

[1130]

RASAT VE GÖKTÜRK-2 GÖRÜNTÜLERİNDEN PAN-KESKİNLEŞTİRİLMİŞ GÖRÜNTÜ ÜRETİMİ VE KALİTE DEĞERLENDİRMESİ

Mustafa ÖZENDİ¹, Hüseyin TOPAN¹, Ali CAM¹, Çağlar BAYIK¹

¹Bülent Ecevit Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, (mustafa.ozendi.topan@beun.edu.tr, alicam193@gmail.com, caglarbayik@beun.edu.tr)

ÖZET

RASAT ve GÖKTÜRK-2, Ülkemizin çalışır durumdaki iki optik uzaktan algılama uydusudur. RASAT uydusunun 7.5m pankromatik ve 15m görünür bantlarda yer örnekleme aralığı sahipken GÖKTÜRK-2 uydusu 2.5m pankromatik ve 5m görünür ve yakın kızılötesi bantlarda yer örnekleme aralığına sahiptir. Bu farklı çözünürlükteki bantlar uzaktan algılamanın önemli bir uygulama alanı olan pan-keskinleştirme yöntemleri ile birleştirilebilmektedir. Böylece yüksek geometrik çözünürlüğe sahip pankromatik bantlar ile yüksek spektral çözünürlüğe sahip renkli bantlar birleştirilerek yüksek geometrik çözünürlüklü ve renkli görüntüler elde edilebilir. Literatürde birçok pan-keskinleştirme yöntemi olmasına rağmen keskinleştirilmiş görüntülerin kalite değerlendirilmesi için henüz standart bir metodoloji geliştirilememiştir.

Bu çalışmanın amacı RASAT ve GÖKTÜRK-2 görüntülerinin pan-keskinleştirme performansının incelenmesidir. Bu amaç doğrultusunda en yaygın yöntemlerden üçü IHS, Brovey ve PCA ile keskinleştirilmiş görüntüler üretilmiştir. Daha sonra üretilen bu görüntüler nicel olarak değerlendirilmiştir. Nicel değerlendirme için Correlation Coefficient (CC), Root Mean Square Error (RMSE), Relative Average Spectral Error (RASE), Spectral Angle Mapper (SAM) ve Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse (ERGAS) ölçütleri kullanılmıştır. Keskinleştirilmiş görüntülerin üretimi ve nicel değerlendirme için Matlab ortamında geliştirilen SharpQ adı verilen bir program kullanılmıştır. Nicel değerlendirme sonuçlarına göre PCA ile üretilen görüntü RASAT ile en yüksek benzerlik sunarken GÖKTÜRK-2 için Brovey ile üretilen görüntü en benzer olanıdır. Son olarak, keskinleştirilmiş görüntüler nitel olarak değerlendirilmiştir. Nitel değerlendirmede nesnelere varlığı ve tam olup olmadıkları dikkate alınmıştır. Nitel değerlendirme uzaktan algılama görüntüleri ile tecrübesi olan bir grup operatör tarafından yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Brovey, Correlation Coefficient, ERGAS, GÖKTÜRK-2, IHS, PCA, RASAT, RASE, RMSE, SAM,

ABSTRACT

PAN SHARPENING QUALITY INVESTIGATION OF TURKISH IN-OPERATION REMOTE SENSING SATELLITES: APPLICATIONS WITH RASAT AND GÖKTÜRK-2 IMAGES

Recently two optical remote sensing satellites, RASAT and GÖKTÜRK-2, launched successfully by the Republic of Turkey. RASAT has 7.5 m panchromatic, and 15 m visible bands whereas GÖKTÜRK-2 has 2.5 m panchromatic and 5 m VNIR (Visible and Near Infrared) bands. These bands with various resolutions can be fused by pan-sharpening methods which is an important application area of optical remote sensing imagery. So that, the high geometric resolution of panchromatic band and the high spectral resolution of VNIR bands can be merged. In the literature there are many pan-sharpening methods. However, there is not a standard framework for quality investigation of pan-sharpened imagery.

