HELİKOPTERLER İÇİN ENGEL TESPİT VE UYARI SİSTEMLERİ

Feza BÜYÜKŞAHİN ÖNCEL [1], Sevi İNCE[2], Fatih OVALI[3]

[1]STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Tic. A.Ş. , fbuyuksahin@stm.com.tr
[2]STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Tic. A.Ş. , since@stm.com.tr
[3]STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Tic. A.Ş. , fovali@stm.com.tr

Literatür Değerlendirmesi/Literature Review

ÖZET

Helikopterler için, alçak uçuşlarda, yüksek gerilim hattı telleri, telefon telleri, direkler ve benzeri engeller uçuş güvenliğini tehdit eden önemli unsurlardır. Özellikle yüksek gerilim hattı telleri, taarruz, arama ve kurtarma gibi görevlerde alçak irtifada ve yüksek süratte uçuş yapan askeri helikopterlerin kaza riskini yükseltmektedir. Gece ve/veya kötü hava koşullarında artan bu riski azaltmak için, birçok engel tespit ve uyarı sistemi geliştirilmektedir. Tel tespitine yönelik olarak, düşük ışık seviyesinde çalışan kamera sistemleri (LLLTV), termal görüntüleyiciler, milimetre dalga görüntüleyiciler, milimetre dalga radarları ve lazer radarları (LADAR) helikopterler üzerinde kullanılabilecek sistemlerdir. Bu çalışma kapsamında, belirtilen sistemlerin zafiyetleri ve avantajları incelenecektir. Ayrıca söz konusu sistemlerin, helikopterler için engel tespit amaçlı birlikte etkin kullanım olanakları tartışılacaktır.

Anahtar Sözcükler: Radar, LLLTV, LADAR, Termal Görüntüleyici, Milimetre Dalga Görüntüleyici.

ABSTRACT

OBSTACLE-AWARENESS AND WARNING SYSTEMS FOR HELICOPTERS

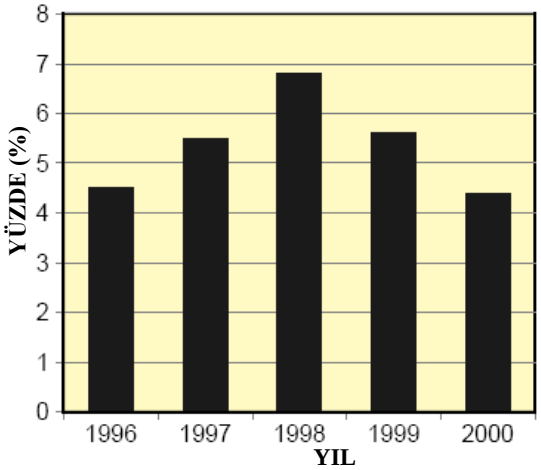
High-voltage lines, telephone lines, pylons and the other obstacles are the serious threats for flying safety of low-flying helicopters. Especially, high-voltage lines increase the risk of accidents for military helicopters flying low altitudes in high speed during missions such as attack, search and rescue. Many obstacle-awareness and warning systems have been developed to alleviate the risk of accident that rises under night and/or bad weather conditions. Low-light-level television sensors (LLLTV), thermal imagers, millimeter wave imagers, millimeter-wave radars and Laser radars (LADAR) are the systems that can be used on the helicopters to detect lines. In this study, weaknesses and advantages of these systems are investigated. Furthermore, possibility of efficient utilization of subject systems with the purpose of obstacle determination for helicopters shall be discussed.

Keywords: Radar, LLLTV, LADAR, Thermal Imager, Millimeter Wave Imager.

1. GİRİŞ

Helikopter platformları için, alçak uçuşlarda, yüksek gerilim hattı telleri, telefon telleri, direkler ve benzeri engeller uçuş güvenliğini tehdit eden önemli unsurlardır. Özellikle yüksek gerilim hattı telleri, taarruz, arama ve kurtarma gibi görevlerde alçak irtifada ve yüksek süratte uçuş yapan askeri helikopterlerin kaza riskini yükseltmektedir. Gece ve/veya sis, duman, kar, yağmur gibi kötü hava koşullarında görüş daha da kısıtlı olduğu için kaza riski helikopterlerin yapıları nedeniyle artmaktadır.

Dünyada her yıl, önemli sayıda tel ve benzeri engellerden kaynaklı helikopter kazaları meydana gelmektedir. ABD de 1996-2000 yılları arasında gerçekleşen helikopter kazalarının 50 adeti (%5,4) tellerin sebep olduğu kazalardır. En çok helikopter kazasının gerçekleştiği 1998 yılında, 191 helikopter kazasının %6,8 i bu sebepten meydana gelmiştir.
Şekil 9 de 1996-2000 yılları arasında ABD de tellerden kaynaklı, helikopter kazalarının yüzde oranları belirtilmektedir.



Şekil 9: 1996-2000 yılları arasında ABD de gerçekleşen, tellerden kaynaklı helikopter kazalarının yüzde oranları [8].

Kazalardan da anlaşıldığı gibi, önemli tehdit unsurlarından biri olan yüksek gerilim hatları ve benzeri engellerin tespitine yönelik, helikopterlerin bütün hava koşullarında güvenli uçuşunu sağlamak için dünyada yeni çalışmalar gerçekleştirilmekte ve geliştirilmektedir. Tellerin fark edilirliğini arttırmak için üzerlerine uyarı topları takılmakta ve kazaların önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Bu çözüm ucuz olmakla birlikte yetersiz kalmaktadır.

