygulanmıştır. 3x3 Medyan filtre ve Curvelet sert eşikleme yöntemlerinin görsel ve istatistiksel olarak gürültüleri daha iyi giderdiği sonucuna varılmıştır (Oğuzhanoglu vd., 2022).

Bu çalışmada, seçilen yöntemlerin (3x3 Medyan filtre ve Curvelet sert eşikleme) geliştirilebilmesi için farklı mekânsal çözünürlükteki Landsat 8 ve Sentinel 2 uydu görüntülerinde farklı arazi sınıflarına sahip yeni bir test alanı seçilmiş ve 2 farklı yoğunlukta Gauss gürültüsü ($\sigma = 10$ ve 20) eklenmiştir. Uygulama sonrası görüntülerin kalite analizi, niteliksel (SSIM, PSNR, MSE) ve niceliksel (görsel analiz) olarak değerlendirilerek karşılaştırılmıştır. Ayrıca, her iki yöntemin avantajları ve dezavantajları irdelenmiştir. Son adım olarak, seçilen en iyi gürültüsü giderilmiş görüntü Rastgele Orman algoritması ile sınıflandırılmış ve böylelikle seçilen gürültü giderme yönteminin tematik haritalamadaki etkinliği ortaya konulmuştur.

2. ÇALIŞMA ALANI & KULLANILAN VERİLER

2.1 Çalışma Alanı

İstanbul, Karadeniz ile Marmara Denizi'ni birbirine bağlayan, Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan ve hızlı kentleşmesi ile ön plana çıkan Türkiye'nin en önemli şehirlerinden birisidir. Çalışma alanının İstanbul'da tercih edilmesinin nedeni hem şehir alanları gibi heterojen alanlara hem de ormanlık alanlar gibi homojen alanlara sahip olmasıdır. Bu kapsamda, farklı arazi örtüsü/kullanım sınıflarına sahip test alanı İstanbul'un Anadolu ve Avrupa yakasını kapsayacak şekilde seçilmiştir (Şekil 1).

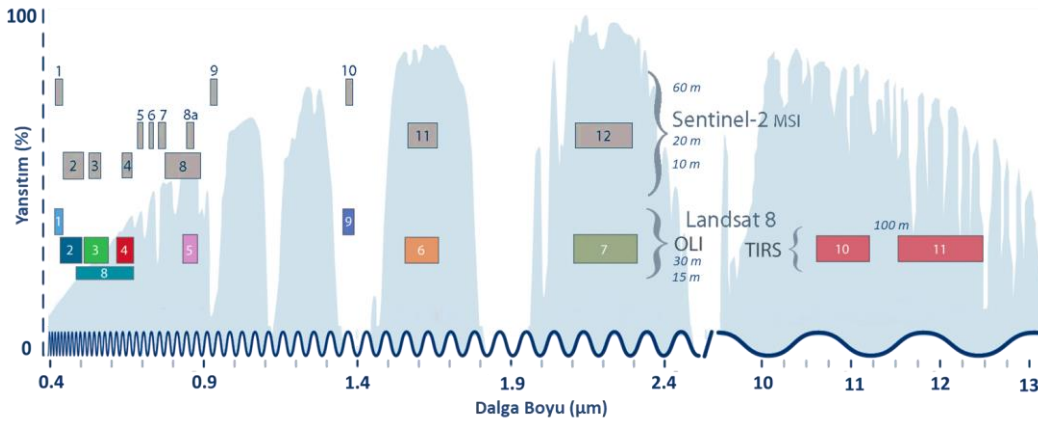


Şekil 1. İstanbul'daki test alanının konumu (kırmızı kutu) ve uydu görüntüsü, (©2020, Google Earth).

2.2 Kullanılan Veriler

Gürültü giderme analizi için seçilen yöntemler 1 Temmuz 2020 tarihli Landsat 8/OLI ve Sentinel-2B/MSI uydu görüntüleri üzerinde uygulanmıştır. Kullanılan uydu görüntülerinin aynı tarihte alınmış olması, görüntü analizinde farklı atmosferik koşulların oluşturabileceği olumsuz etkiyi ortadan kaldırması açısından önemlidir.

Seçilen her iki uydu da kutupsal yörüngeye sahiptir. Genellikle çevre uygulamaları için kullanılmaktadır ve açık kaynaklı olmaları sebebiyle kolay erişilebilirlerdir. Seçilen uyduların mekânsal ve spektral özellikleri Şekil 2'de verilmiştir. Bu çalışma kapsamında, Landsat 8 için 30 m ve Sentinel 2 için 10 m mekânsal çözünürlüğe sahip görünür (Mavi (B2), Yeşil (B3), Kırmızı (B4) ve Yakın kızılötesi (Landsat 8 için B5, Sentinel 2 için B8)) bantlar kullanılmıştır.