The aim of this study is to investigate pan-sharpening performance of RASAT and GÖKTÜRK-2 images. For this purpose, pan-sharpened images are generated using most popular pan-sharpening methods IHS, Brovey and PCA at first. This procedure is followed by quantitative evaluation of pan-sharpened images using Correlation Coefficient (CC), Root Mean Square Error (RMSE), Relative Average Spectral Error (RASE), Spectral Angle Mapper (SAM) and Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse (ERGAS) metrics. For generation of pan-sharpened images and computation of metrics SharpQ tool is used which is developed with MATLAB computing language. According to metrics, PCA derived pan-sharpened image is the most similar one to multispectral image for RASAT, and Brovey derived pan-sharpened image is the most similar one to multispectral image for GÖKTÜRK-2. Finally, pan-sharpened images are evaluated qualitatively in terms of object availability and completeness for various land covers (such as urban, forest and flat areas) by a group of operators who are experienced in remote sensing imagery.

Keywords: Brovey, Correlation Coefficient, ERGAS, GÖKTÜRK-2, IHS, PCA, RASAT, RASE, RMSE, SAM,

1.GİRİŞ

Optik tabanlı uzaktan algılama uyduları yeryüzünün aynı bölgesini kapsayan MS (Multispektral) ve PAN (Pankromatik) görüntüleri eş zamanlı olarak elde edebilmektedirler. MS görüntüler yüksek spektral çözünürlük sunarken PAN görüntüler her zaman daha yüksek geometrik çözünürlük sunarlar. Geometrik çözünürlüğü yüksek MS görüntüler üretebilmek amacıyla pan-keskinleştirme veya görüntü kaynaştırma yöntemleri kullanılmaktadır.

Literatürde uzaktan algılama, bilgisayarla görme ve görüntü işleme disiplinlerinin geliştirdiği birçok pan-keskinleştirme yöntemi bulunmaktadır. Daha detaylı literatür taraması için Pohl and Van Genderen (1998), Karathanassi et al. (2007) ve Ehlers et al. (2010) sundukları derleme çalışmalarına başvurulabilir. Her pan-keskinleştirme yönteminin kendine göre güçlü ve zayıf yönleri vardır. Kimi yöntemler konumsal bilgiyi öne çıkarırken kimi yöntemler ise renk bilgisinin korunmasını hedeflemektedir. Bu yüzden pan-keskinleştirme ile üretilen görüntülerinin nicelik ve nitelik olarak kalite değerlendirmesinin yapılması gerekmektedir (Klonus and Ehlers, 2009). CC (Correlation Coefficient), RMSE (Root Mean Square Error), RASE (Relative Average Spectral Error) ve SAM (Spectral Angle Mapper) gibi ölçütler nicel kalite değerlendirme işlemi için sıklıkla kullanılan ölçütlerdir (Alparone et al., 2007). Bu ölçütler sayesinde pan-keskinleştirilmiş görüntü ve orijinal MS görüntü arasındaki benzerlik ve spektral kalite belirlenebilir. Kalite değerlendirme amaçlı olarak bu yaklaşım birçok çalışmada kullanılmıştır Tsai V.J.D. (2004), Zhang Y. (2008), Khan M.M. vd. (2008), Chen S.H. vd. (2008), Klonus S. ve Ehlers M. (2009), Makarau A. vd. (2012), Yuhendra vd. (2012), Yusuf Y. vd. (2013) ve Sarp G. (2014). Bu çalışmalar referans görüntüye ihtiyaç duymaktadırlar ve bu görüntü genellikle pan-keskinleştirilmiş görüntü ile aynı geometrik çözünürlüğe sahip bir görüntüdür. Diğer taraftan Alparone et al. (2008) tarafından geliştirilen QNR (Quality Not requiring a Reference) ve MTF'nu (Modülasyon Transfer Fonksiyonu) kullanan (Khan et al., 2009) tarafından geliştirilmiş yöntemler referans veriye ihtiyaç duymadan kalite değerlendirmesi yapabilmektedir (Laporterie-Déjean et al., 2005).

Bu çalışmada RASAT ve GÖKTÜRK-2 uydu görüntülerinin pan-keskinleştirme başarımları incelenmiştir. Bu amaç için SharpQ yazılımı kullanılmıştır (Ozendi et al., 2015). Bu yazılım, akademik/egitim ve ticari yazılımların çoğunda kullanılan PCA (Principal Component Analysis), IHS dönüşümü (Intensity Hue Saturation) ve Brovey dönüşümü yöntemlerini kullanarak pan-keskinleştirilmiş görüntü üretebilmesinin yanında kalite ölçütlerinden CC, RASE, SAM, RMSE ve ERGAS ölçütlerini hesaplayabilmektedir.

