

## Yükselen ve Alçalan Yörüngeye Ait TerraSAR-X Görüntülerinden Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluk Karşılaştırması

Ahmet Tarık TORUN\*<sup>1</sup> ORCID 0000-0002-7927-4703

<sup>1</sup>Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Ağrı

Geliş tarihi: 07.01.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atf şekli/ How to cite: TORUN, A.T., (2022). Yükselen ve Alçalan Yörüngeye Ait TerraSAR-X Görüntülerinden Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluk Karşılaştırması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 367-375.

### Öz

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisi birçok mühendislik disiplini için arazi yükseklik bilgileri içermesinden dolayı oldukça önemlidir. Uzaktan algılamada mikrodalga görüntüler yardımı ile SYM üretiminde, stereoskopik ve interferometrik yöntemler kullanılmaktadır. Mikrodalga görüntülerin bu alanda kullanılmasındaki en büyük etken ise gece-gündüz alım yapabilmeleri ve kar, yağmur gibi hava koşulundan etkilenmemeleridir. Mikrodalga algılayıcı sistemler, yörünge etrafında alçalan veya yükselen yönde hareket ederek algılama yaparlar. Bu çalışmada TerraSAR-X verileri ile Erciyes Dağı'nda seçilen bir pilot bölgede SYM üretimi gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda SAR görüntülerinin uyumluluk verileri kullanılarak iki yörüngeye ait veriler füzyon edilmiştir. Alçalan, yükselen yörünge ve füzyon görüntüler için ayrı ayrı üretilen SYM'ler arazi ölçmelerinden elde edilen yükseklik bilgileri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemlerinde istatistiksel analizler uygulanmıştır. İstatistiksel analizler sonucunda sırasıyla yükselen yörünge, alçalan yörünge ve füzyon korelasyon katsayısı değerleri 0.892, 0.894 ve 0.934 bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kullanılan füzyon yönteminin sonuçları pozitif yönde iyileştirdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Yükselen/alçalan geçiş, InSAR, SYM, TerraSAR-X

### Accuracy Comparison of Digital Elevation Models Produced from Ascending and Descending Orbits TerraSAR-X Data

#### Abstract

Digital Elevation Model (DEM) data have become indispensable for many engineering disciplines because it contains terrain elevation information. Stereoscopic and interferometric methods are used in the production of DEMs with the help of microwave images in remote sensing. The most important factor in the use of microwave images in this area is that they can acquire by day or night or not affected by weather conditions such as snow and rain. Microwave satellite systems can sense by moving on descending or ascending directions around the orbit. In this study, DEM production was carried out in a selected pilot region in Erciyes Mountain with TerraSAR-X data. Also, the data of the two orbits were fused using the coherence data of the SAR images. DEMs produced separately for descending, ascending orbit and fusion images were compared with the elevation information obtained from in-situ measurements. As a result of statistical analysis, the correlation coefficients of ascending orbit,

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ahmet Tarık TORUN, [ahmettarik.torun@gmail.com](mailto:ahmettarik.torun@gmail.com)

descending orbit and fusion were found 0.892, 0.894 and 0.934, respectively. When the results obtained were carried out, it was seen that the fusion method improved the results statistically.

**Keywords:** Ascending/descending pass, InSAR, DEM, TerraSAR-X

## 1. GİRİŞ

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM-DEM), yeryüzü topoğrafyasının yükseklik bilgilerini ve karakteristik özelliklerini 3 boyutlu sayısal halde sunun bir veri kümesidir [1]. Model, ilk olarak [2]'nin "arazi modeli" kavramından yola çıkarak bu günkü tanımları ile kullanılmaktadır. SYM'ler, günümüzde birçok yerbilimleri disiplini tarafından analitik bir altlık olarak kullanılmaktadır. Uydu sistemlerinin hızla gelişmesi ve kullanıma sunulması SYM verilerinin üretilmesi için önemli kaynaklar oluşturmuştur [3]. Günümüzde, optik ve mikrodalga görüntüler yardımıyla SYM'ler elde edilebilmektedir. Mikrodalga (radar) uydu görüntüleri ile SYM üretimi, stereoskopik ve interferometrik olmak üzere iki farklı şekilde yapılabilmektedir [4]. Stereoskopik yöntemde belirli bir oranda bindirmeli olarak kullanılan radar görüntüleri aracılığıyla arazi yüzeyine ait 3 boyutlu veriler elde edilmektedir. Bu yöntemdeki en önemli adım, iki görüntüdeki eşlenik noktaların bulunarak görüntü eşleştirmesinin yapılmasıdır [5-7].

