

# ENDÜSTRİYEL ALANLARDAKİ DAİRESEL PETROL VE YAĞ ÜRÜNLERİ (POL) DEPOLARININ YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ UYDU GÖRÜNTÜLERİNDEN OTOMATİK TESPİTİ

Ali Özgün Ok

Nevşehir H.B.V. Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 50300, 2000 Evler, Nevşehir  
ozgunok@nevsehir.edu.tr, ozguneo@gmail.com

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Dairesel Alan Tespiti, Endüstriyel Alanlar, Petrol ve Yağ Ürünleri (POL) depoları, Dairesel Hough Dönüşümü, Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntüleri

## ÖZET:

Bu çalışmada yeryüzündeki Petrol ve Yağ Ürünlerine (POL) ait depoların konumlarını uydu görüntülerinden otomatik olarak tespitini gerçekleştirecek yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem literatürdeki diğer yöntemlerin aksine daireSEL POL depolarının gölge alanlarına odaklanmaktadır. İlk aşamada gölge bilgisi bulunmakta ve gölge alanlarının sınırları otomatik olarak eğri parçalarına ayrılmaktadır. Devamında, elde edilen eğri parçalarından her biri yine bu çalışmada geliştirilen kısıtlarla test edilmekte ve bu test sonucunda POL depolarının muhtemel sınır kısımları ortaya çıkarılmaktadır. Elde edilen sınır kısımlarından karşılıklı olarak birbirlerini destekleyenler POL depoları olarak işaretlenmektedir. Herhangi bir destek bulamayanlar ise her gölge nesnesi için ayrı ayrı olarak uygulanan ve içerisinde daireSEL Hough dönüşümünü barındıran yeni bir yöntem ile analiz edilmekte ve bu analiz sonucuna göre nihai karar verilmektedir. Son aşamada ise elde edilen tüm POL depolarının merkez ve yarıçap bilgileri kullanılarak depoların görüntü üzerinde sunumu gerçekleştirilmektedir. Yöntemin test edilmesi amacıyla farklı GeoEye-1 uydu görüntülerinden (0.5 m) 12 endüstriyel test alanı seçilmiştir. Tüm test alanları için sırasıyla %99.1 ve %82.7 obje-tabanlı genel kesinlik ve geri-getirme oranı hesaplanmıştır. Tüm test görüntüleri için hesaplanan obje-tabanlı  $F_1$  skoru %90 civarındadır. Öte yandan otomatik olarak bulunan POL depolarına ait merkez ve yarıçap karesel ortalama hata (RMS) değerleri sırasıyla 2.67 ve 2.17 piksel olarak hesaplanmıştır. Test görüntülerindeki zorluk seviyeleri ve farklı görüntüleme şartları (kar, çöl vb.) dikkate alındığında geliştirilen yaklaşımın uydu görüntülerinde POL depolarının otomatik olarak belirlenmesine yönelik oldukça umut vadeden bir yöntem olduğu düşünülmektedir.

**KEY WORDS:** Circular Area Detection, Industrial Areas, Petroleum And Oil Products Storages (Pol), Circular Hough Transformation, High Resolution Satellite Imagery

## ABSTRACT:

In this study, a new approach for the automated detection of above-ground depots of Petroleum, Oil, & Lubricants (POL) from satellite imagery is proposed. The developed approach focuses on the cast shadows of circular POL depots in contrast to the methods proposed in the literature. In the first step, shadow detection is performed, and the boundaries of the shadow regions are split into curved segments. Thereafter, each curved segment is tested with newly developed constraints and potential parts of the boundary of the POL depots are extracted. The boundary parts that are found to be mutually supporting are marked as POL depots. For the ones that do not have any support, an investigation based on a new method which involves circular Hough transform that is applied to each shadow component is performed to reach a final decision. In the final step, presentation of all detected POL depots is performed on images through the collected center coordinates and the radii. 12 GeoEye-1 test images (0.5 m) covering different industrial regions are selected to evaluate the proposed approach. For all test sites, overall object-based precision and recall ratios are computed as 99.1% and 82.7%, respectively. The computed object-based  $F_1$ -score for all test images is around 90%. Besides, the overall root mean square (RMS) values computed for the center and the radius parameters of the automatically detected POL depots are computed as 2.67 and 2.17 pixels, respectively. If the difficulties and different illumination and environmental conditions (snow, desert, etc.) are taken into account, it is believed that the proposed approach achieves quite promising results for the detection of POL depots from satellite images.

## 1. GİRİŞ

Çok yüksek çözünürlüklü (0.3 - 1 m) hava veya uydu görüntülerinden (3-boyutlu) otomatik nesne elde edilmesi son yıllardaki modern fotogrametri ve uzaktan algılama uygulamalarındaki en önemli araştırma konularından birisi haline gelmiştir. Bu konu içerisinde insan yapımı bir nesnenin veya bölgenin uydu görüntüleri kullanılarak incelenmesi, detaylarının çıkarılması ve analizi önem göstermektedir. Bu nesnelerin hava/uydu görüntülerinden yarı-otomatik veya otomatik olarak bulunması ve 3-boyutlu sunumu, görüntü çekim tekniklerinin sürekli olarak gelişmesi, görüntü kalitesinin ve