2. VERİ SETİ VE TEST ALANI

Bilsat ile edinilen tecrübeden sonra RASAT uydusu 17 Ağustos 2011 tarihinde fırlatılmıştır. RASAT Türkiye'de tasarlanan ve inşa edilen ilk uzaktan algılama uydusudur. RASAT görüntüleri GEZGİN portalı kullanılarak vatandaşlarımız tarafından ücretsiz bir şekilde indirilebilmektedir. RASAT teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. RASAT teknik özellikleri.

Yükseklik	~700km
Konumsal Çözünürlük	PAN 7.5m – MS 15m
Tarama Genişliği	30km
Radyometrik Çözünürlük	8 bit
Zamansal Çözünürlük	4 gün

GÖKTÜRK-2; TUSAŞ (Türk Havacılık ve Uzay Sanayii AŞ) ve TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü tarafından ortaklaşa tasarlanıp inşa edilen bir uzaktan algılama uydusudur. Resmi kurumlar ve eğitim kurumları GÖKTÜRK-2 görüntülerini Türk Hava Kuvvetleri Komutanlığından ücretsiz olarak talep edebilmektedir. GÖKTÜRK-2 uydusunun bazı teknik özellikleri Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2. GÖKTÜRK-2 teknik özellikleri.

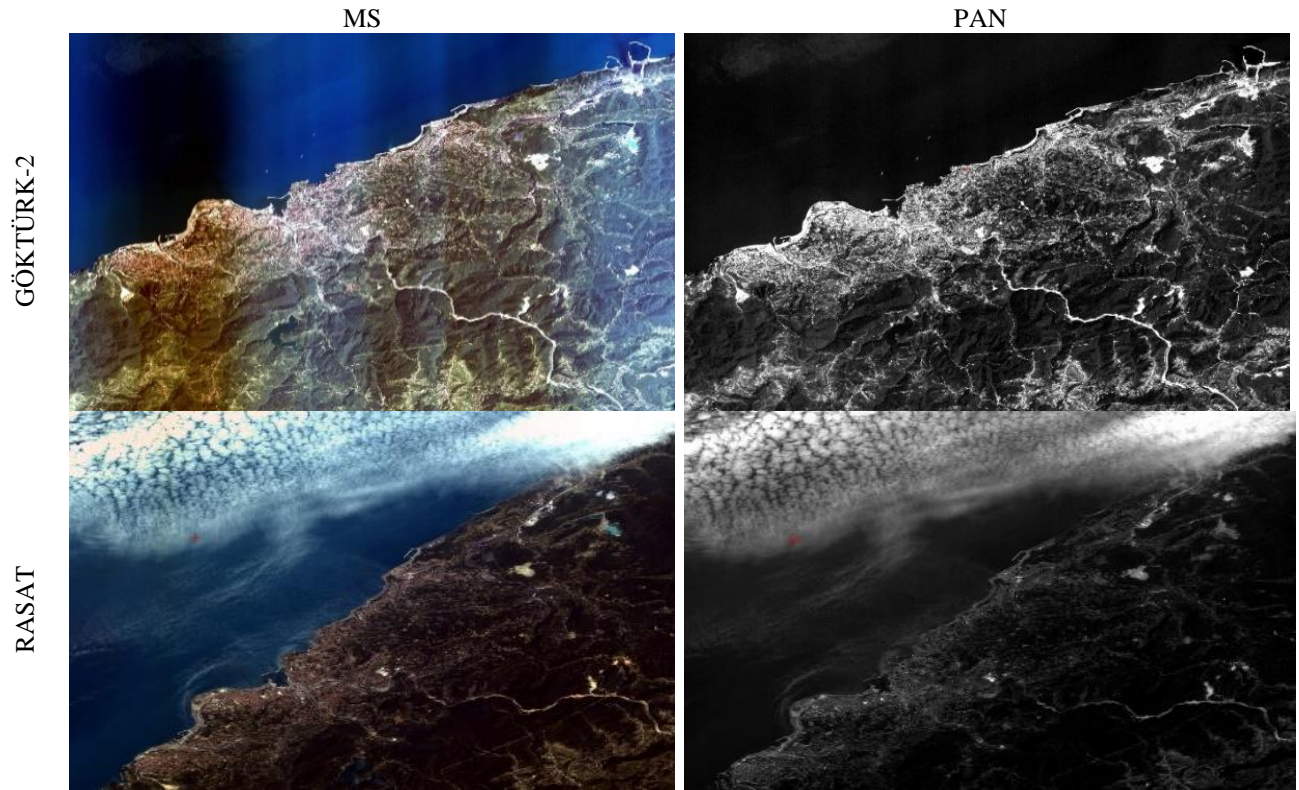
Yükseklik	~700km
Konumsal Çözünürlük	PAN 2.5m – MS 5m
Tarama Genişliği	20km
Radyometrik Çözünürlük	11 bit
Zamansal Çözünürlük	2-3 gün

