

SAR Görüntülerinde Etkileşimli Gemi Bölütleme

Interactive Ship Segmentation in SAR Images

Emre Akyılmaz¹, Can Demirkese¹, Fatih Nar¹, Erman Okman¹, Müjdat Çetin²

1. Uzay ve Savunma Teknolojileri (SDT),
Galyum Blok, ODTÜ Teknokent, Ankara,
{eakyilmaz, cdemirkese, fnar, eokman}@sdt.com.tr

2. Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
Sabancı Üniversitesi, Tuzla, İstanbul
mccetin@sabanciuniv.edu

Özetçe—Sentetik açıklıklı radar (SAR) görüntülerinde gemi tespiti, birçok otomatik hedef tanıma (ATR) işlemi açısından oldukça önemlidir. Açık denizde bulunan gemiler, etrafında bulunan su yüzeyine göre daha parlak göründüklerinden tespiti görece daha kolay olurken, kıyıda, limanda veya yan yana duran gemilerin tespiti oldukça zordur. Bunun yanı sıra bu gemilerin bölütlenmesi ve tanınması ise son derece zorlayıcı bir işittir. Bu çalışmada kullanıcı ile çok az etkileşim gerektiren ve gemilerin dış hattını hızlı ve hassas olarak bulan yenilikçi bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemde kullanıcı geminin konumu ve yönelimini kabaca belirlemektedir. Bunu takiben, sentetik gemi modellerinden oluşturulan bir gemi modeli kullanıcının seçtiği gemiye oturtularak geminin dış hattı hassas olarak çıkarılmaktadır. Önerilen yöntemin etkinliği deneysel sonuçlarla gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler—SAR, gemi bölütleme, gemi tespiti

Abstract—Ship detection from synthetic aperture radar (SAR) images is important for various automatic target recognition (ATR) tasks. Although the ships in offshore areas can be easily detected, the ones near the shores or close to each other are difficult to detect. Furthermore, segmentation and classification of such ships is extremely difficult. In this study, a novel approach is presented for the fast and accurate segmentation of ship boundaries with minimal user interaction. In this approach, the rough location and orientation of a ship is determined by the user. Then, a ship model, which is constructed from synthetic ship images, is fitted on to the ship selected by the user and accurate ship boundaries are extracted. The effectiveness of the proposed algorithm is demonstrated by experimental results.

Keywords—SAR, ship segmentation, ship detection

I. GİRİŞ

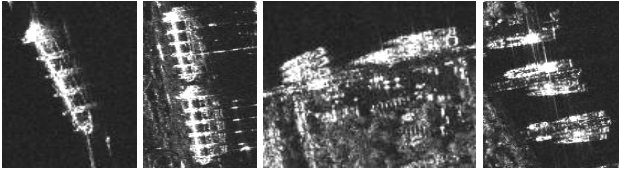
SAR görüntü algılama sensörleri aktif tipte olduğu için sadece gündüz değil gece de görüntü çekimi yapabilmektedir. Bunun yanı sıra hava koşullarından daha az etkilenmesinden ötürü uzaktan algılama işlemleri için oldukça önemli bir veri kaynağı olarak kabul edilmektedir. Uzaktan algılama görüntülerinin tabi tutulduğu başlıca işlemler, su bölütleme, karasal alan sınıflandırma, değişiklik tespiti, otomatik hedef tespiti, otomatik hedef teşhisi ve otomatik hedef tanımadır. SAR sensörleri kullanım alanının çeşitliliği, görüntü çekim zamanı konusunda sağladığı esneklik, artan görüntü çözünürlüğü ve kalitesi sayesinde giderek daha önemli bir görüntü kaynağı haline gelmiştir.

SAR görüntüleri insan yapımı nesnelere tespiti ve tanınması ile ilgili ayırt edici bilgiler içermektedir. Bina, demir yolu, kara ve deniz aracı gibi insan yapımı nesnelere SAR görüntülerinde etraflarına göre ayırt edici bir şekilde daha parlak gözükmektedir. Bunun yanı sıra su, deniz, kara yolu gibi düzgün ve pürüzsüz yüzeyler ise daha koyu gözükmektedir. Bu durum **Şekil 1**'de verilen örnek görüntü parçası incelenerek görülebilir.



