

# POZİSYON VE ÖLÇEK YÖNELTMELİ İYİLEŞTİRME İLE ÇOK KANALLI UYDU GÖRÜNTÜLERİNDE BANT ÇAKIŞTIRMA

O. T. Berktaş<sup>a,b\*</sup>, U. Yavanoğlu<sup>a</sup>, M. Teke<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, 06500 Maltepe, Ankara, Türkiye –tahsin.berktas@tubitak.gov.tr

<sup>b</sup> Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, 06500 Maltepe, Ankara, Türkiye – urazyavanoğlu@gmail.com

<sup>c</sup> TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, Üniversiteler Mah. Çankaya, Ankara, Türkiye - mustafa.teke@tubitak.gov.tr

**ANAHTAR KELİMELER:** Bant Çakıştırma, Uydu Görüntü İşleme, SURF, SIFT, PSO-SURF, PSO-SIFT

## ÖZETÇE:

Aynı bölge veya alana bakan iki görüntü arasında oransal olarak dağılmış özniteliklerin çıkarılması ve yeterli sayıda doğru eşleştirme yapılabilmesi uydu görüntü çakıştırma hedeflenen amaçların başında gelir. Önerilen çözüm yöntemlerinin gürbüz ve ayrıştırıcı olması aranan niteliklerdendir. Uzaktan algılamada bu niteliklere sahip ve hedeflenen amaçları yerine getirebilen yöntemlerden bir tanesi SURF metodudur. Matematiksel dönüşümler ile hesaplama zamanını iyileştiren bir yöntem olması nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Tespit edilen ayırıcı nokta sayısının artırılması, eşleştirme sayısının yükseltilmesi amaçları ile bu çalışmada çok kanallı uydu görüntülerinin çakıştırılması için pozisyon ve ölçek yönelimli iyileştirilmiş bir SURF yöntemi sunuldu ve önerilen çözüm SURF, SIFT, FSC-SURF ve FSC-SIFT yöntemleri ile kıyaslandı. Önerilen çözümün SURF yöntemine göre daha fazla sayıda öznitelik çıkarabildiği, SIFT yöntemi ile kıyaslandığında ise çıkarılan öznitelik sayısının az olmasına rağmen hesaplama zamanının daha iyi olduğu görülmüştür.

**KEY WORDS:** Band Registration, Satellite Image Processing, SURF, SIFT, PSO-SURF, PSO-SIFT

## ABSTRACT:

Detection of the proportionally distributed features between the two images facing the same scene and achieving the sufficient number of correct matches is the most desirable objectives in satellite image registration. Robustness and uniqueness are the required qualifications for solution methods. One of the methods that have these qualifications in remote sensing and can fulfill the intended objectives is the SURF method. It is often preferred because it is a method that improves the calculation time with mathematical transformations. In order to increase the number of interest points determined, and to increase the matching rate, an improved SURF method was presented for registering the multichannel satellite images and the proposed solution was compared with the SURF, SIFT, FSC-SURF and FSC-SIFT methods. The proposed solution was able to extract more features than the SURF method, and the computation time was better in comparison with the SIFT method.

## 1. GİRİŞ

Yer gözlem uyduları ile alınan ham görüntülerin işe yararabilmesi için çeşitli seviyelerde görüntü işleme çalışmaları yapılmaktadır. (Teke, 2016) çalışmasında RASAT ve Göktürk-2 uyduları için görüntü işleme iş akışını vermiştir. İş akışında radyometrik düzeltme ve keskinleştirme gibi çeşitli ön işlemlerden sonra yapılan bant çakıştırma ile birinci seviye görüntü elde edildiği belirtilmiş, bahsi geçen çalışmalar yapılmadığında elde edilen görüntülerin kullanışsız kaldığı ifade edilmiştir. Bu çalışmada söz konusu faaliyetlerden bant çakıştırma problemine, literatürde yapılan araştırmalardan esinlenerek bir çözüm önerilmiştir. Bant çakıştırma problemine göz attığımızda bu problemi etkileyen çeşitli faktörler öne çıkmaktadır. Görüntü alınan bölgenin özellikleri, kameranın görüş açısı, uydunun hızı, sensörlerin farklılığı, yer kürenin hareket etmesi gibi etmenler bant çakıştırmanın sonuçlarını etkileyebilmektedir. Literatürde bulunan farklı yaklaşım ve çözümlerin hepsini ifade etmek mümkün değildir. Burada sadece uydu görüntülerinin çakıştırılması için en yaygın kullanılan iki yöntem olan SIFT ve SURF yöntemleri üzerinde durulmuştur.

(Lowe, 2004) yapmış olduğu çalışmasında görüntü içindeki ayırıcı değişmez öznitelikleri çıkarabilen, farklı açılardan bakılan görüntülerde güvenilir eşleşme yapabilen bir yöntem (SIFT) önermiştir. Ölçek veya rotasyon değişimleri veya görüntünün deforme olması gibi durumlara karşı gürbüz yani hatadan uzak eşleştirme yapabilen bir çözüm sunmuştur. Öznitelik sayısının miktarından etkilenmeden doğru eşleşme yapma niteliğini kaybetmeyen bir çözüm olduğu belirtilmiştir. Önerilen çözümde öncelikle Gaussian farkı alınarak ölçek ve oryantasyona göre değişmeyen potansiyel ilgi noktalar elde edilmiş, ardından her bir aday nokta için lokasyon değerleri hesaplanmış. Her bir noktanın gradyan yönüne göre bir veya birden fazla oryantasyon değeri hesaplanarak o noktaya atanmış. Bu oryantasyon değerleri nokta üzerinde uygulandıktan sonra ilgi noktalar elde edilerek tanımlayıcı alanlar hesaplanmış. SIFT algoritmasının yanında yaygın kullanılan algoritmalarından bir tanesi de (Bay, 2008)'in önerdiği SURF algoritmasıdır. Ölçek ve rotasyon değişmezlik özellikleri ile daha önce önerilen yöntemler ile kıyaslandığında tekrar edilebilirlik, ayırıcılık ve gürbüzlük niteliklerinde daha iyi sonuçlar alındığı belirtilmiştir. Görüntü dönüşümü için görüntü integralleri (bütünleştirme) alınarak ilgi nokta bulunması yapılmıştır. Yazar birbirine karşılık gelen ayırık görüntü noktalarının bulunmasını 3 temel aşamaya bölmüş. Birinci

