



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



Döner Kanatlı Hava Araçları İçin Gerçek Zamanlı Tel Algılama Sistemi

Burak Yavuz Çengel  
031890016

TASARIM DERSİ

BURSA 2021

T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Döner Kanatlı Hava Araçları İçin Gerçek Zamanlı Tel Algılama Sistemi

Burak Yavuz Çengel  
031890016

Projenin Danışmanı : Prof. Dr. Kemal Fidanboylu

## ÖZET

İnsanlı ve insansız pervaneli hava araçları günümüzde sıklıkla kullanılmakta. Bu araçların karıştıkları kazaların yadsınamayacak bir kısmının nedeni ise havai hatlar, teller ve kabloların tespit edilememesinden doğan çarpışmalar. İnsanlı hava araçları için pilot ve araçtaki takım, telleri tespit edebilmeleri için eğitilse de eğitimler yeterli değil. Can ve mal kayıplarını önlemek için de araçlarda çarpışma önleyici ve engel tespit edici sistemler kullanılmakta fakat bu sistemler insan gözüyle de zor görünen telleri tespit ederken gerçek zamanlı sonuçlar vermekte zorlanabiliyorlar ya da bunu yapan sistemler oldukça maliyetli.

Kabloların tespit edilmesindeki zorlukların üstesinden gelebilmek için RADAR, LIDAR ve Kızıl Ötesi görüş gibi çeşitli yöntemler incelendi. Araştırılan yöntemler arasından temel kriterler olarak seçilen gerçek zamanlı performans ve düşük maliyet kıstaslarının monoküler kameralarla görüntü işlemeyi temel alan “pasif sistemler” ile karşılanabileceği düşünüldü.

Kullanılması planlanan sistemler evrimsel sinir ağlarıyla (convolutional neural networks) çalışarak düşük hafıza ve işlem gücü kullanıyor böylece gerçek zamanlı sonuç alınabiliyor. Donanım yazılımla değiştirildiğinden maliyette azalma görülüyor.

**ABSTRACT**

Manned and unmanned rotor-crafts are frequently used daily. The reason for an undeniable portion of the accidents involving these vehicles are collisions due to undetected overhead lines, wires and cables. Although the pilot and flight crew are trained to detect wires, trainings are not enough. Anti-collision and obstacle detection systems are used in vehicles to prevent loss of life and property, but these systems have difficulty in providing real-time results when detecting wires that are difficult to see with the human eye, or systems that do this are quite costly.

Various methods such as RADAR, LIDAR and Infrared vision were examined to overcome the difficulties in detecting cables. It was thought that the real-time performance and low cost should be the main criteria and among the researched methods these criteria could be met with “passive systems” based on image processing with monocular cameras.

The system is planned to be used with convolutional neural networks. This method uses low memory and processing power, so real-time results can be obtained. Cost reduction is seen as hardware is replaced by software.

## İÇİNDEKİLER

|  |     |
|--|-----|
| ÖZET .....   | II  |
| ABSTRACT .....   | III |
| İÇİNDEKİLER .....  | IV  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....  | VI  |
| 1. GİRİŞ .....   | 1   |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....  | 2   |
| 2.1. Uçuş Güvenliği Kurumu, Helikopter Güvenliği (Temmuz-Ağustos, 2002) [3] .....  | 2   |
| 2.2. Tel Güvenliği [8] .....   | 6   |
| 2.3. Pasifik Güneybatı Uçuş Kazasından Alınan Dersler [9] .....  | 7   |
| 2.4. Helikopter Tel Çarpışması Güvenlik ve Önleme Cihazları: İnceleme, Zorluklar ve Öneriler [1] .....                       | 11  |
| 2.4.1. Güç Hattı Veritabanları .....   | 13  |
| 2.4.2. Güvenlik Cihazları .....  | 13  |
| 2.5. Hava Aracı Güvenlik Sistemleri için Tellerin Kamera ile Algılanıp Oluşturulması [6] ..                                  | 20  |
| 2.5.1. Gereksinimler .....   | 21  |
| 2.5.2. Çalışmanın Süreci .....   | 22  |
| 2.5.3. Benzer Çalışmalar .....   | 23  |
| 2.5.4. Tel Algılama .....  | 24  |
| 2.5.5. Tel Yapılandırma .....  | 26  |
| 2.5.6. Değerlendirme .....   | 28  |
| 2.6. İnsansız Hava Araçları İçin Sentetik Veriden ve Genişletilmiş Evrişimli Ağlardan Faydalanarak Tel Algılanması [4] ..... | 29  |
| 2.7. LOAM ve SLAM'e Dayanan Gerçek Zamanlı Elektrik Hattı Güvenlik Mesafesi Tespiti [7] ..                                   | 32  |
| 2.7.1. Nokta Bulutunun Oluşturulması .....   | 33  |
| 2.7.2. Kablo Modelleme .....   | 33  |
| 2.7.3. Elektrik Direği Çıkarımı .....  | 34  |
| 2.7.4. Mesafe Tespiti .....  | 34  |
| 2.7.5. Yapılan Deneyler .....  | 35  |
| 2.8. Tel Algılama İçin Pasif Engel Algılama Sistemi (PODS) [5] .....   | 36  |
| 2.9. Aktif W-Band Milimetrik Dalga Sensörü ile Kablo Görselleme [2] .....  | 38  |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM .....  | 41  |

|                    |    |
|--------------------|----|
| 4. KAYNAKLAR ..... | 42 |
| 5. ÖZGEÇMİŞ .....  | 43 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 2.1 - ABD helikopter kazalarının tel çarpması kaynaklanan kazaların yüzdesi .....   | 2  |
| Şekil 2.2 - ABD helikopterlerin tel çarpışma kazasından sonra hasar yüzdesi .....   | 3  |
| Şekil 2.3 – Uçuşun aşamalarına göre ABD helikopter tel çakışması kazalarının yüzdesi .....  | 4  |
| Şekil 2.4 – Bir ALEA helikopteri .....  | 6  |
| Şekil 2.5 – Helikopterin iniş alanı ve aldığı hasar .....   | 8  |
| Şekil 2.6 – Kırık tahta elektrik direği de bir kablo kazası sonucu. Mavi gökyüzü önünde kablo ve tellerin ne kadar zor görüldüğüne dikkat edin..... | 9  |
| Şekil 2.7 – 1994-2018 arası kablolarla bağlı helikopter kazaları (sol), yaşanan kazalardaki ölüm sayısı (sağ) .....                                 | 11 |
| Şekil 2.8 – 1994-2018 arası kablo kazasına karışan helikopter modelleri.....  | 12 |
| Şekil 2.9 – Powerline Detection System (PDS) .....  | 14 |
| Şekil 2.10 – Stereo vision sistem çıktısı.....  | 19 |
| Şekil 2.11 – Ele alınan sistemlerin değerlendirmesi.....  | 20 |
| Şekil 2.12 – Yüksek gerilimli elektrik telleri ileri bakan bir kamerayla 1.2km menzilde görülebiliyor .....   | 21 |
| Şekil 2.13– Sistemin çalışma şekli .....  | 22 |
| Şekil 2.14– Tel algılama sistemini oluşturan üç aşama .....   | 24 |
| Şekil 2.15 – Yapay olarak oluşturulan veri setinden bir örnek.....  | 29 |
| Şekil 2.16 – Çaprazlamaların yapıldığı parametre alanı .....  | 30 |
| Şekil 2.17 – Modellerin çaprazlama sonuçları .....  | 31 |
| Şekil 2.18 – Önerilen sistem ile klasik bir LIDAR sisteminin kıyası .....   | 32 |
| Şekil 2.19 – Nokta bulutunun sonuç çıktısı .....  | 35 |
| Şekil 2.20 – Testin gerçekleştirildiği bölge .....  | 35 |
| Şekil 2.21 – Uçuş yapılan bölgeden elde edilen nokta bulutu .....   | 36 |
| Şekil 2.22 – PODS algoritmasının blok diyagramı .....   | 37 |
| Şekil 2.23 – Testin gerçekleştiği bölgenin fotoğrafı .....  | 39 |
| Şekil 2.24 – Tellerin ve kulelerin yansıttığı sinyallerin görselleştirilmiş hali .....  | 39 |
| Şekil 2.25 – Sensör yeryüzüne doğrultulduğunda alınan geri dönüşün normali ile kıyası.....  | 40 |

## 1. GİRİŞ

Günümüzde dronlar ve helikopterlerin artan kullanımı nedeniyle kazalar da artmakta. 1994 ve 2018 yılı arasında sadece kablolardan kaynaklı 214 kaza gerçekleşti ve bunlardan 124 tanesi ölümle sonuçlandı. Kablolarla çarpışmadan kaçınabilmek için pilotlar her ne kadar eğitilse de kabloların ve insan gözünün doğasından ötürü sadece bireylere dayanarak kalıcı bir çözüm bulmak mümkün değil. Bu duruma çözüm üretmek için taranan belgelere dair çıkarımlar yapıldı.

Öncelikle gerçekleşmiş olan kazaların nedenleri ve sonuçlarında alınan önlemler incelendi. Ardından mevcut teknolojiler ve önlemler değerlendirildi. Bunun ardından kullanılabilecek bazı teknolojiler ve yöntemler üzerine daha detaylı araştırma yapılarak tasarlanacak sistemin temelleri atıldı.

Evrişimli sinir ağıları (CNN) kullanarak görüntü işleme yapan ve farklı dalga boylarından görüntüleri de işleyecek hibrit sistem, araştırmalarda karşılaşılan diğer pasif sistemlerin eksiklerini gidermesi planlanıyor. CNN gerçek zamanlı performansı yüksek olduğundan, hareketli ortamlarda görüntü işlemek için en iyi tercih. Burada bütün amaç donanımın yazılımla değiştirilerek maliyetin düşürülmesi.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

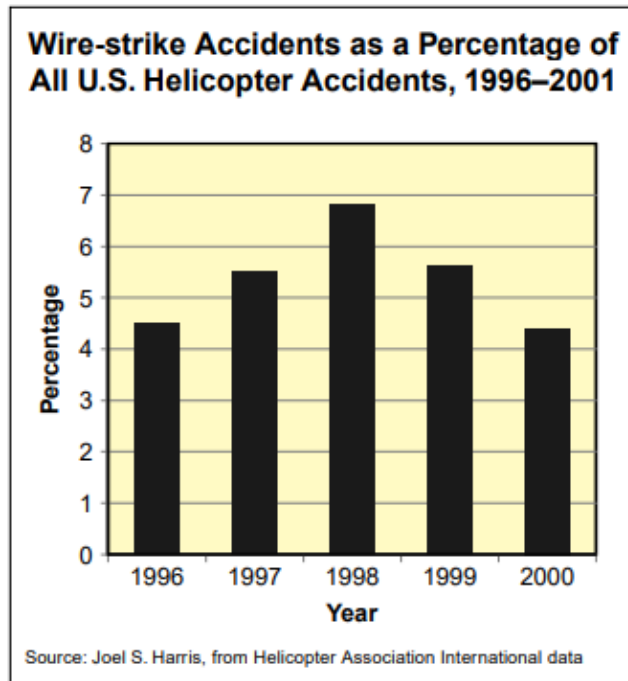
### 2.1. Uçuş Güvenliği Kurumu, Helikopter Güvenliği (Temmuz-Ağustos, 2002)

[3]

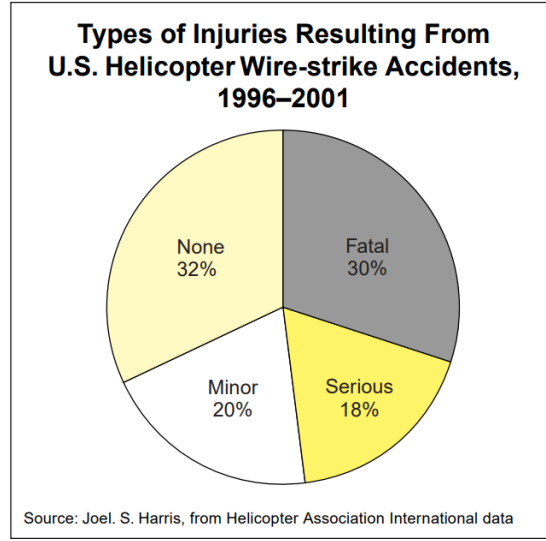
Elde edilen verilere göre 1996 yılından 2000 yılına kadar ABD’de yaşanan 934 helikopter kazasından 50’si (%5.4’ü, çizelge 2.1) kablolardan kaynaklı kazalar ve bu kazalardan 15’i en az 1 ölümle, 9’u ise ağır yaralanmalarla sonuçlanmış (çizelge 2.2).

Kabloların bunca kazaya sebep olmasının sebepleri arasında helikopterlerin üstlendikleri görevlerden ötürü düşük irtifalarda uçmak zorunda kalması, uygunsuz alanlara iniş yapmak zorunda kalması, kabloların hem kendi yapılarından hem de çeşitli çevre koşullarından ötürü fark edilmesindeki güçlük gösterilmiş.

Yanı sıra yaşanan bu 50 kazadan 33’ünde helikopterin ciddi hasar aldığı, geri kalan 17’sindeyse tamamen atıl hale geldiği, yanı sıra bu 50 kazadan 7’sinin gece vakti gerçekleştiği belirtilmiş.



Şekil 2.1 - ABD helikopter kazalarının tel çarpması kaynaklanan kazaların yüzdesi



Şekil 2.2 - ABD helikopterlerin tel çarpışma kazasından sonra hasar yüzdesi

Makale bu kısımdan itibaren yaşanan bazı kazalardan bahsetmeye başlıyor. İlk ele alınan kaza 1997 yılında ambulans helikopter olarak görev yapan bir Bell 407'nin başına geliyor. Kaza esnasında helikopterde olan 4 kişinin 4'ü de ölüyor.

Helikopteri kullanan pilot bundan önce orduda helikopter pilotu olarak görev yapmış ve 4.000 saatlik uçuş tecrübesi olan bir pilot olmasına rağmen gece vakti gerçekleşen bu uçuşta yerden araba farlarıyla aydınlatılan iniş bölgesinden yaralıyı aldıktan sonra kalkış esnasında bölgeye dair haritalarda bulunmayan ve olması gerektiği gibi işaretlenmemiş güç hattı kablolarına takılıyor.

Helikopter kabloya temas halinde helikopteri koruması için wire cutterlar ve ön cam koruyucularla donatılmış olmasına rağmen kurtulamıyor.

