

Stereoskopik Radarsat F1-F5 Görüntülerinden Üretilen Sayısal Arazi Modellerinin Değerlendirilmesi

Füsun BALIK ŞANLI¹

Özet

Bu çalışmada sentetik açıklıklı radar (SAR) görüntüleri kullanılarak sayısal yükseklik modeli (SYM) üretilmiştir. Araştırma yöresi Edremit körfezinden başlayarak, Edremit ilçesi kıyıları ve doğusundaki eğimli arazileri içermektedir. Çalışmanın amacı S"lik kestirme açısına sahip, alçalan yörüngede kaydedilmiş RADARSAT uydusu F1-F5 Fine Beam stereo çiftinden elde edilen SYM'lerini, çözünürlüğe ve rölyefe bağlı olarak değerlendirilmesidir. Buna ek olarak, SYM üretme işlemleri sırasında elde edilen SYM'in doğruluğunu azaltan hata kaynakları araştırılmıştır. Çalışma bölgesi yaklaşık 50x50 km² 'lik bir alanı kaplamaktadır. Yükseklik farkı 0 ile 1767 m arasında değişmektedir. Kontrol noktası olarak kullanılmak üzere bir köşeli yansıtıcı araştırma alanı içerisine önceden yerleştirilmiştir. Üretilen SYM'nin doğruluk analizleri, arazinin eğim ve yükseklik özellikleri dikkate alınarak yapılmıştır. Eğimin %0-3 arasında değiştiği arazilerde, standart sapmanın çok düşük (4-8 m) olduğu, %3-15 eğim aralığında standart sapmada bir artış olduğu (20m), ancak %15 'ten sonraki eğim artışlarının SYM fark değerlerinde de hızlı bir yükselişe neden olduğu saptanmıştır.

Anahtar Sözcükler

Radargrametri, stereo radar, SYM, RADARSAT

Abstract

Accuracy Assessment of Radargrammetric DEM Generation From RADARSAT F1-F5 Images

in this study, the technique for deriving digital elevation models (DEM) from a SAR stereo pair is described. The objective of this paper is to evaluate DEMs from RADARSAT fine beam mode images as a function of phase sampling and the terrain relief. The study area is over the Gulf of Edremit in Turkey and is about 50 km by 50 km. The elevation ranges from 0 m to 1767 m. The land cover consists mainly of a mixture of urban areas, agricultural lands. Tyco fine beam mode scenes with 6.25 m pixel spacing are acquired with a shallow look angle from descending orbits to generate a stereo configuration with a small intersection angle of 8. A corner reflector was installed and used as a GCP. Due to the high resolution of F1-F5 images, for the flat areas with small slopes (0% to 3%) effect of radiometric and geometric disparities are less and the quality of DEM is better. It is determined that standard deviation is ranging from 4m to 8m for small slopes. Standard deviation increases up to 20 m for medium slopes (3%-15 %). However, for steep slopes (higher than 15%) the stronger geometry of F1-F5 is completely cancelled out because of too large geometric disparities, and calculated elevations are not significant.

Keywords

Radargrammetry, Stereo Radar, DEM, RADARSAT

1. Giriş

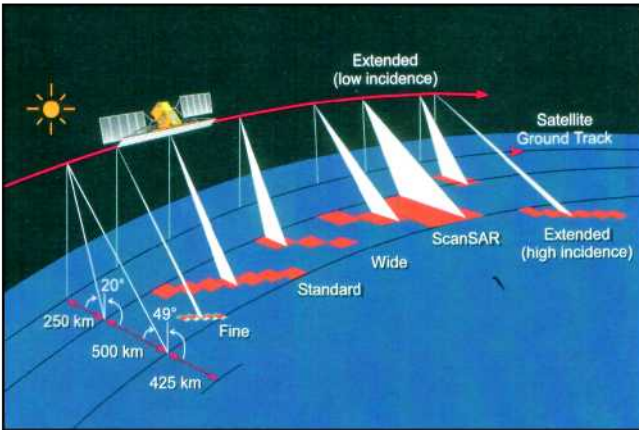
Günümüzde SAR görüntülerinin stereo değerlendirilmesi (radargrametri) çoğunlukla sayısal yükseklik modeli üretmek amaçlı kullanılmaktadır. Her ne kadar ihmal edilmiş bir konu olsa da radargrametri, fotogrametriye benzerliği nedeni ile sayısal iş istasyonları kullanılarak planimetrik özelliklerin ölçülmesinde kullanılabilir (GRÜN 1997). Tek bir SAR görüntüsünde ayırt edilemeyen özellikler, stereo görüntülerde kolaylıkla görülebilmektedir.

Radar sistemleri ilk olarak 1930'lu yıllarda Almanya ve Amerika'da PPI (Plan Position Indicator) "konum belirleme aracı" olarak kullanmaya başlanmıştır. 1954 yılından sonra SLAR (Side Looking Airborne Radar), yan bakışlı radarlar üretilmiştir. Radarda görüntü katot ışın tüpü (CRT, Cathode Rays Tube) yardımı ile ekranda görünür hale getirilmiştir. SLAR 1960'larda artık askeri kullanımdan sivil kullanıma geçmiştir. 1960'ta SAR üretilmiştir. SAR ile antenin gerçek boyunu uzatmadan sinyal işleme tekniği kullanarak fiziksel olarak uzun anten, dolayısıyla dar ışın demeti etkisi elde edilerek SAR görüntülerinin çözünürlükleri artırılmıştır. İlk olarak radar görüntülerinden yükseklik bilgisi elde etme çalışmaları 1960'larda radargrametrinin gelişimi ile birlikte başlamıştır (LAPRADE 1963). Ancak bu çalışmalar, özellikle dağlık alanlarda olmak üzere, hata yayılma kuramı ile pratik uygulamalar arasındaki çelişkiler nedeni ile uzun süre çok tatmin edici sonuçlar verememiştir. Bu çelişkilerin giderilememesinin en baş nedeni ise o yıllarda uygun ve yeterli sayıda stereo radar görüntü çiftlerinin bulunmamasıdır (LEBERL vd. 1988). Daha sonraki 20 yıl boyunca uydu görüntüleri kullanılarak çok az sayıda çalışma yapma imkanı bulunabilmiştir. Stereo Radar görüntülerinden harita üretimi tekniği ve Amerika'da Shasta Dağı üzerinde SIR- B görüntüleri kullanılarak uygulanması (LEBERL vd. 1986) ve yine SIR B uydusuna ait görüntüler kullanılarak stereo SAR görüntülerinden sayısal yükseklik modeli üretme amacı ile çalışmalar yapılmıştır (SIMARD vd. 1986). Yakın tarihlerde ise ERS uydularına ait görüntüler ile 23 ve 35'lik kestirme açıları kullanılarak "Roll Tilt Mode" adlı eğiklik değerlendirmeleri yapılmış (TWU ve DOWMAN I 1996) ve zıt yörüngelerde alınmış alçalan ve yükselen yönlü stereo görüntü çiftleri ile çalışılarak sonuçları incelenmiştir (TOUTIN 1996). Kanada'nın ilk gözlem uydusu RADARSAT'ın atılmasıyla farklı geometrik özellikleri ve çeşitli işletim modları ile kaydedilen SAR görüntüleri ile stereo radar uygulamalarının yapılmasına imkan

¹Araş. Gör. Dr. Yıldız Teknik Üni., İnş. Fak., Jeodezi ve Fotogr. Müh. Böl. 34349 Yıldız/İstanbul

bulunmuştur (PARASHAR vd 1993). 1995 yılında fırlatılan RADARSAT uydusu ticari anlamda çalışan ve 10'dan 60'a kadar değişen farklı görüş açıları ile çeşitli stereo çiftlerin alınabildiği ilk uydudur. C bandında algılama yapan ve hiçbir hava koşulundan etkilenmeden, gece ve gündüz olmak üzere dünyanın her yerine ait görüntü alabilen aktif bir sistemdir. Kanada Uzay Ajansı (CSA, Canada Space Agency) tarafından desteklenen ADRO (Applications Development and Research Opportunity) projesi sayesinde araştırmacılar farklı parametrelere sahip uydu görüntüleri ile dünyanın her yerine ait stereo değerlendirme yapma imkanı bulabilmişlerdir (TOUTIN 2000).