\* Osman Tahsin BERKTAŞ (tahsin.berktas@tubitak.gov.tr).

aşama görüntü içindeki ayırıcı ilgi noktalarının seçilmesidir. Çalışmada ilgi nokta bulucuların en değerli özelliğinin tekrar edilebilir olmaları olduğu vurgulanmış ve bu özellik ile aynı fiziksel ilgi noktalarının farklı bakış açılarından elde edilen görüntülerde bulunmasını sağlayarak yöntemin güven vermesini sağladığı üzerinde durulmuştur. İkinci olarak ilgi noktaların öznitelik vektörleri oluşturulmuştur. Elde edilen verinin ayırıcı olmasının yanında gürültüye, ilgi noktasının değişmesine, geometrik ve radyometrik bozulmalara karşı da gürbüz olması gerektiği söylenerek son aşamada farklı iki görüntünün eşleştirilmesi yapılmıştır. Vektörlerin birbirine olan uzaklıkları Euclidean veya benzeri bir yöntem ile hesaplanmıştır. Tanımlayıcıların boyutunun hesaplama zamanını doğrudan etkilediği söylenmiş ve düşük boyutlu tanımlayıcılar ile daha kısa zamanda eşleşme yapılırken boyutun küçük olması ayırıcı nokta sayısını azalttığı için eşleşme performansına olan negatif etkisinden bahsedilmiştir. Bu nedenle yapılması gereken işin tanımlayıcı boyutunu azaltırken yeterince ayırıcı noktanın korunması olduğu not edilmiştir. Önerilen yöntem nesne tanıma, retina mozaikleme, kamera kalibrasyonu gibi farklı verilerde test edilmiştir. Sonuçlar SIFT ile kıyaslandığında tekrar edilebilirlik metriği ile tanımlayıcı alan oluşturulması işleminde 10 kata kadar daha hızlı sonuçlar alındığı belirtilmiştir. Literatürdeki diğer bir çalışmada (Teke, 2010) uydu görüntülerinde bant çakıştırmanın çözünürlük ve spektral bant farklılıklarından etkilendiğinden bahsetmiş, söz konusu faktörleri içeren bir veri kümesi oluşturmuş ve sonrasında ölçek sınırlama yaparak SURF yönteminin iyileştirilmiş bir versiyonunu sunmuştur. Ölçek ve rotasyon değişiminden etkilenmeyen bir çözüm ile doğru eşleşme oranının SURF yöntemine göre daha iyi olduğu belirtilmiştir. Uydu görüntülerinde bant çakıştırma ile ilgili birçok çalışma yapıldığı yukarıda belirtilmişti. Bant çakıştırma yapılırken çıkarılan öznitelik sayısının azlığı ve algoritma çalışma süresinin uygun aralıklarda olmaması nedeniyle iyileştirmelere ihtiyaç duyulduğu literatürde bahsedilen temel motivasyondur. Bunun yanında iki farklı görüntü üzerinde tanımlayıcı alan eşleştirmesi yapıldıktan sonra eşleşen öznitelik kümelerinde bazen görüntü verisine bağlı olarak yanlış eşleşmeler olması nedeniyle bazı algoritmalar ile yanlış eşleşme elemesi yapılarak nihai eşleşen sonuç çıkarılmaktadır. Uydu görüntülerinin çakıştırılmasında yanlış eşleşme elemeye kullanılan yöntemlerden bir tanesi (Fischler ve Bolles, 1981)'in önerdiği RANSAC yöntemidir. İki nokta arasındaki mesafe göz önüne alınarak yanlış olma ihtimali yüksek olan noktalar elenmektedir. Başka bir çalışmada (Wu, 2015) Fast Sample Consensus (FSC) isimli bir yanlış öznitelik eleme çözümü sunmuş ve RANSAC ile kıyaslayarak sonuçları paylaşmıştır. Aslında FSC yöntemi RANSAC yönteminin iyileştirilmiş bir halidir. Bu yöntemde girdi verisi örnek küme ve mutabakat kümesi olarak ikiye ayrılmıştır. Örnek küme verisinde yüksek olasılıkla doğru eşleşmeler, mutabakat kümesinde ise yüksek sayıda olması beklenen doğru eşleşmeler bulunduğu öngörülerek tekrarlayan bir ilerleme ile doğru eşleşmelerin sayısı artırılmaya çalışılmıştır. Sonuçları ölçmek için çeşitli metrikler kullanılmıştır. FSC yöntemi RANSAC ile kıyaslandığında daha az sayıda iterasyon ile yanlış eşleşmeleri elediği ve çıkarılan doğru eşleşme sayısının fazla olduğu yayında belirtilmiştir. Diğer bir çalışmada (Anzid, 2017) SURF algoritmasının öznitelik eşleştirme süreci için iyileştirilmiş bir çözümü sunulmuştur. Doğru çakıştırma için iyi eşleşmenin önemli bir işlem olduğu fakat yanlış eşleşmelerin elenmesinin de önemli bir problem olduğu göz önüne alınarak yazar çalışmasında yeni bir yanlış eşleşme eleme çözümü önermiştir. Ek olarak mesafe ve oryantasyona dayalı otomatik filtreleme yapılmıştır. Önerilen çözümü SURF ve SURF+RANSAC yöntemleri ile kıyaslayarak iyileştirme sonuçlarını paylaşmıştır.

