

[1183]

PLÉIADES PROJESİ: PLÉIADES 1A PANKROMATİK VE ÇOK BANTLI GÖRÜNTÜLERİNİN KONUM DOĞRULUĞUNUN, GÖRÜNTÜ KALİTESİNİN, PAN-KESKİNLEŞTİRME BAŞARIMININ VE SAYISAL YÜZEY/ARAZİ MODELİ KALİTESİNİN BELİRLENMESİ

Hüseyin TOPAN¹, Ali CAM², Mustafa ÖZENDİ³, Murat ORUÇ⁴, Talha TAŞKANAT⁵

¹Doç. Dr., Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak, topan@beun.edu.tr

²Müh., Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak, alicam193@gmail.com

³Arş. Gör., Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak, mustafa.ozendi@beun.edu.tr

⁴Uzm., Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak, orucm@hotmail.com

⁵Arş. Gör., Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kayseri, talhataskanat@erciyes.edu.tr

ÖZET

Pléiades 1A ve 1B, Fransa ve İtalya tarafından ortaklaşa yürütülen ORFEO (Optical and Radar Federated Earth Observation) programının ikiz optik uydularıdır. Bu uydular Avrupa'nın metre altı geometrik çözünürlüğüne sahip ilk uydularıdır. Airbus Defence and Space (eski adıyla Astrium Geo), Pléiades görüntülerinin farklı uygulamalarda kullanılabilirliğini belirlemek için 2012 yılında MyGIC (eski adıyla Pléiades Kullanıcılar Grubu) programını başlatmıştır. Tüm Dünyadan 180, Ülkemizden ise 3 proje başvurmuş ve yazarların projesi Ülkemizden kabul alan tek proje olarak toplam 120 proje arasında yer almıştır. Bu proje kapsamında Zonguldak test alanına ait üçlü-stereo pankromatik (50 cm YÖA) ve çok bantlı (görünür ve yakın kızılötesi) (2 m YÖA) görüntüler, Bülent Ecevit Üniversitesi ve TÜBİTAK tarafından desteklenen iki ayrı proje ile konuma bağlı bilgi üretimi amaçlı uygulamalar (2/3B konum doğruluğu ve görüntü kalitesi belirleme, pan-keskinleştirme başarımı ve Sayısal Yüzey ve Arazi Modeli üretimi ve doğruluk araştırması) için değerlendirilmiştir. Çalışma, yoğun orman ve kentsel yapılaşmayı barındıran, dağlık ve engebeli bir topoğrafyaya sahip Zonguldak test alanında gerçekleştirilmiştir.

Doğrudan algılayıcı yönelmesi ile elde edilen 3B konum doğruluğu $\pm 2.15-8.42$ m aralığında hesaplanmıştır. ~170 YKN (Yer Kontrol Noktası) ve sistematik hata düzeltmesi getirilmiş RFM (Rational Functional Model) dönüşümü ile $m_x = \pm 0.44$ m, $m_y = \pm 0.51$ m ve $m_z = \pm 1.82$ m düzeyinde doğruluğa ulaşılmıştır. Görüntü kalitesi gerçek YÖA (Yer Örnekleme Aralığı), SGO (Sinyal Gürültü Oranı) ve bulanıklık katsayısına göre incelenmiştir. Gerçek YÖA yaklaşık 1.0 piksel düzeyindedir ki bu durum görüntüde herhangi bir geometrik çözünürlük kaybı olmadığı anlamına gelmektedir. Bulanıklık katsayısı üç pankromatik görüntü için 0.39-0.46 arasında elde edilmiştir; bu sonuç da görüntü kalitesinin yeterliliğini göstermektedir. Pléiades görüntülerine gürültü giderme işlemi uygulandığı halde, elde edilen sonuçlar benzer uydu görüntülerine oranla daha kalitelidir. Pan-keskinleştirilmiş görüntüler farklı yöntemlerle üretilmiş ve hem görsel olarak hem de yaygın istatistiksel ölçütlerle incelenerek farklı uygulamalarda kullanılabilirliği yorumlanmıştır. SYM (Sayısal Yüzey Modeli) üretilerek bu veriden süzgeçleme ile arazi modeli elde edilmiş ve daha yüksek doğruluğa sahip bir arazi modeli ile karşılaştırılarak ± 1.6 m yükseklik doğruluğuna sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu projeler sonucunda, Pléiades görüntülerinin konuma bağlı pekçok uygulamanın gereksinimleri başarıyla karşıladığı kapsamlı olarak ortaya konmuştur.

Anahtar Sözcükler: Pléiades, Konumsal Doğruluk, Görüntü Kalitesi, Görüntü Birleştirme, Sayısal Yüzey/Arazi Modeli

ABSTRACT

PLÉIADES PROJECT: ASSESSMENT OF GEOREFERENCING ACCURACY, IMAGE QUALITY, PANSHARPENING PERFORMANCE AND DIGITAL SURFACE/TERRAIN MODEL QUALITY

Pléiades 1A and 1B are twin optical satellites of ORFEO (Optical and Radar Federated Earth Observation) program jointly running by France and Italy. They are the first satellites of Europe with sub-meter geometric resolution. Airbus Defence and Space (formerly Astrium Geo) runs a MyGIC (formerly Pléiades Users Group) program in 2012, to validate Pléiades images worldwide for various application purposes. 3 proposal from Turkey were applied among 180, and author's proposal was the only project admitted 120. Tri-stereo panchromatic (50 cm GSD) and VNIR (2 m) images were received within this project, and they were evaluated by the financial support of Bülent Ecevit University and TÜBİTAK. The most common geospatial applications such as assessment of georeferencing accuracy, image quality, pansharpening performance and Digital Surface Model/Digital Terrain Model quality subjects were investigated in these projects in Zonguldak test site (Turkey) which is urbanised, mountainous and covered by dense forest.

The direct georeferencing accuracy in 3D was estimated as $\pm 2.15-8.42$ m. ~170 GCPs (Ground Control Points) were used in bias corrected Rational Functional Model (RFM) achieving $m_x = \pm 0.44$ m, $m_y = \pm 0.51$ m ve $m_z = \pm 1.82$ m. The image quality was also investigated with respect to effective resolution, SNR (Signal to Noise Ratio) and blur coefficient. The effective resolution was estimated with factor slightly below 1.0, meaning that the image quality corresponds to the nominal resolution of 50cm. The blur coefficients were achieved between 0.39-0.46 for triplet panchromatic images, indicating a satisfying image quality. SNR is in the range of other comparable space borne images which may be caused by de-noising of Pléiades images. The pansharpened images were generated by various methods, and are validated by most common statistical metrics and also visual interpretation

for using in various applications. The generated DSM and DTM were achieved with $\pm 1.6m$ standard deviation in height in relation to a reference DTM. This comprehensive analysis showed that Pléiades images satisfy the requirements of various geospatial applications.