boyutlarının artması, otomasyona geçiş sürecindeki taleplerin hızlanması nedenleriyle artık bir zorunluluk haline gelmiştir. Otomatik olarak elde edilmeye çalışılan nesnelerin içerisinde daireSEL hedefler farklı depolama alanlarını ve nesnelerini tanımlaması açısından önemli bir yere sahiptir. Günümüzde Petrol ve Yağ Ürünlerine (POL) ait depolar buldukları konuma göre *yerüstü* ve *yeraltı* olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Yerüstünde yer alan depo üniteleri ise yapıları itibarıyla dört sınıfta değerlendirilmektedir: (i) dikey silindirik, (ii) yatay silindirik, (iii) küresel ve (iv) dikdörtgen prizmatik. Bu dört sınıfın içinde POL depoları olarak en çok dikey silindirik ve küresel şeklindeki depolama üniteleri tercih edilmektedir. Bu iki ünitenin ortak özelliği ise nadir veya yakın-nadir çekim

yapılan görüntülerde çatılarının daire şeklinde gözlemlenmesidir. Bu nedenle bu çalışmada yerüstünde konumlanmış dikey silindirik ve küresel şeklindeki depolama ünitelerinin yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden tespiti hedeflenmiştir.

Yüksek çözünürlüklü hava/uydu görüntülerinden Petrol ve Yağ Ürünlerine (POL) ait depoların tespiti ile ilgili az sayıda bilimsel çalışma bulunmaktadır. (Weisheng vd., 2005) gelişmiş bir Hough dönüşümü ve korelasyon tabanlı şablon eşleştirme kullanarak keskinleştirilmiş SPOT-5 uydu görüntülerinden depolama tankları tespit etmeye çalışmıştır. (Li, 2006) bölütleme ve özellik tabanlı sınıflandırmaya ve korelasyon tabanlı bir şablon eşleştirme dayalı bir yaklaşım test etmiştir. (Chen, 2009) şekil parametrelerine ve alan büyütme tabanlı bir kümeleme yöntemine dayanan bir daire tanıma algoritması kullanmıştır. (Han vd., 2011) QuickBird uydu görüntülerinden dairesel depo alanlarının tespiti için Hough dönüşümünü kullanmış ve hatalı tespitleri elemek için çizge tabanlı bir arama yöntemi geliştirmiştir. Bu çalışmadan kısa bir süre sonra, (Han ve Fu, 2012), sınırları düzgün tanımlanmış depolama tanklarının tespiti için bir model önermiştir. (Zhu vd., 2012) genel seviyede POL tanklarının bulunduğu görüntü parçalarını, detay seviyesinde ise bu görüntü parçalarındaki dairesel bölgeleri bulmayı amaçlayan genelden-detaya gitmeyi amaçlayan bir strateji geliştirmiştir. (Kushwaha vd., 2013) parlak POL depolarını istatistiksel ve dokusal bilgilerin analizine dayanan eğitilmiş bir sınıflama yöntemi ile tespit etmeyi önermiştir. Bir diğer çalışmada, (Zerman vd., 2014) yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden POL depolarını tespit etmek için bir algoritma önermiştir. Bu algoritmada dairesel şekiller hızlı radyal simetri dönüşümünün (HRSD) (Loy ve Zelinski, 2003) biraz değiştirilmiş sürümü ile tespit edilmiş ve yakın-kızılötesi bilgisi hatalı tespitleri engellemek için kullanılmıştır.

Yukarıdaki çalışmalar incelendiğinde, günümüze kadar geliştirilen yöntemlerin büyük çoğunluğunun sadece belirgin bir şekilde parlak (beyaz) çatı rengine sahip ve çevresinden belirgin şekilde ayrılabilen dairesel depolama ünitelerini bulmaya yönelik olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra, bulunan depolama alanlarının yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinde var olan diğer dairesel nesnelere (kavşak, tarım alanı, atık su arıtma tesisi vb.) ayrılması için bir yöntem önerilmediği anlaşılmaktadır. Bunlardan başka olarak, bütün çalışmalar sadece dairesel nesnelere tespit oranlarına odaklanmış ve sonuçta elde edilen nesnelere parametrelerinin (merkez nokta ve yarıçap) kalitesiyle ilgili bir değerlendirme yapılmamıştır.

Bu çalışmada yeryüzündeki POL depolarının konumlarını uydu görüntülerinden otomatik olarak tespitini gerçekleştirecek yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem literatürdeki diğer yöntemlerin aksine dairesel POL depolarının gölge alanlarına odaklanmaktadır. İlk aşamada gölge bilgisi bulunmakta ve gölge alanlarının sınırları otomatik olarak eğri parçalarına ayrılmaktadır. Devamında, elde edilen eğri parçalarından her biri yine bu çalışmada geliştirilen kısıtlarla test edilmekte ve bu test sonucunda POL depolarının muhtemel sınır kısımları ortaya çıkarılmaktadır. Elde edilen sınır kısımlardan karşılıklı olarak birbirlerini destekleyenler POL depoları olarak işaretlenmektedir. Herhangi bir destek bulamayanlar ise her gölge nesnesi için ayrı ayrı olarak uygulanan ve içerisinde dairesel Hough dönüşümünü barındıran yeni bir yöntem ile analiz edilmekte ve bu analiz sonucuna göre nihai karar verilmektedir. Son aşamada ise elde edilen tüm POL depolarının merkez ve yarıçap bilgileri kullanılarak depoların görüntü üzerinde sunumu gerçekleştirilmektedir. Yöntemin test edilmesi amacıyla farklı GeoEye-1 uydu görüntülerinden (0.5

m) 12 endüstriyel test alanı seçilmiştir. Test görüntülerindeki zorluk seviyeleri ve farklı görüntüleme şartları (kar, çöl vb.) dikkate alındığında geliştirilen yaklaşımın uydu görüntülerinde POL depolarının otomatik olarak belirlenmesine yönelik oldukça umut vadeden bir yöntem olduğu düşünülmektedir.