(Ma, 2017)'nin çalışmasında SIFT ile görüntü çakıştırma yönteminin öznitelik tabanlı çakıştırma yöntemleri arasında en sık çalışılan yöntemler arasında olduğu belirtilerek, sıklıkla çalışılan bir yöntem olmasına rağmen yoğunluk tabanlı eşleştirmelerde göz ardı edilmeyecek sayıda yanlış eşleşme sonuçları verdiği söylenmiş. Çalışmada yanlış eşleşmelerin önüne geçilmesi için yeni bir gradyan yani eğim hesaplaması önerilmiştir. Buna ek olarak pozisyon, ölçek ve oryantasyon düzenlemesi yapabilen iyileştirilmiş öznitelik eşleştirme yöntemi sunulmuştur. Sunulan algoritma çok kanallı ve çok sensörlü görüntüler ile sınınmıştır. Güncel en iyi yöntemler ile kıyaslandığında doğru öznitelik eşleştirme sayısında ve görüntü hizaya getirme doğruluğunda iyi sonuçlar verdiği vurgulanmış. SURF ile kıyaslandığında çalışma süresi farklı veriler için 50 ile 70 kat arasında uzun çıkmıştır. (Yang, 2017) çalışmasında Grönland adasına ait yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile yüzeysel buz değişimleri üzerine inceleme yapmıştır. Ada görüntülerinin analiz edilmesi son yıllarda öne çıkan çalışmalar arasında olmasına rağmen yüzeyin yansıtıcılığının yüksek olması faktörü nedeniyle görüntü çakıştırma çeşitli zorluklar olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada PAN bantına ait uydu görüntülerinin öznitelik tabanlı bir yöntem ile çakıştırılması anlatılmıştır. Çözüm buzul üstü nehirlerin otomatik eşleştirme için ayırıcı ya da bağlayıcı nokta olarak seçilmesi fikrine dayanmaktadır. Öncelikle çeşitli spektral yöntemler, gürültü arındırma teknikleri ve filtreleme teknikleri ile buzul nehirler ortaya çıkarılmış, ardından çeşitli araçlar ile ilgi noktalar çıkarılmıştır. Son olarak çıkarılan uygun noktalar için kaydırma algoritması uygulanarak çakıştırma yapılmıştır. SURF, Harris, FAST ve MinEigen yöntemleri ile ilgili eşleşme nokta sayıları hesaplanmış ve eşleşme sayısında en iyi sonucu SURF metodunun verdiği belirtilmiştir. Bazı girdiler için 4 yöntemden de sonuç alınmadığı görülmüştür. (Durgam, 2016)'ın çalışmasında SAR görüntülerinde alt piksel kesinliğinin ölçülmesi probleminden yola çıkılarak SURF metodu ile ilgi nokta tespiti ve öznitelik hesaplaması çözümü önerilmiştir. SURF metodunun SAR görüntülerinde tek başına kullanıldığında yanlış eşleşmeler çıkarılması nedeniyle hatalı eşleşmeleri elemek için RANSAC metodu kullanıldığı belirtilmiştir, buna rağmen tam bir eleme yapılamadığı sonucuna ulaşılmış ve çalışmada her bir eşleşme için RMSE değeri hesaplanarak 0.5 eşik değerinin üzerinde kalan eşleşmeler elenmiştir. Önerilen çözüm sulak ve karlı arazilerden alınan görüntülerde test edilmiştir. (Patel, 2016a)'in çalışmasında farklı açılardan çekilmiş birden fazla sayıda görüntünün üst üste çakıştırılması için SURF yönteminin kullanılması önerilmiştir. Gürbüz özniteliklerin çıkarılması, çıkarılan öznitelik kümelerinin eşleştirilmesinin bu çalışmada yapılan esas faaliyet olduğu vurgulanmıştır. SSD yöntemi ile öznitelikler eşleştirilmiş ve RANSAC yöntemi ile de yanlış eşleşmeler elenmiştir. Ardından homografi matrisleri hesaplanmış, görüntüler üzerinde mozaikleme yapılarak görüntüler üst üste getirilmiş ve büyük bir görüntü elde edilmiştir. Öznitelik çıkarımında SURF ve Harris metodları kullanılmıştır, eşleştirme yapıldıktan sonra RANSAC ile yanlış eşleşmeler elenmiştir. (Zhaoqian, 2017)'in çalışmasında günümüzde uzaktan algılama uygulamalarında Harris köşe tespitinin sıklıkla kullanılan bir yöntem olarak öne çıktığı söylenmiştir. Yapılan çalışmada Harris köşe tespit algoritması ve uygun nokta kaydırma yöntemleri ile ilgi nokta çıkarımı birleştirilmiştir. Yazarların katkısı öznitelik metriklerinin normalleştirilmesi, Harris özniteliklerine göre tanımlayıcı alan oluşturulması ve Euclidean mesafe ölçümü ile negatif etkileri olan özniteliklerin elenmesidir. Yinelemeli ve yinelemesiz olmak üzere dört farklı metod kıyaslanmıştır. (Patel, 2016b)'in çalışmasında uydu görüntülerinin çakıştırılmasında, görüntülerde sensör

karakteristiklerinden meydana gelen ışık değişikliklerinin çakıştırma etkileyen faktörler arasında olduğu söyleyerek söz konusu problem SURF yönteminde HOG yöntemi kullanılması ile çözülmeye çalışılmıştır. SURF yöntemi ile çıkarılan ilgi noktalarında sensörlerden kaynaklanan sebepler nedeniyle yanlış eşleşmeler meydana geldiği tespit edilmiş ve HOG yöntemi ile söz konusu yanlışlıkların önüne geçilmek için tanımlayıcı alan oluşturulmuştur. Bu çözüm ile doğru eşleşme oranı artırılmıştır. SURF yöntemi ile ilgi nokta çıkarımı yapılmış ardından HOG yöntemi ile tanımlayıcı alanlar oluşturulmuştur. Son olarak da çakıştırma işlemi yapılmıştır.