Stereo radar değerlendirme işleminin yapılmaya başladığı ilk zamanlardan günümüze kadar geçen süreçte, uygun radar stereo çiftlerin bulunamaması nedeni ile başlangıçta biraz yetersiz kaldığı görülmektedir. Çok yakın bir tarihe kadar farklı stereo SAR çiftlerinin stereoskopik değerlendirmeye uygun olup olmadığına dair incelemelerin yapılmasına olanak bulunamamıştır. RADARSAT uydusundan önce ticari anlamda bu kadar farklı geometrik özelliklerde stereo görüntü sağlayabilen bir uydu yoktu, uçak platforma taşınan birkaç radar sistemi ile elde edilen stereo radar görüntüleri ile bu denemeler yapıyordu. RADARSAT uydusu, 35 farklı ışın konumunda algılama yaparak ve farklı çözünürlüklerde görüntü çiftleri için çok geniş bir aralıkta farklı bakış yönleri sağlanmakta, ışın pozisyonu ve modu ile ihtiyaçlara cevap verebilmektedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: RADARSAT-1 Işın modları (CANADIAN SPACE AGENCY 1996).

RADARSAT görüntülerinin alçalan ve yükselen yörüngelerde, Fine, Standard ve Extended Beam modları ve 10 ile 60 derece arasında değişebilen bakış açıları ve ışın konumlarında sağladığı stereo görüntü çiftleri ile yapılan çalışmalar, radarın stereoskopik uygulamalarının anlaşılmasına çok büyük katkılar sağlamaktadır. Bunun başlıca nedeni RADARSAT görüntüleri ile dik veya yatık bakış açılı ve 8'den 89'a kadar değişen kesişme açıları ile çok yüksek veya düşük çözünürlüklü stereo çiftler oluşturulabilmesidir.

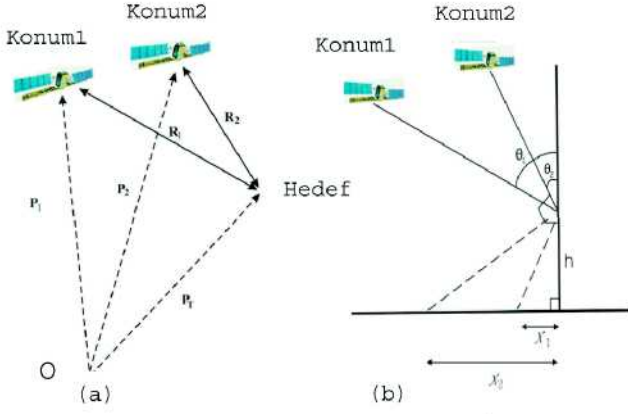
Bu araştırmada, 8'lik kestirme açısına sahip alçalan yörüngede kaydedilmiş RADARSAT F1 F5 (Fine Beam)

stereo görüntü çifti ile SYM üretilmiş ve stereo radar görüntülerinden üretilen sayısal yükseklik modeli ile sayısal eşyüksekti eğrilerinden üretilen arazi modelinin farkı alınarak farklı topografik alanlarda eğime ve yüksekliğe bağlı doğruluk testleri yapılmıştır.

2. Stereo Radar Tekniği (Radargrametri)

Radar stereo çiftlerinden SYM üretme işlemine radargrametri denilmektedir. Radargrametri ile SYM üretme işlemleri alışlagelmiş fotogrametrik yöntem ile SYM üretme işlemlerine çok benzemektedir. Ancak fotogrametrik yöntemler ile optik uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları değerlendirilirken, radargrametri yöntemi ile yapay açıklıklı radar (SAR) görüntüleri değerlendirilmektedir. Radargrametri yöntemi ile aynı alanı içeren fakat stereoskopik görüşü sağlaması açısından farklı iki alım açısı ile elde edilmiş radar görüntüleri kullanılarak SYM üretilmektedir. Her iki görüntüden eşleştirilen noktalar yardımı ile yükseklik bilgisi elde edilmektedir. Bu yükseklik bilgileri bulanık dünya yüzeyini (fuzzy earth) temsil etmektedir. Çünkü bu bilgiler, çıplak yer yüzeyinden çok bir orman örtüsünün üst yüzeyini yada yerleşim alanlarını da temsil etmektedir. Hava fotoğrafları, görünür veya kızıl ötesi bölgede alınmış uydu görüntüleri ile radar görüntüleri arasında çok farklılıklar vardır. Radarın görüntüleme geometrisi ve elektromanyetik dalga özellikleri bir araya geldiğinde, optik görüntülerden çok farklı bir sonuç ortaya çıkmaktadır. Özellikle düşey objelerin görüntüleri, radar görüntülerinde hava fotoğraflarından ya da görünür kızıl ötesi bölgesindeki görüntülerinden çok farklılık göstermektedir. En belirgin farklılık ise yükseklik farklarından ileri gelen ötelemenin (relief displacement) her iki tür görüntüde zıt yönlerde doğru olmasıdır. Yükseklik farklarından ileri gelen öteleme, hava fotoğraflarında ve diğer optik uydu görüntülerinde nadir noktadan uzaklaştıkça artar. Radar görüntülerinde ise objelerin tepesi tabanından önce görüntülenir bu yüzden yükseklik farklarından ileri gelen öteleme, nadir noktasına yaklaştıkça artar.

Stereo radar tekniği; aynı hedefe iki farklı uydu konumundan gözlem yapılarak, bu noktanın üç boyutlu konumun hesaplanabilmesi olarak da tanımlanabilir. Şekil 2.1a'da görüldüğü gibi hedef, yer merkezine (O) göre P1 ve P2 gibi iki farklı uydu konumundan gözlemlenmiştir. Radar için en önemli geometrik parametreler, nadir noktasına olan bakış açısı değerini veren Doppler Merkezi değeri ve uyduların hedefe kadar olan R1 ve R2 eğik uzaklık değerleridir. Bu parametreler ve yörünge modeli yardımı ile hedefin 3B konum vektörü olan RT hesaplanabilir. Daha sonra jeodezik bağıntılar yardımı ile üç boyutlu (3B) konum vektörü RT, harita koordinatlarına dönüştürülerek bir referans elipsoit ya da jeoit'e göre yükseklik bilgisi elde edilir ve düzenli bir grid ile ifade edildiğinde bu yükseklik bilgileri SYM'ye dönüştürülmüş olur (Şekil 2.1a).



Şekil 2.1: Stereo Radar Görüntüleme Prensipleri (MİN-HO KA ve MAN-JO KİM 2001).

Yükseklik doğruluğu ise tamamen konum doğruluğuna ve stereo görüntü çiftlerin bakış açıları arasındaki farka bağlıdır. Şekil 2.b' de aynı yönlü bir stereo çift ile "Gj" ve "θ₂" bakış açıları ile gözlemlendiği görülmektedir. Trigonometrik kurallar uyguladığında aynı hedefin konumu, radarın kısa görüntüleme hatası nedeni ile uydunun birinci konumunda "%1" kadar ötelenmiştir. Burada

$$X_1 = h \cot \theta_1 \quad (1)$$

Yine aynı şekilde uydunun ikinci konumunda ise

$$X_2 = h \cot \theta_2 \quad (2)$$

Stereo bilgi elde etmek istenirse aynı noktanın konumları arasındaki bu fark hesaplanabilir:

$$|X_1 - X_2| = p \quad (3)$$

Bu bağıntılardan, verilen stereo radar çiftinin mekansal çözünürlüğüne ve bakış açısına göre elde edilebilecek minimum yükseklik farkı hesaplanabilir.

$$h = p / (\cot \theta_2 - \cot \theta_1) \quad (4)$$

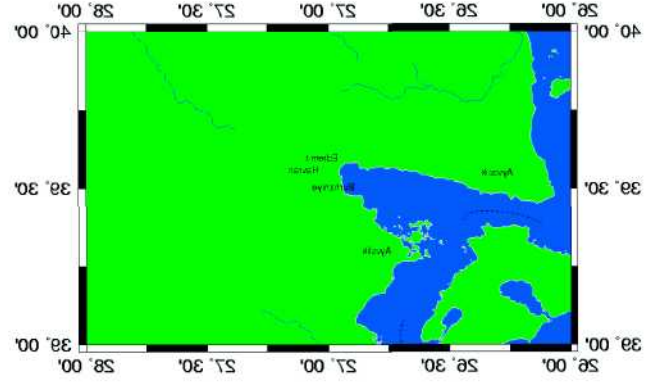
burada çözülebilir en küçük yükseklik farkıdır (MİN-HO KA ve MAN-JO KİM 2001).