Bu kazada helikopter ekipmanına rağmen kurtulamazken diğer bir örnekteyse efektif birer donanım oldukları ortaya konuluyor.

Ele alınan bir diğer kazada helikopter kaçak bir suçluyu arama çalışmalarına dahil olurken daha önce 3 kablo hattını fark edip kaçınmayı başaran pilot dönüş yolculuğu esnasında 4. Bir hattı gözünden kaçırıp takılıyor. Helikopterin üzerinde bulunan koruyucu ekipmanlar sayesinde kazayı helikoptere minimal hasarlarla atlatmayı başarıyor.

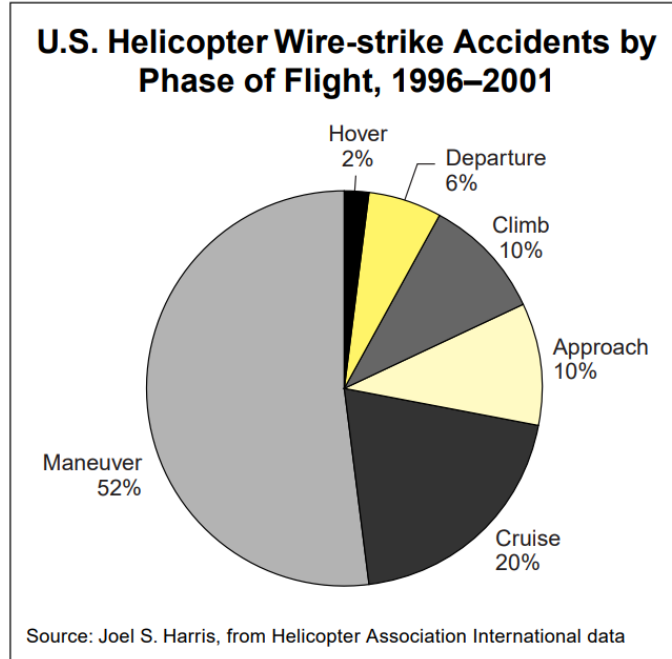
2001 yılında Helicopter Association International ve U.S. National EMS Pilots Association'ın yaptığı bir ankete göre 182 katılımcı pilottan 121'inin kullandığı helikopter wire cutterlar gibi koruyucu ekipmanlarla donatılmıştı, kalan 61'i inin kullandığı helikopterler ise bu tarz ekipmanlardan yoksundu.

Kazalar en çok havacılık sınavları için yapılan uçuşlarda yaşandı. Yaşanan 13 kazanın tamamı gün ışığında oldu ve birisi ölümlle sonuçlandı. 4 helikopter atıl hale geldi ve 9 helikopter ciddi hasar gördü.

Yaşanan kazalardan birisi Sikorsky S-58 model bir helikopter ile aynı uçuşu aynı gün içinde hali hazırda yapmış olan ve kazaya sebep olan televizyon tellerinin üstünden aynı gün içinde geçip tespit etmiş olan bir pilotun başına geldi.

Pilot radyodan kendisiyle konuşan başka bir pilot tarafından dikkatinin dağılması ve haritaları kontrol etmeye başlamasından ötürü televizyon tellerini gözünden geçiriyor ve kaza gerçekleşiyor.

Bunların yanı sıra uçuşun gerçekleştiği gün havanın kapalı olması ve helikopterin camının kirli olmasının da kazaya sebep olmuş olabileceği söylenmiş.



Şekil 2.3 – Uçuşun aşamalarına göre ABD helikopter tel çakışması kazalarının yüzdesi

Konuyla ilgili uzmanlar kazalardan kaçınmak için pilotların çalıştıkları bölgenin dinamiklerine dair kendilerini daha iyi eğitmeleri gerektiğini söylemiş. Bunu sağlamak için arazide uçmuş diğer pilotlarla iletişime geçilebileceği ve bölgede keşif amaçlı yüksek irtifadan bir uçuş gerçekleştirilebileceği öne sürülmüş.

Kablolar hem kendi yapıları hem de insan gözünün çalışma şekline göre gözden kaçması oldukça kolay objeler. Pilotların ve helikopter sahiplerinin bu konuda ellerinde olan bütün olanakları kullanabilmeleri için uçuş esnasında kablolar üzerinde dikkat edebilecekleri ya da daha önceden helikopterlerine implemente edebilecekleri cihazları içeren şöyle bir liste yapmışlar:

- Kablolar üzerinde işaretleme için kullanılan genelde turuncu renkli olan silindirik işaretçiler.
- Makalenin çıktığı dönemde çıkmış olan bazı kablo tespit sistemleri.
- Helicopter Laser Radar (HELLAS) sistemleri
- Uçuşun gerçekleşeceği bölgeye dair kabloları içeren veritabanları ve bu veritabanlarını kullanan çeşitli uyarı sistemleri

## 2.2. Tel Güvenliği [8]

Araştırması yapılan broşürde elektrik tellerinin ortaya çıkardığı tehlikeden ve pilotların buna karşı alması gereken eğitim ile önlemlerden bahsedilmektedir. Kamera ile algılama sistemlerin gelişmesi sayesinde yüksek irtifadan bölge araştırması yapılan arama kurtarma gibi görevlerin yapılması kolaylaşmıştır. Buna karşın helikopter pilotlarının işleri gereği sık sık elektrik tellerinin bulunduğu, bilinmeyen bölgelere iniş yapılması gerekmektedir. Helikopter görevleri yangın söndürme, halatla insan indirme, vinç, yük taşıma gibi düşük irtifa gerektiren görevler bulundurabilmektedir. Birçok görev, vadiler boyunca döşenen tellerle kaplı dağlık arazilerde geçmektedir.



*Şekil 2.4 – Bir ALEA helikopteri*

Uçuş planlaması, ister bilindik ister bilinmedik her türlü bölgede görev için kaçınılmaz bir aşamadır. ATSB (Avustralya Taşımacılık Güvenliği Bürosu) araştırmasına göre elektrik telleriyle çarpışma kazalarından önce pilotların %63'ü (ATSB, 2006) telin konumundan haberdardı.

Pilotların elektrik tellerine karşı tedbirli olması, özellikle karanlık veya düşük aydınlık şartlarında telleri görmenin zorlaşması sebebiyle her zaman mümkün olmamaktadır; bunu gece görüşü gözlükleri de iyileştirememektedir. Elektrik telinin bölgede bulunduğunu gösterebilecek işaretlerin, bölgede yaklaşık 2-4 saniye göz

gezdirerek taranması gerekmektedir. Bu taramanın uçuş yönünün her iki tarafına da en az 45 derecelik açıyla yapılması gerekmektedir. Genellikle telleri tespit etmek için bakılması gereken mesafe tahmin edilenden uzak, süreç de tahmin edilenden uzundur.

Broşürde pilotların tel algılamada eğitim süreçlerinde, belirli bir grup elektrik teli bulup etrafında uçuşlar yaparak gözlemlmeleri önerilmektedir. Bazı açılarda görünür olup bazı açılarda görünmemelerine dikkat çekilmiştir. Yüksekten ve alçaktan uçuşlar yapılarak, tel bulunan bölgede çalışmadan önce her yükseklikten incelenmesinin önemi öğrenilmelidir. Belirli tel bulma stratejilerini belirten bir liste belirtilmiştir. Bu liste şu şekildedir:

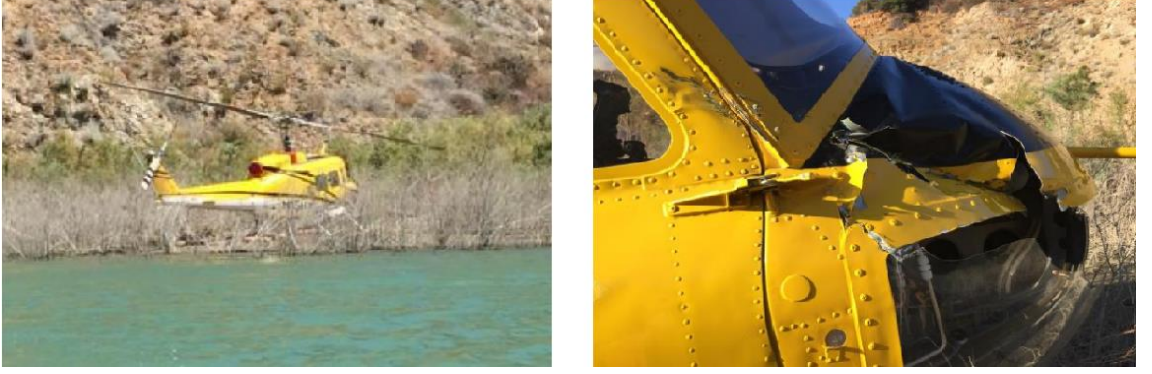
- Her eve giden bir tel vardır.
- Her yolda bir tel bulunur.
- Virajlarda zıt yönde ilerleyen bir destek teli bulunur.
- Hava durumuna ve elektrik akımına göre tellerin sarkıklığı değişkenlik gösterecektir.
- Birçok elektrik direğinin tepesinde çok sarkık olmayan bir tel bulunmaktadır.
- Bütün kulelere bağlı destek halatları bulunmakta, bu halatlar kulenin uzunluğu kadar uzamaktadır.
- Kulelerin üstünden geçilmemelidir; engel işaretçi ışığı çalışmıyor olabilir.
- İnşaat alanlarında geçici olarak teller bulunabilir.
- Tellerde bulunan dönüştürücüler telin doğrultusuna hizalı bulunur.
- Son olarak, doğada doğrusal çizgiler kendiliğinden bulunmaz.

### **2.3. Pasifik Güneybatı Uçuş Kazasından Alınan Dersler [9]**

14 Ağustos 2015 saat 14:02'de, bir Bell 205A-1 model helikopter bir iletişim kablosuna takıldıktan sonra acil iniş yaptı. Pilot zarar görmedi ama araç hasar aldı (şekil 2.2).

İtfaiye için söndürme aracı olarak kullanılan bu helikopter, yangın durumu nedeniyle rezervuardan su almak için havalandı. Su tankı doldurulduktan sonra havalanıp rezervuardan yangın yönüne doğru ilerlemeye başladı. Pilot işaretlenmemiş siyah iletişim kablosunu ve çelik teli görmedi ve zeminden yaklaşık 15 metre yukarıda 50 knot (92.6

km/h) hızla kabloyla çarpıştı. Kablo kopmadan helikopterin sağ burun ve çene kısımlarıyla temas etti. Bir kısımda da kablo pervanenin 2 bıçaklarının kenarına değdi ve az hasar verdi. Aracın kontrolünün kısa süreliğine de olsa kaybedilmesine karşın pilot kontrolü geri almayı başardı ve yardım çağrısında bulunup acil iniş gerçekleştirdi.



Şekil 2.5 – Helikopterin iniş alanı ve aldığı hasar

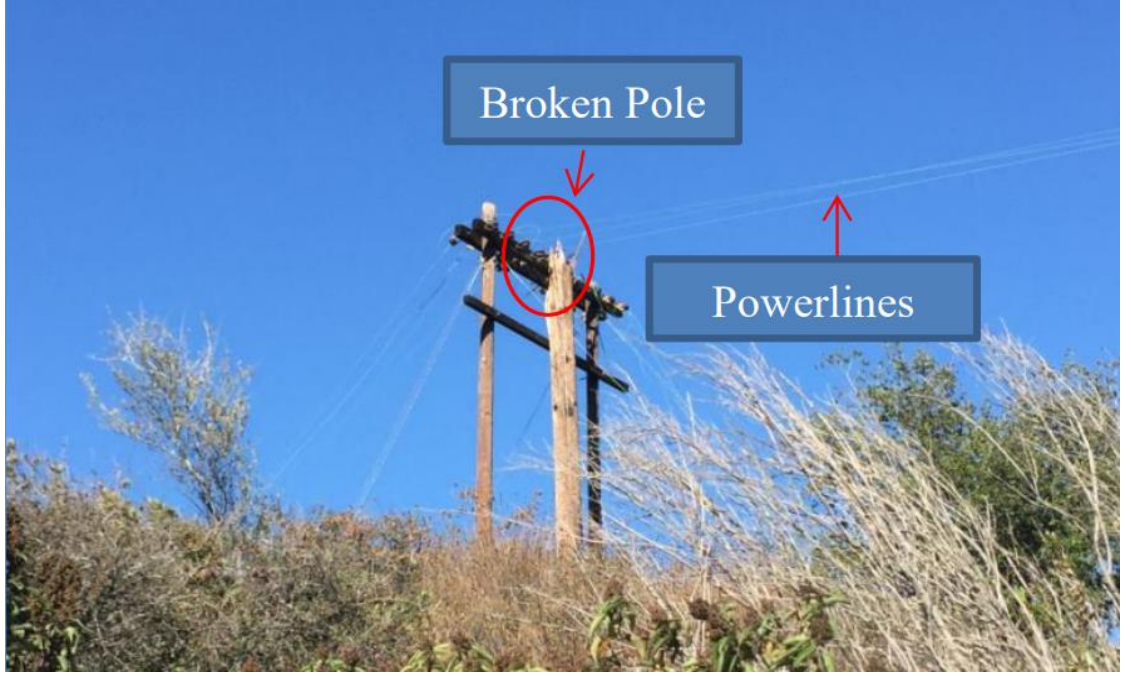
Yangınlarda kullanılan helikopterlerin büyük çoğunluğu söndürme çalışmalarında yerden yukarı 300 metrenin altında uçmak zorunda ve ayrıca bu alan bir çok kabloların da bulunduğu alan. Aşınalık bulunan bir alanda tekrar uçmak bile kesin bir güvenlik sağlamıyor.

Normal uçuş hızlarında teller neredeyse görünmez, çünkü biraz insan gözünün işleyişi biraz da arkaplandaki efektler ve ışıkların geliş açıları telleri kamufle ediyor. İnsan gözü, görüş merkezinden 3 derece uzakta keskinliğini yitirmeye başlıyor. Bu sebeple tele doğrudan bakmayan bir insan teli fark edemiyor.

Göz doktoru Warren Deltaan, kazaların nasıl fark edilip kaçınıldığını maddeler halinde sunmuş:

- Pilot kabloyu görmeli
- Pilot görüntünün bir tehdit olduğunu kavramalı
- Pilot uçuş rotasına göre kabloyla çarpışma olup olmayacağını belirlemeli
- Pilot nasıl tepki vereceğine karar vermeli - alçalmak, yükselmek, dönmek, vb.
- Pilot kontrolleri hareket ettirmeli
- Helikopter Kontrollere tepki vermeli

Bu işlemler 5 ila 6 saniye sürer ve uçuş hızına bağlı olarak bir hava aracı önemli mesafeler katedebilir.