Öznitelik çıkarma, çıkarılan özniteliklerin ölçeklendirilerek tanımlayıcı alanların elde edilmesi, ardından bu tanımlayıcı alanların eşleştirilmesi ve son olarak yanlış eşleştirmelerin elenerek görüntülerin üst üste bindirilmesi ile bant çakıştırma işlemi yapılmaktadır. Bazen bant çakıştırma yöntemlerinin gereksinimlere göre uygun olarak iyileştirilmesi gerekebilmektedir. Çünkü yapılan eşleştirmelerde elde edilen veriye bağlı olarak yanlış eşleşmeler olabilmektedir. Bunun ile ilgili literatürde birçok iyileştirme çalışması yapılmıştır. (Paul, 2016)'un çalışmasında SIFT yöntemi ile çıkarılan özniteliklerin bant homojen olarak dağıldığı ve eşleşen özniteliklerin doğru çakıştırma için yetersiz kalabildiği söylenmiştir. Çalışmada homojen olarak dağılmış öznitelikleri çıkarabilen iyileştirilmiş bir SIFT yöntemi sunulmuştur. Ardından histogram eşitleme ve RANSAC ile yanlış eşleşmeler elenmiştir. Son olarak da güvenilir eşleşme olup olmadığının anlaşılması için metrik önerisinde bulunulmuştur. Tüm veri kümeleri ile elde edilen sonuçlar SIFT ile kıyaslandığında çıkarılan öznitelik sayısı yaklaşık 4 kat artmıştır. Sonuç elde etme süresi de yaklaşık yarıya düşmüştür. (Hyeon, 2016)'un çalışmasında hafıza kullanımını iyileştiren ve çalışma hızını artıran iyileştirilmiş bir SURF metodu sunulmuştur. Geleneksel SURF yöntemi incelendiğinde ilgi nokta tespitinde büyük miktarda hafızaya gerek olmadığı halde kullanıldığı ve ilgi noktalardan tanımlayıcı alan oluştururken tekrarlı işlemlerin fazlaca yapıldığı belirtilmiştir. Yapılan çalışmada SSR (ölçek alan gösterimi) ve LOC (mekan analiz) işlemleri yapılarak etkili hafıza kullanımı yapılmaya çalışılmış ve kullanılan dışı kalan hafıza serbest bırakılmıştır. HWR ile tekrar edilen hafıza erişimleri elenmiştir. Bunların yanında literatürde bant çakıştırma problemini farklı yaklaşımlar ile çözen yöntemler de bulunmaktadır. Örneğin (Ufuk, 2018)'un çalışmasında dinamik zaman bükme ve ayırık dalgacık dönüşümü algoritmaları kullanılarak hesaplama maliyeti düşük bir bant eşleştirme yöntemi önerilmiştir. Öncelikle biküçük enterpolasyon ile tüm bantların çözünürlüğü pankromatik görüntülerin çözünürlüğüne yükseltilmiş, sonrasında görüntülerde ayırık dalgacık dönüşümü yapılarak tüm pikseller düşük ve yüksek frekans bileşenlerine ayrıştırılmıştır. Aynı işlem tüm satırlar için ayrı ayrı yapılarak sonuçta yatay ve düşeyde düşük ve yüksek frekanslarda olmak üzere toplam 4 bileşen elde edilmiş. Elde edilen bileşenlerden dinamik zaman bükme algoritması için satır ve sütunlar seçilmiş, sonrasında eşleşmiş görüntüler elde edilmiştir. Sonuçlar SIFT ile kıyaslanmıştır. (Li, 2015)'nin çalışmasında görüntü üzerinde meydana gelebilecek ölçek, rotasyon veya renk değişimlerine karşı değişmezlik niteliği sebebiyle SIFT yönteminin sıklıkla tercih edilen yöntemlerin başında geldiği söylenmiş fakat bazı görüntülerdeki yerel benzerlikler sebebiyle yanlış eşleşmeler olabildiği belirtilmiştir. Çalışmada görüntülerdeki geometrik benzerlikleri göz önüne alarak çakıştırma yapan iyileştirilmiş bir SIFT metodu sunulmuştur. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda iyileştirilmiş eşleştirme yönteminin yanlış eşleşmeleri etkili bir biçimde ellediği görülmüştür. Çıkarılan

öznitelikler için sabit bir eşleşme eşik değeri hesaplanarak eşik değerin dışında kalan öznitelikler elenmiştir. Eşik değer ile eleme yapıldıktan sonra öznitelik kümeleri oluşturulmuş ve diğer tüm noktalar ile kıyaslanarak gerçekleşen değişiklik aranmış ve görüntüler üzerinde kaydırma, rotasyon, çeşitli renk değişim yöntemleri ve ölçek değiştirme yöntemleri uygulanmış ve test görüntüleri oluşturulmuştur. SIFT ile kıyaslandığında %5 ile %15 arasında başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında uzaktan algılama uygulamalarının bant çakıştırma süreçlerinde SURF metodu sıklıkla kullanılmaktadır. Fakat görüntüler arası doğru eşleştirmelerin yapılması için ayırıcı noktaların tespit edilmesi, tanımlayıcı alanların oluşturulması ve bunların eşleştirilmesinden sonra çeşitli eksiklikler görülebilmektedir. Geometrik ve fotometrik deformasyonlardan kaynaklanan görüntülerde veya ölçek değişiminde veya ilgi noktasının değişiminde veya farklı sensörlerin kullanımında yetersiz sonuçlar alınabilmektedir. Bu çalışmada da ayırıcı nokta sayısının artırılması, doğru eşleşme oranının yükseltilmesi ve hesaplama maliyetlerinin azaltılması amaçları gözetilerek pozisyon ve ölçek yöneltmeli (PSO) SURF metodu önerilmiştir. Önerilen çözüm ve kıyaslanan algoritmalar RASAT uydusu ile çekilen Çanakkale'ye ait çok kanallı uydu görüntülerinde test edilmiştir.

## 2. PSO-SURF METODU

Önerilen PSO-SURF yönteminde öncelikle SURF metodu ile ayırıcı noktalar çıkarılır ve her bir ayırıcı nokta için öznitelikler hesaplanır. Çıkarılan öznitelikler ile ön eşleşme yapıldıktan sonra ikinci eşleştirmede kullanılmak üzere ölçeklendirme, rotasyon ve pozisyonlandırma hesaplamaları için (Ma, 2017)'nin PSO denklemi kullanılır. Eşleşecek ikililerin aynı rotasyon açısında, aynı ölçekte bulunarak yatay ve dikey olarak üst üste çakışması hedeflenir. Bunun yanında yanlış eşleşmelerin olmaması da öncelikli amaçlar arasındadır. Aşağıda sıra ile önerilen çözüm anlatılmıştır.