Keywords: Pléiades, Georeferencing Accuracy, Image Quality, Pansharpening, Digital Surface//Terrain Model.

1.GİRİŞ

1.1.Pléiades ve İlgili Projeler

Pléiades 1A ve 1B, sırasıyla 17 Aralık 2011 ve 2 Aralık 2012 tarihlerinde başarıyla yörüngelerine yerleştirilmeleri ile Avrupa'nın ilk metre altı geometrik çözünürlüğe sahip ikiz uzaktan algılama uyduları olmuşlardır. Bu uydular pankromatik bantta 70 cm gerçek ve 50 cm yeniden örneklenmiş YÖA'na (Yer Örnekleme Aralığı) sahiptir ve Fransa ve İtalya'nın birlikte yürüttüğü ORFEO (Optical and Radar Federated Earth Observation) programı kapsamında işletilmektedir. Sırasıyla 9 Eylül 2012 ve 30 Haziran 2014 tarihinde yörüngeye yerleştirilen SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) 6 ve 7 uyduları ile bu uydu takımı tamamlanmıştır.

2012 yılında Melbourne'de (Avustralya) 22. ISPRS Kongresinde Astrium Geo Services (sonradan Airbus Defence and Space) Pléiades Kullanıcılar Grubu (sonradan MyGIC) Programını ilan eder. Ülkemizden 3, tüm dünyadan 180 proje önerisi sunulmuş ve Ülkemizden sadece yazarların projesi kabul edilen 120 proje arasına girmiştir (Airbus, 2016). Bu projeye ek olarak Bülent Ecevit Üniversitesi tarafından desteklenen 2014-47912266-01 numaralı ve TÜBİTAK tarafından desteklenen 114Y380 numaralı iki araştırma projesi ile Pléiades görüntülerinin kapsamlı bir değerlendirmesi gerçekleştirilmiş ve uluslararası camia ile paylaşılmıştır (Topan vd., 2016). Bu bildiriye, elde edilen sonuçlar Ülkemiz bilim camiası ile paylaşılmaktadır.

1.2.Araştırma Konuları ve Test Alanı

Zonguldak test alanına ait görüntülerin konum doğruluğu, bu görüntülerden pan-keskinleştirilmiş görüntü ve SYM/SAM (Sayısal Yüzey/Arazi Modeli) üretimi ve bunların doğruluğunun belirlenmesi gibi konuma bağlı bilgi üretimi konularında ve ayrıca radyometrik değerlendirme gibi amaçlarla araştırma yapılmıştır. epix ve SharpQ adında iki yeni akademik yazılım geliştirilmiş ve GeoEtrim ve BLUH adlı mevcut iki akademik yazılım Pléiades görüntülerinin değerlendirilmesi için güncellenmiştir.

Zonguldak test alanının temel özellikleri dağlık ve engebeli bir yapıya sahip olması, yoğun orman, tarım arazisi, çeşitli hidrolojik yapılar (çay, dere, deniz, baraj gölü vb.) ve açık/yeraltı maden sahaları içermesidir (Şekil 1). Zonguldak şehir merkezi bu eğimli ve dağlık topoğrafyada kurulmuştur (Şekil 1). Eğimli bir topoğrafyaya ve farklı arazi örtüsüne sahip olması bu test alanını konuma bağlı uygulamalar açısından önemli kılmaktadır.



Şekil 1. Zonguldak test alanının genel görünümü (üstte) ve şehir merkezinden bir görünüm (altta).

1.3.Kullanılan Görüntüler ve Veriler

MyGIC programı kapsamında iki farklı bölgeye ait üç-bindirmeli stereo görüntü elde edilmiştir. Şekil 2 görüntü

alımını ve bu projede kullanılan görüntülerden birisini göstermektedir. Diğer görüntü seti ise Zonguldak şehir merkezini kapsamadığından değerlendirilmeye alınmamıştır. Çizelge 1, kullanılan görüntülerin temel özelliklerini göstermektedir. Konum doğruluğunun belirlenmesi çalışması için 171 YKN (Yer Kontrol Noktası) GNSS (Global Navigation Satellite Systems) gözlemleri yardımıyla, yeryüzünün doğal yapısını temsil edebilecek simetrik nesnelere toplanmıştır. YKN'lerin nasıl seçileceği ve çalışmalara etkisi hakkında bilgiye Topan vd. (2007) yayınından ulaşılabilir.



Şekil 2. Kullanılan görüntü için görüntü alım durumu (üstte) ve kullanılan görüntüye örnek (sağda).

Çizelge 1. Kullanılan görüntülerin özellikleri

Görüntü no	269	283	284
Algılayıcı azimutu (°)	179.44	179.90	180.00
Algılayıcının enine bakış açısı (°)	4.54	4.84	4.26
Algılayıcının boyuna bakış açısı (°)	4.55	-1.27	10.14
Güneş azimutu (°)	152.63	152.63	152.63
Güneş yükseklik açısı (°)	59.10	59.10	59.10
		Pankromatik	
YÖA (enine - cm)	70.39	69.87	72.58
YÖA (boyuna - cm)	71.15	71.13	72.00
YÖA (yeniden örneklenmiş – m)	50.26	50.25	50.86
		Görünür ve yakın kızılötesi	
YÖA (yeniden örneklenmiş – cm)	201.05	200.98	203.45

2.DEĞERLENDİRME

Pléiades görüntüleri, en yaygın konuma bağlı bilgi üretimi konularında değerlendirilmiştir. Bunlar, 2 ve 3 boyutlu konum doğruluğunun belirlenmesi, radyometrik değerlendirme, pan-keskinleştirilmiş görüntü üretimi ve kalitesinin tespiti ve SYM/SAM üretimi ve doğruluk değerlendirmesidir.

1.4.Konum Doğruluğunun Belirlenmesi

Pléiades-1A, doğrudan algılayıcı yöneltmesi ile, $SX=SY=4$ m değerine denk gelen ± 8.5 m CE90 düzeyinde konum doğruluğu sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu durum, Pléiades'a ait doğrudan algılayıcı yöneltmesi modeli yardımıyla 171 YKN'da test edilmiş ve doğruluğun üretici firma tarafından verilen değerler içerisinde kaldığı gözlemlenmiştir (Çizelge 2).