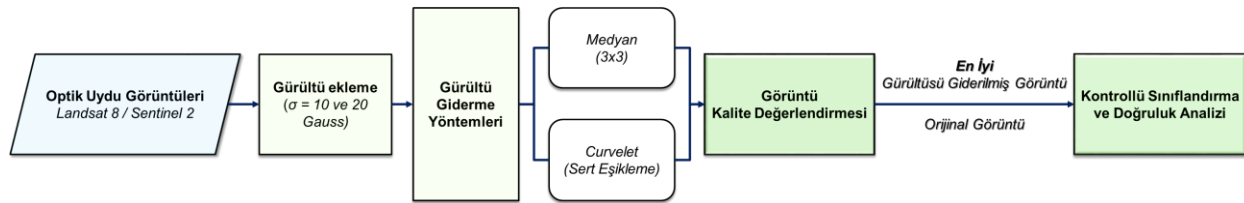


Şekil 2. Landsat-8 ve Sentinel-2 spektral bant özellikleri (©NASA dan modifiye edilmiştir).

3. YÖNTEM

Gürültülerin uydu görüntülerinde ayırt edilebilmesi farklı arazi örtüsü/kullanım sınıflarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir, bu nedenle uydu görüntülerinde gürültü giderme işlemi karmaşık bir adımdır. Örneğin, görüntülerde düşük ve yüksek mekânsal frekansa sahip alanlarda (örn. orman alanları ve yerleşim paternleri) gürültünün, görüntüde benzer özelliklere (örn. piksel değerleri) sahip olması, ayırt edilebilmesini, dolayısıyla veri kaybı olmadan giderilmesini zorlaştırır.

Uydu görüntülerinde, rastgele gürültü (örn. Gauss) en yaygın görülen gürültü çeşididir. Özellikle Gauss gürültüsünün görüntülerde sebep olduğu bilgi kaybı sıkça rastlanan bir sinyal işleme sorunudur (Ruikar ve Dove, 2011). Bu nedenle ilk olarak, farklı yoğunluklarda Gauss gürültüsü ($\sigma = 10$ ve 20), her iki uydunun seçilen bantlarına (Mavi, Yeşil, Kırmızı, Yakın kızılötesi) eklenmiştir. İkinci olarak, seçilen bantlara her iki yoğunlukta Gauss gürültüsü için mekânsal alanda 3×3 Medyan filtre ve frekans alanında Curvelet sert eşikleme yöntemi uygulanmıştır. Sonrasında, görüntü kalite değerlendirme analizi nicel (görsel analizle) ve nitel (SSIM, PSNR, MSE) olarak uygulanmış ve yöntemler karşılaştırılmıştır. Kalite analizi sonucunda seçilen en iyi gürültüsü giderilmiş görüntü ile orijinal görüntüye piksel tabanlı Rastgele Orman sınıflandırma yöntemi uygulanmış ve gürültü giderme işleminin sınıflandırmaya olan etkisi irdelenmiştir. Çalışmada kullanılan yöntemin akış şeması Şekil 3'te verilmektedir.

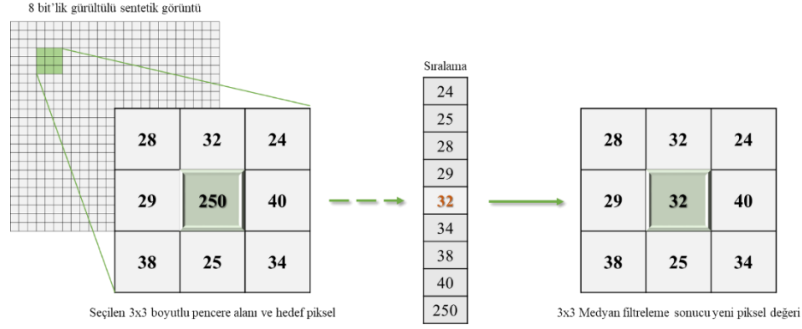


Şekil 3. Çalışmada uygulanan yöntemin akış şeması.

Çalışmada kullanılan yöntemler aşağıdaki alt bölümlerde detaylı olarak açıklanmıştır.

3.1 Medyan Filtre ile Mekânsal Alanda Gürültü Giderme

Mekânsal alanda yapılan filtreleme uygulamaları, görüntüdeki piksellerin komşuluk ilişkilerini ve parlaklık değerlerinin istatistiksel (medyan, ortalama, minimum, maksimum vb.) özelliklerini temel alır. Mekânsal alanda konvansiyonel gürültü giderme yöntemlerden biri olan Medyan filtre uygulamasında, filtre penceresindeki piksellerin değeri küçükten büyüğe doğru sıralanır ve penceredeki hedef pikselin (orta piksel) değeri sıralama sonucu bulunan ortanca değer ile değiştirilir (Şekil 4). Uygulama sırasında hedef piksel, penceredeki en düşük veya en yüksek piksel değerlerinden etkilenmediğinden, gürültüler giderilirken aynı zamanda görüntüdeki önemli özellikler (örn. kenar bilgisi) korunur. Bu nedenle Medyan filtre, mekânsal alanda uygulanan diğer filtreleme yöntemlerinden (örn. alçak geçirgenli lineer filtreleme) daha başarılı sonuçlar vermektedir (Yu vd., 2009). Ancak seçilen pencerenin boyutuna bağlı olarak Medyan filtrenin performansı değişmektedir; örneğin Oguzhanoglu vd., (2022) yaptığı çalışmada 5×5 pencere boyutunun, 3×3 pencere boyutu ile karşılaştırıldığında görüntülerde daha fazla bulanıklığa sebep olduğu ve bu nedenle bilgi kaybına yol açtığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Medyan filtrelemeye bir örnek.

