

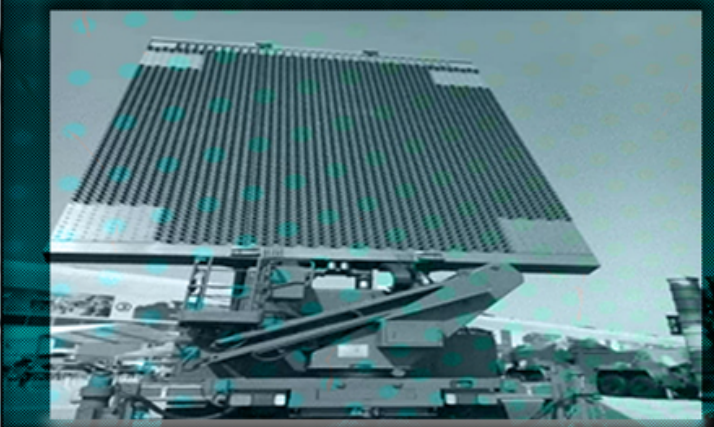
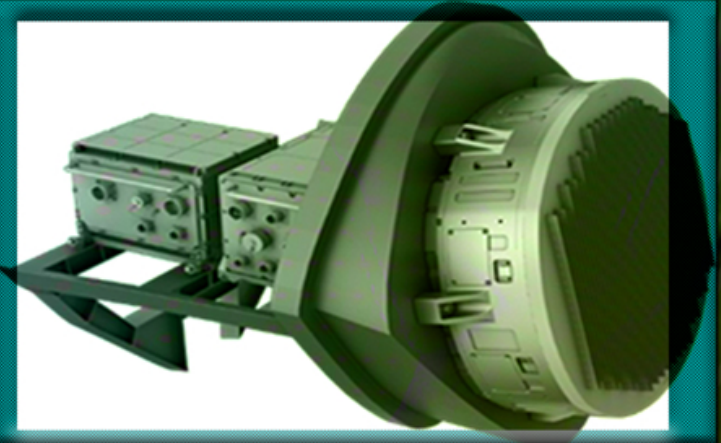


ALPUSAM

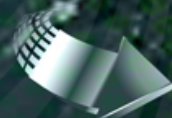
ULUSLARARASI STRATEJİ ANALİZ MERKEZİ

AESA Radar Teknolojisi:

Platformlar, Stratejik-Taktik Kullanım
ve Gelecek Yönelimleri



Detaylı Bilgi İçin



www.alpusam.com



AESA RADAR TEKNOLOJİSİ: PLATFORMLAR, STRATEJİK-TAKTİK KULLANIM VE GELECEK YÖNELİMLERİ

1. Maksat

Bu inceleme, radar teknolojisinin ortaya çıkışı ve tarihsel gelişimi, geçmişten bu yana kullanılan radar çeşitleri ile günümüzde radar teknolojisinde önemli bir yere sahip olan AESA (Active Electronically Scanned Array – Aktif Elektronik Taramalı Dizi) radarlarını inceleyerek gelecekteki kullanımları ile ilgili değerlendirmede bulunmak maksadıyla hazırlanmıştır.

2. Görünmeden Görebilmenin Peşinde: Radar Teknolojisinin Doğuşuna Giden Yol

İnsanlık tarihi boyunca en büyük meraklardan biri, **görünmeden görebilmek** olmuştur. İnsan, hem doğayı hem de düşmanını uzaktan fark etmeyi, yaklaşan tehlikeyi ortada hiçbir iz yokken sezmeyi istemiştir. Tarih boyunca ordular, bu üstünlüğü elde edebilmek için sayısız yöntem geliştirmiştir. **Antik çağlarda**, gözcüler, yüksek tepelere veya kale burçlarına çıkarak yaklaşan düşmanı önceden fark etmeye çalışmıştır. **Antik Yunan’da**, düşman ordularının ilerleyişini haber vermek için kulelerde zincirleme ateşler yakılarak uzak mesafelere haber verilmiştir. **Çin Seddi** boyunca kurulan gözetleme kuleleri de benzer bir mantıkla çalışmış; bir kulede duman yükseldiğinde zincir boyunca bulunan tüm kuleler ateş yakmış ve merkeze kadar ulaşan bir uyarı hattı oluşturmuştur. Bu tür sistemler, insanlığın bilinen ilk erken uyarı ağları olarak tarihe geçmiş, ancak yalnızca insan gözünün görüş mesafesi kadar bir derinliği kapsayabilmıştır.

Orta Çağ’a gelindiğinde, gözetleme görevleri yeni biçimlere dönüşmeye başlamıştır. Karanlığın veya denizin ötesindeki tehdidin sezilmesi, orduların için önemli bir faktör haline gelmiştir. Kale burçlarında ve liman girişlerinde nöbetçiler, rüzgârın yönüne, atların sesine, denizdeki dalgaların olağandışı hareketine bakarak düşmanı tahmin etmeye çalışmıştır. Ancak bunların hiçbirisi görünmeyi gerçekten “görememiş”, çoğunlukla hissiyata dayanmıştır.

16. ve 17. yüzyıllarda küresel deniz imparatorluklarının yükselişiyle birlikte, görünmeden görebilme arzusu bu kez okyanuslara taşınmıştır. Gözlem balonlarıyla ufkun ötesine bakmak, işaret aynalarıyla güneş ışığını kullanarak gemilere sinyaller göndermek, hatta pusula ve deniz haritalarını erken “bilgi ağları” gibi kullanmak bu dönemde ortaya çıkmıştır. Yine de tüm bu çabalar, **insan gözünün sınırlarını** aşamamış; sis, karanlık ya da mesafe, hala bir engel olarak kalmıştır.