Şekil 2.6 – Kırık tahta elektrik direği de bir kablo kazası sonucu. Mavi gökyüzü önünde kablo ve tellerin ne kadar zor görüldüğüne dikkat edin

Pervaneli taşıtlar yılda ortalama 66 kablo ya da engel kazalarına karışıyor ve bunların %30'u ölümcül. Aletli meteorolojik koşullar ya da gece uçuşlarında kabloların farkedilme becerisi düşüyor ve ölüm oranı %60'a yükseliyor. Son 10 yılda tel kazaları pervaneli araç ölümlerinde 1 numaralı neden.

Uçuş sırasında telleri fark etmek oldukça zor olsa da kazalar hala önlenabilir. En iyi savunma tellerin nerede olabileceğini ve nasıl tespit edileceğini bilmek.

Pilotlara tellerden çok onları destekleyen direkleri görmeleri öğretiliyor çünkü direkleri görmek tellere göre daha kolay. Her operasyonda yüksek seviyede farkındalıkta bulunmak tellerin ortamında uçuş için çok önemlidir. Parçalı olarak gözden geçirmek ya da orman uçuş tehlike haritası hatta ve hatta keşif uçuşları gerekli önlemler ama ortamdaki bütün telleri tespit etmeye yetmeyebilir. Eğitimin yerine geçebilecek hiçbir şey yok. Eğitimler sadece pilotlara değil araçlardaki takımlara da veriliyor. Görevler sırasında bütün takımın tehlikelerin farkedilmesinde rol oynaması tel ve engel kazalarının önüne geçmede çok önemli.



Yeni tel çarpması nlleme teknolojileri kazaların azaltılmasını sağlasa da bütün araçlarda bu sistemler yok ve tüm teller işaretli değiller. Tel kazalarını nllemede en iyi metotlar arasında potensiyel olarak tehlikeli ortamlar hakkında eğitim almak ve kokpit içindeki uyanıklığı arttırmak.

Neler öğrenildi?

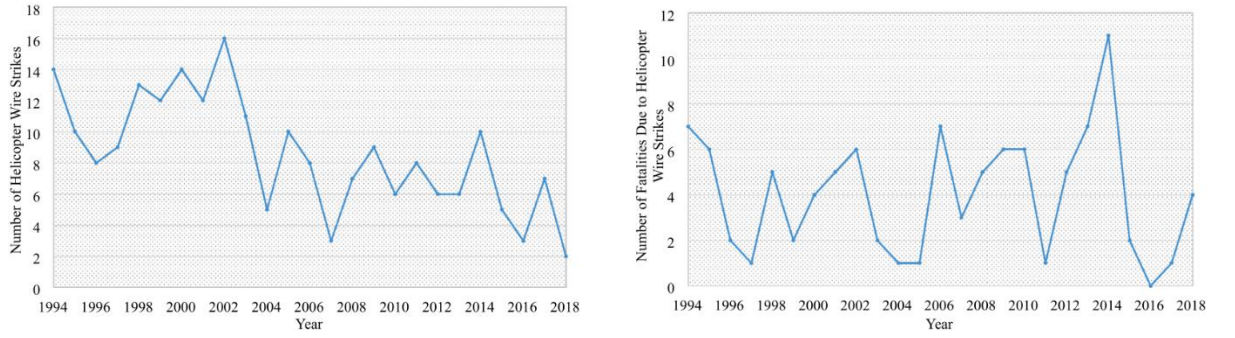
- Gerçekleşen kazalardan ders çıkarmak. Rezervuar alanı genelde su almak için kullanılırken bölgedeki tellerin tehlike haritasında bulunmaması büyük talihsizlik olsa da başka kazaların gerçekleşmemesi için gerekli önlemler hemen alınmalı.
- Eğitim. Tüm havacılık personeli kablo ortamlarında nasıl davranılması gerektiğiyle ilgili gerekli bilgileri edinmeli.
- Tehlike hakkında iletişimde olmak. Aynı tehlikenin görüldüğünden emin olmak.
- Görünürlük. Pilotun giydiği kıyafetler iniş alanında kamuflaj sağladığından fark edilmesi oldukça zor olabilir. Araçta her zaman fark edilebilecek kıyafetler taşınmalı.
- Acil Durum Konum Belirleme Vericisi (ELT). Pilot telefon çeken bir konum bulmak için iniş alanından ayrıldı ve yeri 4 saat kadar bilinemedi. Eğer olay alanından ayrılınması gerkiyorsa uçuş takımının bulunması için ELT ya da el radyosu alınmalı.
- Kuraklık Koşulları. Rezervuardaki su seviyesi düşük olduğundan kablolar daha yüksekte bulunuyorlardı. Durumların değişmesinden dolayı kablolar doğal uçuş rotasında olduklarından böyle bir kaza gerçekleşti.
- Su alma alanı Seçimi. Eğer sul almak için yangına daha yakın bir alan seçilseydi bu kaza gerekleşmeyebilirdi.
- Tehlikeli tellerin işaretlenmesi. Normalde elektrik hatları işaretlenmiş olsa da kazada çarpılan kabloların iletişim hatları olması ve dolayısıyla

işaretlenmemesinden pilot fark edemedi ve kaza gerçekleşti. Şimdi kablolar ya işaretlenmeli ya da konumları değiştirilmeli.

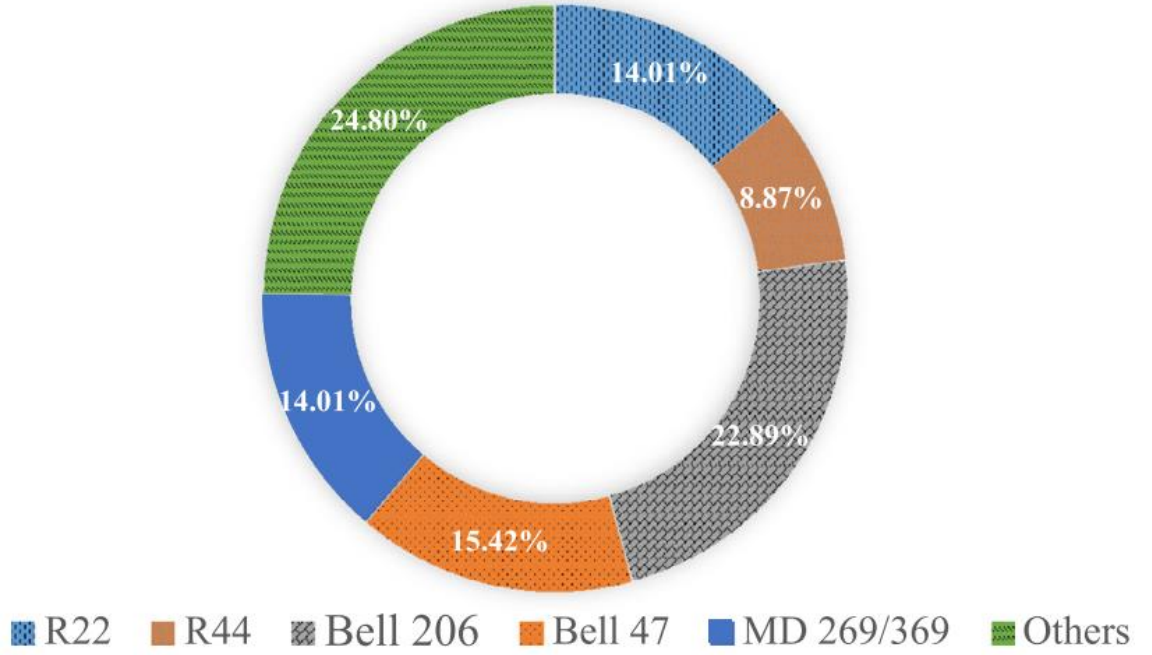
#### 2.4. Helikopter Tel Çarpışması Güvenlik ve Önleme Cihazları: İnceleme, Zorluklar ve Öneriler [1]

Helikopterlerin kullanım alanlarından ötürü sıklıkla düşük irtifalarda uçuş yapmalarının gerekmesi çeşitli objelere çarpıp kaza yapma ihtimallerini oldukça arttırıyor. Kazaya sebebiyet veren bu objeler arasında kablolar, özellikle tespit edilmelerindeki güçlükten dolayı baş etmesi en güç olanlardan birisi.

Bu makalede şu anda kullanılan kazanın ortaya çıkmasını engelleyen ya da kaza esnasında aracın ve yolcuların alacağı hasarı indirmeye çalışan çeşitli sistemleri ve ileride kullanılmasını mümkün gördükleri bazı alternatif teknolojileri inceliyorlar.



Şekil 2.7 – 1994-2018 arası kablolarla bağlı helikopter kazaları (sol), yaşanan kazalardaki ölüm sayısı (sağ)



Şekil 2.8 – 1994-2018 arası kablo kazasına karışan helikopter modelleri

İncelemelerinin gerçekteki sorunlara daha iyi hitap edebilmesi için bu alandaki kazaların ortaya çıkış sebeplerini ve hangi klasmandaki helikopterleri daha çok etkilediğini araştırıyorlar. Yapılan araştırmalar sonucu kazaların büyük çoğunluğunun Çizelge 2.6’da da görülebileceği gibi hafif ve çok hafif klasmandaki helikopterlerin başına geldiği ve aşağıda listelenen maddelerin bu kazalardaki başlıca sebepler olduğu çıkarımına varmışlar.

- Kabloların yapılarından ötürü fark edilmelerindeki güçlük
- Şafak veya günbatımı gibi düşük açıdaki güneş
- İrtifayı korumada başarısızlık
- Hatalı karar alımı
- Uçuş öncesi planlamaların ihmal edilmesi / yetersiz kalması
- Karanlık
- İniş bölgesinin hatalı seçimi
- Yerdeki dikkat dağınıcı çeşitli faktörler

Bu çıkarımların ardından ABD’de kullanılan bazı kablo veritabanlarından bahsediyorlar.

#### **2.4.1. Güç Hattı Veritabanları**

Federal Emergency Management Agency (FEMA):

ABD’de yüksek voltajlı güç hatlarına dair haritalar hazırlayan bir kurum.

Energy Information Administration (EIA):

FEMA’ya benzer bir şekilde güç hatlarına dair haritalar hazırlıyor. Ek olarak hazırladıkları bu haritalar daha detaylı ve interaktif.

Argonne National Laboratory

FEMA’ya benzer şekilde güç hattı haritaları hazırlıyor.

FAA Database:

FAA’nın hazırladığı haritalar sadece güç hatlarını barındırmıyor. Yanı sıra helikopter için tehdit olabilecek diğer engelleri de haritalarına dahil ediyor. ABD dışındaki Meksika ve Kanada gibi diğer Kuzey Amerika ülkelerine dair de haritaları mevcut.

Bahsi geçen veritabanlarının ve benzeri kaynakların temel sorunu hafif klasmandaki helikopterlerin sıklıkla çeşitli sebeplerden taşra da çalışmak zorunda kalması ve bu bölgeleri veritabanlarının genelde kapsamaması. Bu yüzden alternatif olarak Machine Learning temelli veritabanı yaratma ve görüntüleme algoritmalarının elimizdeki sorun için muhtemel bir çözüm yolu olarak ortaya çıktığına vurgu yapıyorlar.

#### **2.4.2. Güvenlik Cihazları**

Makalenin bu kısmında sektörde kullanılan güvenlik cihazları avantajlı ve dezavantajlı yanları kıyaslanarak inceleniyor. İncelenecek cihazlar önleyici ve koruyucu cihazlar olarak iki alt kategoriye ayrılmış.

##### **2.4.2.1. Güç Hattı Tespit Sistemi (PDS)**

Helikopterin ön kısmına monte edilip civardaki aktif güç hattı kablolarının yarattığı elektromanyetik alanları tespit eden bir sistem.

Sistemin masrafı yaklaşık 12.000\$ ve ağırlığı 1-2 kg arasında değişiyor.

#### Avantajları

- Hafif ve basit bir sistem olması
- Aktif güç hatlarını uzun mesafelerden tespit edebilmesi
- Kurulumunun kolay olması

#### Dezavantajları

- Aktif durumdaki güç hatları hariç hiçbir kabloyu tespit edememesi.



Şekil 2.9 – Powerline Detection System (PDS)

#### 2.4.2.2. Arazi Farkındalık ve Uyarı Sistemi (TAWS)

Eldeki veritabanlarından faydalanarak bir ekrana araziye dair bilgiyi 2D formatta sunuyor ve helikopter kazaya sebebiyet verebilecek objelere yaklaştığında veya irtifa kaybetmeye başladığında pilotu uyarıyor. Bu çıkarımları yapabilmek için GPS'den faydalıyor.

Fiyatı 22.500\$ ile 35.000\$ arasında ve ağırlığı 3 ila 5 kg arasında değişiyor.

#### Avantajları:

- Doğal veya insan yapımı kaza unsurlarına karşı pilotu uyarıyor
- Görsel sistem sayesinde pilot durumu daha rahat kavrayabiliyor

Dezavantajları:

- Pahalı sistem
- Bilginin doğruluğu veritabanına bağımlı
- Hatalı veya gereksiz uyarılar verebiliyor ve bu durum pilotun dikkatini dağıtabilir.

#### **2.4.2.3. Engellerden Kaçınma ve Uyarı Sistemi (OAWS)**

Tehditleri tespit etmek için veritabanlarını kullanmaktan ziyade etrafını devamlı çeşitli radyo dalgaları ve lazer teknolojileriyle gerçek zamanlı olarak tarıyor. Veritabanlarına bağımlı olmadıklarından bahsi geçen haritaları bulunmayan bölgelerde de kullanılmaları mümkün.

Kullanılan sistemlere örnek olarak Light Imaging Detection and Ranging (LIDAR), Laser Obstacle Avoidance and Monitoring (LOAM) ve Helicopter Laser Radar (HELLAS) verilebilir. Bu sistemlerin fiyatı 100.000\$ civarında ve ağırlıkları 30 kg'ye kadar çıkabiliyor.