Bu çalışma Zonguldak test alanında gerçekleştirilmiştir. Zonguldak test alanında birçok optik ve mikrodalga uzaktan algılama sistemlerinin çeşitli konumsal uygulamalar için kullanıldığı elverişli bir test bölgesidir. Zonguldak test alanı Şekil 1'de gösterilmiştir.

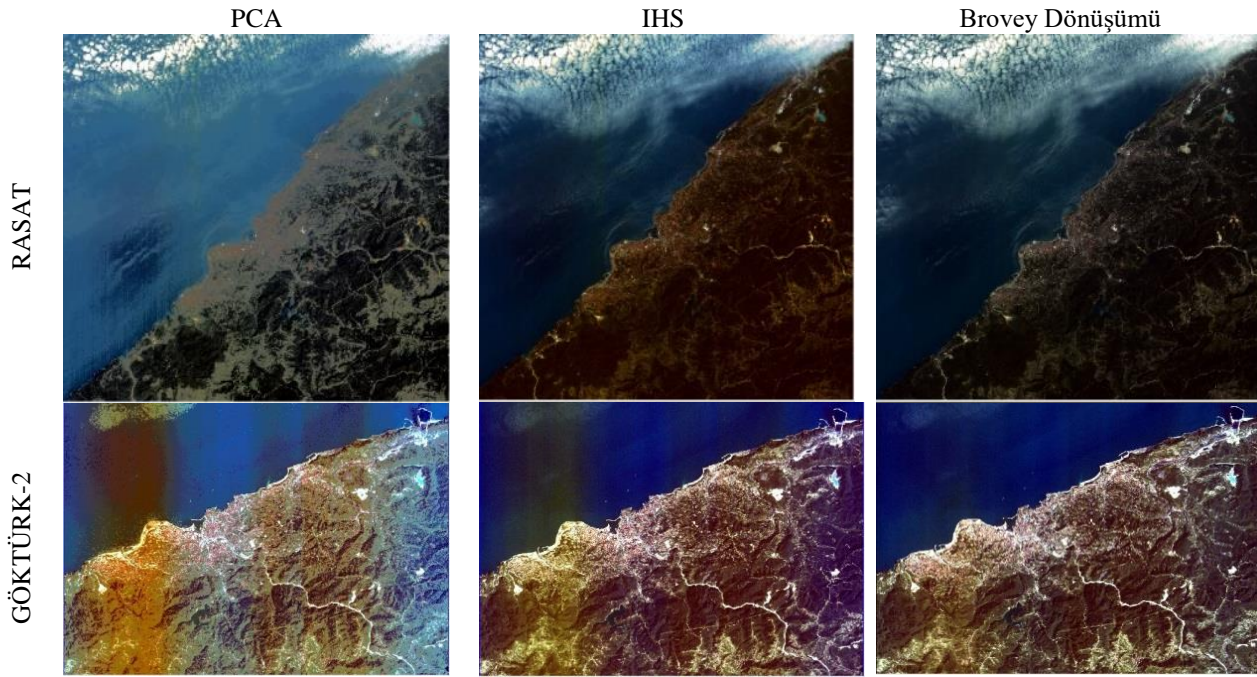


Şekil 1. Zonguldak test alanı.