Sanayi Devrimi ile birlikte savaş alanı da kökten değişikliklere uğramıştır. Buhar gücü, telgraf hatları ve makineli tüfekler, savaşın ölçeğini ve hızını fazla biçimde büyütmüş, artık düşman, gözle seçilemeyecek kadar uzaktan atış yapabilir, ufkun ötesinden gemi batırabilir, bulutların arasında gizlenebilir hale gelmiştir.

Birinci Dünya Savaşı bu sorunun ciddiyetini açık biçimde ortaya koymuştur. Gökyüzüne hâkim olan uçaklar, savaşın kaderini belirleyen yeni güçtü ve aynı zamanda görünmeden gelen büyük bir tehdit haline gelmiştir. 1915’te Londra, zeplinlerin bombardımanlarına uğradığında, halk gece karanlığında görünmeyen düşmanı sadece dinleyerek beklemiştir. Sadece motor seslerinden taarruz yönünü tahmin etmeye çalışan savunma birlikleri, “duymakla” “görmek” arasındaki farkın ne kadar ölümcül olabileceğini acı bir şekilde tecrübe etmiştir.

Daha sonraki yıllarda “görünmeyi fark etme” çabası daha bilimsel bir yöne evrilmiştir. Akustik dinleme cihazları, devasa metal koniler, hareketli mikrofona dizileriyle uçak motorlarının sesini yakalamaya çalışan sistemler geliştirilmiştir. Ancak rüzgâr yönü veya şiddetli patlama sesleri bu cihazları kolayca yanıltabildiğinden, gerçek çözümün, sesin değil, dalgaların ötesinde olduğu daha sonraları anlaşılabilmiştir.



a. Tarihsel Gelişim

(1) Radar teknolojisinin kökeni, elektromanyetik dalgaların keşfi ve iletimi üzerine yapılan çalışmalara dayanmaktadır. 19'uncu yüzyılın ikinci yarısında James Clerk Maxwell, elektromanyetik alanların varlığını öngören teorilerini geliştirmiştir. Heinrich Hertz ise 1887–1888 yıllarında bu teorileri deneysel olarak doğrulamış ve radyo dalgalarının yapılabirliğini göstermiştir. Yine 1904 yılında Christian Huelsmeyer “Telemobiloskop” adını verdiği cihazla, gemilerde çarpışmayı önlemek için radyo dalgalarını kullanmayı başarmıştır. Bu çalışmalar, radarın temel fiziksel prensiplerini oluşturmuştur.

(2) İlk Araştırmalar ve Prototipler (1920–1930)

20'nci yüzyılın başlarında elektromanyetik dalgalarla nesne tespiti üzerine ilk deneysel çalışmalar başlamıştır. 1920'lerde ABD, İngiltere, Almanya ve Sovyetler Birliği, farklı dalga boylarında hedef tespiti denemeleri yapmıştır.

1922 yılında ABD'de Taylor ve Young, radyo dalgalarının metal hedeflerden yansımaları ölçerek radar prensibini uygulamalı olarak göstermiştir.

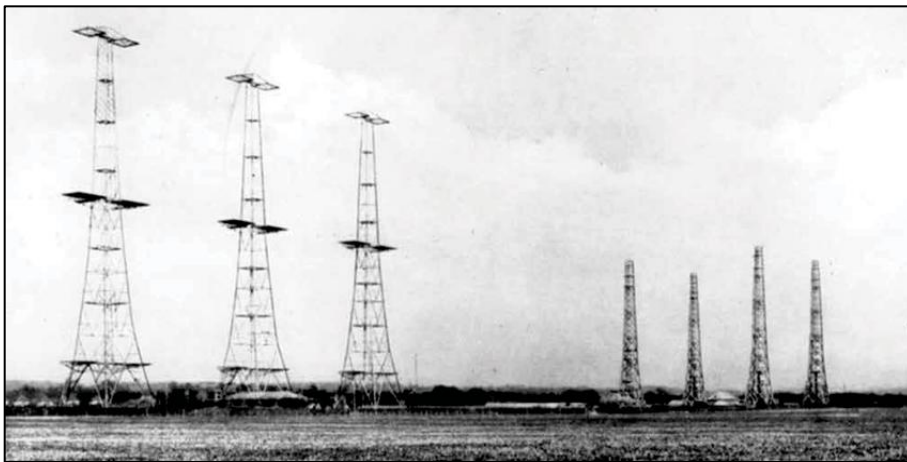
1934 yılında Almanya'da W.W. Siemens & Halske laboratuvarlarında uçak tespiti amacıyla 50 cm dalga boyunda radar prototipleri geliştirilmiştir.

1935 yılında İngiltere'de Robert Watson-Watt, hava araçlarını radyo dalgaları ile tespit edebilen sistemler üzerinde çalışmalar başlatmıştır.

(3) 2'nci Dünya Savaşı Öncesi ve Savaş Dönemi (1937–1945)

2'nci Dünya Savaşı radar teknolojisinin olgunlaştığı ve operasyonel olarak kullanıldığı dönemdir.

Chain Home (İngiltere): Chain Home, 2'nci Dünya Savaşı öncesinde İngiltere tarafından geliştirilen ve uzun menzilli hava gözetleme kapasitesiyle düşman uçaklarını erken tespit etmeyi sağlayan öncü bir radar sistemidir. Robert Watson-Watt ve ekibi tarafından tasarlanan bu sistem, savaşın başında İngiltere'nin hava savunmasının bel kemiğini oluşturmuş, yaklaşan tehditleri erken fark ederek savaş uçaklarının etkin bir şekilde yönlendirilmesine imkân sağlamıştır. O dönemin teknolojik sınırlarını zorlayan Chain Home 100 km'den fazla bir menzilde uçak tespiti yapmayı başarmıştır (Resim-1).