### 2.1 Öznitelik Çıkarımı

Görüntü içinde bulunan ayırıcı noktaların tespit edilmesi ve ardından bu noktalardan tanımlayıcı alan oluşturulması için kullanılan SURF yönteminde öncelikle görüntü integrali ya da diğer adıyla bütünleştirme yapılmıştır. Denklem (1) ile görüntünün her bir pikseli için integral değeri bulunur.

$$I_{\Sigma(x,y)} = \sum_{i=0}^{i \leq x} \sum_{j=0}^{j \leq y} I(i,j) \quad (1)$$

Ardından Hessian matrisleri ve bunların determinant değerleri hesaplanır. Bu adım için denklem (2) ve (3) kullanılmıştır.

$$H(I(x,y)) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 I}{\partial y \partial x} \\ \frac{\partial^2 I}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\det(H(I(x,y))) = \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 I}{\partial x \partial y}\right)^2 \quad (3)$$

Dördüncü adımda x ve y koordinat değerlerine sahip bir p noktasının ikinci dereceden Gaussian türevinin Laplacian değeri

denklem (4) ile hesaplanmıştır. Kısaca LoG olarak da adlandırılır.

$$H(P, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(P, \sigma) & L_{xy}(P, \sigma) \\ L_{xy}(P, \sigma) & L_{yy}(P, \sigma) \end{bmatrix} \quad (4)$$

En son adımda SURF yönteminin Gaussian Kernel'lerinin kutu filtreleri ile yaklaşık değerinin hesaplanması yapılmaktadır. Denklem (5)'te de bu adımın denklemi verilmiştir.

$$\det(H) \cong D_{xx}D_{yy} - (wD_{xy})^2 \quad (5)$$

SURF metodunun çözüm adımları (Bay, 2008)'in çalışmasında bu şekilde açıklanmaktadır. Bu işlemlerin bütünü birden ayırıcı nokta ve noktalarla ait tanımlayıcı alan çıkarımı olarak ifade edilmiştir. Yukarıdaki hesaplamalardan sonra sıra tanımlayıcı alanların eşleştirilmesi adımına gelmektedir. İlk eşleştirme var olan öznelikler ile yapılarak her bir ayırıcı nokta için pozisyon, ölçek ve oryantasyon hata değerleri hesaplanır. Tanımlayıcı alan eşleştirme işlemleri aşağıda anlatılmıştır.

## 2.2 Pozisyon ve Ölçek Yönelme

Tanımlayıcı alan eşleştirme için öncelikle referans görüntü ve algılanan görüntüden çıkarılan öznelik kümeleri girdi olarak alınır. Referans görüntü için öznelik kümesi  $p$ , algılanan görüntü için  $p'$  olsun. Her bir özneliğin pozisyonu, ölçeği ve oryantasyon değeri sırası ile  $(x, y)$ ,  $s$  ve  $\theta$  olsun.  $p'$  kümesi için aynı değerler  $(x', y')$ ,  $s'$  ve  $\theta'$  olsun. Denklem (6) ile her bir özneliğe karşılık gelen pozisyon dönüşüm hatası bulunur. Bu denkleme girdi olarak gelen benzerlik transformasyon değeri (Wu, 2015)'nin FSC çalışmasından hesaplanmaktadır.

$$e_p(p_i, p'_j) = \|(x_i, y_i) - T((x'_j, y'_j), \mu)\| \quad (6)$$

$$T((x'_j, y'_j), \mu) \quad (7)$$

Denklem (7)'de hesaplama değeri için gösterilen, ilk dönüşüm parametresi olan  $\mu$  değeri de aynı şekilde (Wu, 2015)'nin FSC çalışmasından elde edilir. Bu değerler giriş bölümünde bahsedilen FSC yönteminin uygulanmasından sonra elde edilen değerlerdir. İki görüntü arasındaki ölçek hatası denklem (8) ile göreceli temel oryantasyon farkı da denklem (9) ile hesaplanmaktadır. Denklem (10)'da da oryantasyon hatası alt formülü verilmiştir. Bu formüllerde kullanılan  $r^*$  ve  $\Delta\theta^*$  değerleri kip konum değerleridir.

$$e_s(p_i, p'_j) = \left| 1 - (r^*) \frac{s'_j}{s_i} \right| \quad (8)$$

$$e_o(p_i, p'_j) = abs(\Delta\theta_{i,j} - \Delta\theta^*) \quad (9)$$

$$\Delta\theta_{i,j} = \theta_i - \theta'_j \quad (10)$$

PSO algoritmasının hesaplama adımlarında kullanılan denklemler ile hesaplanan  $e_p(p_i, p'_j)$ ,  $e_s(p_i, p'_j)$  ve  $e_o(p_i, p'_j)$  değerleri ikinci eşleşmede mesafe hesabında kullanılacaktır ve aşağıdaki son başlıkta anlatılmıştır.

## 2.3 Pozisyon ve Ölçek Yönelmeli Mesafe Hesabı

İlk eşleştirme sonrasında ölçek oranı, temel oryantasyon farkı, yatay ve dikey kaydırma değerleri hesaplanmıştır.  $r^*$ ,  $\Delta\theta^*$ ,  $\Delta x^*$  ve  $\Delta y^*$  değerleri de FSC'den elde edilmiştir. En son adım olan bu adımda PSOED hesaplaması ile tekrar eşleştirme işlemi

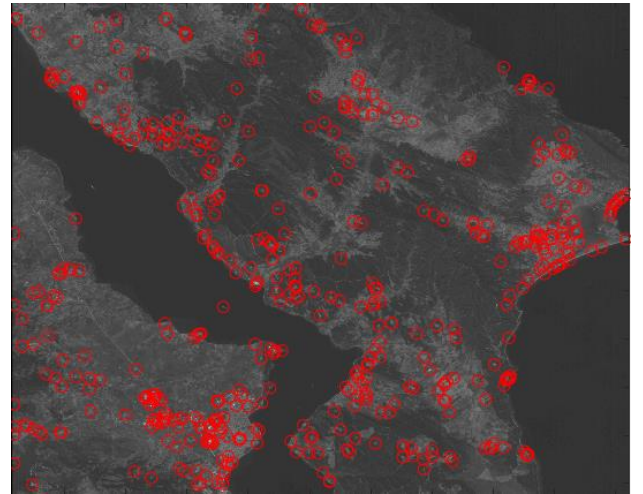
yapılarak nihai çözüm üretilir. Her bir ayırıcı noktaya karşılık gelen PSO Euclidean mesafesi denklem (11) ile bulunur.

