

OPTİK VE SAR GÖRÜNTÜLERİN PROJEKTİF DÖNÜŞÜM KULLANARAK FÜZYONU

M. Özendi^{a,*}, U. G. Sefercik^a

^a BEÜ, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 67100 Zonguldak, - (mozendi@gmail.com, ugsefercik@hotmail.com)

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Füzyon, Frost Filtresi, Projektif Dönüşüm, IKONOS, TerraSAR-X, Pankromatik, Spotlight

ÖZET:

Uzaktan algılama teknolojisi özellikle 20. yüzyılın son çeyreğinden günümüze dek hızlı bir ivmeyle gelişim göstermiştir. Uzaktan algılama sistemleri optik ve radar olmak üzere iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Bu iki sistem birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Optik algılama sistemlerinin obje çıkarım başarısı radara kıyasla daha iyi olmasına rağmen, güneşe bağımlı olan görüntüleme ancak yılın uygun mevsimlerinde, bulutsuz ve gündüz saatlerinde gerçekleştirilebilmektedir. Radar algılama sistemleri ise optik kadar yüksek obje çıkarım başarısı sunmalarına rağmen kendi ışığını kendileri üretmeleri ve güneş gibi harici bir enerji kaynağına ihtiyaç duymamalarından dolayı günün her saatinde ve her türlü hava koşulunda bulutsuzluk koşulu olmaksızın görüntü elde edebilme yeteğine sahiptirler. Optik ve radarın birbirlerine kıyasla daha güçlü özelliklerinden birarada faydalanabilmek amacıyla son yıllarda bilim insanları bu sistemlere ait görüntülerin birleştirilerek (füzyon) kullanımı için birçok çalışma yapmışlardır.

Bu çalışmanın amacı, eşit çözünürlüğe sahip ($\approx 1\text{m}$) Pankromatik (PAN) IKONOS ve Spotlight (HS) mod TerraSAR-X (TSX) görüntülerinin İstanbul Tarihi Yarımada'da seçilen pilot bir test alanında füzyon işleminin gerçekleştirilmesidir. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle TSX HS görüntüsünde mevcut olan benek gürültülerin (speckle noise) giderilmesi amacıyla Frost filtresi kullanılmış ve minimum düzeyde benek gürültü içeren bir görüntü elde edilmiştir. Daha sonra, aynı bölgeye ait olsalar bile tamamen farklı geometri ve radyometride olan iki görüntü üzerinde ortak nokta seçimi yapılmıştır. Görüntüler arasında projektif dönüşüm olduğu varsayılarak seçilen noktalar aracılığı ile iki görüntü arasında en küçük kareler yöntemi kullanılarak bir dönüşüm matrisi hesaplanmıştır. Bu matris yardımıyla TSX HS görüntüsünün projektif dönüşümü yapılmış ve yöneltmesi yapılan IKONOS PAN görüntüsü üzerine kaydedilmesi (co-registration) ile füzyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, IKONOS PAN ve TSX HS görüntüleri sadece iki boyutta füzyon edilerek obje bütünlüğü başarılı bir şekilde sağlanmıştır.

1. GİRİŞ

Çağımızda bilgi teknolojileri bir çok alanda oldukça hızlı bir gelişim göstermektedir. Bu anlamda uzaktan algılama teknolojisi de oldukça hızlı bir şekilde ilerlemiş ve günümüzde artık çok yüksek çözünürlüklü görüntüler daha düşük maliyetlerle elde edilebilir hale gelmiştir.