RADAR Detecting And Ranging teriminin kısaltması olarak bilinen RADAR, yeryüzüne mikrodalga ışınımını gönderir ve dönen sinyalleri kaydeder [8]. Sistemi optik sistemlerden ayıran en önemli özelliği ise gece-gündüz ve her türlü hava koşulunda algılama kapasitesine sahip olmasıdır. RADAR sistemleri dünya üzerinde Kuzey-Güney veya Güney-Kuzey yörüngeler boyunca görüntü alımı yapabilmektedir. Bir RADAR uydusu Güneyden Kuzeye doğru bir yörünge takip ediyorsa yükselen, tam tersi bir hareket söz konusu ise alçalan yörüngeye sahip olarak adlandırılmaktadır. Sistem, anten açıklıklarına göre Gerçek Açıklıklı Radar-Real Aperture Radar (RAR) ve Yapay Açıklıklı Radar - Synthetic Aperture Radar (SAR) olmak üzere ikiye ayrılmıştır. SAR sistemleri RAR sistemlerinin anten boyundan kaynaklanan kısıtlamaların ortadan kaldırılması için geliştirilmiştir.

Radar interferometrisi tekniği ile geliştirilen Yapay Açıklıklı Radar İnterferometrisi (InSAR), yaklaşık olarak aynı noktadan farklı zaman dilimlerinde elde edilmiş iki SAR görüntüsündeki piksellerin faz farklarının bulunması esasına dayanmaktadır [9-11]. 1970'lerden günümüze farklı alanlarda kullanılan bu yöntem, [12] tarafından ilk olarak ayın topoğrafyasının çıkarılmasında kullanılmıştır. Daha sonraları [13]'ün yeryüzü topoğrafyasının çıkarılması üzerinde çalışmış ve [14]'in uçağa monte edilmiş iki antenli sistem ile çalışmalar yapmıştır. InSAR tekniği günümüzde farklı çalışmalar için sıklıkla kullanılmaktadır [9,15-18].

Uzaktan algılanmış verilerde meydana gelen hataların bazıları elimine edilebilse bile bazıları kaçınılmazdır. Bu verilerden üretilen SYM'ler de, içerisinde farklı nedenlerden kaynaklanan hatalar barındırmaktadır. Özellikle SYM verilerinde veri toplama yöntemine bağlı olarak bu hatalar çeşitlilik göstermektedir. SYM üretimi, yersel ölçmeler ile yapılıyorsa ölçme ekipmanlarının hassasiyetine, optik uydu görüntüleri ile yapılıyorsa, uydunun yersel, zamansal ve spektral çözünürlüğüne, mikrodalga algılayıcılar ile yapılıyorsa uydu geliş açısı, arazi eğimi veya bakışı gibi etmenlere bağlı hatalar barındırmaktadır [19,20]. Bilim insanları bu hataları en aza indirmek veya ortadan kaldırmak için birçok araştırma yapmış ve yapmaya devam etmektedir [1,4,8,15]. Hataları en aza indirmek ve hata oranlarını ortaya çıkarabilmek için en iyi yol, her zaman daha hassas örnek veriler ile yapılan çalışmaları kıyaslamaktır.

Bu çalışmada TerraSAR-X uydusundan elde edilmiş, alçalan ve yükselen yörünge özelliklerine sahip mikrodalga uydu görüntüleri kullanılarak SYM üretim işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Erciyes dağı pilot bölge olarak kullanılmıştır. Çalışma bölgesinde GPS alıcıları yardımı ile arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmalarından elde edilen nokta yükseklik

bilgileri ile radar görüntülerinden elde edilen alçalan ve yükselen yörüngeye ait SYM verileri karşılaştırılmıştır. Bunun yanı sıra SAR verilerinin uyumluluk değerleri ile bir ağırlıklandırma yapılmış, alçalan ve yükselen yörüngeye ait yükseklik değerleri kullanılarak iki verinin birleştirilmesi sağlanmıştır. Sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilip iki veri arasındaki ilişki yorumlanmıştır.

## 2. YÖNTEM

### 2.1. Çalışma Alanı, Kullanılan Veriler ve Arazi Çalışmaları

Çalışmada 3917 m yüksekliği ile Türkiye'nin en yüksek dağları arasında bulunan Erciyes Dağı pilot bölge olarak belirlenmiştir. Ülkemizde kış turizmüne önemli katkılarda bulunan Erciyes Dağı, Kayseri ilinin 25 km güneybatısında yer almaktadır.