Resim 1: Chain Home Radarı

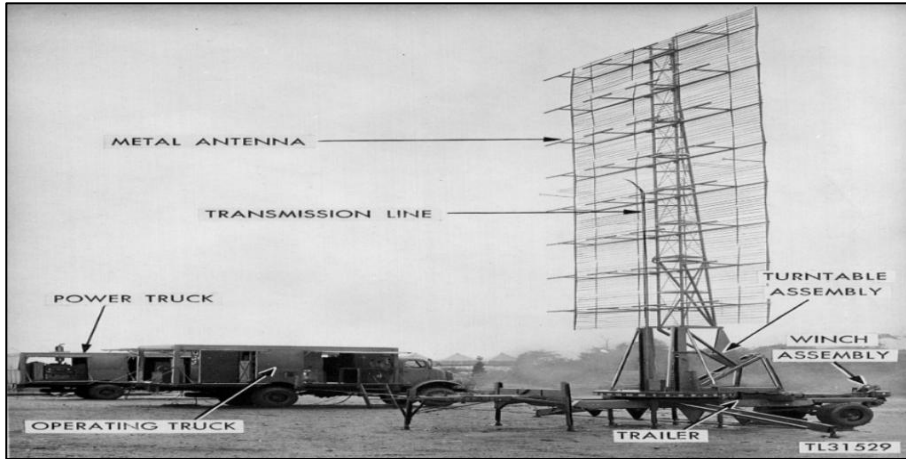


Freya ve Würzburg (Almanya): Aynı dönemlerde Almanya, Freya ve Würzburg radarlarını geliştirmiş, hem erken ihbar hem de atış kontrol sistemlerinde kullanmıştır (Resim-2).



Resim 2: Freya ve Würzburg Radarı

SCR-270 (ABD): ABD SCR-270 radarlarıyla Pearl Harbor saldırısının erken tespitine yönelik deneysel kullanımlar yapmıştır. O dönemde bu radarlar 100 km menzile sahipti ve sabit ya da taşınabilir olarak kullanılabilirdi.



Resim 3: SCR-270 Radarı

1940'lı yıllarda İngilizler tarafından RADAR (RAdio Detection And Ranging) kelimesi ilk defa kullanılmış ve terim o günden bu yana yaygınlaşmıştır.

(4) Soğuk Savaş Dönemi (1947–1991):

Soğuk Savaş, radar teknolojisinin kapsamlı biçimde geliştirilmesini tetiklemiştir. ABD ve SSCB arasındaki nükleer silah ve balistik füze yarışları, radarların menzil, hassasiyet ve hız açısından sürekli iyileştirilmesini zorunlu kılmıştır.

Hedef tespit ve takip, menzil ve hız ölçümü, hava savunma ve füze yönlendirme alanları hızla gelişmiştir.

Bu dönemde doppler radarlar, faz dizili (phased array) radarlar ve balistik füze erken uyarı radarları radar teknolojisinde üç ana gelişme alanı olarak öne çıkmıştır.



(5) Modern Dönem (1990–Günümüz)

20'nci yüzyılın sonlarından itibaren radar sistemleri dijitalleşmiş, çok rollü ve entegre hale gelmiştir.

1990 sonrası radar teknolojileri, özellikle askeri alanda büyük bir evrim geçirmiştir. Bu dönemde radarlar, daha yüksek çözünürlük, daha hızlı tarama, düşük görünürlükte hedef tespiti ve elektronik karşı önlemlere karşı dayanıklılık gibi özellikler kazanmıştır.

Bu dönemde radar teknolojisi daha kompakt, dijital ve çok fonksiyonlu hâle gelmiştir. Askeri sistemlerde özellikle AESA radarları ve SAR/ISAR (Synthetic Aperture Radar/Inverse Synthetic Aperture Radar) Radarları geliştirilmiştir. AESA ve SAR radarların karışımını içeren Çok Amaçlı Radarlar (Multi-Function Radar) ile Pasif Radarlar ve Kuantum Radarlar halen gelişme gösteren radar türleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

3. Radar Türleri

Radar teknolojisinin geçmişten günümüze kadar sürekli bir gelişim halinde olduğu görülmektedir. Radar teknolojisindeki bu gelişmelere bağlı olarak çalışma prensibine göre radar çeşitleri şunlardır:

a. Atımlı (Darbeli) Radarlar (Pulsed Radars)

Atımlı radarlar, elektromanyetik dalgaları kısa süreli yüksek güçlü atımlar (pulse) şeklinde gönderen ve ardından bu atımların hedeften yansımalarını ölçen radar sistemleridir. Amaç, hedefin uzaklığını belirlemektir.

Kısaca Gönder → Bekle → Yansıma → Hesapla döngüsü ile çalışırlar.

Klasik radar teknolojisinin temel taşlarından biridir ve özellikle uzak mesafe hedef tespiti için kullanılır. İngilizlerin 2'nci Dünya Savaşında geliştirdikleri Chain Home, ABD donanmasında kullanılan AN/SPS-48 Radarı, İngilizlerin Type 1022 Deniz Gözetleme Radarı, F-15 Eagle uçaklarının ilk modellerinde kullanılan APG-63 Radarı darbe radar tipindedir. (Resim 4).



Resim 4: F-15 uçaklarının ilk modellerinde kullanılan APG-63 Radar

b. Sürekli Dalga Radar (CW – Continuous Wave Radars)

Bu tip radarlar radyo sinyalinin sürekli olarak gönderir. Mesafe ölçemez, sadece hedefin hızını algılayabilir. Basit ve ucuz radarlardır. Hareketli hedefin hızını ölçmede başarılıdırlar. Özellikle ilk dönem hava savunma sistemlerinde kullanılmıştır (Resim 5).