Uzaktan algılama sistemlerini optik ve radar olmak üzere iki sınıfa ayırmak mümkündür. Pasif algılama sistemine göre çalışan optik sistemler görüntüleme için gerekli olan enerjiyi güneşten alırlar. Radar algılama sistemleri ise optik algılama sistemlerinin aksine, görüntüleme için gerekli olan enerjiyi kendileri üreten aktif algılama prensibine göre çalışan sistemlerdir. Bu iki algılama sisteminin kendilerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Optik algılama sistemlerini bir fotoğraf makinesi gibi düşünmek mümkündür. Elektromanyetik spektrumun 0.3-15µm aralığını kullanan optik sistemler 0.4-0.7 µm arasındaki görünür bölge ve pankromatik bantta 0.9µm'ye kadar uzayan yakın kızılötesi bölgeyi kapsadığı için optik görüntülerin yorumlanması ve obje çıkarımı radar algılama sistemleri ile elde edilen görüntülere kıyasla çok daha kolaydır. Ancak, optik algılama sistemleri işlevselliği açısından güneş enerjisine ihtiyaç duydukları için sadece gündüz saatlerinde görüntüleme yapabilirler. Bu sistemler ayrıca yağmur ve kar gibi hava olaylarına da bağımlı çalışmaktadırlar. Elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesinde (dalga boyu=1mm-1m) çalışan radar algılama sistemleri aktif algılama prensibine göre çalıştıkları için günün her saati ve her hava koşulunda görüntüleme yapabilirler. Ayrıca radar görüntüleri renk bilgisi sunmalarına rağmen optik görüntülerin içermediği değerli bazı bilgiler içerirler. Bu bilgilerin başında genlik bilgisi gelmektedir. Yapay açıklıklı radar (SAR) görüntülerin geometrik konfigürasyonu sayesinde optik görüntülerde düşük kontrastlarda görünen bazı objeler daha ayırt edici görülebilir (Calabresi, 1996).

Sensörlerin güçlü özelliklerinin bir araya getirilmesi amacı ile görüntü füzyon metodları geliştirilmiştir. Bu metodların en bilinenlerinden biri uzaktan algılama camiasının çok yakından bildiği "pansharpening" metodudur ve değişik yaklaşımları temel alan değişik çalışmalar yapılmıştır. (Zhang, 2010; Pohl ve Genderen, 1998; Yıldırım ve Güngör, 2012). Bu metod kullanılarak konumsal çözünürlüğü yüksek pankromatik bir görüntü ile konumsal çözünürlüğü daha düşük renkli bir görüntünün yüksek konumsal çözünürlüğe sahip renkli bir görüntü oluşturulabilir.

Radyometrik ve geometrik açıdan incelendiğinde optik ve SAR algılama sistemleri aynı yeryüzü objelerini farklı biçimlerde algırlarlar. Optik görüntülerin CCD sensörler yardımıyla fotoğraf düzlemi mantığı ile algıladığı bir obje, SAR algılamanın eğik mesafe geometrisinden dolayı ötelenmiş, dönük, gerilmiş ve farklı ölçekteymiş gibi görülebilmektedir. Bu farklılıkları gidermek için optik ve SAR görüntülerin füzyonu amaçlı metodlar geliştirilmiş ve bu konuda halen birçok değişik araştırmalar yürütülmektedir.

Uzaktan algılamada optik ve SAR görüntülerin füzyonu, otomatik co-registration, piksel tabanlı füzyon, görüntü özelliği tabanlı füzyon ve karar-tabanlı füzyon olmak üzere dört ana gruba ayrılabilir (Wegner, 2011). Optik ve SAR sensörlerin görüntüleme geometrieleri birbirinden farklı olduğundan bu iki görüntünün birlikte kullanılması gereken durumlarda görüntülerden birinin diğerinin üzerine co-registration adı verilen işlem ile kaydedilmesi gerekir (Palubinskas ve Reinartz, 2010). Bu doğrultuda yer kontrol noktaları ve dijital yükseklik