3.2 Curvelet Dönüşümü ile Frekans Alanında Gürültü Giderme

Frekans alanında dijital görüntü, matematiksel fonksiyonlar (Fourier, Dalgacık dönüşümü vb.) ile tanımlanır. Dolayısıyla frekans alanında görüntülerde oluşan gürültülerin giderilmesi için geliştirilen yöntemler, bu fonksiyonları temel almaktadır. Günümüzde Fourier dönüşümü görüntülerde oluşan gürültülerin giderilmesinde sıkça kullanılmaktadır, ancak daha sonra geliştirilen Dalgacık tabanlı ve benzeri dönüşüm yöntemlerinin doğrusal olmayan yapılara sahip görüntülerde (örn. uydu görüntüleri) daha etkin sonuçlar verdiği görülmüştür (Naveed vd., 2019).

Bu çalışmada kullanılan Curvelet dönüşümü, yapısal elemanları (açı, ölçek ve konum parametreleri) ile temel olarak Dalgacık dönüşümüne benzer bir yöntemdir. Bunun yanı sıra bu yöntemin, görüntülerde ince detayları koruması ve frekans alanında kullanılan diğer yöntemlere göre daha kolay uygulanabilir olması, gürültü giderme uygulamalarında yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır (Reddy vd., 2021). Curvelet dönüşümü 3 temel aşamada uygulanır: i) Görüntü; açı, ölçek ve konum parametrelerine göre belirli katsayılaraya ayrıştırılır (Eşitlik 1) ii) Elde edilen katsayılar seçilen eşik değerine ve eşik yöntemine (örn. sert, yumuşak) göre dönüşüm işlemi uygulanır iii) Ters dönüşüm uygulanarak yeniden yapılandırılmış (gürültüsü giderilmiş/azaltılmış) görüntü elde edilir (Reddy vd., 2021).

$$C(r, \theta, s) = \sum_{\substack{0 \leq x < M \\ 0 \leq y < N}} F[x, y] \cdot \varphi_{r, \theta, s}[x, y] \quad (1)$$

bu eşitlikte; C: Curvelet katsayıları
r: Ölçek, θ : Açı, s: Konum parametreleri,
F [x, y]: MxN boyutlarında girdi görüntü,
 φ [x,y]: Curvelet fonksiyonu.

Curvelet dönüşümünün çıktı görüntüsüne etkisi bahsedilen işlem adımlarından da anlaşılabilirceği üzere eşik değeri seçimine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, Curvelet dönüşümünde sert eşikleme, yumuşak eşiklemeye göre daha az yapay eğrilerin oluşmasına neden olurken, görüntüdeki ince ayrıntıları da (örn. yol sınıfı) koruyabilmektedir (Oguzhanoglu vd., 2022). Bu çalışmada kullanılan sert eşikleme yöntemi, görüntüdeki gürültüleri küçük katsayılar olarak temel alır. Bu nedenle, belirlenen eşik değerinin altında kalan katsayıların büyüklüğü sıfıra eşitlenir ve görüntüden arındırılır. Geriye kalan ve eşik değerinden büyük olan katsayılar ise değerleri değiştirilmeden işleme alınır (Eşitlik 2).

$$S_{\sigma}(k) = \begin{cases} k, & |k| \geq \sigma \\ 0, & |k| \leq \sigma \end{cases} \quad (2)$$

bu eşitlikte; k: Katsayı
 σ : Eşik değeri

3.3 Görüntü Kalite Analizi

Görüntü kalite analizi, gürültü giderme yöntemlerinden sonra elde edilen çıktı görüntülerdeki özelliklerin (örn. mekânsal bilgi) korunup korunmadığını ölçen, sonrasında birçok farklı uygulamada (örn. sınıflandırma) doğru sonuçlar elde edebilmek için önemli bir adımdır. Yöntemlerin gürültü giderme performanslarını incelemek için literatürde oldukça yaygın kullanılan SSIM, PSNR, MSE ölçütleri ile çıktı görüntüler karşılaştırılmıştır. Kullanılan ölçütler Çizelge 1'de açıklanmaktadır.

Çizelge 1. Kullanılan kalite ölçütleri (Bhutada vd., 2011).

Kalite ölçütü	Tanımlama	Formül	İdeal değer
Ortalama Kare Hatası (MSE)	Referans görüntü ve gürültüsü giderilmiş görüntü arasındaki hataların karesinin ortalamasıdır.	$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (REF_{x,y} - I_{x,y})^2$	Düşük (0'a yaklaştıkça, kalite artar.)
Tepe Sinyal Gürültü Oranı (PSNR)	Referans görüntü ve gürültüsü giderilmiş görüntü arasındaki tepe sinyalinin gürültüye oranıdır.	$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{Maks. \text{ Piksel Değeri}^2}{MSE} \right)$	Yüksek (Değer arttıkça, kalite artar.)
Yapı Benzerlik İndeksi (SSIM)	Referans görüntü ve gürültüsü giderilmiş görüntü arasındaki yapısal benzerliği korelasyon kaybı, parlaklık ve kontrast bozulması ile ölçer.	$SSIM = l(REF, I) c(REF, I) s(REF, I)$ $= \frac{(2\sigma_{I,REF} + c_2)(2\bar{I}\bar{REF} + c_1)}{(\sigma_I^2 + \sigma_{REF}^2 + c_2)(\bar{I}^2 + \bar{REF}^2 + c_1)}$ bu eşitlikte; $\bar{I}$ ve $\bar{REF}$: ortalama değer	Yüksek (Değer 0 ve 1 arasında değişir, 1'e yaklaştıkça kalite artar.)