Şekil 1. Hindistan'da bulunan Visakhapatnam limanından örnek SAR görüntüsü.

Görüntülerde bulunan nesnelere yansıtıcılık özellikleri, uzaktan algılama algoritmalarının hızlı ve doğru çalışmaları açısından önem taşır. SAR görüntülerinden gemilerin tespiti ve tanınması, deniz yolu taşımacılığının gözetimi ve gemi yaklaşma noktalarının bulunması bakımından önemlidir. Gemi teşhisi, gemi tanıma, gemi takibi ve gemi tipinin belirlenmesi için ise geminin dış sınırının hassas olarak bulunması amacıyla yapılan gemi bölütleme kritik olmaktadır [1]. Literatürde, SAR görüntülerinde açık denizde bulunan gemiler gibi homojen arka alan görüntüsüne sahip hedeflerin tespit edilmesi için sabit yanlış alarm oranı (CFAR) tabanlı algoritmalar başarılı ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar [2]. Ancak bu işlem gemi şeklinin hassas bir şekilde belirlenmesi için tek başına yeterli olmamaktadır. SAR görüntülerindeki benek gürültü ve uzamsal olarak değişen yansıtıcılık farklarından kaynaklı kopukluklar gemi dış sınırının bulunmasını zorlaştırmaktadır. Açık denizde bulunan gemiler, etrafında bulunan su yüzeyine göre daha parlak göründüklerinden bölütlenmesi daha kolay olurken, kıyıda, limanda veya yan yana duran gemilerin bölütlenmesi oldukça zordur (bkz. **Şekil 2**). Literatürde gemi tespiti için birçok yöntem önerilmiş olmakla beraber bizim mevcut bilginiz dâhilinde arzu ettiğimiz hassaslıkta gemi dış sınırı bulan bir yöntem mevcut değildir.



Şekil 2. Visakhapatnam limanının SAR görüntüsünden örnek gemi resimleri

Bu bildiriye, gemilerin dış hatlarının hassas şekilde bulunması için yeni bir bölütleme yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yöntemde, oluşturulan bir gemi modelinin kullanıcı tarafından girilen kaba gemi konumu ve yönelimi bilgileri ışığında seçilen gemi üzerine oturtulması bir eniyileme probleminin çözülmesi suretiyle yapılmıştır. Bu bağlamda aktif şekil modelleri (Active Shape Model, ASM) kullanıcı girdisini de değerlendirecek biçimde SAR görüntülerinde gemi bölütlemesi problemine ilk defa uygulanmıştır.

II. YÖNTEM

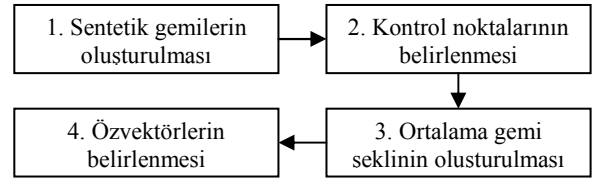
SAR görüntülerinde geminin nasıl görüneceği geminin ve güvertedeki nesnelerin yansıtırlık özelliklerine, geminin yönelimine, görüntü çekim açısına ve çekim yapılan bant ve polarizasyona bağlıdır. Tüm bu etkenlerdeki çeşitlilikten dolayı SAR görüntülerinde bulunan gemi şekilleri genellikle sürekli olamayan köşelerden, parlak saçıcılardan ve parlak olmayan bölgelerden oluşabilmektedir. Çoğunlukla bu parlak saçıcılar gemi yüzeyine homojen bir şekilde dağılmış değildir. Bu da gemi şeklinin bozulmasına, yanlış anlaşılmasına ve şekillerinin görüntüdeki başka gemiler veya diğer insan yapımı nesnelerle ile karıştırılmasına sebep olabilmektedir. Bu durum da otomatik gemi tanıma işlemini son derece zorlaştırmaktadır.