modeli (DYM) kullanarak geometrik modelleme ile co-registration işlemi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır (Toutin,1995). Buna ek olarak, co-registration amaçlı olarak benzerlik ölçütlerini (Inglada ve Giros, 2004) ve görüntülerin entropi bilgilerini (Suri ve Reinartz 2010) esas alan yaklaşımlar da kullanılmıştır. Piksel tabanlı füzyon işleminde ise her iki görüntünün piksel değerleri harman edilerek ortaya görselliği çok daha gelişmiş bir görüntü çıkarılmaktadır. Optik ve SAR görüntülerin piksel tabanlı füzyonu kapsamında belirli objelerin (köprü gibi) daha öne çıkarılmasını hedefleyen çalışmaların (Soergel vd. 2008) yanısıra optik görüntülere uygulanan metodlardan biri olan IHS dönüşüm algoritması da kullanılmıştır (Alparone vd. 2004). Görüntü özelliği tabanlı füzyonda ise SAR ve optik görüntülerden elde edilen veriler sınıflandırma, segmentasyon, değişiklik sezimi ve obje tanıma için füzyon edilmektedir (Wegner, 2011). Örneğin, Nsaibi ve Chaabane (2008) geliştirdikleri füzyon ile sınıflandırma başarısını arttırabilmişlerdir. Ayrıca, Monte Carlo metodu ile gerçekleştirilen segmentasyon işleminin başarısı da füzyon sayesinde arttırılmıştır (Lombardo vd. 2003). Binalar ve selden etkilenen alanlar gibi objelerin çıkarımı amacıyla yönelik olarak da füzyon çalışmaları yapılmıştır (Sportouche vd. 2011; Yonghua vd. 2007).

Bu çalışmanın amacı, İstanbul Tarihi Yarımada'da seçilen pilot bir test alanında yaklaşık eşit çözünürlüğe sahip IKONOS PAN ve TSX HS görüntülerinin her iki görüntüde de seçilen ortak noktalar aracılığı ile füzyon işleminin gerçekleştirilmesidir. Bu amaç doğrultusunda çalışma beş bölüme ayrılmıştır. Bölüm 2'de test alanında kullanılan veri setleri verilecektir. Bölüm 3'te optik ve SAR görüntüleme mantığı açıklanacaktır. Bölüm 4'te uygulama adımları ve sonuçlar, Bölüm 5'te ise sonuç hüküm ve gelecek beklentileri yer alacaktır.

2. TEST ALANI VE VERİ SETLERİ

Bu çalışma, daha önce de belirtildiği gibi İstanbul Tarihi Yarımada'dan seçilen pilot bir bölgede gerçekleştirilmiştir. Tarihi yarımada, çok fazla yapılaşmanın olduğu ve obje yükseklik ve şekillerinin çok değişiklik gösterdiği bir test alanıdır. Bu zorlu özellikleri ile bölgenin uzay kaynaklı uzaktan algılama için önemli bir test alanı niteliğinde olduğu düşünülmektedir.

Çalışmada çözünürlükleri eşit olan birer adet IKONOS PAN ve TSX HS görüntüsü kullanılmıştır. Bu görüntülerin teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

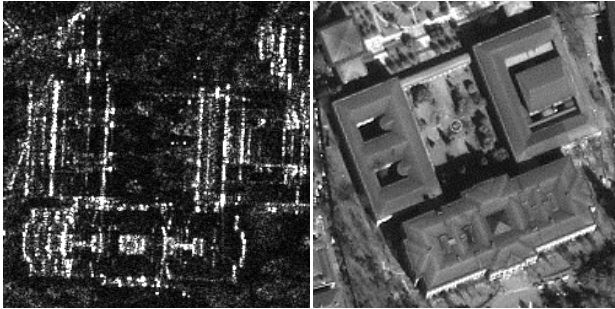
IKONOS PAN	
Yer Örnekleme Aralığı	≈1m
Yükseklik Baz Oranı	1.6
Güneş Yükselme Açısı	65.5°
Alım Tarihi	01/03/2002
TSX HS	
Yer Örnekleme Aralığı	≈1m
Sensör Modu	Yüksek Çözünürlüklü

	Spotlight
Polarizasyon Modu/Kanalı	Single Polarization/HH
Bakış Doğrultusu	Sağa Bakış
Alım Tarihi	Haziran 2008