Görüntüler 2 ve 3 boyutlu konum doğruluğu açısından ayrı ayrı değerlendirilmiştir. YKN'lerinin yüksekliği sabit kabul edilerek sistematik hata düzeltmesi getiren RFM (Rational Function Model) kullanılarak her bir görüntü için yatay düzlemdeki konum doğrulukları hesaplanmış ve Çizelge 3'de verilmiştir (Jacobsen ve Topan, 2015). Burada sistematik hata düzeltmesi yapılması ve afin dönüşüm katsayılarının çoğunun kullanılması gerekmektedir. Eğer sadece X ve Y koordinatlarındaki sistematik hata giderilirse doğrulukta sadece %5 iyileşme olduğu görülmektedir.

Çizelge 2. Doğrudan algılayıcı yöneltmesi ile elde edilen konum doğrulukları ($\pm m$)

Stereoçift	m_x	m_y	m_z	m_p
283-284	2.39	8.02	2.59	8.35
283-269	3.17	7.61	2.38	8.25
269-284	2.15	8.42	3.52	8.70

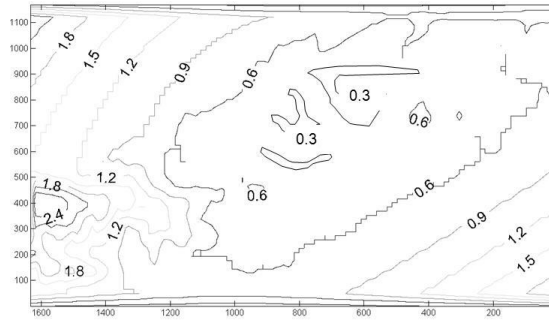
Çizelge 3. YKN'larındaki konum doğruluğu ($\pm m$)

Görüntü	# YKN	SX	SY
283	168	0.42	0.49
269	171	0.45	0.48
284	170	0.44	0.48

2B konum doğruluğu ayrıca şekil kuvveti yaklaşımı ile de incelenmiştir (Topan, 2013; Topan vd., 2014a). Bu yaklaşımda hem YKN hem de SAM doğruluğunun üretilen ortogörüntünün konum doğruluğundaki etkisi ortaya konulabilmektedir. **Çizelge 4** incelendiğinde, sistematik hataların giderilmesi gerektiği görülmektedir. Bu hata, benzerlik ve afin gibi iki farklı yöntemle giderilmiş ve aynı sonuçlar elde edilmiştir. **Şekil 3**'den de görülebileceği üzere en yüksek doğruluk değeri YKN'larının geometrik merkezinde elde edilmektedir ve bu doğruluk merkezden uzaklaştıkça yükseklik değerine bağlı olarak azalmaktadır.

Çizelge 4. Birinci derece RFM için şekil kuvveti doğruluğu (\pm piksel).

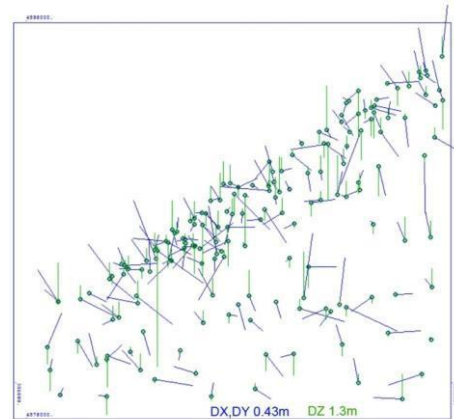
		Sistematik hata düzeltmesi	
		Yok	Benzerlik/Afin
YKN'larında doğruluk	Standart sapma	7.4	1.1
	m_0	6.4	0.8
Şekil kuvveti doğruluğu	En az	2.5	0.3
	En çok	22.0	2.7

**Şekil 3.** Birinci derece RFM için şekil kuvveti doğruluğunun grafik gösterimi.

3B konum doğruluğu da yine sistematik hata düzeltmeli RFM ile belirlenmiştir (Jacobsen, 2015). Tüm afin katsayıları yerine sadece öteleme katsayılarına sistematik hata düzeltmesi getirilmiş ve X ve Y yönünde %4 iyileşme sağlanmıştır. Afin dönüşüm katsayılarının çoğu anlamlıdır ve sistematik hata düzeltmesinde kullanılması gerekmektedir. Bakış doğrultusunda yapılan iyileştirme ise herhangi bir anlamlı katkı yapmamıştır. **Çizelge 5** 3B doğruluk değerlerini, **Şekil 4** ise hata vektörlerini göstermektedir.

Çizelge 5. Sistematik hata düzeltmesi kullanan RFM ile elde edilen 3B konum doğruluğu

Stereoçift	SX	SY	SZ
283-284	0.43m	0.49m	1.80m
283-269	0.44m	0.48m	2.15m
269-284	0.46m	0.56m	2.04m

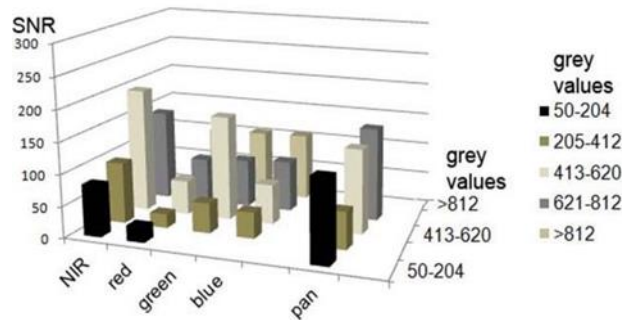
**Şekil 4.** 283-284 numaralı stereoçift için RFM ile elde edilen 3B hata vektörleri.

1.5.Radyometrik Değerlendirme

Görüntülerin radyometrik değerlendirilmesi, etkin YÖA değerinin, bulanıklık etkisinin, gürültü ve SGO'nun (Sinyal-Gürültü Oranı) belirlenmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir (Jacobsen vd., 2016). Etkin YÖA değeri, görüntüde farklı doğrultulardaki uygun bina çatılarının kenarları yardımıyla 0.9-1.0 piksel düzeyinde belirlenmiştir (Cam vd., 2014). Bu duruma etki eden ise görüntüler kullanıcıya ulaştırılmadan önce keskinleştirme işlemlerinin yapılmış olmasıdır. Keskinleştirme işlemi gürültüyü arttırdığı için görüntülere gürültü giderme işlemi de uygulanmaktadır (Airbus, 2012). Etkin YÖA'nın belirlenmesi için epix veya EDGE (BLUH) yazılımları kullanılmıştır.