Çalışmanın işlem adımları metnin ilerleyen bölümlerinde açıklanmaktadır. Buna göre; Bölüm 2'de geliştirilen yaklaşım tanıtılmıştır. Bölüm 3'te yöntemin sonuçları ortaya konulmuş ve elde edilen bulgular tartışılmıştır. Son bölüm olan 4. bölümde ise çalışmada elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve gelecekte yapılması planlanan çalışmalara değinilmiştir.

## 2. GELİŞTİRİLEN YÖNTEM

Geliştirilen yöntemin işlem adımları sırasıyla aşağıda açıklanmıştır. Bu çalışmada kullanılan yöntemler daha önce yapılan ve yayımlanan bir çalışmada detaylarıyla açıklanmıştır (Ok, 2014). Bu nedenle bu çalışmada bazı kısımlarla ilgili detaylara yer verilmemiş ve kısaca özetlenmiştir.

Bu çalışmada önerilen yaklaşım tek bir keskinleştirilmiş çok-bantlı (M, Y, K ve YKÖ) ortogörüntüyü kullanmaktadır. Ayrıca görüntünün çekim zamanına ait güneş açıları (azimuth ve zenith) ile ilgili bilgiler görüntüye ait üst veriden (metadata) otomatik olarak çekilmektedir. Sağlıklı bitki örtüsünün bulunduğu alanları tespit edebilmek amacıyla Normalize Diferansiyel Bitki İndeksinden (NDVI) yararlanılmıştır. Söz konusu bu indeks sağlıklı bitki örtüsünün gözlemlendiği yerlerde yüksek değerler üretmek amacıyla tasarlanmış olup bu yüksek değerler genellikle bitki örtüsü bulunan alanları göstermektedir. Bu çalışmada bitki örtüsü maskesini ( $M_V$ ) otomatik olarak hesaplayabilmek amacıyla Otsu metoduna (Otsu, 1975) dayanan histogram eşikleme metodu kullanılmıştır.

### 2.1 Temizlenmiş Gölge Maskesinin Oluşturulması

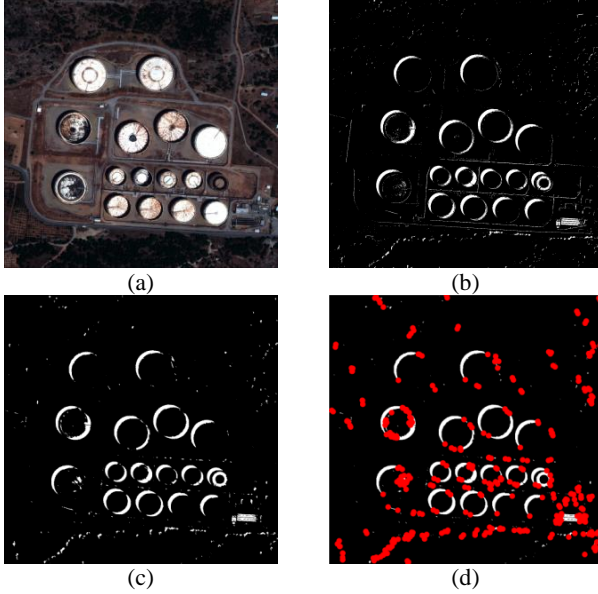
Gölge alanların otomatik tespit edilmesi için ise güncel bir indeksten faydalanılmıştır (Teke vd., 2011). Bu indeks Renk Tonu-Doygunluk-Yoğunluk (HSI) renk uzayının Yoğunluk ve Doygunluk bileşenleri ile hesaplanan bir orana dayanmakta ve HSI renk uzayına ise uydu görüntüsünün yalancı renk birleşiminden geçilmektedir (NIR, R, G). Gölge alanlarını otomatik belirlemek için tıpkı bitki örtüsü tespitinde de faydalandığı üzere Otsu'nun metodu uygulanmıştır. Fakat bu yöntemle elde edilen maske bitki örtüsü ve gölge alanlarını ortak olarak gösterdiği için bitki örtüsünün bulunduğu alanlar gölge maskesi ( $M_S$ ) elde etmek amacıyla çıkarılmıştır (Şekil 1b). Bu çalışmada bulunan gölge maskesinin temizlenmesi amacıyla Ok (2013)'te önerilen son-işleme yaklaşımı kullanılmış ve temizlenmiş gölge maskesi ( $M_{PS}$ ) elde edilmiştir (Şekil 1c).

### 2.2 Aday Eğri Parçalarının Bulunması

Önerilen yaklaşım tamamen dairesel nesnelere gölgelerine dayanmaktadır. Bu nedenle dairesel nesnelere gölgelerinin diğer nesnelere (bina, ağaç vb.) gölgelerinden ayrılması gerekmektedir. Bu aşamada dairesel yapıların simetrik olması dolayısıyla gölgelerinin hilal-benzeri bir şekil alması ve bu bilginin ilgili nesnelere tespiti sırasında kullanılması önem arz etmektedir (Şekil 1c).