Aynı ve zıt yönlü SAR görüntülerinin stereoskopik değerlendirilmesi olanaklıdır. Zıt yönlü görüntüler ile daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Ancak, iki görüntü arasındaki radyometrik farklılıkların çok fazla olması nedeni ile otomatik görüntü eşleme işlemleri çok başarılı sonuçlar verememektedir. Aynı yönlü görüntülerle otomatik görüntü eşleme işlemi görüntüler arasındaki radar algılayıcıların doğasından kaynaklanan farklılıkların az olması nedeni ile hem daha kolay hem de daha az zaman alan bir işlemdir.

3. Çalışma Alanı ve StereoSAR İşlem Adımları

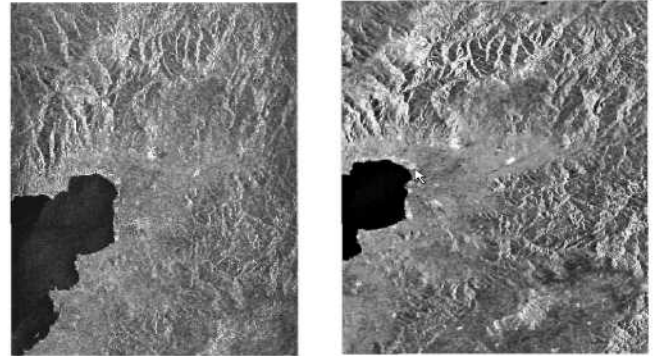
3.1 Materyal ve Çalışma Alanı

Araştırma yörenesi, Kuzey Ege Bölgesi'nde ve Balıkesir ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Edremit körfezinden başlayarak, Edremit ilçesi kıyıları ve doğusundaki eğimli arazileri içermektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Araştırma yeri coğrafi konumu

Çalışmada 6 ve 16 Mayıs 2002 tarihlerinde alınmış bir çift stereo RADARSAT-1 uydu görüntüsü kullanılmıştır (Şekil 3.2). Görüntülerin özellikleri Çizelge 3.1 'de verilmiştir. Ayrıca Harita Genel Komutanlığı tarafından oluşturulan 1/25.000 ölçekli sayısal eşyüksekti eğrileri ve 1/25.000 topoğrafik haritaları temel materyaller olarak kullanılmıştır. Sayısal altlık oluşturulması, radar ve optik görüntülerin işlenmesinde PCI ve Intergraph yazılımları kullanılmıştır.



Şekil 3.2: RADARSAT-F1 alçalan yörünge (sol) ve F5 alçalan yörünge (sağ) görüntüsü

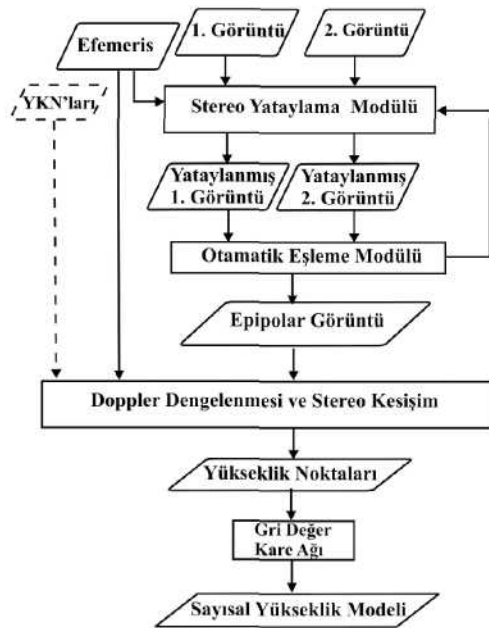
| 1.GÖRÜNTÜ | | 2. GÖRÜNTÜ | |
|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Görüntü Numarası | M0292196 | Görüntü Numarası | M0282948 |
| Görüntü Alımı Başlangıç Zamanı | 16.05.2002 04:14:39.372 | Görüntü Alımı Başlangıç Zamanı | 06.05.2002 04:06:20.682 |
| Görüntü Alımı Bitiş Zamanı | 16:06:2002 04:14:47.929 | Görüntü Alımı Bitiş Zamanı | 06.05.2002 04:06:30.238 |
| Yörünge | 34080 Descending | Yörünge | 33937 Descending |
| Işın Modu | SAR Fine 1 Beam | Işın Modu | SAR Fine 5 Beam |
| Satır Sayısı | 9083 | Satır Sayısı | 10093 |
| Piksel Sayısı | 7120 | Piksel Sayısı | 6028 |
| Piksel Aralığı | 6.250m. | Piksel Aralığı | 6.250 m. |
| Görüntü Merkezi | 3933'N 2701'E | Görüntü Merkezi | 3932'N 2704'E |

3.2. Stereo RADARSAT Görüntülerinden SYM Üretme

Stereo RADAR görüntü çiftinden SYM oluşturulması işleminde PCI yazılımı kullanılmıştır. Stereo Çiftlerden SYM üretme işlem adımları 4 aşamada gerçekleştirilmiştir;

- Epipolar görüntülerin oluşturulması
- Otomatik SYM üretme
- SYM'yi düzeltme (editleme)
- Oluşturulmuş SYM'nin yataylanması

Stereo model ve 3B stereo kesişim alanı oluşturma işlemi gerçekleştirilmesinde, TOUTIN (1995) tarafından geliştirilen parametrik geometrik model kullanılmıştır. Bu model yazılım üretim aşamasında Landsat, SPOT, İRS ve MOS uydularının görünür kızıl ötesi (VIR) bantları ile SAR uydularından ERS, JERS-1, SIR-C ve RADARSAT gibi farklı stereo görüntü çiftleri üzerinde test edilmiş olup stereo model kurma işlemi, ışın demetleri ile iteratif olarak uygulanan en küçük kareler dengeleme yöntemi ile yapılmaktadır. Işın demetleri ile dengeleme işlemi geometrik model parametrelerinin monoskopik yada stereoskopik olarak toplanan yer kontrol noktaları ve bağlama noktaları yardımı ile iyileştirilmesine olanak vermektedir (TOUTIN 1995,1998). 3B stereo kesişim alanı, önceden hesaplanmış olan geometrik model kullanılarak, stereo çiftin görüntü eşleme işlemi sonucu her iki görüntüde bulunan piksellerin koordinatlarını üç boyutlu veriye dönüştürerek oluşturulmuştur. UTM projeksiyon sistemindeki kartografik koordinatlar, ED50 datumu Türkiye parametreleri kullanılarak tanımlanan geometrik model parametrelerine ve eşitliklerine göre hesaplanmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Radargrametrik SYM Üretilmesinde İş Akış Diyagramı (MARRA vd. 1998).