Literatürde kullanılan CFAR tabanlı yöntemlerde hedef tespiti başarılı ve hızlı bir şekilde yapılsa bile gemi teşhisi ve gemi şeklinin hassas olarak belirlenmesi sadece bu yöntemler kullanılarak mümkün olamamaktadır. Görüntüde aranan hedeflerin şekilsel özelliklerinin önceden bilinmesi durumunda kullanılan ASM tabanlı yaklaşımlar aranan uzayın büyüklüğünden bağımsız olarak, hedeflerin bölütlenmesini hızlı ve gürbüz hale getirmiştir [3-5]. Bu nedenle bu çalışma kapsamında ASM tabanlı bir yaklaşım kullanılmış ve tanımlanan eniyileme probleminin çözülmesi ile gemi şekillerinin bulunması amaçlanmıştır. Aynı zamanda tanımlanan eniyileme işleminin hızlı ve hassas bir şekilde gemi modelinin öz uzay boyutundan bağımsız olarak gerçek şekle yakınsaması hedeflenmiştir.

Bu çalışma gemi şekli modelinin öğrenilmesi ve bu model kullanılarak gemi bölütlenmesi olarak iki ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm sentetik olarak üretilen gemi şekillerinden ortalama bir geminin etrafındaki şekil dağılımının oluşturulmasını içermektedir. İkinci bölüm ise, kullanıcı etkileşimi ile elde edilen ilk gemi parametreleri kullanılarak sentetik gemilerden öğrenilen gemi modelinin seçilen gemi üzerine oturtulmasını içermektedir.

A. Gemi Şekli Modelinin Öğrenilmesi

Gemi şekli modelinin öğrenilmesi sırasında izlenen adımlar Şekil 3'te sıralanmıştır.



Şekil 3. Gemi şeklinin öğrenilmesi

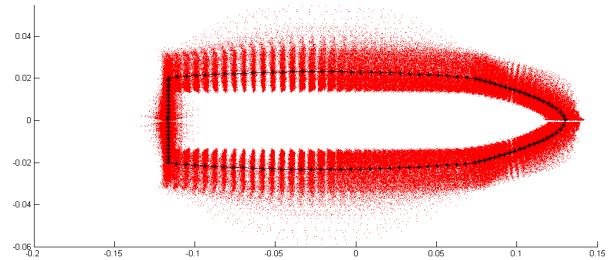
1. 2500 adet sentetik gemi modeli oluşturmak için, geminin yan yüzeyi ve geminin burnu x-ekseninde ikinci seviye fonksiyonlarla ve geminin arkası da y-ekseninde ikinci seviye bir fonksiyonla ifade edilir ve oluşturulan şeklin x-eksenine göre simetrisi alınır. Sonrasında üretilen sentetik gemilerin dış hatları ve bu dış hat üzerinden kontrol noktaları (Şekil 4) otomatik elde edilir.



Şekil 4. Örnek gemi şekli üzerindeki kontrol noktaları

2. Bu kontrol noktalarının yanı sıra, bu noktaların arasına sabit sayıda başka noktalar eklenerek toplam K adet nokta elde edilir. Her bir şekil üretilirken bu K noktanın ağırlık merkezi hesaplanır ve görüntüler ağırlık merkezleri çakışacak şekilde hizalanır. Seçilen noktalar, p₁ noktasından başlayarak saat yönünün tersine doğru taranır ve önce bütün noktaların x bileşenleri, daha sonra da y bileşenleri ardarda sıralanarak 2K boyutlu bir vektör elde edilir. Elde edilen bu vektör birim vektör haline getirilir. Bunun sonucunda merkezleri aynı konumda bulunan ve birbirine çakışmış gemi şekillerinden oluşan bir gemi kümesi elde edilir.