5 mm kalınlığındaki kabloları hava koşullarına ve görünürlüğe bağlı olmak üzere LOAM'lar 500 ila 620 m mesafeden, HELLAS'lar ise 10mm kalınlığındaki bir kabloyu 300 ila 500 m mesafeden %99,5 oranla tespit edebiliyorlar.

Avantajları:

- Aktif sistemler olmaları
- Veritabanlarından bağımsız olmaları
- Kablolar gibi ince objeleri tespit edebilmeleri

Dezavantajları:

- Oldukça ağır olmaları
- Pahalı olmaları
- Tespit mesafesinin hava koşullarına ve görüş açısına bağlı olması

#### 2.4.2.4. Elektronik Uçuş Çantaları (EFBs)

Pilotun uçuş esnasında ihtiyaç duyabileceği haritalar ve kılavuzlar gibi gereçleri depolamaya yarayan tablet formatındaki cihazlar.

Bu iş için özel üretilmiş modeller (FlightDeck Pro, Aera 660 vb.) kullanılabileceği gibi piyasada bulunan tabletler üretilen çeşitli yazılımlar sayesinde bir EFB'ye dönüştürülebilir.

Masrafları 500\$ ile 25.000\$ arasında değişebiliyor. Ağırlıklarıysa 0.5 ila 2.2 kg.

##### Avantajları

- Helikoptere yüklenecek ağırlığı azaltır
- Pilotun iş yükünü azaltır
- Güncellenmesi kolay

##### Dezavantajları

- Pahalı olabilir.
- Düzenli güncellemelere ihtiyaç duyar
- Bilgilerin doğruluğu kullanılabildiği veritabanlarına bağlı

#### 2.4.2.5. Engellerle Çarpışma Önleyici Sistem (OCAS)

Helikopterden ziyade direk kazaya sebep olabilecek objeye monte edilen bir cihaz.

Civar bölgeyi yaklaşan hava araçları için devamlı olarak tarama yapıyor ve bir araç tehlike menziline girdiğinde ışık ve radyo aracılığıyla pilotu uyarıyor.

Taşıra kullanıldığından minimum enerji gereksinimleriyle çalışabilecek şekilde dizayn edilmiş bir sistem.

Bu tarz sistemler 50.000\$ gibi bir masrafa sahip ve 8 ila 36 km'lik menzile sahipler.

##### Avantajları

- Enerjiyi verimli ve tasarruflu kullanması
- Işık kirliliğini minimize etmesi
- Helikoptere kurulmaması

#### Dezavantajları

- Menzilin radarına ve civarındaki diğer engellere bağlı olması
- 360° açının sağlanması için birden çok radara ihtiyaç duyuluyor
- Pahalı bir sistem

#### 2.4.2.6. Kablo İşaretçileri

Kabloların üzerine yerleştirilen topa benzeyen, parlak renkli cisimler.

Fiyatları 100 ila 200\$ arasında değişebiliyor.

#### Avantajları

- Pasif bir sistem olması

#### Dezavantajları

- Düşük ıskta fark edilmelerinin zor olması
- Bütün hatların işaretlenmesinin zor ve masraflı olması

#### 2.4.2.7. Koruyucu Cihazlar

Şimdiye kadarki cihazlar kaza yaşanmadan önüne geçmeyi hedefliyordu. Bu başlık altında ele alınan cihazlarsa kazanın yaşandığı anda helikopteri korumayı ve hasarı minimize etmeyi hedefliyor.

#### 2.4.2.8. Pasif Kablo Kesici

Kaza esnasında helikopterin çeşitli kısımlarına monte edilen bıçaklar sayesinde helikoptere çarpan teli kesen bir sistem. Teli kesebilmek için helikopterin momentumundan faydalaniyor. Fiyatları 7.000\$ ila 60.000 arasında değişiyor ve 7 ila 9 kg ağırlığında olabiliyorlar.

#### Avantajları

- Ağır tetik mekanizmalarına ihtiyacı yok
- Kaza anında helikopteri koruyor

#### Dezavantajları

- Helikopterin önünü tamamen koruyamıyor



- Helikopterin hızı yeterince yüksek değilse veya açısı uygun değilse işlevini yerine getiremeyebiliyor.
- Pahalı bir sistem
- Kalın kablolarla karşı yeterince efektif değil

#### **2.4.2.9. Aktif Kablo Kesici**

Kablo ile temas anında otomatik tüfek gibi çalışan bir mekanizma yardımıyla kabloyu kesiyor.

##### **Avantajları**

- Düşük helikopter hızında da efektif
- Daha geniş açılarda da efektifliğini koruyor
- Sarkık kabloları da kesebiliyor
- Temas halinde ağırlık helikoptere binmeden kablo kesiliyor

##### **Dezavantajları**

- Komplike bir sistem
- Bakım işlemleri zahmetli ve karmaşık

#### **2.4.2.10. Diğer Olası Güvenlik Teknolojileri**

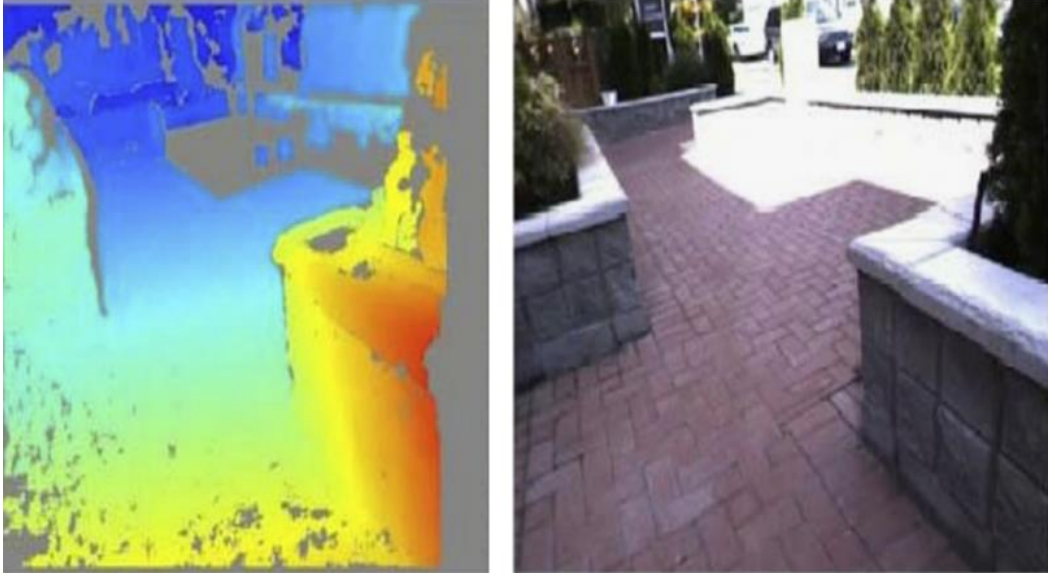
Donanımsal ve yazılımsal gelişmeler bu alanda kullanılabilecek birçok yeni teknolojiye kapı açtı. Örneğin yüksek çözünürlüklü kameralara sahip otonom dronelerin kullandığı kaza önleyici sistemler ve algoritmalar çeşitli uyarlamalarla helikopterlerde kullanılabilir.

Yazının devamında potansiyel bazı teknolojiler hakkında bilgilendirmeler ve incelemeler yapılıyor.

#### **2.4.2.11. Çoklu Görüş Sistemi**

Yan yana yerleştirilmiş iki kamerayı kullanarak görüş açısındaki cisimlerin mesafesini hesaplayan bir sistem. Birbirine denk gelen piksellerin bazı algoritmalar ve geometrik ilişkilerinden faydalanan kameralara olan mesafelerini ölçmek mümkün.

Helikopterler bu teknolojiyi gerçek zamanlı olarak kablo tespit etmek için kullanabilir.



Şekil 2.10 – Stereo vision sistem çıktısı

#### 2.4.2.12. Ultrasonik Sensör

Otonom insansız hava araçlarında zeminle olan mesafeyi ölçüp irtifayı belli bir aralıkta tutmak için kullanılıyorlar. Yüzeye ultrasonik sensörler gönderip bunların yansımalarını alan ve buna göre hesaplamalar yapan bir sistem.

Menzilleri boyutları küçük tutulduğundan oldukça kısıtlı ve sinyallerin kalitesini etkileyen zeminin yapısı, açısı vb. gibi birçok etmen var. Ama büyütülerek ve çeşitli ayarlardan geçirilerek helikopterlerde engel tespiti için kullanılabileceklerini düşünüyorlar.

#### 2.4.2.13. Uçuş Anı Sensörleri (ToF)

Ultrasonik sensörlerle aynı mantıkla çalışıyorlar ama bu işlemi ışık dalgalarıyla yapıyorlar.

Bir bölgeyi devamlı olarak veya çok sık aralıklarla ışıklandırıyorlar ve bu ışınların geri dönüşü için geçen zamanı kullanarak mesafe tespiti yapıyorlar.

Piyasada mesafe tespiti için bulunan en hızlı yöntem ama günışığında kullanılması neredeyse imkansız, yanı sıra birden fazla yansımaya sebep olabilen cisimler hatalı sonuçlara sebep olabiliyor.

#### 2.4.2.14. Katı Hal LIDAR

Makalede daha önce bahsedilen OAWS'lerin mantığında çalışan sistemler. Bir lazer kaynağına ve görüş açısını segmentlere bölen bir sensöre sahip.

LIDAR'lar çeşitli hava koşullarında istenen sonuçları verebiliyor.

Makalenin devamında wire cutter teknolojilerinin uygulanmasında karşılaşılan sıkıntılar gibi bazı konulardan bahsediliyor. Bu kısımların çalışma konumuzla alakası minimal olduğundan derinlemesine incelemekten ve açıklamaktan kaçındık. Elde ettikleri verileri kullanarak aşağıdaki tabloyu oluşturmuşlar.

Decision matrix for the TOPSIS analysis.

| Attribute                                 | Safety device |        |      |         |              |        |     |
|---|---------------|--------|------|---------|--------------|--------|-----|
|   | PDS           | TAWS   | WSPS | OAWS    | Wire markers | OCAS   | EFB |
| Cost (\$ FY2019)                          | 12,000        | 22,500 | 6870 | 100,000 | 100          | 50,000 | 500 |
| Mass (kg)                                 | 0.39          | 3      | 7    | 30      | 0            | 0      | 0.3 |
| Ability to detect power lines             | 8             | 8      | 1    | 8       | 9            | 9      | 8   |
| Ability to detect various types of cables | 1             | 8      | 1    | 8       | 9            | 9      | 8   |
| Audio warning                             | 9             | 9      | 1    | 8       | 1            | 10     | 9   |
| Visual warning                            | 7             | 9      | 1    | 8       | 9            | 9      | 9   |
| Protection capability                     | 1             | 1      | 8    | 1       | 1            | 1      | 1   |
| Weather independence                      | 9             | 9      | 8    | 6       | 7            | 7      | 9   |

Şekil 2.11 – Ele alınan sistemlerin değerlendirilmesi

### 2.5. Hava Aracı Güvenlik Sistemleri için Tellerin Kamera ile Algılanıp Oluşturulması [6]

Tel algılama sistemleri döner kanatlı hava araçları için en önemli güvenlik önlemlerinden birisidir. Bunun sebebi ise ince tellerin pilotlar için görmesi en zor olan tehlikelerden biri olmasıdır. Zeminle olmayan kazaların ve 1963 ile 2008 arasındaki sivil ve askeri helikopter kazalarının tel kazaları oluşturmaktadır.

Helikopterlere takılan kameralarla tel algılama sistemleri günümüzde zaten yapılmış ve kullanılır durumdadır. Kimisi 4500m'den uzun mesafeleri görebilmektedir. Bu mesafe bile tek başına HELLAS (500m algılama menzili) gibi LIDAR aygıtlarını geçmektedir. Bunun sebebi ise lazer ile tel algılama sağlayan sistemlerin kullanabileceği dalga boylarının göze zarar vermemek amacıyla sınırlandırılmasıdır.

Günümüzde tel algılamanın dışında da basit çapta nesne algılama işlemleri için görüntü işleme kullanılmaktadır. Görüntü işlemenin LIDAR sistemlerine kıyasla düşük maliyeti ve verimliliği buna yol açmaktadır.



*Şekil 2.12 – Yüksek gerilimli elektrik telleri ileri bakan bir kamerayla 1.2km menzilde görülebiliyor*

Yapılan diğer çalışmaların temel sorunu, tel gibi ince yapıdaki nesnelerin kullanılan cihazların algılayabilmesi için yeterince kalın olmasını gerektiriyor olmasıdır. Bunun yanı sıra kullanılan yöntemler helikopterin veya kullanılan aracın üçgenleme işlemi yapılabilmesi için gereği kadar yavaş hareket etmesi gerekmektedir.

İnsansız Hava Aracı (IAH) uçuşlarında ise bundan çok daha yüksek hızla hareket edildiğinden, dolayısıyla oldukça büyük bir uzaklıkta tel algılanması zorunlu olduğundan bu varsayımlar işe yaramamaktadır.

### **2.5.1. Gereksinimler**

İşe yarar bir tel algılama sistemi üretilebilmesi için belirli gereksinimler bulunmaktadır. Bunlardan biri, görüntü işleme ile elde edilen tel verilerinin LIDAR sistemlerinden daha uzağı tespit edebilmesidir. Ayrıca piyasadaki görüntü işleme sistemlerinin üstünde, 2.5-3cm aralığında inceliğe sahip telleri algılama ihtiyacı bulunmaktadır.

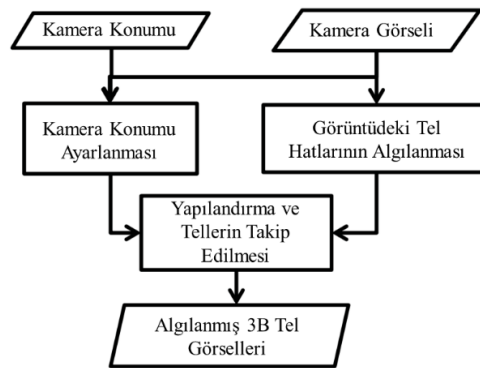
Tellerin inceliği tek başına bir sorun olmamakla birlikte, elde bulunan görüntüde tel algılanabilmesi için sorun çıkarmaktadır. Gözle görülemeyecek inceliğe ulaşan bu teller 800m ve daha ötesinde, kullanılan sensörlerin görüş açısının sadece 0.0015 derecelik bir kısmına denk gelmektedir. 29MP görüntü kalitesi ve 30 derecelik görüş açısına sahip bir görüntüleme cihazında bile bir pikselden düşük, tam olarak 0.3 piksel kalınlığında bir görüntüyü kapsamaktadır.