3.4 Kontrollü Sınıflandırma

Piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma, eğitim verisini (sınıf etiketi atanmış örnek girdi) temel alarak, görüntüdeki piksellerin parlaklık değerlerini (spektral bilgi) bu veri ile karşılaştırıp pikselleri benzer şekilde arazi kullanımı/örtüsü sınıflarına atar (Sunar vd., 2017). Bu çalışmada kullanılan Rastgele orman sınıflandırması parametrik olmayan bir kontrollü sınıflandırma yöntemidir. Bu yöntemde, kök düğüm, dal, uç düğüm yapısıyla oluşan birçok karar ağacı bütününde sınıflandırma gerçekleştirilir (Immitzer vd., 2012). Bu çalışmada test veri seti için Google Earth Pro kullanılmıştır.

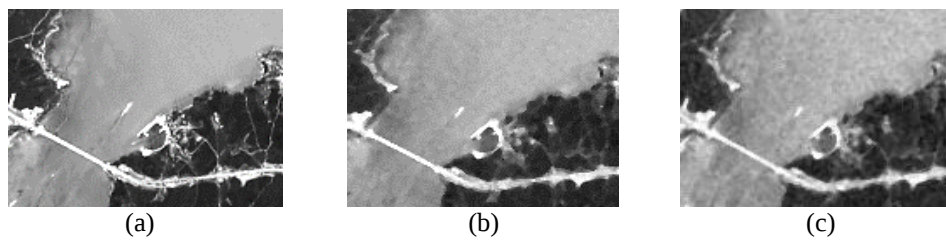
4. UYGULAMA

4.1 Gürültü Ekleme

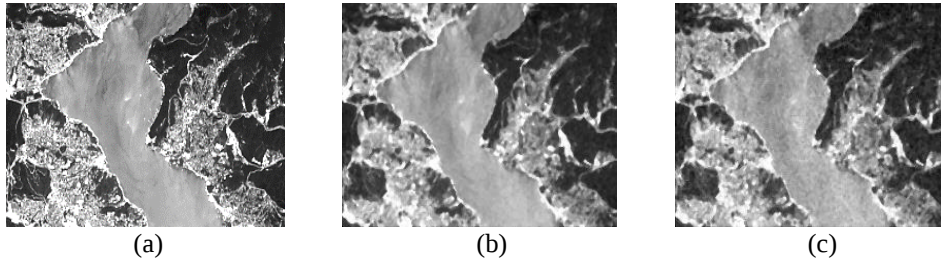
Çalışmada kullanılan 1 Temmuz 2020 tarihli Landsat 8 ve Sentinel 2 görüntülerinin ham görüntü (işlenmemiş) olmamasından dolayı iki farklı yoğunlukta Gauss gürültüsü ($\sigma=10$ ve $\sigma=20$) Mavi, Yeşil, Kırmızı, Yakın kızılötesi bantlarına MATLAB programı aracılığı ile eklenmiştir. Sigma yoğunluğu arttıkça görüntülerdeki gürültü oranı da artmaktadır.

4.2 Medyan Filtre ile Mekânsal Alanda Gürültü Giderme

Bu çalışmada elde edilen farklı mekânsal çözünürlüğe sahip gürültülü görüntülere 3x3 pencere boyutunda Medyan filtresi uygulanmıştır. Medyan filtrenin gürültü giderme etkisi, artan gürültü yoğunluğu ile test edilmiş ve beklenildiği gibi gürültü seviyesi arttıkça, görüntülerin bulanıklığının daha fazla arttığı ve keskinliğinin kaybolduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5). Diğer bir ifade ile, 3x3 Medyan filtre sonucunda gürültüler azaltılırken, görüntülerdeki homojen alanlarda (orman alanı, su alanı vb.) ve heterojen alanlarda (şehir alanı vb.) doğrusal yapıların (örn. yol) yeterince korunamadığı gözlemlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 5. Örnek homojen alanda 3x3 Medyan filtresi ile farklı yoğunluklarda Gauss gürültü giderimi. (a) Orijinal Landsat 8/Bant 2 görüntüsü, (b) $\sigma=10$ gürültü giderilmiş görüntü, (c) $\sigma=20$ gürültü giderilmiş görüntü.



