

Batimetri Haritalarının Akustik İskandil ve Uydu Görüntüleri Yöntemi ile Üretimi: Sinop Hurmadibi Örneği

Eray YILMAZ¹, Faik Ahmet SESLİ², Ömer Faruk UZUN^{3*}

Öz

Çalışmada; akustik iskandil ve uydu kaynaklı yöntemler ile batimetrik haritaların üretilmesi ve yorumlanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda Sinop ili, Gerze ilçesinde yer alan Hurmadibi mevkinde akustik iskandil yöntemi ile batimetri çalışması yapılmıştır. Akabinde elde edilen veriler kullanılarak batimetri haritası üretilmiştir. Uydu kaynaklı batimetri haritası üretimi için Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Uydu görüntüsü temin edildikten sonra, uydu sensörlerindeki sistematik hatalar ve atmosferik etkilerin giderilmesi için radyometrik düzeltme işlemi uygulanmıştır. Daha sonra Envi uzaktan algılama yazılımı aracılığıyla görüntüden, bağıl ve mutlak derinlik verileri elde edilmiştir. Uydu görüntüsünden derinliklerin elde edilmesinde, uydu görüntüsündeki bantların oranlanması prensibine dayanan Log Ratio Transformation (LRT) yöntemi kullanılmıştır. Bağıl derinlik değerlerinden mutlak derinlik değerlerine ulaşmak için akustik iskandil yöntemi ile elde edilen 15 kalibrasyon noktası olarak kullanılmıştır. Bağıl derinlikler ile mutlak derinlikler arasında regresyon modeli oluşturulmuş, regresyona ait R^2 değeri 0.78 olarak bulunmuştur. Uydu görüntülerinden batimetri haritası elde edildikten sonra her iki yöntemden elde edilen derinlikler karşılaştırılarak karesel ortalama hata ± 1.07 m olarak hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda; diğer yöntemlere nazaran yüksek doğruluk sağlayan ve daha hızlı sonuç veren sonar yöntemlerin, batimetri çalışmaları için en uygun yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Batimetri, Hidrografi, Coğrafi bilgi sistemleri, Uydu görüntüleri, Akustik iskandil, SONAR

Production of Bathymetry Maps by Acoustic Sounding and Satellite Imaging Method: The Example of Sinop Hurmadibi

Abstract

In the study; It is aimed to produce and interpret bathymetric maps with acoustic sounder and satellite sourced methods. In this context, bathymetry study was carried out with acoustic sounding method in Hurmadibi locality in Gerze district of Sinop province. Subsequently, a bathymetry map was produced using the data obtained. Landsat 8 satellite images were used for the generation of satellite-based bathymetry maps. After obtaining the satellite image, the radiometric correction process was applied to eliminate the systematic errors and atmospheric effects in the satellite sensors. Then, relative and absolute depth data were obtained from the image via Envi remote sensing software. The Log Ratio Transformation (LRT) method, which is based on the principle of proportioning the bands in the satellite image, is used to obtain the depths from the satellite image. In order to reach the absolute depth values from the relative depth values, 15 calibration points obtained by the acoustic sounder method were used. A regression model was created between relative and absolute depths, and the R^2 value of the regression was found to be 0.78. After obtaining the bathymetry map from the satellite images, the depths obtained from both methods were compared and the mean square error was calculated as ± 1.07 m. As a result of the study; It has been concluded that sonar methods, which provide higher accuracy and faster results compared to other methods, are the most suitable method for bathymetry studies.

Keywords: Bathymetry, Hydrography, Geographical information systems, Satellite images, Acoustic sounder, SONAR

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Mühendisliği, Samsun, Türkiye, erayyilmazm@gmail.com

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, fasesli@omu.edu.tr

³Sinop Üniversitesi, Boyabat MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Sinop, Türkiye, ofuzun@sinop.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0002-8946-7541>

²<https://orcid.org/0000-0001-8352-734X>

³<https://orcid.org/0000-0002-0391-4495>

1. Giriş

Türkiye, üç tarafı denizlerle çevrili bir yarımada ülkesidir. Ülkemizin, kıyı bölgelerinde ve karasularındaki güvenliğini ve hâkimiyetini artırmak, denizlerde seyir emniyetini sağlamak, denizlerimizin altındaki potansiyel enerji kaynaklarını tespit etmek gibi konularda ilerleme kaydedebilmek için deniz tabanı topoğrafyasının bilinmesi, dolayısıyla batimetri çalışmalarına önem verilmesi gerekmektedir (Ulu, 2006). Batimetri, kıyılarda yaşanan erozyonun önlenmesi amacıyla yapılan dalgakıranlar, balıkçılığı geliştirmek için yapılan balıkçı barınakları, ticareti ve turizmi geliştirmek için yapılan limanlar için de en önemli çalışmalardan biridir (NOAA, 2021). Bu çalışmalar geçmişte klasik yöntemler olarak adlandırılan ip iskandil, lata iskandil vb. yöntemlerle yapılırken günümüzde SONAR, LİDAR gibi modern yöntemlerle yapılmaktadır.

