

## 5G TEKNOLOJİSİNİN TİCARİ HAVACILIKTA UÇUŞ VE BAKIM EMNİYETİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Hamdi FİDAN<sup>1</sup>  
THY Teknik AŞ, İstanbul

Şeref DEMİRCİ<sup>2</sup>  
THY Teknik AŞ, İstanbul

### ÖZET

5G teknolojisi 2020 yılından itibaren dünyanın çeşitli bölgelerinde iletişim kanalı olarak kullanılmaktadır. Bu teknoloji ilettiği veri miktarı ve kalitesi sayesinde birçok açıdan kullanıcılara cazip gelmekle birlikte kullanılan frekans aralıkları nedeniyle havacılık emniyetini etkileyebileceği öngörülmektedir. Sivil hava taşımacılığında kullanılan hava araçlarının yer ile aralarındaki mesafeyi ölçmek için kullandıkları Radyo Altimetre cihazları ile 5G iletişim bandının yakın frekans aralıklarında olması etkileşim olasılığını gündeme getirmektedir. Bu bildiride hava araçlarının 5G teknolojisinin yaygınlaşması ile birlikte ne gibi risklerle karşılaşabilecekleri teknik bilgiler ışığında değerlendirilmiş ve tasarım değişiklikleri de dâhil olmak üzere her iki frekansın etkileşime girmemesi için alınabilecek çeşitli önlemler belirlenmiştir. Ayrıca hava araçlarının planlı veya plansız bakımlarında, havada yaşanabilecek olası radyo frekans girişimlerinin etkilerini azaltacak ve riskleri kabul edilebilir seviyeye indireyecek işlemlerin incelenmiştir.

### GİRİŞ

Mobil iletişim teknolojileri, 1981 yılında ilk kez ortaya çıkan analog (1G) teknolojisinden itibaren, yaklaşık olarak her on yılda köklü bir değişim göstermiştir. 1992'de dijital (2G) teknolojisi, 2001 yılında geniş bant aralığı ve çoklu ortam desteği ile birlikte 3G teknolojisi ve 2011/2012'de 200 kbit/s'lik hız ve mobil ultra geniş bant erişimi sağlayan 4G teknolojisi kullanıma sunulmuştur [Wikipedia, 2022]. İletişim teknolojileri, özellikle akıllı kablosuz cihazların ve bant genişliği gerektiren uygulamaların büyük oranda artışı nedeniyle son on yılda en hızlı ilerlemeyi göstermiştir. Bu eğilimin, özellikle 5G teknolojisi ve bununla birlikte ağların ve makine tipi iletişimin artmasıyla korunacağı tahmin edilmektedir [Băjenescu, 2020]. İlk kez 2008 yılında NASA ve Machine-to-Machine Intelligence (M2MI) arasında kurulan ortaklıkla ismi gündeme gelen beşinci nesil (5G) iletişim teknolojisi [NASA, 2008], günümüzde kablosuz cihazların kullanımının artması ile neredeyse her eve girebilecek potansiyele ulaşmıştır.

Kablosuz iletişim teknolojilerinin yaygınlaşması ve frekansların artması kapsama alanını sınırlamakta ve özellikle 5G için yoğun baz istasyonları kurulmasını gerektirmektedir. 4G teknolojisinde kullanılan frekans aralığı 2,5 GHz'in altındayken bu oran 5 G teknolojisinde yüksek bant aralığı kullanıldığında 300GHz'e kadar çıkabilmektedir. Bu durum radyo frekanslarını kullanan diğer kullanıcıların doğru şekilde çalışmasını etkileyebilecek bir potansiyel taşımaktadır.

