



BİLİŞSEL ELEKTRONİK HARP VE RADAR SİSTEMLERİ

TREND ANALİZİ AĞUSTOS 2022



İşbu eserde yer alan veriler/bilgiler, yalnızca bilgi amaçlı olup, bu eserde bulunan veriler/bilgiler tavsiye, reklam ya da iş geliştirme amacına yönelik değildir. STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş. işbu eserde sunulan verilerin/ bilgilerin içeriği, güncelliği ya da doğruluğu konusunda herhangi bir taahhüde girmemekte, kullanıcı veya üçüncü kişilerin bu eserde yer alan verilere/bilgilere dayanarak gerçekleştirecekleri eylemlerden ötürü sorumluluk kabul etmemektedir. Bu eserde yer alan bilgilerin her türlü hakkı STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.'ye aittir. Yazılı izin olmaksızın işbu eserde yer alan bilgi, yazı, ifadenin bir kısmı veya tamamı, herhangi bir ortamda hiçbir şekilde yayımlanamaz, çoğaltılamaz, işlenemez.

 STM ThinkTech

1. GİRİŞ

Soğuk Savaş'ın sona ermesinin ardından yeterince ilgi bulamayan Elektronik Harp Sistemleri (EH), günümüzde çeşitli nedenlerle yeniden önem kazanmaya başlamıştır. 21'inci yüzyılın teknolojilerinin hızlandığı savunma teknolojilerindeki değişim, artan uluslararası gerginlikler ve çatışmalar, çok kutuplu güç siyaseti ve buna bağlı olarak hızlanan silahlanma, elektronik harbi kara, hava, deniz, uzay ve siber uzay ile birlikte asli operasyon alanlarından biri hâline getirmiştir. Aralarında Türkiye'nin de bulunduğu belli başlı ülkelerinin savunma sanayileri, elektronik harp sistem ve çözümleri geliştirmektedir. Bu sistemler gün geçtikçe kabiliyetlerini artırmakta, çoklu işlevler yüklenmekte ve bilişsel yeteneklerini artırmaktadır.

Giderek karmaşıklaşan modern EH, bu tür sistemlere sahip silahlı kuvvetlere stratejik avantaj sağlarken, yüksek kabiliyetli EH sistemlere sahip olmayan silahlı kuvvetleri zor durumda bırakmaktadır. Gelişmiş EH kabiliyetlerinin ülke savunmasında yarattığı zorluklar, gelecekteki yaklaşımların çözüme yeteneğinin ötesindedir. Bu sorunu çözenin ve düşmanın gelişmiş EH kabiliyetlerine en kısa zamanda yanıt verebilmenin tek yolu yapay zekâ tekniklerini EH sistemlerine dahil etmektir. Yapay zekâ, elektronik harpte bilişsel (cognitive) elektronik harbe doğru yönelim başlatmıştır. Yapay zekânın, özellikle makine öğrenmesi (Machine Learning -ML) tekniklerinin yükselişi, hesaplamalı donanımdaki gelişmelerle birleştiğinde elektronik harpte devrim yaratacak niteliktedir.

Bilişsel Elektronik Harp ve Radar Sistemleri (BEHRS), henüz yeni bir kavram olmakla birlikte, başta ABD olmak üzere aralarında Türkiye'nin de bulunduğu bir dizi

ülkenin silahlı kuvvetleri tarafından ciddiyle ele alınmakta ve araştırma geliştirme çalışmaları yürütülmektedir. Gelecek 10 yıl içinde düşmanın sistemlerine yeniden programlamaya ihtiyaç duymadan otonom olarak karşılık verecek bilişsel elektronik harp teknolojilerinin kullanıma sunulacağı tahmin edilmektedir. Yapılan analizler, BEHRS sistemlerinin, sadece askeri alanda değil jeopolitik düzlemde önemli dönüşümlere yol açabileceği yönündedir. Dolayısıyla BEHRS alanında yapılan çalışmalarını yakından takip etmek büyük önem arz etmektedir.

Türkiye'de Bilişsel Elektronik Harp ve Radar Sistemlerini incelemeyi amaçlayan bu analizde BEHRS'nin kavramsal çerçevesi çizilmeye çalışılacak, yapılan Ar-Ge çalışmalarına göz atılacak ve BEHRS çalışmalarında dikkat edilmesi gereken hususların yanı sıra bu teknolojiye ilişkin kaygı veren konular irdelenecektir.

2. BİLİŞSEL ELEKTRONİK HARP VE RADAR SİSTEMLERİ (BEHRS) KAVRAMININ YÜKSELİŞİ

Elektromanyetik spektrumun (EMS) kontrolünü ele geçirme çabası olarak özetlenen elektronik harp, 20'nci yüzyılın başından itibaren harp alanında, savunma, taarruz ve destek amaçlı olarak kullanılmaktadır^[1]. Gelişen teknolojiler, yeni EH teknikleri ile karşı tedbirlerin de geliştirilmesine yol açmıştır. Günümüzde elektromanyetik alan daha da karmaşıklaştığı gibi, EH alanına dijital boyut da

eklenmiştir. Artık pek çok elektronik harp ve radar sistemi, EMS'nin farklı dalga biçimlerinde operasyon yürütmektedir. Bu arada devlet aktörleri kadar, terör ve suç örgütleri tarafından da yönlendirilebilen siber saldırılar EH unsurlarının tahrip edilmesi için kullanılabilir. Dolayısıyla yeni EH ortamı, geleneksel karar alma yöntemleriyle altından kalkamayacak kadar güçlü bir EH yönetimi gerektirmektedir. Saniyeler, hatta milisaniyeler içinde büyük zarara yol açabilecek EH taarruzlarına, bilinmeyen veya daha önce tanımı yapılmamış hedeflere karşı diğer insan operatörlerin yanıt vermesi imkânsız yakındır. Bu nedenle EH sahasında yeni bir yaklaşım ve teknoloji arayışı başlamıştır. BEHRS kavramı bu noktada dikkatleri üzerine toplamıştır.

2.1 Bilişsel Elektronik Harp Kavramı

Bilişsel Elektronik Harp (BEH), bilişsel sistemlerin elektronik harp alanına uygulanması için kullanılan bir terimdir. Bilişim teknolojilerinde bilişsel sistemleri, “İnsanların öğrenme, hafıza ve yargı algısını taklit etmek için makine öğrenmesi algoritmalarını ve yapay zekâyı kullanan öğrenme eylemine dayanan sistemler” olarak tanımlamak da mümkündür^[2]. Bilişsel sistemlerde amaç, geliştirilen algoritmanın çevresini algılamak ve amaçlarına ulaşmak için harekete geçmesidir. Bilişsel sistemler, karmaşık durumlarda doğru kararlar vermek için sembolik ve kavramsal bilgilerle uğraşarak, daha yüksek düzeyde akıl yürütmek ve gerektiğinde bağımsız olarak karar alabilmek için tasarlanırlar. Ayrıca bilişsel sistemler öğrenebilen algoritmalarıdır; verilerden ve geçmiş deneyimlerden yararlanırlar, kendilerini geliştirmek için başka sistemlerle etkileşim hâlinde olabilirler^[3]. Bilişsel sistemler, yapay zekâ ve ML algoritmalarına dayanırlar ve sistemler büyük veri uygulamalarından destek alırlar. Bu nedenle, bilişsel elektronik harp sistemleri en basit şekilde, “elektronik harpte bilişsel sistemleri, yapay zekâ ve ML'nin kullanılması” olarak da tanımlanabilir^[4]. BEH sistemlerinde ana hedef, elektronik istihbaratı analiz etmekten yeni elektronik savaş önlemleri ve karşı önlemleri geliştirmeye kadar bir dizi kritik süreci, otomatikleştirebilmek ve gerçek zamanlı hâle getirmektir.

2.2 BEHRS Sistemlerine Yönelten Etmenler

EH teknikleri Birinci Dünya Savaşı'ndan önce bile kullanılmış olmasına rağmen asıl gelişimi Soğuk Savaş döneminde yaşamıştır. Soğuk Savaş'ın son bulmasının ardından bir süre geri planda kalan EH, Çin ve Rusya'nın yeniden dünya sahnesinde ağırlığını artırması, uluslararası terörizmin yükselişi, Afganistan'dan Suriye'ye bir dizi iç savaş ve en son Rusya-Ukrayna Savaşı'yla istikrarsızlaşan küresel güvenlik ortamında önemini bir kez daha göstermiştir. EH, savunma alanındaki tüm platformlarda olduğu gibi teknolojik değişimlerden etkilenmekte, karşı tedbirler ve karşı tedbirlere karşı alınan tedbirlerle evrim geçirmekte, yeni nesil EH araç ve yöntemleri belirlemektedir. Nitekim şimdi bilişsel elektronik harp sistemleri üzerinde projeler yürütülürken, bir sonraki aşama olarak kuantum elektronik harp teknolojileri konsepti belirmiştir. Bu bölümde BEHRS sistemlerine yönelten etmenler ele alınacaktır. Kuantum elektronik harp konusu ise bir sonraki bölümde incelenecektir.

2.2.1 EH Ortamının Karmaşıklaşması ve Tehditlerin Artması

EH, EMS üzerinde hâkimiyet kurma savaşıdır. EMS, silahlı kuvvetlerin birçok unsuru için kritik önem taşımaktadır. Dünya genelinde EH silah ve ekipmanları geliştiren aktörlerin sayısı artmıştır. Aralarında Türkiye'nin de bulunduğu çok sayıda ülkede üretilen insanlı ve insansız hava platformları, hassas güdümlü mühimmatlar, insansız deniz araçları, gelişmiş radarlar, hava ve deniz savunma sistemleri, otonom ve yarı otonom silah sistemleri EMS üzerinden aktarılan sinyallerle yönlendirilmektedir^[1]. EMS, bilişim ve iletişim teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak sivil alanda da yaygın biçimde kullanılmaktadır. İnternet, mobil cihazlar, nesnelerin interneti cihazları, otonom araçlar, akıllı ev cihazları ve diğerlerinin dünya genelinde kullanımı hızla artmaktadır.