Tablo 1. Görüntülerin Teknik Özellikleri

3. OPTİK VE SAR GÖRÜNTÜLEME

SAR ve optik sensörler farklı ölçüm prensipleri ile çalışmakta aynı obje, bu iki farklı sensör tarafından hem geometrik hem de radyometrik farklı biçimlerde algılanmaktadır. Şekil 1'de aynı objenin iki farklı şekilde sensör tarafından nasıl algılandığını gösterilmiştir. Farklı algılama prensipleri bu iki görüntünün entegre kullanımında problemlere yol açsa bile her iki sistemin birbirini tamamlayıcı özellikleri bulunduğundan bu durum görüntü füzyonu ile avantaja dönüştürülebilir. Örneğin, SAR görüntüleri günün her saatinde algılama yapabilmelerine rağmen renk bilgisi sunmazlar. Bu renk bilgisini ise optik görüntüleri sağlarlar ve iki sistemin dezavantajları gidirilmiş olur.

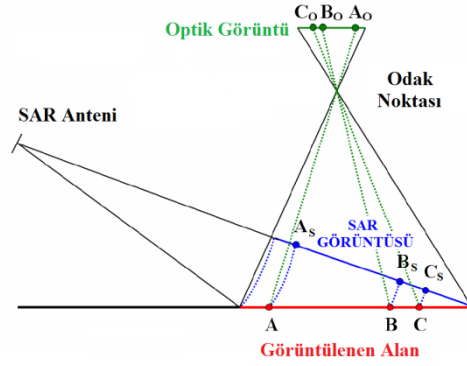


(a) TSX HS Görüntüsü (b) IKONOS PAN Görüntüsü

Şekil 1. Aynı Objenin SAR ve Optik Görüntüsü

Radyometrik olarak incelendiğinde optik algılayıcılar elektromanyetik spektrumun görünür ve kızılötesi bölgelerinde çalışan ve obje çıkarımının daha kolay olduğu renkli görüntüler sunan pasif algılayıcıdır. SAR algılayıcılar ise elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesinde çalışan aktif algılayıcıdır. Bu durum Şekil 1'de olduğu gibi aynı objelerin farklı görünmesine sebep olur.

Geometrik olarak incelendiğinde ise optik algılayıcılar merkezi izdüşüm geometrisine göre görüntü üretirken SAR algılayıcılar eğik mesafe geometrisine göre görüntü üretirler ve bu durum aynı objelerin farklı şekillerde görünmesine sebep olur. Bu farklılığın sebebi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Optik ve SAR Görüntü Algılama Geometrisi (Wegner, 2008)

4. UYGULAMA VE SONUÇLAR

4.1 Görüntülere Uygulanan Ön İşlemler

SAR görüntüleri optik görüntülerden farklı olarak benek gürültü (speckle noise) adı verilen tanecikli yapıda gürültü içerirler. Bu gürültünün oluşma sebebi yapıcı ve bozucu ekoların birbirine karışmasıdır (Masoomi vd. 2012). Bu tanecikli gürültünün giderilmesi için Lee, Frost, Kuan ve Gama/MAP gibi birçok filtreleme metodları geliştirilmiştir. Bu çalışmada TSX HS görüntüsündeki gürültüyü giderebilmek için Frost filtresi kullanılmıştır. Bu filtre gürültüyü giderirken aynı zamanda kenar detayları mümkün olduğunca koruyabilmektedir (Wegner vd. 2008; Suri vd. 2009; Waske ve Benediktsson 2007). Görüntüye Frost filtresi uygulandığında meydana gelen değişiklikler Şekil 3'de gösterilmiştir. Kullanılan optik görüntü yüksek çözünürlüklü olduğundan ve objeler kolayca görülebildiğinden dolayı optik görüntüye herhangi bir ön işlem uygulanmamıştır.