Çalışmada, bilimsel ve teknolojik gelişmelerle birlikte yeni harita üretim yöntemleri, bu yöntemlerin konumsal doğruluğunun ne olduğu ve hangi çalışmalarda kullanılabileceği, batimetri çalışmalarında kullanılan sonar sistemlerin çalışma prensibi, sonar sistemle batimetrinin avantaj ve dezavantajları, uydu görüntüsünün ne olduğu, uydu görüntülerinde çözünürlük kavramı, uyduların mekânsal, spektral, radyometrik, zamansal çözünürlüklerinin karşılaştırılması ve uydu görüntülerindeki radyometrik, geometrik vb. hata türleri, hataların nedenleri ve bu hataların nasıl düzeltilebileceği, uydu görüntülerinden yararlanılarak batimetrik haritanın nasıl üretilebileceği anlatılarak üretilen batimetrik haritaların doğruluk ve duyarlılığının belirlenmesi amaçlanmıştır (Açar, 2021; Akgül vd., 2018; Güngör, 2019; Sağdıç, 2020; Uzakara, 2021). Uygulamanın daha önce yapılan benzer çalışmalar ile tutarlılığı test edilmelidir ve bu değerlendirmelere yine çalışma kapsamında yer verilmiştir (Ekizoğlu, 2011). Çalışma ve uygulamalar sonucunda akustik sonar ve uydu görüntüleri ile batimetri haritaları üretilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma kapsamında Sinop ili Gerze ilçesi Hurmadibi Plajı mevki uygulama alanı olarak belirlenmiş, bu lokasyonda hem akustik iskandil hem de uydu görüntüleri kullanılarak iki ayrı yöntemle batimetri haritası üretilmiştir. Uygulama alanı olarak belirlenen Hurmadibi Plajı, $41^{\circ} 47' 19.68''$ - $41^{\circ} 47' 58.56''$ Kuzey paralelleri ile $35^{\circ} 11' 30.32''$ - $35^{\circ} 12' 02.89''$ Doğu meridyenleri arasında yer almaktadır. Şekil 1'de uygulama alanı gösterilmiştir.



Şekil 1. Uygulama alanı

2.2. Kullanılan Yazılım ve Materyaller

Çalışma kapsamında, akustik iskandil (echo sounder) yönteminde derinlik ölçümü için KBS200 Singlebeam Echosounder, deniz içerisinde sesin yayılma hızını tespit etmek için AML Oceanographic Base X2 ses hızı profillemeye cihazı, veri toplama ve görüntüleme yazılımı olarak Kordil Batimetri Studio, ses hızı verilerinin analizi ve dışa aktarımı için Seacast v4.4, veri düzenleme işlemleri için MS Excel 2016, veri işleme, analiz ve değerlendirme için Netcad 8.0 kullanılmıştır. Uydu görüntüleri ile batimetri yönteminde Sentinel 2 uydu görüntüsü kullanılmıştır; uydu 13 spektral banda sahip optik bir sensör taşımaktadır : Bu sensör 10m uzamsal çözünürlükte dört band, 20m çözünürlükte altı band ve 60m uzamsal çözünürlükte üç band kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Uyduların çerçeve genişliği 290 km dir. . Veri işleme ve analizi için ise ArcMap 10.3 ve ENVI 5.3 yazılımı kullanılmıştır.

2.3. Akustik İskandil (Echosounder) Yöntemi ile Batimetri Haritası Üretimi

Echo sounder yöntemi ile batimetri çalışmalarında, çalışma alanına ilişkin rüzgar, yağış, dalga boyu vb. meteorolojik veriler büyük önem taşıdığından yüksek doğrulukta bir batimetri çalışması için yağışın olmadığı, rüzgar ve dalga boyunun az olduğu bir gün tercih edilmiştir. Ayrıca echo sounder; tekne, bot vb. bir deniz aracına entegre edileceğinden kullanılacak deniz aracının çalışmaya uygun olarak seçilmesi gerekmektedir (Aksoy, 2016; Aykut, 2009). Batimetri çalışmalarında kullanılacak deniz aracı; dalgalara karşı olabildiğince stabil, manevra kabiliyetinin yüksek, sığ alanlarda deniz

dibine oturmaması için draft boyunun kısa olması gerekir. Echosounder yöntemi ile batimetri çalışması için öncelikle hava durumunun elverişli olduğu günleri tespit etmek amacıyla yöredeki balıkçılarla iletişim kurulmuş, Windy gibi hava durumu tahmin siteleri incelenmiş ve 16.06.2021 tarihinin çalışma için uygun olduğuna kanaat getirilmiştir.

Şekil 2’de echo sounder yöntemi ile batimetri çalışmasında kullanılan ölçüm cihazlarının görüntüleri yer almaktadır.

