



### DRONA MONTELİ SENSÖRLER İLE EL YAPIMI PATLAYICI KOMUTA KABLOSU TESPİTİ

#### Özet

Günümüzdeki çatışmalar devlet dışı aktörlerle düzenli ordular arasında cereyan eden asimetrik bir savaşa evrilmiş ve bu çatışmalarda El Yapımı Patlayıcı (EYP) kullanımında artış olduğu gözlenmiştir. EYP'ler hem arazide hem de meskûn mahallerde kullanılabilmekte; ayrıca, hazırlama tekniği sürekli değiştirilerek tespit edilmeleri zorlaştırılmaktadır. Bu durum, dünya genelinde binlerce asker ve sivilin her yıl EYP'ler nedeniyle hayatını kaybetmesine ve yaralanmasına sebep olmakta; ülkeler, EYP'lere karşı önlemler geliştirmek için önemli harcamalar yapmaktadır. Türkiye'deki terör eylemlerinde de EYP'lerin kullanılması, EYP ile mücadelenin giderek daha fazla önem kazandığına işaret etmektedir.

Rusya-Ukrayna ve İsrail-Hamas savaşı örnekleri üzerinden EYP'lerin kullanımının gelecekteki çatışma senaryolarında önemli bir rol oynayabileceği öngörülmektedir. Patlayıcı maddelerin tespitinde, çeşitli faktörlere bağlı olarak en uygun tekniğin seçimi zorlu bir süreçtir. En güçlü orduların bile EYP'leri tespit etmekte zorlanması, yeni teknikler geliştirilmesini gerekli kılmakta, Gazze'deki çatışmalar ve Rusya-Ukrayna Savaşı örnekleri, drona monte edilebilen kablo tespit sistemlerinin EYP ile mücadelede bir yöntem olarak öne çıkabileceğini göstermektedir.

Bu çalışmada drona monte sensörler ile EYP komuta kablosu tespiti üzerine odaklanan bir yöntem önerilmiş ve Yapay Açıklıklı Radarlar (SAR), Işık/Lazer Tespiti ve Uzaklık Tayini (LiDAR), Yere Nüfuz Eden Radar (GPR) ve Kısa Dalga Kızıl Ötesi (SWIR) sensörler gibi teknolojiler incelenmiş; görüntü işleme tekniklerinin, bahse konu sensörlerden alınan verilerin analizi için nasıl kullanılabilmesi üzerinde durulmuş, bu görüntü analizlerin EYP komuta kablosu tespiti başarısını artırabileceği ortaya konulmuş ve mevcut teknolojilerin geliştirilmesine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

#### Abstract

Today's conflicts have evolved into asymmetric warfare between non-state actors and regular armies, and the use of Improvised Explosive Devices (IEDs) has increased. IEDs can be used both in the field and in residential areas, and their preparation techniques are constantly changing, making them difficult to detect. This leads to thousands of soldiers and civilians being killed and wounded by IEDs every year, and countries are spending considerable sums to develop countermeasures against IEDs. The use of IEDs in terrorist acts in Turkey indicates that counter-IEDs are becoming increasingly important.

Based on the examples of the Russia-Ukraine and Israel-Hamas wars, the use of IEDs could play an important role in future conflict scenarios. The selection of the most appropriate technique for detecting explosive devices is a challenging process depending on various factors. The fact that even the most powerful armies have difficulty in detecting IEDs necessitates the development of new techniques, and the examples of the conflict in Gaza and the Russian-Ukrainian War show that drone-mounted cable detection systems may come to the fore as a method to combat IEDs.

In this study, a methodology focusing on IED command cable detection with drone-mounted sensors is proposed and technologies such as Synthetic Aperture Radar (SAR), Light Detection and Ranging (LiDAR), Ground Penetrating Radar (GPR) and Shortwave Infrared (SWIR) sensors are examined; how image processing techniques can be used to analyze the data received from these sensors is emphasized; it is shown that these image analyses can improve the success of IED command cable detection and suggestions are made for the development of existing technologies.



## Anahtar Kelimeler

El Yapımı Patlayıcı (EYP), komuta kablolu EYP, EYP tespit sistemleri, dron, yere nüfuz eden radar, sentetik açıklıklı radar, ışık tespiti ve uzaklık tayini, kısa dalga kızıl ötesi sensör, görüntü işleme.

## Keywords

Improvised Explosive Device (IED), IED with command cable, IED detection systems, drone, Ground Penetrating Radar (GPR), Synthetic Aperture Radar (SAR), Light Detection and Ranging (LiDAR), Short Wave Infrared (SWIR) sensor, image processing.