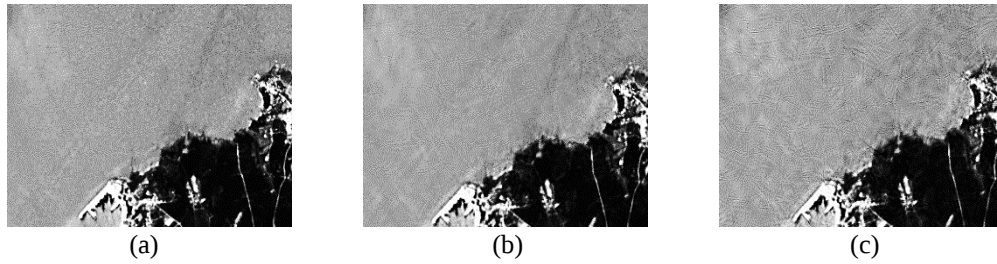
Şekil 6. Örnek heterojen alanda 3x3 Medyan filtre ile farklı yoğunluklarda Gauss gürültü giderimi. (a) Orijinal Landsat 8/Bant 2 görüntüsü, (b) $\sigma=10$ gürültü giderilmiş görüntü, (c) $\sigma=20$ gürültü giderilmiş görüntü.

Gürültüsü giderilmiş Landsat 8 ve Sentinel 2 görüntülerinin istatistiksel analizi Çizelge 2’de gösterilmektedir. Buna göre, 3x3 Medyan Filtre, istatistiksel olarak Landsat 8 görüntülerine göre daha yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip olan Sentinel 2 görüntülerinde daha iyi sonuçlar vermiştir. Ek olarak, 3x3 Medyan filtresi her iki uydu için de düşük yoğunluklu gürültülü görüntülerde ($\sigma=10$) görsel ve istatistiksel olarak daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

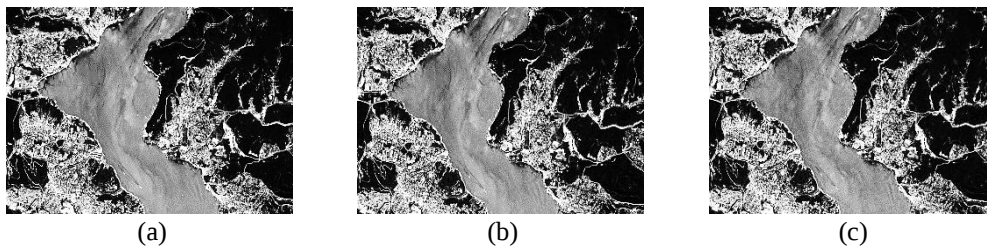
4.3 Curvelet Dönüşümü ile Frekans Alanında Gürültü Giderme

Bölüm 3.2’de bahsedildiği gibi Curvelet dönüşümünde, görüntüler katsayılar ayrıştırıldıktan sonra eşikleme için bir değerin seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışma için en iyi eşik değerleri, PSNR yardımı ile seçildikten sonra dönüşüm gerçekleştirilmiştir.

Yöntem, görsel olarak gürültüleri büyük ölçüde etkin bir şekilde giderse de gürültüsü giderilen görüntülerde özellikle homojen alanlarda, bazı yapay eğrilerin (artefakt) oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 7). Yöntemin en büyük avantajı ise gürültüler giderilirken, görüntülerin kenar bilgisi ve keskinliği gibi bazı önemli özelliklerini korumasıdır (Şekil 8).



Şekil 7. Örnek homojen alanda Curvelet sert eşikleme ile farklı yoğunluklarda Gauss gürültü giderimi. (a) Orijinal Sentinel 2/Bant 4 görüntüsü, (b) $\sigma=10$ gürültü giderilmiş görüntü, (c) $\sigma=20$ gürültü giderilmiş görüntü.



Şekil 8. Örnek heterojen alanda Curvelet sert eşikleme ile farklı yoğunluklarda Gauss gürültü giderimi. (a) Orijinal Sentinel 2/Bant 4 görüntüsü, (b) $\sigma=10$ gürültü giderilmiş görüntü, (c) $\sigma=20$ gürültü giderilmiş görüntü.

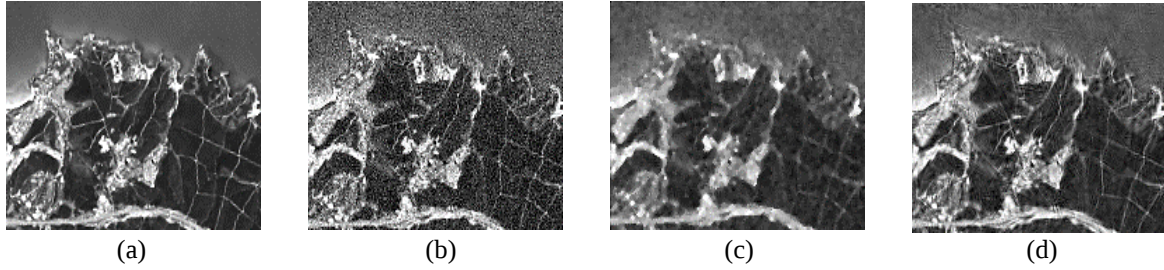
Çizelge 2’de görüldüğü gibi Curvelet sert eşikleme yönteminin düşük yoğunluklu gürültülü görüntülerde performansı artmaktadır. Yapısal benzerliği ölçmek için kullanılan SSIM ölçütünün 1’e yakın olması, bu yöntemin gürültüleri giderirken orijinal görüntüdeki yapıyı koruduğunu kanıtlamaktadır.