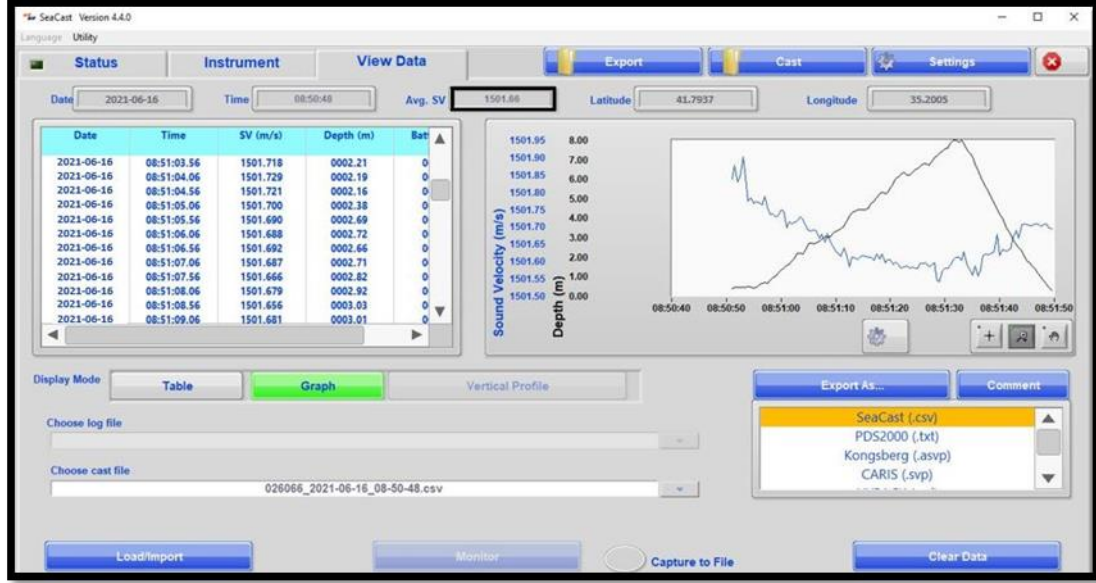


Şekil 2. Çalışmada kullanılan ölçüm sistemleri

Ölçüm tarihinde, öncelikle echo sounder yönteminde akustik sinyal üreten transducer ve yatay konumlandırmayı sağlayan GNSS alıcısının yer aldığı jalon, deniz yüzeyine dik olacak şekilde tekneye entegre edilerek jalon doğrultusu ile çekül doğrultusu arasındaki açıdan kaynaklı yaşanabilecek yatay ve düşey konum hatalarının önüne geçilmiştir. Sonrasında deniz yüzeyinin altına yerleştirilen transducer ile deniz yüzeyi arasındaki dik uzunluk metreyle ölçülmüş ve 0.29 m olarak tespit edilmiştir. Son olarak derinlik verilerini ulusal düşey datuma dayandırmak amacıyla kullanılan deniz seviyesi (su kotu), TUDES’ten (Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi) elde edilebilmektedir ve bu portaldan deniz seviyesi 0.61 m olarak tespit edilmiştir (Önder, 2002; TUDES, 2022).

Ölçüme hazırlık aşamaları tamamlandıktan sonra; sesin, deniz içerisindeki yayılma hızını tespit etmek amacıyla ölçüm sahasının ortalarında ses hızı profilleme cihazı deniz dibine salınıp geri çekilmiştir. Ses hızına ait verilerin toplanması sonrası verilerin SeaCast yazılımında görüntülenip

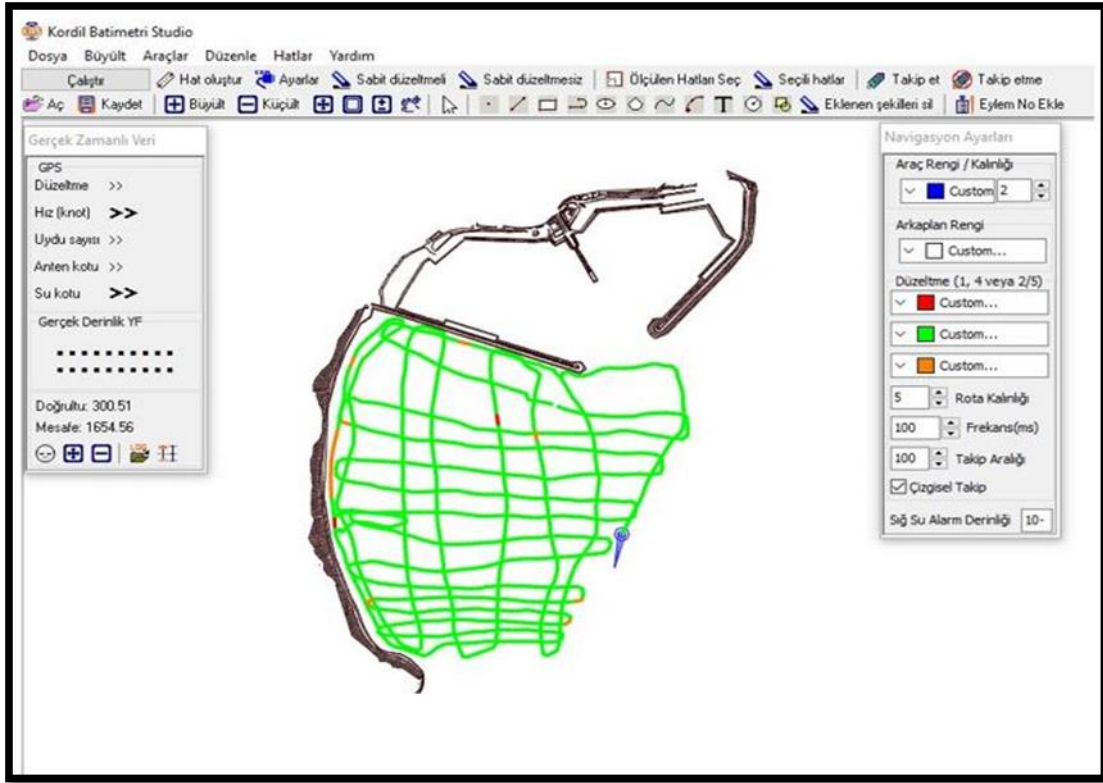
değerlendirilme aşamasına geçilmiştir. Şekil 3'te ölçüme ait ses hızı verilerinin SeaCast yazılımında işleme görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3. SeaCast ses hızı profili oluşturulma görüntüsü

Kordil Batimetri Studio yazılımında transducer ile deniz yüzeyi arasındaki uzunluk, deniz seviyesi (su kotu), ses hızı bilgileri vb. parametreler girilerek derinlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Derinlik ölçümlerinde yatay konumlandırma; GNSS alıcısından, TUSAGA-Aktif istasyonları kullanılarak Cors-RTK yöntemi VRS tekniği ile yapılmıştır. Echo sounder derinlikleri doğru olarak ölçüp ölçmediğini test etmek amacıyla tekne, sahanın çeşitli noktalarında durdurulmuş ve denize ip iskandil salınarak ip iskandilin gösterdiği derinlik ile echo sounder'in gösterdiği derinlik karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonrası iki yöntem arasındaki farkların (3-5 cm) dikkate değer olmadığına, echo sounder ile yapılan ölçümlere güvenebileceğine kanaat getirilmiştir ve çalışma bu şekilde gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4'te batimetri verileri toplanırken veri akışının gerçek zamanlı takip edildiği Kordil Batimetri Studio programında çalışmaya ilişkin görüntü yer almaktadır.



Şekil 4. Ölçüm anında veri görüntüleme ve değerlendirme

Ölçüm sonrası veriler, .csv uzantılı dosya olarak kaydedilmiş, MS Excel'de ölçüme ait tüm veriler incelenmiş ve hatalı olduğu tespit edilen veriler ayıklanmıştır. Şekil 5'te MS Excel programında görüntülenen ve düzenlenen veriler ile ilgili görsel yer almaktadır.

