

# SURF ALGORİTMASI KULLANILARAK UZAKTAN ALGILAMA GÖRÜNTÜLERİNİN GEOMETRİK KAYDI

Pınar KARAKUŞ<sup>1</sup>, Hakan KARABÖRK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Arş. Gör., Selcuk Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 42250, Selçuklu, Konya, [pukarakus@gmail.com](mailto:pukarakus@gmail.com)  
<sup>2</sup>Doç. Dr., Selcuk Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 42250, Selçuklu, Konya, [hkarabork@selcuk.edu.tr](mailto:hkarabork@selcuk.edu.tr)

## ÖZET

*Geometrik kayıt; iki görüntünün aynı noktalarını eşleştirme ya da bir görüntüyü diğerine göre düzeltme işlemidir. Değişim tespiti, görüntü kaynaştırma, çevresel izleme, multispektral sınıflandırma gibi birçok uzaktan algılama uygulamasında gerekli bir işlemdir. Çalışmada, aynı bölgeye ait SPOT uydusundan iki farklı tarihte alınan görüntüler kullanılmıştır. Uydü görüntülerinin otomatik kaydı için özellik noktalarının otomatik elde edilmesinde SURF (Speed Up Robust Features) algoritması kullanılmıştır. SURF algoritması dönüklük, ölçek ve gürültüye karşı değişmeyen yerel özellik noktalarını; hızlı, doğru, sağlam bir şekilde elde eden bir algoritmadır. SURF algoritması ile her bir resimdeki özellik noktaları bulduktan sonra eşlenik noktalar en yakın komşuluk yöntemi ile elde edilmiştir. Daha sonra eşlenik noktalar kullanılarak RANSAC (Random Sample Consensus) algoritması ile yanlış olarak eşlenen noktalar elimine edilmiş ve doğru olarak bulunan eşlenik noktalar ile homografi matrisi kurulmuştur. Homografi matrisi iki resim arasındaki ilişkiyi temsil eden dönüşüm matrisidir. Tüm bu işlemler MATLAB programında yazılan bir programda yapılmıştır. Sonuçlar otomatik görüntü kaydı işleminde SURF algoritmasının kullanılabilceğini göstermiştir.*

**Anahtar Sözcükler:** Geometrik Kayıt, RANSAC, SURF.

## ABSTRACT

### GEOMETRIC REGISTRATION OF REMOTE SENSING IMAGES USING SURF ALGORITHM

*Image registration is a process of determining the point-to-point correspondence between two images or correction an image to another. It is a necessary process in many remote sensing application such as change detection, image fusion, environmental monitoring, multispectral classification. In this study, SPOT satellite images taken on different dates of the same region were used. SURF(Speed Up Robust Features) algorithm used to obtain the feature points for automatic registration of satellite imagery. SURF is fast, accurate and robust algorithm to extract distinctive invariant features from images. This local feature points invariant to image scaling, rotation and noise. After each feature point in an image is found by SURF algorithm, tie points were obtained by the nearest neighbor method. Then, incorrectly matched points were eliminated by RANSAC (Random Sample Consensus) and homography matrix has been established with correct correspondence points. Homography matrix is a transformation matrix representing the relationship between the two images. All these operations are performed in a program written in MATLAB. Results show that SURF could be used in automatic image registration*

**Keywords:** Image registration, RANSAC,SURF.

## 1. GİRİŞ VE ANA BÖLÜMLER

Görüntü kaydı, aynı veya farklı sensörlerden aynı veya farklı zamanlarda alınan iki veya daha fazla görüntünün aynı olan noktalarını eşleştirme ya da bir görüntüyü diğerine göre düzeltme işlemidir. Görüntü kaydı, değişim tespiti, görüntü kaynaştırma, çevresel izleme, multispektral sınıflandırma gibi birçok uzaktan algılama uygulamasında gerekli bir işlemdir.

Uzaktan algılama uygulamalarında görüntü kaydı (görüntü çakıştırılması) iki şekilde yapılmaktadır. İlkinde, uzaktan algılama platformunun gerekli olan uçuş parametrelerinin kullanıldığı parametrik yöntem, diğer yöntem ise sadece yer kontrol noktalarının kullanıldığı parametrik olmayan yöntemdir. Bu noktalar dönüşüm fonksiyonun parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Bouchiha ve Besbes,2013).