$$\begin{aligned} \text{PSOED}(p_i, p'_j) = & \\ & (1 + e_p(p_i, p'_j)) * (1 + e_s(p_i, p'_j)) * \\ & (1 + e_o(p_i, p'_j)) * ED(p_i, p'_j) \end{aligned} \quad (11)$$

Denklem (11) ile elde edilen nihai çözüm görüntü çakıştırma her bir pikselin değişim mesafesi olacaktır. Referans alınan ve algılanan görüntüde birbirine karşılık gelen noktalardan elde edilen  $e_p(p_i, p'_j)$ ,  $e_s(p_i, p'_j)$  ve  $e_o(p_i, p'_j)$  değerlerine 1 ekleme yapılır ve Euclidean mesafesi ile hepsinin çarpım değeri hesaplanır. Yukarıda verilen tüm formüller MATLAB ortamında hazırlanmış ve RASAT uydusu ile çekilen 26.03.2012 tarihli Çanakkale görüntülerinde test edilmiştir.

## 3. SONUÇLAR

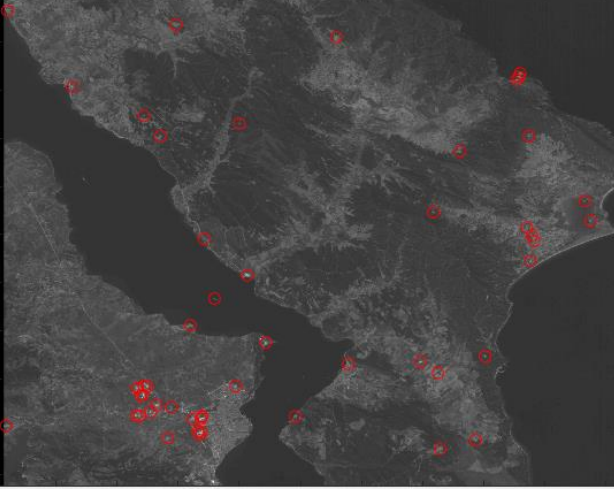
PAN banda ait görüntü, referans görüntü olarak kabul edilerek kırmızı, yeşil ve mavi bantlara ait öznelikler SURF, FSC-SURF, FSC-SIFT, PSO-SIFT metodları ile hesaplanmıştır. Değerlendirme metriği olarak ayırıcı nokta sayısı, bu noktaların çıkarılma süresi, eşleşen öznelikler, eşleşen öznelik oranı ile beraber toplam süre hesaplanmıştır. PSO-SIFT ve PSO-SURF metodları için öznelik çıkarım ve eşleşme görüntüleri de ayrıca paylaşılmıştır. SURF tabanlı çözümlerde görüntü integralinin elde edilmesi sürecinde her bir piksele görüntü boyutundan bağımsız üç adet toplama işlemi yapıldığı için hesaplama zamanının SIFT tabanlı çözümlere göre çok kısaldığı görülmüştür. Bunun yanında SIFT tabanlı yöntemler daha uzun sürede çözüm üretmesine rağmen çıkarılan doğru öznelik sayısı SURF tabanlı çözümlere göre sayıca fazla çıkmıştır. Bu çalışmada önerilen çözüm SIFT ile kıyaslandığında öznelik sayısı her zaman azalmasına rağmen hesaplama hızının her zaman kısaldığı görülmüştür. Bu sonuçlara ek olarak (Ma, 2017)'nin önerdiği eşleştirme çözümü kırmızı bant ile yapılan çalışmalarda doğru sonuç verememiştir. İkinci eşleştirme aşamasında yanlış eşleşmeleri elemek için kullanılan filtreye takılmaktadır ve doğru sonuç verememektedir. Her bir yöntem için RASAT uydusu ile elde edilen Çanakkale görüntüleri üzerindeki sonuçlar aşağıda paylaşılmıştır. Yukarıda belirtilen metriklere ait değerler de Tablo 1, 2 ve 3'te ayrıca sunulmuştur.



Görüntü 1. PSO-SIFT ile eşleşen öznelikler

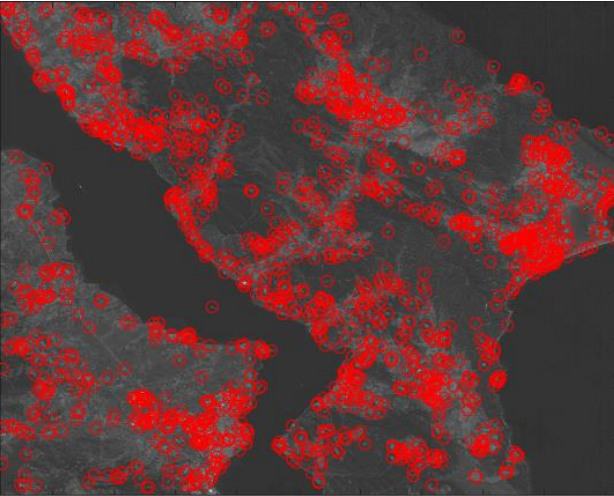
Görüntü 1'den görüleceği gibi deniz alanlarında ayırıcı nokta bulunamamıştır. Ormanlık alanlarda da aynı şekilde az sayıda

nokta bulunmuştur. RASAT uydusunun görüntü çözünürlüğünün 15 metre olduğu düşünüldüğünde deniz ve orman alanlarında öznelik bulunamaması normaldir. PSO-SIFT ile çıkarılan öznelik sayısı SURF tabanlı çözümlerden yüksek olmasına rağmen çözüm süresi en uzun olan yöntem de PSO-SIFT olmuştur.



