

FPV DRONA MONTELİ SENSÖRLER İLE EL YAPIMI PATLAYICI KOMUTA KABLOSU TESPİTİ

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 cephelerde karşı karşıya geldiği klasik savaşların artık 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 kullanmaktadırlar.

El Yapımı Patlayıcılar terörist, gerilla, isyancı ve diğer devlet dışı aktörler tarafından konvansiyonel bir askerî güce karşı kaba ama etkili bir silah olarak sıklıkla kullanılan, askerî veya askerî olmayan bileşenlerden yapılmış ev yapımı bir bomba olan doğaçlama patlayıcı cihazlar olarak tanımlanabilir.

Prensip olarak, tüm El Yapımı Patlayıcılar bir başlatma mekanizması, bir fünye, bir patlayıcı yükü ve patladığında ölümcül parçalar üreten bir muhafaza veya mermi topluluğundan (bilyalı rulmanlar veya çiviler gibi) oluşur. Uygulamada El Yapımı Patlayıcılar topçu veya havan mermileri, uçak bombaları, belirli gübre türleri, TNT ve diğer patlayıcılar dâhil olmak üzere birçok farklı nesne ve malzemeden yapılabilir. El Yapımı Patlayıcılar ölümcül ve psikolojik etkilerini artırmak için radyolojik, kimyasal veya biyolojik bileşenler dâhi içerebilir.

El Yapımı Patlayıcılar; atılmış veya patlamamış mühimmatın tuzaklanması ile yapılabilirdiği gibi, diğer amaçlarla imal edilmiş malzemeleri bir araya getirmek suretiyle de hazırlanabilmektedir. (Yüksel, vd., 2021) Uygulamada isyancılar patlamaları tetiklemek için çok çeşitli başlatma sistemleri kullanmışlardır. Bu tür sistemler iki

temel kategoriye ayrılır; komutla başlatılan ve otonom olarak başlatılan. Komutla başlatılan El Yapımı Patlayıcılar tetikleme mekanizması ile insan etkileşimi yoluyla patlatılır. Tipik olarak, patlayıcı üzerindeki bir alıcı, bir kablo devresi üzerinden veya kablosuz sinyal yoluyla elektronik bir dürtü gönderildiğinde patlamayı tetikler. Komut başlatıcıların yaygın örnekleri cep telefonları, çağrı cihazları, kablosuz telefonlar, otomatik garaj kapısı açıcıları, araba alarmları, kablosuz kapı zilleri ve uzaktan kumandalı oyuncaklardır. Otonom olarak başlatılan El Yapımı Patlayıcılar insan müdahalesi olmadan otomatik olarak patlatılır. Bu başlatıcıların yaygın örnekleri arasında tuzak telleri, üzerlerine belirli bir ağırlık konulduğunda tetikleme mekanizmasını harekete geçiren baskı plakaları, bir araç ışının alıcısıyla temasını kestiğinde tetikleme mekanizmasını harekete geçiren kızıl ötesi sistemler ve manyetik alandaki değişikliklerle (bir araç geçtiğinde olduğu gibi) tetiklenen manyetik füyyeler yer almaktadır.

El Yapımı Patlayıcı 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 El Yapımı Patlayıcılar, devlet dışı silahlı gruplar tarafından son yıllarda sıklıkla tercih edilmektedirler. (Milli Mayın Faaliyet Otoritesi, 2019)

El Yapımı Patlayıcılar nedeniyle her yıl binlerce insan ölmekte, yaralanmakta veya psikolojik zarar görmektedir. Ülkeler, El Yapımı Patlayıcılara karşı tedbirler geliştirebilmek için önemli miktarda harcama yapmaktadırlar.

En güçlü orduların bile tespiti için çözüm geliştirmekte zorlandığı El Yapımı Patlayıcılar, terörle mücadele eden Türk Silahlı Kuvvetleri için de problem kaynağıdır. Son yıllarda ülkemizdeki terör eylemlerinde sıklıkla kullanılması nedeniyle El Yapımı Patlayıcı ile mücadele her geçen gün daha çok önem kazanmaktadır.