4.4 Gürültü Giderme Yöntemlerinin Kıyaslanması

Genel olarak her iki yöntem de düşük gürültü yoğunluğuna ve daha yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip Sentinel 2 görüntülerinde daha iyi performans göstermiştir. Gürültüsü giderilmiş görüntüler orijinal görüntü ile kıyaslandığında, Medyan filtrenin görüntüyü bulanıklaştırdığı için bazı lineer yapıların (örn. yollar) kaybolmasına sebep olduğu,

Curvelet sert eşikleme yönteminde ise bu etkinin daha az olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin Şekil 9'da görüldüğü gibi, kıyı şeridi, Curvelet sert eşikleme yönteminde Medyan filtre yöntemine göre daha iyi korunmuştur. Curvelet sert eşikleme yönteminin görsel olarak Medyan filtre yönteminden daha iyi olduğu görülse de özellikle su ve orman alanlarında istenmeyen yapay eğriler oluşturmıştır.

Görüntüler istatistiksel olarak karşılaştırıldığında oldukça yüksek SSIM ve düşük MSE değerleri, Curvelet sert eşikleme yönteminin, 3x3 Medyan filtrelemeye kıyasla özellikle $\sigma=10$ Gauss gürültüsü için daha iyi sonuç verdiğinden sınıflandırmada bu yoğunluktaki gürültülü görüntüler göz önüne alınmıştır. Diğer yandan, kullanılan her iki yöntemin gürültü giderme performansı arasında yüksek oranda bir fark olduğu gözlenmiştir (Çizelge 2).



Şekil 9. Örnek alanda iki farklı yöntemle $\sigma=20$ Gauss gürültü giderimi. (a) Orijinal Landsat 8/ Bant 3 görüntüsü, (b) $\sigma=20$ Gauss gürültülü görüntü, (c) 3x3 Medyan filtresi ile gürültüsü giderilmiş görüntü, (d) Curvelet sert eşikleme ile gürültüsü giderilmiş görüntü.

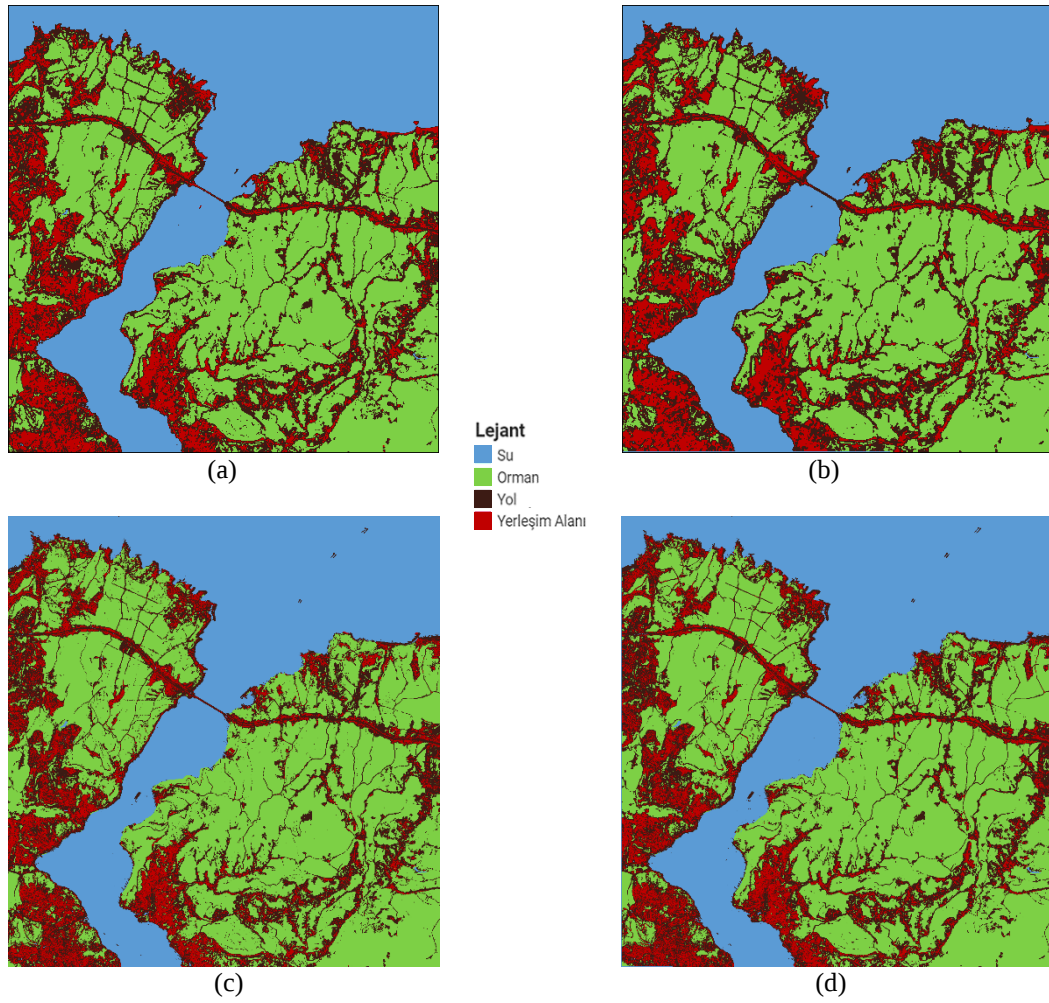
Çizelge 2. Gürültüsü giderilmiş Landsat 8 ve Sentinel 2 görüntülerinin istatistiksel analizi.