Nokta No	Enlem	Boylam	H	Gerçek Derinlik	Ham Derinlik	Ses Hızı	Transduser Su Kesimi	Su Kotu
1	41.80042919	35.20104352	-1.26	1.87	1.58	1501.66	0.29	0.61
2	41.80042921	35.20104348	-1.09	1.7	1.41	1501.66	0.29	0.61
3	41.80042922	35.20104343	-1.11	1.72	1.43	1501.66	0.29	0.61
4	41.80042931	35.20104351	-1.65	2.26	1.97	1501.66	0.29	0.61
5	41.80042929	35.20104350	-1.13	1.74	1.45	1501.66	0.29	0.61
6	41.80042928	35.20104340	-1.26	1.87	1.58	1501.66	0.29	0.61
7	41.80042938	35.20104354	-1.15	1.76	1.47	1501.66	0.29	0.61
8	41.80042936	35.20104356	-1.13	1.74	1.45	1501.66	0.29	0.61
9	41.80042932	35.20104352	-1.05	1.66	1.37	1501.66	0.29	0.61
10	41.80042933	35.20104363	-1.05	1.66	1.37	1501.66	0.29	0.61
11	41.80042932	35.20104360	-1.04	1.65	1.36	1501.66	0.29	0.61
12	41.80042932	35.20104356	-1.05	1.66	1.37	1501.66	0.29	0.61
13	41.80042941	35.20104369	-1.13	1.74	1.45	1501.66	0.29	0.61
14	41.80042945	35.20104360	-1.15	1.76	1.47	1501.66	0.29	0.61
15	41.80042935	35.20104346	-1.13	1.74	1.45	1501.66	0.29	0.61

Şekil 5. MS Excel'de veri düzenleme işlemleri

Şekilde ham derinlik, transducer ile deniz tabanı arasında ölçülen mesafeyi, gerçek derinlik, ham derinlik ölçülerine transducer ile deniz yüzeyi (su kesimi) arasındaki uzunluğun eklenmiş hâlini,

H ise deniz seviyesi (su kotu) değerinden gerçek derinliklerin çıkarılarak derinliklerin ulusal düşey datuma dayandırılmış hâlini ifade etmektedir (IPCC, 2001). Excel’de yapılan düzenleme işlemleri sonrası deniz tabanına ait 21517 nokta verisini içeren dosya bir sonraki aşama için kaydedilmiştir.

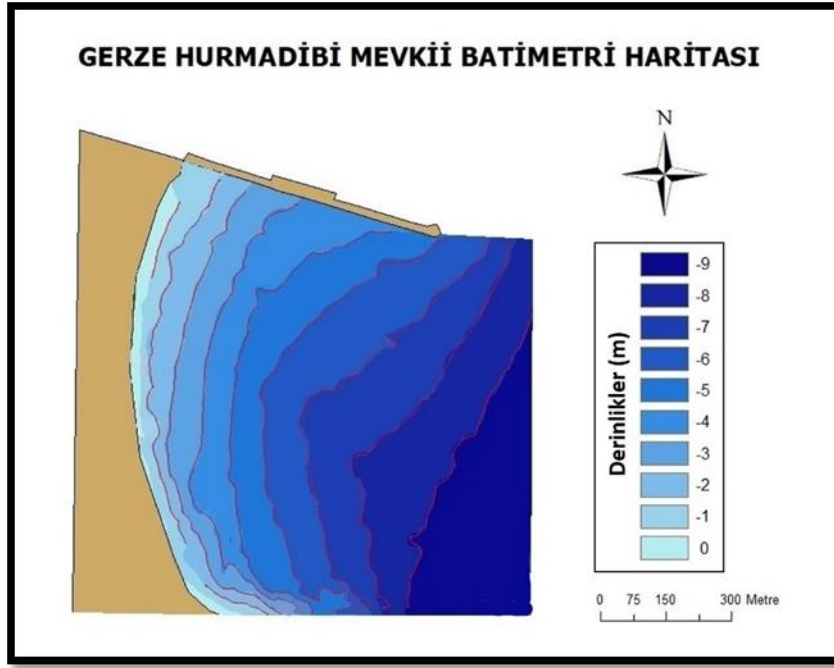
Excel’deki veri düzenleme işlemlerinin ardından nokta verileri, analiz ve haritalama için Netcad 8.0 programına yüklenmiştir. Netcad programında, noktalar incelenmiş, hatalı olduğu düşünölen noktalar silinmiştir. Daha sonra nokta verileri kullanılarak üçgen model oluşturulmuştur.

Şekil 6’da çalışmaya ait üçgen modelin çevrimiçi harita (basemap) üzerindeki görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 6. Üçgen model

Üçgen model oluşturulduktan sonra üçgen modelden 1 m aralıklarla eş derinlik eğrileri geçirilerek batimetri haritası üretilmiştir. Şekil 7’de akustik iskandil yöntemi yapılan ölçümler sonrası oluşturulan batimetri haritası yer almaktadır.