Bu test alanının temel özellikleri, dağlık ve engebeli bir araziye sahip olması, yoğun orman ve tarım alanları, farklı hirdolojik yapılar (ırmak, deniz ve barajlar gibi), açık ve kapalı madencilik faaliyet alanları, termal enerji tesisleri ve büyük demir-çelik fabrikaları içermesidir. RASAT ve GÖKTÜRK-2 Level 1 görüntüleri (Şekil 2) kullanılarak üç farklı pan-keskinleştirilmiş görüntü üretilmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. GÖKTÜRK-2 ve RASAT görüntüleri.



Şekil 3. Pan-keskinleştirilmiş görüntüler.

3.NICEL KALITE DEĞERLENDİRME

Pan-keskinleştirilmiş görüntüler Level 1 görüntülerinden üretilmiştir. Level 1 görüntüleri ise orijinal görüntülere (Level 0) dedektörler tarafından üretilen elektronik yükler arası değişimlerinin dengelenmesi ile elde edilmiştir (Atak et al., 2015). Bu dengeleme işlemine rağmen bu durumun sebep olduğu değişimler Şekil 2’de de görüldüğü gibi GÖKTÜRK-2 pan-keskinleştirilmiş görüntülerinde bulunmaktadır. Diğer taraftan RASAT pan-keskinleştirilmiş görüntüler bu işlem daha başarılı gerçekleştirilmiştir. Radyometrik kalibrasyon çalışmaları görüntüler temin edildikten sonra yapılmıştır (Teke et al., 2016).

Şekil 2’de de görüldüğü gibi konumsal ve spektral açıdan karşılaştırma yapıldığı zaman pan-keskinleştirilmiş görüntüler ile orijinal PAN ve MS görüntüler arasında bazı farklılıklar mevcuttur. Pan-keskinleştirilmiş görüntüler ile orijinal MS görüntüler arasındaki benzerlik CC, RMSE, RASE, SAM ve ERGAS metrikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Takip eden bölümler RASAT ve GÖKTÜRK-2 görüntüleri için hesaplanmış metrik sonuçlarını sırası ile sunmuştur.

3.1.RASAT Pan-Keskinleştirilmiş Görüntülerin Nicel Kalitesinin Belirlenmesi

CC, RASE, SAM, RMSE ve ERGAS metrikleri Ozendi et al. (2015) tarafından geliştirilen SharpQ yazılımı ile hesaplanmıştır. Bu metrikler her pan-keskinleştirilmiş görüntü için orijinal MS görüntüler referans görüntü kabul edilerek hesaplanmıştır. RASAT pan-keskinleştirilmiş görüntüleri için hesaplanan metrik sonuçları Çizelge 3’te verilmiştir. Çizelgede sonuçlar üç farklı renk ile gösterilmiştir. Gri renk, optimum değeri yani orijinal MS ile pan-keskinleştirilmiş görüntünün aynı olduğu anlamına gelmektedir. Kırmızı renk en kötü değeri yani orijinal MS ile pan-keskinleştirilmiş görüntünün matematiksel olarak birbirine en uzak olduğu anlamına gelmektedir. Son olarak yeşil renk ise en iyi değeri göstermektedir. Bu durumda orijinal MS ile pan-keskinleştirilmiş görüntünün birbirine en benzer olduğu durumdur.

Çizelge 3. RASAT pan-keskinleştirilmiş görüntüler için nicel değerlendirme sonuçları.

	CC	RMSE	RASE	SAM	ERGAS
	1	0	0	0	0
PCA	0.8481	3325.70	2359.068	0.0996	1186.342
IHS	0.9705	7691.00	5674.016	0.3206	2686.754
Brovey	0.9724	14119.00	10095.99	0.0076	4869.667

Optimum Değer
 En İyi Değer
 En Kötü Değer

Çizelge 3'e göre PCA ile üretilen görüntü en benzer görüntüyü üretmiştir. Diğer taraftan, IHS ile üretilen görüntü orijinal görüntü ile en az benzerlik göstermektedir.

3.2.GÖKTÜRK-2 Pan-Keskinleştirilmiş Görüntülerin Nicel Kalitesinini Belirlenmesi

Bölüm 3.1'de anlatılan işlemler GÖKTÜRK-2 pan-keskinleştirilmiş görüntüleri için de uygulanmıştır ve sonuçlar Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. GÖKTÜRK-2 pan-keskinleştirilmiş görüntüler için nicel değerlendirme sonuçları.