PCI yazılımın "Ortho Engine" modülü mutlak ve rölatif SYM üretmeye olanak vermektedir. Mutlak SYM üretebilmek için, stereo görüntü çiftinin her biri için yer kontrol noktalarının

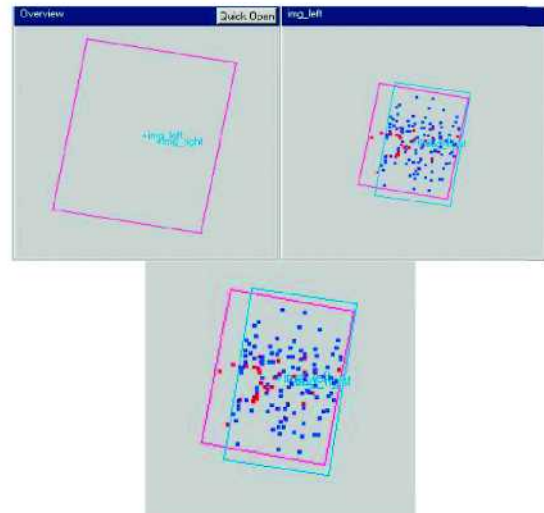
toplanması gerekmektedir. Rölatif SYM üretmek için sadece bağlama noktalarının toplanması yeterlidir.

Bu çalışmada, SYM üretildikten sonra sonuç ürün yataylanarak referans SYM ile karşılaştırılmıştır. Ancak SYM uydu ve efemeris bilgilerine göre yer kontrol noktaları kullanılmadan yataylandığında sistematik bir öteleme ile karşılaşılabileceği düşünülerek, içerisinde 1 adet köşe yansıtıcısının da bulunduğu yer kontrol noktaları kullanılmıştır. Görüntü eşleme işlemi ise PCI yazılımının olanak verdiği alan korelasyonlu görüntü piramitleri (multi scale area correlation) yöntemi kullanılarak yapılmıştır (PCI Geomatics Group, 1998).

3.2.1. Epipolar Görüntülerin Oluşturulması

PCI yazılımı, stereo model ve 3B stereo kesişim alanı oluşturma işlemi gerçekleştirmek için TOUTIN (1995)'in yapmış olduğu parametrik geometrik modeli kullanılmaktadır. Stereo model kurma işlemi, iteratif olarak uygulanan en küçük kareler ışın demetleri ile dengeleme yöntemiyle yapılmıştır. Işın demetleri ile dengeleme işlemi geometrik model parametrelerinin monoskopik ya da stereoskopik olarak toplanan yer kontrol noktaları ve bağlama noktaları yardımı ile iyileştirilmesine olanak vermektedir (TOUTIN 1995,1998). PCI yazılımı ile yer kontrol noktaları (YKN) toplamak için; görüntü üzerinde seçilen YKN'lere koordinat vermek, yataylanmış bir diğer görüntüyü referans almak, vektör verilerden, chip veri tabanından veya text dosyasından doğrudan YKN okumak gibi çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu çalışmada bölgeye ait 1/25.000 ölçekli topoğrafik raster haritalar kullanılmıştır. Bu haritaların yaklaşık konumsal doğruluğu 5 metredir. Çalışmada kullanılan radar görüntüleri ise 6.25 metre çözünürlüktedir. Bu nedenle, 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritaların yer kontrol noktaları seçimi için kullanılması yeterli görülmüştür. Ayrıca GPS sistemi ile toplanan ve bir tanesi bir adet köşe yansıtıcısına ait olmak üzere 7 adet YKN daha kullanılmıştır.

Her ikisi de alçalan yörüngede olan RADARSAT F1 ve F5 stereo görüntü çiftinden toplam 89 adet YKN seçilmiştir. Ayrıca, görüntüler arasında 105 bağlama noktası seçilmiştir. Bu noktaların dağılımı şekil 3.4'te gösterilmiştir.



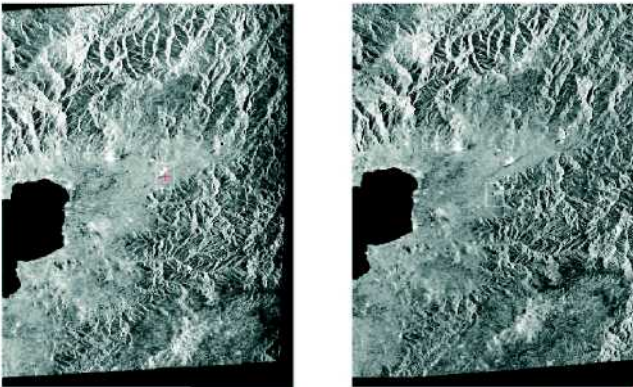
Şekil 3.4 YKN ve bağlama noktalarının görüntüler üzerinde dağılımı

Bu noktalarda dengeleme işlemi uygulanarak, Çizelge 3.2'de verilen sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde hataların ortalama 6 m civarında olduğu görülmektedir. Radar görüntüleri için model hatalarının piksel çözünürlüğünün üç katından küçük olması iyi bir sonuç olarak kabul edilebilir. Bu nedenle elde edilen bu değerlerin SYM için yeterli olacağı değerlendirilerek dengeleme sonuçları kabul edilmiştir.

Çizelge 3.2: Dengeleme sonuçları

| Artık hatalar | | | |
|---------------------------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|
| | Nokta Sayısı | X_{KOH} (m) | Y_{KOH} (m) |
| Yer Kontrol Noktası | 89 | 5.26 (0.82 piksel) | 6.19 (1.00 piksel) |
| Bağlama Noktası | 105 | 0.62 (0.19 piksel) | 2.45 (0.41 piksel) |
| Sol görüntü için artık hatalar | | | |
| Yer Kontrol Noktası | 46 | 4.64 (0.74 piksel) | 5.44 (0.87 piksel) |
| Bağlama Noktası | 105 | 0.62 (0.20 piksel) | 2.46 (0.42 piksel) |
| Sağ görüntü için artık hatalar | | | |
| Yer Kontrol Noktası | 43 | 5.90 (0.91 piksel) | 6.96 (1.14 piksel) |
| Bağlama Noktası | 105 | 0.62 (0.18 piksel) | 2.46 (0.40 piksel) |

SYM üretimi için ilk aşama, dengeleme sonucu elde edilen uydu modeli kullanılarak stereo model oluşturulmasıdır. Bunun için her iki görüntü de epipolar geometriye örneklenir. Otomatik SYM üretmek için stereo görüntü çiftlerinden sağ ve sol görüntüler doğru işaret edilerek seçilmeli ve bunlar epipolar görüntülere dönüştürülmelidir. Bu dönüşüm "y" yönündeki birçok öteleme hatasını yok edecek ve görüntüler arasındaki korelasyonu arttıracaktır. Epipolar görüntülerin SYM üretimde kullanılması hem güvenilirliği hem de hızı arttırmaktadır. Araştırmada, RADARSAT F1 görüntüsü sol, RADARSAT F5 görüntüsü sağ görüntü seçilerek, görüntüler epipolar geometriye örneklenmişlerdir (Şekil 3.5).