Yöntemler	PSNR				MSE				SSIM			
	Mavi	Yeşil	Kırmızı	Yakın Kızılötesi	Mavi	Yeşil	Kırmızı	Yakın Kızılötesi	Mavi	Yeşil	Kırmızı	Yakın Kızılötesi
Landsat 8												
$\sigma=10$ Gauss												
Medyan 3x3	24.47	24.44	23.87	27.05	232.44	234.09	266.60	128.28	0.78	0.78	0.79	0.79
Curvelet Sert Eşikleme	30.88	30.60	30.63	31.02	53.13	56.57	56.23	51.40	0.86	0.88	0.87	0.90
$\sigma=20$ Gauss												
Medyan 3x3	23.47	23.42	22.96	25.51	292.45	295.83	328.91	182.96	0.65	0.66	0.66	0.68
Curvelet Sert Eşikleme	26.37	26.08	26.08	26.89	150.12	160.31	160.51	132.96	0.73	0.75	0.74	0.85
Sentinel 2												
$\sigma=10$ Gauss												
Medyan 3x3	27.28	27.43	27.22	28.92	121.72	117.47	123.20	83.41	0.75	0.75	0.78	0.82
Curvelet Sert Eşikleme	31.79	31.51	31.95	32.08	43.09	45.96	41.55	40.27	0.85	0.85	0.86	0.90
$\sigma=20$ Gauss												
Medyan 3x3	25.69	25.73	25.56	26.77	175.50	173.92	180.57	136.86	0.62	0.64	0.64	0.69
Curvelet Sert Eşikleme	27.98	27.50	27.95	28.03	103.47	115.65	104.19	102.40	0.74	0.72	0.75	0.81

4.5 Kontrollü Sınıflandırma

Orijinal ve Curvelet sert eşikleme yöntemi ile gürültüsü giderilmiş Landsat 8 ve Sentinel 2 görüntülerinde kontrollü sınıflandırma için 300 karar ağacı kullanılarak, Rastgele Orman sınıflandırma yöntemi Google Earth Engine platformu üzerinde uygulanmıştır. Çalışma alanında seçilen 4 ana arazi kullanımı/örtüsü sınıfları, su, orman, yol ve yerleşim alanıdır.

Her iki uydu görüntüsü için, gürültüsü giderilmiş sınıflandırılmış görüntü ile orijinal sınıflandırılmış görüntü görsel olarak karşılaştırıldığında arazi örtüsü/kullanımı sınıflarında farklılıkların olmadığı görülmüştür (Şekil 10). Beklenildiği gibi Sentinel görüntülerinin daha yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip olması sınıflandırma doğruluğunu artırmıştır (Çizelge 3). Ayrıca, Curvelet sert eşikleme yöntemi Sentinel 2 görüntülerinde daha etkin bir performans gösterdiği için, orijinal görüntü ve gürültüsü giderilmiş görüntü arasındaki benzerlik sınıflandırılmış Landsat görüntülerinden daha fazladır. Ek olarak, her iki uydu görüntüsünün sınıflandırmasında yol sınıfı gibi lineer yapıların etkin şekilde korunması, Curvelet yönteminin görüntülerdeki gürültüyü ortadan kaldırırken/azaltırken bu yöndeki üstünlüğünü vurgulamaktadır.



Şekil 10. Sınıflandırılmış görüntüler. (a) Orijinal Landsat 8 görüntüsü, (b) Gürültüsü giderilmiş Landsat 8 görüntüsü, (c) Orijinal Sentinel 2 görüntüsü, (d) Gürültüsü giderilmiş Sentinel 2 görüntüsü.

Çizelge 3. Landsat 8 ve Sentinel 2 orijinal ve gürültüsü giderilmiş görüntülerinin doğruluk analizi.

	Genel Doğruluk %	Kappa katsayısı %
	Landsat 8	
Orijinal Görüntü	86	84
Gürültüsü Giderilmiş Görüntü	83	80
	Sentinel 2	
Orijinal Görüntü	92	90
Gürültüsü Giderilmiş Görüntü	90	87

5. SONUÇLAR

Günümüzde gürültü giderme; görüntü iyileştirme, segmentasyon ve sınıflandırma gibi bilgi çıkarmaya yönelik çeşitli görüntü işleme uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır. Görüntülerdeki gürültüleri gidermek için birçok yöntem geliştirilerek çeşitli çözümler sunulmuş ve bu yöntemlerin avantajları ve sınırlamalarının birçok etkene (gürültü tipine, uygulamada kullanılan programa vb.) bağlı olarak farklılık gösterdiği yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur. Ancak gürültü giderme tekniklerinin, uydu görüntülerine uygulandığı literatürdeki çalışmalara sınırlı sayıda rastlanmıştır, bu nedenle bu çalışmada, iki farklı işleme alanında seçilen gürültü giderme yöntemleri üç farklı görüntü kalite ölçütü (PSNR, SSIM ve MSE) esas alınarak karşılaştırılmıştır.