## Giriş

Savaş ve çatışmaların, günümüzde düzenli orduları arasında yaşanmaktan çıkıp, düzenli ordular ile devlet dışı silahlı gruplar arasında gerçekleşen asimetrik bir savaş hâlini aldığı görülmektedir. Rusya-Ukrayna savaşı bu duruma istisna teşkil ediyormuş gibi görünse de, Wagner ve Çeçen savaşçıların Rus Ordusu ile birlikte savaştığı, sayıları az da olsa diğer ülkelerden savaşçıların Ukrayna ordusu ile birlikte hareket ettiği göz önüne alındığında, sadece düzenli orduların karşı karşıya geldiği klasik savaşların günümüzde yaşanmadığı daha iyi anlaşılabilir.

Devlet dışı aktörler, bu savaşlarda ve düzenledikleri terör eylemlerinde asker ve sivilleri öldürmek, araç ve malzemeleri tahrip etmek, toplumda korku ve panik yaratmak gibi amaçlar için El Yapımı Patlayıcı (EYP) kullanmaktadırlar. EYP'ler; atılmış veya patlamamış mühimmatın tuzaklanması ile yapılabildiği gibi, diğer amaçlarla imal edilmiş malzemeleri bir araya getirmek suretiyle de hazırlanabilmektedir. (S. E. Yüksel, S. Küçük, V. Tekeli, B. Kılıç, R. H. Karakaya, M. B. Zeka: 2021)

EYP'ler genellikle bir anahtar, güç kaynağı, başlatıcı, kap ve bir ana imla hakkından (patlayıcılar) oluşmaktadır. Günümüzde kullanılan EYP'ler zamanlanmış, uzaktan komutalı veya kurban başlatmalı olarak sınıflandırılabilir. EYP hazırlayanlar, düzeneğin özelliklerini ve işleyişini sürekli olarak değiştirmekte ve açık arazide (hareketliliği önlemek ve/veya korunan bir alana, kaynağa veya tesise yaklaşma gibi belirli açık alanlara erişimi engellemek için) ve meskûn mahallerde kullanmaktadırlar. Dünyanın en eski silah türleri arasında yer alan EYP'ler, devlet dışı silahlı gruplar tarafından son yıllarda sıklıkla tercih edilmektedirler. (Milli Mayın Faaliyet Otoritesi:2019)

EYP'ler nedeniyle her yıl binlerce insan ölmekte, yaralanmakta veya psikolojik zarar görmektedir. Ülkeler, EYP'lere karşı tedbirler geliştirebilmek için önemli miktarda harcama yapmaktadırlar. En güçlü orduların bile tespiti için çözüm geliştirmekte zorlandığı EYP'ler, terörle mücadele eden Türk Silahlı Kuvvetleri için de problem kaynağıdır. Son yıllarda ülkemizdeki terör eylemlerinde sıklıkla kullanılması nedeniyle EYP ile mücadele her geçen gün daha çok önem kazanmaktadır.

## EYP Kullanım ve Tespiti

EYP'ler etkilerinin yüksek, maliyetlerinin düşük, kolay elde edilebilir ve kullanılabilir olmaları nedeni ile devlet dışı silahlı aktörler tarafından sıklıkla kullanılmaktadır. ABD ordusu, sadece 2011 yılında 16.500 EYP olayı yaşamış, Birleşmiş Milletler verilerine göre 2017 yılında Orta Doğu'daki şehir savaşlarında patlayıcı mühimmat sebebiyle hayatını kaybeden dört

insandan üçü savunmasız siviller olmuştur. Mayın ve EYP'ler, ülkemizde de terör örgütleri tarafından aktif olarak kullanılmakta, askerî ve sivil kayıplara neden olmaktadır. (S. E. Yüksel, S. Küçük, V. Tekeli, B. Kılıç, R. H. Karakaya, M. B. Zeka: 2021)

07 Ekim 2023 tarihinde Hamas'ın saldırısı ile başlayan İsrail-Hamas savaşı, İsrail'in Ekim ayı sonundan itibaren Gazze şehir merkezine ilerlemeye yönelik kara harekâtı başlatması sonucunda bir meskûn mahal ve tünel muharebelerine doğru evrilmektedir. İsrail hava ve topçu taarruzları ile kısmen harabeye dönen meskûn mahallerde yaşanacak çatışmalarda, Hamas'ın çekildiği bölgeleri ve yer altındaki tünelleri EYP ile tuzaklayacağı tahmin edilebilmektedir. Geleceğin savaşlarında yaşanacak olası senaryolardan biri olan Gazze'deki durum ve Rusya-Ukrayna savaşının çoğunlukla meskûn mahallerde cereyan etmesi, EYP tespiti için drona monteli kablo tespit sistemleri kullanımının önem kazanacağını göstermektedir.