Bulanıklık değerlendirmesinde, Crete vd. (2007) tarafından geliştirilen yaklaşım tercih edilmiştir. Bu yaklaşımda, görüntüye 9×9 piksel boyutunda bir pencere ile birbirinden bağımsız olarak yatay ve dikey yönde bir yumuşatma işlemi uygulanır ve üretilen bu görüntü gerçek görüntü ile karşılaştırılır. Pankromatik görüntüler için bulanıklık değerleri 0.39-0.46 olarak bulunmuştur ki bu sonuç yeterli bir görüntü kalitesine ulaşıldığı anlamına gelmektedir.

Pléiades görüntülerinin keskinleştirme işlemine tabi tutulduğundan ve bu durumun görüntü gürültüsünü arttırdığından ayrıca gürültü giderme işleminin de gerçekleştirildiğinden söz edilmiştir. Bu durumda gürültü veya SGO değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. SGO, sinyalin boyutuna bağlı olduğundan, gri değer aralığı gruplara ayrılarak hesap yapılmıştır. Şekil 5'te görüntülerin pankromatik, kırmızı, yeşil, mavi ve yakın kızılötesi bantlarına ait SGO değerlerinin ortalaması gösterilmektedir.



Şekil 5. 16 bit görüntü için SGO.

Sonuçlar yorumlandığında, pankromatik bandın diğerlerine oranla daha yüksek SGO değerine sahip olduğu görülmektedir. SGO sonuçları yine aynı test bölgesine ait görüntülerle karşılaştırılmış ve IKONOS ile yakın değere sahip olduğu ancak WorldView-1 ve QuickBird'ün daha düşük SGO değerine sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 6). Bu durum, Pléiades ve IKONOS'un, WorldView-1 ve QuickBird'e göre daha iyi bir radyometrik kaliteye sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Jacobsen vd., 2014).

Çizelge 6. Farklı uydu görüntüleri için SGO karşılaştırması

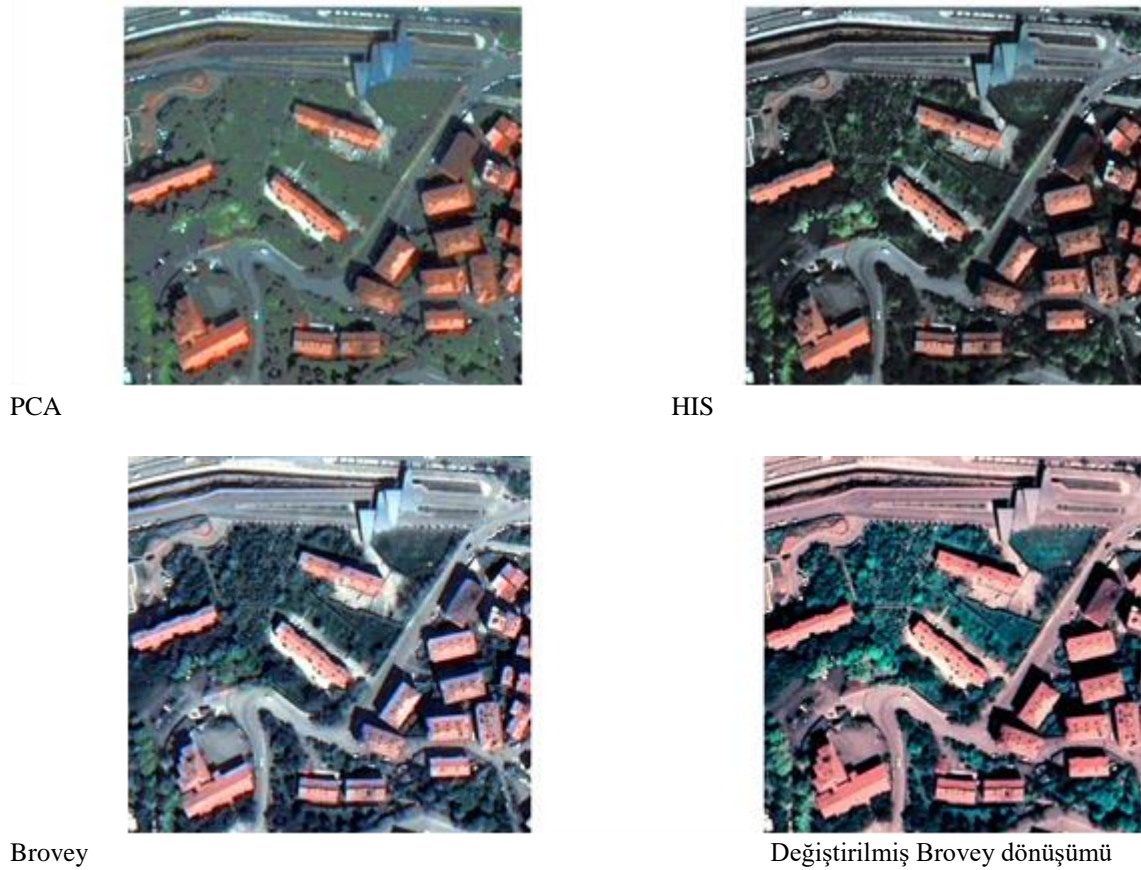
Pléiades-1A (ortalama)	WorldView-1	QuickBird	IKONOS
91	24	48	98

1.6.Pan-keskinleştirilmiş Görüntü Üretimi ve Doğruluk Araştırması

Pan-keskinleştirilmiş görüntü üretiminde, ticari, akademik veya eğitim yazılımlarının çoğunda kullanılan PCA (Principal Component Analysis) IHS (Intensity Hue Saturation) ve Brovey dönüşümü ile değiştirilmiş Brovey dönüşümleri kullanılmıştır (Özendi vd., 2014, 2016). Bu dönüşümlerden ilk üçü Matlab ortamında yazılan ve SharpQ adı verilen programla (Topan vd., 2014b), değiştirilmiş Brovey dönüşümü ise BLUH ile gerçekleştirilmiştir. Bu son yöntemin özelliği, orijinal renk dengesi için parametre seçimine ve nesne tanıma için en uygun değerleri seçimine izin vermesidir (Jacobsen, 2011). Üretilen örnek görüntüler Şekil 6'da görülebilir.

Değiştirilmiş Brovey dönüşümü dışında üretilen diğer görüntüler, orijinal kırmızı, yeşil ve mavi bandlar ile karşılaştırılarak CC (Correlation Coefficient), RMSE (Root Mean Square Error), RASE (Relative Average Spectral Error), SAM ERGAS (Spectral Angle Mapper) ve (Erreur Relative Globale Adimensionnelle de

Synthèse) ölçütleri ile nicel olarak değerlendirilmiştir (Özendi vd., 2014, 2016). Çizelge 7 nicel değerlendirme sonuçlarını göstermektedir.