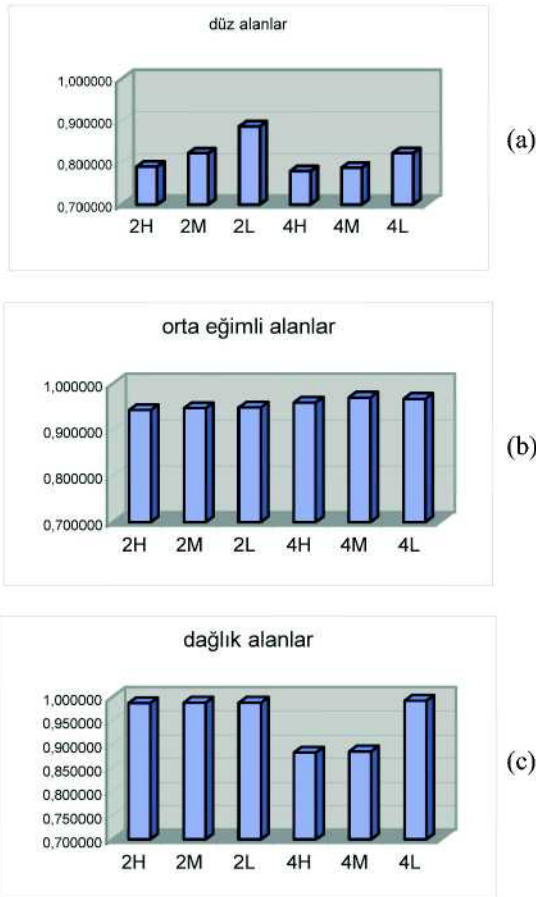
Şekil 3.5: Epipolar geometriye örneklenmiş RADARSAT F1 ve F5 görüntüleri

3.2.2: SYM Üretimi

3B stereo kesişim alanını oluşturmak üzere önceden hesaplanmış olan geometrik model kullanılmıştır ve görüntü eşleme işlemi sonucu her iki görüntüde bulunan piksellerin koordinatlarını üç boyutlu veriye dönüştürerek SYM oluşturulmuştur. Araştırma yöresinin kartografik koordinatları ED50 datumunda tanımlanan geometrik model parametrelerine ve eşitliklerine göre hesaplanmıştır.

Kısmen aynı alanı kapsayan iki veya daha fazla sayısal görüntüden elde edilen temel elemanlar arasındaki ilişkinin otomatik olarak kurulması şeklinde tanımlanan görüntü eşleme işlemi, GREENFIELD (1991) tarafından geliştirilen alan korelasyonlu görüntü piramitleri (multi scale area correlation) yöntemini kullanan PCI yazılımı ile yapılmıştır. Görüntü piramidi ile görüntü eşleme işlemi 5 ile 8 katman ve en fazla çözünürlüğü 16 kez düşürerek çözülebilmekte ve korelasyon penceresi 8 (düşük çözünürlükte) ile 32 (en iyi çözünürlükte) piksel arasında değişmektedir (PCI Geomatics Group, 1998). Üretilen SYM dosyası 2 tanesi 8 bit ve bir tanesi 16 bit olmak üzere 3 görüntü bandından ve bir segmentden oluşmaktadır. Birinci bant, referans olarak alınmış görüntünün sıkıştırılmış ve seçilen parametrelere göre de çözünürlüğü küçültülmüş bir kopyasıdır, ikinci bant ise SYM korelasyonunu vermektedir. Bu iki banttan üretilen SYM üzerinde düzeltme yaparken yararlanılmıştır. Üçüncü bant ise sonuç SYM'nin üretilmesi için belirlenen pencere büyüklüğünde bir alana ait yükseklik bilgilerini metre olarak veren 16 bit görüntüdür. Ayrıca aynı stereo çift görüntüsü kullanılarak SYM detayları, sonuç SYM'nin üretilmesi istenen alanın ve minimum maksimum yükseklik sınırlarının değiştirilmesi, boşlukların doldurulması ve sonuç SYM görüntüsünün görüntülerden arındırılması için yumuşatılması gibi parametrelerin değiştirilmesi ile çok sayıda deneme yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. PCI Ortho Engine ile ayrıca stereo çift görüntünün bindirme alanına ait bir rapor dosyası oluşturulmuştur. Paralaksın yüksekliğe duyarlılığını gösteren istatistiki bilgi veren bu raporda yer kontrol noktalarının hesaplanan yükseklikleri ile referans SYM yükseklikleri arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Ancak bu rapor ile model için toplanan yer kontrol noktalarından sadece belirlenen pencere içinde kalan noktalarının yükseklik farklarına ait istatistiksel bilgiler verilmektedir. Sonuçlar üretilen SYM'nin doğruluğunu kabaca gösteren ön bilgiler olarak kabul edilerek başarısız olanlar yeni yer kontrol noktaları ve yeni parametreler ile tekrarlanmıştır. PCI Ortho Engine ile Otomatik SYM üretim işlemleri adımı dikkat edilecek bir diğer konu ise oluşturulan epipolar görüntüler seçildikten sonra parametrelerin belirlenmesidir. Bu parametreler sonuç ürünün çözünürlüğünü ve kalitesini belirler. Bunlardan birincisi, bölgedeki minimum ve maksimum yüksekliklerdir. Seçilecek minimum ve maksimum arazi yükseklikleri korelasyon yapılacak alanı kısıtlayarak işlemi hızlandıracaktır. Örneğin, görüntü çerçevelerinin kapladığı alanda algoritmanın hesap yapacağı aralığı belirlemek üzere minimum ve maksimum yükseklikler girilmiştir. Diğer seçenek ise başarısızlık değeridir.

Korelasyon sonucu her piksel için başarılı bir eşleştirme yapılamayabilir ve sonuç olarak bu noktalarda yükseklik hesaplanmayabilir. Bu nedenle bu noktalara sabit bir başarısızlık değeri atanarak daha sonraki düzeltme işlemleri için kolaylık sağlanır. Yüksekliği belirlenemeyen piksellere -100 değeri verilmiştir. Aynı şekilde sonuç üründe birbirine karışmaması için arka alan (background) değeri -150 olarak belirlenmiştir. Piksel aralığı parametresi ise bir SYM pikselini üretmek için kaç tane görüntü pikselinin kullanılacağını belirler. Bu seçeneğin, en az girdi piksel büyüklüğünün iki katı olarak seçilmesi önerilmektedir. Bu çalışmada, 2 ve 4 piksel aralıklı SYM üretilmesinin uygunluğu saptanmış, yani 12.5 ve 25 m metre aralığında olmak üzere 2 adet SYM üretilmiştir. Piksel aralığı seçeneği ile aynı zamanda üretilecek SYM'nin grid aralığı da belirlenmiş olur. Üretim açısından önemli bir diğer seçenekse SYM detayıdır. Sonuç ürüne yüksek (H), orta (M) ve düşük (L) filtre uygulanarak görülmek istenen detay belirlenebilir. Ayrıca SYM oluşturulamayan alanlara enterpolasyon yapılarak yükseklik bilgisi verilebilir. SAR görüntülerinden SYM üretimi için orta SYM detayı tavsiye edilmektedir (PCI Geomatics Group, 1998). Bunun nedeni yüksek detay seçildiğinde korelasyon zorlaşmakta ve başarısızlık oranı artmakta, dolayısı ile SYM içerisindeki boşluklar yani yükseklik bilgisi üretilemeyen alanlar artmaktadır. Çalışmada ise düz ve düze yakın arazilerde düşük (L) ve orta eğimli arazilerde orta (M) detayın başarılı sonuç verdiği saptanmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Düz(a), orta eğimli (b) ve dağlık (c) alanlarda detay seçimi ve görüntü eşleme korelasyon katsayıları arasındaki ilişki

Ancak bilinmesi gerekir ki tüm bu parametreler, bir yandan sonuç ürünün kalitesini arttırmaya katkıda bulunurken öte yandan bazı detayların kaybolmasına neden olabilir. Bu nedenle çalışılan arazinin topografyasına ve RADARSAT görüntü çiftinin özelliklerine göre, çeşitli varyasyonlar denenerek en uyumlu parametrelerinin belirlenmesine çalışıldı. Yükseklik ve topografya açısından farklılık gösteren arazi türleri için en iyi SYM üretebilmek amacıyla dağlık, düz ve orta derecede engebeli alanlar için farklı parametreler kullanılarak çok sayıda SYM'leri üretildi. Yapılan deneme sonucunda RADARSAT F1 ve F5 alçalan yörüngede alınmış görüntü çiftleri için düz alanlarda 2L (2 piksel aralıkla-az detay) ve eğimin arttığı alanlarda 4M (4 piksel aralıkla-orta derece de detay) seçeneklerinin iyi sonuç verdiği saptanmıştır. Dağlık alanlarda sapmalar çok artmış ve SYM modelinin doğruluğu çok azaldığı için böyle bir genelleme yapılamamıştır. Ancak düz ve düze yakın eğimli alanlarda 4M'in başarısız olması nedeniyle 2L parametreleri ile üretilen SYM'nin sonuç verdiği saptanmıştır.