Çalışmada TerraSAR-X uydusunun StripMap moduna ait 4 adet görüntü kullanılmıştır. Tekrarlı

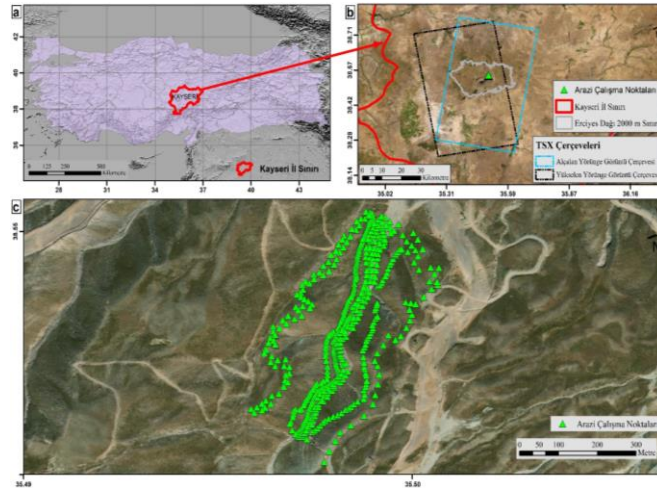
geçiş tekniği ile üretilmiş 2 adet görüntü alçalan, 2 adet görüntü ise yükselen yörüngeye ait ve Yatay/Yatay (HH) polarizasyona sahiptir. Görüntüler 11 günlük zamansal baz uzunluğuna sahip ve yaz aylarında elde edilmişlerdir. Görüntülerin teknik özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Radar görüntülerinden elde edilen SYM'lerin doğruluklarının değerlendirilmesi için arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanında belirlenen bölgede GPS alıcıları ile Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK) ölçmeler gerçekleştirilmiş ve 540 adet noktanın yükseklik bilgileri toplanmıştır. Çanak formasyonunda bulunan çalışma bölgesi için şev üst, orta ve alt noktalarından yaklaşık olarak homojen dağılacak şekilde nokta bilgisi toplanmıştır.

Çalışma alanı, uydu görüntü çerçeveleri ve arazi çalışmasından elde edilen noktalar Şekil 1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.** Kullanılan uydu görüntüleri teknik özellikleri

Görüntüleme Modu	Görüntü Alım Tarihi	Zamansal Baz Uzunluğu (Gün)	Dik Baz Uzunluğu (m)	Bağıl Yörünge	Geliş Açısı Aralığı (°)	Yörünge	Polarizasyon
StripMap	06.07.2018	11	43,33	39	36,03-38,54	Yükselen	Yatay/Yatay
StripMap	17.07.2018						
StripMap	12.08.2018	11	89,30	92	36,06-38,51	Alçalan	
StripMap	23.08.2018						



**Şekil 1.** a) Çalışma alanı genel haritası, b) Erciyes dağı 2000m yükseklik sınırları ve görüntü çerçeveleri, c) Çalışma bölgesinde arazi noktalarının dağılımı

## 2.2. InSAR Tekniği ile SYM Üretimi

InSAR tekniği ile SYM üretim işlemi temel olarak, bir görüntünün ana (master), diğer görüntünün yardımcı (slave) olarak seçilip bindirmeli bir şekilde işlenmesi esasına dayanmaktadır [18-21]. İki SAR verisi ile SYM oluşturma işlem adımları sırasıyla aşağıdaki gibidir;

- Görüntü kaydı
- İnterferogram oluşturma
- Faz filtreleme
- Faz açılımı
- Faz-yükseklik dönüşümü
- Geometrik düzeltme

InSAR tekniğinde, yalnızca iki SAR görüntüsü ile SYM üretimi mümkün olamamaktadır. Görüntü işleme esnasında harici bir SYM kullanımı arazi topografyasının modellenmesi açısından gerekli bir durumdur. Harici SYM verileri işlem esnasında topoğrafik faz olarak kullanılmaktadır. Bu topoğrafik faz verisi, interferogramdan çıkarıldıktan sonra gerçek yüzeye ulaşılmış olur. İşlem sonunda harici SYM verisi tekrar eklenerek nihai SYM verisi elde edilmiş olur [10].