	CC	RMSE	RASE	SAM	ERGAS
	1	0	0	0	0
PCA	0.861	5.49×10^{-4}	31279.76	0.677	11170.16
IHS	0.866	5.18×10^{-4}	28665,06	0.329	10483,63
Brovey	0.582	3.56×10^{-4}	19338.17	0.003	7195.65

Optimum Değer
En İyi Değer
En Kötü Değer

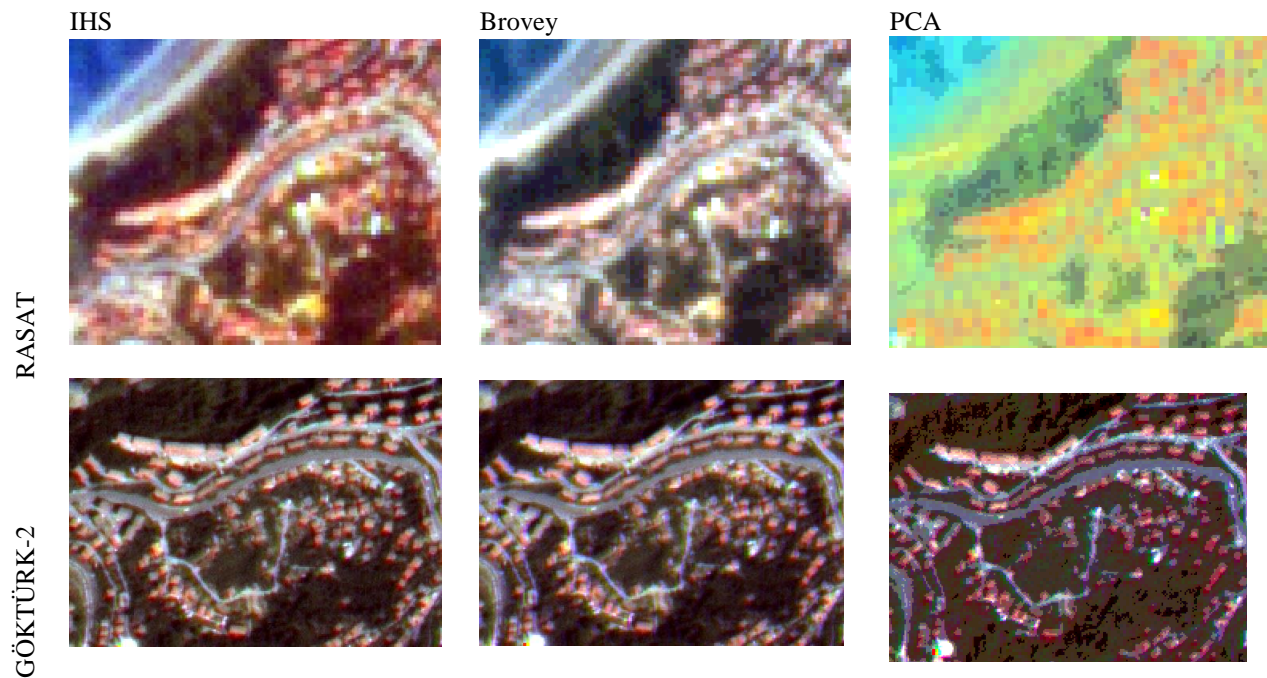
Çizelge 4 incelendiğinde Brovey dönüşümü ile üretilen pan-keskinleştirilmiş görüntü en benzer görüntü iken PCA ile üretilen keskinleştirilmiş görüntü en az benzerlik gösteren görüntüyü ortaya çıkarmıştır. Çizelge 3 ve 4 beraber incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılabilir:

RASE ve ERGAS ölçütleri RMSE'ye bağlı olarak üretilir. Bu sebepten RASE ve ERGAS benzer sonuçları üretmiştir.

CC ölçütü GÖKTÜRK-2 için en iyi sonucu vermiştir çünkü dedektörlerin ürettiği farklı elektronik yükler hem orijinal MS hem de pan-keskinleştirilmiş görüntüde mevcut durumdadır.