İkinci şekilde yapılan yöntemde manuel kayıt ve otomatik kayıt yöntemleri kullanılmaktadır. Otomatik kayıt yöntemlerinde ya çok az ya da hiç operatör desteği gerekmemektedir. . Eğer görüntülerde yeterli ve kolaylıkla ayırt edilebilecek nesnelere mevcutsa özellik tabanlı yöntemler (Feature-based) önerilmektedir. Uzaktan algılama uygulamaların çoğunda bu yöntem kullanılmaktadır. Uzaktan algılama çalışmalarında özneteliklerin bulunmasında Ölçekten Bağımsız Öznetelik Dönüşümü (SIFT) (Lowe,2004) ve Hızlandırılmış Gürbüz Öznetelikler (SURF) (Bay ve ark.,2008) yöntemleri en çok kullanılan yöntemlerdir. SURF yönteminin SIFT yönteminden daha hızlı olduğu bilinmektedir.

Özellik tabanlı görüntü kaydı işlemleri görüntü üzerindeki özelliklerin (noktalar, çizgiler, kenarlar,) çıkarılması, bu çıkarılan özelliklerin eşleştirilmesi, RANSAC yada LMedS (Least Median of Square) gibi yöntemlerle önceki aşamada alınan noktalar ile görüntüler arasındaki en iyi dönüşüm parametrelerini içeren matrisin bulunması ve yeniden örnekleme(en yakın komşu, bilinear, kübik ) yöntemleri ve bir önceki aşamadaki matris ile görüntülerin kayıt edilmesi aşamalarından oluşmaktadır.

Bu çalışmada, SURF yönteminin uzaktan algılama görüntülerinin otomatik kaydında kullanılabilirliği araştırılmıştır. 1. Bölümde SURF algoritması, RANSAC algoritması ayrıntılarıyla ele alınmış, test verileri-değerlendirme kriterinden bahsedilmiş, önerilen yaklaşım anlatılmış, 2. Bölümde de sonuçlara yer verilmiştir.

## 1.1 SURF

SURF ölçek ve dönüklük değişimlerinden etkilenmeyen bir tanımlayıcıdır. SURF yöntemi ilk olarak 2006 yılında Herbert Bay tarafından ortaya atılmıştır. Kısmen SIFT tanımlayıcısından esinlenilmiştir. SURF 2 boyutlu Haar dalgacık yanıtlarının toplamına dayanmaktadır. Hesaplama süresini azaltmak için tamamlayıcı (integral) görüntüler kullanılmaktadır (Bay ve ark., 2006).

Tamamlayıcı görüntüler verilen dikdörtgen bir alanın hızlı bir şekilde hesaplanmasını sağlamaktadır.  $I = (x, y)$  konumunda  $I_{\Sigma}(x)$  tamamlayıcı görüntüsü, nokta ve onun merkezinde şekillenmiş dikdörtgen bir alan içindeki  $I$  giriş görüntüsündeki bütün piksellerin toplamıdır (Bay ve ark., 2006).

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

Tamamlayıcı görüntüler hesaplanır hesaplanmaz, herhangi bir dik dikdörtgen alanının üzerindeki yoğunlukların toplanması için 3 işlem yapılmaktadır. Dolayısıyla, hesaplama zamanı boyuttan bağımsız bir hal almaktadır.

**Fast-Hessian Detektörü:** SURF tanımlayıcısı detektör olarak Fast-Hessian detektörünü kullanmaktadır. SURF detektörü Hessian matrisinin determinantına dayanmaktadır. Hessian matrisinin determinantının maksimum olduğu konum görüntü bölgelerinin (blob) elde edilmesinde kullanılmaktadır. Ölçek ve konum seçimi için iki farklı yöntem kullanılmaktan ziyade, her ikisi içinde Hessian matrisinin determinantı kullanılmaktadır. Diskriminant olarak da adlandırılan Hessian matrisinin determinantı görüntünün 2. dereceden türevi yardımıyla görüntüdeki maksimum ve minimum noktaların bulunmasında kullanılmaktadır.  $I(x, y)$  görüntü noktası için Hessian matrisi aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır (Bay ve ark., 2006).