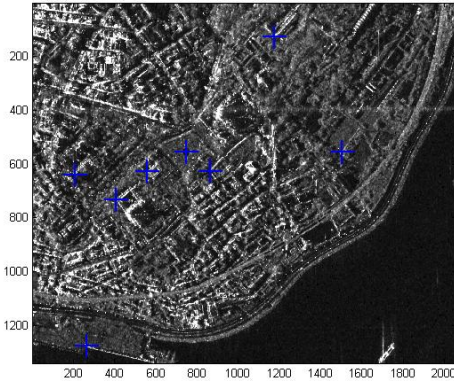
(a) Orjinal Görüntü



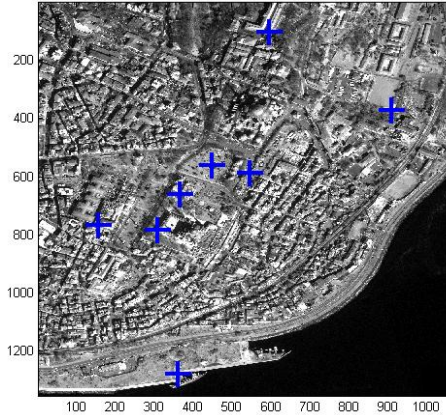
(b) Frost Filtresi Uygulanmış Görüntü
Şekil 3. Filtreleme Etkisi

4.2 Aynı Noktaların Seçilmesi

Çalışmanın bu aşamasında her iki görüntüde eş objelere ait aynı noktalar manuel olarak belirlenmiştir (Şekil 4). Seçilen noktalar Şekil 3'de gösterilmiştir. Daha önce de bahsedildiği gibi görüntüler birbirinden farklı olduğundan ve SAR görüntülerden obje çıkarımı çok zor olduğundan dolayı her iki görüntüden eş noktaları bulmak oldukça zordur. SAR görüntünün optik görüntü üzerine kaydedilmesi için projektif dönüşüm kullanılmıştır. Projektif dönüşümün serbestlik derecesi sekiz olduğu için çözüme ulaşabilmek için dört nokta seçilmesi yeterlidir. Buna rağmen, daha kaliteli bir dönüşüm için mümkün olduğunca çok ve homojen dağılımlı noktaların seçilmesi gereklidir. SAR görüntünün sunduğu görsellik zayıf olduğundan dolayı görüntünün her yerinde nokta seçilememiştir.



(a) TSX HS Görüntüsünden Seçilen Noktalar

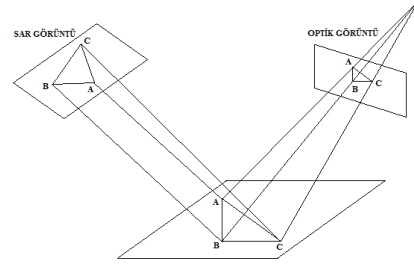


(b) IKONOS PAN Görüntüsünden Seçilen Noktalar

Şekil 4. Görüntülerden Seçilen Noktalar

4.3 Projektif Dönüşüm Parametrelerinin Hesaplanması

Bu çalışmada, optik ve SAR görüntülerin aynı alanı kapsamasından dolayı ve her ikisi de 3 boyutlu yeryüzünü iki boyutlu görüntü düzlemine indirgediklerinden dolayı aralarında projektif dönüşüm olduğu varsayılmıştır. Bu varsayım Şekil 5 ile gösterilmiştir.



Şekil 5. Optik ve SAR Görüntü Arasındaki Projektif İlişki

Bu iki görüntü arasındaki projektif dönüşüm matrisi hesaplandığında SAR görüntünün optik üzerine yerleştirilmesi veya tam tersi mümkün olacaktır. Projektif dönüşüm matrisinin hesaplanmasında iteratifle veya iteratifsiz metodlar mevcuttur. Hesaplama kolaylığı açısından iteratifsiz bir çözüm yolu olan en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Çözüm yolu olarak Mikhail vd. (2001) kullandıkları çözüm yolu Matlab ile programlanmıştır. Kullanılan çözüm aşağıda anlatılmıştır;

$$X' = s \cdot T \cdot X$$

$$X' = \begin{bmatrix} x' & y' & 1 \end{bmatrix}^T, X = \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix}^T,$$

$$T = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \quad (1)$$

(1) nolu denklemde X' dönüşüm sonrası piksel koordinatlarını, s ölçek faktörünü, T dönüşüm matrisini ve X dönüştürülecek görüntünün piksel koordinatlarını temsil etmektedir.