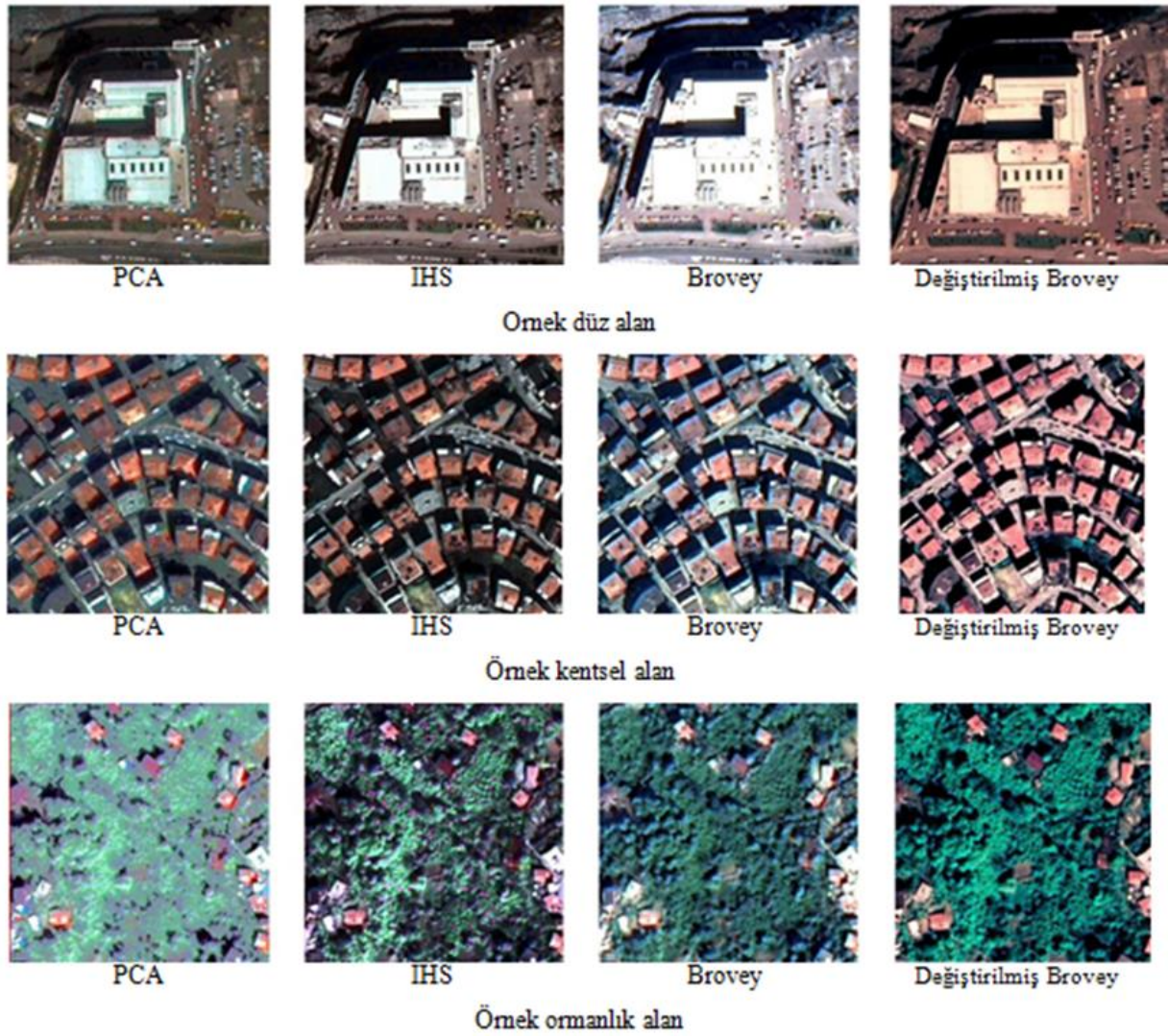
Şekil 6. Örnek bir alan için üretilen pan-keskinleştirilmiş görüntüler.

Çizelge 7. Nicel değerlendirme sonuçları

	CC	RMSE	RASE	SAM	ERGAS
	1	0	0	0	0
PCA	0.57	1.72×10^5	3.62×10^4	0.75	1.19×10^4
IHS	0.60	1.59×10^5	3.35×10^4	0.74	1.11×10^4
Brovey	0.69	2.23×10^5	4.68×10^4	0.02	9.81×10^5
	En uygun değer	En iyi değer		En kötü değer	

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, PCA yönteminin uygun sonuçlar üretmediği söylenebilir. **Şekil 7**'den de görülebileceği üzere bitki örtüsünü ayırt etmek kolay değildir. Bu durum, üretilen görüntü ile orijinal görüntü arasındaki renk dengesindeki farklılıktan kaynaklanmaktadır ve CC ve SAM ölçütleri ile elde edilen değerlerle kanıtlanmaktadır. IHS ve Brovey görüntüleri için ise SAM dışında diğer dört ölçüt benzer bir durum sergilemiştir. Bu durumun açıklaması, bu iki yöntemin benzer gri değer dağılımına sahip görüntüler üretmesidir (Özendi vd., 2016). Eğer pan-keskinleştirilmiş ve orijinal görüntülerin histogramları karşılaştırılırsa, IHS'nin en yüksek benzerliğe sahip olduğu gözlenmektedir. Ancak dağılıma bakılırsa en büyük benzerlik Brovey'e aittir. Bu durum, RMSE ölçütünün IHS yönteminde en yüksek değere sahip olmasının bir açıklamasıdır. PCA yöntemi renk dengesini en çok değiştiren yöntem olması nedeniyle ERGAS ölçütü bu görüntü için en kötü sonucu üretmiştir. Diğer taraftan, Brovey yöntemi orijinal görüntüleri spektral anlamda en az düzeyde bozmaktadır. Dolayısıyla ERGAS ölçütü ile en yüksek değere ulaşılmıştır.