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

Hessian matrisinin determinantı aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

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

LoG ile görüntünün 2. Dereceden türevi alınarak ölçek uzayında sabit değişmeyen kilit noktalar elde edilmektedir.

$I$  görüntüsü içerisindeki  $\sigma$  ölçeğinde bir  $P(x, y)$  noktasında Hessian matrisi aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

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

$L_{xx}(P, \sigma)$ ,  $I$  görüntüsündeki  $P$  noktasının Gaussun 2. Dereceden türevinin  $\frac{\partial^2}{\partial x^2} g(G)$  alınması ile elde edilmektedir.  $L_{xy}(P, \sigma)$  ve  $L_{yy}(P, \sigma)$  değerleri de benzer şekilde hesaplanmaktadır. Bu türevler Gauss'un Laplası (LoG) olarak bilinmektedir. Görüntünün 2. dereceden kısmi türevini almak için görüntü uygun bir çekirdek (kernel) ile (convolution) yaklaşılır (Bay ve ark., 2006).

Tahmini Gausslar kullanılarak Hessianın determinanı (5) numaralı eşitlik ile hesaplanmaktadır. LoG yaklaşımı ile bulunan 2. Dereceden Gaussun kısmi türevlerinin  $x, y, xy$  yönünde ağırlıklandırılmış kutu filtre yaklaşımı (tahmini)  $(D_{xx}, D_{xy}, D_{yy})$  ile gösterilmektedir. Determinant burada  $P(x, y, \sigma)$  konumundaki görüntü bölgesi olarak adlandırılmaktadır (Bay ve ark., 2006).

$$\det(H_{approx}) = D_{xx}D_{yy} - (wD_{xy})^2 \quad (5)$$

$w$  Gausslar arasındaki enerji dönüşümü ile hesaplanmaktadır. Bu değer Bay tarafından 0,9 olarak önerilmektedir.

**Ölçek uzayı oluşturulması:** Eşleştirilmesi istenen görüntüler farklı ölçeklerde olabilir veya detaylar farklı ölçeklerden elde edilebilmektedir. Bir ölçek uzayı bütün olası ölçekler karşısında maksimumu bulmak için kullanılabilen sürekli bir fonksiyondur. Ölçek uzayı genellikle görüntü piramitleri şeklindedir. Görüntüler defalarca bir Gaussian ile yumuşatılmakta, sonra piramidin en üst seviyesine ulaşmak için alt- örneklenmektedir (boyutta azaltma) (Bay ve ark., 2006).

Kutu filtreler ve tamamlayıcı görüntüler kullanıldığından, önceden filtrelenmiş katmanın çıkış verisine aynı filtre iteratif olarak uygulanmamaktadır. Ancak bunun yerine direk olarak orijinal görüntü üzerinde tam olarak aynı hızda herhangi bir boyutta kutu filtre uygulanabilir. Bu nedenle görüntü boyutunu iteratif olarak azaltmak yerine ölçek uzayı üst ölçeklendirme ile analiz edilmektedir (Bay ve ark., 2006).

**İlgi noktası yerelleştirme** Görüntüdeki ilgi noktalarını konumlandırılması 3 aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşamada önceden belirlenen eşik değerinin altındaki cevaplar elenmektedir. Bu şekilde en güçlü olan noktalar elde edilmektedir.

Eşikleme aşamasından sonra bir  $3*3*3$  komşuluğunda maksimum olmayan noktaların elenmesi yapılmaktadır. Bu şekilde aday ilgi noktaları elde edilmektedir. Ölçek uzayında bu aşamanın gerçekleştirilmesi için her piksel alt ve üst ölçeğinde 9'ar komşusu ve ana ölçekte 8 komşusu olmak üzere toplam 26 komşusu ile karşılaştırılmaktadır. Aşağıdaki şekil maksimum olmayan noktaların elenmesi aşamasını göstermektedir (Bay ve ark., 2006).