Çalışmada harici SYM verisi olarak SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) modeli kullanılmıştır. SRTM, C ve X bantları ile çalışan iki farklı radar sistemi üzerine kuruludur. Haricen veya yazılım üzerinden ücretsiz olarak kullanılabilen bu ürün 30 ve 90 m çözünürlük ile dünyanın tüm SYM verisini üretmiştir.

Bu çalışmada Avrupa Uzay Ajansı tarafından kullanıcılara ücretsiz olarak sunulan SNAP yazılımı kullanılmıştır. SYM üretim aşamasında gerekli bütün işlemler yazılım üzerinden gerçekleştirilmiştir. Haritalama işlemlerinde ArcGIS yazılımı ve istatistiksel değerlendirme işlemlerinde ise Matlab yazılımı kullanılmıştır.

## 2.3. Alçalan ve Yükselen Yörünge Verilerinin Füzyonu

Alçalan ve yükselen yörüngeye sahip görüntüler ile üretilen SYM'ler birbirinden farklı karakteristik özellikler ve doğruluklar sunmaktadır. Özellikle

dağlık arazilerde uydu geliş açısı ve arazi topografyasından kaynaklanan gölge, ters görüntüleme ve kısa görüntüleme gibi hatalar meydana gelebilmektedir. Bu hataların ortadan kaldırılabilmesi için bilim insanları iki yörüngeye ait verilerin birleştirilerek kullanılması yoluna gitmişlerdir [18,22-25].

Bu çalışmada, [25]'in önerdiği ağırlıklandırma ile füzyon yöntemi kullanılmıştır. Yöntem SAR verilerinin uyumluluk haritalarına göre ağırlıklandırılması ve bir dizi matematiksel işlem ile alçalan ve yükselen verilerin füzyonu temeline dayanmaktadır. Yöntemde uyumluluk değerleri Çizelge 2'deki değerler kullanılarak ağırlıklandırılmaktadır.

**Çizelge 2.** Uyumluluk ve ağırlık değerleri

Uyumluluk Değeri	Ağırlık
1-0,8	1
0,8-0,6	0,8
0,6-0,4	0,6
0,4-0,2	0,4
0,2-0	0,2

Çizelge 2'de verilen uyumluluk değerlerine göre yeni bir ağırlık matrisi üretilmektedir. Bu aşamadan sonra alçalan ve yükselen yörünge değerleri ile ağırlık değerleri Eşitlik 1'deki gibi oranlanarak yeni füzyon değerleri elde edilmiş olur.

$$h_{son} = \frac{\omega_1 \cdot h_1 + \omega_2 \cdot h_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (1)$$

Burada h1 ve h2 sırasıyla 1. ve 2. SYM'lerden elde edilen yükseklik değerleridir.  $\omega_1$  ve  $\omega_2$  ise sırasıyla 1. ve 2. SYM'ler için uyumluluk değerlerinden elde edilen ağırlık değerleridir.

## 2.4. İstatistiksel Analizler

Çalışmada, arazi nokta yükseklikleri ve SYM'lerden elde edilen nokta yüksekliklerinin karşılaştırılması için bir dizi istatistiksel analiz yapılmıştır. Arazi ölçmelerinden elde edilen yükseklikler baz alınarak Korelasyon Katsayısı (KK), Standart Sapma (SS) ve Karesel Ortalama Hata (KOH) hesapları yapılmış ve Eşitlik 2,3

ve 4'te verilmiştir. Ayrıntıları [26-28]'de bulunmaktadır.

$$SS = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

$$KK = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

$$KOH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_1 - x_2)^2}{n}} \quad (4)$$

Yukarıdaki eşitliklerde n örneklem sayısını, xi i'nci noktanın değerini ve ortalama değerleri temsil etmektedir.

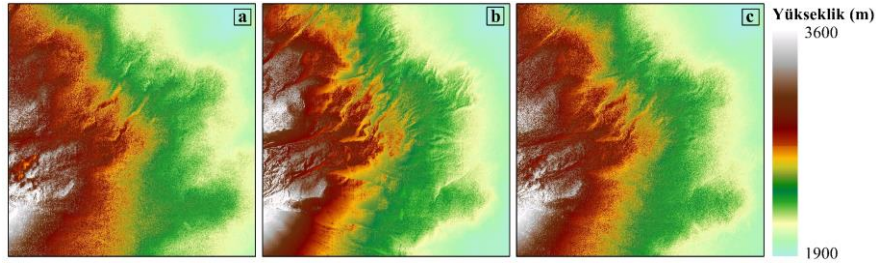
Ayrıca, yükseklik değerleri arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi için Matlab yazılımında eğri uydurma işlemi ve matematiksel model oluşturularak çoklu regresyon analizi yapılmış ve çoklu regresyon katsayıları (R) hesaplanmıştır. Bu değer bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler

arasındaki ilişkinin gücünü ortaya koymaktadır [3,29].