Gerekli matris çarpımları yapıldığında aşağıdaki bağıntılar elde edilir;

$$x' = s(ax + by + c) \quad (2)$$

$$y' = s(dx + ey + f) \quad (3)$$

$$1 = s(gx + hy + i) \quad (4)$$

(2) ve (3) nolu eşitsizlikler (4) nolu eşitsizlik ile bölüldüğünde;

$$x' = \frac{ax + by + c}{gx + hy + i} \quad (5)$$

$$y' = \frac{dx + ey + f}{gx + hy + i} \quad (6)$$

elde edilir. (5) ve (6) nolu eşitsizliklerin paydalarından kurtulmak için $gx + hy + i$ ifadesinde i 1 ile değiştirilir ve her ikisi ile çarpılır bu işlemin sonucunda (7) ve (8) nolu formüller elde edilir;

$$x' = ax + by + c - gx'x - hx'y \quad (7)$$

$$y' = dx + ey + f - gy'x - hy'y \quad (8)$$

(7) ve (8) numaralı formüller matris formatında yazıldığında (9) elde edilir;

$$\begin{bmatrix} x'_1 \\ x'_2 \\ \vdots \\ x'_n \\ y'_1 \\ y'_2 \\ \vdots \\ y'_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'_1 x_1 & -x'_1 y_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'_2 x_2 & -x'_2 y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'_n x_n & -x'_n y_n \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -y'_1 x_1 & -y'_1 y_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -y'_2 x_2 & -y'_2 y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 & -y'_n x_n & -y'_n y_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \\ g \\ h \end{bmatrix} \quad (9)$$

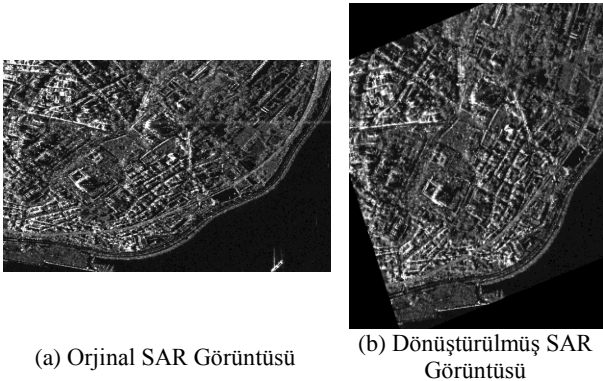
(9) numaralı matris formunu aşağıdaki gibi yazmak mümkündür;

$$I_o = MP \quad (10)$$

Burada I_o dönüştürmüş koordinatları (optik görüntü), M çarpımların yapıldığı matris ve P dönüşüm matrisini ifade etmektedir. (10) numaralı formülde P en küçük kareler yöntemine göre çözümlendiğinde (11) numaralı formül elde edilir;

$$P = (M^T M)^{-1} M^T I_o \quad (11)$$

Hesaplanan dönüşüm matrisi kullanılarak SAR görüntüsü projektif dönüşüme uğramış olur. SAR görüntüsünün dönüşüme uğramadan ve uğradıktan sonraki hali Şekil 6 ile gösterilmiştir.