4.GÖRSEL KALİTE DEĞERLENDİRME

GÖKTÜRK-2 görüntülerinin geometrik çözünürlüğü RASAT görüntülerinden çok daha yüksektir. Bunun bir sonucu olarak GÖKTÜRK-2 keskinleştirilmiş görüntüleri RASAT keskinleştirilmiş görüntülerine göre çok daha yüksek görsel kalite sunmaktadır. Görsel kalite değerlendirme işlemi uzaktan algılama görüntülerinde uzman bir grup operatör tarafından yapılmıştır. Örnek bir test alanının bütün keskinleştirilmiş görüntülerdeki görünümü Şekil 4 ile sunulmuştur.



Şekil 4. Test alanının bütün keskinleştirilmiş görüntülerdeki görünümü.

Görsel kalite değerlendirme işlemi Çizelge 5 ile verilen kriterler ile yapılmıştır. Çizelge 5 dikkate alındığında aşağıdaki çıkarımları yapmak mümkündür:

PCA hem RASAT hem de GÖKTÜRK-2 için en kötü keskinleştirilmiş görüntüleri üretmiştir.

Daha önce de bahsedildiği gibi farklı elektronik yükler RASAT ve GÖKTÜRK-2 görüntülerinde mevcut olmasına rağmen bu durum GÖKTÜRK-2'nin Brovey dönüşümü ile üretilen keskinleştirilmiş görüntüsünde neredeyse hiç bulunmamaktadır.

Doğallık açısından en doğal görüntüler Brovey dönüşümü ile ortaya çıkmıştır.

Arazi örtüsü sınıflandırması önemli bir uygulama alanıdır ve bu uygulama için IHS ve Brovey ile üretilen görüntülerin daha başarılı olduğu gözlenmiştir.

Nesne tanıma sadece yol ağı ve binalar açısından değerlendirilmiştir. RASAT keskinleştirilmiş görüntülerinde sadece anayollar tanınabilmektedir. Diğer taraftan GÖKTÜRK-2 keskinleştirilmiş kullanılarak bütün yol ağı tanınabilmektedir.

Çizelge 4. GÖKTÜRK-2 Pan-keskinleştirilmiş görüntüler için nitel değerlendirme sonuçları.

		Dedektör Tepki Etkisi	Doğal Görünüm	Arazi Örtüsü Ayrımı	Yol Ağı Tanıyabilme	Ayrık Nesne Tanıyabilme
RASAT	PCA	Var	En kötü	Çok az	Sadece anayollar	Mümkün değil
	IHS	PCA'den daha iyi	PCA'den daha iyi	PCA'den daha iyi	PCA'den daha iyi	Nesneler kümelendirilebilir
	Brovey	PCA'den daha iyi IHS ile neredeyse aynı	En iyi	IHS ile aynı	IHS ile neredeyse aynı	Nesneler kümelendirilebilir
GÖKTÜRK-2	PCA	Var	En kötü	Yapılabilir	Bütün yol ağı tanıyabilir	Binalar sayılabilir ama sınırları çıkarılamaz
	IHS	Var	PCA'den daha iyi	PCA'den daha iyi	PCA'den daha iyi	Bina sınırları çıkarılabilir
	Brovey	Neredeyse yok	En iyi	IHS ile neredeyse aynı	IHS ile neredeyse aynı	Bina sınırlarının tanınabilmesi IHS'den daha kötü

5.SONUÇLAR

Bu çalışmada RASAT ve GÖKTÜRK-2 görüntülerinin pan-keskinleştirme kalitesi incelenmiştir. Keskinleştirilmiş görüntülerin üretilmesinde PCA, IHS ve Brovey dönüşümü kullanılmıştır. Nicel kalite değerlendirmesi istatistik ölçütler ile görsel kalite değerlendirmesi ise uzaktan algılamada uzman bir grup operatör tarafından gerçekleştirilmiştir.