### 2.2.1 Gölge Sınırlarının ve Eğri Parçalarının Bulunması

Bu aşamada ilk olarak tüm gölge nesnelere 8-komşuluk kullanılarak ayrı ayrı olarak tanımlanmış ve her nesnenin içindeki pikseller temizlenerek sadece nesnelere sınırlarını tanımlayan pikseller elde edilmiştir. Devamında her nesne için



Şekil 1. (a) GeoEye-1 görüntüsü, (b) gölge maskesi, (c) temizlenmiş gölge maskesi, (d) gölge sınırları boyunca bulunan köşe noktaları.

bu sınırları oluşturan pikseller eğri parçalarına ayrılmıştır. Bu ayırma işlemi için Awrangjeb ve Lu (2008) tarafından köşe bulma amacıyla geliştirilen yöntem adapte edilmiştir. Bu yöntem temel olarak sınır boyunca gezen mobil düz bir çizgi sayesinde sınır üzerindeki eğrileri ve dolayısıyla köşe noktalarını tespit etmektedir (Şekil 1d). Bu sayede sınır üzerindeki köşe noktaları tespit edilip bu noktalar arasında kalan sınır pikselleri bir eğri ( $\delta_j$ ) olarak tanımlanabilmektedir.

### 2.2.2 Dairesel Nesne Kısıtları

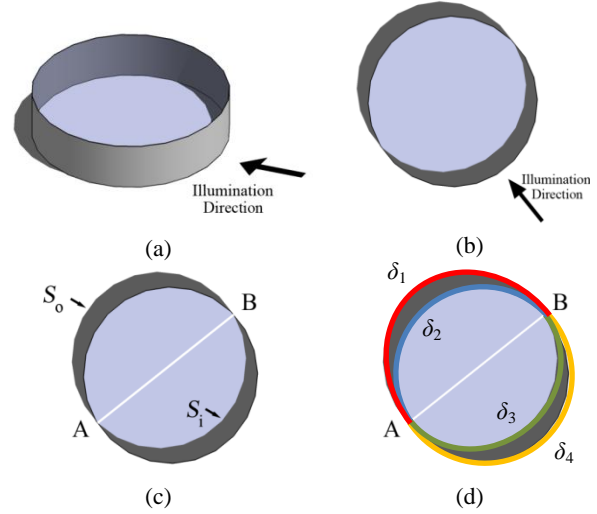
Bu aşamada eğri parçalarına ayrılan gölge sınırlarının dairesel bir yapıya ait olup olmadığını tanımlanabilmesi için toplamda dört adet yeni kısıt geliştirilmiştir. Geliştirilen kısıtlar boş bir dairesel nesnenin simülasyonu sonucu ortaya çıkan bilgilerden faydalanılarak üretilmiştir (Şekil 2). Şekil 2c'den de görülebileceği üzere verilen bir aydınlatma yönüne göre boş bir dairesel nesne bir nesnenin dışında ( $S_o$ ) ve bir nesnenin içinde ( $S_i$ ) olmak üzere iki adet gölge alanı oluşturmaktadır. Bu alanların sınırları ise toplamda dört adet eğri parçasına ( $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$ ) karşılık gelmektedir (Şekil 2d). Şekilden de anlaşılacağı üzere, bu dört eğri parçasından iki tanesi ( $\delta_2$  ve  $\delta_4$ ) dairesel nesnenin sınırlarını tanımlamaktadır. Dolayısıyla bu eğri parçalarından bir tanesinin veya ikisinin birden tanımlanabilmesi halinde nesnenin sınırlarını çıkartmak mümkün olabilecektir.

Geliştirilen ilk iki kısıt çıkarılan eğri parçalarının ( $\delta_j$ ) geometrisiyle ilgilidir. İlk kısıt ( $\xi_1$ ) aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\xi_1 = |90 - \theta| = |90 - \arccos(\mathbf{l} \cdot \mathbf{v})|, \quad (1)$$

Eş. (1)'de  $(\cdot)$  and  $|\cdot|$  operatörleri sırasıyla nokta çarpımını ve mutlak değeri,  $\mathbf{l}$  Şekil 2'deki A ve B noktaları arasındaki

normalize yön vektörünü ve  $\mathbf{v}$  aydınlatma yön vektörünü temsil etmektedir. Burada ideal şartlarda (örn. paralel izdüşüm) iki yön vektörü birbirine dik açı oluşturmalı ve  $\xi_1$  sifira eşit olmalıdır. Fakat çeşitli nedenlerden dolayı (perspektif izdüşüm, çekim şartlarında oluşan bozulmalar, gölge alanların hatalı



Şekil 2. Boş bir dairesel nesnenin simülasyonu. (a) Perspektif projeksiyon, (b) paralel projeksiyon, (c) Simülasyon sonucu ortaya çıkan iki gölge alanı ( $S_o$  ve  $S_i$ ) ve (d) bu iki gölge alanının sınırlarını oluşturan dört eğri parçası ( $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$ ).

bulunması vb.) bu mümkün olamamaktadır. Bu nedenle belirli bir eşik değeri ( $T_1$ ) ile bu kısıt uygulanmaktadır.