Satış altına gömülen patlayıcı maddenin tespiti; arazi yapısı, çevre koşulları, iklim yapısı ve gömülü maddenin özellikleri hakkında bilgi edinilmesini gerektiren zorlu bir süreçtir. Tespit edilmesi arzulanan patlayıcı maddenin cinsi, mesafesi, zemin altındaki derinliği, kimyasal bileşenleri ve çevresel etkenler gibi faktörlere göre en uygun tekniğin seçilmesi icap etmektedir. Tespit tekniğinin kullanılacağı arazi şartları, ihtiyaç duyulan uzaklık, hassasiyet ve süre gibi pek çok değişken nedeniyle standart bir EYP tespit tekniği bulunmamakta ve çeşitli teknikler üzerine çalışmalar yürütülmektedir.

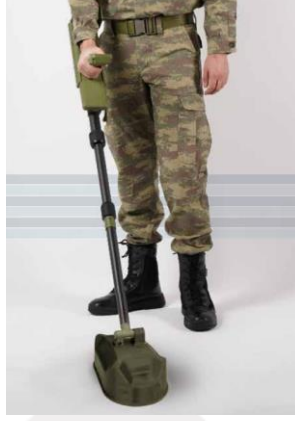
Patlayıcı maddelerin ve kimyasalların tespitinde yığın patlayıcı tespiti ve eser patlayıcı tespiti olmak üzere iki temel yaklaşım bulunmaktadır. Yığın patlayıcı tespit yöntemleri ile büyük miktarda patlayıcının tespiti hedeflenirken, eser patlayıcı tespit yöntemleri ile iz/kalıntı tespiti amaçlanmaktadır. Bu tespit yöntemlerinde, elektromanyetik tayfin neredeyse tüm bölgeleri (radyo dalgası, mikrodalga, kızılötesi, görünür, morötesi, X ışını, gama ışını gibi) patlayıcı tespiti amacıyla araştırılarak çeşitli EYP tespit teknolojileri (Hiperspektral Görüntüleme, FT-IR Spektroskopi, Terahertz Spektroskopi, Lazer Etkileşimli Plazma Spektroskopisi, Raman ve İyon Mobilite Spektroskopileri) geliştirilmeye çalışılmıştır. (S. E. Yüksel, S. Küçük, V. Tekeli, B. Kılıç, R. H. Karakaya, M. B. Zeka: 2021)

EYP'lerin telsiz, telefon, araç kumandası ve bezer RF yayını ile uzaktan patlatılmasını engellemek amacıyla etkin radyo frekans karıştırıcılar geliştirilmesi sonucunda, kablo ile uzaktan patlatılan EYP'ler de kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada EYP düzeneğinin/patlayıcı maddenin tespitinden ziyade, EYP komuta kablosunun tespitine yönelik bir yöntem olan "dron ile tespit" yöntemi incelenecektir.

### **Mevcut EYP Kablo Tespit Sistemleri**

Kumanda kablosunun tespiti yöntemiyle EYP keşfi, tespit yöntemlerinden biridir. EYP kumanda kablosu tespitinde kullanılacak yerli ve yabancı üretim çeşitli tipte el dedektörleri ve araca monte dedektörler mevcuttur. Örnek olarak, yerli üretim kablo ve EYP tespit dedektörlerinden biri olan MEKA (Fotoğraf-1), 10 cm derinliğe gömülü 0,5 mm kablo perini tespit edebilmektedir.



Fotoğraf-1: Kablo ve EYP Tespit Dedektörü

Araca monteli yerli üretim sistemlerden biri olan El Yapımı Patlayıcı Tespit ve İnceleme (ETİ) Aracı (Fotoğraf-2), yol kenarlarına ve menfezlere yerleştirilen EYP ve kumanda kablolarını uzaktan tespit ve müdahale kabiliyetine sahiptir. Araçta yer alan ve ÇAKI adı verilen robotik kolda kablo algılama ve EYP tespit amaçlı mini yere nüfuz eden radar (Ground Penetrating Radar-GPR) kullanılmaktadır.



Fotoğraf-2: El Yapımı Patlayıcı Tespit ve İnceleme (ETİ) Aracı

Söz konusu dedektörlere ilave olarak, dron ile EYP tespit sistemleri geliştirilmesine yönelik araştırma/çalışmalar da bulunmaktadır. (K. T. J. Klein, F. Uysal, M. C. Cuenca, M. P. G. Otten and J. J. M. de Wit:2020; M. Otten, M. Caro Cuenca and M. Garcia Fernandez: 2021) Bununla birlikte; yapılan açık kaynak araştırmasında hâlihazırda silahlı kuvvetler envanterine giren veya sahada kullanımına başlanan bir “dron ile EYP kablosu tespit sistemi”ne rastlanmamıştır.