PCI ile üretilen SYM'nin kalitesi düzeltme işlemi ile artırılabilir. Ortho Engine modülünün stereo SYM üretme kısmındaki SYM düzeltme operatörleri ile bu işlem yürütülmüş ve yapılabilen iyileştirmeler aşağıda sıralanmıştır:

- Gürültüyü giderme (noise removal) operatörü bir filtredir ve otomatik olarak kötü sonuç veren pikselleri bulur ve ayıklar. Bu SYM'nin görüntüsünü önemli bir ölçüde düzeltir. Genel olarak yükseklik düzeltmesi komşu piksellerin yüksekliklerinin standart sapmasının 3 katından büyük olan pikseller ayıklanır. Aynı zamanda başarısız piksellerle çevrelenmiş olan piksellere ait yükseklik değerleri de başarısız değere dönüştürülür
- Enterpolasyon işlemi ile yükseklikleri hesaplanamayan piksellere, onları çevreleyen doğru yükseklikli piksellerden yükseklik değeri enterpole edilir.
- Yumuşatma işlemi ile hesaplanan yükseklik değerlerini yumuşatmak için küçük bir Gauss filtresi uygulanır.
- Maskeleme işlemi ise göl, deniz gibi geniş su yüzeylerini maskeleme olanağı sağlar ve maske altında kalan alanlara istenilen yükseklik değeri verilebilir. Ayrıca yanlış yükseklik değerine sahip alanlar üzerine de maskeler çizilerek bu alanlar diğer düzeltme operatörleri kullanılarak yeni bir yükseklik değeri enterpole edilebilir.

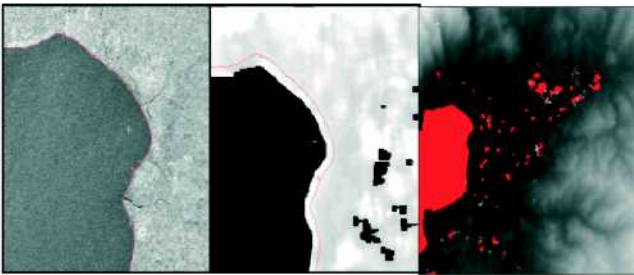
SAR görüntülerinden üretilen SYM'leri çok nadiren yumuşak ve iyi bir görünüme sahiptir, çoğunlukla da hatalı alanlarda boşluklar doldurulmamıştır. Bu nedenle SYM düzeltme operatörlerinden, maskeleme operatörü sonucu iyileştirmek açısından çok kullanışlıdır. Kaba hataları gidermek, geniş su yüzeylerini veya diğer pürüzsüz yüzeylerine ait yükseklik değerlerini düzeltmek açısından çok etkilidir (Şekil 3.7).

Bu çalışmada 20-30 piksele kadar olan boşluklar, boşlukları doldurma seçeneğini önceden seçerek otomatik olarak doldurulmuştur. Yapılan iyileştirmelerin amacı söz konusu stereo

çiftten kaba hatalar oluşturmadan, mümkün olan en yüksek detaylı SYM'yi üretebilmektir. Bu nedenle, yerleşim ya da kıyılardaki tarım alanları ve sıradağlar boyunca ya da orman kaplı dağlar gibi farklı topoğrafik yüzeyler ve arazi kullanım türleri için küçük parçalar halinde SYM'lerin üretilmesi ve görüntü çerçevesinin bütününe uygun en iyi parametrelerin belirlenmesinin en iyi radargrametrik SYM üretme şekli olduğu saptanmıştır. Tüm bu konulara dikkat edilmesine rağmen su yüzeyleri ya da arazi karakteristikleri nedeni ile SYM'lerde kaba hatalı kısımlara rastlanmıştır (Şekil 3.7). Bu tür kaba hataların çok sayıda bulunması normal bir durumdur ve düzeltilmiştir.

Bu çalışmada yüksek detayla (H) üretilen SYM'deki kaba hataların sayısının, her denemede düşük detaylı SYM'deki hatalardan daha fazla olduğu saptanmıştır. "Boşlukları doldur" ve "filtreleme" seçeneği ile görüntü eşleme işleminin başarısız olmasına bağlı olarak yükseklik üretilmeyen bölgeler otomatik enterpolasyonla doldurulmuş ve üretilen SYM filtrelenmiştir. Çalışmada orta (M) ve az (L) SYM detayı seçilerek iki ayrı SYM üretilmiştir. Çok belirgin hatalar, kaba hataların bulunmadığı yerlerde elle düzeltilmiştir. Bu nedenle SYM detayı düşük çözünürlüklü seçilerek bu kaba hatalar azaltılabilmektedir. Ancak bu durumda da üretilen SYM'de bilgi kaybı söz konusudur. SYM modelinin doğruluğu artarken detayları azalmaktadır. Çalışma alanı içerisinde bulunan Edremit Körfezi 'nde kıyı çizgisi boyunca, denizi içeren bölgelerde yanlış yükseklik bilgilerine sahip bir koridor oluşmuştur. Sayısal haritanın kıyı çizgi katmanını aynı geometrik modele göre yataylanmış SYM ve ortorektifiye edilmiş RADARSAT görüntüsü üzerine açıldığında bu koridor görsel olarak da değerlendirilebilmektedir. Aynı vektör katman bir poligon olarak SYM üzerinde açılıp bu bölge maskeleyme operatörü ile maskelenmiş ve tüm deniz yüzeyine sıfır kotu atanmıştır Böylece kaba hatalardan arındırılmış ve SYM'nin doğruluğu SYM üzerindeki tüm kaba hataların giderilmesi ve boşlukların doldurulması artırılmıştır (Şekil 3.7).

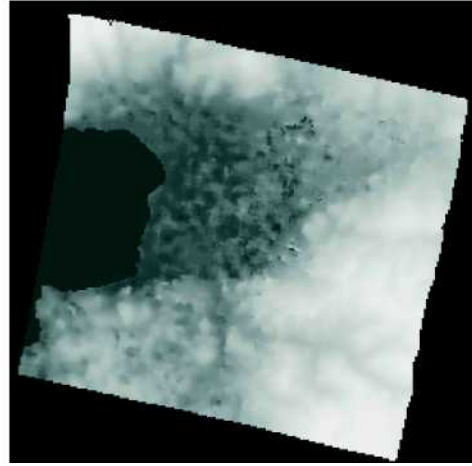
Şekil 3.7 SYM üzerindeki tüm kaba hataların giderilmesi ve



boşlukların doldurulması

3.2.3 SYM'nin Yataylanması

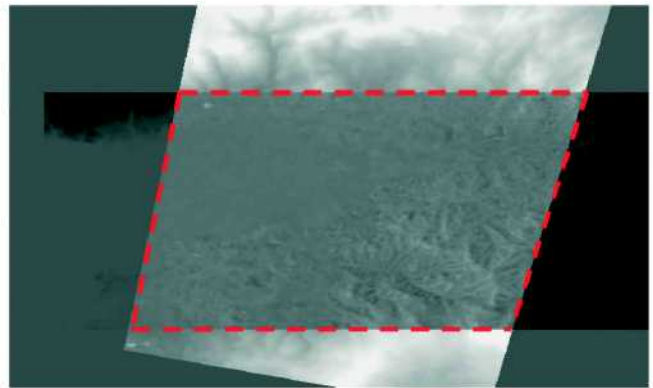
Üretilen SYM'nin düzeltme işlemleri tamamlandıktan sonra UTM projeksiyon sisteminin 35. bölge ve S sırasında yer alan çalışma alanı ED50 Türkiye parametrelerine göre 10 m grid aralığı seçilerek yataylanmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Üretilen çalışma bölgesine ait yataylanmış sayısal yükseklik modeli