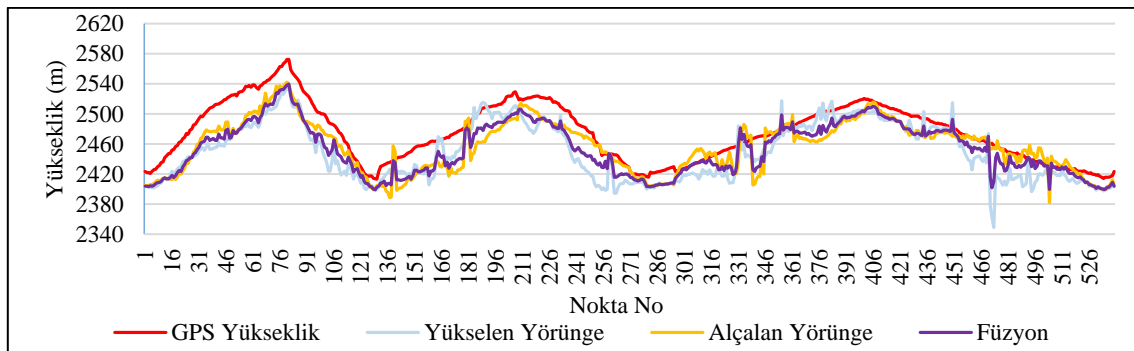
### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Daha önceki bölümlerde işaret edilen veriler yardımı ile alçalan ve yükselen yörüngelere ait uydu görüntüleri kullanılarak SYM üretimi yapılmıştır. Şekil 2'de alçalan-yükselen yörünge verileri ve füzyon verisinden oluşturulan SYM'ler gösterilmiştir.

Çalışmada kullanılan SAR görüntüleri ile Erciyes Dağı bölgesinin tamamına ait SYM'ler üretilmiştir. Doğruluk analizi çalışmaları ise arazi ölçmelerinden elde edilen noktaların yükseklik verileri yardımı ile yapılmıştır. Şekil 3'te arazi çalışmaları ile elde edilen 540 noktaya ait yükseklik değerleri grafiği verilmiştir. Grafikte, bu noktaların raster SYM verileri üzerinden toplanan alçalan yörünge, yükselen yörünge ve füzyon verilerden elde edilmiş yükseklik bilgileri verilmiştir.



Şekil 2. a) Yükselen yörüngeye ait SYM, b) Alçalan yörüngeye ait SYM, c) Füzyon SYM