EYP kumanda kablolarının el dedektörü ile aranması hem arama personelinin can güvenliği için tehlike arz etmekte hem de zaman kaybına sebep olmaktadır. Araca monte dedektörlerin de benzer dezavantajları mevcuttur. Planlı bir intikalin yol güzergahının bahse konu sensörler ile hızlıca keşfedilememesi örneğinde de görülebileceği gibi, söz konusu dezavantajlar başta araç ve yaya intikalleri ile meskûn mahallerin kontrolünün sağlanması gibi askerî harekât ve faaliyetlerin icrasını güçleştirmektedir.

## Drona Monteli Sensörler ile EYP Komuta Kablosu Tespiti ve Kullanılabilecek Teknolojiler

El ve araç dedektörlerinin yukarıda açıklanan mahzurları, EYP komuta kablosu tespiti için, bu alanda kullanılabilecek yeni sistem ve teknolojilerden de istifade ederek, yeni teknikler geliştirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır.

Muharebe sahasında devrim yaratmaya aday olan İHA ve dronlar; gelişmiş keşif ve gözetleme kameraları, hedef tespit ve işaretleme sistemleri ve hassas güdümlü mühimmat ile gözetleme, keşif, lojistik ve taarruz görevlerinde etkinlikle kullanılmakta, askerî operasyonların başarı ve emniyetini artırmaktadır.

Dronlar, askeri personelin yaşamsal tehlikelerle karşı karşıya kalmadan riskli bölgelerde görev yapmasına da olanak sağlamaktadır. Dron kullanımı, askerlerin emniyetini sağlarken aynı zamanda kayıpları ve insan kaynaklı riskleri de azaltmaktadır.

Dronların yukarıda bahsedilen avantajları göz önüne alındığında, EYP tespitinde dronların kullanılmasının başta hız ve personel güvenliği olmak üzere önemli faydalar sağlayacağı öngörülmektedir.

Havadan EYP komuta kablosunun tespiti maksadıyla kullanılabilecek Yapay Açıklıklı Radar (Syntetic Aperture Radar-SAR), Işık/Lazer Tespiti ve Uzaklık Tayini (Light/Laser Detection and Ranging-LiDAR), Yere Nüfuz Eden Radar (Ground Penetrating Radar-GPR) ve Kısa Dalga Kıızıl Ötesi (Short Wave Infra Red-SWIR) gibi çeşitli sensör teknolojileri mevcuttur. Bu sensör verilerinden oluşturulan görüntünün, gelişmiş Görüntü İşleme (Image Processing) yazılımları ile analiz edilmesi sonucunda EYP komuta kablolarının yüksek doğrulukla tespit edilebileceği değerlendirilmektedir.

Bu sensör teknolojilerinden biri olan Yapay Açıklıklı Radar (Syntetic Aperture Radar-SAR), gerçek açıklıklı radarların sınırlamalarını ortadan kaldırmak için geliştirilmiş sistemlerdir. Bu radarlar ile, kısa anten boyları ve uzun dalga boyları kullanarak yeterli çözünürlüğe ulaşılabilmektedir. SAR görüntüleri, herhangi bir bölgedeki değişiklikleri araştırmak için oldukça uygun bir kullanım olanağına sahiptir.

SAR, görüşü kısıtlayabilen olumsuz hava koşullarından bağımsız olarak gece ve gündüz oldukça yüksek çözünürlüklü görüntü oluşturabilme yeteneği ile iklim değişimlerinin izlenmesi, askeri ve sivil haritalama, arazi örtüsünde ve yapısında oluşan değişikliklerin tespit edilmesi gibi pek çok uygulamada kullanılmaktadır. Bir görüntü örneği Fotoğraf-3'te verilen ve radar teknolojisinin ulaştığı en ileri uygulamalardan biri olan SAR sistemi, hâlihazırda uydu veya uçak gibi insanlı veya insansız bir hava platformu üzerine yerleştirilerek kullanılmaktadır. Yapay açıklık radarlarında "açıklık", radarın hareket etmesi ile sağlandığı için SAR, havada hareket eden dronlara monte edilerek kullanılmaya da uygundur.