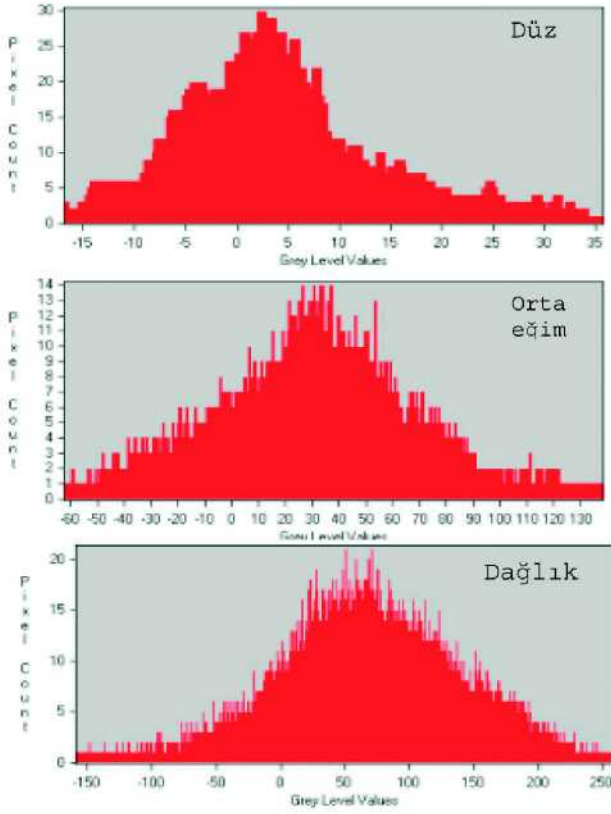
3.3 Stereo RADARSAT SYM'nin Doğruluğunun Değerlendirmesi

Otomatik korelasyonla radar görüntülerinden üretilen SYM'nin doğruluk araştırması için, aynı bölgeye ait 1/25.000 ölçekli vektör eşyüksekti eğrilerinden üretilen bir SYM kullanılmıştır. 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalarda 10 metrede bir geçen eşyüksekti eğrilerinden üretilen SYM'nin doğruluğunun, eşyüksekti eğrilerinin aralığının yaklaşık 1/3'üne eşit olması beklenebilir. Bu nedenle referans SYM olarak kullanmak üzere sayısal eşyüksekti eğrilerinden üretilen SYM'nin doğruluğu 3 metre civarındadır ve radar görüntülerinden üretilen SYM'nin kontrolü için kullanılabilir. Daha sonra hata analizi için üretilen iki SYM üst üste çakıştırılarak birbirlerinden farkları alınmıştır. Bu işlem sonucunda 1/25.000 ölçekli SYM ile radardan üretilen SYM'nin farkları elde edilmiştir. Doğruluk analizi yapılırken, hata analizinin güvenilirliğini arttırmak için fark haritasının bütünü kullanılmıştır. İki SYM'nin farkı alınarak üretilen fark görüntüsü Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9: Referans SYM ile Radargrametrik SYM arasındaki fark

SYM fark görüntüsü incelendiğinde eğime bağlı olarak değerlerde olumsuz değişimler olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle hata analizi düz ve düze yakın, orta eğim ve dağlık alanlar olmak üzere üç grupta tekrar edilmiştir ve bu arazi türlerine ait SYM'leri ve histogramları ayrı ayrı incelenmiştir (Şekil 3.10).



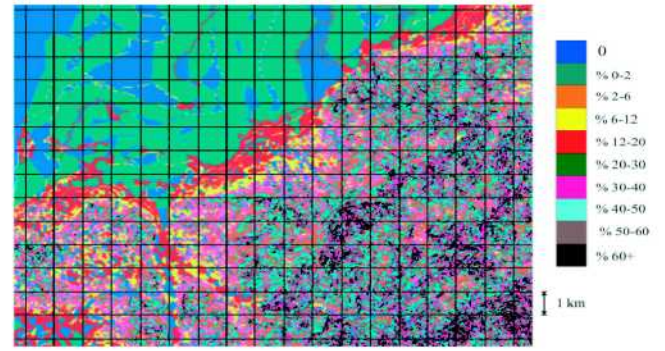
Şekil 3.10: Düz ve düze yakınlık, orta eğim ve dağlık alanlar olmak üzere üç grup arazi türlerine ait histogramlar

SYM'lerin min/max, ortalama değerleri, ortalama hataları ve standart sapmaları incelendiğinde, özellikle yüksek rölyefe sahip yani engebeli ve sarp arazilerde yüksek hataların olduğu, düz arazilerde ise oldukça düşük hatalar olduğu görülmüştür (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3: Düz ve düze yakın arazi parçasına ait farkların maksimum, ortalama ve karesel ortalama hataları

| Test Alanları | Nokta Say (piksel) | Maksimum hatalar | Ortalama (Mean) | Standart sapma |
|---------------|--------------------|--------------------|-----------------|----------------|
| Düz | 442525 | -18,776 / 58.369 | 5,756 | 8,732 |
| Düz | 259488 | -16,800 / 35.512 | 3,133 | 7,537 |
| Düz | 159600 | -31,121 / 65.109 | 17,888 | 16,955 |
| Düz | 75369 | -8,155 / 18.853 | 4,101 | 3,485 |
| Orta Eğimli | 101592 | -37.509 / 135.586 | 24.580 | 18.813 |
| Orta Eğimli | 101592 | -62.112 / 137.722 | 30.785 | 28.164 |
| Orta Eğimli | 117196 | -37.509 / 135.857 | 37.406 | 21.089 |
| Orta Eğimli | 108724 | -37.509 / 135.857 | 42.962 | 24.536 |
| Dağlık | 190350 | -82.079 / 275.138 | 67.910 | 47.264 |
| Dağlık | 190350 | -116.527 / 237.497 | 19.340 | 35.326 |
| Dağlık | 190350 | -232.174 / 172.750 | 2.489 | 41.679 |
| Dağlık | 190350 | -158.581 / 256.810 | 69.867 | 57.341 |

Bu çalışma içerisinde, SYM'lerin farklı değerleri ile arazinin eğim ve yükseklik özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu amaç için, SideWork (Intergraph) yazılımı kullanılarak bir eğim ve bir yükseklik haritası üretilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11: Eğim haritası

SYM farkları ile eğim ve yükseklik haritalarında aynı noktaların belirtilen değerleri okunarak istatistiki değerlendirmeleri yapılmıştır. Eğimin %0-3 arasında değiştiği arazilerde, üretilen SYM farkının standart sapmasının çok düşük olduğu belirlenmiştir. Eğimin biraz daha fazlaştığı %3-15 eğim aralığında, standart sapma da küçük bir artış olduğu, ancak %15'den sonraki eğim artışlarının SYM fark değerlerinde de hızlı bir yükselişe neden olduğu saptanmıştır. Genel olarak eğim ile SYM fark değerlerinde doğrusal artan bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Oluşturulan SYM farkları ile % eğim değerleri incelendiğinde %12'ye kadar olan eğim aralığında korelasyon katsayısı 0.86 olarak bulunmuştur. Özellikle %0 ile %6 arasındaki eğim aralığında yani düşük eğime sahip arazilerde SYM farklarına ait standart sapmanın çok düşük olduğu, ancak %6 - %12 eğim aralığında standart sapmanın arttığı gözlenmiştir. Buna bağlı olarak düşük eğimlerde SYM farkı sonuçlarının eğim ile olan ilişkisinin doğrusal ve kuvvetli olduğu, ancak eğim arttıkça bu doğrusal ve kuvvetli ilişkiden uzaklaşıldığı belirlenmiştir.