EMS bu kadar kalabalık ve çekişmeli hâle gelirken tehditler de giderek daha fazla sayıda ve karmaşık hâle gelmektedir. Mikroelektronik ve sensörlerin yaygınlaşması ve düşük maliyetli hâle gelmesiyle büyük küçük tüm devlet ve devlet dışı aktörlerin EH kabiliyetlerine ulaşması olanaklı hâle gelmiştir; bu da tehdit ortamını daha tehlikeli ve öngörülemez hâle getirmektedir. Gelecekteki benzeri tehditlerin çeşitliliğinin ve karmaşıklığının daha da artacağını tahmin etmek mümkündür.

2.2.2 Siber Savaş ile Elektronik Savaşın Yakınsaması

Son 20 yılda, siber uzaydaki operasyonlar, askeri operasyonlarda önemli bir unsur hâline gelmiştir. EH de 20'nci yüzyılın başında telsizin ortaya çıkışından bu yana askeri operasyonların bir bileşeni olmuştur. Teknolojik kabiliyetler genişledikçe siber savaş ile elektronik harp benzer hâle gelmektedir.

Yakınsamanın en önemli tezahürü elektromanyetik spektrum sinyallerinin dijitalleşmesidir. Örneğin yazılım tanımlı telsiz sistemleri, analog sinyalleri dijitale çevirmektedir. Modern yazılım tanımlı telsizler, sistem donanımını değiştirmek zorunda kalmadan çalışma frekanslarını, modülasyonlarını, bant genişliğini ve ağ protokollerini değiştirebilmektedir. Askeri kuvvetler, bu sistemlerden yararlanarak tehdit sistemlerini daha kolay güncelleyip bir üst düzeye yükseltebilmektedir.

Siber uzay ve EMS modern askeri operasyonların önemli bir parçası hâline gelmişlerdir. Elektromanyetik enerji kullanma veya siber uzayda çalışma modern harbin esasını teşkil ettiği gibi artık sürekli ve eşzamanlı tek bir ortam olarak görülmektedir. Askeri kuvvetler muharebe sahasında üstünlük sağlamak için birçok ağ bağlantılı elektronik cihaz ve muhabere bilgi sistemleri kullanılmaktadır. Askeri kuvvetler, operasyonları koordine etmek için telsiz ağları kullanmakta, hava ve yer sensörlerini kullanarak düşmanın yerini tespit etmekte, dost kuvvetler haberleşmek için radyo frekansında telsiz kullanmakta, elektronik karıştırma (jamming) kullanarak düşmanın radarlarını köreltmekte veya haberleşmelerine engel olmaktadır.

Hem siber savaş hem de EH, EMS'ye hâkim olma çabalarıdır. EH ise EMS kullanan ağlar arasında iletişimi etkilemek için jamming veya diğer EH yöntemlerini kullanırken siber savaş operasyonlarında, saldırganların bilgisayar ağlarına erişimini engellemek veya karşı saldırıda bulunmak için çalışılmaktadır.

Elektronik savaş ve siber savaşın en çok bilinen yakınsaması, dost kuvvetlerin bir düşmanın ağına enjekte etmek için bilgisayar kodunu ilettiği zamandır. Bu tür işlemlerde radyo frekansı, veri paketlerini, Wi-Fi ağları üzerinden, düşman ağları internete bağlı olmasa bile iletebilir^[5].

Bir başka yakınsama alanı uzaydır. Hem siber savaş teknikleri hem de EH, uzay operasyonlarını etkileyebilir. Uydular, yörünge parametrelerini korumak için bilgisayarlı yer kontrol sistemlerine ihtiyaç duymaktadır. Yer kontrol sistemleri uydulara kodlanmış komutlarını radyo sinyalleriyle iletmektedir. Düşman unsurlar bir şekilde yer kontrol sistemlerine sızabilir, uyduları kontrol altına almak, onları konumlarından çıkarmak veya kritik sistemleri kapatmak için alternatif komutlar verebilirler^[6].

EH ve siber savaşın yakınsaması en modern radarlar için de bir tehlike yaratmaktadır. Örneğin binlerce radyo sinyalinin aynı anda iletilmesine izin veren Aktif Elektronik Faz Dizinli Radarlar (Active Electronically Scanned Array -AESA) ile EMS operasyonlarını yönetmek için gelişmiş bilgisayar sistemlerine ihtiyaç vardır. Yazılım, bu sinyallerin nasıl iletildiğini şekillendirmeye yardımcı olabilir ve potansiyel olarak bir düşmanın telsiz veya radar iletimlerini algılamasını veya engellemesini zorlaştırabilir. Yazılımda yapılan değişiklikler, bir radarı veya radyo sinyalini alıcıdan vericiye kolayca dönüştürebilir. Küçük, ayarlanabilir dizilere sahip olmak, özellikle AESA radarlarının küçük radyo enerjisi ışınlarını potansiyel hedeflere odaklamasına olanak tanır.

2.2.3 Sürekli Değişen ve Gelişen EH Ortamı

Yeni tehditlerin çokluğu nedeniyle, silahlı kuvvetler EMS'nin kontrolü için daha fazla mücadele vermek zorunda kalmaktadır. EMS hâkimiyeti, silahlı kuvvetlere dost unsurları korurken, düşman kuvvetlerini tespit etme ve bunların EH kabiliyetlerini aldatma ve bertaraf etme olanağı sağlamaktadır. Bu hâkimiyet sağlanırsa, silahlı kuvvetler bu liderlik konumunda kalabilmek için EH tehditleriyle mücadelede sürekli olarak yenilik yapmalıdır. Sürekli değişen tehdit ortamına ayak uydurabilmek için silahlı kuvvetler esnek ve ölçeklenebilir çözümlere ihtiyaç duyar. Bugün hafifletilen veya bertaraf edilen bir risk, altı ay sonra yeniden bir sorun hâline gelebilir, orduyu her zaman yeni bir tehditle, hatta yeni bir düşmanla karşı karşıya getirebilir. Eksik veya dağınık veriler, ordunun tehdidin net bir resmini elde etmesini engelleyecektir.

2.2.4 Geleneksel EH Sistemlerinin Çoğalan Tehditlere Yanıt Vermekte Yetersiz Kalması

Günümüzün EH sistemleri, EMS'de bilinen veya öngörülen tehditlere göre tasarlanmaktadır. Söz konusu tasarımın yapılması için dost ve düşman bilinen tüm radarların, sinyal yayan platformların ve ilgili tüm tehditlerin bir kataloğunun veya veritabanının çıkarılması

gerekmektedir. Söz konusu veritabanı binlerce saatlik emek yoğun çalışmaların sonucunda oluşturulmaktadır. Ayrıca yeni silah sistemleri, savaş platformları, radarlar, sensörler ve diğer yeni tehdit unsurları çoğaldıkça ve yenileri sahaya sürüldükçe söz konusu veritabanının güncellenmesi gerekmektedir. Buna karşılık, elektronik koruma, elektronik destek ve elektronik taarruz olarak üç ana bölümde sınıflandırılan elektronik harp sistemleri, hızla modernleşmekte, dijitalleşmekte ve çeşitlenmektedir^[1]. Düşük görünürlük teknolojisi, adaptif radarlar, yeni karıştırıcı teknikleri çok sayıda aktör tarafından bir dizi platformda kullanılmaya başlanmıştır.

“Bilişsel radar” olarak da anılan adaptif radar, tek başına bilişsel elektronik harp sistemlerinin geliştirilmesi arayışının nedenlerinden biridir. Adaptif radarlar da EMS'nin kalabalıklaşması ve karmaşıklaşmasının bir sonucudur. Radyo frekansı cihazlarının yaygınlaşmasıyla birlikte radar sistemlerinin, yoğun sinyal ortamlarında, giderek daha karmaşık sinyal dalga biçimlerini algılaması, izlemesi ve hedefi tanıması gerekmektedir.

Son 10 yılda uyarlanabilir ve bilişsel yaklaşımların birleştirilmesi radar dünyasında devrim yaratmıştır. Uyarlanabilir radar, algılama olasılığını sürekli olarak en üst düzeye çıkarmayı hedeflemektedir. Geleneksel radar sistemlerinden farklı olarak bilişsel yetenekler, bilişsel radarların dalga biçimi, darbe genişliği, darbe tekrar aralığı ve darbe sıkıştırma tekniği gibi emisyon parametrelerinin daha hassas ayarlamasını sağlamaktadır^[7].

Ayrıca EH sistemleri genişbant yazılım tanımlı telsiz (Software Defined Radio, SDR) teknolojilerinden yararlanmaya başlamıştır. Bu yetenek EH sistemlerinin daha çabuk yeniden programlanmasına ve yeni sayısal sinyal işleme gelişmelerini kolayca kullanmaya imkân sağlamaktadır^[8].

Yeni tehdit ortamında geleneksel usullerle EH kararları almak mümkün gözükmemektedir. EH kararlarını hızlı alabilmek için yapay bilişsel teknolojilerden yararlanmak bir zorunluluk hâline gelmiştir.

2.3 Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesinin Elektronik Harbe Kazandıracığı Kabiliyetler

Günümüzün makineleri, bir insan elektronik savaş operatöründen çok daha işlevsel bir operasyonel zekâyâ sahiptir çünkü birikmeye devam eden verilerden öğrenmektedirler. Yapay zekâ sayesinde, insanlar gibi çalışabilen ve tepki verebilen akıllı makineler, sinyal tanıma gibi yeteneklere sahip olabilir ve daha akıllı görevleri gerçekleştirebilir^[9]. ML, yapay zekâyı bir adım öteye taşıyarak makinelerin sürekli olarak verilerden öğrenmesine ve buna göre uyarlama yapmasına olanak tanır. Bu bilgisayarlar, zamanla ama çok hızlı bir şekilde öğrenmektedirler^[10].

