



Detection of buried anti-personnel mines in thermal images by circular hough transformation supported active thermography method

Murat Kılınç¹ , Haluk Gözde^{2*} 

¹National Defense University, Alparslan Defense Institute, Ankara, 06654, Turkey

²National Defense University, Military Academy, Electronic and Communication Department, Ankara, 06654, Turkey

Highlights:

- The obtained time series images by using active thermography can be noisy to detect buried mines.
- The circular Hough transformation is one of the useful methods to determine an object in a noisy image.
- The success of the method is demonstrated by experimental study.

Keywords:

- Plastic AP mines
- Noisy image
- Image processing
- Circular Hough Transformation supported active thermography

Article Info:

Research Article
Received: 03.01.2019
Accepted: 07.07.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.507225

Correspondence:

Author: Haluk Gözde
e-mail: hgozde@kho.edu.tr
phone: +90 312 417 51 90

Graphical/Tabular Abstract

The determination of plastic AP mines is very difficult with current detection methods in field. They are also very dangerous and deadly for the soldiers and civils as well. Current researches about solving this problem at the field of both theoretical and practical are continued worldwide. Although there are many developed techniques in literature, the image processing based techniques are more useful than others in the literature due to their relatively simple implementation. In this study, the image processing based technique supported active thermography is also proposed in order to detect the plastic AP mines buried at the field. On the other hand, the usage of only image processing based techniques is inadequate for images having much noisy. For this reason, these techniques need to support with the other mathematical approaches. As a support approach, the circular Hough transformation technique is applied to the images processed by standard image processing techniques supported active thermography. At the end of the study, the proposed technique based on image processing supported active thermography is useful to detect plastic AP mines buried under the sand on images having noisy.

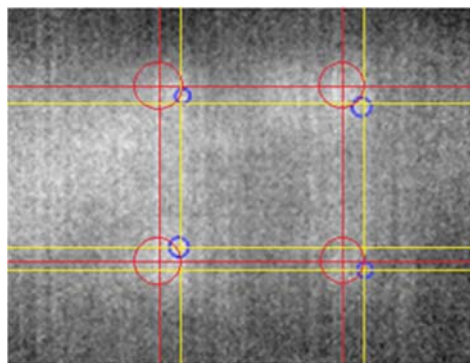


Figure A. Validation analysis

camera and the other mechanical parts is first established in the laboratory. After the thermal images time series are collected from this setup, the image processing techniques are applied to the noiseless 10th image and the noisy 100th image chosen from the time-series. To separate the mine geometry from the noisy image, circular Hough transformation is applied to the 100th image.

Results:

The active thermal thermography method is applied to the buried plastic AP mines into the experimental setup. For active thermography, the sand surface was heated with an infrared heater from a height of 50 cm for 5 minutes with 2400 W power. The results show that the circular Hough transformation is successful in this experimental application, because the presences and exact positions of the buried four mines are clearly found from the noiseless 10th image, and their approximate locations which is in the circle having the real mine radii are also found from the noisy 100th image as well.

Conclusion:

The detection of plastic AP mines is very difficult with current detection methods in field. They are also very dangerous and deadly for the soldiers and civils as well. The proposed circular Hough transformation based active thermography method is promising in terms of its easy technical process and implementation, because it is successful to determine the presences and exact positions of the buried plastic AP mines as mentioned above.

Purpose: In order to determine the circular geometry of the plastic anti-personnel (AP) mine in the thermal image from the high-noise images, in addition to the image processing techniques, a mine detection algorithm based on the circular Hough transformation is performed and the experimental results are presented to the literature.

Theory and Methods:

The experimental study is performed in order to determine the circular geometry of the plastic anti-personnel mine in the thermal image from the high-noise images. For this purpose, the experimental setup including the sandbox, the imitation DM-11 plastic anti-personnel mines stuffed with beeswax whose thermal characteristic is similar to TNT, FLIR T 650 SC thermal



Termal görüntülerdeki gömülü plastik anti-personel mayınlarının dairesel hough dönüşümü destekli aktif termografi yöntemi ile tespiti

Murat Kılınç¹, Haluk Gözde^{2*}

¹Milli Savunma Üniversitesi, Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü, 06654 Çankaya Ankara, Türkiye

²Milli Savunma Üniversitesi, Kara Harp Okulu, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, 06654 Çankaya Ankara, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Plastik anti personel mayınının tespiti
- Aktif Termografi yöntemi
- Dairesel Hough dönüşümü

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 03.01.2019

Kabul: 07.07.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.507225

Anahtar Kelimeler:

Plastik anti personel mayını,
görüntü işleme,
dairesele Hough dönüşümü,
termografi

ÖZET

Günümüzde, gömülü plastik anti-personel mayınlarının tespit edilmesi teknolojik olarak oldukça zor ve üzerinde halen güncel olarak çalışılan önemli bir teorik ve uygulamalı araştırma alanıdır. Bu konuda, literatürde farklı yöntemler geliştirilmesi ile beraber termal görüntüleme yöntemi gerek nispeten uygulanmasının kolay olması ve gerekse maliyet etkinliği ile tercih edilen bir yöntemdir. Bu çalışmada, plastik anti-personel mayınının termal görüntüde oluşturduğu dairesel geometrinin, görüntü oranı yüksek görüntülerden de tespit edilebilmesi amacıyla görüntü işleme tekniklerine ilave olarak dairesel Hough dönüşümüne dayalı yeni bir mayın tespit algoritması gerçekleştirilmiş ve deneysel sonuçları literatüre sunulmuştur. Sonuçlar, önerilen yöntemin umut vaat edici olduğunu göstermektedir.

Detection of buried anti-personnel mines in thermal images by circular hough transformation supported active thermography method

H I G H L I G H T S

- Detection of plastic anti-personnel mines
- Active Thermography method
- Circular Hough transformation

Article Info

Research Article

Received: 03.01.2019

Accepted: 07.07.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.507225

Keywords:

Plastic anti-personnel mines,
image processing,
circular hough
transformation

ABSTRACT

Nowadays, the detection of buried plastic anti-personnel mines is an important theoretical and applied research area which is technologically very difficult and is currently being studied. In this regard, with the development of different methods in the literature, thermal imaging method is a preferred method with its relatively easy application and cost efficiency. In this study, in order to determine the circular geometry of the plastic anti-personnel mine in the thermal image from the high-noise images, in addition to the image processing techniques, a new mine detection algorithm based on the circular Hough transformation is performed and the experimental results are presented to the literature. The results show that the proposed method is promising.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: muratarda23@gmail.com, hgozde@kho.edu.tr / Tel: +90 312 417 51 90

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kara mayınları, harp araçlarını ve personelini etkisiz hale getirmek veya engellemek amacıyla çeşitli metotlar ile toprağın veya başka bir yüzeyin altına, üstüne veya yanına dökülerek kullanılan, üzerine uygulanan basıncın etkisi ile tetiklenen ve genellikle silahın etkisine maruz kalan araç ya da personelin, silahı kullanan tarafından bilinmediği patlayıcı bir silahtır. Söz konusu silahın nizami harp içerisindeki legal kullanım alanına karşılık gayri nizami harp içerisindeki kontrolsüz kullanımı, askeri personelle birlikte çoğu zaman her yaşta sivil insanların da zarar görmesine sebep olabilmektedir. Günümüzde, kara mayınları ile mücadele, söz konusu mayınların tespiti ve sonrasında da kontrollü imhası ile gerçekleştirilir. Bu kapsamda, nizami harp alanında kontrollü döşenmiş ya da gayri nizami harbin gerçekleştirilebileceği her yerdeki kontrolsüz döşenmiş kara mayınlarının tespiti, özellikle dünyanın çatışmalar yaşanan sorunlu bölgelerinde insanlığın sosyal, askeri ve teknolojik alanındaki önemli mücadele konularından birisini oluşturur. Dolayısı ile söz konusu mayınların tespiti, günümüzde üzerinde güncel olarak çalışılan önemli bir teorik ve uygulamalı araştırma konusudur.