İnce yapıları ve bir pikselden ince genişlikleri sebebiyle görülememesi gereken tellerin kameralarda tespit edilebilmesini sağlayan yegane özellikleri doğrusal yapıları ve uzunluklarıdır.

### 2.5.2. Çalışmanın Süreci

Bu çalışmada kullanılan yöntem iki aşamalı bir şekilde ilerleyerek, alınan görüntüdeki telleri tespit edip 3B uzayda konumlarını belirlemektedir (Çizelge 2.8). Kullanılan algoritma, helikopterin sensör kasasına yerleştirilmiş, ileri bakan bir kamera ile görüntü almaktadır. Tellerin algılanması için özel geliştirilmiş bir Derin Evrimsel Sinir Ağı (Deep Convolutional Neural Network, CNN) kullanılmaktadır. Bu CNN elektrik tellerini katmanlar halinde algılayarak, çizgisel yapıları ile gruplandırmaktadır.

Algılanan tel hatları gerçek zamanlı ilerleyen video süresince her karede güncellenip uzaydaki konumları tekrar bulunmaktadır. Konumlarındaki değişimden ve kameranin bağlı olduğu cihazın hareketinden faydalanarak tek kamera ile (monoküler) üçgenleme işlemi yapılabilmekte, bu sayede 3B konumları bulunmaktadır. Araç uzayda ilerledikçe üç boyutlu ortamda yeniden yapılandırılan tellerin konumu kesinleştirilip farklı olasılıklar hesaplanmakta, sonuç sisteme dönüt olarak verilmektedir.



Şekil 2.13– Sistemin çalışma şekli

### 2.5.3. Benzer Çalışmalar

#### 2.5.3.1. Boeing

Özel bir sensör dizimi ile ilk olarak Boeing hem görüntü işlemeyle 4500m uzaklıktan, hem de kızılötesi ışınlarla 2316m mesafeden tel algılamayı başarmıştır. Kullandıkları pipeline kameranın algıladığı görüntüyü üç farklı filtreden geçirmektedir;

İlk olarak yüksek frekanslı bir spatial band-pass filtresinden geçirilmiştir. Bu filtreyle birlikte çalışan diğer filtre ise bir ring median filtresidir. Son olarak da SUSAN filtresi ile gürültü temizliği yapılmaktadır.

Filtreleme sonucunda algılanan çizgisel görsellerin üzerinde özel tespitler yapılmaktadır. Bu çizgiler yan yana katmanlar halinde tespit edilerek bu katmanlardaki çizgilerin eğimleri birbiriyle kıyaslanmakta, birbirine yakın eğimlere sahip çizgiler ise tek bir telin parçası olarak kabul görmektedir. Sistemin bu noktadaki kusuru ise yalnız telleri değil, her türlü çizgisel görüntüyü tespit etmesidir. Karmaşık, algılaması güç bölgelerde yeterince verim göstermemektedir.

#### 2.5.3.2. Sentetik Veriler ile Tel Algılama

Bu çalışma da araştırmasını yapmış bulunduğumuz çalışma gibi sadece görüntü işlemekten faydalanmaktadır. Tel algılama için evrimsel ağların kullanımından faydalanmaktadır; araştırdığımız çalışmaya yön veren yöntem de budur. İnsan gücünü ve onlarca parametrenin ayarlama sürecini tel algılama algoritmalarından çıkarmayı hedeflemektedir.

Çalışma USF Veri Seti üzerinde denenip teknoloji harikası başarı elde etmiştir. Görüntüyü almak için genişletilmiş (dilated) evrimsel ağlar kullandıkları için görüntünün çözünürlüğünü düşürüp yükseltme işlemi uygulanmadan (upscale-downscale) görüntü işlenebilmektedir. Tamamen evrimsel ağ kullanarak piksel başı tahminler yapabilmektedir.

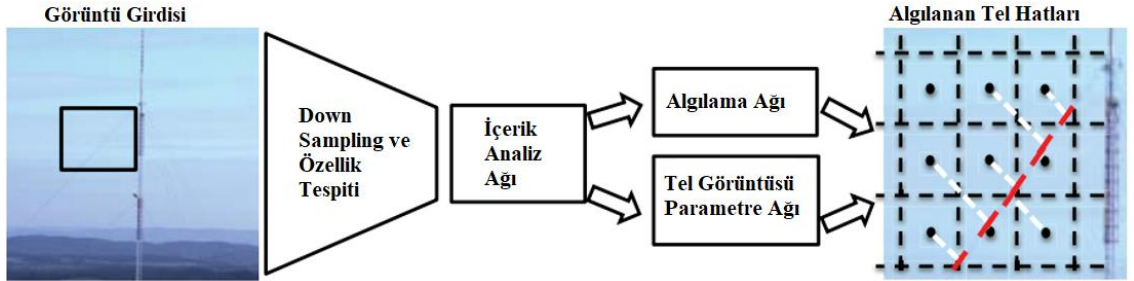
Çalışmada görüntü kalitesindeki ve piksellerdeki kaybın tel algılamayı güçleştireceği sebebiyle normal bir ağdaki gibi down-sampling kullanmanın mantıklı olmadığı öne sürülmüştür. Bizim üzerinde duracağımız çalışmada ise, akıllı bir sistem

ile down-sampling işleminin görüntüye zarar vermeden kullanılarak işlem verimliliğini arttırabileceği savunulmuştur.

#### 2.5.4. Tel Algılama

Bu makalede kullanılan yöntem, kendi geliştirdikleri bir evrimsel ağ olan Deep Wire CNN (Derin Tel CNN'i)'dir. Tamamıyla evrimsel ağ altyapısına sahip olan bu sistem yüksek çözünürlüklü görüntü girdilerinden çizgisel verilerin algılanmasını sağlamaktadır. Kullanılan sinir ağı tellerin uzayda bulundukları doğrusal yapıdan faydalanmaktadır. Sahip olunan bilgiler sayesinde piksel başı tarama ile bütün görseli taramak zorunda kalmamakta, buna rağmen isabetli konumsal tahminler yapabilmektedir.

Tel algılama sistemi ilk olarak düşük çözünürlüklü bir ızgara oluşturup, üzerinde olası çizgi veya tel katmanlarının tahminini gösterir. Olası tel parçası olan çizgisel görüntülerin her biri, ızgarada bulunduğu hücrenin merkezinde bulunan bir dayanak noktasına bağlı olarak işaretlenir. Sistem, her hücrenin merkezindeki dayanak noktalarının 2 hücrelik çevresinde tel bulunuyorsa, en yakınındaki telin bağlı olduğu noktanın parametreleri ile bu hücreyi ilişkilendirir. Bu parametreler Hesse Normal Formu ile gösterilir.



Şekil 2.14- Tel algılama sistemini oluşturan üç aşama

#### 2.5.4.1. Deep Wire CNN (Derin Tel CNN'i)

##### 2.5.4.1.1. Çözünürlük Düşürme

Yerel bir tanımlayıcı ile yüksek çözünürlüklü görsel ilk olarak akıllı down sampling'den geçiyor. Bu aşamada üst üste 1 ve 2 piksel aralığında 3x3 konvolüsyonlar uygulanıyor. 1 Piksel aralık çözünürlüğü saklayıp lineer olmama durumunun özelliklerini temsili olarak meydana getiriyor. 2 Piksel aralıktaki konvolüsyonlar ise telin

özelliklerine, optimize edilmiş down sampling uyguluyor ve telin uzaydaki konumunu saklıyor.

#### 2.5.4.1.2. İçerik Ağı

İçerik ağı 1 piksel aralıktaki genişletilmiş evrişim katmanlarını (dilated convolutional layers) kullanarak daha geniş bir uzaysal alanda bilgi topluyor.

Son katmanda iki evrişimsel ağ bulunuyor. Bu ağlardan birisi, herhangi bir dayanak noktasının yakınında tel bulunuyor olma olasılığını sınıflandırıyor. Diğer ağ ise yakınındaki telin Hesse Normal vektörü parametrelerini ilişkilendiriyor.

#### 2.5.4.2. Derin Öğrenim Eğitimi

Algılama sisteminin sinir ağlarını eğitmek için “Stochastic Gradient Descent” kullanılıyor. BCE kayıp fonksiyonunun hesaplanması için (2.1) numaralı formüldeki eşitlik kullanılıyor. Burada  $y_{pred}$  seçilen herhangi bir dayanak noktasının bir tele bağlı olma olasılığı,  $y_{gt}$  hedeflenen doğal eğilim,  $L_{gt}$  bu dayanak noktalarının Hesse Normal vektör parametreleri,  $L_{pred}$  ise tahmin edilen parametreler.

$$Loss = BCE(y_{gt}, y_{pred}, w_w) + y_{gt} ||\lambda (L_{gt} - L_{pred})|| \quad (2.1)$$

Elde bulunan görüntü pikselleri kümesinde tel olmayan pikseller, tel bulunan piksellere kıyasla çok yüksek bir orana sahip.  $w_w$  parametresi bu eşitsizlik oranına ters etki etmek için kullanılıyor. İçinde tel bulunan piksellerde bile %0.01’den düşük oranda tel bulunduğu için, çözüm olarak  $w_w$  ağırlık değişkeni ile tel olan/olmayan piksel oranının tersi hesaplanarak ağırlık hesaplaması yeniden yapılıyor. Bu sayede hatalı sınıflandırma çözülmüş oluyor.

Görüntü işlenirken, alınan görüntünün küçük kesitleri üzerinde işlem yapılıyor. Ekran kartının hafızası bütün görüntüyü aynı anda işlemeye yetmeyeceğinden parça parça işleniyor. Veri matrislerinin dış hatlarında kalan piksellerin içerdiği bilgi çok daha az ve yetersiz olduğundan, kesitler geniş bölmeler halinde seçilerek kıyıdaki piksellerin oranı azaltılmış oluyor. Bu sayede kısıtlı hafıza daha iyi değerlendirilmiş oluyor.

Kıyıdaki piksellerin daha az bilgi içermesinin sebebi kıyılarda sıfırla döşeme (zero padding) işlemi uygulanıyor olması. Bu işlemin uygulanmasındaki sebep ise kıyılarda kalan yüksek frekanslı, tel imajı yaratan görüntülerin engellenmesi.



### 2.5.5. Tel Yapılandırma

Helikopter hareket ettikçe telin yeni tahmini konumu hesaplanmaya devam ediyor. Bunun için Kalman Filtresi uygulanarak üçgenleme yöntemiyle sistemin gözünden konumlandırma yapılıyor. Kamera  $c_0$ 'ın 3B koordinat sistemindeki  $W_i$  telinde bulunan P noktası verilirse,  $c_0$ 'daki gösterim  $x_{c0} = K[I|P]$ ,  $c_1$ 'deki gösterim ise  $K[R|T]$  olur.

Burada K intrinsic matrisini gösteriyor. Intrinsic matrisi, 3B ortamdaki koordinatları görsel düzlemde 2B ortama aktarmaya yarayan matris görevi görüyor (2.2). R ve T ise  $c_0$  kamerasının koordinat sisteminden  $c_1$ 'ine dönüş ve hareket noktalarını temsil ediyor.

$$K = \begin{bmatrix} f_x & 0 & o_x \\ 0 & f_y & o_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

$\Pi_{c0} = [X^T, 1]^T$  düzleminde,  $c_0$  koordinat sisteminde bulunan  $W_i$  teli için Homografi şu şekildedir:

$${}_{c1 \leftarrow c0} H = K (R - T X^T) K^{-1} \quad (2.3)$$

Telin takibi ve yeniden işleme süreci yeni görülen her tel için tekrar yapılandırma filtresi kullanılarak yapılıyor. Filtre, tespit edilen hatların şekli ve kameranın pozunu referans şekil ve görüş açısı olarak alıyor. Her yeni görüntüde hatların çizimi belirtilen homografiye göre, bir önceki kareyi referans alarak yapılıyor. Kameranın kare hızı yüksek tutularak eşlemeler birbirine mümkün olduğu kadar yakın yapılıyor; aralarında 50 pikselden az mesafe olarak.

Bütün tel kümeleri birbirine yeterince yakınsa, nokta-çizgi uyum hatası oranları düşükse ve normalleri arasındaki açı küçükse eşleştiriliyorlar. Eşleşen teller arasında üçgenleme yapılıyor, ancak sıradaki karede ölçülen tel önceki karelerle %50'nin üstünde uyuşma sağlamıyorsa yeniden yapılandırılıyor.

Üçgenlemenin yapılabilmesi için yapılandırma referans görselini ve yeni görseli birbirine bağlayan parametrelerin çözümlenmesi gerekiyor. Birbirine eşleşen tel

görselleri arasındaki homografi üzerinde nokta-doğru arası uzaklık formülü uygulanıyor.  $l_{c1}^T$  telin  $c_1$  kamerasındaki konumu olmak üzere;

$$0 = l_{c1}^T H_{c1 \leftarrow c0} x_{c0} \quad (2.4)$$

Bu şartlar  $X$  parametrelerinin yüzeyinde lineerdir. Bu eşitliklerden yola çıkarak, ilişkilendirme şartlarını  $a_i x = b_i$  şeklinde saklayabilecek lineer bir çözüm ortaya çıkıyor.

$$\underbrace{l_{c1}^T K T X^T K^{-1} x_{c0}}_{\text{scalar}} = \underbrace{l_{c1}^T K R K^{-1} x_{c0}}_{\text{scalar}} \quad (2.5)$$

$$\underbrace{(l_{c1}^T K T K^{-1} x_{c0})^T}_{a_i} X = \underbrace{l_{c1}^T K R K^{-1} x_{c0}}_{b_i} \quad (2.6)$$

Üçgenlemelerin çözülmesi için least squares yöntemi kullanılıyor. Pratikte least squares çözümü hatalı bulgulara ve bozunumlara karşı hassas kalıyor, fakat üçgenleme için RANSAC framework kullanılarak hatalı bulgular ve eşleşmeler atılıyor. Toplu matris  $A$ 'nın eigen değerlerine bakarak bozunumlu çözümler de atılıyor. En büyük ikinci eigen değeri, belirlenen bir  $T$  sınırının altındaysa çözümler reddedilip hatalı işaretlemesi (ill constrained) yapılıyor.