ML'yi kullanan sistemler, gelecekte karşılarına çıkacak yeni tehditler ve karşı önlemlerin üstesinden gelmek için daha etkili olmanın yollarını belirleyebilir ve daha da önemlisi her çatışmadan sonra da fazla deneyim ve bilgi sahibi olabilirler. Üstelik bu evrim, insan etkileşimine ihtiyaç duymadan gerçekleşebilir, hatta davranışların nasıl değiştirileceğine bilgisayar karar verebilir.

Yapay zekâ ve ML sayesinde insanların öğrenme, hafıza ve yargı algısını taklit eden BEHR, özellikle aynı anda birkaç tehditle karşılaştığı durumlarda karar alınmasına yardımcı olabilmekte ve karar almayı otomatikleştirmektedir^[11]. BEHRS sistemleri ML teknolojisiyle ilerledikçe, davranışlarını veya hareket tarzlarını giderek daha hızlı bir şekilde uyarlar ve değiştirir. Örneğin bir radar, bir jet uçağını takip etmeye çalışıyorsa, düşmanın karşı önlemleri radarın başarılı olmasını engelleyebilir. ML sayesinde bu radar amacına ulaşmak için sürekli olarak yeni yaklaşımlar deneyecektir.

Bilişsel sistemler, yeni nesil EH tehdit algılama, bastırma ve etkisizleştirme teknolojilerinin geliştirilmesini ve uygulanmasını hızlandırarak, insanları ve ortamları algılayabilir, öğrenebilir, akıl yürütebilir ve doğal olarak etkileşime girebilirler^[4]. BEHRS sistemleri, bilinmez bir tehditle karşılaştıklarında bir dizi karmaşık kaynaktan gelen çok miktarda veriyi alıp yorumlayarak en uygun kararın verilmesini sağlayabilirler. Ayrıca bir insan EH operatöründen çok daha hızlı tepki verirler. Bir (insan) operatörün, mevcut tehditleri bertaraf edebilmesi için, çoğu zaman bir saniyeden bile kısa sürede tepki vermesi gerekmektedir. Çok yavaş tepki, hedeflere ulaşılmasını geciktireceği gibi genellikle uygulanan taktiğin veya yöntemin açığa çıkmasına ve dolayısıyla kaynakların israfına da yol açabilir^[3].

Mevcut EH sistemlerinde edinilen deneyimlerin sisteme aktarılması çok uzun sürmektedir. Örneğin bir EH operatörü yeni bir radar karıştırma koruması algoritması fark ettiğinde bunu ekipman üreticilerine bildirmesi ve ardından mühendislerin buna göre gerekli çözümler üzerinde çalışması gerekmektedir. Böylesi bir durumda reaksiyon süresi bir yılı bile bulmaktadır. Tepki süresini hızlandırmak kilit bir mesele olup buna çözüm geliştirmek ancak bilişsel sistemler kullanıldığında mümkün olacaktır.

3. BİLİŞSEL ELEKTRONİK HARP VE RADAR SİSTEMLERİ ÇALIŞMALARI

BEHRS çalışmalarında ilk etapta Bilişsel Radar (BR) geliştirmeye odaklanılmıştır. Öte yandan mevcut radar sistemlerinden tümüyle farklı sistemle çalışacak kuantum radarları üzerine çalışmalar sürmektedir. Bununla birlikte, bilişsel radarlara karşı tedbir alabilecek diğer BEHRS sistemlerinin geliştirilmesi çalışmaları da başlamıştır. Bu bölümde söz konusu çalışmalardan küresel kamuoyuna yansyanlardan bazıları ele alınacaktır.

3.1 Bilişsel Radar

Radarlar askeri operasyonlarda hava savunması, silah bulma, gözetleme, keşif ve hedef tespiti dahil olmak üzere neredeyse tüm uygulamalarda kullanılmaktadır. Radar sistemleri gece ve gündüz çalışabilir, hava koşullarına karşı göreceli bağımsızlığa sahiptir ve hatta ufuk ötesi kapsama sağlayabilir. Tüm mesafelerde yüksek

çözünürlüklü görüntüler sağlayabilir, hedefleri tespit edebilir, yerelleştirebilir ve takip edebilirler^[12]. Radarlar, EH unsurları arasında gelişim açısından en dinamik noktalardan biridir. 1990'lı yıllara kadar pasif alıcı niteliğinde kalan radarlar, bu tarihten sonra hızlı bir değişim göstermiştir. Faz dizili antenler, katı hâl güç artırıcı aktarıcılar ve dijital işlemciler radarların yeni bir nesle geçişini hızlandırmıştır^[13].

90'lı yılların en önemli ilerlemesi, Aktif Faz Dizinli Radarların (İngilizcesi Active Electronically Scanned Array -AESA- olan radarlar, Türkçe literatürde "Aktif Elektronik Taramalı Dizi Radarı" olarak da anılmakta, ancak genellikle İngilizce kısaltmasıyla kullanılmaktadır.) geliştirilmesi olmuştur. AESA radarların antenleri fiziksel olarak hareket etmemektedir. Bunun yerine farklı yönlere radyo dalgası yönlendirebilen bir dizi modüle sahiptir. Bu modüllerin her biri ayrı radyo dalgası ışını yaymaktadır. AESA sistemi radara farklı türde sinyaller üreterek, üstün bir durumsal farkındalık kabiliyeti sunmaktadır. AESA zaman içinde gelişmiş, radarın her frekans yayımı için frekansları hızla ve rasgele değiştirebilecek hâle getirilerek elektronik karıştırma (jamming) karşı da dayanıklı hâle getirilmiştir.

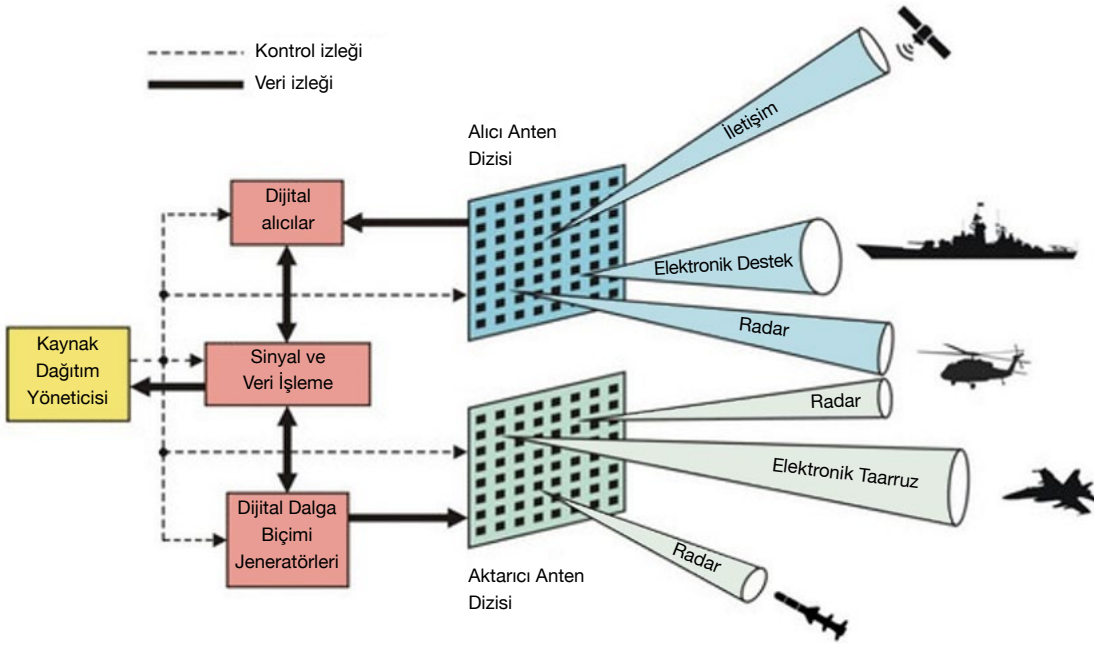
AESA sistemlerinin kullanılmasının bir başka yararı da her bir modülün bağımsız olarak çalışmasıdır. Dolayısıyla tek bir modüldeki bir arıza, genel sistem performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olmayacaktır. AESA teknolojisi, uçakla diğer donanımlı sistemler arasında yüksek bant genişliğine sahip veri bağlantıları oluşturmak için de kullanılabilir^[14].

AESA, 2020'li yıllarda radarların temel teknolojisi hâline gelmiştir. Özellikle beşinci nesil savaş uçaklarının vazgeçilmez bir unsuru olarak görülmektedir. Türkiye'de de ASELSAN, AESA teknolojisini çeşitli radar sistemlerinde kullanmaktadır (Şekil 1). ASELSAN, F-16 savaş uçakları ve Akıncı Taarruzi İnsansız Hava Aracı (TİHA) için AESA burun radar sistemini 2022 yılı sonuna kadar Tük Silahlı Kuvvetlerine teslim edeceğini bildirmiştir^[15].

90'lı yıllardaki bir diğer önemli atılım, Sentetik Açıklıklı Radarların (SAR) geliştirilmesi olmuştur. Birden fazla kaynak ve modülden alınan radar verilerini elektronik olarak birleştiren bu radarlar, özellikle geceleri, bulutlu ve yağışlı havalarda bile durumsal farkındalık yaratır. Sentetik açıklıklı radarlar, uçağa ya da uyduya monte edilerek görüntüler alınıp işlendikten sonra geniş bir alan



Şekil 1: ASELSAN'ın geliştirdiği radar sistemlerinden bazıları^[16].