Öncelikle, elde edilen bulgulara göre artan mekânsal çözünürlük, görüntülerin görsel kalitesini doğrudan etkilediği için gürültü giderme tekniklerinin performansında olumlu yönde bir etkisinin olduğu saptanmıştır.

Mekânsal alanda kullanılan 3x3 Medyan filtre her iki uydu görüntüsünde de iki farklı Gauss gürültü yoğunluğu için karşılaştırıldığında, düşük yoğunlukta olan gürültünün gideriminde daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Daha açık bir ifade ile, gürültüsü giderilmiş görüntülerde; $\sigma=10$ Gauss gürültüsü, $\sigma=20$ Gauss gürültüsünden yaklaşık %20 daha yüksek PSNR ve %30 daha düşük MSE değerine sahiptir. Diğer yandan, 3x3 Medyan filtre ile görüntülerdeki gürültünün tamamen kaybolmadığı gözlemlenmiştir. Frekans alanında uygulanan Curvelet sert eşikleme ile görüntülerdeki detaylar korunmuştur ancak bazı alanlarda yapay eğrilerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Her iki işleme alanında uygulanan yöntemler karşılaştırıldığında, 3x3 Medyan filtreleme daha kısa işleme süresi ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle ön plana çıksa da genel olarak istatistiksel ve görsel açıdan Curvelet sert eşikleme yönteminin daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bağlamda, gürültüsü giderilmiş görüntülerde, Curvelet sert eşikleme yöntemi, 3x3 Medyan filtrelemesine göre yaklaşık %25 daha yüksek PSNR ve %20 daha yüksek SSIM değerine sahip olduğundan sınıflandırmada bu yöntemle giderilmiş görüntü esas alınmıştır.

Sınıflandırma ve doğruluk analizi sonrasında, sınıflandırılmış orijinal ve Curvelet sert eşikleme yöntemi ile gürültüsü giderilmiş görüntüler arasında bilgi kaybına sebep olacak farklılıkların olmadığı, diğer bir deyişle, hem nitel hem de nicel açıdan benzer sonuçların elde edildiği tespit edilmiştir.

Yazarların bir önceki çalışmasında elde ettikleri bulgulara göre seçilen iki farklı gürültü giderme yönteminin geliştirilmesine yönelik yapılan bu uygulamanın devamı olarak gelecekte, artan mekânsal çözünürlüğün etkisinin yanı sıra farklı gürültü tipleri de göz önüne alınarak, geliştirilen yeni yaklaşımların irdelenmesi planlanmaktadır.

6. TEŞEKKÜR

Çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 2209-B Üniversite Öğrencileri Sanayiye Yönelik Araştırma Projeleri Desteği Programı kapsamında desteklenmektedir. Ayrıca desteklerinden dolayı Türk Havacılık ve Uzay Sanayii AŞ. (TUSAŞ) kurumuna da teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Bhutada, G. G., Anand, R. S. ve Saxena, S. C., 2011. Edge Preserved Image Enhancement Using Adaptive Fusion of Images Denoised by Wavelet and Curvelet transform. *Digital Signal Processing*, 21(1), syf: 118-130.

Immitzer, M., Atzberger, C. ve Koukal, T., 2012. Tree Species Classification with Random Forest Using Very High Spatial Resolution 8-Band Worldview-2 Satellite Data. *Remote Sensing*, 4(9), syf: 2661-2693.

Naveed, K., Shaukat, B., Ehsan, S., Mcdonald-Maier, K. D. ve ur Rehman, N., 2019. Multiscale Image Denoising Using Goodness-of-Fit Test Based on EDF Statistics. *PLOS ONE*, 14(5), syf:1-25.

Oğuzhanoglu, S., Kapucuoğlu, İ. ve Sunar, F., 2022. Comparison Of Satellite Image Denoising Techniques in Spatial And Frequency Domains. *ISPRS 24. Kongresi - International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Informaton Sciences*, Nice, Fransa, XLIII-B3-2022, syf: 1241–1247.

Reddy, P.L., Pawar, S. ve Reddy, S.L.P., 2021. Curvelet Transform based Denoising of Multispectral Remote Sensing Images. *Journal of Physics: Conference Series*, 2089(1).

Ruikar, S.D. ve Doye, D.D., 2011. Wavelet Based Image Denoising Technique. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2(3).

Sunar, F., Özkan, C. ve Osmanoğlu, B., 2011. *Uzaktan Algılama*. 1. basım, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir. 210 sayfa.

Sunar, F., Özkan, C., Ok, A.Ö., Osmanoğlu, B., Avcı, Z.D.U. ve Berberoğlu, S., 2017. *Dijital Görüntü İşleme*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

Yu, H., Zhao, L. ve Wang, H., 2009. Image Denoising Using Trivariate Shrinkage Filter in the Wavelet Domain and Joint Bilateral Filter in the Spatial Domain. *IEEE Transactions on Image Processing*, 18(10), syf: 2364- 2369.