3. İkinci adımda oluşturulan çakışmış gemi şekillerini ifade eden birim vektörler (x_i) kullanılarak (1) ortalama şekil modeli (\bar{x}) bulunur (Şekil 5).



Şekil 5. Ortalama gemi şekli ve tüm gemiler

$$x_i = [x_{i,1}, \dots, x_{i,K}, y_{i,1}, \dots, y_{i,K}]$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

Burada K 2. maddede bahsi geçen nokta sayısı, N ise toplam sentetik gemi sayısıdır. Deneyler sonucunda K için 128, N için ise 2500 değerlerinin yeterli olduğu görülmüştür.

4. Ortalama gemi şekli bulunduktan sonra, her bir gemi birim vektörünün ortalama gemi şekline olan farkları hesaplanır ve (2)'deki D matrisi oluşturulur.

$$D = \begin{bmatrix} x_1 - \bar{x} \\ \vdots \\ x_N - \bar{x} \end{bmatrix} \quad (2)$$

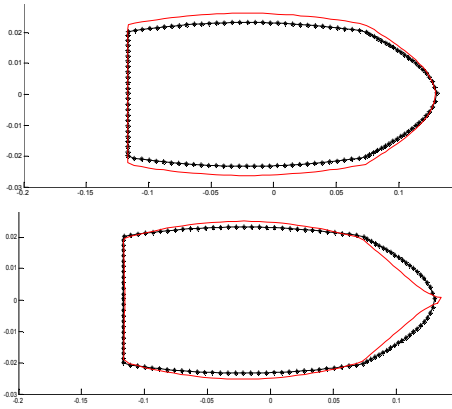
Denklem (3) kullanılarak (2)'de oluşturulan bu matrisin özdeğişinti matrisi hesaplanır.

$$C = \frac{1}{N} D^T D \quad (3)$$

Denklem (3)'te elde edilen özdeğişinti matrisinden özdeğerler ve bunlara tekabül eden özvektörler ayrıştırılır. Ortalama vektöre elde edilen bu özvektörlerin doğrusal katışımı eklenerek sentetik veri kümesindeki her bir gemi birim vektörü elde edilebilir. Denklem (4)'te P özvektörleri, b ise her bir öz vektörün katışım katsayılarını gösteren vektörü ifade etmektedir.

$$x = \bar{x} + Pb \quad (4)$$

Yapılan denemelerde en yüksek değere sahip özdeğerlerin ilk 5 tanesine karşılık gelen özvektörlerin toplam bilginin %99'unu içerdiği görülmüş ve dolayısıyla bu çalışmada bu 5 özdeğere tekabül eden özvektörlerin kullanılmasına karar verilmiştir. Şekil 6'da birinci ve üçüncü öz vektörün ortalama gemi şekli üzerinde etkisi gösterilmiştir. Bir numaralı özvektör gemi şeklinde yan yüzeylerin daha kavisli olmasını sağlarken, üç numaralı özvektör ise gemi şeklinde burun kısmının sivrilmesini değiştirmektedir.



Şekil 6. Birinci ve üçüncü öz vektörlerin etkisi

B. Gemi Bölütlemesi

Bu çalışmada, gemi modelinin görüntü üzerine oturtulması için Coates tarafından [2]'de önerilen "Protokol 2" yaklaşımı kullanılmıştır. Protokol 2'de öğrenilen gemi şekli modelini görüntü üzerine oturtmak için en iyi deformasyonu ve gemi şekli parametrelerini döngülü bir şekilde hesaplanır.

Bu döngülerde, döngü belirteci i için parametre kümesi $\Phi_{(i)} = \{b_i, t_{x(i)}, t_{y(i)}, \theta_{(i)}, s_{(i)}\}$ olarak tanımlanmıştır. Bu parametreler sırasıyla (4)'te verilen öz vektörlerin katışım katsayılarını; geminin orta noktasının x ve y eksenlerini, geminin yönelimini ve oturtulmaya çalışılan gemi modelinin ölçeğini ifade etmektedir. Başlangıçta $b_{(0)}$ vektörünün tüm elemanları 0 değerine eşitlenmektedir. Diğer parametrelerin ilk değerleri ise kullanıcının görüntü üzerinde sırayla seçtiği "burun" ve "arka" noktaları kullanılarak (6)'te verildiği gibi kestirilmektedir.