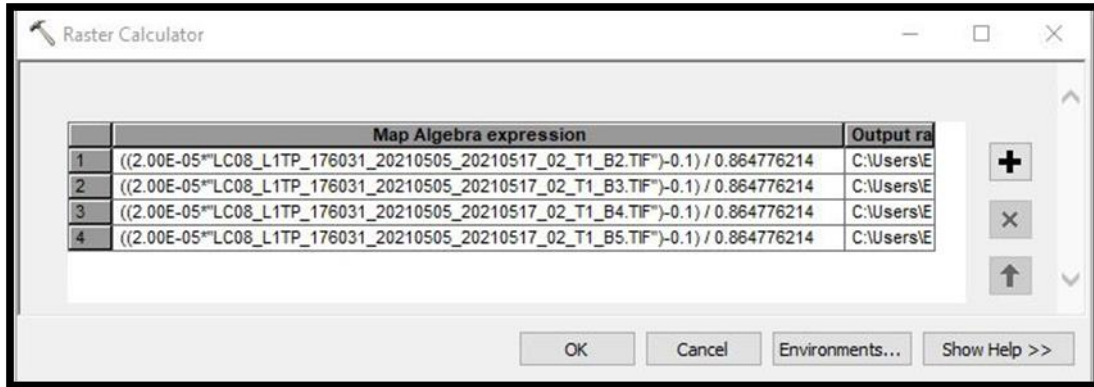


Şekil 7. Akustik iskandil yöntemi kullanılarak üretilen batimetri haritası

2.4. Uydu Görüntüleri ile Batimetri Haritası Üretimi

Batimetrik harita üretimi için USGS Earth Explorer'dan 05.05.2021 tarihli Landsat-8 görüntüsü temin edilmiştir (USGS , 2021).

Uydu görüntüsünün temini sonrası uydu görüntüsünün tüm bantları ArcMap 10.3 programına yüklenmiştir. Daha sonra çalışmada kullanılacak olan mavi, yeşil, kırmızı ve yakın kızıl ötesi bantlara radyometrik kalibrasyon ve düzeltme işlemleri gerçekleştirilmiş, radyometrik düzeltme için uydu görüntüsü ile beraber temin edilen metaveri dosyasından radyometrik düzeltmede kullanılacak olan değerler tespit edilerek ArcMap'te raster calculator aracından bantlara radyometrik düzeltme uygulanmıştır. Şekil 8'de ArcMap'te raster calculator aracı ile bantlara uygulanan radyometrik düzeltme işleminin görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 8. Radyometrik kalibrasyon ve düzeltme

Radyometrik düzeltme işlemi sonrası; mavi, yeşil, kırmızı ve yakın kızılötesi bantlar ArcMap'te composite bands aracı ile birleştirilmiştir. Bantların birleştirilmesinin ardından oluşan doğal renkli görüntü şekil 9'da yer almaktadır.



Şekil 9. Bantların birleştirilmesi sonrası oluşan görüntü

Görüntü, geniş bir alanı kapsadığı için bağıl ve mutlak derinliklerin daha doğru bir şekilde hesaplanabilmesi amacıyla çalışma alanını kapsayacak şekilde ArcMap Raster clip aracı ile kesilmiştir. Radyometrik düzeltme, bantların birleştirilmesi ve görüntünün çalışma alanına göre kesilmesi adımları sonrası görüntü, derinliklerin hesaplanması için ENVI 5.3. programına yüklenmiştir. ENVI 5.3'te derinliklerin hesaplanması için SPEAR Tools Relative Water Depth aracı kullanılmıştır.

Görüntü, Relative Water Depth modülüne yüklendikten sonra, Batimetri metodu olarak Log Ratio Transform (LRT) yöntemi, filtreleme seçeneği olarak 3x3 Filtre seçilmiştir. Daha sonra görüntüden direkt olarak mutlak derinlikleri elde etmek için akustik sonar yöntemiyle elde edilen 15 nokta, kalibrasyon noktası olarak belirlenmiştir. Tablo 1'de kalibrasyon noktalarının koordinatları yer almaktadır.

Tablo 1. Kalibrasyon noktalarının koordinatları

NN	Y	X	Z
1	682297.451	4629600.231	-1.55
2	682787.324	4629493.811	-6.12
3	683110.150	4629501.281	-8.72
4	682359.605	4629470.177	-3.18
5	682562.815	4629425.072	-5.44
6	682941.869	4629351.554	-7.85
7	682340.764	4629225.484	-3.52
8	682627.544	4629239.215	-6.93
9	682954.265	4629203.212	-8.82
10	682351.641	4628998.602	-4.49
11	682536.940	4629037.695	-6.32
12	682816.512	4629021.964	-8.52
13	682459.637	4628817.824	-4.47
14	682595.800	4628818.437	-6.24
15	682778.324	4628772.104	-8.29

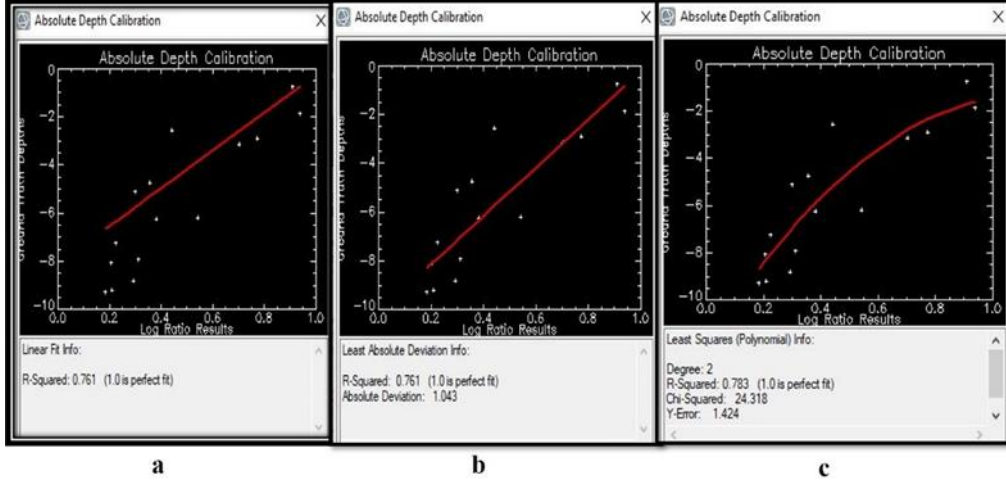
Şekil 10’da kalibrasyon noktalarının uygulama alanına dağılımı gösterilmektedir.