(a) Orjinal SAR Görüntüsü

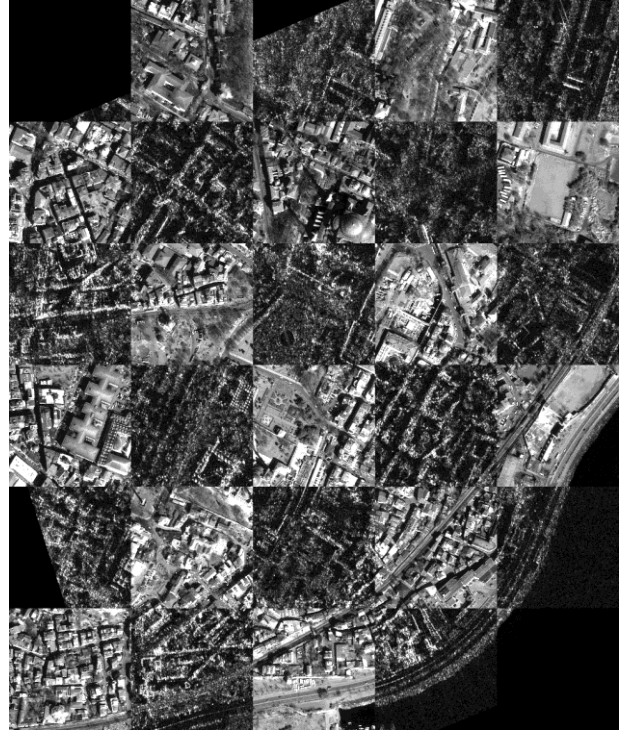
(b) Dönüştürülmüş SAR Görüntüsü

Şekil 6. SAR Görüntüsünün Projektif Dönüşüm Öncesi ve Sonrası

Şekil 6'da görüldüğü gibi TSX HS görüntüsü dönüşüm sonrasında büyük bir değişime uğramıştır. Orjinali ile kıyaslandığında yeniden ölçeklenmiş, döndürülmüş, ötelenmiş ve gerilmiş gibi görünmektedir.

4.4 Füzyon İşlemi

Projektif dönüşüm ile TSX görüntüsü IKONOS PAN görüntüsünün geometrisine dönüştürülmüştür. Bu sayede iki görüntü artık entegre bir şekilde kullanılabilir hale gelmiştir. Bu uygulama sonucunda tek bir mozaik görüntü oluşturulabilmektedir. Bu görüntünün oluşturulabilmesi için her iki görüntü kare şeklinde parçalara ayrılır, sonuç görüntü oluşturulurken bir SAR görüntüden bir de optik görüntüden parçalar yanyana dizilir ve füzyon edilmiş mozaik görüntü ortaya çıkmış olur. Böylece tek bir görüntü üzerinde hem optik hem de SAR görüntü kullanılabilir. Gerçekleştirdiğimiz uygulama neticesinde ortaya çıkan görüntü Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Füzyon Sonucu Oluşturulan Mozaik Görüntü

Bu görüntü incelendiğinde TSX HS görüntüsünün IKONOS PAN görüntüsü üzerine uyumlu bir şekilde kaydedildiği ve obje bütünlüğünün sağlandığı görülmektedir. Bu mozaik görüntü harita üretimi, coğrafi bilgi sistemlerine veri üretimi felaket izleme ve yönetimi gibi birçok alanda verimli şekilde kullanılabilir.

5. SONUÇ HÜKÜM VE GELECEK BEKLENTİLERİ

Bu çalışma ile eş çözünürlüğe sahip IKONOS PAN ve TSX HS görüntüleri, görüntüler üzerinden manuel olarak seçilen noktalar aracılığı ile füzyon edilmiştir. Seçilen sekiz adet nokta yardımı ile iki görüntü arasındaki projektif dönüşüm matrisi hesaplanmıştır. Hesaplama için en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. TSX HS görüntüsü hesaplanan bu matris ile dönüştürülerek IKONOS PAN görüntüsü üzerine kaydedilmiştir. Görüntülerin entegre kullanılabilmesi için iki görüntüden kesilen parçacıklar ile mozaik bir görüntü başarılı bir şekilde oluşturulup obje tamlığı incelenmiştir.