Küçük, ileri dönük hareket altyapıları kullanıldığından, kameranın pozundaki küçük hatalar tel yapılandırmada ciddi osnuçlara yol açabiliyor. Bu sebeple GPS/IPS gibi bir eklenti ile poz tahmin sistemi kullanarak kameranın hareketini takip etmek yerine, en iyi sonuçların kamera pozisyonunu görsel üzerindeki detaylardan tespit etmekte buluyorlar.

Bir görsel odometri (VO) pipeline'ı kullanarak kameranın konumunu tahmin ediyorlar. VO sistemi ORB-SLAM'i temel alıyor. ORB özelliklerini takip ediyor, motion prior kullanarak tahmini konumlarını buluyor, sonra da kamera konumunu iyileştirmek için bundle adjusment uyguluyor. ORB-SLAM konum algılama ve loop closure modülleri kullanılmıyor. Bu süreç genel anlamda 0.01 derece ve 0.1m genel konumundaki hataları düzeltiyor.

### 2.5.6. Değerlendirme

Algılanan tellerin kalınlığı ölçülmüyor. R-piksel, yani 5 piksel çapındaki her algılama doğru tahmin olarak kabul ediliyor. İsabetlilik, geri dönük, ortalama isabetlilik (mAP, mean average precision) ve işlem süresi için standart ölçüler kullanılıyor. NVIDIA 1080 Ti üzerinde işlem yapılıyor. Deneme sürecinde tel tehlikesi bulunduran bölgelerde, pilotlu helikopter uçuşu yapılıyor. Değerlendirme, yazılımın 80m çapındaki bir menzilde telleri ne kadar iyi algıladığı üzerine yapılıyor.

Taranacak bölgedeki teller üzerinde önceden LIDAR taraması yapılarak ground truth konumları belirleniyor. LIDAR ile kübik bir dünya modelinde 2x2x2m'lik her bir hücrenin tel bulundurup bulundurmama durumu etiketleniyor. Algılanan verilerin raporu bu etiketlerle 0.25s'lik aralarla kıyaslanıyor. Tespit edilen hücrelerin etrafında kutu belirteci çiziliyor. Algılama sürecinde ancak %90 oranında tel yoğunluğu bulunursa pozitif sayılıyor.

Konvolüsyon katmanında yığın normalleştirme ve RELU lineer olmama durumu, kXXsXXdXX şeklinde belirtiliyor. kXX sayı çıktısı kerneli, sXX piksel adımlarının sayısı, dXX de girdilerin arasındaki piksel genişlemelerinin sayısını temsil ediyor. Standart mimaride k64s1d1-k64s1d1-k128s2d1-k128s2d1-k256s2d1-k256s2d1-k256s1d2-k256s1d2 ile örnekleme ve içerik toplama ağları kullanılıyor. Soft maksimum bulunan bir adet 3x3 konvolüsyon ile sınıf etiketi tahmini yapılıyor. Tellerin ağ parametreleri k256s1d1 katmanı ile ilişkilendirilip bir konvolüsyon daha uygulanıyor.

Kıyaslama için USF tel görüntüleri veri seti kullanılıyor. Bu veri setinde alçak uçuş yapan dronlarla kaydedilen; kare başına 86 telin algılandığı görseller bulunuyor. Önceki çalışmalarda bu veri seti üzerinde alınan en iyi sonuç 45hz sıklığında 0.73 isabetlilik oranıyken, bu çalışmada %15 daha iyi bir sonuçla 0.82mAP alınıyor. Bunun yanı sıra işleme sıklığı 90hz oluyor. Ancak bu veri seti gerçek şartları ve daha büyük insansız hava araçlarını temsil etmiyor; düşük çözünürlüklü RGB kameraların 50m'den yakın mesafede tellere baktığı görüntüleri sunuyor.

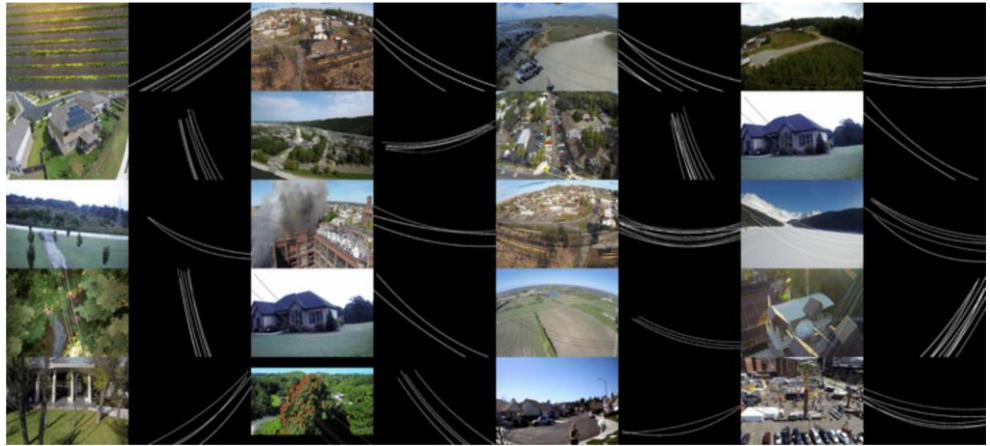
Bu çalışma için daha uygun bir benchmark olan Near-Earth Vision Based Wire Detection veri seti kullanılıyor. Bu veri seti, tamamıyla 3B görüntülü tel algılama sistemleri için hazırlanmış ilk temsili, halka açık benchmark. Elektrik tellerine 41 farklı

açından yaklaşılan, Pittsburgh ve PA Metropolitan bölgelerinde 5 farklı bölgede bulunan görüntüler içeriyor. Her bir çekim yaklaşık 3 dakika civarında uçuş bulunduruyor, bu görüntüler GPS/INS konumu ve ileri bakan, ayarlanmış 2hz, 6576 x 4386 piksel RGB kamerayla çekiliyor. Ground truth için LIDAR taramaları ve 125 adet doğrudan çekilen görsel bulunduruyor.

Yapılan çalışma bu veri setindeki 41 görüntüden 21'inde teknoloji harikası başarı elde ediyor. Başarılı yaklaşımlar 750m menzilde 0.9'dan yüksek bir isabetlilikle en az 0.75 geri dönüt sağlıyor. Başarısız olan %49'luk kısımdaki kayıtların çoğunda helikopterin tellere yaklaştığı açı 45 derecenin altında bulunuyor. Bu da görüntü işleme ile tel algılama sürecinde çözülmesi gereken sorunlardan biri olarak ortaya çıkıyor. Dolayısıyla bu çalışma, pasif sensörlerle elektrik tellerinin 1km menzilde 3B algılanmasını gösteren ilk çalışma halini almış oluyor.

## 2.6. İnsansız Hava Araçları İçin Sentetik Veriden ve Genişletilmiş Evrişimli Ağlardan Faydalananarak Tel Algılanması [4]

Günümüzde havai hat ve kabloların kameralarla belirlenmesi oldukça zor. Çünkü kameralarda kablolar birkaç piksel kadar genişlikte görülüyor ve etraftaki başka kenar ve köşelerden zor ayrılıyor. Bu sorun derin öğrenmedeki yeni gelişmeler kullanılarak, görüntü bölütleme görevi ve evrişimli sinir ağlarının (CNN) verimliliğiyle araştırılarak çözülmeye çalışılmış. Geniş bir veri setinin yokluğu nedeniyle internette halka açık uçuş görüntüleriyle yapay bir veri seti oluşturulmuş.



Şekil 2.15 – Yapay olarak oluşturulan veri setinden bir örnek

İnternet’deki 154 videodan toplanan 67702 kare üzerine POV-Ray ışın-izleme motoru kullanılarak birçok farklı açı, uzunluk ve sayıdaki kablo şekilleri her bir kare üzerine yansıtılarak bu veri seti ortaya konulmuş.

Bu alanda yapılan ilk çalışmalardan biri geleneksel bilgisayar görüşü ile kabloların bulunmasıdır. Bu çalışmalar kabloları önceden belirlenmiş birtakım varsayımlar içerisinde eleterek çalışıyor. İlk olarak potansiyel kablo piksellerini kenar algılama algoritmasıyla toplayıp belirli kriterler göre filtreliyor. Ardından genel kriterlerle ve Hough ya da Radon transform varyantlarıyla toplanıyor. Bu sistem sadece spesifik senaryolarda işe yarıyor çünkü çoğu senaryo bu varsayımlara uymuyor.

Küçük bir UAV’de NVIDIA TX2 ile çalışırken hafıza alanını oldukça az kullanıp hızlı sonuç almak istenmiş. Görüntüleri downscale ve upscale ederek büyük veri kayıplarını önlemek için genişletilmiş evrişimli katmanlar kullanılmış (dilated convolutional layers). Ön planda çalışacak ve genişlikleri 64 ve 128 olan evrişim katmanlarının 2’ye bölünmeleri ve birbirleri arası bazı işlemlerle ortaya çıkarılan 6 model ile 5 farklı genişletilmiş katmanlar arasındaki bir çaprazlamayla toplamda 30 deney yapılmış.

| Front-end Modules |                         | Context Modules |                       |
|-------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------|
| Key               | Architecture            | Key             | Architecture          |
| f1                | k64-k64-p2-k128-k128    | c1              | k2(none)              |
| f2                | k32-k32-k64-k64         | c2              | d1-d2-d1-k2           |
| f3                | k32-k32-k32-k32         | c3              | d1-d2-d4-d1-k2        |
| f4                | k32-k32-k64-k64-k64-k64 | c4              | d1-d2-d4-d8-d1-k2     |
| f5                | k32-k32-k32-k32-k32-k32 | c5              | d1-d2-d4-d8-d16-d1-k2 |
| f6                | k32-k32                 |                 |                       |

Şekil 2.16 – Çaprazlamaların yapıldığı parametre alanı

Çaprazlanmış her model üç farklı veri seti ile eğitilmiş:

- Kendi oluşturdukları yapay tel görüntüleri
- USF veri setinin yarısı (42 uçuş görüntüsünün 21’i)
- Önceden kendi setleriyle eğitilip ardından da ince ayarlı USF setinin yarısı

Ve bu üçü de ikişer farklı ortam arkaplanları ile eğitilmiş:

- Monoküler arkaplanlı
- Monoküler ortamın kenar ve köşeleri birleştirilmiş halleri

|                       | Average Precision Scores<br>(evaluation on USF test split) |       |                |       |                  |       | Performance |             |           |             |
|-----------------------|--|-------|----------------|-------|------------------|-------|-------------|-------------|-----------|-------------|
| Trained On →          | Synthetic Data   |       | Scratch on USF |       | Finetuned on USF |       | TX2         |             | TitanX    |             |
| Context Module ↓      | RGB  | RGBLE | RGB            | RGBLE | RGB              | RGBLE | Time (ms)   | Speed (fps) | Time (ms) | Speed (fps) |
| Column 1              | 2  | 3     | 4              | 5     | 6                | 7     | 8           | 9           | 10        | 11          |
| Front End Module →    | k32-k32  |       |                |       |                  |       |             |             |           |             |
| k2                    | 0.23   | 0.30  | 0.45           | 0.45  | 0.50             | 0.47  | 37.7        | 26.6        | 3.2       | 309.6       |
| d1-d2-d1-k2           | 0.33   | 0.35  | 0.63           | 0.58  | 0.61             | 0.59  | 115.7       | 8.7         | 8.0       | 124.7       |
| d1-d2-d4-d1-k2        | 0.28   | 0.42  | 0.65           | 0.61  | 0.64             | 0.62  | 159.3       | 6.3         | 10.2      | 98.0        |
| d1-d2-d4-d8-d1-k2     | 0.35   | 0.45  | 0.65           | 0.62  | 0.66             | 0.65  | 203.7       | 4.9         | 12.4      | 80.6        |
| d1-d2-d4-d8-d16-d1-k2 | 0.36   | 0.49  | 0.70           | 0.64  | 0.70             | 0.69  | 249.4       | 4.0         | 14.6      | 68.4        |
|                       | k32-k32-k32-k32  |       |                |       |                  |       |             |             |           |             |
| k2                    | 0.24   | 0.32  | 0.57           | 0.50  | 0.57             | 0.54  | 70.7        | 14.2        | 5.7       | 176.1       |
| d1-d2-d1-k2           | 0.25   | 0.39  | 0.62           | 0.60  | 0.64             | 0.59  | 148.5       | 6.7         | 10.1      | 99.1        |
| d1-d2-d4-d1-k2        | 0.28   | 0.40  | 0.63           | 0.62  | 0.66             | 0.63  | 192.7       | 5.2         | 11.9      | 83.9        |
| d1-d2-d4-d8-d1-k2     | 0.33   | 0.42  | 0.69           | 0.62  | 0.68             | 0.66  | 236.6       | 4.2         | 13.8      | 72.6        |
| d1-d2-d4-d8-d16-d1-k2 | 0.43   | 0.48  | 0.70           | 0.64  | 0.72             | 0.64  | 282.6       | 3.5         | 15.7      | 63.9        |
|                       | k32-k32-k32-k32-k32  |       |                |       |                  |       |             |             |           |             |
| k2                    | 0.18   | 0.35  | 0.63           | 0.53  | 0.61             | 0.57  | 104.0       | 9.6         | 8.2       | 121.7       |
| d1-d2-d1-k2           | 0.30   | 0.42  | 0.61           | 0.58  | 0.64             | 0.59  | 181.5       | 5.5         | 13.2      | 76.1        |
| d1-d2-d4-d1-k2        | 0.25   | 0.43  | 0.62           | 0.59  | 0.67             | 0.62  | 225.4       | 4.4         | 15.3      | 65.2        |
| d1-d2-d4-d8-d1-k2     | 0.32   | 0.47  | 0.66           | 0.64  | 0.70             | 0.65  | 270.1       | 3.7         | 17.6      | 57.0        |
| d1-d2-d4-d8-d16-d1-k2 | 0.03   | 0.47  | 0.68           | 0.66  | 0.47             | 0.65  | 315.0       | 3.2         | 19.8      | 50.6        |
|                       | k32-k32-k64-k64  |       |                |       |                  |       |             |             |           |             |
| k2                    | 0.20   | 0.28  | 0.59           | 0.50  | 0.60             | 0.55  | 118.7       | 8.4         | 8.3       | 120.9       |
| d1-d2-d1-k2           | 0.25   | 0.45  | 0.62           | 0.60  | 0.62             | 0.60  | 350.7       | 2.9         | 19.9      | 50.4        |
| d1-d2-d4-d1-k2        | 0.29   | 0.38  | 0.65           | 0.62  | 0.68             | 0.62  | 496.2       | 2.0         | 26.3      | 38.1        |
| d1-d2-d4-d8-d1-k2     | 0.28   | 0.45  | 0.66           | 0.64  | 0.66             | 0.64  | 641.7       | 1.6         | 32.8      | 30.5        |
| d1-d2-d4-d8-d16-d1-k2 | 0.40   | 0.48  | 0.71           | 0.62  | 0.71             | 0.67  | 787.6       | 1.3         | 38.4      | 26.1        |
|                       | k32-k32-k64-k64-k64-k64                                    |       |                |       |                  |       |             |             |           |             |
| k2                    | 0.27   | 0.39  | 0.63           | 0.57  | 0.61             | 0.58  | 206.6       | 4.8         | 13.4      | 74.8        |
| d1-d2-d1-k2           | 0.29   | 0.42  | 0.62           | 0.60  | 0.67             | 0.59  | 439.2       | 2.3         | 24.7      | 40.5        |
| d1-d2-d4-d1-k2        | 0.28   | 0.38  | 0.64           | 0.60  | 0.65             | 0.62  | 582.7       | 1.7         | 31.0      | 32.3        |
| d1-d2-d4-d8-d1-k2     | 0.37   | 0.45  | 0.68           | 0.62  | 0.67             | 0.63  | 729.8       | 1.4         | 37.2      | 26.9        |
| d1-d2-d4-d8-d16-d1-k2 | 0.42   | 0.49  | 0.68           | 0.63  | 0.70             | 0.63  | 877.7       | 1.1         | 43.9      | 22.8        |
|                       | k64-k64-p2-k128-k128                                       |       |                |       |                  |       |             |             |           |             |
| k2                    | 0.26   | 0.35  | 0.65           | 0.60  | 0.66             | 0.60  | 136.0       | 7.4         | 8.1       | 124.1       |
| d1-d2-d1-k2           | 0.30   | 0.34  | 0.66           | 0.63  | 0.72             | 0.66  | 279.8       | 3.6         | 17.1      | 58.5        |
| d1-d2-d4-d1-k2        | 0.41   | 0.45  | 0.70           | 0.67  | 0.73             | 0.67  | 350.8       | 2.9         | 21.8      | 45.8        |
| d1-d2-d4-d8-d1-k2     | 0.34   | 0.49  | 0.71           | 0.66  | 0.73             | 0.70  | 421.8       | 2.4         | 26.5      | 37.7        |
| d1-d2-d4-d8-d16-d1-k2 | 0.36   | 0.47  | 0.72           | 0.64  | 0.75             | 0.68  | 493.2       | 2.0         | 31.2      | 32.0        |