Radyo frekansları iletişim teknolojileri dışında hassas mesafe ölçümünde de kullanıldığı için havacılık açısından önem arz etmektedir. İnsanlı ve insansız hava araçları uçuş sırasında zemin ile olan gerçek mesafelerini hesaplayabilmek ve buna göre manevralar yapabilmek için radyo altimetre (RA) cihazlarını kullanmaktadırlar. Havacılık tarihinde, RA cihazlarının çeşitli sebeplerle

<sup>1</sup> SMS Uzmanı, E-posta: h.fidan@thy.com

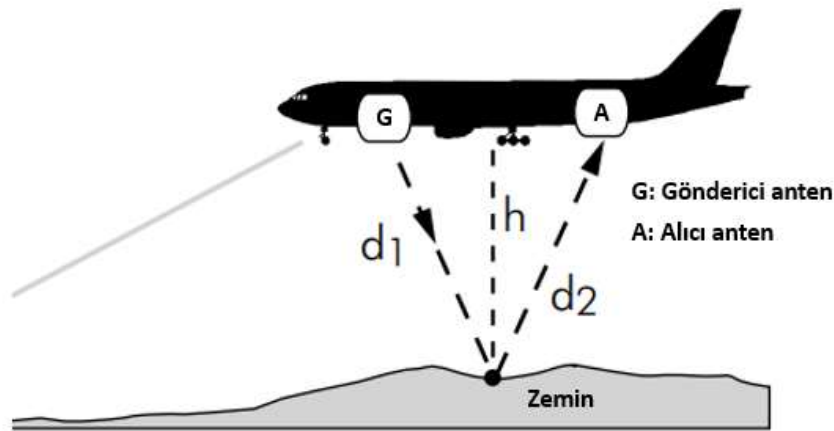
<sup>2</sup> SMS Müdürü, E-posta: sdemirci@thy.com

ürettiği yanlış veriler ve uçak sistemlerine verdiği hatalı bilgilerin neden olduğu ölümcül kazalar bulunmaktadır. 2009 yılında yaşanan THY Amsterdam B737 kazası bunlardan biridir [Demirci, 2022]. Bu bildiride geçmişte yaşanan olayların ve teknik verilerin ışığında, havalimanlarına yakın noktalarda konuşlandırılan 5G baz istasyonlarının ve hava aracı içinde bulunan mobil cihazların, iniş ve kalkış sırasında hava araçlarının RA sinyalleri ile etkileşime girme durumu ve oluşturabileceği riskler incelenmiş ve alınabilecek önlemler sunulmuştur.

## RADYO ALTİMETRE VE 5G BAZ İSTASYONLARININ ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

### Radio Altimetre Çalışma Prensibi

RA hava araçlarının yeryüzüne olan gerçek mesafelerini 5000 ft ve altında hassas şekilde belirlemelerine yarayan, özellikle iniş-kalkış ve yüksek rakımlı bölgelerde hayati önem taşıyan bir sistemdir. Modüle edilmemiş darbeli radar veya frekans modülasyonlu sürekli dalga (FMWC) kullanarak çalışan RA sistemi 4.2 GHz - 4.4 GHz frekans aralığında bir gönderici ve bir alıcı antenden oluşur. İki sinyal arasındaki zaman farkını uçak yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak hesaplayarak uçuş ekibine gerçek yükseklik bilgisini vermektedir (Şekil 1,2).