EL YAPIMI PATLAYICI KULLANIM VE TESPİTİ

El Yapımı Patlayıcılar; etkilerinin yüksek, maliyetlerinin düşük, kolay elde edilebilir ve kullanılabilir olmaları nedeniyle devlet dışı silahlı aktörler tarafından sıklıkla kullanılmaktadır. El Yapımı Patlayıcılar, Irak Savaşı ve Afganistan Savaşı'nda isyancıların başlıca silahı olmuştur ve düşük maliyetleri, kullanım kolaylıkları ve yüksek etkinlikleri nedeniyle öngörülebilir gelecekte de gerillalar ve isyancılar için tercih edilen silahlar olmaya devam edeceklerdir. ABD ordusu, sadece 2011 yılında 16.500 El Yapımı Patlayıcı 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 El Yapımı Patlayıcılar, ülkemizde de terör örgütleri tarafından aktif olarak kullanılmakta, askerî ve sivil kayıplara neden olmaktadır. (Yüksel, vd., 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 evrilmiştir. İsrail hava ve topçu taarruzları ile kısmen harabeye dönen meskûn mahallerde yaşanan çatışmalarda, Hamas'ın çekildiği bölgeleri ve yer altındaki tünelleri El Yapımı Patlayıcı ile tuzakladığı görülmüştür. Geleceğin savaşlarında yaşanacak olası senaryolardan biri olan Gazze'deki durum ve Rusya-Ukrayna savaşının çoğunlukla meskûn mahallerde cereyan etmesi, El Yapımı Patlayıcı 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 El Yapımı Patlayıcı 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 tayfın neredeyse tüm bölgeleri (radyo dalgası, mikrodalga, kızılötesi, görünür, morötesi, X ışını, gama ışını gibi) patlayıcı tespiti amacıyla araştırılarak çeşitli El Yapımı Patlayıcı tespit teknolojileri (Hiperspektral Görüntüleme, FT-IR Spektroskopisi, Terahertz Spektroskopisi, Lazer Etkileşimli Plazma Spektroskopisi, Raman ve İyon Mobilite Spektroskopileri) geliştirilmeye çalışılmıştır. (Yüksel, vd., 2021)

El Yapımı Patlayıcıların telsiz, telefon, araç kumandası ve benzer RF yayını ile uzaktan patlatılmasını engellemek amacıyla etkin radyo frekans karıştırıcılar geliştirilmesi sonucunda, kablo ile uzaktan patlatılan El Yapımı Patlayıcılar da kullanılmaya başlanmıştır.

El Yapımı Patlayıcı komuta kablosu, bir el yapımı patlayıcı aygıtı uzaktan kontrol etmek için kullanılan fiziksel bağlantı veya kabloyu ifade etmektedir. Komuta kablosu, failin patlayıcı cihazı uzaktan tetiklemesini sağlayan temel bir bileşendir. Bu kablo, fiziksel bir tel veya kablo olabilmekte ve bir tetikleme mekanizmasına veya bir fünyeye bağlanmaktadır. El Yapımı Patlayıcıyı kontrol eden kişi, güvenli bir mesafeden patlamayı başlatmak için genellikle bir anahtar veya başka bir tetikleme cihazı aracılığıyla bir elektrik sinyali göndermek için komuta kablosunu kullanabilmektedir. Bu yöntem, failere patlayıcı cihazdan bir dereceye kadar uzaklaşma imkânı sağlayarak tespit edilme ya da zarar görme risklerini azaltmaktadır.

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

MEVCUT EL YAPIMI PATLAYICI KOMUTA KABLOSU TESPİT SİSTEMLERİ

Komuta kablosunun tespiti yöntemiyle El Yapımı Patlayıcı keşfi, El Yapımı Patlayıcı tespit yöntemlerinden biridir. El Yapımı Patlayıcı komuta kablosu tespitinde kullanılacak yerli ve yabancı üretim çeşitli tipte elde ve araca monte edilerek kullanılan dedektörler mevcuttur. Örnek olarak, yerli üretim kablo ve El Yapımı Patlayıcı tespit dedektörlerinden biri olan MEKA (Fotoğraf-1), 10 cm derinliğe gömülü 0,5 mm'lik kablo perini tespit edebilmektedir.