Şekil 2: Çok fonksiyonlu radarların bir modeli^[21].

görüntülenebilir. Interferometrik SAR tekniği ile bir bölge üzerinden birden fazla geçiş yapılarak ya da birden fazla farklı konumlandırılmış cihaz ile ölçüm yapılarak üç boyutlu görüntüleme yapılabilir. SAR radarları başta savaş uçakları, İnsansız Hava Araçları ve yeryüzü gözlem uyduları olmak üzere bir dizi platformda kullanım bulmuştur. Türkiye’de yine ASELSAN, SARPER adını verdiği bir sentetik açıklıklı radar geliştirmiştir^[17].

AESA ve SAR radarlarının gelişmesi çok fonksiyonlu radar sistemlerinin geliştirilmesinin de yolunu açmıştır. Çok fonksiyonlu radarlar analog ve dijital radar fonksiyonlarının yanı sıra, elektronik harp kabiliyetlerine sahip ve savaş platformları arasında güvenli iletişim ve veri alışverişi görevlerini üstlenebilen karmaşık platformlardır. AESA dizinleri bu tür radarların belkemiğini oluşturmakta ve çoğunlukla bir SAR ile desteklenmektedir^[18]. ASELSAN da AURO^[19] ve ÇAFRAD^[20] gibi farklı platformların ihtiyaçlarına göre tasarlanmış çok amaçlı radar sistemleri geliştirmiştir.

3.1.1 Bilişsel Radarların Yapısı

Çok fonksiyonlu bir radar sisteminin en önemli unsurlarından biri, belki de en önemlisi bir “Kaynak Yönetim Sistemidir” (Şekil 2). Radar kaynak yönetimi, çok işlevli radar sistemlerinin verici/aktarıcı unsurlarının etkin biçimde kontrol edilmesini sağlar. Böylece sistem tüm potansiyelini ortaya çıkarır. Sistemin birden fazla işlevi olduğu için her bir işlevin kaynakları doğru biçimde kullanılması için gelişmiş algoritmaya sahip bir kaynak yönetim sistemine ihtiyaç vardır. Çok işlevli radarlar işte bu nedenle bilişsel radarlara en yakın sistemlerdir.

2008-2019 yılları arasında yayınlanan 200’den fazla makale veya bilimsel metin ile^[22] küresel savunma topluluğunun yürüttüğü Ar-Ge çalışmaları, radarların bir sonraki neslinin bilişsel radarlar olacağına işaret etmektedir.

Yeni nesil radar olarak tanımlanan bilişsel radar, konunun uzmanlarının belirttiği üzere, “dinamik olarak değişen ortamlarda artan özerklik ve performans optimizasyonu sağlamak için insan bilişsel yeteneklerinin giderek daha fazla özelliğini radar mimarisine dahil eden tasarımdaki dönüşümü yansıtmaktadır^[23]”.

Bilişsel Radar (BR), sibernetik, insan-makine etkileşimi, dalga biçimi çeşitliliği, bilgi destekli sinyal işleme ve kaynak yönetimindeki gelişmelerden ilham alan gelişmekte olan bir teknolojidir. BR konsepti 2006 yılında Simon Haykin tarafından ortaya atılmıştır. Haykin BR’yi, “Çevre ile etkileşimlerden edindiği deneyimlerle sürekli öğrenen, verici çevre aydınlatmasını akıllı bir şekilde ayarlayan; verici, ortam ve alıcıyı kapsayan dinamik bir kapalı geri besleme döngüsü oluşturan bütüncül bir radar sistemi” olarak tanımlamıştır^[24]. Bir başka deyişle BR, çevrimiçi tahmin, akıl yürütme ve öğrenme yoluyla veya bağlam içeren veri kümelerinden çalışma ortamı hakkında bilgi, kavrayış elde eden bir radar sistemidir^[25]. Bilişsel bir radar daha sonra bilgi çıkarma, veri işleme ve radar yönetimini geliştirmek için edinilen bilgi ve anlayıştan yararlanır.

Literatürde BR için “Tümüyle Adaptif Radar” (Fully Adaptable Radar-FAR) veya “Bilişsel FAR” ifadelerinin de kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca kimi yazarların bilişsel ve adaptif kavramlarının birbirinin yerine kullandığı; bazı yazarların ise bilişsel sistemleri, adaptif sistemlerin sonraki aşaması olarak gördüğü anlaşılmaktadır. Bu ikinci gruba göre adaptif sistemler, yeni çevre koşullarına uyum sağlayarak o anlık duruma yönelik tepkiler geliştirir ancak bunu deneyim olarak kaydedemez, yani “öğrenemezler”. Bilişsel sistemler ise ML desteği ile “öğrenebildikleri” gibi daha fazla kabiliyete de sahiptirler.

Dolayısıyla bilişsel radarlar konusunu değerlendirmeden önce bilişsellik kavramını netleştirmek önemlidir.

Radarların “bilişsel” olarak kabul edilmesi için öne çıkan bazı özellikler vardır^[12]:

- Bilişsel radarlar adaptif (uyarlanabilir) olmalıdır. Aynı ortam ve karmaşa koşullarında farklı şekilde öğrenip tepki verebilmelidir. Daha iyi performans için parametreleri arayabilmeli, bilgi değiştikçe veya gereksinimler geliştikçe öğrenebilmelidir.
- Bilişsel radarlar “hatırlayabilmelidir”. Doğru zamanda uygun olan bilgilerden önceki deneyimlerden yararlanabilmelidir.
- Bilişsel radarlar, veriler ve olaylar arasında bağlantı kurabilmelidir. Bağlamsal öğeleri anlamalı, tanımlamalı ve bunlardan çıkarımlarda bulunabilmelidir. Bilişsel radarlar çevresel veritabanının yanı sıra duyuşal girdiler (alınan radar) dahil olmak üzere birden fazla bilgi kaynağından yararlanabilir.
- Bilişsel radarlar “akıllı” olmalıdır. Bir karar verme mekanizmasına sahip olmalıdır.

Bir bilişsel radar mimarisinin sahip olması gereken genel yapı taşlarına dair literatürde çok sayıda farklı model önerilmektedir. Bununla birlikte, bilişsel radarın genel modelinin herhangi çok fonksiyonlu bir radar modelinden farklı olmayacağı anlaşılmaktadır. Genel olarak bir bilişsel radarın temel unsurları şunlar olacaktır^[26]:

- **Radyo frekans yakalama:** Yakalanan radyo frekansı spektrumunu dijital veri akışına çevirecektir.
- **Arama ve izleme sistemi:** Birden fazla frekans bandını sürekli olarak izleyecek ve hedefin yerini ve geliş açısını belirleyecektir.
- **Çekirdek Yapay Zekâ/ML sistemi:** Radarın yapay zekâ analiz merkezi olacaktır. Sinyallerin temel parametrelerini (Darbe aralığı, sinyal gücü, polarizasyon, varış zamanı vb) belirleyecektir. Bu bilgi, tehdit kütüphanesine aktarılıp var olan bilgilerle karşılaştırılacak, yoksa kütüphaneye eklenecektir. Yapay zekâ desteği son karara etki edecektir.
- **Dalga biçimi sentezi:** Tehdit karşı çözüm bloğunun çıktısını yorumlayacak ve bir dijital akış oluşturacaktır.
- **Radyo frekansı üretici:** Radarın ürettiği dijital çıktıları, karıştırmaya karşı güçlendirilmiş radyo frekansına çevirecektir.

Yeni nesil radarların da alıcı ve aktarıcıları, EH unsurları, SAR desteği, dijital veri işlemcileri olacaktır. En önemli farkı ise “kaynak yönetim” sistemi yerine yapay zekâ ve ML teknolojisine dayalı “aklı” olacaktır. “Akıllı radar” sadece dalga biçimlerine göre kaynakları ayarlamakla yetinmeyecek, aldığı verileri işleyecek, bilgi ve deneyim üretecektir.

3.1.2 Bilişsel Radar Çalışmaları

Bilişsel radar teknolojisinin ne kadar olgunlaştığı tam olarak bilinmemektedir. Dünya genelinde bu tür çalışmaların açık kaynaklara yansıyan bilgi son derece sınırlıdır.

Dünya kamuoyuna yansıyan bilgilere göre, ABD Savunma İleri Araştırmalar Ajansı (DARPA) daha 2000’li

yılların başlarında, “KASSPER” ve “DDDAS”, Amerikan Hava Kuvvetleri ise “Tam Adaptif Radar” projeleri ile bilişsel radarın çeşitli unsurlarını ve tamamını geliştirmek üzere harekete geçmişlerdir.

ABD merkezli kaynaklar özellikle Çin’in çok işlevli radar teknolojisinde ileri konumda olduğunu ve bunların bir kısmının büyük ihtimalle yapay zekâ destekli olduğunu ileri sürmektedir. Söz konusu kaynaklar, Çin ile Güneydoğu Asya ülkeleri ve ABD arasında ihtilafa neden olan Güney Çin Denizi Adaları’na bu tür sistemler yerleştirdiğini de ileri sürmektedir^[27].

Çin’in ayrıca aynı anda 100’den fazla hedefi takip edebilen, elektronik harp kabiliyetlerine ve karşı elektronik harp kabiliyetlerine sahip çok işlevli bir orta ve uzun menzilli hava savunma radar sistemi olan JY-14’ü geliştirdiği, hatta bazı ülkelere ihraç etmeye başladığı belirtilmektedir. JY-14’ün tespit ettiği hedefleri, parametrelerini belirleyip yüzey dağınıklıklarını çözme kabiliyetlerine sahip olduğu ve jamming engellemelerine rağmen hedeflerini takip edebildiği belirtilmektedir^[28].