**Şekil 10.** Kalibrasyon noktalarının uygulama alanına dağılımı

Mutlak kalibrasyon noktaları olarak belirlenen noktalar, ascii formatına dönüştürülüp Relative Water Depth modülüne eklenmiştir.

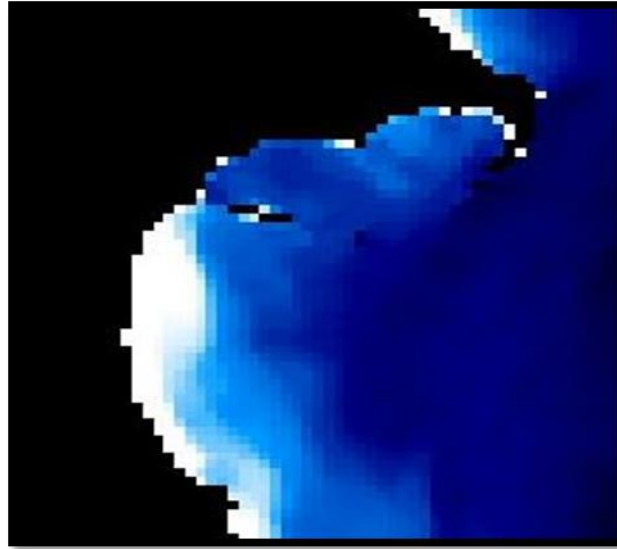
Kalibrasyon noktalarının girilmesi sonrası, kalibrasyon noktalarının koordinatlarına karşılık gelen piksellerdeki bağıl derinlik değerleri ve gerçek derinlikler arasında lineer, en küçük sapma ve

en küçük kareler yaklaşımlarına göre regresyon modelleri programdan elde edilmiştir. Şekil 11’de 15 kalibrasyon noktası kullanılarak oluşturulan regresyon modelleri yer almaktadır.



Şekil 11. Regresyon modelleri

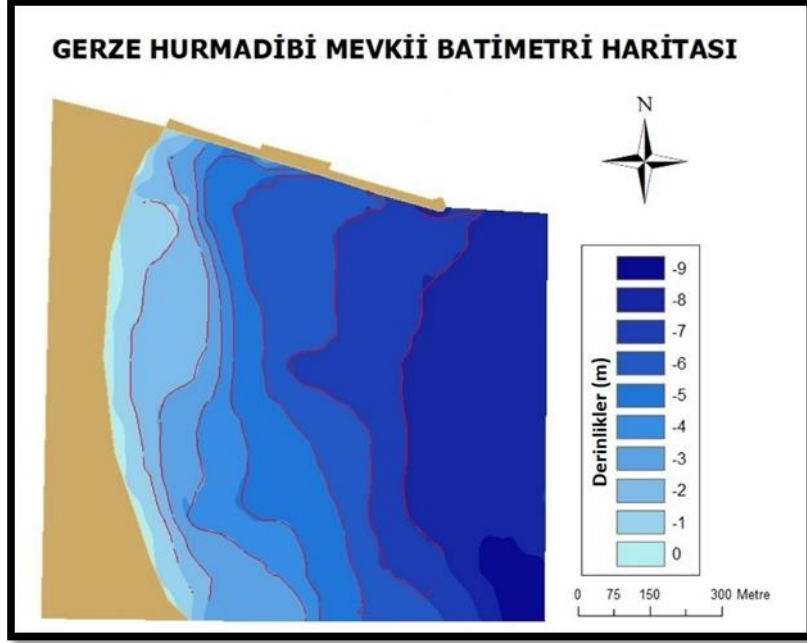
Regresyon modeli seçildikten sonra bağıl derinlikler, mutlak derinliklere dönüştürülür. Şekil 12’de kalibrasyon ve regresyon modeli sonrası oluşturulan görüntü yer almaktadır.



Şekil 12. Mutlak derinlikleri içeren görüntü

ENVI 5.3. programında mutlak derinlikleri içeren görüntü elde edildikten sonra ArcMap programında batimetri haritası oluşturulma aşamasına geçilmiştir. Görüntü ArcMap’e yüklendikten sonra raster to point aracı kullanılarak her bir pikselin merkezinde derinlik bilgisini içeren nokta dosyası oluşturulmuştur.

Raster veriden nokta verileri elde edildikten sonra, nokta verileri kullanılarak bir enterpolasyon yüzeyi oluşturulmuş, oluşturulan bu enterpolasyon yüzeyinden de eş derinlik eğrileri geçirilmiştir. Şekil 13'te uydu görüntülerinden elde edilen batimetri haritası yer almaktadır.



Şekil 13. Uydu görüntüleri kullanılarak üretilen batimetri haritası

Uydu görüntüsünden batimetri haritası elde edildikten sonra, uydu görüntülerinden elde edilen derinlikler ile akustik iskandil yöntemi ile elde edilen derinlikler karşılaştırılmıştır. Akustik iskandil yöntemi ile elde edilen derinlikler kesin değer olarak kabul edilmiş ve iki yöntemde aynı yatay koordinat değerine sahip 796 nokta tespit edilerek bu noktalara ait derinliklerin karesel ortalama hatası MS Excel programında hesaplanmıştır.

Karesel ortalama hata hesaplanırken öncelikle her noktanın akustik iskandil yöntemi ile elde edilmiş ve gerçek kabul edilen derinlik değerinden, uydu görüntüsü ile elde edilen derinlikler çıkarılarak her nokta için hata değerleri elde edilmiştir (1).

$$V = X - L \quad (1)$$

Daha sonra bu hata değerleri kullanılarak karesel ortalama hata hesaplanmıştır (2).