Resim 5: MIM-23 HAWK Karadan Havaya Füze Sistemi

c. Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga Radar (FMCW Radars)

CW radarın gelişmiş halidir. Sürekli dalga gönderir ama frekansı sürekli değiştirir. Böylece hem mesafe hem de hız ölçebilir. Küçük, düşük maliyetli, kısa menzilde hassas sistemlerdir (Resim 6).



Resim 6: Honeywell IntuVue RDR-84K dron radarı

d. Doppler Radar

Bu radar türünde hedefe elektromanyetik dalgalar gönderilir. Hedef hareket ediyorsa, yansıyan dalgaların frekansında değişiklikler meydana gelir. Gelen dalgaların frekansındaki bu kayma, hedefin radara göre hızının tespit edilmesini sağlamaktadır. Bu radar türü askeri kullanımda genellikle diğer türlerle birlikte kullanım alanı bulmuştur.

e. Darbe-Doppler Radar

Darbe radar ile doppler etkisinin birleştirilmiş halidir. Hem mesafe hem hız ölçer, arka plandan hareketli hedefi ayırabilmektedir. Özellikle düşük irtifa hedefleri, hava savunma ve uçaksavar sistemleri için çok etkilidir. ABD'nin Patriot PAC-2 ile Rusların S-300'lerinin ilk modellerinde, F-16 uçaklarının ilk modellerinde kullanılan AN/APG-66 radar darbe doppler tipindedir (Resim 7).





Resim 7: Rus S-300 Hava Savunma Sistemlerinin ilk modellerinde kullanılan darbe doppler radarı

f. Faz Dizinli Radarlar (Phased Array Radars)

Bu tip radarlarda anten mekanik olarak dönmez; sinyalin fazı elektronik olarak değiştirilerek tarama açısı ve yön değiştirilir. Böylece çok hızlı tarama yapılabilir, birden fazla hedef eşzamanlı olarak izlenebilir. Mekanik hareket olmadığı için daha dayanıklı, hızlı ve bakım maliyeti düşüktür.

(1) PESA (Passive Electronically Scanned Array) Radarları

Bu radarlarda tek güçlü verici vardır, tüm anten elemanları bu vericiden beslenir. Elektronik olarak faz kaydırıcılarla sinyal yönlendirilir. Hedefe enerji dağıtımı tek merkezden yapılır, bu nedenle çoklu hedef takibi AESA radarları kadar hızlı değildir. Rusların Su-30MKI avcı uçağına entegre Bars Radar, ABD'nin Aegis savaş sisteminde kullanılan AN/SPY-1 gemi radarı PESA Radarlarına örnektir (Resim 8).



Resim 8: Rus SU-30MKI Savaş Uçağı

(2) AESA (Active Electronically Scanned Array) Radarları

Bu radarlarda her anten elemanı (TRM – Transmit/Receive Module) bağımsız verici ve alıcı içerir. Her eleman sinyali bağımsız olarak gönderir ve alır. Her TRM için güç ve soğutma sistemleri gerektirir. Günümüzdeki modern silah sistemlerinde AESA radar kullanılmaktadır. ABD'nin F-22 Raptor avcı uçağında kullanılan AN/APG-77 radarı, F-35 Lightning II uçağında bulunan AN/APG-81 radarı, Eurofighter Typhoon uçağında kullanılan Captor-E radarı, Rus SU-57 uçağında kullanılan N036 "Byelka" radarı AESA radar tipindedir (Resim 9).



Son 10 yılda da AESA radarlarının vericilerinde (transmitter) kullanılan güç amplifikatörlerinde (Power Amplifier) **GaAs (Gallium Arsenide)** yerine **GaN (Gallium Nitride)** kullanılması bu radarlarda çok büyük bir performans artışı sağlamıştır.

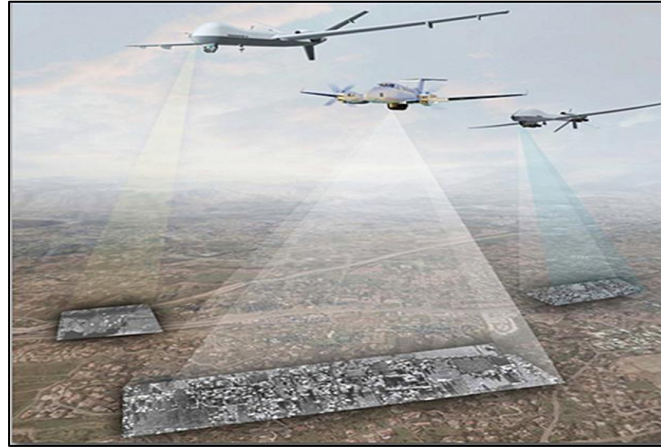


Resim 9: F-15 Lightning Savaş Uçağında kullanılan AESA radarı

g. Görüntüleme Radarları (SAR / ISAR Radars)

(1) SAR (Synthetic Aperture Radars – Sentetik Açıklıklı Radar)

Özellikle uzaktan algılama ve haritalama için geliştirilmiş özel bir radar türüdür. SAR, gerçek bir büyük anten açıklığına sahipmiş gibi davranan bir radardır. Uçak, uydu veya İHA hareket ederken radar, hareketin sağladığı veri ile anteni “sanal olarak büyütür” ve çok yüksek çözünürlükte görüntü elde eder. Bu sayede **yüksek çözünürlüklü yer yüzeyi görüntüleri** oluşturulabilmektedir (Resim 10).