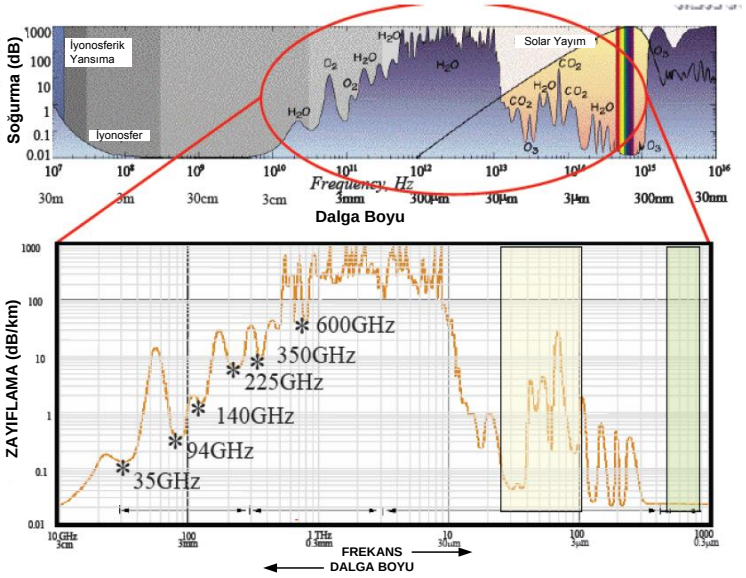
Bu çalışma, günümüzde helikopter engel tespitinde özellikle tel tespitine yönelik olarak platformlara takılan pasif ve aktif sistemler hakkında bilgi vermektedir. Bu sistemlerden, milimetre dalga radarları, lazer radarları (LADAR), düşük ışık seviyesinde çalışan kamera sistemleri (LLLTV), termal görüntüleyiciler ve millimetre dalga görüntüleyicilerin zafiyetleri ve avantajları incelenecektir. Ayrıca söz konusu sistemlerin, helikopterler için engel tespit amaçlı birlikte etkin kullanım olanakları tartışılacaktır.

2. AKTİF SİSTEMLER

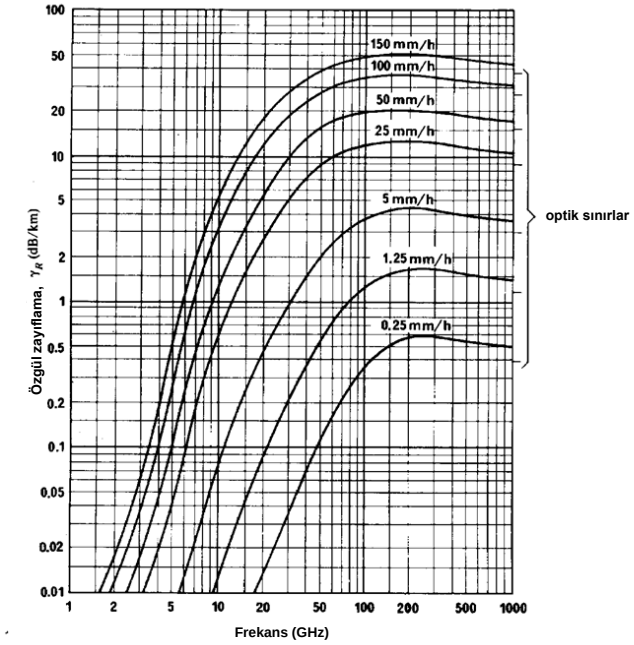
Aktif sistemler, atmosferin içinde yol alan ve sonra detektörlerine geri dönen kendi elektromanyetik enerjilerini oluşturan sistemlerdir. Aktif ikaz sistemleri, kısıtlı görüş koşullarında ince telleri ve diğer engel tespitlerinde daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemler lazer, milimetre dalga tabanlı radar sistemlerini kapsamaktadır.

2.1 Milimetre Dalga Radarları

Elektromanyetik spektrumda 30~300 GHz arasında kalan frekans aralığına, söz konusu frekans dalga boylarının 1~10 mm aralığında olmasından dolayı milimetre dalga bandı (MMD), bu bantta çalışan radarlara da MMD radarları denir. MMD radarları düşük frekanslarda çalışan radarlara göre daha iyi bir çözünürlük sağladığından küçük nesnelerin tespitine imkan vermektedir. Bununla birlikte bu frekans bandındaki radyo dalga yayılımı kendine özgü özellikler içermektedir; daha düşük frekanslarda ihmal edilebilir seviyelerde olabilen atmosferik kayıplar, bu banttaki radyo dalga yayılımında önem kazanmaktadır. Özellikle, oksijen (O_2) ve su buharı (H_2O) molekülleri ile rezonans yaratan belirli frekanslarda atmosferik kayıplar önemli derecede artmaktadır (Şekil 10). Benzer şekilde 10 GHz ve yukarısındaki frekanslarda yağmurun yayılıma olumsuz etkisi artmaktadır (**Şekil 11**).



Şekil 10: Atmosferik kayıp değerleri [9].



Şekil 11: Yağmurun MMD yayılımına etkisi [7].

MMD radarlar söz konusu atmosferik zafiyete sahip olmakla beraber, tasarımlarında atmosferik kayıpların en az olduğu frekansların tercih edilmesiyle sis, toz/duman, bulut gibi olumsuz çevresel koşullarda görevini yerine getirebilmekte ve bu tip elverişsiz koşullarda işlevsiz kalan optik ve IR sensörlere önemli bir üstünlük sağlamaktadır.