Nitel bir değerlendirme yapabilmek için farklı arazi örtülerini temsil eden örnek alanlarda görsel değerlendirmeler yapılmıştır. Bu örnek alan türleri düz, kentsel ve orman alanlardır (**Şekil 7**). Görsel olarak değerlendirildiklerinde değiştirilmiş Brovey dışındaki yöntemler ile üretilen görüntülerde bina çatılarında renkler bozulmaya uğramaktadır. Düz alanlarda IHS en doğal, PCA ise en yapay görüntüyü üretmiştir. Nesne ayırtedilebilirliği açısından IHS en iyi Brovey ise en kötü yöntemdir. Bunun nedeni Brovey'in nesnelere parlaklığı ve dolayısıyla bu parlak alanlarda nesne ayırımının gerçekleştirilememesidir. PCA ile üretilen görüntüde ise sarı renklerin (örneğin taksilerin renklerinin) dağıldığı gözlenmektedir.



Şekil 7. Görsel değerlendirme için örnek alanlar.

Zonguldak şehir merkezinin etrafı yoğun bir doğal orman ile kaplıdır. Bu nedenle bu alanlara dair bir değerlendirme de yapılmıştır. Bu alanlarda da PCA yine en yapay görüntüyü üretirken Brovey dönüşümü ise en doğal görüntüyü üretmektedir. PCA yöntemi ile ormanlık olan ve olmayan yerlerin ayırımı gerçekleştirilmek neredeyse imkansızdır. Buna rağmen IHS dönüşümü farklı türde bitki örtüsünü ayırt etmek için kullanılabilir.

1.7 SYM/SAM Üretimi ve Doğruluk Araştırması

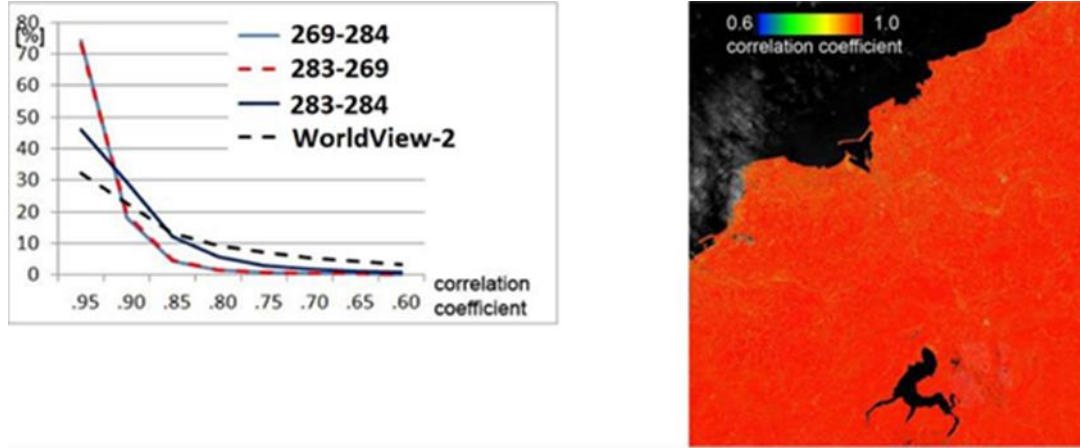
Stereo uydu görüntülerinden elde edilebilen en önemli ürünlerden birisi SYM ve SAM'dir. Pléiades görüntüleri, yüksek binalar gibi nesnelere kaynaklanabilecek örtünmeleri engellemek için üç stereo görüntü alımı yeteneğine sahiptir. Peşpeşe çekilen bu görüntüler ile elde edilen en yüksek b/h (baz/yükseklik) 0.22 ve geliş açısı 12.6°'dir (Çizelge 8). Aynı bölgeye ait stereo SPOT-5 görüntüleri için b/h değerinin 0.54 olduğu (Topan ve Maktav, 2014) göz önüne alındığında bu görüntülerin çok daha dar bir açıyla çekildikleri söylenebilir.

Çizelge 8. Stereo görüntülemeye ait değerler.

Stereo çift	Görüntüleme zaman farkı (sn)	Baz (km)	b/h	Geliş açısı (°)
283-284	20.75	156.7	0.22	12.6
283-269	10.50	79.8	0.11	6.5
269-284	10.25	76.9	0.11	6.3

Üretilen SYM/SAM'in doğruluk değerlendirmesinde, UltraCam görüntülerinden (30 cm YÖA) üretilen ve ± 50 cm yükseklik doğruluğuna sahip bir SAM kullanılmıştır (Jacobsen ve Topan, 2015). Karşılaştırma için kullanılan SAM ile üretilen arasında yatayda bir miktar öteleme olabilmektedir ve karşılaştırma öncesinde bu öteleme giderilmiştir. SYM, EKK (En Küçük Kareler) eşleştirmesi ile üretilmiştir. Şekil 8, farklı görüntü çiftleri için

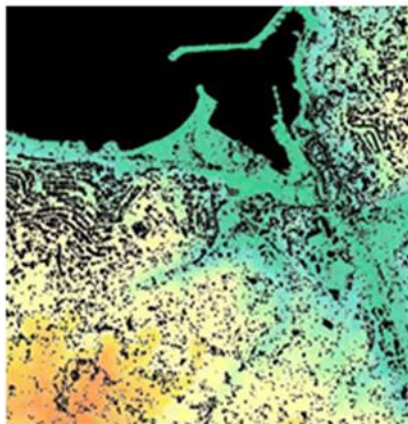
eşleştirme başarımının sıklık dağılımını göstermektedir. Bu şekil incelendiğinde, dar geliş açısına sahip çiftlerin dahi geniş geliş açısına sahip görüntü çifti gibi yüksek eşleştirme başarımına sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, dar geliş açısına sahip çiftlerde görüntüler arasındaki benzerliğin yüksek olmasıdır. Bu durum, $b/h=0.80$ değerine sahip WorldView-2 görüntüsüne ait başarımla karşılaştırıldığında anlaşılabilir. **Şekil 8**, en geniş geliş açısına sahip 283-284 numaralı görüntülerden oluşan stereo çifte ait eşleştirme başarımının dağılımını göstermektedir. Pléiades görüntüleri ormanlık alanlar içermesine rağmen, WorldView-2 görüntüleri ile karşılaştırıldığında, bu tür alanlarda daha yüksek bir eşleştirme başarımına sahip olduğu görülmektedir. Eşleştirme başarımı, suyla kaplı veya bulutlu alanlarda, çok dik yamaçlarda ve spor tesisleri gibi aynı dokuya sahip yerlerde %60'ın altındadır.



Şekil 8. Farklı stereo çiftler için eşleştirme başarımının sıklık dağılımı (sağ) ve 283-284 nolu stereo çifte ait eşleştirme başarımı dağılımı (sol).