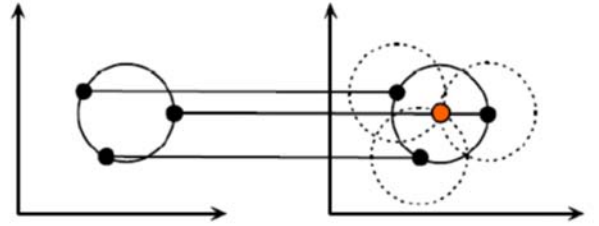
Kara mayınlarını, hedef türüne göre anti-personel (AP) mayını ve anti-tank (AT) mayını olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Özellikle, küçük boyutlu olması ve metal ya da metal olmayan malzemeden üretiliyor olması diğer mayınlara göre plastik AP mayınlarının geleneksel metal detektörleri kullanarak tespitini daha da zorlaştırır [1]. Günümüzde, plastik gövdeli AP mayınlarının tespitine yönelik olarak teknolojik gelişmelere paralel yere nüfuz eden radar, ultrasonik sensör ve termal görüntüleme tekniği gibi birçok yeni yöntem denenmektedir [2, 3, 4]. Bunlardan, termal görüntüleme tekniği özellikle uygulama kolaylığı ve maliyet etkinliği yönünden tercih edilen bir yöntemdir [5].

Termal görüntüleme, cisimlerin yüzeyinden yayılan sıcaklığın ölçülmesine ve görüntülenmesine dayanan bir tekniktir. Ölçülen sıcaklık, cisimlerin karakteristik kızıl ötesi ışınımı ya da harici ısınma yoluyla kazandığı ısı enerjisinden kaynaklı olabilmektedir. Termal görüntüleme, literatürde özellikle tespiti zor metalik olmayan mayınların tespiti için umut vaat eden bir yöntem olarak görülmektedir. Yöntem, toprak altında gömülü mayının ve toprak yüzeyinin farklı ısı özelliklerine sahip olmasından dolayı yüzeyin görüntülenerek toprağın altında gömülü mayınların tespit edilmesi ve/veya diğer gömülü cisimlerden ayırt edilmesine dayanır [6]. Genel olarak, termal görüntüleme işlemi pasif veya aktif olarak yapılabilmektedir. Harici bir ısı kaynağının kullanılmadığı ve mevcut kızılötesi ışınımın algılandığı yöntem pasif görüntüleme olarak adlandırılır. Bu durumda, görüntülenen yüzeyin sıcaklığı zamana bağlı olarak çok fazla değişim göstermez. Ancak bu durum, termal görüntülerden istenen sonuçların alınmasını büyük ölçüde kısıtlar. Aktif görüntüleme yönteminde ise ilave bir ısı kullanılır ve bu sayede yüzeydeki ısı farklılıklar hızla ortaya çıkarılarak hızlı ve net sonuçlar alınabilir [7].

Bu çalışmada da bir aktif termal görüntüleme sisteminin deneysel çalışması yapılmış ve literatüre katkı olarak, plastik AP mayınına ait termal görüntüde oluşan dairesel geometrinin, gürültü oranı yüksek görüntülerden de tespit edilebilmesi amacıyla görüntü işleme tekniklerine ilave olarak dairesel Hough dönüşümüne dayalı bir mayın tespit algoritması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların, gürültü oranı yüksek görüntülerde de başarı oranını arttırması nedeniyle söz konusu mayınların tespiti için umut verdiği görülmüştür. Çalışmanın ikinci bölümünde plastik AP mayınlarının tespitinde termal görüntüleme uygulamasından bahsedilmiş, ardından Hough Dönüşümü ve deneysel çalışma ile sonuçları sunulmuş tartışılmıştır.

2. TERMAL GÖRÜNTÜLEME VE DAİRESEL HOUGH DÖNÜŞÜMÜ (THERMAL IMAGING AND CIRCULAR HOUGH TRANSFORMATION)

Mayın tespitinde termal görüntülerin kullanımı literatürde sık rastlanan çalışmalar içermektedir. Bununla beraber, atmosferik ve iklimsel nedenler, görüntünün alınma mesafesi, operatörden kaynaklı nedenler, bitki örtüsü, toprak yüzeyindeki homojen olmayan yapılar, zemin yüksekliğindeki değişiklikler, toprak tipi ve yüzeydeki diğer cisimler gibi birçok nedenden dolayı termal kamera görüntülerinde karmaşıklık ve gürültü meydana gelir. Bu sebeple termal görüntüleme sistemlerinde görüntü işleme teknikleri büyük öneme sahiptir [2]. Ayrıca, topraktaki ısısal değişimlerin daha iyi fark edilmesi amacıyla bir adet anlık görüntü kullanımı yerine bölgenin zamana bağlı görüntü serisinin kullanımı da görüntü işleme tekniklerinden istenen sonuçların alınması için yaygındır [8].



Şekil 1. Dairesel Hough Dönüşümü prensibi [12]
(The Circular Hough Transform principle [12])

Gömülü plastik AP mayınlarının termal görüntülenmesinde yeğlilik dönüşümleri, süzme, kenar zenginleştirme, görüntü onarma, morfolojik işleme, ikili sınırlama, bölütleme ve tanıma gibi yöntemler, literatürde sayısal görüntülere sıkça uygulanmaktadır [9]. Ancak, söz konusu görüntü işleme tekniklerinin tek başına kullanımı, alınan görüntülerin tanımlanması ve sınıflandırılması için her zaman yeterli olmayabilmektedir. Bu durumda, görüntülerdeki cisimlerin tanımlanması ve diğer cisimlerden ayırt edilebilmesi için şekil, boyut, ısı gibi özelliklerin de kullanılması gerekir. İkili kodlanmış bir imgede çizgi, daire gibi matematiksel formlerle ifade edilebilen şekilleri tanımak amacıyla Hough dönüşümü yaygın kullanılan bir yöntemdir [7].