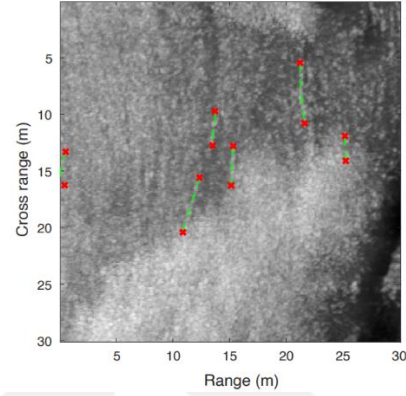


Fotoğraf-3: SAR Görüntüsü (<https://hackaday.com>)

Günümüzde EYP komuta kablosunu tespit maksadıyla kullanılabilir, drona monte edilebilen, 25 m irtifada kullanılabilen, çok kanallı X-Bantta çalışan, uçuş istikametinde 100° kapsaması olan, 20 cm çözünürlükte, rakım ve konum bilgisini radara entegre GPS ve IMU'dan alan, 1 kg'dan az ağırlığa, 25 cm çapa sahip küçük SAR sistemleri geliştirmeye yönelik çalışmalar mevcuttur (Fotoğraf-4). Bahse konu SAR sistemleri, 100x100 m'lik bir alanı 15 sn'de inceleyebilmekte; SAR verileri radara entegre 250 GB kapasiteli hafıza ünitesine kaydedilmekte ve görevden dönmeyi müteakip drondan manuel olarak alınarak off-line olarak yerde işlenmektedir (Fotoğraf-5). (M. Otten, M. Caro Cuenca and M. Garcia Fernandez: 2021; K. T. J. Klein, F. Uysal, M. C. Cuenca, M. P. G. Otten and J. J. M. de Wit:2020)



Fotoğraf-4: Drona Entegre SAR

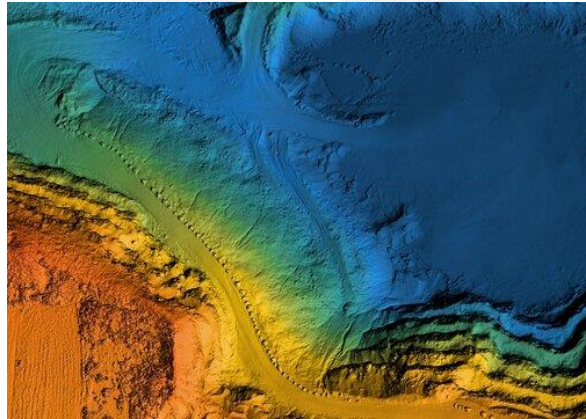


Fotoğraf-5: SAR ile Kablo Tespit

Görüntüsü

Havadan kablo tespiti maksatlı kullanılabilir başka bir teknoloji olan LiDAR (Light/Laser Detection and Ranging), günümüzde farklı amaçlar için çok sık kullanılan bir teknoloji ve hızlı bir şekilde yüksek doğruluğa sahip referanslandırılmış üç boyutlu (3B) veri elde etmede kullanılan popüler bir sistemdir. Birçok uygulama için hayati önem taşıyan yükseklik bilgisini içeren LiDAR modelleri, jeolojiden hidrolojiye, haritacılıktan şehirciliğe ve risk yönetiminden askerî uygulamalara kadar birçok alanda kullanılmaktadır.

Hava LiDAR sistemleri bir hava aracının altına monte edilen tarayıcıdan gönderilen lazer ışının gidiş-dönüş süresini kaydederek yer objeleri ve algılayıcı arasındaki mesafeyi hesaplayan aktif bir ölçme sistemidir. Sistem dâhilinde bulunan GPS ve INS sistemlerinden alınan konum ve dönüklük verisi kullanılarak taranan objeye ait konum hesaplanmaktadır. Bu şekilde, yeryüzüne binlerce lazer ışını gönderebilen sistem kullanılarak, örneği Fotoğraf-6'te görülebileceği gibi, yeryüzüne ait yüksek yoğunluklu ve referanslandırılmış 3B veri doğrudan elde edilmektedir.

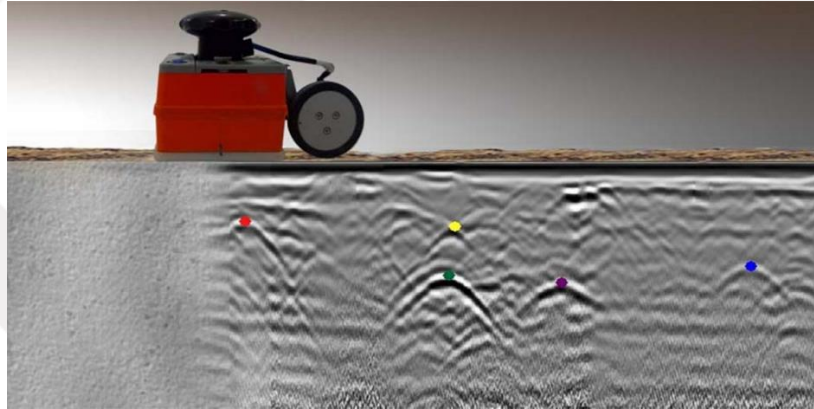


Fotoğraf -6:LiDAR Görüntü (<https://stock.adobe.com>)