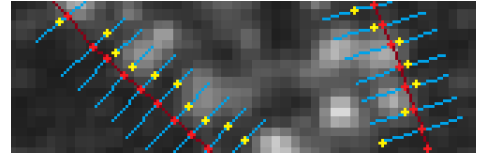
$$\begin{aligned} t_{x(0)} &= (x_{p_1} + x_{p_2}) / 2 \\ t_{y(0)} &= (y_{p_1} + y_{p_2}) / 2 \\ \theta_{(0)} &= \tan^{-1}((y_{p_2} - y_{p_1}) / (x_{p_2} - x_{p_1})) \\ s_{(0)} &= |p_2 - p_1| / d_{GM} \end{aligned} \quad (5)$$

Bu denklemde verilen d_{GM} değeri, Bölüm A'da oluşturulan gemi modelinin ana eksen uzunluğunu; p_1 ve p_2 Şekil 4'te gösterilen ve kullanıcı tarafından girilen noktaları ifade etmektedir. Kullanılan yöntemdeki her bir döngü temel olarak dört adım içermekte ve bu adımlarda yapılan işlemlerin ayrıntıları aşağıda verilmektedir.

1. Ortalama gemi şekline, \bar{x} , $b_{(i)}$ vektörü ile belirlenen katışımda özvektörleri eklenir ve akabinde $t_{x(i)}$, $t_{y(i)}$, $\theta_{(i)}$, $s_{(i)}$ parametreleri ile belirlenen T geometrik dönüşümü uygulanır ve (6)'te verilen $\hat{x}_{\Phi(i)}$ vektörü elde edilir.

$$\hat{x}_{\Phi(i)} = T_{t_{x(i)}, t_{y(i)}, s_{(i)}, \theta_{(i)}}(\bar{x} + Pb_{(i)}) \quad (6)$$

Şekil 7'de kırmızı noktalar $\hat{x}_{\Phi(i)}$ ile belirtilen gemi şeklini, mavi çizgiler kırmızı noktaların oluşturduğu yüzeyin normali yönünde içe ve dışarı doğru arama yapılan alanı, sarı noktalar ise bu inceleme sonucundan elde edilen yeni aday noktaları gösterir. Elde edilmiş yeni aday noktalardan oluşan gemi şekli $\tilde{x}_{\Phi(i)}$ ile gösterilir.



Şekil 7. Yüzeyin görüntü üzerinde deforme edilmesi

Sarı noktaların mavi çizgiler üzerinde nerede olacağına karar verilirken mavi çizgi üzerinde her bir noktanın yumuşatılmış parlaklık değeri kullanılarak bir parlaklık profili oluşturulur. Elde edilen 18 elemanlı parlaklık profilinde değişimin en yüksek olduğu yer yeni aday nokta olarak bulunur. Eğer profil belirlenen eşik değerinden daha büyük bir değişim içermiyor ise profilin ortalama değeri hesaplanır. Hesaplanan ortalama değer belirlenen eşik değerinden düşük ise yüzeyden içe doğru, daha parlak ise yüzeyden dışarı doğru 4 piksel gidilerek yeni aday nokta bulunur. Eşik değeri geminin burnu ve arkası arasındaki düz çizgi üzerindeki parlaklık değerlerin ortalaması olarak alınır.