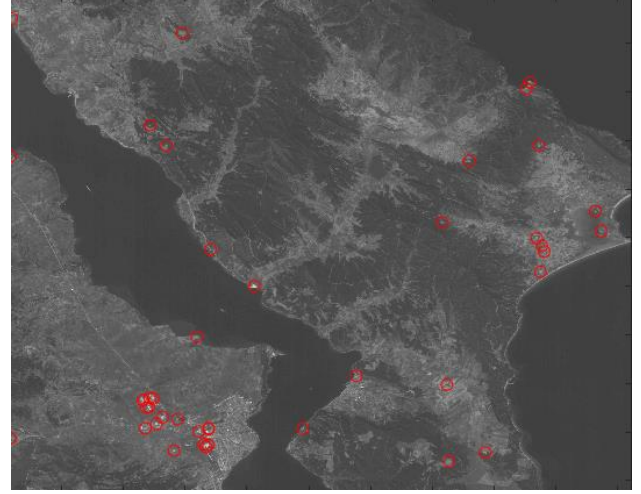
Görüntü 2. PSO-SURF ile eşleşen öznelikler

Görüntü 2'de bulunan ayırıcı nokta sayısı Görüntü 1'e göre çok azdır. Fakat Tablo 1, 2 ve 3'te belirtilen hesaplama zamanları dikkate alındığında tekrar edilebilirlik yönünden daha iyi olduğu değerlendirilmektedir. SURF ile kıyaslandığında da öznelik sayısı artmıştır. Eşleşen öznelik oranı diğer yöntemlere göre yüksektir.



Görüntü 3. FSC-SIFT ile eşleşen öznelikler

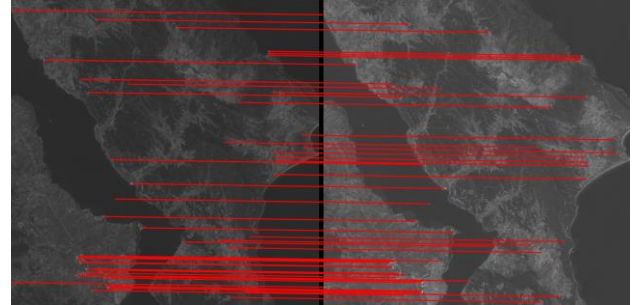
Görüntü 3'te FSC-SIFT metodunun sonuçları gösterilmiştir. PSO-SIFT ile kıyaslandığında aralarındaki fark ikinci eşleştirme işleminin yapılmamasıdır. Hem hesaplama zamanı olarak hem de ayırıcı nokta sayısı hesaplamada PSO-SIFT'e göre iyi sonuçlar vermiştir. PSO-SURF ile kıyaslandığında hesaplama zamanının uzun sürdüğü görülmüştür.



Görüntü 4. FSC-SURF ile eşleşen öznelikler

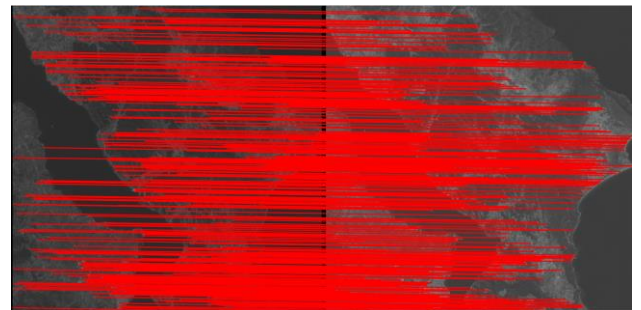
Son olarak FSC-SURF metodunun sonuçları paylaşılmıştır. Kıyaslanan 5 metod arasında en az öznelik sayısına sahiptir. SURF metodu için MATLAB'ta bulunan SURF metodu kullanılmıştır.

Öznelikler çıkarıldıktan sonra eşleştirme işlemi bant çakıştırmanın son adımıdır. Pozisyon, ölçek ve rotasyon hesaplamalarının yapılmasından sonra iki görüntüde eşleşen noktalar arasında çizgi çizilmesi çözümün doğruluğunun görsel olarak anlaşılmasına yardımcı olmuştur. Aşağıda PSO-SURF ve PSO-SIFT metodlarından elde edilen öznelik eşleştirme görüntüleri gösterilmiştir.



Görüntü 5. PSO-SURF ile özneliklerin eşleştirilmesi

Görüntü 5'ten görüleceği gibi önerilen PSO-SURF metodunun doğru eşleştirme oranı hatasız çıkmaktadır. Böylece eşleşen noktalar üst üste çakıştırılarak görüntü elde edilmektedir. PSO-SIFT ile kıyaslandığında daha az sayıda ayırıcı nokta olduğu görülmüştür. Eğimli arazilerde başarılı çakıştırma olumsuz etkileyeceği değerlendirilmektedir.



Görüntü 6. PSO-SIFT ile özneliklerin eşleştirilmesi

Son görüntü olan Görüntü 6'da PSO-SIFT'e ait noktalar eşleştirilmiştir. Tablo 2 ve 3'te verilen sonuçlara göre nokta sayısı en fazla ikinci yöntem olmasının yanında toplam sonuç elde etme süresi PSO-SURF'e göre yaklaşık 10 kattan fazla uzundur. Zaman kısıtı olmadığı durumlarda başarılı bant çıkartırma için elverişlidir.

Bildirinin önceki başlıklarında belirtildiği gibi SURF metodu ile çıkarılan öznelikler (Ma, 2017)'nin eşleştirme çözümüne girdi olarak verilmiştir. Önerilen PSO-SURF yöntemi ile SURF metoduna göre daha fazla öznelik çıkarılmış ve eşleştirme sayısı artırılmıştır. SIFT yöntemi ile kıyaslandığında ise daha kısa sürede sonuç alınmıştır. Sonuçlar aşağıda paylaşılmıştır.

METOT	Ayrırcı nokta sayısı	Ayrırcı nokta çıkartım süresi (s)	Eşleşen Öznelik sayısı	Eşleşen Öznelik Oranı (%)	Toplam Süre (s)
SURF	2174	0.39	49	2.3	1.10
FSC-SURF	2174	0.39	51	2.4	1.29
FSC-SIFT	18230	21.40	1869	10.3	94.81
<b>PSO-SURF</b>	<b>2174</b>	<b>0.39</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1.45</b>
PSO-SIFT	15705	25.85	22	1	232.46

Tablo 1. PAN ve kırmızı bant eşleştirme sonuçları

METOT	Ayrırcı nokta sayısı	Ayrırcı nokta çıkartım süresi (s)	Eşleşen Öznelik sayısı	Eşleşen Öznelik Oranı (%)	Toplam Süre (s)
SURF	337	0.41	42	12.5	1.21
FSC-SURF	337	0.41	44	13.1	1.17
FSC-SIFT	7434	11.37	1666	22.4	41.62
<b>PSO-SURF</b>	<b>337</b>	<b>0.41</b>	<b>52</b>	<b>15.4</b>	<b>0.99</b>
PSO-SIFT	4071	12.6	495	12.2	32.6