Termal görüntü serilerinden elde edilen mayın görüntülerinin de daire şeklinde bir geometrik yapıya sahip olması nedeniyle Dairesel Hough Dönüşümü kullanılabilir bir yöntem olarak karşımıza çıkar. Hough dönüşümü, görüntü işleme çalışmalarında, yeterince net olmayan görüntülerdeki cisimlerin geometrik şekillerinin tespit edilebilmesi için kullanılan matematiksel bir yöntemdir. Görüntülerde, şekil tespitinin zorlaştığı yerlerde olasılıksal oylama ile cismin şekli elde edilemeye çalışılır. Dairesel Hough dönüşümü ise dairesel şekillerin belirlenmesi için kullanılır ve dairenin çevresi üzerindeki birkaç noktanın bilinmesi durumunda daire denkleminin çıkarılmasını sağlar (Şekil 1) [10]. Dairesel Hough dönüşümü temel akış şeması Şekil 2’de gösterilmiştir [11].

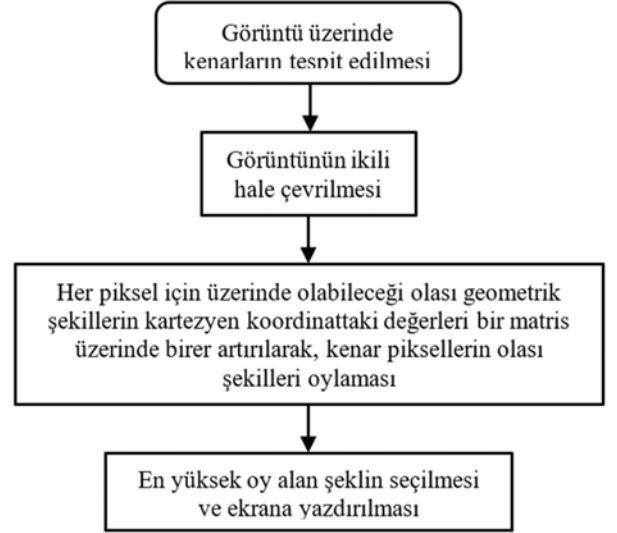
3. MAYIN TESPİTİ İÇİN ÖNERİLEN TERMAL GÖRÜNTÜLEME YÖNTEMİ (RECOMMENDED THERMAL IMAGING METHOD FOR MINE DETECTION)

Kızılötesi görüntülerde plastik AP mayınlarının tespitine yönelik geliştirilen yöntem dört ana bölümden oluşturulmuştur. Bu bölümler aktif termografi ile zaman serisi görüntü setinin elde edilmesi, gürültüyü azaltmak amacıyla filtreleme, kontrastı artırma ve histogram eşitleme yöntemlerinden oluşan ön işlem uygulanması, görüntüyü anlamlı alt parçalarına ayırmak için eşikleme, morfolojik işlemler sonrası bölütleme yapılması ve son aşamada mayının geometrik özellikleri ile bölütlenen görüntünün geometrik şeklini karşılaştırma esasına dayanan dairesel Hough dönüşümü algoritmasının uygulanmasıdır. Buna göre oluşturulan akış şeması Şekil 3’de gösterilmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Deneysel çalışma için Şekil 4’de gösterilen ve dört adet plastik AP eğitim mayını, termal kamera, kamera için platform, kum havuzu ve bir ısıtma ünitesinden oluşan düzenek kurulmuştur. Şekil 4a’da, 185x155x23 cm boyutlarındaki kum sandığı gösterilmiştir. Kum sandığının içine, Şekil 4b’de gösterilen ve içi balmumu doldurulmuş

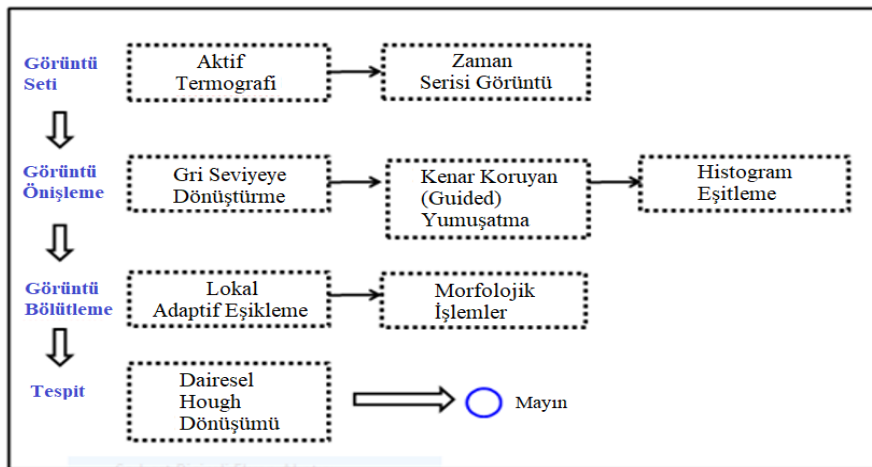
dört adet DM-11 (çapı çapı 8 cm, yüksekliği 3,5 cm) plastik AP eğitim mayını Şekil 4c’deki gibi 3cm derinlikte açılan çukurlara yerleştirilerek gömülmüştür. Balmumu, termal özellikleri TNT patlayıcı maddesine benzemesi nedeniyle seçilmiştir [1]. Ardından, FLIR T 650 SC model termal kamera 2x3 metre boyutlarındaki platforma, Şekil 4d’de gösterildiği gibi toprak yüzeyine dik ve 280 cm yükseklikte sabitlenmiştir. Elde edilen termal görüntülerin işlenmesi ve analizinde FLIR IR Research ve MATLAB programları kullanılmıştır.



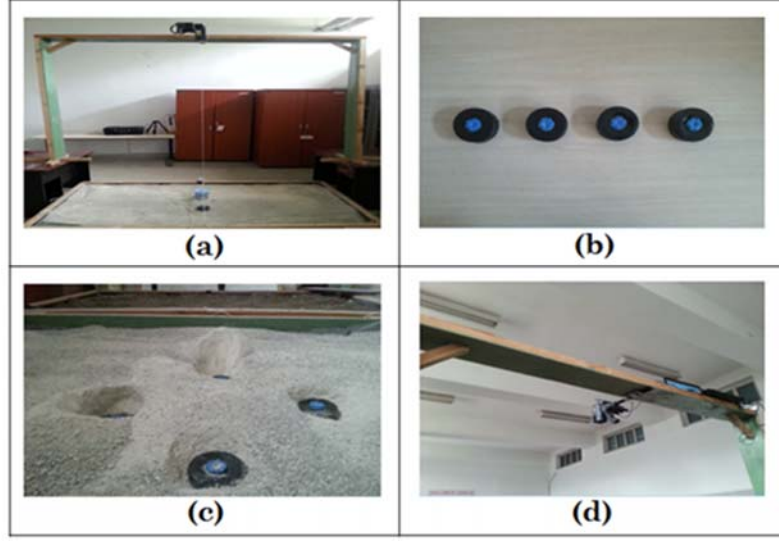
Şekil 2. Dairesel Hough Dönüşümü akış şeması (Circular Hough Transform flow chart)