GPR teknolojisinin kullanıldığı MEKA dedektör, yer altındaki farklı herhangi bir yapıyı tespit edebilmesinin getirdiği avantajla aynı zamanda bidon, pet şişe, metal içeriği olan veya olmayan tüm anti personel ve anti tank mayınları da bulabilmektedir.

MEKA Kablo Dedektörü, milli ve özgün olarak geliştirilmiş olup, birliklerin El Yapımı Patlayıcı tarama faaliyetlerindeki kullanımına uygun olacak şekilde tasarlanmıştır. Yüksek tespit hassasiyeti ile El Yapımı Patlayıcılarda kullanılan kablo ve tellerin gömülme oryantasyonu ve boyutlarına bakmaksızın tespitinde kullanılmaktadır.

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



**Fotoğraf-1: MEKA Kablo ve El Yapımı Patlayıcı
Tespit Dedektörü**

El Yapımı Patlayıcı Tespit ve İnceleme Aracında El Yapımı Patlayıcı Tespit, El Yapımı Patlayıcı İnceleme, El Yapımı Patlayıcı Etkisizleştirme ve uzaktan kontrol imkânı sağlayan Güvenlik Yönetim Araçları bulunmaktadır. Araç bünyesinde ASELSAN YANKI akustik atış yönü tespit sistemi, araç ve faydalı yüklerin uzaktan kontrolü, GERGEDAN Aktif Köreltme/Karıştırma Sistemi, Şahingözü-OD EO Sensör Sistemi, sismik sensör ve Güvenlik Yönetim Sistemi yer almaktadır.

Söz konusu dedektörlere ilave olarak, dron ile El Yapımı Patlayıcı tespit sistemleri geliştirilmesine yönelik araştırma/çalışmalar da bulunmaktadır. (Klein, vd., 2020; Otten, vd., 2021) Bununla birlikte; yapılan açık kaynak araştırmasında hâlihazırda silahlı

kuvvetler envanterine giren veya sahada kullanımına başlanan bir “dron ile El Yapımı Patlayıcı komuta kablosu tespit sistemi”ne rastlanmamıştır.

El Yapımı Patlayıcı komuta 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.



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

DRONA MONTELİ SENSÖRLER İLE EL YAPIMI PATLAYICI KOMUTA KABLOSU TESPİTİ VE BU MAKSATLA KULLANILABİLECEK TEKNOLOJİLER

El ve araç dedektörlerinin yukarıda açıklanan mahzurları, El Yapımı Patlayıcı 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, askerî 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, El Yapımı Patlayıcı tespitinde dronların kullanılmasının başta hız ve personel güvenliği olmak üzere önemli faydalar sağlayacağı öngörülmektedir.

Havadan El Yapımı Patlayıcı komuta kablosunun tespiti maksadıyla kullanılabilecek Yapay Açıklıklı Radar (Syntetic Aperture Radar-SAR), Yere Nüfuz Eden Radar (Ground Penetrating Radar-GPR) ve Kısa Dalga Kızıl 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 El Yapımı Patlayıcı komuta kablolarının yüksek doğrulukla tespit edilebileceği değerlendirilmektedir.

Yapay Açıklıklı Radar (Syntetic Aperture Radar-SAR)

Bu sensör teknolojilerinden biri olan ve SAR olarak da bilinen Yapay Açıklıklı Radar, gerçek açıklıklı radarların sınırlamalarını ortadan kaldırmak için geliştirilmiş sistemlerdir. SAR, yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmek için hareket halindeki bir radar sistemini kullanmaktadır. Geleneksel bir radar, bir antenin bir hedefin etrafında döndüğü durumları içerirken, SAR bir hava veya uzay aracının hareketi kullanılarak sentetik bir anten boyutu elde etmektedir.