Anten kazancı, anten açıklığıyla doğru, dalga boyu ile ters orantılı olduğundan, frekans arttıkça RF (Radyo frekans) devre bileşenleri boyut olarak küçüldüğünden, MMD radar devreleri ve antenleri küçük boyutlarda üretilebilmektedir. Boyut ve ağırlıkta sağladığı avantajlar ile MMD radarları, taşıyabileceği alt sistemler açısından kısıtlı kütle ve hacim bütçesine sahip insansız hava aracı gibi küçük platformlara takılabilmekte, füzelerde arayıcı başlık olarak kullanılabilmektedir.

MMD radarları, uzaktan algılama, güvenlik ve endüstriyel ölçüm gibi birçok askeri ve sivil alanda yaygın olarak kullanılmaktadır:

- Otomatik seyir kontrolü
- Robotik algılayıcı
- Radarlı yükseklikölçer (altimetre)

- Hava savunma gözetleme
- Füze güdümü, hedef takibi
- Endüstriyel uygulamalarda hız ve mesafe ölçümü
- Meteorolojik ölçümler
- Trafik gözetleme
- İzinsiz giriş saptama
- Helikopter, insansız hava araçları, insansız kara araçları için engel tespit ve erken uyarı sistemleri

MMD radarlar genel olarak, darbeli (pulsed) ve sürekli dalga (continuous wave) olmak üzere iki tipte çalışma moduna sahiptir.

Darbeli MMD Radarlarda genellikle aşağıda belirtilen teknikler uygulanmaktadır:

- Faz uyumlu darbe
- Doppler/Hareketli Hedef Göstergesi (Moving Target Indicator)
- Faz uyumsuz darbe
- Darbe sıkıştırma

Sürekli Dalga MMD Radarlarda ise uygulanan teknikler genel olarak aşağıdaki gibidir:

- Doppler
- Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga (FMCW)
- Faz Modülasyonlu ve Çok Frekanslı Dalga Biçimi

Söz konusu MMD radarların temel olarak karşılaştırılması Tablo 34 de yer almaktadır:

Gereksinim / Özellik	**Sürekli Dalga MMD Radar**	**Darbeli MMD Radar**
Donanım karmaşıklığı	Basit	Daha karmaşık
Kısa mesafe hedef tespiti	Üstün	Uzun mesafeler (görece olarak) için daha uygun
Hareketli hedef ayrımı yapabilme yeteneği	Yapısı gereği sahip	Karmaşık sinyal işleme gereksinimi
Hedef mesafe ölçüm doğruluğu	Orta	Kısa süreli darbe genişliği sebebiyle daha iyi
Göndermeç – Almaç Yalıtımı	Monostatik konfigürasyonda (göndermeç ve almaç için ortak anten): 20-25 dB Bistatik anten konfigurasyonunda: >50 dB	Yapısı gereği yüksek

Tablo 34: Sürekli Dalga ve Darbeli MMD Radarların karşılaştırılması [12].

MMD Radar Örnekleri Tablo 35 de verilmektedir:

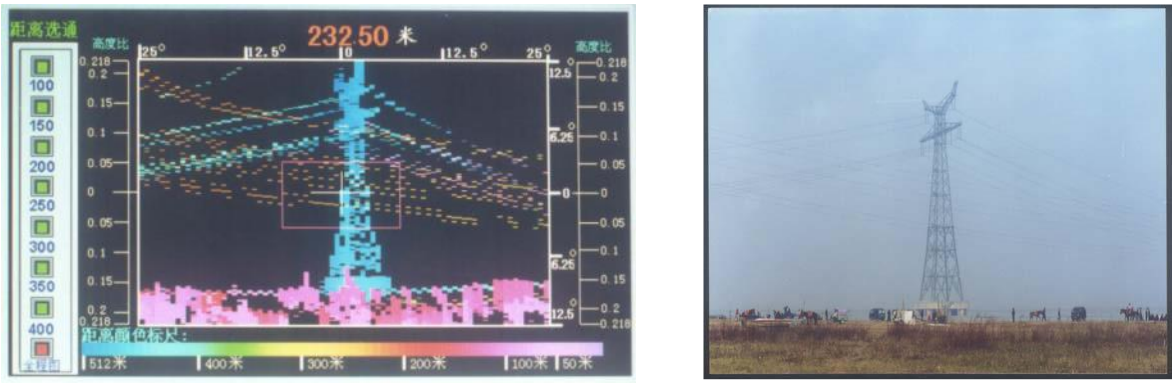
Frekans/Mod	**Açıklama**	**Uygulama alanı**
35 GHz FMCW	Doğrusal tarama, yüksek çıkış gücü, ayırıcı süzgeçli tümleşik tek anten, kompakt paketleme	İzinsiz insan ve araç giriş tespiti, robotik donatımlar için engel tespiti, trafik gözetleme ve kontrolü
76.5 GHz, FMCW	Dalga kılavuzu tabanlı elemanlar. 3 adet dar, 1 adet geniş hüzme yaratabilen tümleşik anten. Opsiyonel tek darbe konfigürasyonu. 10 mW ~ 100 mW arasında değişen güç çıkış opsiyonu. Doğrusal tarama (doğrusallık < % 0.1, 400MHz tarama-aralığı)	Prototip olarak; otomobillerde çarpışmayı önleme, güvenlik, robotik gözetleme/mesafe ölçüm, trafik gözetleme uygulamaları
76.5 GHz, çoklu-mod	Tümleşik paketleme	Otomobillerde çarpışmayı önleme ve otomatik seyir kontrol sensörü
94 GHz, Darbeli	Kısa süreli darbe (100 ns) (Faz uyumlu)	Füze güdümü ve çarpışmadan kaçınma
94 GHz FMCW	Frekans çevik, doğrusal kararlı operasyon 10 mW ~ 1	Meteorolojik uygulamalar