Tablo 2. PAN ve yeşil bant eşleştirme sonuçları

METOT	Ayrırcı nokta sayısı	Ayrırcı nokta çıkartım süresi (s)	Eşleşen Öznelik sayısı	Eşleşen Öznelik Oranı (%)	Toplam Süre (s)
SURF	65	0.33	24	36.9	0.96
FSC-SURF	65	0.33	26	40.0	1.12
FSC-SIFT	1339	8.98	656	49.0	14.6
<b>PSO-SURF</b>	<b>65</b>	<b>0.33</b>	<b>36</b>	<b>55.4</b>	<b>0.89</b>
PSO-SIFT	614	10	226	36.8	11.7

Tablo 3. PAN ve mavi bant eşleştirme sonuçları

Yukarıdaki tablo ve görüntülerde verilen sonuçlara baktığımızda SURF metodunun ayrırcı nokta çıkartım süresinin çok kısa olduğu ve SIFT metodu ile kıyaslandığında çözümün çok hızlı olduğu görülmektedir. Tekrar edilebilirlik niteliği çok yüksektir. SIFT metodunun ise çıkartım süresi uzun olmasına rağmen çıkarılan nokta sayısının fazla olması ile doğru eşleştirme yeteneğinin daha iyi olacağı değerlendirilmektedir. Sonuç olarak PSO-SURF yöntemi ile SURF ve FSC-SURF yöntemlerine göre daha fazla sayıda doğru eşleşme üretmiş, eşleşen öznelik oranı yüksektir. Toplam hesaplama maliyeti de SIFT tabanlı yöntemlere göre azalmıştır. Bunlara ek olarak algoritmaların hesaplama hızının kodlama sırasında kullanılan döngülerde CPU üzerinde paralelleştirme yapılması veya GPU programlama kullanılarak küçük hesaplamaların dağıtık

yapılması ile çok daha iyi sonuçlar alınabileceği değerlendirilmektedir.

## BİLGİLENDİRME

Bu çalışmada (Ma, 2017)'nin makalesinde paylaştığı kodlarından faydalanılmıştır. Yazar ile iletişime geçilerek bilgi talep edilmiş ve elde edilen sonuçlar hakkında geri bildirimler iletilmiştir.

Yapılan yayın çalışması T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı (T.C. Kalkınma Bakanlığı) tarafından desteklenen Milli Yer İstasyonu Geliştirme (MİYEG) Projesi kapsamında desteklenmektedir.

## REFERANSLAR

Anzid, H., Goic, G. L., 2017 "An automatic filtering algorithm for SURF-based registration of remote sensing images", 3rd International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing.

Bay, Herbert, Andreas Ess, Tinne Tuytelaars, and Luc Van Gool. 2008. "Speeded-Up Robust Features (SURF)." *Computer Vision and Image Understanding* 110 (3): 346–59. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2007.09.014>.

Hyeon, Seung, Cheon Il, Kyu Eom, Seok Wun, Ha Yong, and Ho Moon. 2016. "An Enhanced SURF Algorithm Based on New Interest Point Detection Procedure and Fast Computation Technique." *Journal of Real-Time Image Processing*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/s11554-016-0614-y>.

Li, Jinke, and Geng Wang. 2015. "An Improved SIFT Matching Algorithm Based on Geometric Similarity." *IEEE 5th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication*, no. 13: 5–8.

Lowe, David G. 2004. "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints." *International Journal of Computer Vision*, 1–28.

Ma, Wenping, Zelian Wen, Yue Wu, Licheng Jiao, and Senior Member. 2017. "Remote Sensing Image Registration With Modified SIFT and Enhanced Feature Matching." *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 14 (1): 3–7. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2016.2600858>.

Patel, Manish I, Vishvijit K Thakar, and Shishir K Shah. 2016. "Image Registration of Satellite Images with Varying Illumination Level Using HOG Descriptor Based SURF." *Procedia - Procedia Computer Science* 93 (September). The Author(s): 382–88. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.224>.

Patel, Mital S., N. M. Patel, and Mehfuza S. Holia. 2016. "Feature Based Multi-View Image Registration Using SURF." *International Symposium on Advanced Computing and Communication, ISACC*, 213–18. <https://doi.org/10.1109/ISACC.2015.7377344>.

Paul, Sourabh, and Umesh C. Pati. 2016. "Remote Sensing Optical Image Registration Using Modified Uniform Robust SIFT." *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 13 (9): 1300–1304. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2016.2582528>.

Teke, Mustafa. 2016. "SATELLITE IMAGE PROCESSING

WORKFLOW FOR RASAT AND.” *Journal of Aeronautics And Space Technologies Volume 9 Number 1 (1-13) 9 (1)*.

Teke, Mustafa, Alptekin Temizel, Enformatik Enstitüsü, Orta Doğu, and Teknik Üniversitesi. 2010. “Çoklu Bant Uydu Görüntülerinin Ölçek Sınırlandırılmış SURF Kullanılarak Çakıştırılması Registration of Multi-Spectral Satellite Images with Scale- Restricted SURF.” *IEEE 18.Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, 356–59.

Ufuk, D Utku. 2018. “Dinamik Zaman Bükme ve Ayrık Dalgacık Dönü , Sümü İle Uydu Görüntülerinde Bant E , Sle , Stirme Satellite Image Band Registration with Dynamic Time Warping and Discrete Wavelet Transform.” *26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 0–3.

Yang, Kang, Leif Karlstrom, Laurence C Smith, and Manchun Li. 2017. “Automated High-Resolution Satellite Image Registration Using Supraglacial Rivers on the Greenland Ice Sheet.” *IEEE Journal of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing, Vol. 10, No. 3* 10 (3): 845–56.

Zhuoqian, Yang, Liu Xinang, Yang Yang, and A Harris Corner Detection. 2017. “Harris Feature and Coherent Point Drift Based Remote Sensing Image Registration.” *13th International Conference on Electronic Measurement & Instruments*, no. 1.