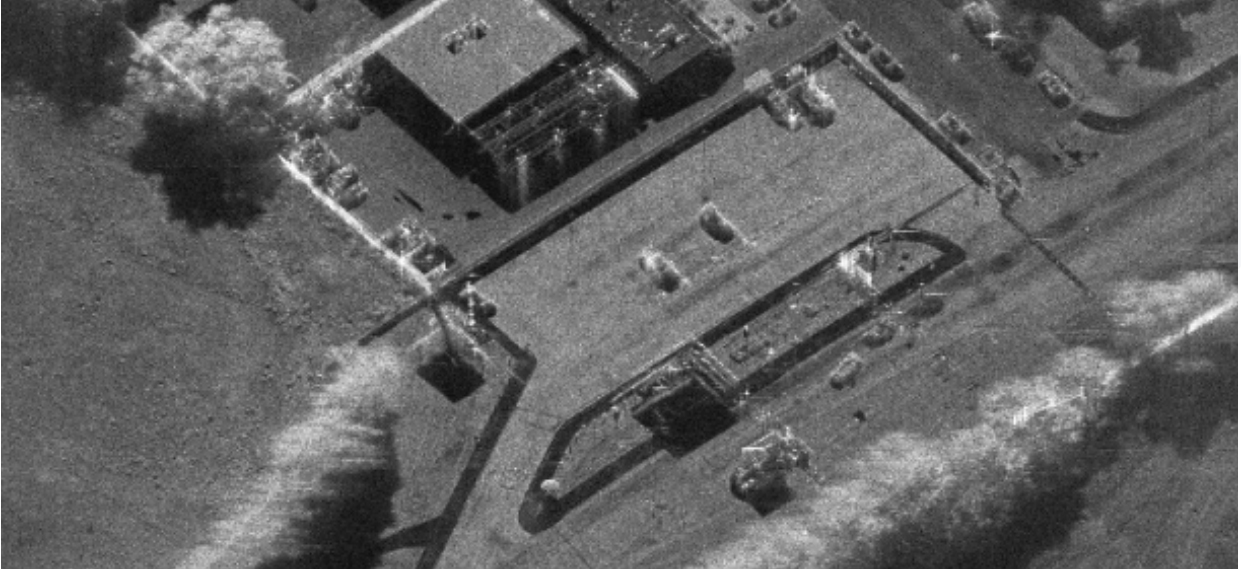
SAR, genellikle bir hava aracı, uydu veya başka bir taşıyıcı platform üzerine monte edilmekte, platform hareket hâlinde olduğunda, bu hareket, görüntüleme sürecinde sentetik açıklığı oluşturmaktadır. SAR tarafından bir hedef yüzeyine yayılan mikrodalga enerjisi, hedef üzerinde yansımakta, hareketli platformun konumu ve hızı dikkate alınarak veri toplanmakta ve bu veri, yansıyan sinyallerin faz ve yoğunluk bilgilerini içermektedir.

SAR, oluşmasını sağladığı sentetik açıklığı kullanarak yüksek çözünürlüklü radar görüntüleri oluşturmakta ve bu sayede yer yüzeyindeki detaylar daha iyi görünmekte ve analiz edilebilmektedir. SAR, yüksek çözünürlüklü görüntüleme kabiliyeti nedeniyle uzaktan algılama, hava durumu izleme, arazi haritalama ve savunma amaçlı birçok uygulama alanında kullanılmaktadır.

SAR 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.

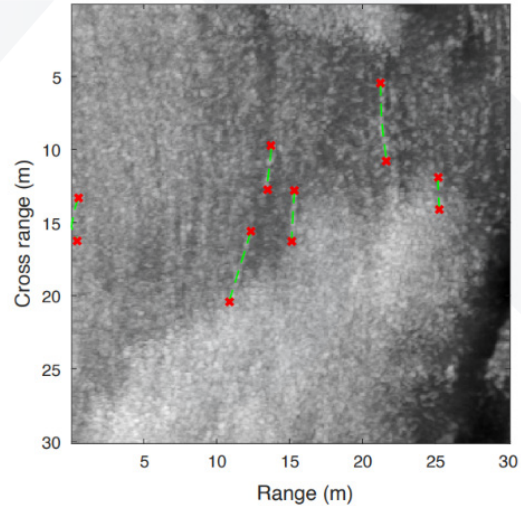
Günümüzde El Yapımı Patlayıcı komuta kablosunu tespit maksadıyla kullanılabilecek, drona monte edilebilen, 25 m irtifada kullanılabilen, çok kanallı X-Bantta çalışan, uçuş istikametinde 100° kapsaması olan, 20 cm çözünürlükte, rakım ve konum bilgisini radara entegre GPS ve IMU'dan alan, 1 kg'dan az ağırlığa, 25 cm çapa sahip küçük SAR sistemleri geliştirmeye yönelik çalışmalar mevcuttur. (Klein, vd., 2020; Otten, vd., 2021) 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-4 ve 5).