	W arasında değişen çıkış gücü	için araştırma radarı
35 GHz	Minyatür paketleme, tümleşik anten besleyici, yüksek çıkış gücü (> 1Watt CW). Dayanıklı ve sağlam.	Füzeler için arayıcı başlık

Tablo 35: MMD Radar Örnekleri [12].

2.2 Lazer Radarlar

Helikopterlerin gece/gündüz ve kısıtlı görüş şartlarında, özellikle görüş mesafesinin sınırlı olduğu alçak uçuş koşullarında rotası üzerinde bulunan engellere (tel, arazi vb.) çarpmasını önlemek maksadıyla aktif bir sistem olan lazer engel tespit sistemi mürettebata gerekli görsel ve işitsel ikazı yaparak hava aracının bekasını artıran bir sistemdir. Lazer kullanan sistemler, bina, baca, kule, ağaç gibi engelleri tespit edebilme özelliğine sahiptir. Metalik nesnelerin yansıtması metalik olmayan nesnelere göre daha yüksek olduğu için Lazer kullanan sistemler tel, kule gibi metal sistemleri kolaylıkla tespit edebilmektedir. **Şekil 12** de, güç telleri ve kulesinin Lazer Radar ve kamera görüntüsü yer almaktadır. Kamera görüntüsünde tam olarak seçilemeyen güç telleri Lazer Radar kullanılarak tespit edilebilmektedir. Lazer Radar sistemleri kablo ve ince telleri belirli uzaklığa kadar tespit edebilir. Tespit edilebilen telin kalınlığı ve tespit menzili kullanılan lazer radar sistemlerine göre farklılık gösterir. Örnek olarak 1.5 µm göz korumalı lazer ışını kullanan HELLAS sistemi 5mm kalınlığındaki teli 1200 metreye kadar tespit edebilmektedir [5]. Göz korumalı fiber lazer ışını kullanan SWORD sistemi 5mm kalınlığındaki teli 2000 metreye kadar tespit edebilmektedir [6].



(a) (b)

Şekil 12: Güç telleri ve kulesinin Lazer Radar görüntüsü (a), kamera görüntüsü(b) [13].

Lazer radar optik frekanslarda çalışan ve electromanyetik radyasyon kaynağı olarak lazeri kulllanan bir çeşit radardır. Lazer Radar kısaca LIDAR (**LI**ght **D**etection **A**nd **R**anging) ya da LADAR (**Lazer D**etection **A**nd **R**anging) olarak tanımlanır. İlk optiksel radar sistemlerine LIDAR adı veriliyordu. Daha sonra, çok ilkel ve düşük performanslı LIDAR tekniklerinden ayırmak için yeni tekniklerle elde edilen radarlara LADAR adı verildi. Günümüzde daha çok ticari uygulamalarda LIDAR, askeri uygulamalar da ise LADAR terimi kullanılmaktadır. Bu iki terminoloji arasındaki temel fark LIDAR'ın kısa dalga boylarını LADAR'ın ise uzun dalga boylarını kullanarak çalışmasıdır [9],[2].

Modern lazer radar sistemleri radar ve optik sistemlerin yeteneklerini birleştirerek

- Menzil,
- Yansıma,
- Hız,
- Yoğunluk,
- Sıcaklık,
- Yükselme

ölçümlerini sağlar.

Ölçümlerin kalitesi sinyal dalga oranı (Signal to noise ratio- SNR), lazer dalgaboyu, modülasyon ve demodülasyon teknikleri gibi birçok faktöre bağlıdır [10].

LADAR sistemleri, lazer, alıcı sistemi, optik ve tarama sistemleri, elektronik ve sinyal işleme sistemleri, mekanik yardımcı elemanlar gibi alt sistemlerden oluşmaktadır. Tarayıcı optikler, lazer atımlarını helikopterin

uçuş yönüne dik şekilde bir tarama yapmak için yönlendirirler. Lazer radar sistemleri, taramayı saniyede 100.000 den fazla atım yaparak gerçekleştirirler ki bu atım tekrar frekansıdır. Lazer ışığı ışık hızında (c= 3x10^8 m/s) hareket eder.

Bu sistemler, lazer atımının vericiden çıkıp geri dönmesi ile uçuş zamanını (t) hesaplarlar ki uçuş zamanı aşağıdaki denklemde görülen eşitliğe sahiptir.

$$t = 2\frac{R}{c} \qquad (1)$$

Denklemde R ile gösterilen Lazer Radar ve nesne arasındaki mesafedir. Hedefe olan menzil (R) eşitlik 1 kullanılarak bulunabilir.