2. Denklem (7)'de gösterilen maliyet fonksiyonunun eniyilenmesi ile birinci adımda elde edilen $\tilde{x}_{\Phi(i)}$ gemi şekline en uygun $\Phi_{(i+1)}$ dönüşüm parametreleri bulunur.

$$\underset{\Phi_{(i+1)}}{\operatorname{argmin}} \left\| \tilde{x}_{\Phi(i)} - \hat{x}_{\Phi_{(i+1)}} \right\| \quad (7)$$

Bu çalışmada (7)'nin eniyilenmesi için bir Quasi-Newton yaklaşımı olan BFGS yöntemi kullanılmıştır [6]. Bu yöntem birinci türevi kullanarak, ikinci türevi kestirdiği için sadece birinci türevi kullanan yöntemlerde göre daha hızlıdır. Bu çalışmada (7)'yi eniyilemek için BFGS kullanılması gradyan inişi yöntemine göre 100 kat hızlanma sağlamıştır.

3. Her döngüde, ikinci adımda hesaplanan $\Phi_{(i+1)}$ parametre kümesine Tablo 1. Parametre Sınırlamaları 'de verilen sınırlamalar uygulanır.

Tablo 1. Parametre Sınırlamaları

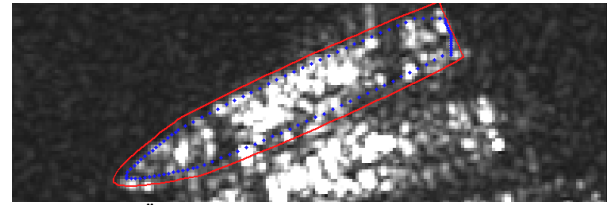
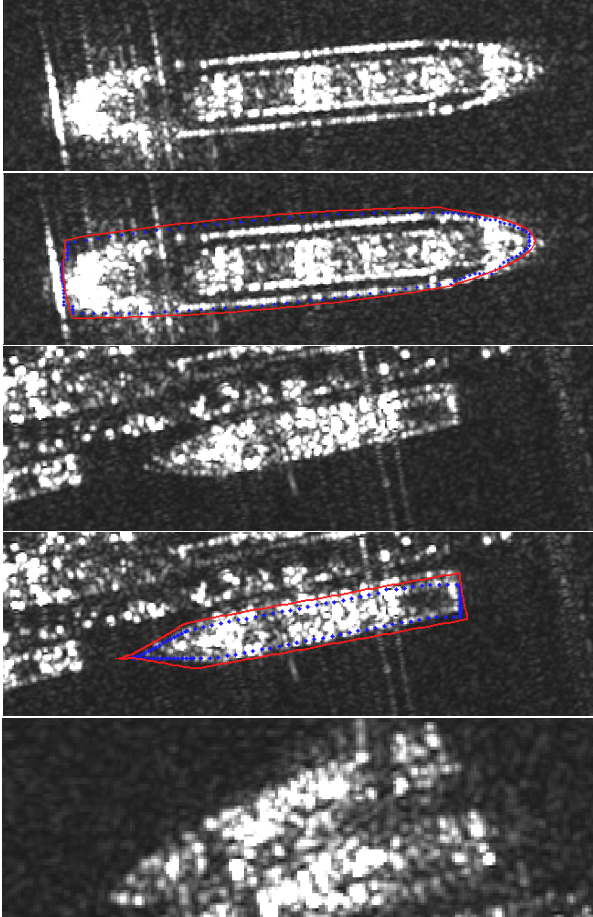
Parametre	Sınırlama	Sınır
b_j	$b_j \leq t\sqrt{\lambda_j}$	$t = 2$
t_x, t_y	$(t_x - t_{x(0)})^2 + (t_y - t_{y(0)})^2 \leq r^2$	$r = 5$
θ	$ \theta - \theta_{(0)} \leq \theta_t$	$\theta_t = 5^\circ$
S	$ (s - s_{(0)})/s_{(0)} \leq s_t$	$s_t = 0.1$

Tablo 1. Parametre Sınırlamaları 'deki λ_j değerleri denklem (3)'te verilen özdeğişinti matrisinden elde edilen özdeğerleri ifade etmektedir.

4. Eğer $\|\Phi_{(i+1)} - \Phi_{(i)}\| < 0.1$ ise döngü sonlandırılır, değil ise döngü değişkeni (i) bir artırılır ve ilk adıma gidilir.