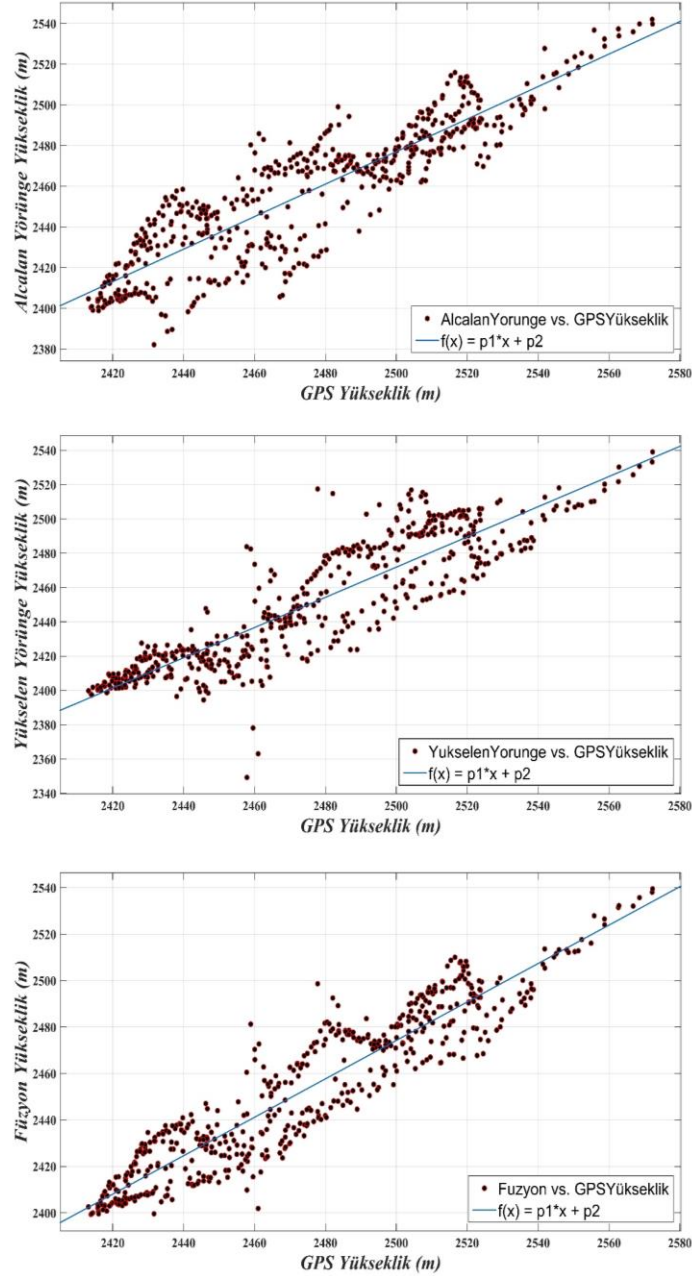


Şekil 3. Nokta yükseklik grafikleri

*Yükselen ve Alçalan Yörüngeye Ait TerraSAR-X Görüntülerinden Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluk Karşılaştırması*

Arazi çalışmaları ile SYM verileri arasında regresyon analizleri ve eğri uydurma işlemi yapılmıştır. Burada, veriler arasındaki ilişki, polinom fonksiyonu kullanılarak gözlemlenmiştir.

Şekil 4'de GPS yükseklikleri ile her bir SYM verisinden elde edilen yükseklik değerleri arasındaki regresyon analizlerinin grafikleri verilmiştir.



**Şekil 4.** GPS nokta yükseklikleri, alçalan - yükselen yörünge ve füzyon değerlerinin eğri uydurma ve model fonksiyonu grafikleri

Eşitlik 2,3 ve 4 yardımı ile yükseklik değerlerine ait istatistiksel analizler ve hesaplamalar yapılmıştır. Bununla birlikte model fonksiyonu analizlerinden R2 (Regresyon katsayısı) değerleri elde edilmiştir. Çizelge 3'te hesaplanan değerler verilmiştir.

**Çizelge 3.** İstatistiksel analiz sonuçları

	SS (m)	KK	KOH (m)	R <sup>2</sup>
<b>Yükselen Yörünge SYM</b>	37,48	0,8920	30,63	0,7956
<b>Alçalan Yörünge SYM</b>	33,92	0,8940	24,69	0,7993
<b>Füzyon SYM</b>	33,63	0,9343	25,39	0,8729