Şekil 1: RA çalışma prensibi



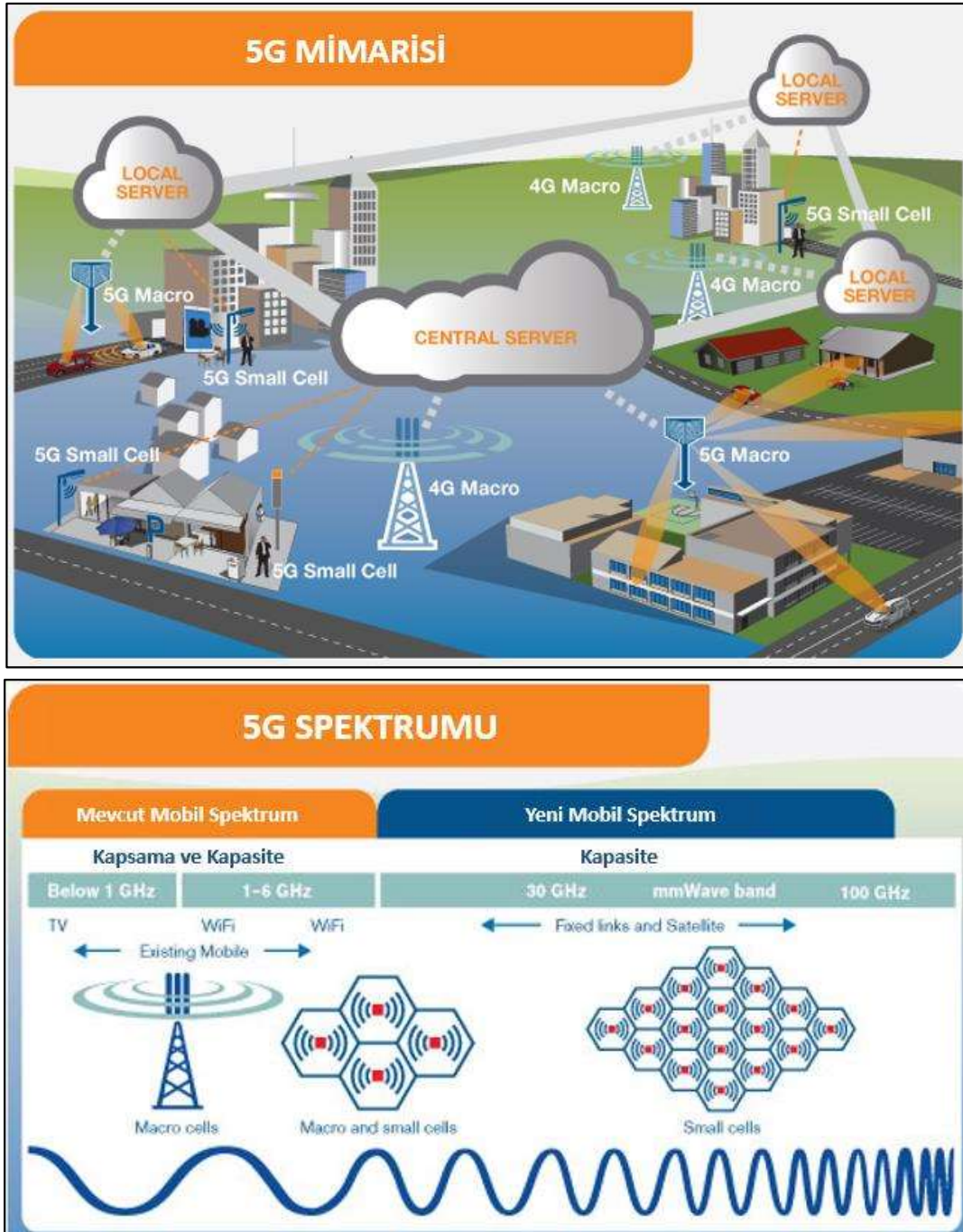
RA-215 Radio Altimeter



Şekil:2 Radyo altimetre kokpit göstergesi analog ve dijital görünümü

### 5G Teknolojisi Çalışma Prensibi

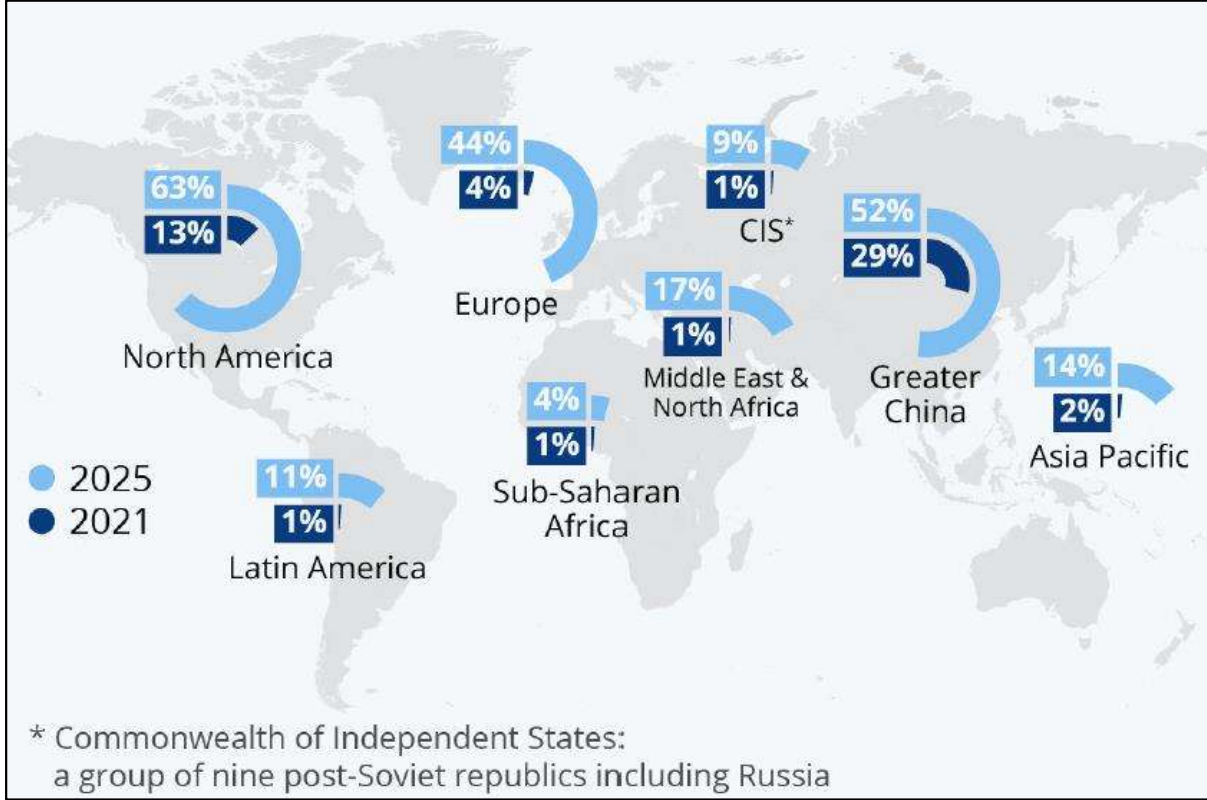
5. nesil mobil ağ teknolojisi makineler, nesnelere ve cihazlar dâhil olmak üzere neredeyse her şeyi birbirine bağlamak için tasarlanmış yeni bir ağıdır. 5G kablosuz ağ teknolojisi, daha yüksek çoklu Gbps tepe veri hızları, ultra düşük gecikme süresi, daha fazla güvenilirlik, büyük ağ kapasitesi, artırılmış kullanılabilirlik ve daha fazla kullanıcıya daha tek tip bir kullanıcı deneyimi sunmayı amaçlamaktadır [Qualcomm,2022]. 5G Makro Hücreleri, aynı anda daha fazla veri gönderip almak için birden fazla elemana veya bağlantıya sahip MIMO (çoklu giriş, çoklu çıkış) antenlerini kullanmaktadır [Emfexplained,2019].



Şekil 3: 5G teknolojisi çalışma prensibi [Emfexplained,2019]

## 5G Teknolojisinin kapsamı ve gelecek öngörülleri

5G teknolojisinin 2021 yılından itibaren büyük bir sıçrama yaparak yaygınlığını artırması beklenmektedir [JPMorgan, 2022]. Küresel 5G hizmetleri pazarının 2020'de 69.39 milyar dolardan 2021'de 83.24 milyar dolara, %20'lik bir bileşik yıllık büyüme oranıyla (CAGR) büyümesi, 2025'te ise %23'lük bir büyüme ile 188 milyar dolara ulaşması beklenmektedir [globenewswire,2021].