Dairesel nesnelere geometrisiyle ilgili olan ikinci kısıt ( $\xi_2$ ) ise aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$\xi_2 = \frac{\min[r_{pro}^j, r_{can}^j]}{\max[r_{pro}^j, r_{can}^j]}, \quad (2)$$

Eş. (2)'de  $\min[\cdot]$  and  $\max[\cdot]$  operatörleri sırasıyla iki değer arasında minimum ve maksimum değerleri hesaplamaktadır. Yine aynı eşitlikte  $r_{can}^j$ ,  $\delta_j$  eğri parçası kullanılarak hesaplanan dairesel nesnenin yarıçapını,  $r_{pro}^j$  ise AB doğrusundan elde edilen yarıçap uzunluğunu ifade etmektedir. İdeal şartlarda bu iki yarıçap değeri birbirine eşit olmalı ve dolayısıyla  $\xi_2$  bire eşit olmalıdır. Fakat yine bir önceki kısıt için belirtilen çeşitli nedenlerden dolayı  $\xi_2$  bire eşit olamamaktadır. Bu nedenle bu kısıtta yine bir eşik değeri kullanılarak uygulanmaktadır ( $1 \geq \xi_2 > T_2$ ).

Üçüncü kısıt ( $\xi_3$ ) ise eğri parçalarının dairesel bitki nesnelere sınırlarına ait olup olmadığını test etmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu amaçla her aday eğrinin belirli bir piksel komşuluğunda (3 piksel) ve güneşin geliş yönünün tersi yönünde bir arama alanı oluşturulmuş ve bu alanın içinde bitki örtüsü olup olmadığı incelenmiştir:

$$\xi_3 = \frac{|s_r^v|}{|s_r|}, \quad (3)$$

Eş. (3)'te  $|\cdot|$  toplam piksel sayısını,  $s_r$  oluşturulan arama alanını,  $s_r^v$  ise bitki örtüsü maskesi ( $M_v$ ) kullanılarak arama alanının içinde bulunan bitki alanlarını tanımlamaktadır. Yine bu kısıtta belirli bir eşik değeri ( $T_3$ ) ile uygulanmaktadır.

Dördüncü kısıt ise eğri parçalarının dairesel bir nesnenin sınırlarına ait olup olamayacağını test etmek amacıyla geliştirilmiştir. Burada üçüncü kısıtta uygulanana benzer bir şekilde temizlenmiş gölge maskesi ( $M_{ps}$ ) kullanılarak eğrilerin güneşin geliş geliş yönünün tersi yönünde bir arama alanı oluşturulmuş ve bu alanın içinde gölge bilgisi olup olmadığı araştırılmıştır:

$$\xi_4 = \frac{|s_r^{ps}|}{|s_r|} . \quad (4)$$

Eş. (4)'te  $|\cdot|$  toplam piksel sayısını,  $s_r$  oluşturulan arama alanını,  $s_r^{ps}$  ise temizlenmiş gölge maskesi ( $M_{ps}$ ) kullanılarak arama alanının içinde bulunan gölge alanlarını tanımlamaktadır. Yine bu kısıtta belirli bir eşik değeri ( $T_4$ ) ile uygulanmaktadır.

Bu dört kısıt tüm eğri parçalarına sırasıyla uygulanmıştır. Fakat dairesel bir nesneye ait olmayan eğri parçalarından da bütün kısıtları sağlayanlar olabilmektedir (Şekil 3b). Bu nedenle kısıtları sağlayan tüm eğri parçaları *aday eğri parçaları* olarak tanımlanmış ve nesnenin dış kısmındaki gölgeden elde edilenler ( $\delta_{oj}^c$ ) ve iç kısmındaki gölgeden elde edilenler ( $\delta_{ij}^c$ ) olarak iki sınıfa otomatik olarak ayrılmıştır (Şekil 3b).

### 2.3 Dairesel Nesnelerin Bulunması

Dairesel nesnelerin bulunması iki farklı aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada dairesel nesnelerin iç ve dış kısımlarında gölge olan ve dolayısıyla bu gölgelerden karşılıklı olarak aday eğri parçaları elde edilenler ele alınmıştır. Şekil 3'ten görüleceği üzere bu durumdaki dairesel nesnelere kırmızı ve mavi renkte iki farklı eğri parçası bulunmakta ve bu eğri parçaları birbirlerini tamamlamakta ve dairesel nesnenin sınırlarını tanımlamaktadır. Bu nedenle ilk olarak karşılıklı olarak birbirini tamamlayan bu eğri parçaları ele alınmıştır. Bu aşamada her  $\delta_{oj}^c$  eğri parçası için yay şeklinde bir arama alanı tanımlanmış ve karşısındaki  $\delta_{ij}^c$  eğrisi (veya eğrileri) ile eşleştirilmiştir. Bu test sırasında öncelikle  $\delta_{oj}^c$  eğri parçasına sağlam bir şekilde daire uydurulmuş (Taubin, 1991) ve olası dairenin merkez nokta ( $\mathbf{c}_{can}^j$ ) ve yarıçap ( $r_{can}^j$ ) bilgileri elde edilmiştir. Devamında ise  $\delta_{oj}^c$  eğri parçasına ait her piksel ( $\mathbf{x}^j$ ) ile olası dairenin merkez noktası ( $\mathbf{c}_{can}^j$ ) arasında birim yön vektörü ( $\mathbf{u}^j$ ) aşağıdaki formülle

$$\mathbf{u}^j = \frac{\mathbf{x}^j - \mathbf{c}_{can}^j}{\|\mathbf{x}^j - \mathbf{c}_{can}^j\|} , \quad (5)$$

hesaplanmıştır. Eş. (5)'te  $\|\cdot\|$   $\ell_2$  normunu belirtmektedir. Devamında belirli bir  $d$  mesafesi için arama alanının herhangi bir pikselinin yeri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