LiDAR, klasik ölçmeler ile yaklaşık aynı doğrulukta, hava fotogrametrisinden daha hızlı 3B görüntü oluşturmaya imkân vermektedir. İlk etapta sadece mesafe ölçümünde kullanılan sistemde zamanla ışın sayısı yüz binlere ulaşmış ve düşük ağırlıklara inerek insansız hava araçlarında bile kullanılabilir bir yaygınlık kazanmıştır. Hava lazer tarama sistemi gelişmeye devam etmekte ve bunun sonucunda nokta sayısının milyonlara ulaştığı ve multispektral verinin toplanabildiği yeni lazer tarayıcılar üretilmektedir. (N. Polat, M.Uysal, 2016)

Havadan arazi incelemesi maksadıyla kullanılabilir bir diğer teknoloji ise Yere Nüfuz Eden Radar (Ground Penetrating Radar-GPR)'dir. Jeoradar olarak da adlandırılan GPR, başlıca yapısal araştırmalarda toprak yapısının ve jeolojik kesitlerin ortaya çıkarılmasında, yüzeye yakın jeolojik birimlerin tespitinde, fay, kırık ve çatlakların haritalanmasında, yeraltı karstik boşluklarının aranmasında, yeraltı su dağılımı ve seviyesinin tespitinde, yüzeye yakın sıvı hidrokarbon aramalarında kullanılmaktadır.

GPR ayrıca, yeraltında gömülü boru, boru hattı, su veya akaryakıt tankı ve eski endüstriyel atık alanlarının tespitlerinde, zemin araştırmalarında, tünel araştırmalarında, karayolu, demiryolu, su tünelleri, tüp geçitler, maden galerileri içinde duvar cephelerinin sağlamlık tespitinde, galeri içinde bozunmuş zon ve cevher aramada, galeri ilerleme yönü tespitlerinde ve adli tıp vakalarında yeraltındaki insan silah, mayın, vb. kalıntılarını aramada da etkin olarak kullanılmaktadır. GPR'ın taşınabilir olması, çevreye herhangi olumsuz bir etki yapmaması, diğer jeofizik yöntemlere göre çok daha hızlı veri toplanabilmesi ve örneği Fotoğraf-7'te görülen yüksek çözünürlüklü yeraltı görüntülemesini yapabilmesi yöntemin en büyük avantajlarıdır. (<https://web.itu.edu.tr/evrene/GPR.html>)



Fotoğraf-7: GPR Görüntü Örneği (<https://www.sandberg.co.uk>)

Bu özellikleri göz önüne alındığında, yol ve patika gibi alanlarda toprak altına gömülerek gizlenen kabloların tespitinde, zemin yapısındaki farklılığı algılayabilen GPR teknolojisinin de kullanılabilirliği değerlendirilmektedir. Bu yöntemde, GPR monteli dronun yere yakın/alçak bir irtifada uçurulması gerekeceği göz önünde bulundurulmalıdır.