Bu çalışma görüntüler üzerinden manuel olarak seçilen noktalar yardımı ile yapılmıştır. İlerleyen zamanlarda bu işlemi otomatik olarak gerçekleştiren algoritmalar üzerine çalışmalar yapılması planlanmaktadır. Ayrıca nokta detaylarının yanısıra çizgisel detayların da kullanılacağı yaklaşımlar için araştırmalar sürdürülmektedir. Böylece farklı özelliklere sahip olan yüksek çözünürlüklü SAR ve optik görüntülerin otomatik füzyonu sağlanabilecektir.

Referanslar

Alparone, L., Facheris, L., Baronti, S., Garzelli, A., Nencini, F., 2004. Fusion of multispectral and SAR images by intensity modulation. Proceedings of the 7th International Conference on Information Fusion, pp. 637-643.

- Calabresi, G., 1996. The use of ERS data for flood monitoring: An overall assessment. 2nd ERS Application Workshop, London - UK, pp. 237–241.
- Inglada, J., Giros, A., 2004. On the possibility of automatic multisensor image registration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(10), pp. 2104–2120.
- Lombardo, P., Oliver, C. J., Macri Pellizzeri, T., Meloni, M., 2003. A new maximum-likelihood joint segmentation technique for multitemporal SAR and multiband optical images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(11), pp. 2500-2518.
- Masoomi, A., Hamzeyhan, R., Shirazi, N.C., 2012. Speckle Reduction Approach for SAR Image in Satellite Communication. *International Journal of Machine Learning and Computing*. 2(1), pp. 62-70.
- Mikhail, E.M., Bethel, J.C., McGlone, J.C., 2001. Introduction to Modern Photogrammetry. Wiley,
- Nsaibi, M., Chaabane, F., 2008. Image fusion of radar and optical remote sensing data for land cover classification. 3rd International Conference on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications ICTTA.
- Palubinskas, G., Reinartz, P., 2010. Fusion of optical and RADAR remote sensing data: Munich City example. ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS 2010, Vienna Austria, XXXVIII part 7a.
- 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), pp. 823-854.
- Soergel, U., Cadario, E., Thiele, A., Thoennesen, U., 2008. Feature extraction and visualization of bridges over water from high-resolution InSAR data and one orthophoto. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 1(2), pp. 147-153.
- Sportouche, H., Tupin, F., Denise, L., 2011. Extraction and three-dimensional reconstruction of isolated buildings in urban scenes from high-resolution optical and SAR spaceborne images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 49(10),pp. 3932-3946.
- Suri, S., Reinartz, P., 2010. Mutual-information-based registration of TerraSAR-X and Ikonos imagery in urban areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(2), pp. 939–949.
- Suri, S., Reinartz, P., Stilla, U., 2009. Registration of high resolution SAR and optical satellite imagery in urban areas. In: *The International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*.
- Toutin, T., 1995. Multisource data fusion with an integrated and unified geometric modelling. *EARSeL Journal: Advances in Remote Sensing*, 4(2), pp. 118–129.
- Waske, B., Benediktsson, J.A., 2007. Fusion of support vector machines for classification of multisensor data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 45 (12), pp. 3858-3866.
- Wegner, J. D., 2011. Detection and height estimation of buildings from SAR and optical images using conditional random fields. PhD Thesis, IPI Institute of Photogrammetry and GeoInformation.
- Wegner, J.D., Inglada, J., Tison, C., 2008. Automatic fusion of SAR and optical imagery based on line features, In: *7th European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR)*, pp. 1-4.
- Yıldırım, D., Güngör, O., 2012. A novel image fusion method using IKONOS satellite images. *Journal of Geodesy and Geoinformation*, 1(1) pp. 27-34.
- Yonghua, S., Xiaojuan, L., Huili, G., Wenji, Z., Zhaoning, G., 2007. A study on optical and SAR data fusion for extracting flooded area. In: *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS 2007*, pp. 3086-3089.
- Zhang J., 2010 Multi-source remote sensing data fusion: Status and trends. *International Journal of Image and Data Fusion*, 1(1), pp. 5–24.