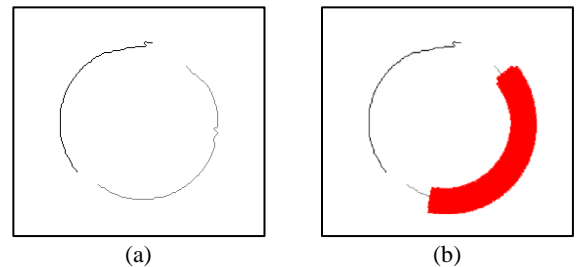
$$\mathbf{s}_{\mathfrak{D}}^j = [-\mathbf{u}^j(r_{can}^j - d) + \mathbf{c}_{can}^j + \mathbf{p}] . \quad (6)$$

Eş. (8)'de  $\mathbf{s}_{\mathfrak{D}}^j$  oluşturulacak arama alanının bir pikselini,  $\mathbf{p} = [0.5 \ 0.5]$  şeklindeki sabit bir vektörü,  $[\cdot]$  ise herhangi bir sayıyı aşağı doğru tamsayıya yuvarlayan operatörü tanımlamaktadır.

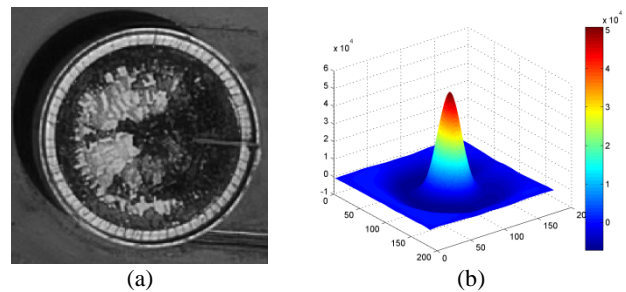


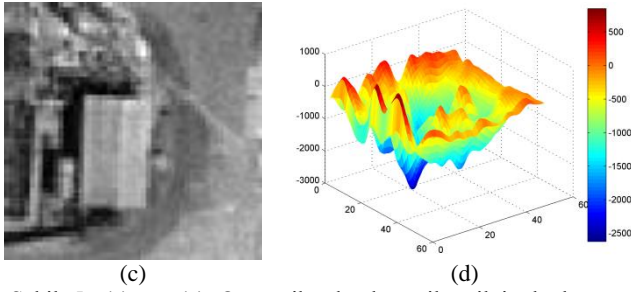
Şekil 3. (a) GeoEye-1 görüntüsü, (b) aday eğri parçaları. Dairesel nesnenin dış kısmına ( $S_o$ ) ve iç kısmına ( $S_i$ ) ait bulunan eğri parçaları sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmiştir. Böylece verilen  $d_r = \{-d, -d+1, \dots, d-1, d\}$  şeklindeki bir girdi için arama alanının tüm pikselleri Eş. (6) ile hesaplanabilmekte ve  $\delta_{oj}^c$  eğrisi için arama alanı ( $s_{\mathfrak{D}}^{oj}$ ) oluşturulmaktadır (Şekil 4). Devamında arama alanı içerisinde (bir veya daha fazla)  $\delta_{ij}^c$  eğri parçası bulunursa  $\delta_{oj}^c$  ve  $\delta_{ij}^c$  karşılıklı eğri parçaları olarak etiketlenmekte ve dairesel nesnenin sınırları bu eğri parçaları beraber kullanılarak yine (Taubin, 1991) yöntemi kullanılarak tahmin edilmektedir.

Herhangi bir karşılıklı eğri parçası bulamayanlar için ise yeni bir kontrollü dairesel Hough dönüşümü geliştirilmiştir (Ok, 2014). Bu dönüşüm klasik dairesel Hough dönüşümünün gerekli olan parametrelerini her eğri parçası için tahmin edip her eğri parçası için bir ilgi alanı (ROI) üretmektedir. Devamında bu ilgi alanı içerisinde dairesel Hough dönüşümü sonuçlarına göre dairesel nesne olup olmadığı kararı verilmektedir. İlgi alanı içerisinde bir dairesel nesne bulunması halinde Şekil 5a'da görüldüğü üzere nesnenin merkez noktasında bir kümelenme gözlenmektedir. Böylece nesnenin parametreleri (merkez nokta ve yarıçap) elde edilmektedir. Eğer böyle bir kümelenme gözlenmemişse (Şekil 5b) ilgili eğri parçası elenmektedir.



Şekil 4.  $\delta_{oj}^c$  (siyah) ve karşısındaki  $\delta_{ij}^c$  (gri) aday eğri parçaları ve (b)  $\delta_{oj}^c$  için üretilen arama alanı  $s_{\mathfrak{D}}^{oj}$  (kırmızı).