Lazer Radar, radara göre daha küçük dalga boylarında (Ultraviole, görünür ya da yakın kızılötesi bandlarında) çalışır. Işın aralığı radara göre daha dardır. Bu da daha yüksek taşıyıcı frekansı (carrier frequency) demektir. Yüksek taşıyıcı frekans, menzil, hız ve açısal konum ölçümlerinde yüksek çözünürlük ve doğruluk sağlar. Küçük objelerin tespitinde daha uygundur. Günümüzde kullanılan lazerlerin yapılarının küçük boyutlarda olması lazer radarın daha küçük boyutlarda paketlenmesini sağlar. Boyutun küçük olması lazer radarlarının helikopterlerde ya da ağırlık ve alanın önemli olduğu uygulamalarda kullanılmasına olanak sağlar [3].

Lazer ışığı atmosferin etkisine maruz kalır. İyi hava koşullarında dahi yansıyan lazer ışığında kayıplar olmaktadır ki bu kayıplar kötü hava koşullarında ciddi şekilde artmaktadır. Yerden yüksek noktalardan yansıyan ışınlar daha az kayıpla sistemin alıcısına dönerken, atmosferin daha uzak noktalar için sis etkisi yaratması sonucunda, yansımalar alıcının algılayamayacağı kadar zayıflar.
Tablo **36**, arka plandan kaynaklanan atmosferik kayıplar dahilinde tespit aralığını göstermektedir.

Hava Koşulları	Görünürlük (km)	Kayıplar (dB/km)
Açık kış günü	12	0.4
Sisli yaz günü	5	1.7
Yağışlı 4mm/saatte	3.5	3
Karlı 1mm/saatte	1	15
Yoğun sisli	0.6	30

Tablo 36: Hava koşullarının lazer yansısına etkisi [9].

Yoğun sis ve yağışlı havalarda, lazer ışınının atmosferdeki saçılması fazla olduğu için engel tespit yeteneği azalmaktadır. Nüfuz etmesinin düşük olması, küçük alanları tarayabilmesi ve kısa mesafe tarama yapabilmesi, aynı zamanda aktif bir sistem olması nedeniyle kendi yerinin bilgisini de iletebilir olması sistemin zafiyetleridir.

Bu sistemin, pasif kızılötesi tarama ve iz takibi yapan sistemlerle ve termal görüntüleyicilerle birlikte kullanılması durumunda yanlış alarm verme oranı azalır. Lazer radarlar, milimetre dalga radarlarıyla birlikte kullanılması durumunda açısal pozisyon ve mesafe bilgilerindeki hata payını azaltır.

3. PASİF SİSTEMLER

Pasif sistemler, dünya yüzeyinden yansıyan güneş ışınlarını yayan nesneleri veya doğası gereği enerji yayan nesneleri algılayan, kendisi enerji yaymayan algılayıcılardır. Bu tür algılayıcıların avantajı yerinin belirlenememesidir. Pasif algılayıcılar genelde görünür bölge, kızılötesi ve milimetre dalga boylarında çalışırlar.

3.1 Düşük Işık Seviyesinde Çalışan Kamera Sistemleri (LLLTV)

Düşük ışık seviyesinde çalışan kamera sistemleri görünür bölge üzeri (0.4 - 0.7 μm) ve kısa kızıl ötesi dalga boyu (1.0 -1.1 μm) aralığındaki frekanslarda algılama yapan CCD (charge-coupled device) kameralardır. Bu özellik ile LLLTV kameralar düşük ışık seviyesinde, çıplak gözle görülemeyen nesnelerin görüntülenmesini sağlar.

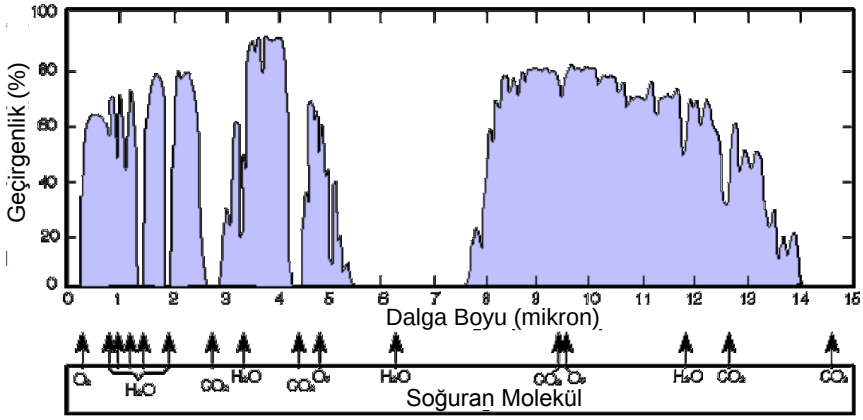
CCD ışığa duyarlı foto diyotlardan oluşur. Bunlar, düşen ışığı elektrik sinyaline çevirirler [4]. Bu kameraların görüntü sağlaması için ortamda ışık olması gerekmektedir. Kullanılan CCD sensörün özelliğine göre ortamda yeterince ışık olmaması durumunda engeller görüntülenemeyebilir. Bu kameralar insan gözünün gördüğü şekilde

stereskopik görüntüler sağlasa da engellerin belirlenmesi biraz pahalı olabilir. Bu teknolojinin nesneyi görüntüleyebilmesi için bilgisayar analizine ihtiyaç duyar, bu da sistemin fiyatını arttırır. Günümüz sensör sistemlerinin çoğu ticari kullanımda alan dizileri ve askeri kullanımda doğrusal dizileri kullanmaktadır. Bu kategoride üç-sıralı tarama, stereskopik sonuçlarından dolayı popüler olmaktadır. Belirttiğimiz gibi stereskopik sonuçlar arka planı ve engellerin doğasını belirlemek için bir hesaplama yazılımına kesinlikle ihtiyaç duyar [9].