Şekil 4: 5G teknolojisi için gelecek perspektifi [Statista, 2021]

## 5G FREKANSLARININ RA FREKANSLARI İLE ETKİLEŞİM DURUMU

Radyo altimetreden yayılan güç seviyeleri yaklaşık olarak bir watt (W) civarındadır ve bu radyo altimetrelerin düzgün çalışması için oldukça hassas alıcılar gerekmektedir. Bu nedenle, radyo altimetreleri, alıcıya giren ve performanslarını olumsuz yönde etkileyebilecek RF girişimine karşı oldukça hassastır. Radar altimetreler, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tarafından uluslararası olarak tanınan ve korunan 4,2–4,4 GHz bandında bir Havacılık Radyonavigasyon Hizmeti (ARNS) spektrum tahsisinde çalışır. Radyo altimetreler, bu çalışma bandında veya yakın frekans bantlarında alınan radyo dalgalarının girişimine karşı duyarlı olmaktadır.

Havacılık kazalarının büyük çoğunluğunun kalkış sırasında ya da iniş sırasında yaşandığı [Airbus,2022] göz önüne alındığında 5G ve RA arasında yaşanabilecek bir etkileşimin önemi daha net ortaya çıkmaktadır.

## YÖNTEM

Geçmişte radyo altimetrelerde yaşanan arızalar nedeniyle meydana gelen kazalar ve uluslararası kuruluşların 5G konusunda yaptığı yayınlar incelenmiştir. Olasılık ve şiddet değerleri bu verilere göre değerlendirilerek L tipi (5x5) risk matrisi üzerine yerleştirilmiş ve risk seviyesi hesaplanmıştır. Henüz 5G RA kaynaklı bir vaka yaşanmadığı için ön alıcı (proaktif) bir çalışma yapılarak olumsuz senaryoların önlenmesi için alınabilecek önlemler değerlendirilmiştir.



Şiddet \ Olasılık	Çok ciddi (5)	Ciddi (4)	Orta (3)	Hafif (2)	Çok Hafif (1)
Çok yüksek (5)	25	20	15	10	5
Yüksek (4)	20	16	12	8	4
Orta (3)	15	12	9	6	3
Düşük (2)	10	8	6	4	2
Çok düşük (1)	5	4	3	2	1

Tablo 1: 5x5 Risk hesaplama matrisi

### UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

Geçmişte RA cihazlarının doğru veri üretmemesi sonucu meydana gelen bazı kazalar incelendiğinde sistemde meydana gelebilecek ufak bir problemin dahi yıkıcı sonuçlar doğurabildiği görülmüştür (Tablo 2).

Uçak Tipi	Olay tarihi	Olay özeti	Referans
Boeing 737-800	25.02.2009	İniş için piste yaklaşma sırasında radyo altimetre arızası nedeniyle kırım geçirmiştir.	Slater,2015
Antonov 72	25.12.2012	Kalkıştan yaklaşık 2,5 dakika sonra radyo altimetre arızası nedeniyle kırım geçirmiştir.	aviation-safety 2013

Tablo:2 Radyo Altimetre kaynaklı kaza örnekleri

Bu sebeple sistemi etkilemesi muhtemel bir 5G sinyal girişiminin bir yılda birden fazla meydana gelme olasılığı **yüksek olasılık (4)** olarak değerlendirilmiştir. Hava araçlarında kullanılan sistemlerin yedekli ve karşılaştırılmalı kullanılma durumları değerlendirildiğinde olası hatalı verilerin fark edilebileceği ve tehlikeden kaçınılabileceği öngörülmüş ve **şiddet seviyesi orta (3)** olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda **Risk seviyesi Olasılık (4)x Şiddet (3)=12** olarak belirlenmiştir.