Rusya’nın ise elinde bilişsel radar teknolojisi bulunup bulunmadığı bilinmemektedir. Öte yandan Rusya’nın gelişmiş radarlar ve füze sistemlerinden oluşan son derece gelişmiş bir entegre hava savunma sistemine sahip olduğu bilinmektedir. Federal Hava Sahası Keşif ve Kontrol (FSR KVP) adı verilen sistem, ülkenin hava sahasının doğrulanmış, kapsamlı ve gerçek zamanlı izlenmesini amaçlamaktadır. FRS KVP her şeyden önce birleşik bir otomatik radar sistemidir ve sivil havacılıkla da entegredir. Ülkenin her 32.000 kilometrekaresinde durumsal farkındalık yaratmak için VIP-117M3 mobil istasyonları konuşlandırılmıştır. Sistem sürekli olarak daha geniş kapsama alanına ulaşmakta ve yeni sistemlerle kabiliyetlerini artırmaktadır. Örneğin 2015’ten sonra kullanılmaya başlanan Voronezh-M radarı saniyede 100 milyar operasyon işleme kapasitesine sahiptir. Voronezh-M, süperonik hedefleri takip edebilmek için bilişsel faaliyetler yürütebileceği yapay zekâyâ da sahiptir^[29].

3.2 Kuantum Radarı

Bazı ulusların sahip olduğu yönündeki spekülasyonlara rağmen bilişsel radar büyük ölçüde henüz konsept ve tasarım aşamasındayken bir sonraki radar nesli için hazırlıklar başlamıştır: Kuantum Radarı.

Kuantum radarı, belirsizlik ilkesi veya kuantum dolanıklığı gibi kuantum-mekanik etkilere dayanan spekülatif bir uzaktan algılama teknolojisidir^[30].

Bilim insanlarının 2015’ten beri üzerinde teoriler geliştirdiği kuantum radarlarının çalışma prensibi mevcut radar sistemlerinden hayli farklı olacaktır. Bu tür sistemler, “kuantum dolanıklığı”^[31] olarak bilinen bir fiziksel özelliği kullanacaktır. İki parçacık birbirine dolandığında, aynı kuantum durumuna sahiptirler ve bir parçacığın durumundaki herhangi bir değişiklik, birbirlerinden oldukça uzak olsalar bile, diğerinin durumunda paralel bir değişikliğe yol açacaktır. Kuantum radarı, dolanmış fotonlardan oluşan ve daha sonra ikiye ayrılan görünür bir ışık huzmesi üreterek “kuantum dolanıklığı” özelliğini kullanacaktır. Radar, ışık huzmelerinden birini, kuantum

durumunu değiştirmeden mikrodalga bandına dönüştürecek ve kilometrelerce öteye fırlatacaktır. Parçacıkların kuantum durumu, nesne ile çarpıştığında değişmektedir. Bu nedenle sistem, iki huzmede bulunan parçacıkların kuantum durumlarındaki farklılıkları gözlemleyerek belirlenen hava sahasında her türlü cismin varlık ve konumunu tespit edebilecektir^[32].

Kuantum radarları, bu kabiliyetlere sahip olursa hem askeri hem de jeopolitik alanında büyük değişikliklere yol açabilir. Çünkü kuantum radarları ile çok uzun menzillerdeki düşman unsurlarını, en gelişmiş düşük görünürlük (stealth) ve diğer elektronik koruma sistemlerine sahip olsalar bile tespit etmek mümkün olabilecektir. Bu durumun özellikle düşük görünürlük teknolojisine büyük yatırım yapan ABD için bir jeopolitik avantaj kaybı yaratacağı söylenebilir. Nitekim kuantum radarına ilişkin ilk patent ABD'li savunma sanayii şirketi Lockheed Martin tarafından alınmış olsa da^[33] Çin'in bu alandaki araştırmalarda daha ileri aşamada olduğu ileri sürülmektedir. Hatta 2021 yılında Çin'de bir üniversitenin, kuantum radarı prototipi geliştirip bununla düşük görünürlüklü objeleri tespit edebildiği ve gelişmiş bir modelini geliştirmek için özel sektörle görüşmelerde bulunduğu ileri sürülmüştür^[34].

Sahip olduğu stratejik potansiyelden dolayı çok sayıda ülkede kuantum radar projeleri başlatılmıştır. Bunlardan biri Türkiye'dir. T.C. Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanlığının 2018'de düzenlediği RF Teknolojileri Yol Haritası Çalıştayı'nda kuantum radarı konusunda da bir çalışma grubu oluşturulmuştur^[35]. Oluşturulan çalışma grubu tarafından "Türkiye'nin Radar Teknoloji Yol Haritası" belirlenmiştir. Yol haritasına göre, öncelikli olarak yerli radar sistemlerinin geliştirilmesi için kilit öneme sahip GaN ve SiGe çiplerinin yerli üretimi sağlanacaktır. Ardından çoklu sensör füzyonu, multistatik radar sistemleri ve bilişsel radar sistemlerinin geliştirilmesi yol haritasının sonraki adımlarıdır, kuantum radar geliştirilmesi ise şimdilik son aşama olarak görülmektedir.

Kuantum radarı teknolojisi büyük ilgi çekmiş görünse de bu teknolojinin hayata geçmesi için birtakım güçlüklerin aşılması gerekmektedir. Tüm kuantum çalışmalarında

olduğu gibi kuantum radarı araştırma ve geliştirme çalışmaları yüksek maliyetlidir. Ayrıca "kuantum çaresizliği" denilen bir fenomen nedeniyle parçacıklar bir noktada dolanıklıklarını kaybetmektedir. Bu fenomen kuantum radarının menzilin belirlenecektir. 2015'teki bir araştırmaya göre menzil 7 mildir (yaklaşık 11 km)^[37]. Ancak bir yıl sonra Çin'den bir ekip bu menzili 61 mile (yaklaşık 98 km) çıkardıklarını iddia etmiştir^[37]. Nihayetinde kuantum radarlarının operasyonel hâle gelmesinin önünde uzun yıllar olduğu anlaşılmaktadır.

3.3 Bilişsel Elektronik Karşı Tedbir ve Elektronik Destek Sistemleri

Bilişsel radar ve kuantum radarları alanındaki çalışmalar devam ederken, bunlara karşı tedbirler için de arayışlar başlamıştır. Bu arayışlarda da bilişsel elektronik harp sistemleri ön plana çıkmaktadır.

Radarlarda olduğu gibi mevcut Elektronik Karşı Tedbir (EKT) sistemlerinin sorunu da daha önce belirlenmiş veya öngörülebilir hedeflere karşı önceden programlanmış olmalarıdır. Güncel EKT sistemleri, Elektronik Destek (ED) sistemleri tarafından yakalanan ve tespit edilen tüm radar tehditlerine yönelik olarak önceden programlanmış karşı tedbir tekniklerini kullanmaktadır. Bununla birlikte, bilinmeyen veya yeni nesil radarlara yönelik otomatik olarak etkili karşı tedbir almak için yeni bir EKT mimarisi henüz geliştirilmemiştir. Bu ihtiyacı gidermek için, EKT sisteminde bilişsel bir kontrol mekanizması kullanmak ümit verici bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bölümde açık kaynaklara yansıyan, büyük bölümü ABD'de yürütülen bazı EKT projeleri ele alınacaktır.

3.3.1 ARC Programı (ABD)

Bilişsel elektronik harp sistemlerinin başta savaş uçaklarında ve insansız hava araçları (İHA) olmak üzere tüm hava platformlarında elektronik koruma, elektronik destek ve elektronik taarruz amaçlı olarak etkin bir şekilde uygulanması beklenmektedir.

ABD'de Adaptif (Bilişsel) Radara Karşı Tedbirler (Adaptive Radar Countermeasures -ARC) kapsamında çeşitli EKT sistemleri üzerinde çalışılmaktadır. ARC, DARPA'nın 2012 yılında başlattığı yeni, bilinmeyen ve adaptif radarlara karşı otomatik olarak etkili ve gerçek zamanlı karşı önlemler üretmesini sağlamayı amaçlayan bir programdır^[38].

DARPA'nın geliştirilmesini hedeflediği ARC teknolojisi; bilinmeyen sinyalleri, düşman, dost ve tarafsız sinyaller ortasında bile tespit edebilecek; radarın yarattığı tehdidi en aza indirebilecek; istenilen etkiyi yaratmak için karşı tedbire karar verip uygulayabilecek ve aldığı tedbirlerin etkisini havada tespit edebilecektir^[39].

DARPA ile ARC teknoloji geliştirilmesi için anlaşmaya varan şirketlerden biri olan İngiltere merkezli BAE Systems, 2019 yılı itibarıyla altıncı seviyeye, yani bir dizi gelişmiş radar tehdidinin gerçek zamanlı olarak üstesinden gelme aşamasına geldiğini belirtmektedir.

Daha çok savaş uçaklarına bilişsel radarlara karşı elektronik koruma sağlamayı amaçlayan program kapsamında bir dizi savunma teknolojileri firmasına



Şekil 3: Türkiye'nin radar teknoloji yol haritası^[36].

araştırma ve geliştirme desteği sağlanmıştır. Bunlardan biri olan Leidos, 2020 yılında ABD donanması, uçak gemilerine iniş kalkış yapma kabiliyetine sahip F/A-18 Super Hornet savaş uçakları için bir bilişsel EKT sistemi geliştirmek üzere anlaşmaya varmıştır. Leidos firması tarafından geliştirilen EH paketinin, tehdit radarlarının özelliklerini ve davranışların gerçek zamanlı analiz edildiği belirtilmektedir.