4.1. Görüntü Setinin Elde Edilmesi (Obtaining an Image Set)

Görüntülerde mayınlara ilişkin gözlenebilir seviyede ısı farklılıklarının oluşması, mayınların gömülme derinliği ile doğru orantılı değişim göstermektedir. Yüzeyde veya yüzeyin hemen altındaki mayınlar daha hızlı ısınırken, derinlik arttıkça ısınma süreside artmaktadır. Isınma süresini kısaltmak ve buna karşılık ısınma miktarını arttırmak



Şekil 3. Geliştirilen yöntemle ilişkin akış şeması (Flow chart of the developed method)

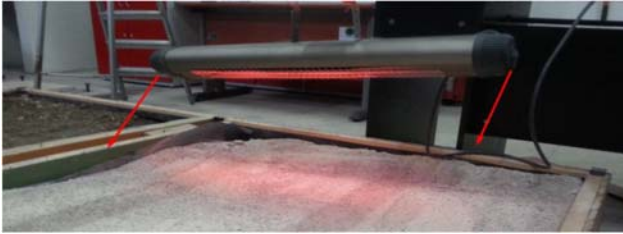


Şekil 4. Gerçekleştirilen deney düzeneği (Test setup)

maksadıyla mayınların gömüldüğü toprak yüzeyine aktif termografi uygulanmış ve yüzeyin zaman serisi görüntüleri alınmıştır.

4.1.1. Aktif termografi yöntemi ile ısıtma (Heating with active thermography method)

Aktif termografi için kum yüzeyi, kızıl ötesi bir ısıtıcı ile 50 cm yükseklikten 5 dk süre ile 2400 W güç kullanılarak ısıtılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Aktif termografi yöntemi için kurulan deney düzeneği (Experimental setup for active thermography method)

Aktif termografide; termal enerji uygulanan maddenin yüzeyi, gelen termal enerjinin bir kısmını emer ve difüzyon yoluyla madde boyunca yayar. Katı bir maddedeki termal enerji yayılımı, ısı denklemi olarak bilinen Fourier kısmi diferansiyel denklemi ile tanımlanır.

$$\rho(x).C(x).\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial x} = Q(x,t) \quad (1)$$

Burada, T x noktasının t zamanındaki sıcaklığını, C özgül ısıyı, ρ malzemenin kütle yoğunluğunu, ϕ ısı akısını ve Q birim zamanda birim hacim başına üretilen enerjiyi ifade etmektedir. Farklı derinlik ve tipteki gömülü mayınlar, üretiminde kullanılan malzemeler nedeniyle farklı ısı karakteristiklere sahiptir. Bu ısı farklılığı, termal kamera görüntüsünde gömülü mayının geometrik şekline benzer bir

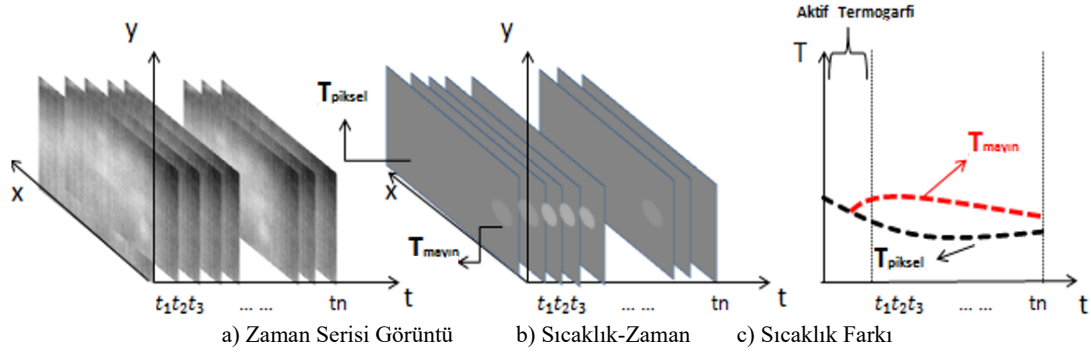
“sıcak nokta” olarak belirlemektedir. Gömülü mayınların üzerindeki toprağın sıcaklığı, genel olarak mayının çevresindeki toprağın ve topraktaki diğer cisimlerin sıcaklığından farklıdır [12]. Bu sıcaklık farklılığı, yüzeyin üstüne yerleştirilen bir termal kamera ile alınan görüntülerde analiz edilebilecek örüntü olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, ilgilenilen yüzeye bir ısı kaynağı (kızıl ötesi ısıtıcı, optik flaş lambası, halojen lamba, lazer vb.) ile ilave ısı akısı sağlanarak termal kamera ile alınacak görüntülerde görüntü kalitesini arttırmak için kontrast artırılmıştır. Bu yöntem, darbe aktif termografi tekniği olarak adlandırılmaktadır [13].

4.1.2. Zaman serisi görüntü setinin elde edilmesi (Obtaining time series display set)

Isıtma işleminden 1 dakika sonra ısıtılan yüzey, 280 cm mesafede ve platforma sabitlenen FLIR T 650 SC Termal Kamera ile 480x640 çözünürlükte ve JPEG formatında görüntülenmiştir. Soğuma safhası olarak adlandırılan bu safhada, her 1 dakikada bir görüntü alınarak yüz adet görüntüden oluşan bir zaman serisi görüntü veri seti elde edilmiştir (Şekil 6).

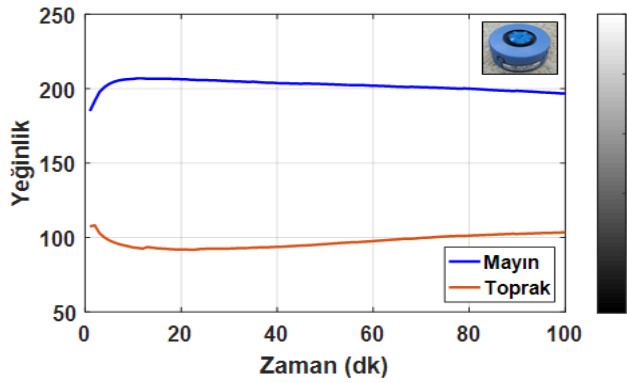
Şekil 6a’da termal kamera ile alınan yüz adet zaman serisi görüntü seti, Şekil 6b’de sıcaklık-zaman grafiğinden nesne bulunan yerlerdeki sıcaklık değerleri ile nesne bulunmayan yerlerdeki sıcaklık değerlerinin elde edilmesi, Şekil 6c’de ise karşılaştırma sonucu beklenen grafikler zaman-sıcaklık farkı olarak gösterilmiştir.