Sonuç	Risk Puanı	Yapılması gereken işlem
<b>Katlanılamaz Riskler</b>	25	Belirlenen risk kabul edilebilir bir seviyeye düşürülünceye kadar iş başlatılmamalı eğer devam eden bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Gerçekleştirilen faaliyetlere rağmen riski düşürmek mümkün olmuyorsa, faaliyet engellenmelidir.
<b>Önemli Riskler</b>	12,15,16,20	Belirlenen risk azaltılincaya kadar iş başlatılmamalı eğer devam eden bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Risk için devam etmesi ile ilgiliyse acil önlem alınmalı ve bu önlemler sonucunda faaliyetin devamına karar verilmelidir.
<b>Orta Düzeydeki Riskler</b>	8,9,10	Belirlenen riskleri düşürmek için faaliyetler başlatılmalıdır.
<b>Katlanılabilir Riskler</b>	3,4,5,6	Risk olduğu gibi kabul edilir. Ancak mevcut kontroller sürdürülmeli ve bu kontrollerin sürdürüldüğü denetlenmelidir.
<b>Önemsiz Riskler</b>	1,2	Risk olduğu gibi kabul edilir.

Tablo 3: Sonucun Kabul Edilebilirliği

Mevcut durumda FAA ve telekomünikasyon şirketleri arasında yapılan görüşmeler sonucu kısa vadeli olarak aşağıdaki çözüm yolları belirlenmiş ve uygulamasına geçilmiştir [FAA,2022];

- Radyo altimetre üreticileri tarafından tüm paydaşlarla ve uçak üreticileriyle birlikte çalışılarak frekans girişimini azaltacak filtreler üretilmiştir.
- Girişim tehlikesine en açık olan uçaklardan başlamak üzere bölgesel uçakların 2022'nin sonuna kadar, ticari uçakların ise 2023 Temmuz ayına kadar radyo frekansı filtreleriyle güçlendirmeleri konusunda mutabık kalınmıştır.
- İlgili kitlerin hangar ortamında birkaç saat içinde uçaklara takılabileceği belirtilmiştir.

Üreticiler, otoriteler, uçuş ekipleri ve bakım ekipleri için alınacak bir dizi önlemlerle, oluşabilecek girişimlerin engellenebileceği veya olması durumunda risk seviyesinin kabul edilebilir düzeye indirgenebileceği öngörülmektedir. Bu önlemler aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Uçuş ekiplerinin uçuş sırasında kullandığı el kitaplarına, radyo altimetre verilerinde anormallik tespit edildiği takdirde neler yapılacağı açık şekilde belirtilmeli ve bu doküman revizyonu tüm uçuş ekiplerine duyurulmalıdır.
- Radyo altimetre arızaları, daha yakından takip edilmek amacıyla önemli olay raporlama listelerine dâhil edilmeli ve pilot raporları da bu konuda veri kaynağı olarak kullanılmalıdır.
- Uçak kabinlerinde, özellikle iniş ve kalkış fazlarında radyo sinyali yayabilecek cihazların kullanımını net olarak yasaklanmalı ve sıkı kurallarla denetlenmelidir.
- 5G teknolojisinin farklı frekans aralığında kullanıldığı ülkeler yakından takip edilmeli ve bu durumun takibi için özel bir yapı oluşturularak frekans değişiklikleri sivil havacılık sektörüyle eş zamanlı paylaşılmalıdır.
- Üreticiler tarafından yedekli olarak tasarlanan RA cihazlarının sağ ve soldan alınan sinyal arasında belli bir fark olması durumunda uyumsuzluk sinyali üretmesi sağlanmalıdır.
- Frekans girişimi şüphesi bulunan arızalar için özel arıza kodları üretilmeli ve bakım çalışmalarında dikkat edilmesi gerekenler bu kodlar altında özellikle belirtilmelidir.
- Uzun vadeli çözüm olarak; RA üreticileri tarafından frekans girişimi ihtimalinin tamamen ortadan kaldırıldığı yeni tasarımlar geliştirilmesi planlanmaktadır. Söz konusu modifikasyonun havayollarına maliyeti bu kapsamda değerlendirilmesi gereken hususlardan biridir.
- Yeni geliştirilmekte olan 6. Nesil iletişim teknolojileri için benzer sorunlar yaşanmaması adına frekans aralıkları sivil havacılık otoriteleri ve iletişim otoriteleri ile belirlenmelidir.