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad (2)$$

3. Bulgular

Batimetrik harita üretim yöntemlerinin araştırıldığı bu çalışmada; Akustik iskandil yöntemi ile

yapılan batimetrik ölçüm sırasında deniz gözlemlenmiş, deniz çayırı vb. akustik sinyalleri etkileyebilecek maddelerin varlığı kontrol edilmiş, deniz içerisinde sinyalleri etkileyebilecek herhangi bir madde tespit edilmemiştir. Çalışma alanındaki ses hızının tespiti için ses hızı profillemeye cihazı kullanılmış ve ortalama ses hızı 1501.66 m/s olarak ölçülmüştür. Ölçüm sırasında, akustik iskandil sistemindeki kalibrasyon, ses hızı vb. hatalardan kaynaklı ortaya çıkabilecek yanlışlıkları test etmek amacıyla bazı bölgelerde ip iskandil ile derinlik ölçümü yapılarak iki yöntemden elde edilen derinlikler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonrası, akustik iskandil yöntemi ve ip iskandil yöntemi ile elde edilen derinliklerin tutarlı olduğu gözlemlenmiştir. Akustik iskandil ölçümleri sonrası elde edilen veriler kullanılarak batimetri haritası üretilmiştir.

Akustik iskandil yöntemi ile batimetri haritası üretildikten sonra uydu görüntüleri yardımı ile batimetri haritası üretimi için, ölçüm tarihine yakın tarihli ve bulutluluk oranı düşük uydu görüntüleri araştırılmış ve 05.05.2021 tarihli Landsat 8 uydu görüntüsünün kullanılmasına karar verilmiştir. Uydu görüntüsünden batimetri haritası üretiminde kullanılacak olan bantlara radyometrik düzeltme işlemi uygulanmıştır. Uydu görüntüsünün, mekânsal çözünürlüğünü artırmak amacıyla pan-sharpening işleminin uygulanması düşünülmüş ancak derinliklere olan etkileri tam olarak belirlenemediğinden, kullanılan bantlara pan sharpening işlemi uygulanmamıştır. Çalışmada, uydu görüntüsünden derinliklerin elde edilmesinde literatürdeki çalışmalarda yer alan öneriler göz önünde bulundurularak Log Ratio Transformation (LRT) yöntemi kullanılmıştır.

Uydu görüntüleri ile batimetrik harita üretilmesinin ardından her iki yöntemde ortak noktalar tespit edilmiş, karesel ortalama hata hesaplanmıştır. Karesel ortalama hata hesaplanırken, akustik iskandil yöntemi ile elde edilen derinlikler kesin değer olarak kabul edilmiştir. Yapılan hesaplama sonucu, uydu görüntülerinden elde edilen derinliklerin karesel ortalama hatası ± 1.07 m olarak bulunmuştur. Literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde karesel ortalama hatalar, genelde itibariyle ± 0.60 m ile 3 m arasında değişmektedir. Şekil 14'te her iki yöntemle elde edilen eş derinlik eğrileri yer almaktadır.



Şekil 14. Eş derinlik eğrileri

Akustik iskandil ile elde edilen eş derinlik eğrileri incelendiğinde, çalışma alanının güney kısımlarında derinliklerde ani bir değişim söz konusudur. İki yöntemle elde edilen derinlik eğrileri karşılaştırıldığında, özellikle çalışma bölgesinin kuzeydoğusundaki eğrilerin birbirinden oldukça farklı olduğu, buna karşın güney kısımlarında ise görece uyumlu olduğu görülmektedir. Bu durumun uydu görüntülerinden mutlak derinlikler elde edilmesi için kullanılan kalibrasyon noktalarının seçimi ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Kalibrasyon noktaları değiştikçe uydu görüntülerinden elde edilen derinlik eğrilerinde ciddi değişiklikler yaşanmaktadır.

Akustik iskandil yöntemi, klasik iskandil yöntemlerine göre çok kısa zamanda ve daha az enerji sarf ederek yüksek doğrulukta sonuçlar vermektedir. Modern iskandil yöntemlerinden olan uydu görüntüleri ile batimetri çalışmalarında ise istenilen doğrulukta sonuçlar elde edilememiştir.

4. Sonuç

Gerçekleştirilen bu çalışmada, ülkemizde ve dünyada önemi gittikçe artan derinlik ölçmeleri ile ilgili batimetrik harita üretimleri yöntemleri araştırılmış, akustik iskandil yöntemi ve uydu görüntüleri kullanılarak iki farklı yöntemle batimetri haritası üretilmiştir. Batimetri çalışmalarında; ip iskandil, lata iskandil, tel iskandil gibi klasik yöntemler ya da sonar, lidar, uydu görüntüleri gibi modern yöntemler kullanılmaktadır. Klasik iskandil yöntemleri, modern iskandil yöntemlerine göre çok daha fazla zaman ve insan gücü gerektirir. Bu sebeple modern iskandil yöntemlerinden olan akustik iskandil (echo sounder) yöntemi, klasik iskandil yöntemlerine göre çok daha hızlı ve doğru sonuçlar vermektedir. Akustik iskandil yöntemi ile yapılan batimetri çalışmalarında, akustik sinyal üreten transducer ve yatay konumlandırmayı sağlayan GNSS alıcısının yer aldığı jalon, deniz aracına (tekne, bot vb.) deniz yüzeyine dik olacak şekilde entegre edilerek ölçüm cihazlarının

doğrultularından kaynaklanacak yatay ve düşey konumlama hatalarının önüne geçilmelidir. Ölçümde kullanılacak deniz aracının; dalgalara karşı olabildiğince stabil, manevra kabiliyetinin yüksek, sığ alanlarda deniz dibine oturmaması için draft boyunun kısa olması gerekir. Ölçüm boyunca, deniz aracının hızının 4 knotu geçmemesine dikkat edilmelidir. Ölçüm sırasında deniz sürekli gözlemlenmeli; deniz içerisinde, deniz çayırı vb. akustik sinyalleri yansıtacak maddelerin var olup olmadığı kontrol edilmelidir. Batimetri, akustik iskandil yöntemi ile yapılıyor olsa da bazı bölgelerde ip iskandil gibi farklı araçlar kullanılarak verilerin doğruluğu test edilmelidir.