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



Fotoğraf-4: Drona Entegre SAR



Fotoğraf-5: SAR ile Kablo Tespit Görüntüsü

Yere Nüfuz Eden Radar (Ground Penetrating Radar-GPR)

Havadan arazi incelemesi maksadıyla kullanılabilecek bir diğer teknoloji ise 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.

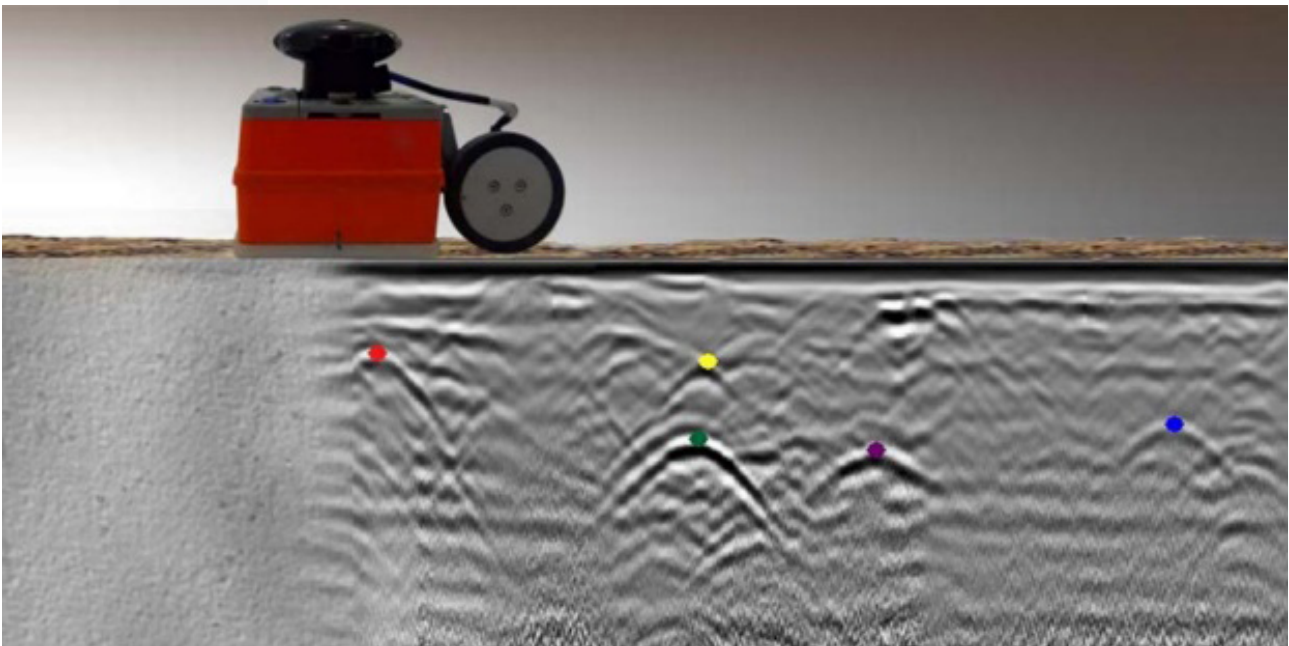
GPR ayrıca, yeraltında gömülü boru, su veya akaryakıt tankı ve eski endüstriyel atık alanlarının tespitlerinde, zemin araştırmalarında, tünel araştırmalarında, karayolu, demiryolu, su tünelleri, tüp geçitler, maden galerileri içinde duvar cephelerinin sağlamlık tespitinde, galeri içinde bozunmuş zon ve cevher aramada, galeri ilerleme yönü tespitinde ve adli tıp vakalarında yeraltındaki insan silah, mayın, vb. kalıntılarını aramada da etkin olarak kullanılmaktadır. GPR'in taşınabilir olması, çevreye herhangi olumsuz bir etki yapmaması, diğer jeofizik yöntemlere göre çok daha hızlı veri toplanabilmesi ve örneği Fotoğraf-6'da görülen yüksek çözünürlüklü yeraltı görüntülemesini yapabilmesi yöntemin en büyük avantajlarıdır. (<https://web.itu.edu.tr/evrene/GPR.html>)