3.3.2 Kaiju Programı (ABD)

ABD'nin Hava Kuvvetleri Araştırma Laboratuvarı'nın kendi BEHRS geliştirme programı da bulunmaktadır. Eylül 2021'de duyurusu yapılan beş yıllık Kaiju Programı ile, hava platformlarını çoklu spektrumlu hava savunma sistemlerine karşı koruyacak bir yapay zekâ/ML destekli BEHRS sistemi geliştirilmesi planlanmaktadır. Projenin amacı, bir dizi kaynaktan büyük miktarda veri toplayıp hava platformunun üzerinde işleyerek gerçek zamanlı olarak karşı tedbirler alabilecek bir sistem geliştirilmesidir. Beklentilerden belki de en önemlisi, geliştirilecek sistemin "kapalı devre" olması ve platform dışı kaynaklarla veri alışverişine ihtiyaç duymamasıdır^[40].

3.3.3 BLADE Programı

DARPA'nın Uyarlanabilir Elektronik Harp için Davranışsal Öğrenme (The Behavioral Learning for Adaptive Electronic Warfare -BLADE) programı, taktik ortamlarda yeni ve dinamik kablosuz iletişim tehditlerine karşı koyma kabiliyetinin geliştirilmesini amaçlamaktadır^[41]. Başka bir deyişle BLADE, radar yerine kablosuz iletişim sistemlerini hedeflemektedir.

BLADE programı, yeni radyo tehditlerini hızlı bir şekilde tespit etmek ve karakterize etmek, yeni karşı önlemleri dinamik olarak sentezlemek ve ARC'ye benzer şekilde, tehditte havadan, gözlemlenebilir değişikliklere dayalı doğru savaş hasarı kıymetlendirmesi sağlamak için ML algoritmaları ve teknikleri geliştirmeyi amaçlamaktadır. BLADE taktik ortamlarda yeni ve dinamik kablosuz iletişim tehditlerine karşı koymak için tasarlanmaktadır. Ayrıca manuel yoğun, laboratuvar tabanlı karşı önlem geliştirme yaklaşımından uyarlanabilir, saha içi sistemler yaklaşımına geçişi sağlayabilecektir^[42]. Programın en az 10 yıl süreceği tahmin edilmektedir^[39]. BLADE kapsamında Lockheed Martin'in hava platformları için yeni nesil bir iletişim karıştırma teknolojisi, Raytheon firmasının ise ML yazılımlarına sahip "Silencer" adını verdiği bir BEHRS sistemi geliştirmek için çalışmalarını sürdürdüğü belirtilmektedir^[39].

3.3.4 Exelis Disruptor SRx

DARPA'nın ARC teknolojisini geliştirmek üzere anlaştığı teknoloji şirketlerinden biri olan Exelis ise bir dizi yeni

EH sistemi geliştirmektedir. Disruptor SRx adı verilen yeni ürün ailesi BEHRS teknolojisi kullanacaktır ve daha önce kayıtlara geçmemiş dalga biçimlerine yanıt veren iyileştirilmiş tespit ve karıştırma kabiliyeti sunacaktır^[43]. Sistemin esnek akıllı yanıt sistemi, değişen görev ihtiyaçlarına kolay uyum gösterilmesini sağlayacaktır. Ayrıca çok fonksiyonlu, açık mimari tasarımı güncelleme ve iyileştirmelerin kolaylıkla yapılmasını sağlamakta ve yaşam döngüsü maliyetlerini de azaltmaktadır^[39]. Geliştirilecek BEHRS sistemlerinin açık mimarili, makul fiyatlı ve düşük bakım ve yedek parça maliyetli olması DARPA'nın önceliklerinden birisidir.

3.3.5 DARPA'nın Spectrum Collaboration Challenge (SC2) Yarışması

DARPA, giderek kalabalıklaşan Elektromanyetik Spektrumda (EMS) askeri operasyonların rahatlıkla yapılabilmesi için de harekete geçmiştir. Bu amaçla Spectrum Collaboration Challenge (SC2) adını verdiği bir yarışma başlatmıştır. Yarışmaya katılanlardan, askeri ekipmanların ve cihazların EMS'ye sorunsuz ve tam olarak erişiminin sağlanması için EMS'de düzenleme yapma önerisi getirmesi beklenmektedir. Yarışmaya katılanlardan ML ile bir EMS yönetimi sistemi geliştirmeleri beklenmektedir^[44].

3.3.6 Tamamen Adaptif Tehdit Yanıt Teknolojisi Projesi

Georgia Tech Araştırma Enstitüsünde bir araştırma ekibi yeni nesil gelişmiş radyo frekansı (RF) karıştırıcısı teknolojisi geliştirmektedir. Ekip, "Angry Kitten" adı verilen sistem için, ortamın sürekli olarak değerlendirilmesine ve gelen tehditlerin engellenmesi için en iyi yöntemler arasında geçiş yapmasına olanak sağlayacak ML algoritmaları geliştirmektedir. Nihai hedef, herhangi bir tehdit yayıcıyı karakterize edecek ve gerçek zamanlı olarak en etkili şekilde yanıt verecek sağlam bir platform olacaktır.

3.3.7 Elbit'in BEHRS Sistemleri

İsraili savunma sanayii ve teknolojileri şirketi Elbit'in de bir BEHRS sistemi üzerinde çalıştığı bildirilmektedir. Elbit'in modern radar frekanslarındaki tehditlere karşı koyabilecek bir algoritmayı geliştirdiği de belirtilmektedir^[45]. All-in-Small EW adı verilen elektronik koruma paketinin iki yıl içinde kullanıma hazır olacağı kaydedilmektedir. Elbit daha önce, hava platformları için geliştirdiği MUSIC (Multi Spectral Infrared Countermeasures -Çoklu Spektrum Kızılötesi Karşı Tedbirler) adını verdiği EH koruma sistemini tanıtmış ve insansız hava araçları için de Light SPEAR EW koruma sistemi geliştirmiştir.

4. BEHRS SİSTEMLERİNİN GELİŞTİRİLMESİNDE DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN HUSUSLAR

Bir BEHRS sisteminin geliştirilmesi zorlu bir süreçtir. Geliştirilen sistemin uygulamaya geçebilmesi için bir dizi sorunun bertaraf edilmesi gereklidir. Bunlardan bazıları şunlardır:

- **Sinyal ayırt edebilme:** BEHRS sistemleri geliştirilirken en büyük zorluk, kalabalık EMS ortamında elde edilecek sinyalin bilinmeyen yeni bir sinyal ya da bilinen dost veya düşman sinyali olup olmadığını ayırt edebilmek olacaktır.
- **Güçlü işlemciler:** BEHRS sisteminin, çok büyük veri setlerini tarayıp işleyebilmesi için kurulacağı platform veya sahada önemli ölçüde bilişsel kaynaklara (işlemciler, algoritmalara vb) ihtiyacı olacaktır. Ayrıca söz konusu sistemler yerleştirildikleri platform ve sahaların sert koşullarında çalışabilir olmalıdır.
- **Gecikmesiz tepki:** BEHRS sistemin etkili olabilmesi için en düşük tespit-karşı koyma süresini sağlaması gerekmektedir. Her türlü gecikmenin maliyeti yüksek olabilir.
- **Çevik bant değişimi:** BEHRS sistemleri hiç beklenmedik frekans bantlarında çalışabilmeli ve bunlar arasında zaman kaybetmeksizin geçişler yapabilmelidir. Bu çalışma modu, sistem dinamik aralığı ve uzaklık, algılama ve karıştırma aralığını etkileyen gürültü tabanı açısından kendi zorlukları olan geniş bir bant genişliğine sahip RF spektrumlu bakış gerektirir^[46]. Daha geniş bant genişliği gereksinimleri de veri taşıma ve işleme görevini karmaşık hâle getirir.
- **Yüksek elektrik sarfiyatı:** Genişbantlı BEHRS sistemi daha fazla elektrik kullanmaktadır. Elektrik ihtiyacı, üzerinde bulunduğu platformlarda boyut, ağırlık, güç ve maliyet dezavantajlarını yaratmaktadır. Özellikle insansız hava araçlarının bu sistemlerle donatılabilmesi için BEHRS sistemlerinin boyut ve ağırlığının azami şekilde azaltılması gerekmektedir^[46].
- **Karıştırma ve aldatma riski:** BEHRS ile donatılan platformların edindikleri bilgileri paylaşması gereklidir. Bunun için de güvenli iletişim kanallarına ihtiyacı olacaktır. Ayrıca söz konusu platformların GPS gibi küresel konumlama ve navigasyon uydu sistemleri ile bağlantılı olması gereklidir. Bu da platformları karıştırma (jamming), yanıltma (spoofing) ve aldatma (deception) saldırılarına açık hâle getirecektir^[47].
- **Siber saldırı riski:** BEHRS sistemleri, verileri güvenli bir şekilde iletmek için elektromanyetik radyasyon kullanacaktır. Siber saldırılar, hizmet reddi saldırıları gibi elektromanyetik spektruma müdahale ederek veya erişimi engelleyerek elektronik savaş sistemleri için bir tehdit oluşturmaktadır. Siber suçlular elektronik savaş sistemlerinin potansiyel açıklarından yararlanmakta, kritik ulusal altyapılara saldırabilmektedir. Bazıları devlet aktörleri tarafından desteklenen ve

hatta bizzat devletler tarafından yönetilen siber suçlular BEHRS sistemleri açısından da önemli bir tehdit oluşturacaktır.