Şekil 5. (a) ve (c) Otomatik olarak seçilen ilgi alanları ve kontrollü Hough dönüşümü birikim değerleri.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada kullanılan GeoEye-1 (50 cm) test görüntüleri, 4-bantlı (M, Y, K, YKÖ) ve 11 bit radyometrik çözünürlüğe sahiptir. Önerilen yaklaşımın sağlıklı bir şekilde değerlendirilmesi amacıyla farklı çekim koşullarının yanı sıra endüstriyel açıdan da farklılıklar gösteren 12 test görüntüsü seçilmiştir. Bu görüntülerdeki dairesel nesnelere ait referans veriler deneyimli bir operatör tarafından çizilmiştir. Elde edilen sonuçların kalitesini değerlendirebilmek amacıyla obje-tabanlı kesinlik, geri getirme ve  $F_1$  skoru performans ölçütleri (Ok, 2014; Ok ve Baseski, 2015) kullanılmıştır. Yöntem sonucunda elde edilen dairesel nesnelere ait parametre (merkez nokta ve yarıçap) kalitesinin ortaya koyulabilmesi amacıyla elde edilen dairesel nesnelere ve referans nesnelere ait parametre değerleri karşılaştırılmış ve Ortalama Kare Hata (RMS) değerleri hesaplanmıştır. Önerilen yöntem herhangi bir operatör desteği olmaksızın çalışabildiğinden yöntemin ihtiyacı olan parametreler tanımlandığında hızlı bir şekilde kullanılabilir. Gerekli tüm parametreler daha önce yapılan bir çalışmada geniş kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır (Ok, 2014). Bu nedenle bütün test görüntüleri için kullanılacak parametreler sabitlenmiştir.

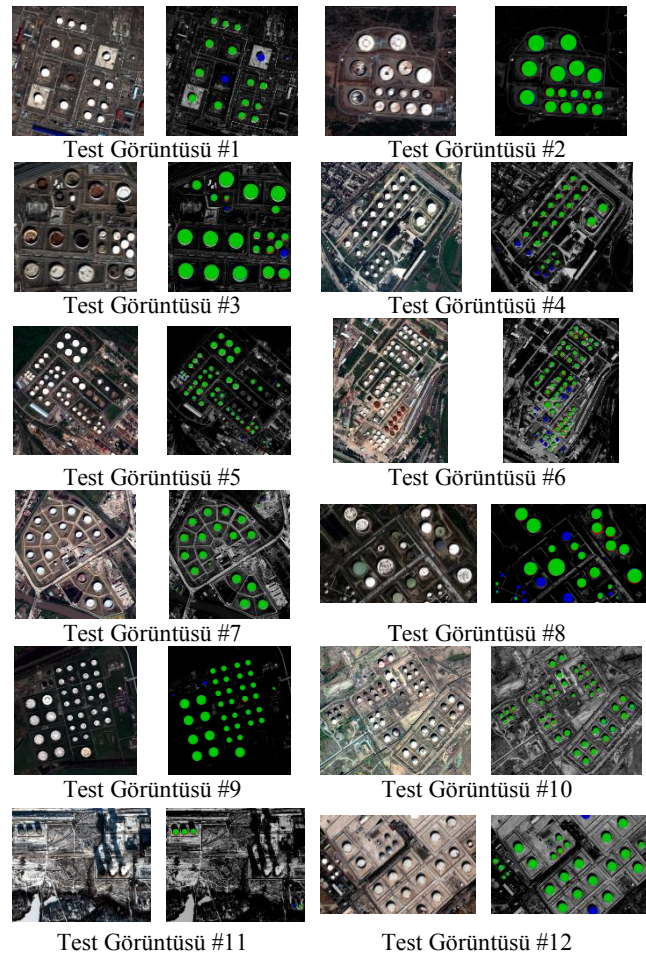
Elde edilen görsel sonuçlar Şekil 6'da sunulmuştur. Bu sonuçlara göre geliştirilen yaklaşım endüstriyel alanlardaki dairesel nesnelere tespit edilmesi için etkin bir yöntem olarak görünmektedir. Dairesel nesnelere, çatı rengi, dokusu, şekil ve boyut gibi test görüntülerindeki karmaşık karakteristiklerine rağmen başarılı bir şekilde belirlenebilmiştir. Aynı zamanda geliştirilen yaklaşımın sonuçları dairesel alanların parametre değerlerine de yakınsamaktadır. Nitekim Tablo 1'de elde edilen sonuçlar bu yorumları desteklemektedir. Tüm alanlar için hesaplanan genel kesinlik ve geri getirme oranları sırasıyla %99.1 ve %82.7'dir. Tüm 12 test görüntüsü için hesaplanan  $F_1$  skoru yaklaşık olarak %90 civarındadır. Hesaplanan parametre sonuçları da yöntemin başarısını ortaya koymaktadır. Tüm test alanları için elde edilen merkez nokta ve yarıçap RMS değerleri sırasıyla 2.67 ve 2.17 piksel olarak hesaplanmıştır. Test görüntülerindeki zorluklar ve karmaşık görüntüleme şartları dikkate alındığında, geliştirilen yaklaşımın gelecek vadede bir performansa sahip olduğu düşünülmektedir.

### 4. SONUÇLAR

Yüksek çözünürlüklü hava ve/veya uydu görüntülerinden (3-boyutlu) otomatik nesne elde edilmesi son yıllardaki modern fotogrametri ve uzaktan algılama uygulamalarındaki en önemli araştırma konularından birisi haline gelmiştir. Otomatik olarak elde edilmeye çalışılan nesnelere içerisinde dairesel hedefler farklı depolama alanlarını ve nesnelere tanımlaması açısından önemli bir yere sahiptir. Bu bağlamda bu çalışmada yeryüzündeki Petrol ve Yağ Ürünlerine (POL) ait depoların konumlarını uydu görüntülerinden otomatik olarak tespitini

gerçekleştirecek yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem literatürdeki diğer yöntemlerin aksine dairesel POL depolarının gölge alanlarına odaklanmaktadır. Bu sayede gölge bilgisinin otomatik olarak bulunabildiği görüntülerde başarıyla uygulanabilmektedir.