Konumlandırma da son aşama da Hessian matrisinin determinantının maksimumları görüntü uzayında ve ölçekte nokta konumlarını bulmak için entepole edilmektedir.

$$H(x) = H + \frac{\partial H^T}{\partial x} x + \frac{1}{2} x^T \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} x \quad (6)$$

Maksimum konum  $\hat{x} = (x, y, \sigma)$ , Hessian matrisinin türevi alınıp sifıra eşitlenerek elde edilmektedir.

$$\hat{x} = - \frac{\partial^2 H^{-1} \partial H}{\partial x^2} \quad (7)$$

Buradaki türevler komşu piksellerin sonlu farkları ile tahmin edilmektedir. Eğer  $\hat{x}$ ,  $(x, y$  veya  $\sigma)$  yönlerinde 0,5'ten büyükse entepolasyon tekrar yapılmaktadır. Tüm yönlerde  $\hat{x}$  değeri 0,5'ten küçük oluncaya kadar veya önceden belirlenen entepolasyon sayısı aşıncaya kadar entepolasyon tekrar edilmektedir (Bay ve ark., 2006).

**İlgi noktası tanımlayıcısı ve eşleme** SURF tanımlayıcısı Fast-Hessian detektörü tarafından belirlenen her bir ilgi noktasının bir ölçeğe bağlı komşuluğu içerisinde piksel yoğunluklarının nasıl dağıtıldığını tanımlamaktadır. Bu yaklaşım SIFT'e benzemekte fakat Haar dalgacık olarak bilinen filtreler ile birlikte kullanılan tamamlayıcı görüntüler hesaplama süresini azaltmakta ve sağlamlığı arttırmada kullanılmaktadır. Haar dalgacıklar  $x$  ve  $y$  gradyentlerini bulmak için kullanılabilen basit filtrelerdir (Bay ve ark., 2006).

Tanımlayıcıların elde edilmesi 2 aşamadan oluşmaktadır. İlki 64 boyutlu bir vektörün oluşturulduğu konumda ölçeğe bağlı olarak bir pencere oluşturulmadan önce her bir ilgi noktasının görüntü dönüklüğüne karşı değişmezliğini sağlamak için tekrarlanabilir bir yön atanmaktadır. Bu aşama ilgi noktası etrafındaki dairesel bir bölgeden alınan bilgiye dayanan tekrar edilebilir bir yön belirlenmesini içermektedir. Sonra seçilen yöne atanan kare

bir bölge elde edilmektedir. SURF tanımlayıcıları bu kare alandan elde edilmektedir. Son olarak ta, bu elde edilen özellikler iki görüntü de eşlenmektedir (Bay ve ark., 2006).

**Yön atama:** ilgi noktaları eşleştirilirken dönüklüğe karşı bağımsızlığın sağlanmasında her bir ilgi noktasında tekrarlanabilir bir yön tanımlanmaktadır. Bir ilgi noktasının  $s$  ölçeğinde olmak üzere, ilgi noktası etrafında  $6\sigma$  yarıçaplı dairesel bir alan içerisindeki komşulukta  $x$  ve  $y$  yönünde  $4\sigma$  boyutlu Haar dalgacık cevapları hesaplanmaktadır (Bay ve ark., 2006). Öncelikle dalgacık cevapları hesaplanmakta ve ilgi noktasında merkezlenmiş bir Gaussian'la ( $\sigma = 2s$ ) ağırlıklandırılmaktadır. Ağırlıklandırılan bu cevaplar noktalar olarak sunulmaktadır. Cevaplar düşey eksen boyunca düşey cevaplar, yatay eksen boyunca yatay cevaplar ile bir nokta olarak sunulmaktadır (Bay ve ark., 2006).

Baskın yön, merkez etrafında  $\pi/3$  açısı ile çevreli bir daire dilimi döndürülerek seçilmektedir. Boyutunun dilimlenmiş yön penceresi içerisindeki bütün cevapların toplamı hesaplanarak tahmin edilmektedir. Pencere içerisindeki düşey ve yatay cevaplar toplanmaktadır. Her bir pozisyonda  $x$  ve  $y$  cevapları dilim içerisinde toplanmakta ve yeni bir vektör oluşturmak için seçilmektedir. En uzun vektör ilgi noktasının yönünü belirlemektedir (Bay ve ark., 2006).