5. BEHRS SİSTEMLERİNE YÖNELİK KAYGILAR

BEHRS sistemlerinin sahada kullanıma başlamasına daha yıllar olmasına rağmen, bazı rahatsızlıklar doğurabilecek yönleri bulunmaktadır:

5.1 Jeopolitik Risk

BEHRS sistemlerinin geliştirilmesine ilişkin çabalar, savaş platformlarında, özellikle hava platformlarında yeni nesil sistemlerin göreve başladığı bir dönemde yoğunlaşmıştır. Yeni nesil hava platformlarının en önemli özellikleri, düşük görünürlük (stealth), yüksek hız, geliştirilmiş EH kabiliyetleri ve yüksek vuruş gücüdür^[48]. Söz konusu kabiliyetler jeopolitik sahnede rakip güçler arasında karşı tedbir yarışı başlatmıştır. Dost hava sahalarını korumak ve düşman hava sahalarına her türlü hava savunma sisteminin varlığına rağmen sızabilmek için BEHRS kabiliyetleri geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Bu açıdan bakıldığında büyük güçlerin karşılıklı olarak BEHRS sistemleri geliştirmesi, karşılıklı caydırıcılık yaratacağı için istikrar getirebilir. Ancak büyük güçlerle bu tür teknolojilere sahip olmayan ülkeler arasındaki ihtilaflarda durum farklı olabilir. Örneğin Ocak 2020'de İran'ın hava savunma sisteminin, Ukrayna'ya ait bir sivil uçağı, "ABD'nin 'hayalet' F-35 uçağı sanarak düşürdüğü" ileri sürülmüştür^[49]. Yeni nesil savunma sistemlerine sahip olmamak, bu örnekte olduğu gibi hem sivillerin zarar görmesine hem de uluslararası alanda yeni gerilimlerin çıkmasına neden olabilir.

5.2 Yapay Zekânın Harp Alanında Kullanımının Etik Sorunları

BEHRS'in ana unsuru yapay zekâ ve ML olacaktır. Harp alanında yapay zekânın kullanımına ilişkin çeşitli kaygılar bulunmaktadır. Savaş çıkması olasılığını artırması, var olan çatışmaları şiddetlendirme olasılığı, devlet dışı aktörlerin gücünü artırma ihtimali^[50], öldürme kararının makineye bırakılmasının yarattığı etik sorunlar ve yapay zekânın tarafsızlık sorunu^[51] bunlardan birkaçıdır.

BEHRS sistemlerindeki yapay zekânın doğrudan ölümcül kararlar almayacak olması etik bir sorun yaratmayacağı anlamına gelmemektedir. Yapay zekânın bilinmeyen veya tanımlanamayan hedeflere ilişkin alabileceği yanlış kararlar dolaylı olarak dost unsurlara da sivillere de zarar verebilir. Hatalı karşı tedbirler, hava savunma sistemlerini harekete geçirebilir, havadan havaya füzelerin ateşlenmesine neden olabilir veya çeşitli kazalara yol açabilir. Bu nedenle BEHRS sistemlerinin karar mekanizmalarının son derece hassas ve isabetli olması gereklidir. BEHRS sistemlerinin en başarılı kullanımları, tamamen bilgisayarlara dayananlar değil, bunun yerine bilgisayar girdisini insan stratejileri ve anlayışıyla birleştirenler olacaktır^[42].

5.3 Yüksek Dağıtım Maliyeti

Elektronik destek, elektronik koruma ve elektronik saldırı gibi modern savaşın oynadığı stratejik ve taktik rollerde bilişsel elektronik savaşın artan katılımı, uygun fiyatlı ve etkili savaş sistemlerine olan talebi artırmaktadır. Öte yandan BEHRS sistemlerinden beklenen yüksek performans, EH sisteminin konuşlandırma maliyetini yükseltmektedir. Örneğin, Nisan 2020’de ABD, Japonya’nın F-15 savaş uçaklarının elektronik harp sistemlerinin yeteneklerini artırmak için bilişsel yapay zekâ ve ML algoritmalarının geliştirilmesinin maliyetini 745 milyon dolara ve daha sonra 2,2 milyar dolara yükseltmiştir^[52]. EH tekniklerinin güncellenmesi ve modernizasyonu da büyük yatırımlar gerektirir. Söz konusu yüksek maliyetler BEHRS sistemlerinin yaygınlaşmasının önündeki en büyük engeldir.

6. SONUÇ

21’inci yüzyılın çığır açan teknolojileri elektronik harbin çehresini de değiştirmektedir. Elektromanyetik spektrum, giderek daha fazla ordunun envanterine giren veya devlet dışı aktörlerin eline geçen yeni nesil askeri

platformların yanı sıra, sivil alanda otonom nesnelere, akıllı şehir ve akıllı ulaşım uygulamaları, nesnelere interneti cihazları gibi yeni alanlarda yaşanan patlama nedeniyle son derece kalabalıklaşmıştır. Yeni nesil silah sistemlerinde düşük görünürlük ve gelişmiş elektronik taarruz yöntemleri gibi yeni kabiliyetler de klasik anlamda radarlar ve savunma sistemlerinin başa çıkabileceğinin ötesine geçmiştir. Bu ortamda dost ile düşmanı, sivil ile askeri unsurları ayırtmak ve gerekli tepkiyi vermek son derece güçleşmiştir.

Gelinen noktada, radarlar ve elektronik harp uygulamalarının insan operatörlerden alınıp otomatikleştirilmesi zaruri hâle gelmiştir. “Bilişsel Harp” kavramı bu ortamda belirmiştir. Gelişmiş yapay zekâ ve makine öğrenmesi teknolojilerine dayanan bilişsel harp sistemleri, sivillere ve müttefik güçlere zarar vermeyecek hâle getirilebilirse dünyanın barış ve istikrarına katkı sağlayabilir. Bu teknolojileri yerel kaynaklarla geliştirmekte geç kalınırsa büyük bir jeostratejik dezavantajla karşı karşıya kalınabilir. Yerli ve milli savunma sanayii belli bir olgunluğa ulaşan Türkiye’de de bu alanda geç kalmamak için çalışmalara başlanmıştır. Bu çalışmaların en kısa sürede meyve vermesi için gerekli desteğin sağlanması büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] *STM ThinkTech*, (2019), “Elektronik Harbin Yeniden Yükselişi ve Geleceği”, (5 Ağustos 2019), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/elektronik-harbin-yeniden-yukselisi-ve-gelecegi>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [2] Okay, İpek; Bal, Fatih; (2021), “Kognitif Sistem, Yapay Zeka ve İnsan İlişkisi Sosyal Bilimler Dergisi / The Journal of Social Sciences”, *Research Gate*, (Şubat 2021), <https://bit.ly/3zHNkVB>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [3] *Intersec*, (2022), “Cognitive electronic warfare”, (10 Ocak 2022), <http://www.intersecmag.co.uk/cognitive-electronic-warfare/>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [4] *BAE Systems*, “What is cognitive electronic warfare?”, [https://www.baesystems.com/en-us/definition/what-is-cognitive-electronic-warfare#:~:text=Cognitive%20Electronic%20Warfare%20\(CEW\)%20is,technologies%20for%20the%20defense%20community](https://www.baesystems.com/en-us/definition/what-is-cognitive-electronic-warfare#:~:text=Cognitive%20Electronic%20Warfare%20(CEW)%20is,technologies%20for%20the%20defense%20community). (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [5] *Social Wifi*, “What is cognitive electronic warfare?”, <https://socialwifi.com/knowledge-base/network-security/most-popular-types-wifi-cyberattacks/>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [6] *Congressional Research Service*, (2019), “Convergence of Cyberspace Operations and Electronic Warfare”, (13 Ağustos 2019), <https://sgp.fas.org/crs/natsec/IF11292.pdf>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [7] Xiao, Qinghan; (2020), “Cognitive Electronic Warfare: Conceptual Design and Architecture”, *CSC Journals*, <https://www.cscjournals.org/manuscript/Journals/IJAE/Volume9/Issue3/IJAE-198.pdf>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [8] Türe, Sedat; Topuz, Sinan; “YAPAY ZEKÂ VE ASKERİ UYGULAMALAR”, *MiSOFT*, https://www.milsoft.com.tr/wp-content/uploads/2020/08/Yapay-Zeka-ve-Askeri-Uygulamalar_v2.2.pdf. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [9] *STM ThinkTech*, (2021), “YATIRIM GURUSU: YAPAY ZEKÂ”, (Şubat 2021), https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1616227459_stm-yatirim-gurusu-yapay-zeka.pdf. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [10] *STM ThinkTech*, (2018), “Derin Farklar: Yapay Zekâ, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme”, (14 Kasım 2018), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/derin-farklar-yapay-zeka-makine-ogrenmesi-ve-derin-ogrenme>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [11] Banerjee, Abhishek; (2021), “Automated Decision Making Through Machine Learning”, *Data Brio Academy*, (25 Haziran 2021), <https://databrio.com/blog/automated-decision-making-through-machine-learning>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [12] NATO, (2020), “Cognitive Radar (Radar kognitif)”, (Ekim 2020), <https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/STO-TR-SET-227/STO-TR-SET-227-ALL.pdf>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [13] *DSTA Horizons*, (2018), “EVOLUTION OF RADAR TECHNOLOGIES AND CAPABILITIES IN THE SAF – PAST, PRESENT AND FUTURE”, https://www.dsta.gov.sg/docs/default-source/dsta-about/dh13201810_evolution-of-radar-technologies-and-capabilities-in-the-saf_past-present-and-future.pdf?sfvrsn=2. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [14] *Dokuz Eylül*, (2019), “AESA radar sistemi (Aktif faz dizinli radar) nedir?”, (6 Eylül 2019), <https://www.dokuzeyul.com/9-sutun/aesa-radar-sistemi-aktif-faz-dizinli-radar-nedir-h155711.html>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [15] Şahin, Anil; (2022), “SSB Milli F-16 AESA Radar İçin Tarih Verdi”, *SavunmaSanayiST*, (6 Mart 2022), <https://www.savunmasanayist.com/ssb-milli-f-16-aesa-radar-icin-tarih-verdi/>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [16] *millisavunma*, (2022), “Çok Fonksiyonlu AESA Hava Gözetleme Radar Sistemi”, (6 Mart 2022), <https://www.millisavunma.com/cok-fonksiyonlu-aesa-hava-gozetleme-radar-sistemi/>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [17] *millisavunma*, (2017), “Çok Fonksiyonlu AESA Hava Gözetleme Radar Sistemi”, (6 Nisan 2017), [https://www.millisavunma.com/sarper-sentetik-aciklikli-radar-sar/#:~:text=Sentetik%20A%3%A7%C4%B1kl%C4%B1kl%C4%B1%20Radar%20SAR%20\(Sythetic,tespiti%20ama%C3%A7%20bir%20radar%20sistemidir](https://www.millisavunma.com/sarper-sentetik-aciklikli-radar-sar/#:~:text=Sentetik%20A%3%A7%C4%B1kl%C4%B1kl%C4%B1%20Radar%20SAR%20(Sythetic,tespiti%20ama%C3%A7%20bir%20radar%20sistemidir). (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [18] van Bezouwen, Johannes; Brandfass, Michael; (2017), “Technology Trends for Future Radar”, *Microwave Journal*, (14 Kasım 2017), https://www.microwavejournal.com/articles/29367-technology-trends-for-future-radar?gclid=Cj0KCQjwwJuVBhCAARIsAOPwGATKR1-NFnitcqSqA1qRfglxKJS9LaxfOgD2fGMSe8tmPpt9-UdtBYaAmJSEALw_wcB. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)