Resim 10: SAR Radarı

(2) ISAR (Inverse Synthetic Aperture Radar)

ISAR Radarlar, hedefin kendi hareketinden veya platformun göreceli hareketinden yararlanarak yüksek çözünürlüklü radar görüntüleri (radar görüntüleme) oluşturan bir radar türüdür. SAR radarından farkı, SAR (Synthetic Aperture Radar) platformun hareketini kullanırken, ISAR hedefin hareketini kullanır. Yani radar sabit olabilir, hedef döner/ilerler ve bu hareket görüntü üretiminde kullanılır. Gemilerden bazılarında kullanılan Therna Scanner 6002 Radarı ISAR radarına örnek olarak verilebilir (Resim 11).

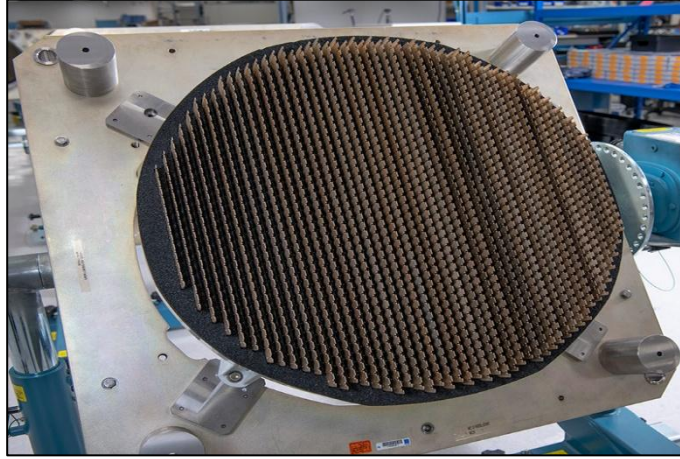




Resim 11: Therma Scanter 6002 Radarı

h. Çok Fonksiyonlu (Multifunction Radars- MFR) Radarlar

Çok fonksiyonlu radar sistemleri, hava savunma, atış kontrol, istihbarat ve deniz gözetleme gibi birden fazla işlevi aynı anda yerine getirebilen radarlardır. Genellikle Özetle AESA + SAR + Darbe-Doppler Radar gibi farklı işlevleri üzerinde toplayan modern radar sistemleridir. Günümüzde gelişmiş tüm silah sistemlerinde örneğin Rusya'nın S-400/500 ile ABD'nin THAAD Hava Savunma Füze Sisteminde ve yine F-35 Savaş Uçaklarında Çok Maksatlı Radar Sistemleri kullanılmaktadır (Resim12).



Resim 12: F-35 Savaş Uçaklarında kullanılan AN/APG-81 Çok Fonksiyonlu Radar

i. Bilişsel Radarlar (Cognitive Radars)

Radar teknolojisinde **yapay zekâ, makine öğrenmesi ve adaptif sinyal işleme kavramlarını** birleştiren yeni nesil bir radar yaklaşımıdır. Diğer bir ifade ile bu radarlarda, çevresini “öğrenebilen” ve davranışını buna göre “değiştirebilen” radarlar geliştirilmek istenmektedir.

Temel olarak bilişsel radarların çalışma prensibi 3 temel döngüye dayanmaktadır:

(1) Algılama (Perception) → Radarın çevreden veri toplama aşamasıdır. Radarın yansıyan sinyallerden, ortam gürültüsünden, karıştırma durumundan ve hava koşullarından elde ettiği verileri toplaması amaçlanmaktadır.

(2) Öğrenme (Learning) → Toplanan verilerin geçmiş bilgilerle karşılaştırılacağı aşamadır. Makine öğrenmesi (machine learning) algoritmaları burada devreye girmektedir.





Radarın, bu aşamada, mevcut şartlarda hangi sinyal biçimi/biçimlerinin daha başarılı olacağına dair istatistiksel modeller oluşturması hedeflenmektedir.

(3) Uygulama (Action) → Radarın kullanacağı sinyal stratejisini üreteceği (Dalga biçimi, kullanılacak frekans veya dalga yönü gibi) aşamadır. Yukarıdaki döngü sürekli tekrar edilerek radarın çalışmasının optimize edilmesi amaçlanmaktadır.

Bilişsel radarlar günümüzde hala laboratuvar/prototip aşamasında olup araştırma/geliştirme faaliyetleri devam etmektedir.

Bugün bazı modern AESA radarlar **uyarlanabilir algılama, otomatik hedef sınıflandırma, frekans atlama ve elektronik karıştırma tespiti** gibi “bilişsel radarların yeteneklerini kısmi şekilde kapsayan” yetenekleri kullanmaktadır.

j. Pasif Radarlar

Pasif radarlar, kendi radyo sinyallerini göndermeyen, çevredeki mevcut elektromanyetik yayını (radyo, TV, GSM, uydu sinyalleri, FM radyo vb.) kullanarak hedefleri tespit eden ve izleyen bir radardır.

Yani “görür ama görünmez” prensibine sahiptir. Ancak bu tip radarlarda da sistem sinyalin varlığına bağlıdır, yayımlanan bir sinyal yoksa tespit edemez. Ya da yansıyan sinyaller zayıfsa tespit zorlaşabilir, ayrıca menzil ve doğruluk ile ilgili de sınırlı bir radar sistemidir. Saab firmasının ürettiği Celldar, BAE Systems tarafından üretilen Silent Sentry, Rus üretimi 1L220/1L119 Pasif radar örneklerindendir (Resim 13).