Şekil 2.17 – Modellerin çaprazlama sonuçları

Sonuç olarak modellerdeki filtreler arttıkça keskinlik yükselmiş. Tabi bu durumda performans düşmüş. Monoküler arka plandaki kenar ve köşelerin birleştirilmiş halleri

kendi veri setlerinde artı bir etki yaratsa da diğer iki eğitimde eksiye yol açmış. Önceden yapay bir veri seti ile eğitmek az da olsa iyi sonuçlar ortaya koymuştur.

## 2.7. LOAM ve SLAM'e Dayanan Gerçek Zamanlı Elektrik Hattı Güvenlik Mesafesi Tespiti [7]

LIDAR kullanan sistemlerin gerçek zamanlı performans vermekte zorlanışına ve yüksek fiyatlarına çözüm üretmek için ortaya atılan LIDAR teknolojilerinden ve LOAM algoritmasını kullanan bir alternatif.

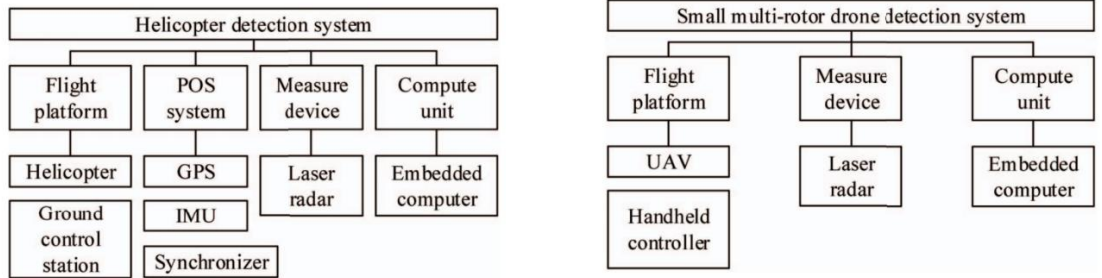
Şu anda kullanılan sistemler bir LIDAR aracılığıyla bölgenin 3D nokta modelini çıkarıyor. Ardından GPS/INS sistemleriyle konum bilgileri alınıyor ve IMU yardımıyla LIDAR'ın pozisyonu hesaplanıyor. Elde edilen veriler bir senkronlayıcıdan geçirilip gömülü bir bilgisayara gerekli hesaplamaları yapması için gönderiliyor.

Bu yöntemin avantajı GPS ve INS'den faydalanarak işlemlerin boyutunu küçültmesi.

Dezavantajları ise:

- Sistemin pahalı olması
- Helikopterin uçuşu için yerel otoritelerden izin almanın zor olması
- Ekipmanın kullanımının karmaşık ve zor olması

Bu makalede sunulan alternatif ise LOAM algoritmasından faydalanarak civarın kuşbakışı haritasını çıkarıyor ve masraf yaratan GPS/IMU gibi pahalı sistemleri bünyesinden çıkarıyor. Aynı zamanda elde edilen bu nokta bulutundaki noktalar kablolar ve yerdeki cisimler olarak sınıflandırılıyor. Elde edilen bu verilere göre gereken güvenlik mesafesi kontrol ediliyor.



Şekil 2.18 – Önerilen sistem ile klasik bir LIDAR sisteminin kıyası



Sistem donanımsal olarak tabloda da görülebileceği gibi multimotor drone, hafif ve küçük bir lidar ve bir mikrobilgisayardan ibaret.

### **2.7.1. Nokta Bulutunun Oluşturulması**

Sistemin bu kısmından bahsetmeden önce LOAM'ın temel aldığı SLAM'den kısaca bahsedilmesi gerekiyor. SLAM yani Simultaneous Localization and Mapping bilinmeyen bir ortamda hareket ederken hem bölgenin haritasını çıkarıp, bunu yaparken de uzaydaki yerimizi kaybetmemeyi konu alan bir hesaplama problemi ve algoritma.

Bu sistemde kullanılan LOAM algoritmasıysa SLAM algoritmasını kısmen bağımsız iki algoritmaya ayırıyor. Bu algoritmalarından birisi yüksek frekanslı ama düşük doğruluklu odometri hesaplayarak lazer tarayıcının hızını tahmin etmeye çalışıyor.

İkinci algoritma ise daha düşük frekanslı bir şekilde nokta bulutunu işliyor. İki algoritma birleştirilerek gerçek zamanlı haritalama yapmak mümkün oluyor.

### **2.7.2. Kablo Modelleme**

Nokta bulutundan güç hattı çıkarma algoritması.

Algoritma nokta bulutundan isabetli bir şekilde güç hattı noktalarını çıkarabiliyor ve bir güç hattı vektörü oluşturup kullanıcıya sunuyor. Bu algoritma 4 parçaya bölünmüş durumda.

#### **2.7.2.1. Elektrik Hattı Nokta Bulutu Veri Çıkarımı**

Güç hattı içeren nokta bulutlarıyla arkaplan nokta bulutlarını birbirinden ayırıyor. Zeminle hatların arasındaki mesafeyi gözlemlemek mümkün olduğundan bu yükseklik farkı segmentleme eşiği olarak kullanılıyor. Bu algoritmada iterative threshold segmentation method kullanılıyor.

#### **2.7.2.2. Öngörülen Görselden Kenar Çıkarımı**

Bu aşamada nokta bulutundaki ayrık noktalar güç hattı gösterim hattı haline getiriliyor ve bu hatta devamlı bir eğri olarak modelleniyor. Ardından elde edilen bu nokta bulutu verisi dijital görüntü işleme yöntemlerinden faydalanılarak bir görsel haline getiriliyor. Elde edilen hatlar çıkıntılı ve belirgin olduğundan Canny Operator aracılığıyla güç hattını elde etmek için kenar çıkarma uygulanıyor.



### **2.7.2.3. Çıkarılmış Kenarların Güç Hatları Olarak Geri Yansıtılması**

Kablo çıkarım doğruluğunu arttırmak için spatial point distance clustering algoritması kullanılarak elde edilmiş nokta bulutundan aykırı elemanlar çıkarılıyor.

### **2.7.2.4. Tellerin Uydurulması**

Şu ana kadar elde ettiğimiz güç hattı noktalarına sarkma formülü uygulanıyor ve kablunun modeli elde ediliyor.

### **2.7.3. Elektrik Direği Çıkarımı**

İşe yarar bir güvenlik mesafesi tespiti yapabilmek için eldeki nokta bulutu en az 3 sınıfa ayrılmalı: kablolar, kablo kulesi ve zemin. Zemin ve kablo kulelerinin karışmasını önlemek için aralarında bir ayırım yapmak önemli.

Öncelikle kabloları içeren noktalar toplam nokta bulutundan çıkarılıyor ve bağlantılı kısımlar expansion operasyonu ile elde ediliyor. Ardından bu bağlantılı kısımların nokta kümeleri K-means clustering yardımıyla elde ediliyor ve son olarak kablo kuleleri ve tehlikeli olabilecek yükseklikteki alanlar büyüklüklerine göre değerlendirilip tespit ediliyor. Elde edilen bu nokta kümesi nokta bulutundan çıkarılınca da geriye zemin nokta bulutu kalıyor.

### **2.7.4. Mesafe Tespiti**

Elde edilen kümelerde zemin ve güç hattı arasındaki mesafe güvenlik standartlarıyla karşılaştırılıyor ve gerekli durumlarda tehlike uyarısı veriliyor.

Tüm bu işlemler yapıldıktan sonra şu şekilde bir görsel elde ediliyor:



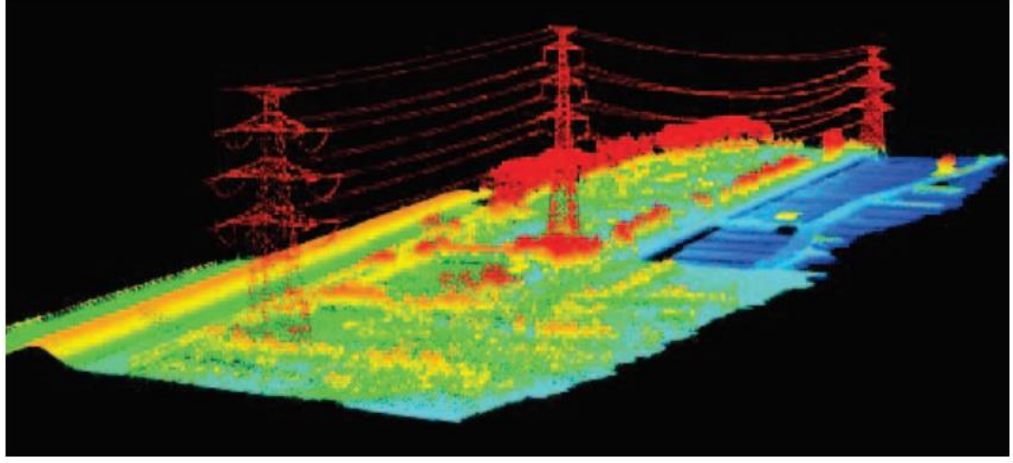
Şekil 2.19 – Nokta bulutunun sonuç çıktısı

### 2.7.5. Yapılan Deneyler

Öncelikle bir uçuş rotası tasarlanıyor. İşlem için kullanılan drone yakınlardaki elektrik direğinin sol üstünden ve 20 metre açığından geçiyor. Ardından belirlenen rotada uçurulup LIDAR yardımıyla 10Hz ile nokta bulutu toplanıp gömülü bilgisayara gönderiliyor. Bilgisayar 1Hz ile nokta bulutunu sınıflandırıp uzaklık tespitini yapmayı başarmış.



Şekil 2.20 – Testin gerçekleştirildiği bölge

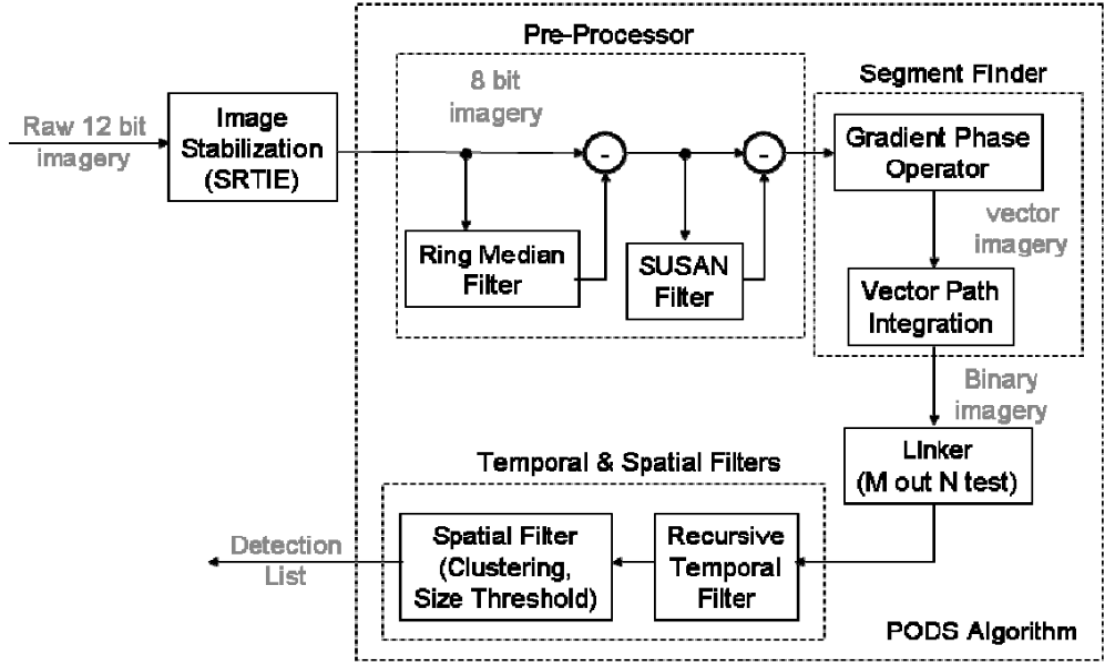


*Şekil 2.21 – Uçuş yapılan bölgeden elde edilen nokta bulutu*

## **2.8. Tel Algılama İçin Pasif Engel Algılama Sistemi (PODS) [5]**

2009 yılında havacılık şirketi Boeing, görülebilir, orta ve uzun dalga kızıl ötesi (MWIR, LWIR) ile Passive MilliMeter Wave (PMMW) sensörleriyle birçok farklı çeşitte kaynaktan gelen pasif görüntülerdeki kablo ve elektrik hatlarını algılayan bir algoritma geliştirdi. Sistemin gerekli tespit menzili hava aracının hızı ve manevra kabiliyetine bağlı. 150 knot (278 km/s) hızla ilerleyen bir hava aracı saniyede 77 metre katederken sabit kanat bir hava aracı 250 kt'la (463 km/s) 129 metre katetmekte. Pilotun reaksiyon hızını en az 3 saniye olarak alırsak tespit menzili helikopterler için 229 metreyken sabit kanat bir araçta 396 metre olmakta. Gecikmeyi, rahat olması için 10 saniye olarak alırsak bu sayılar 762 ve 1280 metreye yükseliyor.