- [19] SavunmaSanayiST, (2021), "ASELSAN'ın AURA AESA Radarı Sergilendi", (8 Ekim 2021), <https://www.savunmasanayist.com/aselsan-aura-aesa-radari-sergilendi/>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [20] Anıl KUNT, Rasim; (2017), "Çok Amaçlı Faz Dizinli Radar", *Defence Turk*, (1 Haziran 2017), <https://www.defenceturk.net/cok-amacli-faz-dizinli-radar>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [21] W. Moo, Peter; J. DiFilippo, David; (2018), "Multifunction RF Systems for Naval Platforms", *MDPI*, (28 Haziran 2018), <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/7/2076>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [22] *IEEE Xplore*, (2018), "Evolution of Cognitive Radars Toward Intelligent Systems Architectures", (2 Eylül 2018), <https://ieeexplore.ieee.org/document/8453550>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [23] Zubeyde Gurbuz, Sevgi; (2019), "An Overview of Cognitive Radar: Past, Present, and Future", *IEEE Xplore*, (1 Aralık 2019), <https://ieeexplore.ieee.org/document/8961364>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [24] S. Greco, Maria; "Cognitive Radars: A Reality?", *Arxiv*, <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1803/1803.01000.pdf>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [25] Charlish, Alexander; (2020), "The Development From Adaptive to Cognitive Radar Resource Management", *IEEE Xplore*, (1 Haziran 2020), <https://ieeexplore.ieee.org/document/9109776>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [26] FOUNTAIN, TIM; (2022), "Improving the capabilities of cognitive radar and EW systems", *Military Embedded Systems*, (8 Şubat 2022), <https://militaryembedded.com/radar-ew/rf-and-microwave/improving-the-capabilities-of-cognitive-radar-and-ew-systems>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [27] P. Funaiolo, Matthew; (2021) "China Is Ramping Up Its Electronic Warfare and Communications Capabilities near the South China Sea", *Center For Strategic & International Studies*, (17 Aralık 2021) <https://www.csis.org/analysis/china-ramping-its-electronic-warfare-and-communications-capabilities-near-south-china-sea>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [28] *astrophysics data system*, "Advanced JY-14 tactical 3D radar", <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1991cie..proc..149H/abstract>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [29] Wasif, Naqi; (2022), "Hammer and shield: Russia's modernised radar and early warning systems", *Janes*, (25 Şubat 2022), <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/hammer-and-shield-russia-as-modernised-radar-and-early-warning-systems>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [30] Wikipedia, "Quantum radar", https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_radar#cite_note-qradar-6. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [31] Duran, Durgun; ("KUANTUM DOLANIKLIK ve KUANTUM BİLİŞİM KURAMINDAKİ UYGULAMALARI", *Ankara Üniversitesi*, <https://dspace.ankara.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12575/30348/Microsoft%2520Word%2520-%2520410630.pdf?sequence=1&isAllowed=y12.idrc>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [32] Gagaridis, Alessandro; (2021), "Warfare Evolved: Quantum Radar", *Geopolitical Monitor*, (2 Temmuz 2021), <https://www.geopoliticalmonitor.com/warfare-evolved-quantum-radar/>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [33] *Wired*, (2000), "Lockheed's 'Spooky Radar' Gets U.S. Patent", (22 Mayıs 2000), <https://www.wired.com/2008/05/lockheeds-spook/>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [34] Chen, Stephen; (2021), "Chinese team says quantum physics project moves radar closer to detecting stealth aircraft", *South China Morning Post*, (3 Eylül 2021), <https://www.scmp.com/news/china/science/article/3147309/chinese-team-says-quantum-physics-project-moves-radar-closer>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [35] *Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanlığı*, (2019), "SSB'DEN 'RF TEKNOLOJİLERİ YOL HARİTASI ÇALIŞTAYI'", (26 Aralık 2019), <https://www.ssb.gov.tr/website/ContentList.aspx?PageID=2330>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [36] Azman, Kaan; (2022), "Kuantum Radar teknolojilerine yönelik Ar-Ge projesi başlıyor", *Defence Turk*, (5 Şubat 2022), <https://www.defenceturk.net/kuantum-radar-teknolojilerine-yonelik-ar-ge-projesi-basliyor>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [37] Stockton, Nick; (2019), "Quantum Radar", *SPIE*, (18 Kasım 2019), <https://spie.org/news/quantum-radar?SSO=1>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [38] *DARPA*, "Adaptive Radar Countermeasures (ARC) (Archived)", <https://www.darpa.mil/program/adaptive-radar-countermeasures>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [39] Uppal, Rajesh; (2021), "DARPA'S ARC AND BLADE DEVELOPED COGNITIVE AND ADAPTIVE ELECTRONIC WARFARE SYSTEMS TO COUNTER DYNAMIC WIRELESS COMMUNICATION AND RADAR THREATS", *International Defense, Security & Technology Inc*, (10 Ocak 2021), <https://idstch.com/technology/ict/darpas-arc-and-blade-developed-cognitive-and-adaptive-electronic-warfare-systems-to-counter-dynamic-wireless-communication-and-radar-threats/>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [40] *JED*, "Air Force to Develop AI/ML EW Technologies Under Project Kaiju", <https://www.jedonline.com/2021/10/27/air-force-to-develop-ai-ml-ew-technologies-under-project-kaiju/>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [41] *DARPA*, "Communications Under Extreme RF Spectrum Conditions (CommEx) (Archived)", <https://www.darpa.mil/program/communications-under-extreme-rf-spectrum-conditions#:~:text=The%20Communications%20Under%20Extreme%20RF,adaptive%20jamming%20and%20interference%20sources>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [42] I. Seffers, George; (2017), "Smarter AI for Electronic Warfare", *AFCEA*, (1 Kasım 2017), <https://www.afcea.org/content/smarter-ai-electronic-warfare>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [43] Donald, David; (2015), "Disruptor SRx Provides Smart Electronic Warfare", *AINonline*, (18 Haziran 2015), <https://www.ainonline.com/aviation-news/defense/2015-06-18/disruptor-srx-provides-smart-electronic-warfare>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [44] Rosker, Mark; "Spectrum Collaboration Challenge (SC2) (Archived)", *DARPA*, <https://www.darpa.mil/program/spectrum-collaboration-challenge>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [45] Chuanren, Chen; (2018), "Elbit Systems Aims to Field Cognitive Electronic Warfare", *AINonline*, (6 Şubat 2018), <https://www.ainonline.com/aviation-news/defense/2018-02-06/elbit-systems-aims-field-cognitive-electronic-warfare>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [46] *JED*, "Testing Cognitive Radar Systems", <https://www.jedonline.com/2022/06/01/testing-cognitive-radar-systems/>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [47] *STM ThinkTech*, (2021), "NAVİGASYON SAVAŞLARI", (Eylül 2021), https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1633008433_stm-navigasyon-savaslari.pdf. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [48] *STM ThinkTech*, (2019), "SAVAŞ UÇAKLARI VE ASKERİ İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ GELECEĞİ", (Kasım 2019), https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1608993921_stm-savas-ucaklari-ve-askeri-ihalarin-gelecegi.pdf. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [49] *Reuters*, (2020), "Russia: Iran was spooked by reports of U.S. F-35s when it downed airliner", (17 Ocak 2020), <https://www.reuters.com/article/us-iran-crash-russia-idUSKBN1ZG1OB>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [50] E. Morgan, Forrest; (2020), "Military Applications of Artificial Intelligence", *Rand Corporation*, https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR3139-1.html. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [51] Gupta, Abhishek; (2021), "Introduction to ethics in the use of AI in war", *Towards Data Science*, (24 Şubat 2021), <https://towardsdatascience.com/introduction-to-ethics-in-the-use-of-ai-in-war-9e9bf8ba71ba#:~:text=These%20are%20some%20of%20the%20most%20frequently%20encountered%20costs%20that,of%20small%2C%20non%2Dstate%20actors>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)
- [52] *Allied Market Research*, (2022), "Cognitive Electronic Warfare System Market", (Temmuz 2022), <https://www.alliedmarketresearch.com/cognitive-electronic-warfare-system-market-A13458>. (Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2022)



thinktech
STM Teknolojik Düşünce Merkezi
<http://thinktech.stm.com.tr>