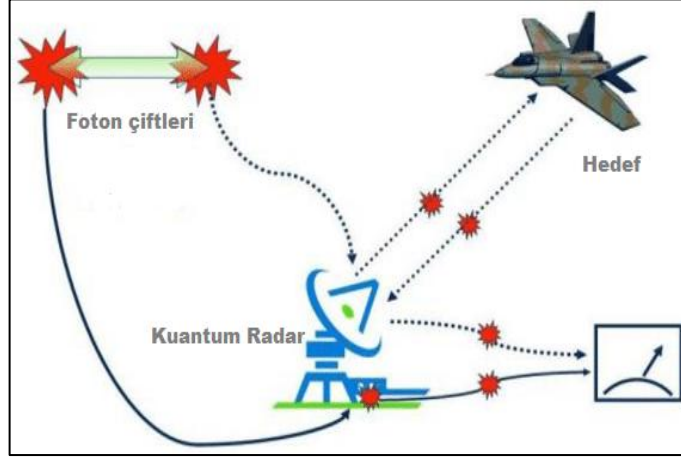
Resim 13: Celldar Pasif Radar Sistemi

k. Kuantum Radarlar

Kuantum radar, kuantum mekaniğinin temel prensiplerinden yararlanarak hedef tespiti yapan bir radardır. Temel olarak entangled (dolanık) fotonlar veya kuantum ışık özellikleri kullanılır. Bu radar sisteminde temel amaç, geleneksel radarın yapamadığı düşük görünürlüklü hedefleri, özellikle stealth (radar görünmezlik) teknolojisine sahip uçakları veya gizli nesneleri tespit etmektir.

Klasik radarlar, elektromanyetik dalgalar yayarak, yansıyan dalgayı kullanan radarlardır. Kuantum radarda, bir çift dolanık fotondan biri hedefe gönderilir, diğeri ise radar tarafından tutulur. Hedeften gelen yansıma fotonu ile dolanık foton karşılaştırılır, bu sayede hedefin varlığı çok daha düşük sinyal-gürültü oranında bile tespit edilebilir (Resim 14). Kuantum radarlar hâlâ Ar-Ge / prototip aşamasında olup, ticari veya yaygın askeri kullanımı henüz bulunmamaktadır. ABD, Çin ve Avustralya'nın AR-GE çalışmaları yaptığı bilinmektedir.





Resim 14 Kuantum radar çalışma prensibi

4. AESA (Active Electronically Scanned Array) Radarları

AESA radarlar, mekanik taramalı radarlardan başlayıp PESA evresinden de geçerek günümüzde modern savaşın merkezine oturmuş radar sistemleridir. Hız, çoklu görev, güvenilirlik ve elektronik harp üstünlüğü ile özellikle 5'inci nesil uçakların ve modern hava savunma sistemlerinin vazgeçilmez unsuru olmuşlardır.

AESA radarların kalbi **T/R modülleri**dir. Her biri küçük bir radyo vericisi ve alıcısıdır.

a. Çalışma Prensibi

- (1) Radar anteni yüzeyinde yüzlerce – binlerce küçük anten elemanı bulunmaktadır.
- (2) Her eleman kendi T/R modülünden sinyal gönderebilir ve alabilir.
- (3) Faz kaydırma tekniğiyle bu sinyaller birleştirilir. Bu sayede radar ışını elektronik olarak yönlendirilebilir.
- (4) Anten fiziksel olarak hareket etmeden, **mikrosaniyeler içinde** farklı yönlere tarama yapılabilir.

b. Avantajları

(1) Yüksek Hız

Klasik mekanik taramalı radarlar, anteni döndürerek gökyüzünü tarar. Bir tur atması birkaç saniye sürer. AESA radarlar ise, ışınlarını elektronikteki faz kaydırıcılarla yönlendirir. Yani ışın yönünü değiştirmek için antenin dönmesine gerek yoktur.

Böylelikle radar ışınını mikrosaniyeler içinde farklı bir bölgeye kaydırabilir. Bu, ani hedef belirmelerinde tepki süresini ciddi ölçüde düşürmektedir.

(2) Çok Görevli Kullanım

Mekanik radarlar bir anda ya arama ya da izleme fonksiyonunu yerine getirebilirler.

AESA radarlar ise, anten yüzeyini binlerce küçük T/R modülüne bölebildikleri için farklı dalga formlarıyla aynı anda farklı fonksiyonları yerine getirebilmektedir. Yani AESA radar, aynı anda hem hava sahasını tararken bir yandan da belirlenen hedefleri izleyebilmektedir.



**(3) Elektronik Harp Dayanıklılığı**

Elektronik harp sistemleri genelde radarları “kör” etmeye çalışmaktadır. Mekanik radarlar tek tip dalga gönderdiğinden daha kolay karıştırılabilmektedir. AESA radarlar:

- (a) Frekans atlamalı çalışabilmeleri,
- (b) Dalga formunu değiştirebilmeleri,

(c) Yan lobları çok düşük olduğu için jammer’ların radar ışınını yanıltması zor olduğundan elektronik saldırıya karşı çok daha dirençlidir.

(4) Daha Az Bakım İhtiyacı

Mekanik radarlar, sürekli dönen antenlere ve ağır motorlara sahiptir. Bunlar zamanla yıprandığından bakım ihtiyacı oluşmaktadır. AESA radarlar ise hareket etmeyen sabit anten paneline sahip olduklarından çok daha az bakıma ihtiyaç duymaktadır.

(5) Uzun Menzil

Radar menzili büyük oranda gönderilen sinyal gücüne bağlıdır. Geleneksel radarlarda daha çok GaAs (Gallium Arsenide) tabanlı modüller kullanılmaktadır. Yeni nesil AESA’larda ise GaN (Gallium Nitride) tabanlı yarı iletkenler kullanılmaktadır. GaN tabanlı AESA radarları; daha az ısınmakta ve daha yüksek frekanslarda çalışabilmektedir. Böylece AESA radarlarıyla, daha uzun menzilde, daha iyi çözünürlük ve küçük hedefleri (örneğin stealth uçakları veya mini dronları) tespit etme kabiliyeti artmaktadır.