**Haar dalgacık yanıtlarının toplamına dayanan tanımlayıcılar:** Tanımlayıcıların elde edilmesindeki ilk aşama ilgi noktaları etrafında merkezlenmiş kare bir pencere oluşturulması ve yön atama aşamasında seçilen yön doğrultusunda yönlendirilmesidir. Bu pencerenin boyutu  $20s$ 'dir. (Bay ve ark., 2006).

Tanımlayıcı penceresi daha küçük  $4*4$  kare alt bölgelere düzenli bir şekilde bölünmektedir. Bu, önemli uzaysal bilgiyi korumaktadır. Bu alt bölgelerin her biri içerisinde  $2\sigma$  boyutlu Haar dalgacıkları 25 düzenli bir şekilde dağıtılmış örnek nokta hesaplanmaktadır. Her alt bölge için,  $5*5$ 'lik düzenli olarak aralıklandırılmış örnek noktalarda Haar dalgacık yanıtları hesaplanmaktadır. Basitleştirmek için, Haar dalgacık yanıtları yatay yönde  $d_x$ , düşey yönde  $d_y$  adlandırılmıştır (filtre boyutu  $2s$ ) (Bay ve ark., 2006).

Örneklenen 25 noktanın toplam yanıtı aşağıdaki formül ile elde edilmektedir:

$$v_{alt-bölge} = (\sum d_x, \sum d_y, \sum |d_x|, \sum |d_y|) \quad (8)$$

Bütün  $4*4$  alt bölgeler için bu dört boyutlu tanımlayıcı vektörü birleştirilirse, tanımlayıcı vektörü  $4*4*4=64$  boyutunda bir vektör haline gelmektedir (Bay ve ark., 2006).

## 1.2 RANSAC

RANSAC yöntemi ilk olarak 1981 yılında Fischler ve Bolles tarafından ortaya atılmıştır (Fishler ve Bolles, 1981). RANSAC yöntemi kullanılarak iki görüntüyü birbiriyle ilişkilendiren  $3*3$ 'lük homografi matrisi ile dönme, ötelenme ve bozulma kaynaklı değişkenler bulunabilmektedir. (Hartley ve Zisserman, 2003; Nkanza, 2005). RANSAC algoritması çok sayıda aykırı değerle başa çıkabilecek kapasitede olduğundan bu çalışmada seçilmiştir. RANSAC algoritmasında model bir çizgi ise aykırı değerlerin belirlenmesi için 2 tane noktaya, eğer model bir homografi matrisi ise homografi matrisinin serbestlik derecesi 8 olduğundan dolayı 4 tane nokta eşleneğine ihtiyaç vardır. 2 boyutta görüntüleri birbirleriyle ilişkilendirmek için kullanılan homografi matrisine izdüşüm dönüşüm matrisi de denilmektedir (Hartley ve Zisserman, 2003).

RANSAC yönteminde 3 önemli parametrenin belirlenmesi gerekmektedir. Bunlardan ilki ( $t$ ) uzaklık eşik değeridir. Bu hesap modelden alınan uyumlu verilerin mesafeleri için olasılık dağılımı gerektirir. Bu değer genelde uygulamaya ve veri kümesine bağlı olarak deneysel olarak bulunmaktadır. Ancak, eğer ölçüm hatası, standart sapması ( $\sigma$ ) ve ortalaması sıfır olan Gauss olarak varsayılırsa ( $t$ ) uzaklık eşik değeri bulanabilmektedir.  $d_1^2$ , nokta mesafesinin karesi, kare Gauss değişkenlerinin toplamıdır. Modelin eşboyutunun (codimension)  $m$ 'e eşit olduğu yerdeki  $m$  serbestlik derecesi için  $x_m^2$  dağılımı aşağıda gösterilmiştir. Çizgi için eş boyutluluk (çizgiye dik mesafe ölçülmede) 1'dir.  $x_m^2$  rastgele değişkeninin değeri (cumulative chi-squared distribution) kümülatif ki kare dağılımında verilen  $k^2$  'den küçük olma olasılığı,  $F_m(k^2) = \int_0^{k^2} x_m^2(\xi) d\xi$ .