Yüz adet görüntüden oluşan veri seti MATLAB programında işlenmiş ve mayınlı alanlar ile arka plan olarak tanımlanan kumdan alınan piksel yeğlilik değerleri Şekil 7’de gösterilen sıcaklık değişim grafiğinde gösterilmiştir. Ayrıca, Şekil 8a, Şekil 8b, Şekil 8c ve Şekil 8d’de sırasıyla aktif termografi öncesi alınan görüntü ve veri setinin 10’uncu, 50’inci ve 100’üncü dakikasında alınan görüntüler sunulmuştur. Şekil 9a’da 10’uncu ve Şekil 9b’de de 100’üncü görüntünün üç



Şekil 6. Zaman Serisi Görüntü Seti (Time Series Display Set)

boyutlu gösterimi analiz edildiğinde, özellikle 100'üncü görüntüdeki gürültü etkisi açık olarak görülmüştür.



Şekil 7. Yüz adet görüntü serisi için yeşinlik değerleri karşılaştırması
(Comparison of intensity values for one hundred series of images)

Görüntü zaman serisinin yukarıda belirtilen analizi sonucunda, geliştirilen yöntem Şekil 7'de belirtilen grafikten faydalanılarak kontrastın en fazla olduğu 10'uncu görüntü ile kontrastın en düşük 100'üncü görüntü üzerinde uygulanmıştır.

4.2. Görüntü Ön İşleme (Image Preprocessing)

Sayısal görüntüler kullanılmadan önce ilk aşamada bir onarıma tabi tutulur. Onarım işlemi, sayısal görüntü içindeki gürültülerin giderilmesi, karşıtlık ve parlaklık ayarının yapılması ve sayısal görüntünün tamamını veya sayısal görüntünün bir kısmındaki yapay şekillerin çıkarılması işlemlerini kapsar [9]. Bu çalışmada, 10'uncu ve 100'üncü görüntülere uygulanan ön işlem adımları gri seviyeye dönüştürme, kenar koruyan yumuşatma, filtre uygulama ve histogram eşitleme adımlarından oluşturulmuştur.

4.2.1. Gri seviyeye dönüştürme (Convert to gray level)

R (Kırmızı), G (Yeşil), B (Mavi) kodlanmış görüntü seti, ileri adımlarda kullanılmak üzere değer aralıkları: $G=\{0, 1, 2, \dots, 255\}$ şeklinde ifade edilen gri seviye ile Şekil 10a ve Şekil 11a'da gösterilen görüntülere dönüştürülmüştür.

4.2.2. Kenar koruyan yumuşatma filtresi (Edge protection softening filter)

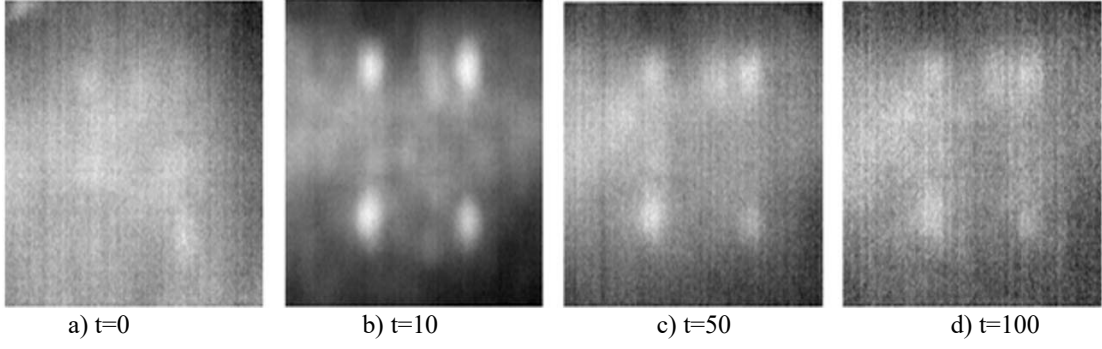
Termal görüntülerde, sayısal görüntü kaydeden cihazların sayısallaştırma hatası ve çevre koşullarının yetersizliğinden kaynaklanan birçok kayıp ya da gürültü oluşabilmektedir. Bu görüntülerde, istenen ayrıntıları ortaya çıkartmak veya istenmeyen gürültüleri yok etmek için görüntü işleme filtreleri kullanılmıştır. Gri seviyeye dönüştürülen termal görüntüler kenarları muhafaza ederken, diğer bölgeleri yumuşatmak ve gürültüyü gidermek için bir ön işlem basamağı olarak kenar koruyan filtre (Guided filtre) kullanılmıştır. Buna göre, termal görüntüler belirlenen yumuşatma derecesine göre pürüzsüzleştirilmiştir. 10'uncu ve 100'üncü görüntülere uygulanan filtreli görüntüler Şekil 10b ve Şekil 11b'de gösterilmiştir.

4.2.3. Histogram eşitleme (Histogram synchronization)

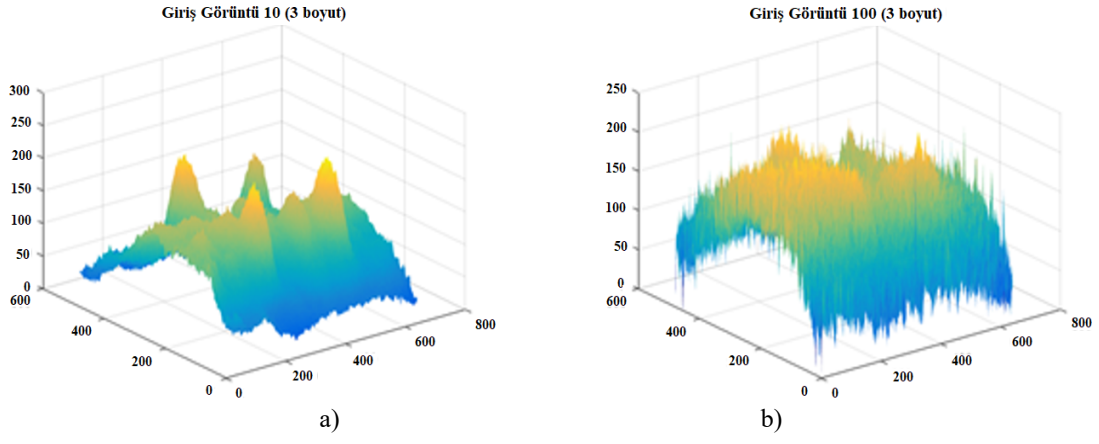
Histogram sayısal görüntülerde, piksel değerlerinin ağırlığının grafiksel bir gösterimidir. Histogramda frekans ve konum bilgisi bulunmaktadır. Histogramında gri seviyedeki belli bölgelerde birikme olan görüntülerin zıtlığı azdır ve histogram eşitleme uygulaması sonrasında daha iyi görüntü sonucu elde edilebilir [14]. Çalışmada, her iki görüntünün histogramları eşitlenerek, eşikleme öncesi kontrast artırılmıştır. Şekil 10c ve Şekil 10d ile Şekil 11c ve Şekil 11d'de görüldüğü gibi bu işlemde amaç gri seviye frekanslarının histogram üzerinde bir bölgede yığılma olmadan, düzgün bir şekilde dağılmasını sağlamaktır.