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada alçalan ve yükselen yörüngeye ait görüntülerle InSAR tekniği ile SYM üretimi ve bu verilerin füzyon edilmesi sonucunda elde edilen veriler incelenmiştir. Bununla birlikte, arazi çalışmalarından elde edilen GPS yükseklik değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmadaki ana hedef alçalan ve yükselen yörüngeye ait verilerin uyumluluk değerleri ve geliş açılarından kaynaklanan hataların bir füzyon işlemi ile ortadan kaldırılmasıdır. Bunun için uyumluluk değerleri ile bir ağırlık matrisi oluşturularak Eşitlik 1'deki formül üzerinden uygulanmıştır. Füzyon işleminin ilk sonuçları Şekil 2 ve 3'te açıkça görülebilmektedir. Şekil 2 incelendiğinde yükseklik basamaklarına ait renk farklılıklarının ortaya çıktığı görülmüştür. Bunun yanında Şekil 3'teki grafikte InSAR tekniği ile üretilen SYM'lerin GPS nokta yüksekliklerine göre değişimi ortaya konulmuştur. Burada, GPS verileri ve SYM'lerden üretilen yükseklik değerleri arasında elimine edilmesi zor olan farklar bulunmaktadır. Bu farklar, jeoid ondülasyonu ve GPS alıcısının hassasiyetini yanı sıra arazi eğim ve bakışı, raster veri çözünürlüğü ve uydu geliş açısından meydana gelen farklardır. Bu grafikteki dikkat edilmesi gereken husus, bazı noktaların anlamsız denebilecek düzeyde fark ortaya çıkarmış olmasıdır (bkz. 477. nokta). Bunun sebebinin uydu geliş açısı ve arazi yüzeyinden kaynaklanan eğim problemleri olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4 ve Çizelge 3 incelendiğinde füzyon değerlerinin alçalan ve yükselen yörüngeye ait SYM değerlerini iyileştirdiği görülebilmektedir. Genel anlamda en hatalı değerleri yükselen yörüngeye ait değerlerde olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu sonuç ise açık bir şekilde füzyon işleminin sonuçları iyileştirdiğini ortaya koymaktadır. Alçalan yörüngeye ait değerleri SS ve KOH değerlerinde birbirlerine yakın olduğu görülsede regresyon ve korelasyon analizlerinde iyileşmenin ortaya çıktığı görülebilmektedir. Çizelge 3'te dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise KOH değerlerinin 25-30 m aralığında olmasıdır. Yükseklik çalışmalarında bu denli yüksek sonuçlara sahip değerler her zaman kullanılamaz. Fakat InSAR tekniği ile SYM üretiminde önemli hususlardan biri olan harici SYM verileri bunun asıl sebebidir. Bu çalışmada harici SYM olarak, kullanıcılara ücretsiz sunulduğu ve yazılımlar üzerinde standart olarak kullanıldığı için SRTM verisi kullanılmıştır. Bu sonuç özelinde bakıldığında mekânsal çözünürlüğü daha yüksek harici SYM verileri ile sonuçların daha da iyileştirilebileceği öngörülmektedir.

Özetle, InSAR tekniği ile SYM üretiminde alçalan ve yükselen yörünge değerlerinin, yapılan füzyon işlemi ile iyileştirilebileceği görülmektedir. Fakat burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus arazi eğimi ve uydu geliş açısı değerlerinin sonuçlara her zaman etki edeceğidir. [19] çalışmalarında kullanılan yöntemi şehir alanlarında uygulamışlardır. Bu çalışmada ise dağlık ve eğim olarak dik bir alanda denenmesine rağmen sonuçlarda iyileşme olduğu görülmektedir.

İlerleyen çalışmalarda farklı füzyon metotları ile arazi eğim ve uydu geliş açısı parametreleri de göz önüne alınarak farklı analizler yapılması planlanmaktadır.

#### 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada Avrupa Uzay Ajansı (ESA), 39890 (Third Party Missions) nolu projeden sağlanan uydu görüntüleri kullanılmıştır.

## 6. KAYNAKLAR

1. Sefercik, U.G., 2006. Accuracy Assessment of Digital Elevation Models Derived from Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 115.
2. Miller, C.L., Laflamme, R.A., 1958. The Digital Terrain Model: Theory & Application. MIT Photogrammetry Laboratory. Society's 24<sup>th</sup> Annual Meeting, Hotel Shoreham, Washington, A.B.D., 433-442.
3. Arıkan, D., Yıldız, F., Makineci, H.B., 2021. Hava Lidarı Verilerine Uygulanan Farklı Enterpolasyon Yöntemlerinin SAM Doğruluğuna Etkisi, Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(2), 377-394.
4. Gelautz, M., Paillou, P., Chen, C., Zebker, H., 2003. A Comparative Study of Radar Stereo and Interferometry for DEM Generation. Proc. of Fringe 2003 Workshop, 1-5 December 2003, Frascati, Italy.
5. Köse, M.H., 2006. Uydu Radar Görüntülerinden Üç Boyutlu Sayısal Arazi Modelinin Üretilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 92.
6. Fayard, F., Méric, S., Pottier, E., 2007. Matching Stereoscopic SAR Images for Radargrammetric Applications. 2007 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 23-28 July 2007, Barcelona, Spain.
7. Makineci, H.B., Karabörk, H., 2016. Evaluation Digital Elevation Model Generated by Synthetic Aperture Radar Data, International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 1, 57-62.
8. Hanssen, R.F., 2001. Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis, Springer Science & Business Media, 308.
9. Orhan, O., 2018. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Muhtemel Obruk Alanlarının Belirlenmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 182.
10. Torun, A.T., 2021. Radar Görüntülerinden Kar Derinliği ve Hacminin Hesaplanması; Erciyes Dağı Örneği. Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Aksaray, 98.
11. Calò, F., Notti, D., Galve, J.P., Abdikan, S., Görüm, T., Orhan, O., Makineci, H.B., Pepe, A., Yakar, M., Balık Şanlı, F., 2018. A Multi-Source Data Approach for the Investigation of Land Subsidence in the Konya Basin, Turkey. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-3/W4, 129-135.
12. Zisk, S.H., 1972. A New, Earth-based Radar Technique for the Measurement of Lunar Topography. The Moon, 4, 3-4, 296-306.
13. Graham, L.C., 1974. Synthetic Interferometer Radar for Topographic Mapping. Proceedings of the IEEE, 62, 2, 763-768, Haziran, 1974.
14. Zebker, H.A., Goldstein, R.M., 1986. Topographic Mapping from Interferometric Synthetic Aperture Radar Observations. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 91, B5, 4993-4999.
15. Abdikan, S., 2007. SAR Görüntülerinden Üretilen İnterferometik ve Stereo Sayısal Yükseklik Modellerinin Kalitesinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Uzaktan Algılama ve CBS Programı, İstanbul, 111.
16. Canaslan, F., 2010. InSAR Yöntemiyle Düşey Yönlü Yüzey Deformasyonlarının Belirlenmesi: Konya Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 74.
17. Torun, A.T., Ekercin, S., 2021. Estimating Snow Density, Depth, Volume and Snow Water Equivalent with Insar Data in The Erciyes Mountain/Turkey. Arabian Journal of Geosciences 14, 1456(1-16).
18. Karabörk, H., Makineci, H.B., Orhan, O., Karakus, P., 2021. Accuracy Assessment of DEMs Derived from Multiple SAR Data Using the Insar Technique. Arabian Journal for Science and Engineering, 46(6), 5755-5765.