Bu dönemde kullanılan diğer sistemler kablolardaki elektromanyetik emisyonları tespit eden sensörler veya LIDAR ve RADAR olarak daha çok kullanılmakta. Elektromanyetik sensörler aktif hatları kolayca algılasa da pasifler hiç tespit edilememekte. Lidar ve radar sistemleri ise menzil kısıtlılığı ve kabloların pasif davranışı nedeniyle çok verimsizdir.



Şekil 2.22 – PODS algoritmasının blok diyagramı

PODS algoritması 4 aşamada çalışmakta. Bu aşamalar:

- İşleme Öncesi: Arkaplandaki parazitleri temizlemek için bir Ring Median Filter ve kabloya benzeyen yüksek kontrastlı parazitleri temizlemek içinse bir SUSAN filtresi kullanılır.
- Segment Tespiti: Kablolara benzeyen segmentleri Gradient Phase Operator ve Vector Kernel Operator yardımıyla bulur ve diğer kenar vb. fazlalıklardan ayırır.
- Segment Birleştirici: Ayrıştırılmış kablo segmentlerini birleştirir ve alakasız tespitlerden kurtulur.
- Spatial & Temporal filtreler: Anlık yanlış tespitlerden kurtulur ve kablo olmadığı belli, sürekli tespitleri imha eder.

Donanımda işlemci kartı olarak Boing'in ESVS, SRTIE, gerçek zamanlı görüntü dengeleme ve süper çözünürlük işleme için geliştirdiği MEVS 3U kullanılmış. PODS'un geçicilik filtresinden dolayı performans, görüntü dengelemeye çok duyarlı. Dengelenen görüntülerin menzili dengelenmeyenlere göre 5 kat daha fazla.

Sonuç olarak PODS'un sıfır yanlış alarmlı tespit aralığı 4572 metreden başlıyor (250 kt'la 36 saniye). 3353 metre altında tespit oranı %50'nin üstüne çıkıyor (250 kt'la 26 saniye). %100'e ise 701 metrede ulaşıyor (250 kt ile 5 saniye). 3 boyutlu LIDAR datası yerine kare kare ve arkaplanla 2 boyutlu tespit yapıldığı için uzaklık bilgisi eksik oluyor ve kabloların yollar, binalar ve ağaçlarla karıştırılmasına sebep oluyor. Yağmur, sis ve kar gibi etmenler sonuçları oldukça düşürüyor. Sistemde kullanılan uzun dalga boylu kızıl ötesi sensörler (LWIR) kısa dalga boyuna göre bu durumlarda daha rahat ilerlediği için sistemde kullanılmış.

## **2.9. Aktif W-Band Milimetrik Dalga Sensörü ile Kablo Görselleme [2]**

Bu makalede önerilen sistem kızılötesi görsellemenin ve pasif sistemlerin yetersiz kaldığı sis ve yağmur gibi zorlu hava koşullarında verimli çalışabiliyor ve milimetre dalgalara (MMW) dayanıyor. MMW'lerin ufak dalgaboyları güç kablolarının periyodik kıvrımlı yapısı sayesinde ilginç karakteristiklere sahip olan ve Bragg scattering phenomenonla açıklanabilen dönüş sistemlerine yol açıyor.

Bahsi geçen Bragg Scattering Phenomena ise elektromanyetik dalgaların periyodik yapılarından yansımalarını açıklayan bir formül. Normalde rüzgar yönünün hesaplanması, sahillerin açıklarındaki dalgaların boylarını ölçülmesi ve çeşitli hava tabaklarındaki sıcaklık farklarının çıkarımı gibi alanlarda kullanılıyor.

Makalenin geri kalan kısmı çalışma alanımızın dışında kalan ve daha çok kullanılan donanıma dair açıklamalara yer veriyor. Bu kısımlardan kısaca bahsetmek gerekirse geliştirdikleri sistemi 3 temel parçaya ayırıyorlar:

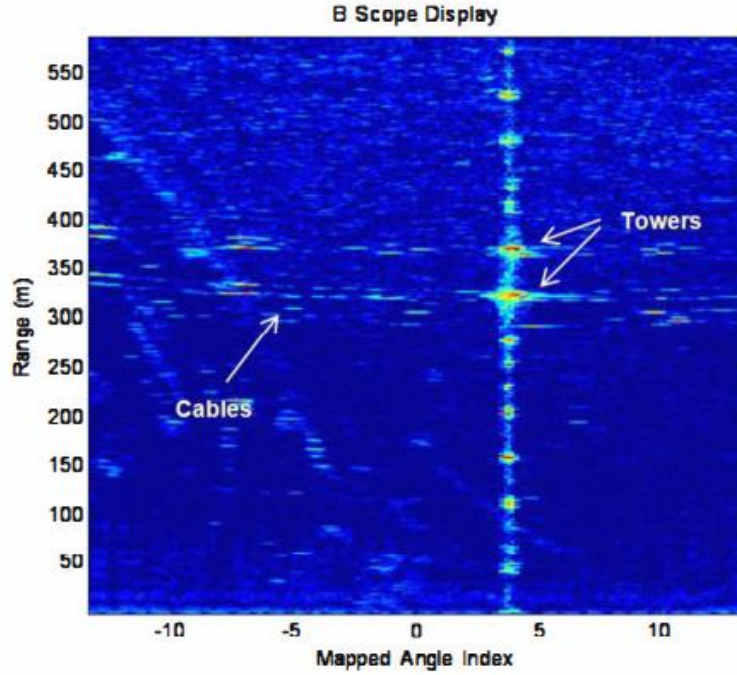
- MMW ünitesi
- Veri işleme/alma ünitesi
- GPS receiver

Yanı sıra sistemlerinin mimarisini olabildiğince modüler tutmaya çalıştıklarına vurgu yapıyorlar.

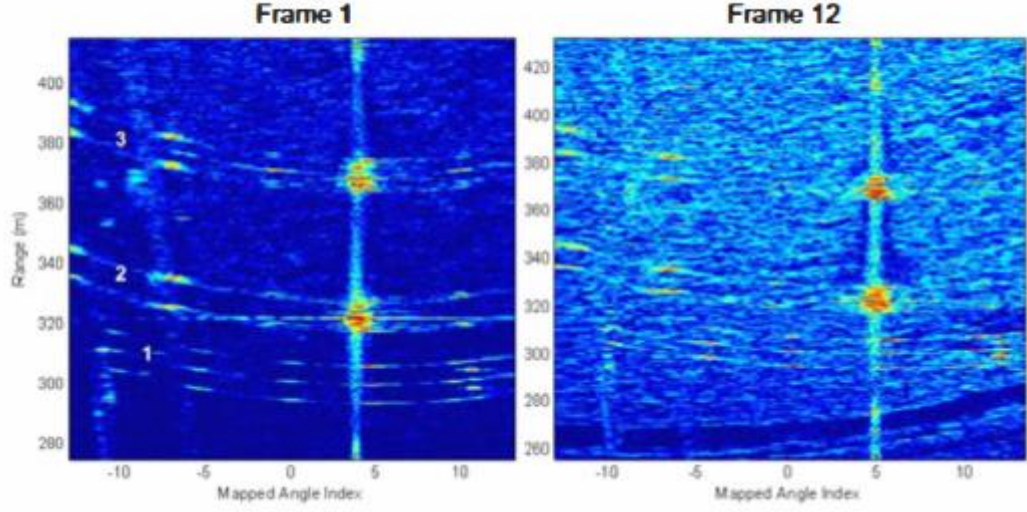
Sistemleriyle yaptıkları testlere bakacak olursak kamera açısı uygun olduğu sürece güç hatlarını ve güç hattı kulelerini 500 metre gibi mesafelerden tespit edebiliyorlar. Ama sistemlerinin sis gibi zorlu hava koşullarında çalışacağını savunsalar da bu deneyi açık bir günde gerçekleştirmişler.



Şekil 2.23 – Testin gerçekleştiği bölgenin fotoğrafı



Şekil 2.24 – Tellerin ve kulelerin yansıttığı sinyallerin görselleştirilmiş hali



Şekil 2.25 – Sensör yeryüzüne doğrultulduğunda alınan geri dönüşün normali ile kıyası

Son olarak üstteki görsellerden soldaki sensör direkman karşıya ya da gökyüzüne doğru dönükken alınan dönütü gösteriyor. Sağdaki görsel ise sensör yeryüzüne dönükken alınan dönütü gösteriyor. Sistemin sensörünün görüş açısı yeryüzünü ya da benzeri bir engeli kapsadığı zaman geri dönen dalgalar kabloları ve diğer engelleri örtebiliyor.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma kısmında elde edilen bulgulardan yola çıkılarak mevcut şartlarda uygulanması en mümkün olacak sistemlerin CNN ile çalışan pasif bir sistem olacağına kanaat getirildi.

Bu yöntemin kullanılmasının sebepleri ise:

- LIDAR, RADAR, LOAM ve benzeri komplike sistemlerin aksine düşük maliyetle gerçek zamanlı sonuçlar ortaya koyması
- PDS gibi sistemlerin aksine her türlü tel ve kabloyu tespit etme potansiyelinin olması
- Milimetre dalgalar aracılığıyla görselleme gibi bakış açısına çok da bağımlı olmaması

Bu sebeplerden ötürü seçilen yöntemi uygulamaya geçirirken karşılaşılabilecek sorunlar şu şekilde listelenebilir:

- Kar, sis ve yağmur gibi zorlu hava koşullarından dolayı görüş mesafesindeki azalma
- Gece vaktinde etrafı görmenin pek mümkün olmaması
- Şafakta ve gün batımında güneşe doğru yapılan uçuşlarda kameraların telleri algılamakta zorlanması
- Tellere paralele yakın açılarda yaklaşıldığında ufukla karışmasından dolayı tespit zorlaşması
- Kabloların arka plana karışma eğilimi

Bu sorunlarla baş edebilmek için normal kameranın yanında farklı dalga boylarında görüş sağlayan kameralarla birleştirilerek hibrit bir sistem elde edilmesi planlanıyor.



#### 4. KAYNAKLAR

- [1] Ruthvik Chandrasekaran, Alexia P. Payan, Kyle B. Collins, Dimitri N. Mavris, "Helicopter wire strike protection and prevention devices: Review, challenges, and recommendations", Aerospace Science and Technology, Volume 98, 2020, 105665, ISSN 270-9638, <https://doi.org/10.1016/j.ast.2019.105665>
- [2] D. S. Goshi, Y. Liu, K. Mai, L. Bui and Y. Shih, "Cable imaging with an active W-band millimeter-wave sensor," 2010 IEEE MTT-S International Microwave Symposium, 2010, pp. 1620-1623, doi: 10.1109/MWSYM.2010.5515781
- [3] Flight Safety Foundation Helicopter Safety - For Everyone Concerned With the Safety of flight - July/August 2002 - Vol.28 No.4 - Joel S. Harris, <https://flightsafety.org>
- [4] R. Madaan, D. Maturana and S. Scherer, "Wire detection using synthetic data and dilated convolutional networks for unmanned aerial vehicles," 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2017, pp. 3487-3494, doi: 10.1109/IROS.2017.8206190
- [5] John N. Sanders-Reed, Dennis J. Yelton, Christian C. Witt, Ralph R. Galetti, "Passive obstacle detection system (PODS) for wire detection," Proc. SPIE 7328, Enhanced and Synthetic Vision 2009, 732804 (6 May 2009); <https://doi.org/10.1117/12.815543>
- [6] A. Stambler, G. Sherwin and P. Rowe, "Detection and Reconstruction of Wires Using Cameras for Aircraft Safety Systems," 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2019, pp. 697-703, doi: 10.1109/ICRA.2019.8793526
- [7] J. Qian, X. Mai and X. Yuwen, "Real-time Power Line Safety Distance Detection System Based on LOAM Slam," 2018 Chinese Automation Congress (CAC), 2018, pp. 3204-3208, doi: 10.1109/CAC.2018.8623168
- [8] Airborne Public Safety Association - The Safety Wire August 2017, <https://publicsafetyaviation.org/>
- [9] Pacific Southwest Wire Strike Incident (2015), Wildland Fire Lessons Learned Center, <https://www.wildfirelessons.net/>

## 5. ÖZGEÇMİŞ

# Burak Yavuz Çengel

✉ burakyavuzcengel@gmail.com

☎ 05345907243

### Profile

Bursa Uludağ Üniversitesi bilgisayar mühendisliği 3. sınıf öğrencisiyim. Unity üzerinden C#tabanlı oyun geliştirme ve HTML, CSS ve JS kullanarak internet sitesi geliştirmesi alanlarında bilgi sahibiyim. İngilizce araştırma yapma ve takım olarak ortaya iş çıkarma konusunda yetenekliyim.

### Education

Bilgisayar Mühendisliği, Bursa Uludağ Üniversitesi

2018 — Present

### Programlama Dilleri

C++

C#

Java

HTML, CSS, JS

### Details

05345907243

[burakyavuzcengel@gmail.com](mailto:burakyavuzcengel@gmail.com)

### Languages

İngilizce

Türkçe

Almanca