Orijinal görüntülerde mevcut olan dedektörlerin farklı elektronik yük üretmesinin etkisi keskinleştirilmiş görüntülerde de mevcuttur. Ama bu etki en az Brovey dönüşümü ile üretilen GÖKTÜRK-2 keskinleştirilmiş görüntüsünde gözlemlenmiştir. Yer örnekleme aralığı ve radyometrik çözünürlük nesnelerin tanınmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu sebepten GÖKTÜRK-2 keskinleştirilmiş görüntülerinden nesne tanıma daha başarılıdır. Nicel ve görsel kalite değerlendirme işlemlerinin sonucunda Brovey ve IHS dönüşümleri daha kaliteli görüntüler üretebilmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, GÖKTÜRK-2 görüntülerinin temini nedeniyle Türk Hava Kuvvetleri Komutanlığına teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Alparone, L., Aiuzzi, B., Baronti, S., Garzelli, A., Nencini, F., Selva, M., 2008, Multispectral and Panchromatic Data Fusion Assessment Without Reference, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74(2), 193-200.

- Alparone, L., Wald, L., Chanussot, J., Thomas, C., Gamba, P., Bruce, L.M.,** 2007, Comparison of Pansharpening Algorithms: Outcome of the 2006 GRS-S Data-Fusion Contest, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(10), 3012-3021.
- Atak, V.O., Erdoğan, M., Yılmaz, A.,** 2015, Göktürk-2 Uydu Görüntü Testleri, *Harita Dergisi* 153, 18-33.
- Chen, S.H., Su, B., Zhang, H.,** 2008, Feature space and metric measures for fusing multisensor images, *International Journal of Remote Sensing*, 29(11), 3257-3270.
- Ehlers, M., Klonus, S., Johan Åstrand, P., Rosso, P.,** 2010, Multi-sensor image fusion for pansharpening in remote sensing. *International Journal of Image and Data Fusion*, 1(1), 25-45.
- Karathanassi, V., Kolokousis, P., Ioannidou, S.,** 2007, A comparison study on fusion methods using evaluation indicators. *International Journal of Remote Sensing*, 28(10), 2309-2341.
- Khan, M.M., Alparone, L., Chanussot, J.,** 2009, Pansharpening Quality Assessment Using the Modulation Transfer Functions of Instruments, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(11), 3880-3891.
- Khan, M.M., Chanussot, J., Condat, L., Montanvert, A.,** 2008, Indusion: Fusion of Multispectral and Panchromatic Images Using the Induction Scaling Technique, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 5(1), 98-102.
- Klonus, S., Ehlers, M.,** 2009, Performance of evaluation methods in image fusion, *12th International Conference on Information Fusion*, Seattle, WA, USA.
- Laporterie-Déjean, F., de Boissezon, H., Flouzat, G., Lefèvre-Fonollosa, M.-J.,** 2005, Thematic and statistical evaluations of five panchromatic/multispectral fusion methods on simulated PLEIADES-HR images. *Information Fusion*, 6(3), 193-212.
- Makarau, A., Palubinskas, G., Reinartz, P.,** 2012, Selection of numerical measures for pan-sharpening assessment, *2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, syf: 2264-2267.
- Ozendi, M., Topan, H., Oruc, M., Cam, A.,** 2015, Pan-sharpening quality investigation of PLÉIADES-1A images. *Geocarto International*, 31(8), 881-890.
- Pohl, C., Van Genderen, J.L.,** 1998, Review article Multisensor image fusion in remote sensing: Concepts, methods and applications. *International Journal of Remote Sensing*, 19(5), 823-854.
- Sarp, G.,** 2014, Spectral and spatial quality analysis of pan-sharpening algorithms: A case study in Istanbul. *European Journal of Remote Sensing*, 47, 19-28.
- Teke, M., Demirkesen, C., Haliloğlu, O., İmre, E.,** 2016, Göktürk-2 Uydusunun Bağlı ve Mutlak Çapraz Radyometrik Kalibrasyonu, *Harita Dergisi*.
- Tsai, V.J.D.,** 2004, Evaluation of multiresolution image fusion algorithms, *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS '04. Proceedings. 2004 IEEE International*, syf: 1-624.
- Yuhendra, Alimuddin, I., Sumantyo, J.T.S., Kuze, H.,** 2012, Assessment of pan-sharpening methods applied to image fusion of remotely sensed multi-band data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18, 165-175.
- Yusuf, Y., Sri Sumantyo, J.T., Kuze, H.,** 2013, Spectral information analysis of image fusion data for remote sensing applications. *Geocarto International*, 28(4), 291-310.
- Zhang, Y.,** 2008, Methods for image fusion quality assessment-a review, comparison and analysis. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 37(B7), 1101-1109.