19. San, B.T., Suzen, M.L., 2005. Digital Elevation Model (DEM) Generation and Accuracy Assessment from ASTER Stereo Data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(22), 5013-5027.
20. Wechsler, S.P., 2007. Uncertainties Associated with Digital Elevation Models for Hydrologic Applications: A Review. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(4), 1481-1500.
21. Kyaruzi, J., 2005. Quality Assessment of DEM from Radargrammetry Data. Yüksek Lisans Tezi, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede, Hollanda, 69.
22. Crosetto, M., Pérez Aragües, F., 2000. Radargrammetry and SAR Interferometry for DEM Generation: Validation and Data Fusion. In *SAR Workshop: CEOS Committee on Earth Observation Satellites*, 450, 367-372.
23. Hoja, D., d'Angelo, P., 2009. Analysis of DEM Combination Methods Using High Resolution Optical Stereo Imagery and Interferometric SAR Data. *ISPRS Hannover Workshop 2009, High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information*, 02-05 Haziran 2009, Hannover, Almanya.
24. Dyatmika, H.S., Arief, R., Sudiana, D., Ali, S., Maulana, R., Budiono, M.E., 2018. Modifikasi Digital Elevation Model (DEM) Citra Resolusi Tinggi Menggunakan Fusi Interferometri SAR dan Stereosar Berbasis Faktor Pembobotan. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 15(2), 83-92.
25. Arief, R., Dyatmika, H.S., Ali, S., 2020. A Fusion of Digital Elevation Model Based on Interferometry SAR Technique from Ascending and Descending Path in Urban Area. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 500(1), IOP Publishing.
26. Güllal, E., Erdoğan, H., Aykut, N.O., Erkaya, H., 2011. The use of SISO ARX Models in the Determination of the Damage to Dams. *International Journal of Damage Mechanics*, 20(7), 979-1001.
27. Zhang, K., Gann, D., Ross, M., Robertson, Q., Sarmiento, J., Santana, S., Rhone, J., Fritz, C., 2019. Accuracy Assessment of ASTER, SRTM, ALOS, and TDX DEMs for Hispaniola and Implications for Mapping Vulnerability to Coastal Flooding. *Remote sensing of Environment*, 225, 290-306.
28. Erdoğan, H., 2006. Mühendislik Yapılarındaki Dinamik Davranışların Jeodezik Ölçmelerle Belirlenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı İstanbul, 181.
29. Gündüz, H.İ., Ekercin, S., 2020. Landsat-8 Uydu Görüntüleri Kullanılarak Hava Kalitesi Haritasının Oluşturulması: Aksaray İli Örneği. *Harita Dergisi*, 2020-163, 50-57.