Eşlenik noktaların görüntü koordinatları, sistematik hata düzeltmesi kullanan RFM dönüşümünde kullanılarak 3B konum bilgisi elde edilmiştir. y -paralaksı bazı sistematik hatalar içerse de engebeli araziye rağmen standart sapması oldukça düşüktür (**Çizelge 9**). Geliş açısı genişledikçe görüntüler arası benzerlik azalmaktadır. Dolayısıyla 283-284 nolu stereo çift için Spy değeri diğerlerine oranla bir miktar büyüktür. Bu durum, **Çizelge 3**'teki değerlerden farklıdır. Çünkü o değerler, görüntü ve arazide kullanıcı tarafından işaretlenen YKN'ları ile elde edilmiştir.

EKK eşleştirmesi ile elde edilen ilk ürün SYM'dir. Dolayısıyla çıplak topoğrafyanın üzerinde yer alan bina, ağaç vb. nesnelere de içermektedir. Karşılaştırma için kullanılacak olan SAM çıplak topoğrafyayı temsil ettiğinden, SYM'nin içerdiği bu tür nesnelere süzgeçlenmesi gerekmektedir. Bu işlem sonunda SYM'nin %29'u süzgeçlenmiştir. Yerleşim yerlerindeki süzgeçleme, ormanlık alanlardakine göre daha kolay bir işlemdir. Ancak referans SAM ormanlık alanı içermediğinden, istatistiksel karşılaştırmada bu alan kullanılmamıştır. **Şekil 9**, süzgeçlenen nesnelere göstermektedir. Burada deniz dışındaki siyah alanlar süzgeçlenen nesnelere, renk bilgisi ise yüksekliği göstermektedir.



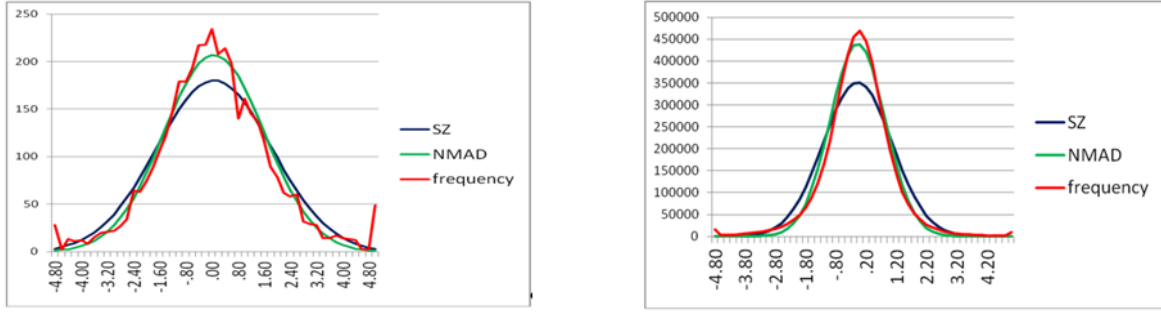
Şekil 9. Süzgeçlenen nesnelere.

Çizelge 9. EKK eşleştirmesine göre y -paralaksı.

Stereo çift	m_{22}	Sistematik hata	Spy
269-284	0.27	0.21	0.16
269-283	0.28	0.25	0.13
283-284	0.22	-0.01	0.22

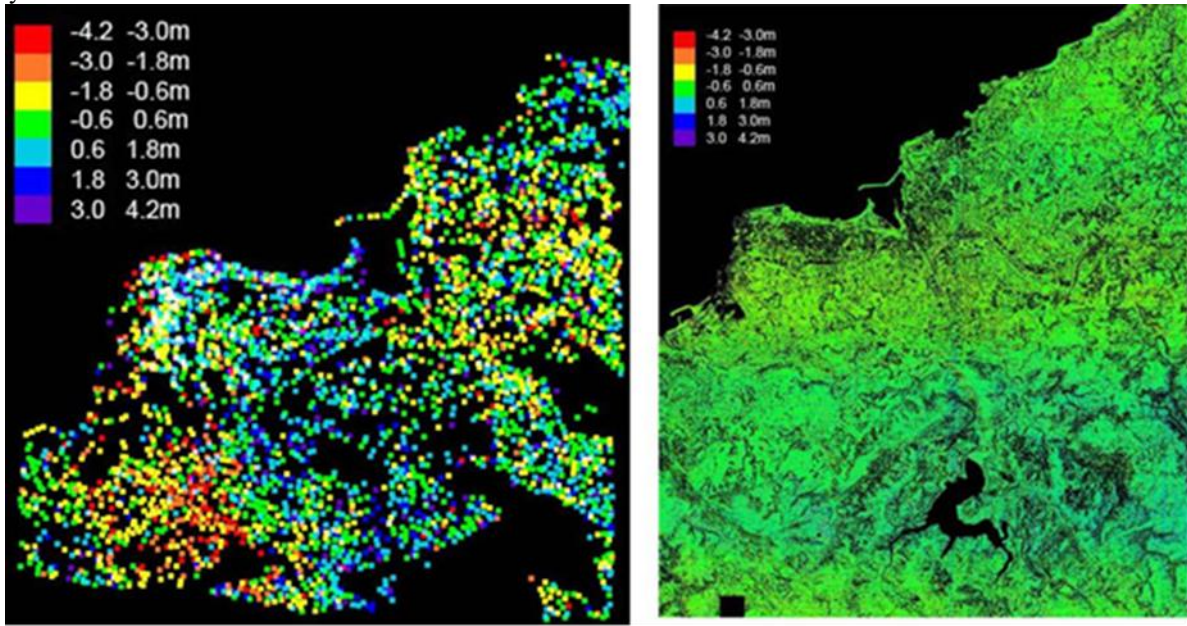
Her üç stereo çiftten üretilen SAM ve bunların birleşiminden oluşan model referans SAM ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada SZ (standart sapma) ve NMAD (Normalized Median Absolute Deviation) ölçütleri kullanılmıştır (Höhle ve Höhle, 2009). Şekil 10'da solda, ortak SAM'in referans ile karşılaştırılmasını sonuçlarını

göstermektedir.



Şekil 10. SAM'lerin karşılaştırılması.