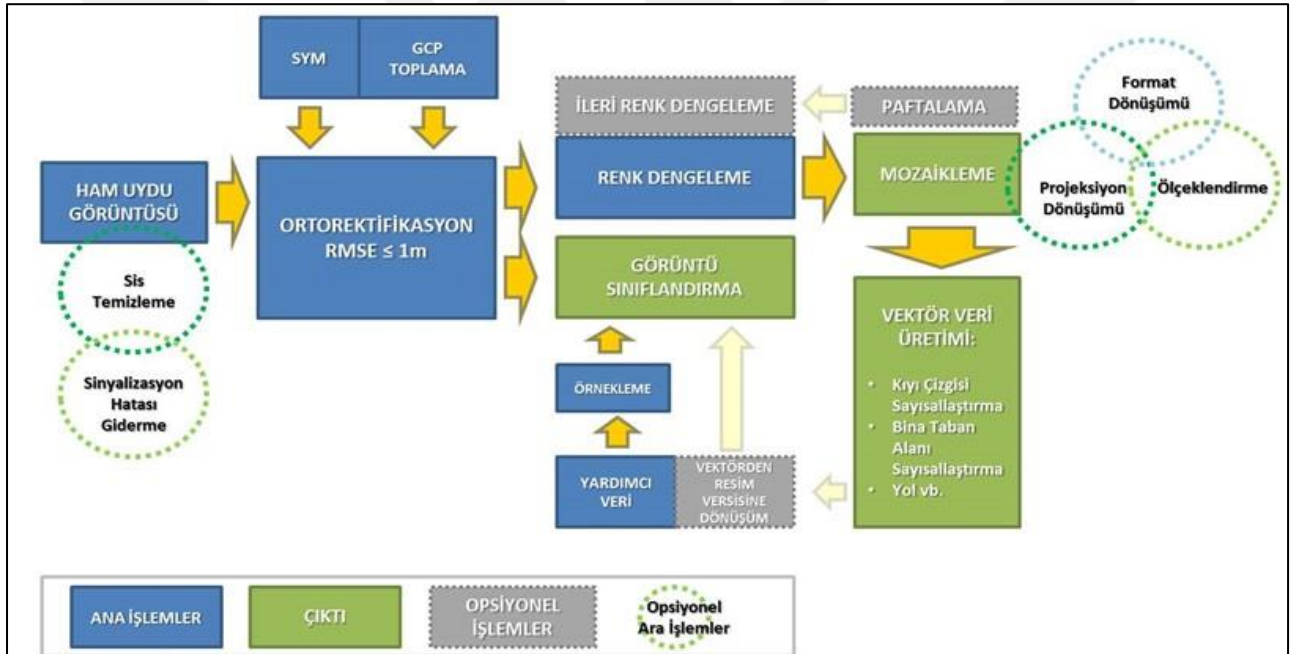
Kablo tespitinde kullanılabilir diğer bir teknoloji de Kısa Dalga Kırmızı Ötesi (Short Wave Infra Red-SWIR) sensörlerdir. SWIR, tipik olarak 0,9 – 1,7 µm dalga boyu aralığı olarak tanımlanır. SWIR kameralar, sis, bulutlar ve pus aracılığıyla net ayrıntıları yakalama yeteneğine sahiptir. SWIR kameraları, bulut kapsamına girebilen ve net bir görüntü yakalayabilen tek dalga boyu teknolojisidir. SWIR dalga boyu bandı, Fotoğraf-8'de de görülebileceği gibi, görünür ve diğer termal bantlara göre benzersiz görüntüleme avantajları sunar. Elektronik kart denetimi, malzeme/gıda ayırma, güneş pili denetimi, kalite denetimi ve askeri uygulamalarda kullanılan SWIR lensleri, diğer dedektörlerin veya kameraların detay tanıma için yeterince hassas olmadığı durumlarda kullanılır.



Fotoğraf-8: SWIR Kamera Görüntüsü (<https://www.l3harris.com/swir>)

Yukarıda bahsedilen SAR, LiDAR, GPR ve SWIR sensörlerden alınan veri ile oluşturulan görüntüden EYP komuta kablosu varlığının tespiti için modern görüntü işleme teknolojilerinden istifa edilebileceği değerlendirilmektedir. Görüntü işleme, görüntüyü dijital form haline getirmek ve bazı işlemleri gerçekleştirmek için geliştirilmiş, spesifik görüntü elde etmek veya ondan bazı yararlı bilgiler çıkarmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin girdisi, video kesiti veya fotoğraf gibi bir görüntüdür. Çıktısı ise, görüntünün istenilen ya da dikkat edilmesi gereken bölümüne karşılık gelir. Genellikle görüntü işleme sistemi, önceden belirlenmiş sinyal işleme (signal processing) yöntemlerini uygularken görüntüleri iki boyutlu sinyaller olarak ele alır.

Bilgisayar ortamında dijital görüntüyü çeşitli algoritmalarla ve matematiksel/istatistiksel işlemlerle analiz etme, işleme ve değiştirme işi olarak da tarif edilebilen görüntü işleme yönteminde görüntünün deseni analiz edilir, görüntü sınıflandırılır ve işlenir. İş akışı Şema-1'de gösterilen görüntü işleme teknikleri genellikle bilgisayarlı görü, tıp, askerî (hedef tanıma, izleme), güvenlik (nesne takibi, hareket algılama, yüz tanıma), trafik, endüstri, tarım, astronomi, perakende, çevre güvenliği, jeodezi ve fotogrametri (uzaktan algılama) alanlarında kullanılmaktadır.



Şema-1: Görüntü İşleme İş Akış Şeması (<https://peakup.org/blog/yeni-baslayanlar-icin-goruntu-islemeye-giris/>)

Görüntü işleme teknolojisi, yukarıda bahsedilen üç sensör tipine ilave olarak optik (gündüz) kameralardan alınan arazi fotoğraflarının incelenmesinde de kullanılabilir. Bu



sayede, dronlar ile kullanımı yaygın ve tedariki kolay optik kameralardan alınan görüntülerden de EYP komuta kablosu tespiti yapılabileceği değerlendirilmektedir. Bu yöntemde, yapay zekânın da yardımıyla, veri tabanına önceden yüklenen görüntülerin optik kameradan alınan görüntülerle kıyaslanması sonucunda kablo olması muhtemel nesnelere veya kablo döşenmek amacıyla kazılıp kapatılan toprak hatları tespit edilebilecektir.