III. DENEYSSEL SONUÇLAR

Çalışma kapsamında önerilen yöntem ile bölütlenmiş çeşitli gemilerin örnekleri Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Örnek sonuçlar (mavi: adım 1, kırmızı: adım 3)

Örneklerde kırmızı ile gösterilen, önerilen yöntem ile elde edilen gemi şeklidir. Mavi noktalar ise, ilk adımda deforme edilen gemi yüzeyini göstermektedir. Örneklerden de açıkça görülebileceği gibi açık denizde olan gemilerin yanısıra limanda veya başka gemilerle yanyana bulunan gemiler başarılı bir şekilde bölütlenmişlerdir. Bunun yanı sıra bölütlenmeye çalışılan gemilerin burunlarının şekli, en ve boy oranları ve arka bölümlerinin kavisli yapısı gibi gemilerin tipini belirleyen özellikler gemilerde farklılık gösterebilir de önerilen yöntem bu özelliklerden bağımsız olarak hassas bir sonuç üretebilmektedir.

IV. SONUÇ

Bu bildiri de, SAR görüntülerinde gemi sınırlarını bulma amacıyla gemi bölütleme yapan şekil tabanlı bir yöntem sunulmuştur. Önerilen yöntem ile kullanıcının geminin önünde ve arkasında bir noktayı tıklamasını takiben değişik boyuttaki izole, kıyıda ve birbirine yanaşık gemilerin sınırları hassas bir şekilde bulunmuştur. Gemi dış hatlarının hassas olarak bulunması sayesinde çıkarılacak ayırt edici öznelikler sayesinde gemi tanıma ve sınıflandırmaya yapılması mümkün hale gelmiştir.

Bu çalışmada ASM gemi modeli oluşturmak için 2500 adet sentetik gemi şekli içeren bir veri kümesi kullanılmıştır. Sentetik gemi şekillerinin kullanılması bir ön çalışma niteliğinde olup bir sonraki aşamada veri kümesini oluşturmak için gerçek görüntülerden bir uzmanın elle bölütlediği gemi şekilleri kullanılacaktır. Ayrıca, bir sonraki çalışmada kullanıcı etkileşimine gerek kalmadan aday gemi burnu ve arkalarının bulunması planlanmaktadır. Bulunan bu aday gemiler yanlış alarm içerebileceği için uygun bir eğitilmiş sınıflandırıcı (örneğin SVM [7]) kullanarak gemi bölütleme sonucunda elde edilecek öz nitelikler ile aday geminin gerçekten bir gemi olup olmadığına karar verilecektir.

KAYNAKÇA

- [1] Margarit, G., Tobascoi, A., "Ship Classification in Single-Pol SAR Images Based on Fuzzy Logic" *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions*, Cilt.49 Sayı. 8, s.3129-3138, 2011.
- [2] Crisp, D. J., "The State-of-art in Ship Detection in Synthetic Aperture Radar Imagery", *DSTO Information Science Lab.*, Edinburgh, 2004.
- [3] Cootes, T.F., "An Introduction to Active Shape Models", Bölüm 7 "Model-Based Methods in Analysis of Biomedical Images", *Image Processing Analysis*, Baldock, Ed.R., Graham, J., Oxford University Press, s. 223-248, 2000
- [4] Cootes, T.F., Taylor, C.J., Cooper, D.H., Graham, J., "Active Shape Models – Their Training and Application", *Computer Vision and Image Understanding*, Cilt.61, Sayı.1, s. 38–59, 1995
- [5] Cootes, T.F., Edwards, G.J., Taylor, C.J., "Active Appearance Models", *IEEE Transactions on Pattern Analysis And Machine Intelligence*, Cilt. 23, Sayı. 6, Haziran 2001
- [6] Nocedal, J., Wright, J.S., "Numerical Optimization", *Springer-Verlag*, 2006
- [7] Cortes, C., Vapnik, V., "Suport Vector Networks", *Machine Learning*, Cilt 20, Sayı 3, s. 273-297, 1995