3.2 Termal Görüntüleyiciler

Doğada bulunan tüm varlıklar sahip oldukları sıcaklığa bağlı olarak farklı dalga boylarında yoğunluk değişimi gösteren termal radyasyon olarak da adlandırılan elektromanyetik enerji yayarlar. Termal görüntü sistemleri, 3µm-5µm (Orta Kızılötesi-MWIR) dalga boyu aralığında ve 8 µm-12µm (Uzak Kızılötesi-LWIR) dalga boyu aralığında çalışır.

Nesnelerden yayılan enerji atmosferden geçerken saçılır veya soğrulur. Kızılötesi enerji atmosfer içinde yol alırken dalga boyuna bağlı olarak atmosferin geçirgenlik özelliği değişkenlik göstermektedir. Bir kısım enerji atmosferde yol almaya devam eder. Bu doğal etkiler sonucunda ancak bazı dalga boyu aralıklarında enerjinin uzak mesafelere iletimi mümkün olur. Bu aralıklara atmosferik pencere adı verilir. Kızıl ötesi için bu atmosferik pencere aralıkları 3µm-5µm ve 8µm-12µm olmak üzere iki bölgeden oluşur. Bu aralıklar kızılötesi algılama sistemlerinin dalga boyunu belirler. Kızılötesi enerjinin soğrulduğu bölgeler ise soğrulma bandı olarak ifade edilir. Su buharı (H_2O), karbondioksit (C_2O), ozon (O_3) soğrulmanın çok olmasına neden olurlar. **Şekil 13** de görüldüğü üzere, 3-5 µm ve 8-14 µm atmosferik pencerelerinde iletim iyidir.



Şekil 13: Atmosferik geçirgenlik grafiği [1].

Cisimlerden yayılan ve insan gözü tarafından algılanamayan kızılötesi enerjiden elde edilen bilginin görünür hale dönüştürülmesi termal görüntüleme teknolojisi tarafından sağlanır. Bu algılayıcılar, Galyum Nitrit, Caseium Nitrate ve Gallium Indium gibi ince bir film şeklinde pyro-elektrik maddelerden yapılırlar. Böyle bir görüntüde nesnelerin sahip oldukları farklı sıcaklıklar farklı renk tonlarında gösterilir. Termal görüntüleme sistemleri nesnelerden kızılötesi band içinde yayılan enerjiyi görüntüye dönüştürdüğü için pasif algılama yapan sistemler olarak tanımlanır. Gece ve gündüz görüntülemeye olanak sağlarlar. Görüntü içerisinde sıcak ya da soğuk noktaların ya da farklı yayınıma (emissivity) sahip alanların tespiti için idealdir. Termal görüntüleme gerçek zamanlı, uzaktan erişilebilir bir tekniktir. Termal ışıma duman, sis, bulut ve diğer atmosfer etkilerinden kaynaklı ortamlarda görünür ışımadan iletimi daha yüksektir. Bu nedenle, bütün hava koşullarında çalışılması istenen sistemler termal görüntüleme yapan sistemlerle tamamlanırlar.

Elektro-Optik termal görüntüleyici sistemleri genellikle İleri Görüş Kızılötesi Sistemleri (FLIR - Forward Looking Infra-red Systems) ya da Termal Görüntüleyici Sistemler ya da Kızılötesi Arama ve Takip (IRST - Infrared Search and Tracking) olarak bilinir. FLIR sistemleri helikopterlerin ön tarafında yer alarak, gündüz ve gece koşullarında yüksek kalitede termal kızıl ötesi görüntü elde edilmesini sağlar [9].

3.3 Milimetrik Dalga Görüntüleyicileri (MMD)

Son yıllarda, Pasif Milimetre Dalga Görüntüleyicilerin kullanımı askeri ve sivil uygulamalarda artmaktadır. Pasif milimetre Dalga Görüntüleme Sistemleri elektromanyetik spektrumun milimetre dalga bölgesinde yer almaktadır. Bu bölge radyo dalgaları ile kızılötesi dalga bölgeleri arasındadır. Milimetre dalga ışıması,

ortamdaki nesnelerin termal yayınımın sonucudur ve böylece aydınlatmaya ihtiyaç yoktur. Pasif milimetre dalga sensör sistemlerinin ana bileşenleri, kamera, sinyal işleme ve görüntüleme arayüzüdür.

Helikopterler sis, duman, bulut, kum fırtınası gibi görüş mesafesini etkileyen koşullarda görüşü sağlayabildiklerinde uçuşlarını daha güvenli yapabilirler. Bu koşullarda milimetre dalga sensörlerinde belirtilen şartlarda atmosferik saçılım ve zayıflama kızılötesi ve görünür bölge sensörlerine göre daha düşüktür. Kötü hava şartlarında termal ve görünür (visual) kameraların görüşleri kısıtlıdır, bu nedenle tüm hava koşullarında, Pasif Milimetre Dalga Görüntüleyiciler, termal ya da kızılötesi görüntüleme sensörlerine göre tercih edilirler. Milimetre dalga görüntüleme sistemi ile elde edilen görüntülerin zıtlığı kızılötesi sensörlerden elde edilenlerden daha belirgindir. Pasif Milimetre dalga görüntüleri böylece helikopterler için kötü hava koşullarında daha iyi görüntü sağlarlar. Daha uzun dalga boyu ve sınırlı açıklık büyüklüğünde (aperture size) açısal çözünürlükleri, görünür ve kızılötesi görüntüleyicilerle karşılaştırıldıkları zaman düşüktür. Pasif Milimetre dalga sensör sistemlerinin çözünürlükleri sensör optiklerinin seçimi ile iyileştirilebilir. Kısa dalga boylu milimetre dalga sensörleri kullanıldığı zaman, sis, bulut, duman, kum fırtınaları gibi hava şartlarında, milimetre dalga görüntüleyicileri ile atmosferik yayılım iyi olduğu için daha iyi görüntü elde edilir. En iyi yayılım, 35GHz, 94GHz, 140GHz ve 225GHz dir [9].

4. SİSTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Helikopterlerin uçuş güvenliğini tehdit eden engelleri tespit etmek için aktif ve pasif sistemler kullanılmaktadır. Elektromanyetik spektrumun çeşitli bölgelerindeki farklı dalga boylarını kullanan bu aktif ve pasif sistemlerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları,
Tablo 37 de özetlenmiştir.

SENSÖR SİSTEMLERİ	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Milimetre Dalga Radarları (MMDR)	• Tarayabildiği alanlar büyüktür. • Tüm hava koşullarında kullanılabilir. • Gece ve gündüz görüş sağlar. • Düşük frekanslarda bitki örtüsü içinde ilerleyebilir. • Menzil ve hız bilgisini verir.	• Kamera sistemlerine göre düşük çözünürlük sağlar. • Karıştırılabilinir. • Yaydığı sinyal tespit edilebilir.
Lazer Radarlar (LADAR)	• Menzil, hız, yükselme ve azimut bilgisini verir. • MMDR sistemlerine göre yüksek çözünürlük sağlar. • Gece ve gündüz görüş sağlar. • Küçük boyuta sahiptir. • Karıştırılmaya karşı dirençlidir. • Tel gibi ince cisimlerin tespitinde daha etkindir.	• Kötü hava koşullarında, atmosferdeki saçılması fazladır. • Kamera sistemlerine göre düşük çözünürlük sağlar. • Bitki örtüsü içinde yansıması azalır. • Tarayabildiği alanlar küçüktür. • Kısa mesafelerde tarama yapar. • Yaydığı sinyal tespit edilebilir.
Düşük Işık Seviyesinde Çalışan Kamera Sistemleri (LLLTV)	• Düşük ışık seviyesinde görüntü sağlar. • Karıştırılmaya karşı dirençlidir.	• Menzil ve hız bilgisini vermez. • Ortamda ışık seviyesi kendi ihtiyacı olandan daha düşükse görüntü sağlanamaz.
Termal Görüntüleyiciler	• Gece ve gündüz görüş sağlar. • Karıştırılmaya karşı dirençlidir. • Yüksek çözünürlük sağlar. • İyi görüntü bilgisi verir.	• Menzil ve hız bilgisini vermez. • Dar alan görüntüsü sağlar. • Bitki örtüsü ve bulut içinde düşük görüntü sağlar. • Hava koşullarından etkilenir.
Milimetre Dalga Görüntüleyici (MMD)	• Geniş alan görüntüsü sağlar. • Tüm hava koşullarında kullanılabilir. • Gece ve gündüz görüş sağlar.	• Menzil ve hız bilgisini vermez. • Düşük çözünürlük sağlar.

	• Düşük frekanslarda bitki örtüsü içinde ilerleyebilir. • Yükselme ve azimut bilgisini verir.	

Tablo 37: Sensör Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları [9].

5. SİSTEMLERİN BİRLİKTE ETKİN KULLANIMI

Helikopterlerin alçak uçuşlarda, gece ve/veya kötü hava koşullarında, yüksek gerilim hattı telleri, telefon telleri, direkler gibi uçuş güvenliğini tehdit eden engelleri tespit sistemlerinde elektro optik sensörlerin ve radarların kullanımı önerilmektedir.

Lazer Radarlar daha iyi çözünürlük sağlarken, kötü hava şartlarından daha çok etkilenirler. Milimetre dalga radarları düşük frekanslarda her türlü hava koşullarında ve gece/gündüz tespit yapabilir, fakat daha az çözünürlük sağlar. Kızılötesi kameralar gece/gündüz görüşü, yüksek çözünürlük sağlarken, bitki örtüsü ve bulut içinde nüfuz etmesi düşüktür. Milimetre Dalga Görüntüleyicileri bütün hava koşullarında ve gece/gündüz geniş alanların görüntülerini sağlarken, çözünürlükleri düşüktür. Örneklerden ve Tablo 37 den anlaşıldığı gibi her sistem kendine ait avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Pasif sistemler tek başlarına kullanıldığında menzil ve yükseklik bilgisi vermezler. Aktif sistemler ise yükseklik, menzil ve hız bilgilerini verebilirken, gerçek zamanlı görüntü bilgisi sağlayamazlar. Bu nedenlerle sistemlerin birlikte kullanılmaları, bütün hava koşullarında ve gece/gündüz engel tespitinde daha etkin sonuç vermekte ve yanlış alarm verme oranını düşürmektedir. Sistemlerin birlikte etkin olarak kullanımları
Tablo 38 de verilmektedir [9].