Akustik iskandil yöntemleri, ses dalgalarının su ortamında yayılma ve yansıma özelliklerini kullanarak derinlikleri tespit ettiği için bu yöntemde çalışmanın doğruluğunu belirleyecek en önemli etmen ses hızının doğru şekilde tespit edilmesidir. Ses hızının 20 m/s hatalı olarak tespit edilmesi 10 m derinlikte yaklaşık 14 cm ölçüm hatasına neden olmaktadır.

Çalışmada kapsamında akustik iskandil yöntemi ile yapılan batimetride sesin su ortamındaki yayılma hızını tespit etmek için ses hızı profileme cihazı kullanılmış ve ortalama ses hızı 1501.66 m/s olarak tespit edilmiştir. Ses hızı verilerinde derinliklere bağlı olarak dikkate değer bir değişiklik görünmediği için çalışmada ortalama ses hızı kullanılmıştır.

Echo sounder ile elde edilen 15 nokta ile kalibrasyon noktaları arasındaki uyumu gösteren regresyon modelleri oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde, uyumu göstermekte ana kriter olan R^2 değeri, 1'e ne kadar yakınsa veriler o derece uyumludur. Çalışmada, R^2 değeri 0.78 olarak bulunmuştur. Kalibrasyon noktalarının yüklenmesi ve regresyon modellerinin oluşturulmasından sonra, derinlikler elde edilmektedir. Derinlikler elde edildikten sonra ArcGIS programında batimetri haritası oluşturulmuştur.

Akustik iskandil ve uydu görüntüleri ile batimetri haritaları üretildikten çalışmanın doğruluğunu tespit etmek için sonra karesel ortalama hata hesaplanmıştır. Karesel ortalama hata hesaplanırken, akustik iskandil yöntemi ile elde edilen derinlikler kesin değer olarak kabul edilmiştir. Her iki yöntemdeki ortak noktalar tespit edilerek yapılan hesaplamalar sonucu karesel ortalama hata ± 1.07 m olarak bulunmuştur.

Uydu görüntüleri kullanılarak batimetri haritası üretilmesinde; haritası üretilmek istenen bölgedeki gerçek derinlikleri gösteren kalibrasyon noktalarına ihtiyaç duyulması, kalibrasyon noktalarının sayısı ve dağılımına bağlı olarak eş derinlik eğrilerinde ciddi farklar oluşması ve bu yöntemle elde edilen derinlik değerlerinin doğruluğunun düşük olması nedeniyle kullanılabilir bir yöntem olmadığı belirlenmiştir. Yöntemin, bölgedeki derinlikler hakkında genel bilgi edinmek amacıyla kullanılmasının daha doğru olacağı düşünülmektedir. Ancak çalışmada; Landsat 8 gibi görece düşük çözünürlüğe sahip uydu görüntüsünün kullanılması, görüntü üzerinde farklı filtreleme seçenekleri, maskeleyme gibi işlemlerin uygulanmaması, farklı bantların oranlanmaması gibi nedenler

dikkate alındığında; daha yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri üzerinde, farklı tekniklerle yapılacak olan batimetri çalışmalarında daha doğru ve etkili sonuçlar elde edilebilir.

Teşekkür ve Bilgilendirme

Bu makale Eray Yılmaz'ın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Açar, K. (2021). *Hidrografik mesaha planlama aşamasında uydu tabanlı batimetrik veri kullanımının araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Akgül, M. A., Dağdeviren, M., Biroğlu, İ. (2018). Çok zamanlı uydu görüntüleri kullanılarak uydu kaynaklı batimetri. *Dsi Teknik Bülteni*, (127), 14-27.
- Aksoy, E., Özsoy, G., Karaata, E. U., Karaer, F., Kâtip, A., İleri, S., & Onur, S. (2016). *Ekosounder ve GIS teknikleri kullanılarak Uluabat Gölü'nde batimetrik haritalama*. 6. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (Uzal-Cbs 2016), 5-7 Ekim 2016, Adana.
- Aykut, N. (2009). *Sığ sulardaki hidrografik ölçmelerde çok bimli iskandillerin kullanımı ve hata analizi*. Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Ekizoğlu, İ. (2011). *CBS yardımıyla batimetrik haritaların oluşturulması ve değerlendirilmesi üzerine bir çalışma: Altınapa Barajı (Konya) örneği*. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- TUDES. (2022). *Deniz seviyesi gözlemleri*. <https://tudes.harita.gov.tr/Portal/Index/32?lang=tr/Deniz%20Seviyesi%20G%C3%B6zlemleri> (Erişim Tarihi: 10.04.2022).
- IPCC. (2001). *Climatechange 2001: The Scientific Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change 2001, 643.
- Kılıç Güngör, B. (2019). *Uydu görüntüleri yardımı ile batimetrik harita üretimi: Kozlu Balıkçı Barınağı örneği*. Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak.

- NOAA. (2021). *What is bathymetry?*
<https://oceanservice.noaa.gov/facts/bathymetry.html#:~:text=Bathymetry%20is%20the%20study%20of,rivers%2C%20streams%2C%20and%20lakes> (Erişim Tarihi: 05.03.2022).
- Önder, M. (2002). *Geçmişten günümüze resimlerle Türk haritacılık tarihi*. Ankara: Harita Genel Komutanlığı.
- Sağdıç, A. (2020). *İnsansız su üstü aracı ve uzaktan algılama teknikleri kullanarak batimetrik harita üretimi: Filyos Limanı örneği*. Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak.
- Schowengerdt, R. A. (2007). *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing 3rd Edition*. Elsevier Inc., 2.
- Ulu, A. (2006). *Deniz tabanı derinleştirme çalışmalarında batimetrik ve sismik etütlerin önemi*. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Programı, İzmir.
- Uzakara, H. (2021). *Uydu görüntüleri ile kıyılarda batimetrik ölçüm*. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı, Antalya.