Uyuşumlu veri  $d_1^2 < t^2$

$$t^2 = F_m^{-1}(\alpha) \sigma^2 \quad (9)$$

Uyuşumsuz veri  $d_1^2 \geq t^2$

İkinci önemli parametre  $p$ , rastgele seçilen  $s$  alt kümelerinden en az birinin tüm verilerinin uyumlu veri olma olasılığı olsun. Bu değer genellikle  $p = 0,99$  olarak seçilmektedir.  $w$ , seçilen herhangi bir verinin uyumlu veri olma olasılığı olsun.  $\epsilon = 1 - w$  seçilen herhangi bir verinin uyumsuz veri olma olasılığıdır (Hartley ve Zisserman, 2003).  $(1 - p) = (1 - w^s)^N$

$$N = \frac{\log(1 - p)}{\log(1 - (1 - \epsilon)^s)} \quad (10)$$

$p = 0,99$  değeri için aşağıda tabloda  $\epsilon$  ve  $s$  değerlerine bağlı olarak hesaplanan iterasyon sayıları verilmektedir (Hartley ve Zisserman, 2003).

Üçüncü önemli parametre ise  $T$  eşik değeridir. Bu değer uygulamaya ve veri kümesine bağlı olarak deneysel olarak belirlenmektedir.  $n$  veri noktası için  $T = (1 - \epsilon)n$  'dir (Hartley ve Zisserman, 2003).

RANSAC algoritması için gerekli parametreler belirlendikten sonra doğru ve yanlış eşlemelerin olduğu veri kümesinden  $D$  rastgele olarak 4 tane eşlenik çifti seçilmektedir. Seçilen bu alt küme ile  $H$  homografi matrisinin bilinmeyenleri hesaplanmaktadır. Bu elde edilen homografi matrisi ile iki ayrı düzlemde bulunan noktaların koordinatları aynı düzleme getirilmektedir. Bu yeni elde edilen koordinatlara  $C$  (consensus set) denilmektedir. Bu (consensus set)te bulunan koordinatlar ile diğer bir düzlemdeki koordinatlar arasındaki fark modele uygun olarak seçilen uzaklık eşik değerinden büyük ise bu  $C$  (consensus set)i oluşturan doğru eşlemelerin koordinat çiftleri ile  $H$  homografi matrisi parametreleri yeniden hesaplanmaktadır. Eğer bu fark eşik değerden küçükse  $D$  eşlenik kümesi içerisinde rastgele 4 tane eşlenik noktası seçilerek yukarıda anlatılan adımlar tekrar edilmektedir.  $N$  yinelemeden sonra en çok sayıda doğru eşleme içeren  $C$  kümesi seçilerek bu seçilen kümenin elemanlarından  $M$  model parametreleri tekrar kestirilmektedir (Hartley ve Zisserman, 2003).

Her problem için ayrı bir eşik değeri belirlenmesi ve hesaplama süresi bakımından bir sınırın olmaması yöntemin dezavantajıdır. Çok sayıda uyumsuz ölçü içeren bir veri kümesinden istenen model değişkenlerinin de yüksek bir doğrulukla belirlenmesi ise avantajıdır (Hartley ve Zisserman, 2003).

### 1.3 Test Verileri ve Değerlendirme Kriteri

Çalışmada, aynı bölgeden alınmış Mart ve Mayıs aylarına ait SPOT 5 uydu görüntüsü kullanılmıştır. SPOT-5, 4 Mayıs 2002 tarihinde fırlatılmıştır. Uydu üzerinde yüksek çözünürlükte algılama yapabilen, SPOT-4 uydusundaki HRVIR cihazlarından türetilmiş olan iki adet HRG sensörü mevcuttur. Bu sensörler pankromatik algılama modunda 2,5 metre ile 5 metre, multispektral algılama modunda ise 10 metre çözünürlüklü veya daha iyi çözünürlükte veri temin edebilmektedir (url 1).