4.3. Görüntü Bölütleme (Image Segmentation)

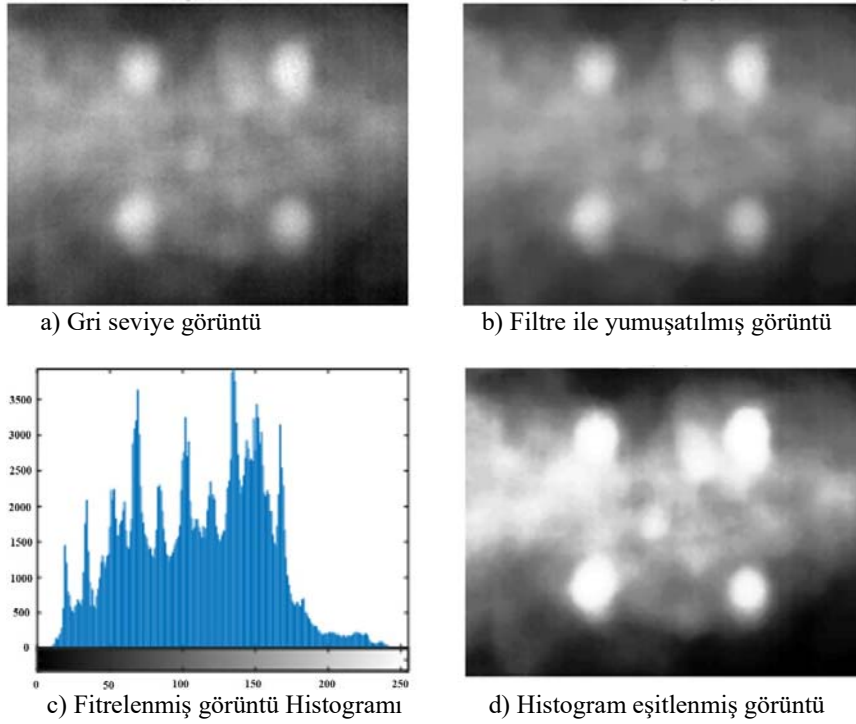
Bir nesne tanıma sistemi iki ana kısımdan oluşur. Bunlar, Bölütleme ve Tespit'tir. Nesne bölütleme işleminde, nesnelerin arka alandan ayrıştırılarak yerinin bulunması ve sınırlarının belirlenmesi amaçlanır. Verilen bir görüntüde aranan nesnelere birisinin olup olmadığını tespit etmek ve varsa yerini bulmak için nesne bölütleme yöntemleri kullanılır. Bir nesne tanıma sisteminde nesnelere sınıflandırmaya yarayacak özellikler çıkarılır. Bu özelliklerin dönme, yer değiştirme, ölçekleme gibi etkenlere karşı değişmez olması beklenir [15]. Termal görüntüde tespit edilen mayını diğer şekillerden ayırabilmek için bir veya birkaç özelliğe ihtiyaç duyulmaktadır.



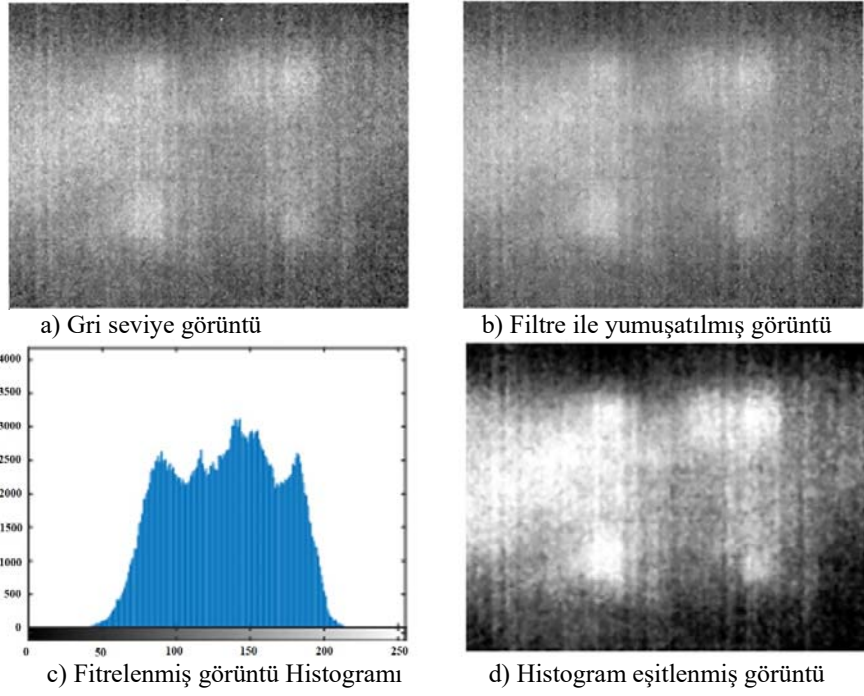
Şekil 8. Zaman serisi görüntü setinden alınan termal görüntü örnekleri (Examples of thermal images from a time series image set)



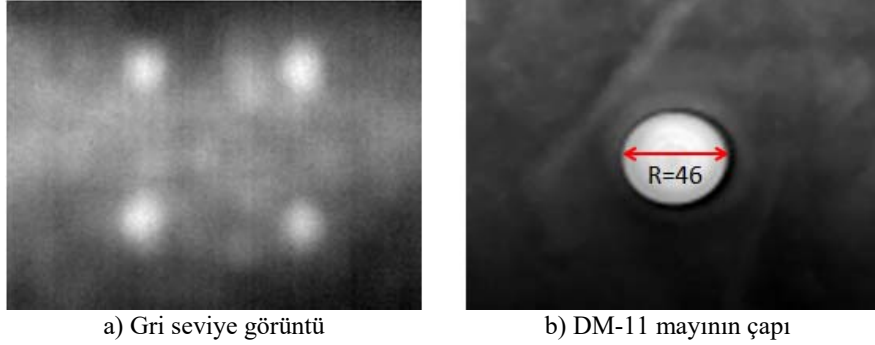
Şekil 9. 10'uncu ve 100'üncü görüntüler için üç boyutlu görüntü analizi (Three-dimensional image analysis for 10th and 100th images)



Şekil 10. 10'uncu görüntüye filtre ve histogram eşitleme uygulaması (10th image filter and histogram equalization application)



Şekil 11. 100'üncü görüntüye filtre ve histogram eşitleme uygulaması (Filter and histogram equalization to 100th image)



Şekil 12. Ayırt edici özellikler (Distinctive features)

Bu özellikler; yapılan çalışmada, Şekil 12a'da gösterilen ve ısı farklılığının yarattığı piksel değerleri ile Şekil 12b'de gösterilen mayının çapı (8cm, 46 piksel) ve geometrik şeklidir.