(6) Enerji Verimliliği

Radarlar yüksek güç üretirken doğal olarak ısınmaktadır. Klasik radar sistemlerinde çok güçlü soğutma sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. AESA radarlarda ise, her T/R modülü kendi gücünü verimli şekilde ürettiği ve dağıttığı için özellikle GaN teknolojisi sayesinde daha az ısınma gerçekleşmektedir.

AESA radarlarının Mekanik Taramalı ve PESA radarları ile karşılaştırmalı tablosu aşağıda sunulmuştur (Tablo 1).

Özellik	Mekanik Taramalı Radar	PESA (Passive Electronically Scanned Array)	AESA (Active Electronically Scanned Array)
Işın yönlendirme	Anten fiziksel olarak döner	Elektronik faz kaydırıcılarla (tek verici kaynağı)	Her T/R modülü bağımsız elektronik yönlendirmeye sahiptir
Tepki süresi	Yavaş (saniyeler)	Hızlı (milisaniyeler)	Çok hızlı (mikrosaniyeler)
Çoklu görev	Tek anda tek görev (arama veya takip)	Aynı anda sınırlı görev	Aynı anda arama + takip + güdüm + elektronik harp
Bakım İhtiyacı	Mekanik aşınma riski yüksek	Daha az mekanik parça	Hiç hareketli parça yok, modüller arızalanırsa diğerleri çalışmaya devam eder





Özellik	Mekanik Taramalı Radar	PESA (Passive Electronically Scanned Array)	AESA (Active Electronically Scanned Array)
Elektronik harp dayanıklılığı	Kolay karıştırılır, dalga formu sabittir	Orta düzeyde	Çok yüksek (frekans atlama, dalga formu çeşitliliği, düşük yan lob)
Menzil / Güç	Anten boyutuna ve vericiye bağlı	Tek verici → sınırlı güç	Her T/R modülü ayrı verici → daha yüksek toplam güç, GaN ile daha uzun menzil
Stealth (Görünmez) hedefleri tespit	Zayıf	Orta	Daha başarılı (yüksek çözünürlük, çoklu frekans)
Kullanıldığı dönem	1930'lar – günümüz	1960'lar – günümüz	1990'lar – günümüz

Tablo 1: Mekanik Taramalı – PESA - AESA Radarları Karşılaştırma Tablosu

c. Dünyada AESA Radar Üreten / Geliştiren Ülkeler

Dünyada AESA Radar üretimi yapan, bunu çeşitli platformlara entegre ederek farklı amaçlar için kullanan birçok ülke bulunmaktadır. Özellikle ABD, Rusya, Çin, Avrupa Birliği Ülkeleri, İsrail ve Güney Kore dikkat çeken AESA Radar üretimleri yapmaktadır.

(1) ABD

ABD, AESA radar teknolojisinin öncüsü sayılır ve bugün dünyada en gelişmiş sistemleri üretmektedir. Ülkenin hem savaş uçaklarında hem de kara ve deniz savunma sistemlerinde kullanmak amacıyla ürettiği çok sayıda AESA radar modeli bulunmaktadır.

(a) Hava Platformları

(aa) **AN/APG-77: AN /APG-77, F-22 Raptor savaş uçağına** monte edilmek üzere geliştirilmiş, çok işlevli bir X-bant, düşük yakalama olasılığına sahip AESA radardır. Radar, Westinghouse ve Texas Instruments tarafından tasarlanıp ilk olarak üretilmiş ve satın alındıktan sonra üretim, Northrop Grumman ve Raytheon tarafından devam ettirilmiştir.

Her biri bir sakız büyüklüğünde olan 1.956 verici/alıcı modülden (T/M) oluşan bu radar, ilk operasyonel AESA radarlarından biridir (Resim 15).





Resim 15 AN /APG-77 AESA Radarı

AN/APG-77 AESA radarının teknik özellikleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Özellik	AN/APG 77
Kullanım Platformu	F-22 Raptor
Üretici	Northrop Grumman
Çıkış Yılı / Hizmet	2005 → F-22
Menzil	Hava Hedeflerine ~200 km
Hedef Takip	100+ hedef takip, ~20’sine kilit
Hava–Hava Yeteneği	Uzun menzil, hava üstünlüğü odaklı
Hava–Yer Yeteneği	Başlangıçta sınırlı, V1 ile SAR yeteneği eklenmiştir.
LPI (Low Probability of Intercept) Görünürlük Olasılığı	Çok gelişmiş
Elektronik Harp Direnci	Yüksek
Ağ Entegrasyonu	F-22 veri bağı sınırlı

Tablo 2: AN/APG-77 AESA Radarının Teknik Özellikleri

(ab) AN/APG-79: AN /APG-79, Amerika Birleşik Devletleri Donanması'nın F/A-18E/F Super Hornet ve EA-18G Growler uçakları için geliştirilen AESA radarıdır. Raytheon Firması tarafından üretilmiştir. Radar, birden fazla hedefi aynı anda izleyebilmekte ve 150 km'ye kadar bir menzil sunmaktadır. Ulaştığı bu menzile ilaveten SAR özelliği de bulunmaktadır.

Hem hava-hava hem hava-yer görevlerinde yüksek performans sağlayan, elektronik saldırı görevlerine uyumlu olan radar, iletişim ve elektronik karıştırma görevleri de



yapabilmektedir. ABD Donanması dışında Finlandiya, Kuveyt, Malezya ve İsviçre Hava Kuvvetlerinde de bu radarlar kullanılmaktadır (Resim 16).



Resim 16 AN/APG-79 AESA Radarı

AN/APG-79 AESA radarının teknik özellikleri Tablo 3'te sunulmuştur.