Uydu üzerinde pankromatik moda algılama yapabilen HRS sensörü bulunmaktadır. HRS ile ileri ve geri bakışlar sayesinde yüzey rölyefini tanımlayabilecek stereo görüntü çiftleri elde edilebilmektedir. Stereo görüntü çiftlerinden yeryüzüne ait yükseklik bilgisini veren Sayısal Yükseklik Modelleri oluşturulmaktadır (url 1).

Her bir görüntü çiftinden alınan doğru eşleme sayısı kullanılarak SURF tanımlayıcısının performansı değerlendirilmiştir. Doğru eşlemelerin oranı (P) doğru eşlemeler (DE) toplam eşlemelere (TE)bölünerek bulunmaktadır.

$$P = \frac{\text{doğru eşlemelerin sayısı}}{\text{Tüm eşlemeler}} \quad (11)$$

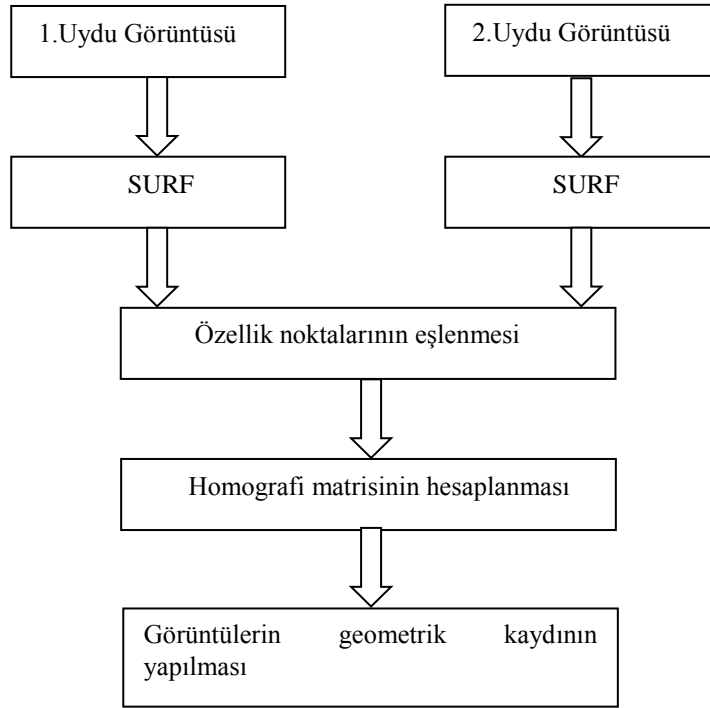
Çizelge 1. Doğru eşleme oranı.

	SURF
Tüm eşlemeler	9365
Doğru eşlemeler	8399
Doğru eşleme oranı	0.89

## 1.4 Önerilen Yaklaşım

SURF ölçek, dönüklük ve gürültüye karşı değişmeyen yerel özellikleri hızlı bir şekilde bulabildiğinden farklı ve aynı sensörden alınan farklı ölçeğe ve dönüklüğe sahip uydu görüntülerinin geometrik kaydında (görüntü çakıştırması) kullanılması uygundur.

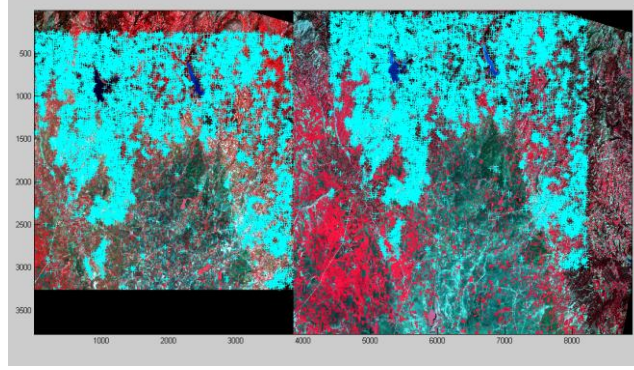
Önerilen yöntemde öncelikle iki uydu görüntüsüne SURF algoritması uygulanarak özellik noktaları çıkarılmaktadır. Daha sonra bu özellik noktaları vektörler arasındaki Öklid mesafesi hesaplanarak eşlenmektedir. Mesafe çok kısa ise eş nokta çifti bulunmaktadır. Algılanan uydu görüntüsünden çıkarılan nokta setindeki en yakın komşular belirlenerek her bir özellik vektörü için aday eşleme bulunmaktadır. En yakın komşular, verilen özellik vektöründen minimum Öklid mesafesi ile bulunan noktalardır. En yakın komşudan ikinci en yakın komşuya mesafe oranı alınarak olası eşleşmeler bulunmaktadır. Daha sonra doğru eşleşmelere dayanan homografi matrisi bulunmaktadır. Bu şekilde iki görüntü otomatik olarak birbiriyle çakıştırılmaktadır.