GPR, yüzey altındaki malzemeleri görüntülemek için (genellikle düşük frekansta olan) elektromanyetik dalgalar

kullanılmaktadır. Bu dalgalar, toprak altındaki çeşitli malzemeler tarafından farklı şekillerde yansıtılmakta ve soğurulmaktadır. GPR, genellikle yüzeyin üzerine yerleştirilen bir çift anten içermekte, bunlardan bir tanesi verici anteni ve diğeri de alıcı anteni olarak çalışmaktadır. Elektromanyetik dalgalar, yüzey altındaki malzemelerle karşılaştıklarında kısmen yansımakta, kısmen soğurulmakta ve kısmen de iletilmektedir. Bu yansımalar, GPR'in alıcı anteni tarafından algılanmaktadır.

GPR, yansımaların algılanma süresini ve sinyalin toprak yüzeyine dönme süresini ölçer. Bu bilgiler, yansımaların yüzey altındaki derinliklerine ve özelliklerine dair bilgi sağlar. Alınan sinyal verileri, bilgisayarlar tarafından işlenir ve görüntüler oluşturulur. Bu görüntüler, yeraltındaki farklı malzemelerin tespit edilmesine yardımcı olur. Yüksek frekansta çalışan GPR sistemleri, daha ince detayları görebilirken, düşük frekanstaki sistemler daha derinlere nüfuz edebilmektedir.

Bu özellikleri göz önüne alındığında, yol ve patika gibi alanlarda toprak altına gömülerek gizlenen kabloların tespitinde, zemin yapısındaki farklılığı algılayabilen GPR teknolojisinin de kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Bu yöntemde, GPR monteli dronun yere yakın/alçak bir irtifada uçurulması gerekeceği; ayrıca, toprak tipi, nem oranı ve malzeme özellikleri gibi faktörlerin, GPR'nin performansını etkileyebileceği daima göz önünde bulundurulmalıdır.



Fotoğraf-6: GPR Görüntü Örneği (<https://www.sandberg.co.uk>)

Kısa Dalga Kızıl Ötesi (Short Wave Infra Red-SWIR)

Kablo tespitinde kullanılabilecek diğer bir teknoloji de Kısa Dalga Kızıl Ötesi (Short Wave Infra Red-SWIR) sensörlerdir. SWIR kameralar, kısa dalga kızıl ötesi bölgesindeki elektromanyetik radyasyonu algılamak ve görüntülemek için kullanılmaktadır. Bu kameralar, 0,9 ila 1,7 mikrometre (900 ila 1700 nanometre) arasındaki dalga boylarında çalışmakta; SWIR spektrumu, görünür ışık ve uzun dalga kızılötesi (LWIR) arasında bir bölgeyi kapsamaktadır.

SWIR kameralar, çevrelerindeki nesnelere aydınlatmak ve bu nesnelere yansıyan veya yayılan ışığı algılamak için bir ışık kaynağına ihtiyaç duyarlar. Bu ışık kaynağı, genellikle görünür ışık bölgesinde veya SWIR bölgesinde çalışan özel bir aydınlatma sistemi olabilir. SWIR kameralar, nesnelere yansıyan veya yayılan kısa dalga kızıl ötesi ışığı algılar. Bu ışık, nesnelere yüzey özelliklerine ve malzemelerine bağlı olarak farklı dalga boylarında olabilir.

SWIR kameralarda kullanılan sensörler, SWIR bölgesindeki ışığı algılamak üzere özel olarak tasarlanmıştır. Yarı iletken detektörler, genellikle InGaAs (İndiyum Gallium Arsenide) veya HgCdTe (Cıva Kadmiyum Telluride) gibi malzemelerden yapılır. Algılanan SWIR ışık sinyalleri, kameranın içindeki elektronik bileşenler tarafından işlenir. Bu işlenmiş sinyaller, bir görüntü oluşturmak üzere bir ekrana veya başka bir çıkış aracına iletilir.