4.3.1. Eşikleme (Thresholding)

Eşiklemenin amacı sayısal görüntüyü ikili hale dönüştürerek özelliklerini belirlemede kolaylık sağlamaktır. Değişik gri ton seviyelerindeki görüntüyü siyah ve beyaz renkte göstermek üzere iki renk kullanılabilir [14]. En basit haliyle, T eşik değerinden daha yüksek gri seviye değerine sahip olan piksellere 1 değeri, eşik değerinden daha küçük değerlere sahip olan piksellere ise 0 değeri ataması yapılarak, görüntü daha basit bir biçime getirilmiş olur. Eşikleme yöntemleri, Bütünsel Eşikleme ve Yerel Uyarlamalı Eşikleme olmak üzere ikiye ayrılır. Bütünsel eşikleme yönteminde görüntü tek bir eşik değerine göre dönüştürülür. Diğer taraftan yerel

uyarlamalı eşikleme yönteminde ise bir pikselin komşuluğundaki bilgileri temel alarak her bir piksel için bir eşik değeri hesaplanır. Eşikleme sonucunda görüntüdeki pikseller, nesne veya arka plan olarak işaretlenmiş olur [9]. Bu çalışmada, görüntülere yerel uyarlamalı eşikleme yöntemi uygulanmıştır. Görüntülerde değeri 1 olan pikseller mayın olması muhtemel bölge, değeri 0 olan pikseller kum olarak tanımlanmıştır. Şekil 13a'da 10'uncu görüntüye ait ve Şekil 13b'de de 100'üncü görüntüye ait yerel uyarlamalı eşikleme yöntemi uygulanma görüntüleri sunulmuştur.

4.3.2. Morfolojik İşleme (Morphological Processing)

Matematiksel morfoloji, temel küme işlemlerine dayanan ve imgedeki kenarlar, iskelet benzeri yapıların tanımlanması ve çıkartılması, gürültü giderimi, bölütleme gibi uygulamalar için kullanılan bir araçtır. Görüntü işlemede genellikle, morfolojik süzgeç, inceltme, budama gibi ön veya son işlem

olarak da sıkça kullanılır [9]. Bu metodun temelinde iki morfolojik operatör olan aşınma ve genişleme yatar [16]. Temel ikili morfolojik işlemlerin matematiksel ifadeleri aşağıdaki denklemlerle tanımlanmıştır.

$$\text{Genişleme: } X \oplus B = \{p \in Z^2 : p = x + b, x \in X, b \in B\} \quad (2)$$

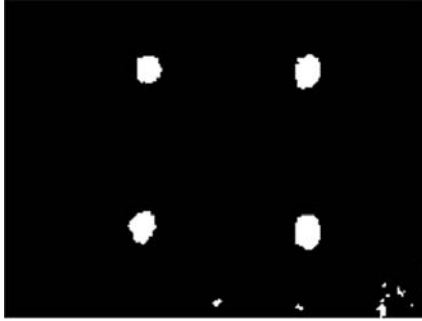
$$\text{Aşınma: } X \ominus B = \{p \in Z^2 : p + b \in X, \forall b \in B\} \quad (3)$$

Morfolojik filtreleme işlemi, bir sonraki adımda uygulanacak dairesel Hough dönüşümünün başarısı için önemlidir. Eşiklenmiş görüntüye uygulanan morfolojik filtreleme sonucunda 10'uncu görüntü Şekil 14a'da, 100'üncü görüntü Şekil 14b'de görülmektedir.

4.3.3. Tespit (Determination)

Bu çalışmada, termal görüntülerden mayın örüntülerini saptamak için dairesel Hough dönüşüm yöntemi kullanılmıştır. Hough dönüşümü, yukarıda da bahsedildiği gibi net olmayan görüntülerden geometrik şekillerin tespiti için literatürde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, mayının geometrik şeklinden faydalanılarak dairesel Hough dönüşümü metodu ile görüntüler içerisindeki dairesel şekiller aranmıştır. Burada parametre uzayı Eş. 4 ile gösterilen genel çember denklemine göre oluşturulmuştur.

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2 \quad (4)$$



a) Lokal eşiklenmiş 10'uncu görüntü



b) Lokal eşiklenmiş 100'üncü görüntü

Şekil 13. Yerel uyarlamalı eşikleme uygulanmış termal görüntüler (Thermal images with local adaptive thresholding applied)



a) Morfolojik 10'uncu görüntü



b) Morfolojik 100'üncü görüntü

Şekil 14. Morfolojik işlem uygulanmış görüntüler (Morphologically processed images)

Eşitlik polar koordinatlarda Eş. 5 ve Eş. 6 ile gösterilebilir.

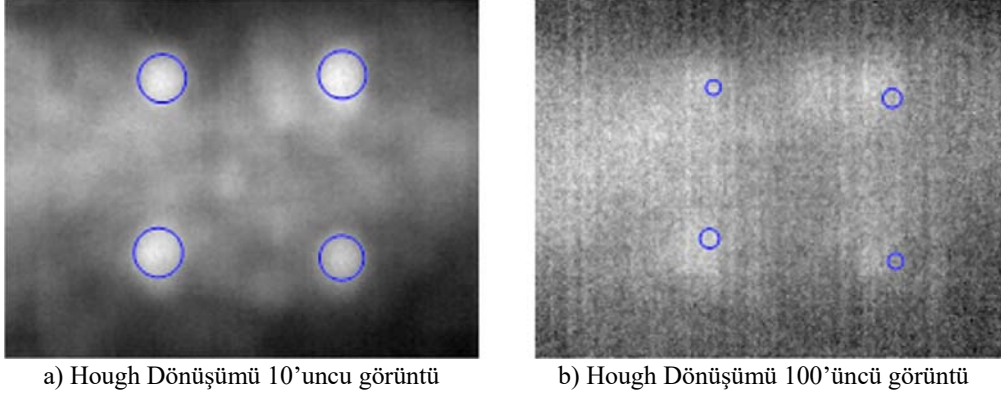
$$x = a + r \cos\theta \quad (5)$$

$$y = b + r \sin\theta \quad (6)$$

Bu yöntem sayesinde çapı bilinen ve daireye benzeyen nesnelere siyah-beyaz görüntü içerisinde tanımlanabilmektedir, ancak dairenin yaklaşık çapının tanımlanması gereklidir [10]. Hough dönüşümü her bir görüntü için mayın çapının minimum ve maksimum aralıkları verilerek 10'uncu ve 100'üncü görüntüler için uygulanmış ve bulunan daireler Şekil 15'de, orijinal görüntü üzerinden gösterilmiştir.