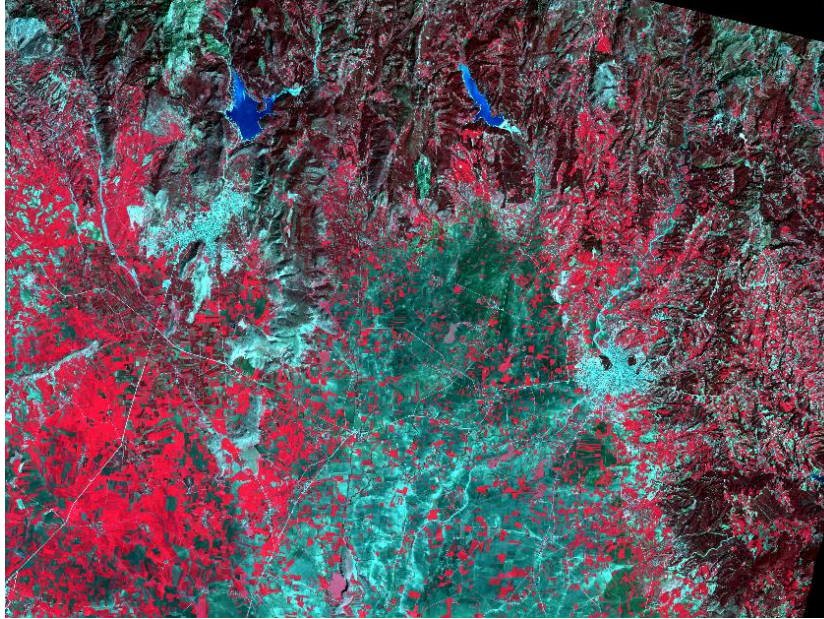
Şekil 1. Otomatik görüntü kaydının akış şeması.

## 2. SONUÇLAR

Bu çalışmada uydu görüntülerinin otomatik geometrik kaydının yapılmasında SURF algoritması kullanılmıştır. Farklı tarihlerdeki iki uydu görüntüsünde ortak olan noktalar Şekil 2.'de gösterildiği gibi SURF algoritması kullanılarak elde edilmiştir. Bu iki görüntünün otomatik olarak geometrik kaydı yapıldıktan sonraki sonuç görüntü Şekil 3.'te gösterilmektedir.



Şekil 2. İki uydu görüntüsündeki SURF noktaları.



Şekil 3. Geometrik kaydı yapılmış görüntü.

## KAYNAKLAR

**Bay H., Ess A., Tuytelaars T., Vangool L.,** 2008, Speeded-up robust features (surf), *Computer Vision and Image Understanding*, 110(3), 346-359.

**Bouchiha R., Besbes K.,** 2013, Automatic Remote-Sensing Image Registration Using SURF, *International Journal of Computer Theory and Engineering*, 5(1), 88-92.

**Fischler M. A., Bolles R. C.,**1981,Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography, *Comm. of the ACM* 24, 381—395.

**Hartley R., A. Zisserman,** 2003,Multiple View Geometry in Computer Vision, Cambridge University Press, Second Edition, 2003.

**Lowe D.G.**,2004,Distinctive Image Features from Scale- Invariant Keypoints, *International Journal of Computer Vision*, 60 (2),91-110.

**Nkanza N.**, 2005, Image Registration and its Application to Computer Vision:Mosaicing and Independent Motion Detection, M.S. Thesis, University of Cape Town,.

url 1: İTÜ UHUZAM ,<http://www.cscrs.itu.edu.tr/satellites.html> (22.08.2014)