## Sonuç

Yukarıda açıklanan günümüz sensör teknolojileri, dronlar ve görüntü işleme yazılımlarında gelen ileri aşamanın, EYP komuta kablosu tespitinin drona entegre sensörler ve görüntü işleme yazılımları ile yapılmasını mümkün kıldığı değerlendirilmektedir. Bu yöntem, el ve araca monte dedektörler ile yapılan kablo keşfinden emniyet ve sürat avantajı yönüyle olumlu ayrılmaktadır. Günümüz savaş ve çatışmalarının çoğunlukla meskûn mahallerde yaşanmaya başlaması, personel can güvenliğinin riske edilmemesi ve süratle keşif ihtiyacının karşılanması için EYP komuta kablosu tespitinde drona monte sensörlerin kullanılmasını gerekli kılmaktadır.

Kablo tespit sisteminde kullanılan bir sensörün dezavantajını aynı dezavantaja sahip olmayan başka tip bir sensörle ortadan kaldırarak sistemin etkinliğini artırmak ve yanlış tespitleri azaltmak için SAR, LiDAR, GPR, SWIR ve optik kamera gibi farklı teknolojiler ile üretilen sensörlerden iki veya daha fazlasının entegre bir şekilde kullanılmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Ayrıca, mevcut sistemlerin müteakip geliştirme aşamasında;

- İncelenen bölgenin gerçek zamanlı keşfinin sağlanması amacıyla, drona monte sensörlerden alınan verilerin havada gerçek zamanlı ve on-line olarak işlenmesi ve bulguların kablosuz haberleşme ortamından karargâhlara iletilmesinin,
- Bakış açısı, ilerleme yönü vb. parametreleri değiştirebilecek şekilde, sensörlerin uzaktan yönlendirilebilmesi yeteneği geliştirilmesinin,
- Sensörlerden alınan görüntüleri analiz ederek kablo olup olmadığının tespitini yapan görüntü işleme algoritmasına, kabloları ilave olarak EYP'leri de tespit edebilme yeteneği kazandırılmasının,
- Sensöre entegre GPS ve IMU verilerini kullanmak suretiyle, tespit edilen kablonun konumunun sayısal harita üzerinde gösterilmesine yönelik geliştirme yapılmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

**Serdal ARSLAN**

Danışman

ALP USAM Uluslararası Strateji Analiz Merkezi

## Kaynaklar

1. K. T. J. Klein, F. Uysal, M. C. Cuenca, M. P. G. Otten and J. J. M. de Wit, "IED Command Wire Detection using Multi-Aspect Processing on SAR Images," 2020 IEEE Radar Conference (RadarConf20), Florence, Italy, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/RadarConf2043947.2020.9266662.
2. M. Otten, M. Caro Cuenca and M. Garcia Fernandez, "IED Command Wire Detection with Multi-Channel Drone Radar," EUSAR 2021; 13th European Conference on Synthetic Aperture Radar, online, 2021, pp. 1-4.
3. N. Polat, M. Uysal, "Hava Lazer Tarama Sistemi, Uygulama Alanları ve Kullanılan Yazılımlara Genel Bir Bakış", AKÜ FEMÜBİD 16 (2016) 035506 (679-692), DOI: 10.5578/fmbd.41390
4. S. E. Yüksel, S. Küçük, V. Tekeli, B. Kılıç, R. H. Karakaya, M. B. Zeka, El Yapımı Patlayıcıların ve Patlayıcı Maddelerin Tespitinde Kullanılan Spektroskopi Tabanlı Yöntemlerin Karşılaştırılmasına İlişkin Bir İnceleme, Savunma Bilimleri Dergisi, Mayıs 2021, Sayı 39.
5. Türkiye Cumhuriyeti Milli Mayın Faaliyet Otoritesi, "El Yapımı Patlayıcı (EYP) İmhası", MMFS 09.31, Mayıs 2019.

## İnternet Kaynakları

1. <https://peakup.org/blog/yeni-baslayanlar-icin-goruntu-islemeye-giris/>
2. <https://web.itu.edu.tr/evrene/GPR.html>
3. <https://www.l3harris.com/swir>
4. <https://hackaday.com/wp-content/uploads/2014/02/image-from-sandias-system.png>
5. <https://stock.adobe.com/search?k=lidar>
6. <https://www.sandberg.co.uk/site/gpr/gpr-principles/>