Sensör Sistemleri	**Gece/Gündüz**	**Duman/Sis**	**Toz/Kum**	**Yağmur/Kar**	**Çözünürlük**
LLTV + IR Kamera	İyi	Zayıf	Zayıf	Orta	İyi
Lazer Radar + IR Kamera	İyi	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Çok iyi
MMD Radarı + IR Kamera	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi
IR Kamera (iki bantta çalışabilen 3-5µm – 8-12µm) + MMD Radar	Çok iyi	İyi	İyi	İyi	Çok iyi
MMD Görüntüleyici + Lazer Radar	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi
IR Kamera + MMD Görüntüleyici	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi
MMD Görüntüleyici + MMD Radar + IR Kamera	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	İyi
MMD Radarı + MMD Görüntüleyici + LLTV	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	İyi
LLTV + IR Kamera + MMD Radar	Çok iyi	İyi	İyi	İyi	Çok iyi

Tablo 38: Sistemlerin birlikte etkin kullanımları [9].

MMD Radarları, Lazer Radarlar ile karşılaştırıldığında, atmosferdeki saçılımının az olması nedeniyle engel tespitinde daha etkilidirler. Her türlü hava koşullarında MMD Radarları lazer radarlardan daha iyi sonuç vermektedir. Milimetre dalga sensör sistemleri kötü hava koşullarında nüfuz etme etkisinin fazla olması nedeniyle kızılötesi kamera sistemlerinden daha iyi sonuç vermektedir. Kızılötesi kamera sistemleri, gece/gündüz görüş sağladığı için, LLLTV kameralara göre tercih edilebilir. Tablo 38 de belirtildiği gibi MMD Radarının bulunduğu kombinasyonların diğer sistemlere göre daha etkin sonuçlar verdiğini ve MMD Radarlarını özellikle iki bantta çalışan kızılötesi ve MMD Görüntüleyicilerle kullandığımızda kızılötesi ve MMD Görüntüleyicilerin sağladığı avantajlar sonucunda bütün hava koşullarında ve gece görüşünde etkinliğinin arttığını görmekteyiz.

Lazer Radarlar daha ince cisimleri tespit edebildikleri ve boyut olarak MMD radarlara göre daha küçük oldukları için MMD Radar yerine tercih edilebilir. Ancak atmosferdeki saçılımı fazla olduğu için, MMD Görüntüleyiciler ile birlikte kullanımı da diğer bir etkin çözüm önerisi olabilir.

6. SONUÇ

Helikopter Görsel Uçuş Kuralları (Visual flight rules (VFR)) ile kısıtlanırsa 24 saatlik zaman periyodunun sadece %20 si kadar bir sürede çalışabilir. Helikopterleri basit gece görüşlü elektro-optik sistemlerle donatılırsa, gece ve gündüz olmak üzere, %60 ı kapsayan bir zaman aralığında çalışabilir. Helikopterin bu sistemlere ek olarak bütün hava koşullarında, çalışabilir sistemlerle donatabilinirse gün içinde %100 kullanabilir olması sağlanabilir [11].

Sistemlerin performans parametrelerini göz önünde bulundurduğumuzda, helikopter platformları için Milimetre Dalga Radar ve Lazer Radar teknolojileri, engel tespitinde sağladığı avantajlardan dolayı, güvenilir çözümlerdir. MMD Radar, Kızılötesi ve MMD Görüntüleyici sisteminin veya Lazer Radar, MMD Görüntüleyici sisteminin tercihi platformların kısıtlarına ve sistemlerin maliyetlerine göre yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. **A. ROGALSKI, K. CHRZANOWSKI**, (2002), "Infrared Devices and Tecniques", *Opto-Electronics Review* 10(2), 111-136.

2. **CHRISTIAN G. BACHMAN,** (1979), *Laser Radar Systems and Tecniques*.

3. **CLIFTON, S.FOX,** (1993), *The Infrared and Eletro-Optical System Handbook, Volume 6 Active Electro-Optical Systems,* USA.

4. **DAMJONOVSKI, V**., (2005), *"CCTV Networking and Digital Technology", 2nd Edition,* Elsevier Inc.,Burlington, USA

5. **EADS - HELLAS**, "Awareness Terrain /Obstacle Collision Avoidance System", http://www.eads.com, (2008)

6. **ELBIT SYSTEMS - SWORD**, "Surveillance and Warning Obstacle Ranging and Display", http://www.elbitsystems.com, (2008)

7. **FCC OFFICE OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY, NEW TECHNOLOGY DEVELOPMENT DIVISION,** (July 1997), "Millimeter Wave Propagation: Spectrum Management Implications", Bulletin number 70

8. **HARRIS Joel. S**, (July-August 2002), Data Show 50 U.S.-registered Helicopters Involved In Wire-strike Accidents From 1996 Through 2000",*Flight Safety Foundation, Helicopter Safety*, Volume 28, No. 4

9. **JAM IJAZ AHAMED** (2006), "Developing All-weather Flight Capability for Civil Helicopters", *M Sc individual research project.*

10. **JELALIAN, ALBERT,** (1992), *Lazer Radar Systems,* USA

11. **M.L. BUSBRİDGE, D.J. PULESTON,** (1989), "A Laser Obstacle advance and Display System", *IEEE*

12. **QUINSTAR TECHNOLOGY, INC**., (2008), "Application Note 5: Millimeter Wave Radar Subsystems", http://www.quinstar.com/an05_millimeter_wave_radar_subsystems.html

13. **WANG WEI-RAN1, YUAN JIN,** (2005), "Design and Tests of A Cable Detection Laser Imaging Radar System" *Journal of Electronic Science and Technology of China,* Vol.3 No.3.