Yöntemin test edilmesi amacıyla farklı GeoEye-1 uydu görüntülerinden (0.5 m) 12 endüstriyel test alanı seçilmiştir. GeoEye-1 görüntüleri üzerinde yapılan değerlendirmeler, geliştirilen yaklaşımın dairesel nesnelere uydu görüntülerinden sağlam bir şekilde belirleyebilme kabiliyetine sahip olduğunu göstermektedir. İlerleyen çalışmalarda, gölge bilgisinin yanı sıra dairesel nesnelere ait radyal simetri bilgisi kullanılarak yöntemin gölgeye olan bağımlılığı azaltılacaktır (Ok ve Başeski, 2015). Bundan başka olarak eliptik nesnelere bulunmasında da geliştirilen yöntem temel alınabilir. Bu sayede eğik açıyla çekilmiş görüntülerde de dairesel nesnelere bulunması mümkün olacaktır. Son olarak, bulunan nesnelere üç-boyutlu sunumunun da gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.



Şekil 6. GeoEye test görüntüleri ve elde edilen sonuçlar. Doğru-pozitif, yanlış-pozitif ve yanlış-negatif bölgeler sırasıyla yeşil, kırmızı ve mavi renklerle gösterilmiştir.

Test Görüntüsü	Obje-Tabanlı Performans (%)	RMS (piksel)
	Keskinlik – Geri-getirme – F <sub>1</sub> -skoru	Merkez – Yarıçap
#1	100 – 82.4 – 90.3	1.31 – 0.58
#2	100 – 100 – 100	4.42 – 2.25
#3	95.5 – 91.3 – 93.3	3.90 – 2.49
#4	100 – 74.1 – 85.1	2.50 – 0.96
#5	97.8 – 83.3 – 90.0	2.12 – 1.47
#6	100 – 72.5 – 84.0	2.04 – 2.77
#7	100 – 84.0 – 91.3	1.78 – 0.81
#8	100 – 65.6 – 79.3	3.55 – 2.46
#9	100 – 87.8 – 93.5	2.51 – 2.15
#10	100 – 100 – 100	2.39 – 2.24
#11	100 – 80.0 – 88.9	5.39 – 2.40
#12	96.0 – 82.8 – 88.9	2.42 – 3.02
<b>Genel</b>	<b>99.1 – 82.7 – 90.2</b>	<b>2.67 – 2.17</b>

Tablo 1. Geliştirilen yöntemin Objeye-Tabanlı ve RMS performans değerleri

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan GeoEye-1 test verileri HAVELSAN A.Ş. tarafından sağlanmıştır.

## KAYNAKLAR

Awrangjeb, M., Lu, G., 2008. Robust Image Corner Detection Based on the Chord-to-Point Distance Accumulation Technique. *IEEE Transactions on Multimedia*, 10(6), pp. 1059-1072.

Chen, A., 2009. Method for rapidly detecting circular-object clusters in large remote sensing images. In: International Conference on Information Technology and Computer Science, pp. 530-533.

Han, X., Fu, Y., 2012. Circular array targets detection from remote sensing images based on saliency detection. *Optical Engineering*, 51(2), pp. 1-11.

Han, X., Fu, Y. and Li, G., 2011. Oil depots recognition based on improved hough transform and graph search. *Journal of Electronics & Information Technology*, 33(1), pp. 66-72.

Kushwaha, N., Chaudhuri, D. and Singh, M. 2013. Automatic bright circular type oil tank detection using remote sensing images. *Defence Science Journal*, 63(3), pp.298-304.

Li, H., 2006. Automatic recognition and extraction of oil tanks from high-resolution remotely sensed images. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36 (Part 7).

Loy, G., Zelinsky, A., 2003. Fast radial symmetry for detecting points of interest. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 25(8), pp. 959-973.

Ok, A.O., 2013. Automated detection of buildings from single VHR multispectral images using shadow information and graph

cuts. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 86(2013), pp. 21-40.

Ok, A.O., 2014. A new approach for the extraction of aboveground circular structures from near-nadir VHR satellite imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(6), pp. 3125-3140.

Ok, A.O., Baseski, E., 2015. Circular Oil Tank Detection From Panchromatic Satellite Images: A New Automated Approach, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 12(6), pp.1347-1351.

Otsu, N., 1975. A threshold selection method from gray-level histograms. *Automatica*, 11, pp. 285-296.

Taubin, G., 1991. Estimation of planar curves, surfaces, and nonplanar space curves defined by implicit equations with applications to edge and range image segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13(11), pp. 1115-1138.

Teke, M., Başeski, E., Ok, A.Ö., Yüksel, B., Şenaras, Ç., 2011. *Multi-Spectral False Color Shadow Detection*, Photogrammetric Image Analysis. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 109-119.

Weisheng, Z., Hong, Z., Chao, W. and Tao, W., 2005. Automatic oil tank detection algorithm based on remote sensing image fusion. In: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), pp. 3956-3958.

Zerman, E., Bati, E., Akar, G.B., Baseski, E. and Duzgun, S., 2014. Circular target detection algorithm on satellite images based on radial transformation. In: Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), pp. 1790-1793.

Zhu, C., Liu, B., Zhou, Y., Yu, Q., Liu, X. and Yu, W., 2012. Framework design and implementation for oil tank detection in optical satellite imagery. In: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) pp. 6016-6019.