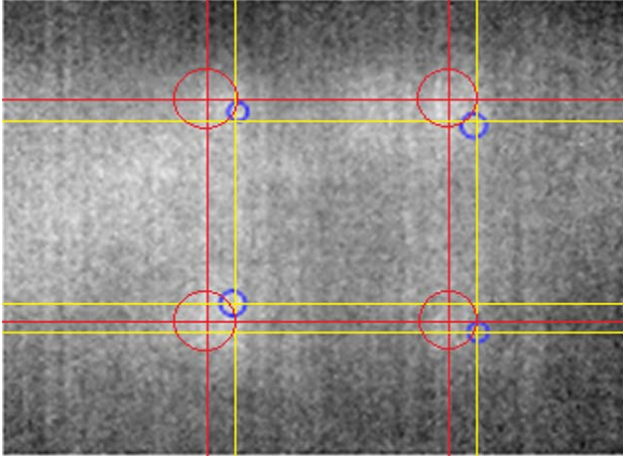
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışma ile toprak altında gömülü olan plastik AP mayınlarının termal görüntüleme yöntemi ile tespitinde, gürültü oranı nispeten fazla olan görüntülerden de tespit yapabilmek amacıyla standart görüntü işleme adımlarına ilave olarak dairesel Hough dönüşümü metodu kullanılmıştır. Yüz adet görüntü ile elde edilen termal zaman serisi görüntülerinde gürültünün az olduğu ve mayınların gözle seçilebildiği 10'uncu görüntü ile gürültü oranının yüksek olduğu ve mayınların gözle tespitinin nispeten zor olduğu 100'üncü görüntü örnek olarak alınmıştır. Önerilen



Şekil 15. Dairesel Hough dönüşümü uygulanmış görüntüler (Circular Hough transform applied images)

yöntemin uygulanması ile elde edilen görüntülerin analizi neticesinde Şekil 16'dan da görüleceği üzere;



Şekil 16. Önerilen yöntemin doğruluk analizi (Accuracy analysis of the proposed method)

- 10'uncü görüntüde mevcut dört adet plastik AP mayının yerleri, gerek görsel olarak gözle ve gerekse dairesel Hough dönüşümü metodu ile tam doğrulukla tespit edilebilmiştir.
- 100'üncü görüntüde mevcut dört adet plastik AP mayının varlıkları görüntülerdeki gürültü oranının nispeten daha yüksek olması nedeniyle görsel olarak gözle tespit edilememiştir. Görüntüye, dairesel Hough dönüşümünün uygulanması neticesinde ise söz konusu mayınların varlığı dördü için de tespit edilebilmiş, yerlerinin tespitinde ise yine dördü için de mayınların gerçek geometrisine göre yaklaşık yarıçap kadar bir sapma ile tespit yapılabilmektedir.

Sonuç olarak, tespit edilmesi zor olan plastik AP mayınlarının önerilen yöntem ile tespitinde söz konusu mayınların varlıklarının tam olarak belirlenebileceği, yerlerinin ise gerçek mayınların en fazla yarıçapı kadar bir mesafe civarında kestirilebileceği görülmüştür. Bu kapsamda; önerilen yöntemin, güncel araştırma çalışmaları halen devam eden plastik AP mayınlarının

tespitinde umut vaat eden bir yöntem olduğu deneysel çalışmalar ile gösterilmiştir.

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, üzerinde halen güncel araştırmalar devam eden toprağa gömülü plastik AP mayınlarının tespiti amacıyla dairesel Hough dönüşümü destekli bir aktif termografi yöntemi önerilmiştir. Bu amaçla; laboratuvar ortamında hazırlanan deney düzeneğinde, aktif darbe termografi uygulanan mayın gömülü toprak yüzeyinden 480x640 çözünürlükte elde edilen yüz adet zaman serisi termal görüntü veri seti, FLIR IR Research ve MATLAB programları ile analiz edilmiştir. Analizlerde, mayınların gözle de tespit edilebildiği 10'uncü görüntü ile gürültü oranının yüksek olması nedeniyle gözle tespit yapılamayan 100'üncü görüntüler örnek olarak alınmıştır. Seçilen görüntülere sırasıyla gri seviye dönüşüm, kenarları koruyan yumuşatma filtresi, histogram eşitleme, yerel uyarlamalı eşikleme, morfolojik işlemler ve dairesel Hough dönüşümü teknikleri uygulanmıştır. Önerilen yaklaşım ile 3 cm derinlikte gömülü dört adet plastik AP mayını, yüz adetlik görüntü setinin karmaşıklığı en düşük ve en yüksek olduğu değerlendirilen termal görüntülerde %100 başarı oranı ile tespit edilebilmiştir. Gürültü oranı yüksek olan görüntüde ise mayınların yerlerinin yarıçap daresi içinde tespit edilebildiği görülmüştür.

Sonraki çalışmada, yöntemin farklı derinlik ve tipteki mayınların tespiti için de geliştirilmesi ve gerçek arazi şartlarında test edilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, ileriki çalışmalarda görüntülerin uçan bir platform ile ve ilgilenilen bölgenin lazer gibi daha yoğun bir kaynak ile uzaktan ısıtılarak görüntülenebileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kaya S., Leloglu U.M., Buried and surface mine detection from thermal image time series, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 10 (10), 4544-4552, 2017.
2. Paik J., Lee J.P., Abidi M.A., Image processing-based mine detection techniques:a review, The University of

- Tennessee, Imaging, Robotics and Intelligent Systems Laboratory, Department of Electrical and Computer Engineering, Knoxville, 2002.
3. Sipos D., Planinsic P., Gleich D., On drone ground penetrating radar for landmine detection, First International Conference on Landmine: Detection, Clearance and Legislations (LDCL), 7-10, 2017.
 4. Song X. J., Su Y., Huang C. L., Lu M., Zhu S. P., Landmine detection with holographic radar, 16th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR), 1-4, 2016.
 5. Lee C, Mine detection techniques using multiple sensors, MSc. Thesis, University of Tennessee, Knoxville, 2001.
 6. Nguyen T.T., Sahli H., Nho H.D., Detection and characterization of buried landmines using infrared thermography, Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering, 2005.
 7. Cremer F., Th'anh N.T., Yang L., Sahli H., Stand-off thermal IR minefield survey, system concept and experimental results, Proceedings of the SPIE The International Society for Optical Engineering, 5794, 209-220, 2005.
 8. MacDonald J., Lockwood J., McFee J., Altshuler T., Infrared/hyperspectral methods, in Alternatives for Landmine Detection, Rand, 94-95, 2003.
 9. Gonzales R.C., Woods R.E., Digital Images Prossesing, 3rd Edition, Prentical Hall, 2001.
 10. Söylemez Ö.F., Ergen B., İnsan yüzü imgelerinde dairesel hough dönüşümü tabanlı göz durumu tespiti, 21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2013.
 11. Murat Delen, <http://muratdelen.com/hough-transform>.
 12. Deans J., Gerhard J., Carter L., Analysis of a thermal imaging method for landmine detection,using infrared heating of the sand surface, Infrared Physics & Technology, 48, 202-216, 2006.
 13. Vollmer M., Möllmann K.P., Infrared thermal ımgıng fundamentals, Research and Applications, Wiley, Weinheim, Germany, 2010.
 14. Altuntaş Ş., Medikal görüntü analizi, Yüksek lisans tezi semineri, İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
 15. Çapar A., Gökmen M., Gradyan temelli şekil bölütleme ve tanıma, İTÜ Mühendislik Dergisi, 10 (3), 15-26, 2011.
 16. Karhan M., Oktay M.O., Karhan Z., Demir H., Morfolojik görüntü işleme yöntemleri ile kayıslarda yaprak delen (çil) hastalığı sonucu oluşan lekelerin tespiti, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, Turkey, 2011.