## SONUÇ

Çalışmada hava aracı kaza istatistikleri ve 5G teknolojisi ile ilgili bilgiler detaylı olarak incelenmiş ve 5G teknolojisi ve hava araçlarında kullanılan radyo altimetre cihazlarının etkileşim ihtimali değerlendirilmiştir. Her ne kadar henüz net olarak 5G girişimi nedeniyle yaşanan bir arıza raporlanmamış olsa da fark edilmesi zor bir durum olduğu için ön alıcı şekilde risk değerlendirmesi yapılmıştır. Radyo frekanslarının girişime açık yapısı ve uçuş operasyonları için hayati önemde olması nedeniyle risk seviyesini kabul edilebilir düzeye indirmek için tüm paydaşları kapsayan çeşitli öneriler sunulmuştur. Havacılık ve iletişim alanlarında gelişen teknolojilerin etkileşim sahalarında risk değerlendirmelerinin detaylı yapılması ve öngörülü bir şekilde uygulamaya konması gerekmektedir. RA teknolojisinde yapılacak geliştirmelerde B737 Max uçaklarında hücum açısı sensörleri (AoA) için uygulanan sentetik sensörün [Demirci, 2022] bir benzeri uygulanarak verilerin güvenilirliği sağlanabilir. Bu sayede uçuş emniyetine pozitif bir katkı sağlanabilecektir.

**Kaynaklar**

- Băjenescu, T., 2020, *5G: FUTURE OPPORTUNITIES AND CHALLENGES*, Vol. XXVII, no. 4 (2020), pp. 120 - 127
- Demirci, Ş. (2022), *The requirements for automation systems based on Boeing 737 MAX crashes*, Aircraft Engineering and Aerospace Technology, Vol. 94 No. 2, pp. 140-153.  
<https://accidentstats.airbus.com/statistics/accident-by-flight-phase>“Son Erişim: 2.02.2022”  
<https://en.wikipedia.org/wiki/4G> “Son Erişim: 15.01.2022”  
<https://web.archive.org/web/20190408142034/>  
<http://www.emfexplained.info/?ID=25916#How%20does%205G%20work> “Son Erişim: 10.01.2022”  
[https://www.nasa.gov/home/hqnews/2008/apr/HQ\\_08107\\_Ames\\_nanosat.html](https://www.nasa.gov/home/hqnews/2008/apr/HQ_08107_Ames_nanosat.html) “Son Erişim: 10.02.2022”  
<https://www.qualcomm.com/5g/what-is-5g> “Son Erişim: 10.01.2022”
- Slater, David (2015), CASE STUDY -THE CRASH OF TK 1951  
<https://news.aviation-safety.net/2013/01/24/altimeter-problems-caused-fatal-antonov-72-cfit-accident-in-kazakhstan/> “Son Erişim: 10.05.2022”  
<https://www.jpmorgan.com/insights/research/future-of-5g-adoption>  
<https://www.globenewswire.com/en/news-release/2021/12/10/2350105/28124/en/Global-5G-Services-Market-Report-2021-2025-2030-Featuring-AT-T-Verizon-China-Mobile-Vodafone-Telstra-China-Telecom-Deutsche-Telecom-SK-Telecom-Saudi-Telecom-and-T-Mobile.html>  
<https://www.faa.gov/5g>