Diğer bir karşılaştırma ise 283-284 ve 269-284 nolu stereo görüntülerden oluşturulan SAM'lerin birbirleri ile karşılaştırılmasıdır (Şekil 10, sağ). Burada toplam 9 milyon nokta yardımıyla karşılaştırma yapıldığından grafikler daha yumuşak bir yapıya sahiptir. Standart sapma (SZ) ölçütüyle karşılaştırıldığında NMAD ölçütüne dayanan normal dağılımın doğruluğu daha iyi yansıttığı görülmektedir. Üretilen SYM'lerinin referans SAM ile karşılaştırılması sonucunda görülmektedir ki geliş açısının geniş olmasının küçük bir iyileşmeye neden olduğu söylenebilir. $b/h=0.11$ için elde edilen 0.44 piksellik ve $b/h=0.22$ için elde edilen 0.73 piksellik x-paralaksının standart sapması ile ilişki olan NMAD değeri arasında küçük bir fark bulunduğu, dolayısıyla geniş geliş açısının yükseklik doğruluğu üzerinde büyük bir etkisi olmadığı söylenebilir. Şekil 11'de solda görülebileceği gibi bazı bölgelerde yükseklikler arasında sistematik bir etki mevcuttur. 283-284 ve 269-284 nolu stereogörüntülerden üretilen SYM'ler arası farklılık incelendiğinde küçük yükseklik farklılıkları olduğu görülmektedir (Şekil 11, sağ). Burada yükseklikler arasında %0.13 düzeyinde bir farklılık vardır. Bazı bölgelerde oluşan sistematik hatanın nedeni ise kullanılan RPC'lerdir. Dar geliş açısı, doğrudan algılayıcı yöneltmesindeki küçük sapmalara karşı duyarlıdır.



283-284 nolu stereogörüntülerden üretilen SYM ile referans SAM farkı.

283-284 ve 269-284 nolu stereogörüntülerden elde edilen süzgeçlenmiş SYM'ler arası farkın renkli gösterimi.

Şekil 11. Doğruluk analizlerinin görsel sonuçları.

3.SONUÇ

Bu bildiriye, 2013 yılından beri peşi sıra devam eden ve farklı kurumlar tarafından desteklenen üç ayrı proje ile değerlendirilen Pléiades görüntülerine ait sonuçlar sunulmaktadır. Çalışma, özellikle konumsal araştırmalar açısından yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, ~70 cm pankromatik ~2.8 m görünür ve yakın kızılötesi bandlara sahip orijinal görüntülerden sırasıyla ~50 cm ve 2 m YÖA değerine sahip görüntüler üretilmektedir. Bu esnada kenar keskinleştirme ve gürültü giderme işlemleri uygulanmaktadır. Hem bu radyometrik işlemlere hem de dar bir geometri ile çekilmesine rağmen Pléiades görüntülerinin, benzer

algılayıcılara oranla daha yüksek konumsal ve radyometrik kaliteye sahip olduğu söylenebilir.

TEŞEKKÜR

Görüntüler, Airbus Defence and Space (önceki adıyla Astrium Geo) şirketi tarafından yürütülen MyGIC (önceki adıyla Pléiades Kullanıcılar Grubu) kapsamındaki proje ile sağlanmış; Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (proje no: 2014-47912266-01) ve TÜBİTAK 3001 Başlangıç ARGE Projelerini Destekleme Programı (proje no: 114Y380) kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, Dr.-Ing. Karsten JACOBSEN'e katkılarından dolayı teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Airbus, 2012, Pléiades Imagery User Guide, V 2.0 ed.

Airbus, 2016, MyGIC - Airbus Defence and Space's Users Group Platform, <http://www.astrium-geo.com/en/5480-mygic-projects> (09.09.2016).

Cam, A., Topan, H., Özendi, M., Oruç, M., 2014, Pléiades-1A Görüntülerinin Gerçek Geometrik Çözünürlüğünün ve Radyometrik Kalitesinin Belirlenmesi, *5. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, İstanbul.

Crete, F., Dolmiere, T., Ladret, P., Nicolas, M., 2007, The Blur Effect: Perception and Estimation with a New No-Reference Perceptual Blur Metric, *SPIE Human Vision and Electronic Imaging XII*, San Jose, USA, 64920I.

Höhle, J., Höhle, M., 2009, Accuracy Assessment of Digital Elevation Models by Means of Robust Statistical Methods. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), 398-406.

Jacobsen, K., 2011, Characteristics of Very High Resolution Optical Satellites for Topographic Mapping. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XXXVIII-4/W19, 137-142.

Jacobsen, K., 2015, Geometric Potential of Pleiades Models with Small Base Length, *35th EARSeL Symposium on European Remote Sensing - Progress, Challenges and Opportunities*, Stockholm, Sweden.

Jacobsen, K., Topan, H., 2015, DEM Generation with Short Base Length Pléiades Triplet. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-3/W2*, 81-86.

Jacobsen, K., Topan, H., Cam, A., Özendi, M., Oruç, M., 2014, Radiometric and Geometric Characteristics of Pleiades Images. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XL-1, 173-177.

Jacobsen, K., Topan, H., Cam, A., Özendi, M., Oruç, M., 2016, Image Quality Assessment of Pléiades-1A Triplet Bundle and Pan-sharpened Images. *PFG Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, 2016(3), 141-152.

Özendi, M., Topan, H., Oruç, M., Cam, A., 2014, Pléiades-1A Görüntülerinin Pan-Sharpeneing Performansının İncelenmesi, *5. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, İstanbul.

Özendi, M., Topan, H., Oruç, M., Cam, A., 2016, Pan-sharpening Quality Investigation of Pléiades-1A Images. *Geocarto International*, 31(8), 881-890.

Topan, H., 2013, First Experience with Figure Condition Analysis Aided Bias Compensated Rational Function Model for Georeferencing of High Resolution Satellite Images. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 41(4), 807-818.

Topan, H., Cam, A., Özendi, M., Oruç, M., Jacobsen, K., Taşkanat, T., 2016, Pléiades Project: Assessment of Georeferencing Accuracy, Image Quality, Pansharpening Performance and DSM/DTM Quality, *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, syf: 503-510.

Topan, H., Maktav, D., 2014, Efficiency of Orientation Parameters on Georeferencing Accuracy of SPOT-5 HRG Level-1A Stereoimages. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(6), 3683-3694.

Topan, H., Oruç, M., Koçak, M.G., 2007, Ortogörüntü Üretiminde Yer Kontrol Noktası Seçimi ve Sonuçlara Etkisi, *11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.

Topan, H., Oruç, M., Taşkanat, T., Cam, A., 2014a, Combined Efficiency of RPC and DEM Accuracy on Georeferencing Accuracy of Orthoimage: Case Study With Pléiades Panchromatic Mono Image. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(6), 1148-1152.

Topan, H., Özendi, M., Cam, A., Oruç, M., 2014b, GeoEtrim, SharpQ and Epix: Trio of Tools for Geospatial Image Analysis. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XL-7, 189-194.