Eğim ve yükseklik ile SYM farkları arasında ilişki 2 piksel aralıklı ve düşük detaylı olarak oluşturulan SYM'den ve 4 piksel aralıklı, orta detaylı olarak oluşturulan SYM'den olmak üzere iki ayrı fark haritası elde edilmiş ve hangisinin eğim ve yüksekliğe karşı iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Özellikle denize yakın bölgelerde yer alan düşük yükseklik seviyeli araziler üzerinde belirlenen SYM fark değerlerinin minimum-maksimum aralığı, eğimli yerler ile kıyaslanamayacak kadar düşük değerlerde olduğu belirlenmiştir. Eğimin artışına koşut olarak minimum-maksimum arasındaki açıklık 150 m'nin üzerine ulaşmıştır. Bu değerler ile bağlantılı olarak yüksekliği az olan arazilerde standart sapma düşük değerlerdedir. Yükseklik ve SYM fark ilişkisinin daha iyi incelenmesi için 0 - 990 m arasında değişen yükseklik değerleri, 0 - 50 m ve 50 m'nin üzeri olmak üzere iki alt grupta incelenmiştir. Araştırmada kullanılan SYM'ler 2 piksel aralıklı düşük detaylı (2L) ve 4 piksel aralıklı orta detay (4M) yöntemleri ile üretilmiş ve bu iki yöntemin yükseklik ile ilişkileri kendi içerisinde karşılaştırılmıştır.

0 - 50 m arasındaki yüksekliğe sahip arazilerde SYM farkları ile yükseklik artışı arasında doğrusal ve kuvvetli bir ilişki görülmüştür. Bu ilişki 2L olarak üretilen SYM ile daha güçlü, 4M yöntemi kullanılarak üretilen SYM ile daha düşük

korelasyon değerine sahip olduğu saptanmıştır. Ancak yüksekliğin ilk dilimlerinde 2 L' ye göre, 4M yöntemi ile üretilen SYM'de standart sapma değerleri çok yüksek belirlenmiştir. 50 m'nin üzerindeki yüksekliğe sahip arazilerde her iki yöntemde de standart sapma değerleri artmaktadır. Ancak 2L yöntemiyle üretilen SYM'lerde artış hızı ve standart sapma değeri 4M'ye göre daha düşüktür.

Araştırma yöresinde yüksekliğin SYM değerlerine etkisi incelenmiş ve düşük detay (2L) yöntemine göre üretilen SYM değerlerinin özellikle düz ve orta eğimli arazilerde kabul edilebilir ancak yüksek arazilerde ise çok büyük olduğu saptanmıştır. Orta detay (4M) yöntemine göre üretilen SYM değerlerinin ise her yükseklik grubunda kabul edilemez düzeyde olduğu saptanmıştır (BALIK 2004).

4. Sonuçlar

Radarin görüntüleme geometrisinin bir sonucu olarak yüksek rölyefe sahip engebeli arazilerde büyük hatalar ortaya çıktığı görülmüştür. Radarin görüntü alım açısına ve yüzey geometrisine bağlı olarak gölge, kısa ve ters görüntüleme hataları dik eğimli ve engebeli arazilerde etkili olmaktadır. Bunun sonucu olarak otomatik görüntü eşleme algoritmaları dağlık bölgelerde başarılı olamamakta ve üretilen SYM'lerde hatalar ortaya çıkmaktadır. Düz ve düze yakın eğimli arazilerde ise bu etkilerin çok düşük olması nedeniyle daha başarılı SYM'ler elde edilebilmektedir. Araştırma içeriğinde, SYM'lerin farklı değerleri ile arazinin eğim ve yükseklik özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu amaç için bir eğim ve bir yükseklik haritası üretilmiştir. SYM farkları ile eğim ve yükseklik haritalarında aynı noktaların belirtilen değerleri okunarak istatistikî değerlendirmeleri yapılmıştır. Eğimin %0-3 arasında değiştiği arazilerde, üretilen SYM farkının standart sapmasının çok düşük olduğu belirlenmiştir. Eğimin biraz daha fazlaştığı %3-15 eğim aralığında standart sapmada küçük bir artış olduğu, ancak %15'ten sonraki eğim artışlarının SYM fark değerlerinde de hızlı bir yükselişe neden olduğu saptanmıştır. Genel olarak eğim ile SYM fark değerlerinde doğrusal artan bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Araştırma yöresine ait denizden yükseklik değerleri ile SYM değerlerindeki ilişki, eğim için yapılan uygulamalara benzer bir uygulama ile belirlenmiştir. Araziler denizden yükseklikler ile doğrusal bir ilişki göstermektedir. Ayrıca eğimin ve denizden yüksekliğin birlikte artması, genel topoğrafik yapının doğasında olan bir özelliktir ve bu doğal yapılanma, birlikte artan eğim ve yükseklik değerlerine sahip dağlık arazilerde önemli düzeyde hatalı SYM değerleri elde edilmesine neden olmaktadır. Sonuç olarak düz- düze yakın arazilerde SYM fark değerlerinin, eğimli ve denizden yüksekliği fazla arazilere göre daha doğru bilgi verdiği saptanmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma TOGTAG-2903 nolu TÜBİTAK projesi çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- BALIK F.: **Elektro Optik ve SAR Uydu Görüntüleri ile Arazi Bitki Örtüsünün Belirlenmesi**, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 2004 CANADIAN SPACE AGENCY, **RADARSAT Geology Handbook**, RADARSAT International, Canada, 1996. GREENFIELD J.,S.: **An Operator-based Matching System**, Photogrammetric. Engineering and Remote Sensing, 1991 GRÜN A.: **Digital Photogrammetric Stations: A Short Bestof Unmatched Expectations**, Geo Info Magazine, Vol.II, No.1, 20-23, 1997 LA PRADE G. L.: **An Analytical and Experimental Study of Stereo for Radar**, Photogrammetric Engineering, Vol.35, No.2, 294-300, 1963 LEBERL F., DOMIK G., RAGGAM H. ve KOBRICK J. M.: **Radar Stereomapping Techniques and Applications to SIR-B Images of Mt. Shasta**, IEEE Taransactions Geoscience Remote Sensing, Vol.24, No.4, 473-481, July, 1986 LEBERL F., MAYER W., DOMIK G. ve KOBRICK M.: **SIR-B Stereo-Radargrammetry of Australia**, International Jomal of Remote Sensing, Vol.9, No.5,997-1011, 1988 MARRA M., MAURICE K. E., GHIGLIA C. D. ve FRICK G. H.: **Automated DEM Extraction Using RADARSAT ScanSAR Stereo Data**, IEEE, 1998 MIN-HO KA ve MAN-JO KİM.: **DEM Generation Using SAR Stereo Technique with RADARSAT images Över Seoul Area**, Korean Journal of RS, 17 (2) pp.155-164, 2001 PARASHAR S., LANGHAM E., MC NALLY J. ve AHMED S.: **RADARSAT Mission Requirements and Concepts**, Canadian Journal of Remote Sensing, Vol.18, No.4,280-288,1993 PCI GEOMATICS GROUP: **OrthoEngineRE ve OrthoEngineRE 3D**, Reference Manuel, Version 6.2., 1998 SIMARD R., PLOURDE F. ve TOUTIN T.: **Digital Elevation Modelling With Stereo SIR-B Image Data**, Int. Symp.Remote Sensing for Resources Development and Environmental Management, ISPRS Comission VII, Enschede The Netherlands, 161-166, 1986 TOUTIN T.: **DEM Generation with Photogrammetric Approach: Examples with VIR and SAR data**, EARSeL Journal of Advances in Remote Sensing, Vol.4, No 2, 110-117, 1995 TOUTIN T.: **Opposite Side ERS-1 SAR Mapping över Rolling Topography**, IEEE Taransactions Geoscience Remote Sensing, Vol.34, No 2, 543-549, March. , 1996 TOUTIN T.: **Elevation de La Precision des images de RADARSAT**, Journal Canadien de Teledetection, 24 (1), pp 80-88, 1998 TOUTIN T.: **Evaluatin of radargarammetric DEM from RADARSAT images in high relief areas**, IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing 38 (2), pp 782-789, 2000. TWU Z. G. ve DOWMAN I.: **Automatic Height Extraction from ERS-1 SAR Imagery**, Int. Archives Photogrammetri and Remote Sensing, Vol.31(B2), 380-383,1996