SWIR kameralar, sis, bulutlar ve pus ardındaki net ayrıntıları yakalama yeteneğine sahiptir. SWIR kameraları, bulut kapsamına girebilen ve net bir görüntü yakalayabilen tek dalga boyu teknolojisidir. SWIR dalga boyu bandı, Fotoğraf-7'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 askerî uygulamalarda kullanılan SWIR lensleri, diğer dedektörlerin veya kameraların detay tanıma için yeterince hassas olmadığı durumlarda kullanılır.



Fotoğraf-7: SWIR Kamera Görüntüsü (<https://www.l3harris.com/swir>)

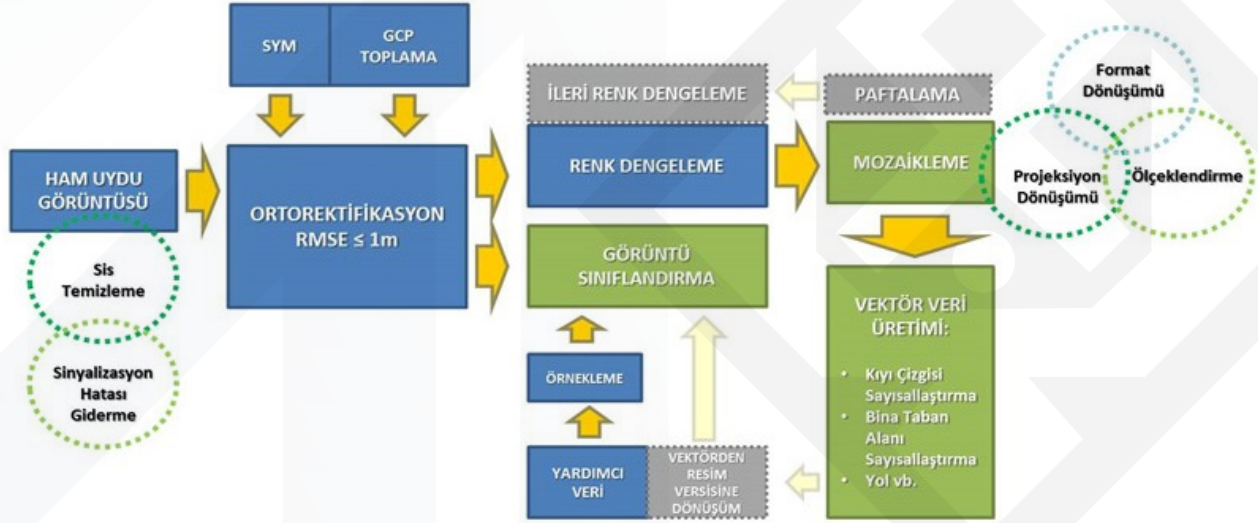
Görüntü İşleme Teknolojileri

Yukarıda bahsedilen SAR, GPR ve SWIR sensörlerden alınan veriler ile oluşturulan görüntüden El Yapımı Patlayıcı komuta kablosu varlığının tespiti için modern görüntü işleme teknolojilerinden istifa edilebileceği değerlendirilmektedir. Görüntü işleme, görüntüyü dijital form hâline 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 gelmektedir. Genellikle görüntü işleme sistemi, önceden belirlenmiş sinyal işleme (signal processing) yöntemlerini uygularken görüntüleri iki boyutlu sinyaller olarak ele almaktadır.

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.

Görüntü İşleme İş Akış Şeması



İş akışı Şekil 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.

Dijital veya analog görüntüler üzerinde çeşitli algoritmalar ve teknikler kullanarak bilgi çıkarma, analiz ve işleme süreçlerini içeren bir disiplin olarak da tanımlanan görüntü işleme teknolojisi, birçok sektörde çeşitli uygulama alanlarına sahiptir.

Tıp ve sağlık alanında MR, CT, röntgen ve ultrason gibi tıbbi görüntüleme tekniklerinde kullanılarak hastalıkların teşhisi ve tedavisi için önemli bilgiler sağlamakta ve hastaların durumlarını izlemek için kullanılabilir. Örneğin yüz ifadelerini analiz ederek ağrı seviyelerini değerlendirebilmektedir.

Otomotiv sektöründe araçların etrafındaki ortamı anlamak ve sürücüyü destek olmak için kullanılmakta; örneğin, şerit takip, park yardımı ve çarpışma önleme sistemlerinde yer almaktadır. Ayrıca; otonom araçlar, görüntü işleme teknolojisinin yardımı ile çevrelerini algılayıp ve güvenli bir şekilde hareket edebilmektedir.

Endüstriyel üretimde, kalite kontrol hususunda üretim hatlarında ürün kalitesini kontrol etmek için kullanılmakta, kusurlu ürünleri tanımlamak ve ayıklamak için görüntü analizi yapılabilmektedir. Endüstriyel

robotlar, görüntü işleme sayesinde nesnelere tanıyabilmekte ve doğru bir şekilde manipüle edebilmektedir.

Güvenlik ve gözetleme sektöründe kameralar aracılığıyla elde edilen video verileri üzerinde analiz yaparak güvenlik uygulamalarında kullanılmaktadır.

Örneğin, yüz tanıma, nesne algılama ve kişi izleme uygulamalarında görüntü işleme teknolojisinden istifade edilebilmektedir. Havaalanları ve sınırlarda güvenlik personelinin potansiyel tehditleri tespit etmesine yardımcı olabilmektedir.

Perakende ve ticaret sektöründe rafların takibini yaparak mağazalarda raflardaki ürün stoklarını takip etmek için kullanılabilir. Müşteri analitiği kapsamında ise mağaza içindeki müşteri davranışlarını analiz ederek mağaza düzenlemelerini optimize etmek için kullanılabilir.

Tarım uygulamalarında bitki hastalıklarını, zararlıları ve bitki büyümesini izlemek için kullanılan görüntü işleme teknolojisi, tarım makinelerini ürün hasadı sırasında yönlendirebilmektedir.

Bu örnekler, görüntü işleme teknolojisinin geniş ve çeşitli bir uygulama yelpazesine sahip olduğunu göstermektedir. Gelişen algoritmalar ve artan hesaplama gücü ile birlikte, bu teknolojinin önemi sürekli olarak artmaktadır.

Sonuç

Yukarıda açıklanan gelişmiş sensör teknolojileri, dronlar ve görüntü işleme yazılımlarında gelinen ileri aşamanın, El Yapımı Patlayıcı 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 El Yapımı Patlayıcı 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, 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 maksadıyla, 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 El Yapımı Patlayıcıları da 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.

Kaynakça

1. Klein K. T. J., Uysal F., Cuenca M. C., Otten M. P. G. ve de Wit J. J. M. (2020), "IED Command Wire Detection Using Multi-Aspect Processing on SAR Images," 2020 IEEE Radar Konferansı (RadarConf20), 1-6.
2. Otten M., Caro Cuenca M. ve Garcia Fernandez M. (2021), "IED Command Wire Detection with Multi-Channel Drone Radar," EUSAR 2021; 13. Avrupa Sentetik Açıklıklı Radar Konferansı, 1-4.
3. Yüksel S. E., Küçük S., Tekeli V., Kılıç B., Karakaya R. H., Zeka M. B. (2021), "El Yapımı Patlayıcıların ve Patlayıcı Maddelerin Tespitinde Kullanılan Spektroskopi Tabanlı Yöntemlerin Karşılaştırılmasına İlişkin Bir İnceleme", Savunma Bilimleri Dergisi, Sayı 39, 29-65.
4. Türkiye Cumhuriyeti Milli Mayın Faaliyet Otoritesi, "El Yapımı Patlayıcı (El Yapımı Patlayıcı) İmhası", MMFS 09.31, Birinci Baskı, Mayıs 2019.
5. <https://peakup.org/blog/yeni-baslayanlar-icin-goruntu-islemeye-giris/> (Erişim: 14.11.2023)
6. <https://web.itu.edu.tr/evrene/GPR.html> (Erişim: 18.11.2023)
7. <https://www.l3harris.com/swir> (Erişim: 21.12.2023)
8. <https://hackaday.com/wp-content/uploads/2014/02/image-from-sandias-system.png> (Erişim: 21.12.2023)
9. <https://stock.adobe.com/search?k=lidar> (Erişim: 14.11.2023)
10. <https://www.sandberg.co.uk/site/gpr/gpr-principles/> (Erişim: 14.11.2023)