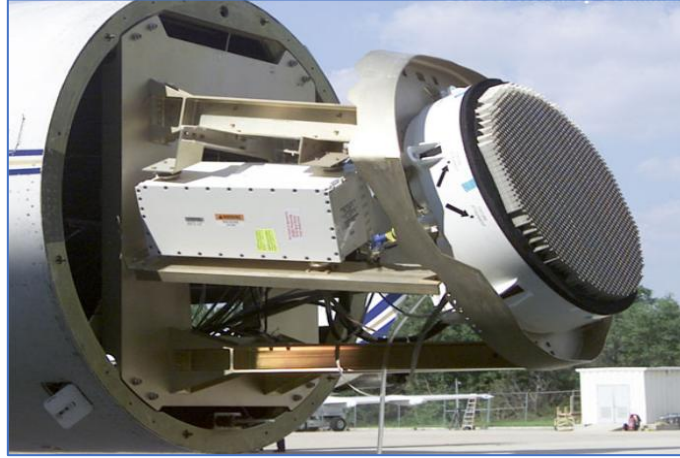
Özellik	AN/APG 79
Kullanım Platformu	F/A-18E/F Super Hornet, EA-18G Growler
Üretici	Raytheon (RTX)
Çıkış Yılı / Hizmet	2006 → Super Hornet Blk II
Menzil	~180 km
Hedef Takip	80+ hedef takip, ~20'sine kilit
Hava-Hava Yeteneği	Orta-uzun menzil, çok amaçlı görevler
Hava-Yer Yeteneği	Gelişmiş SAR, deniz hedefleri için optimize
LPI (Low Probability of Intercept) Görünürlük Olasılığı	Orta seviye, klasik görevlerde yeterli
Elektronik Harp Direnci	Orta-yüksek
Ağ Entegrasyonu	Donanma ağ yapısına uygun

Tablo 3: AN/APG-79 AESA Radarının Teknik Özellikleri

(ac) AN/APG-81: Northrop Grumman Electronic Systems (eski adıyla Westinghouse Electronic Systems) tarafından F-35 Lightning II uçağında kullanılmak maksadıyla tasarlanan AESA radarıdır. F-22'lerde kullanılan AN/APG-77 radarının geliştirilmiş versiyonudur. F-35 için 3 binden fazla sipariş edilmesi beklenmektedir. (2035 yılından sonra da devam edecek şekilde)



Hava-hava, hava-yer, elektronik harp ve sinyal istihbaratı şeklinde çok yönlü kullanıma sahip olan radar ayrıca yüksek çözünürlüklü SAR görüntüleme de yapabilmektedir (Resim 17).



Resim 17: AN/APG-81 AESA Radarı

AN/APG-81 AESA radarının teknik özellikleri Tablo 4'te sunulmuştur.

Özellik	AN/APG 81
Kullanım Platformu	F-35 Lightning II
Üretici	Northrop Grumman
Çıkış Yılı / Hizmet	2015 → F-35 IOC
Menzil	~180 km (bazı kaynaklarda >200 km dar hüzmeye)
Hedef Takip	100+ hedef takip, aynı anda angajman
Hava-Hava Yeteneği	Yüksek çoklu görev, gelişmiş füze güdümü
Hava-Yer Yeteneği	Çok gelişmiş SAR, yer haritalama, deniz/yer görevleri
LPI (Low Probability of Intercept) Görünürlük Olasılığı	Çok gelişmiş, F-35'in stealth konseptine tam uyumlu
Elektronik Harp Direnci	Çok yüksek (EW uyumlu, füzyon yetenekli)
Ağ Entegrasyonu	Çok gelişmiş sensör füzyonu.

Tablo 4: AN/APG-81 AESA Radarının Teknik Özellikleri

(ad) AN/APG-82(V)1: Raytheon AN/APG-82(V)1 Aktif Elektronik Taramalı Dizi (AESA) radar sistemi, Amerika Birleşik Devletleri Hava Kuvvetleri'nin F-15E uçak filosunun modernizasyonu için tasarlanmıştır.



APG-63 ve APG-79'un birleşiminden türetilmiştir. Gelişmiş çoklu hedef takibi, hassas angajman yetenekleri ve sistem güvenilirliği sağlar. Modernize edilen F-15E Strike Eagle uçaklarında kullanılmaktadır (Resim 18).



Resim 18: AN/APG-82(V)1 AESA Radarı

AN/APG-82(V)1 AESA radarının teknik özellikleri Tablo 5'te sunulmuştur.

Özellik	AN/APG 82(V)1
Kullanım Platformu	F-15E Strike Eagle, F-15EX
Üretici	Raytheon (RTX)
Çıkış Yılı / Hizmet	2014 → F-15E Strike Eagle, F-15EX
Menzil	~200 km
Hedef Takip	20+ hedefe angajman
Hava-Hava Yeteneği	Uzun menzil, çoklu hedef angajmanı
Hava-Yer Yeteneği	Gelişmiş SAR ile yer haritalama
LPI (Low Probability of Intercept) Görünürlük Olasılığı	Gelişmiş, F-22/F-35 kadar ileri değil
Elektronik Harp Direnci	Yüksek
Ağ Entegrasyonu	Link-16 ve modern ağ yapılarıyla tam uyumlu

Tablo 5: AN/APG-82(V)1 AESA Radarının Teknik Özellikleri



(b) Deniz Platformları

AN/SPY-6 (AMDR): ABD Donanması'nın yeni nesil Aegis Deniz Silah Sistemlerinde (Aegis Combat System) kullanılan AESA radarıdır. Flight III Arleigh Burke sınıfı muhripler, amfibi hücum gemileri, uçak gemileri için de entegre hava ve füze savunması sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. ABD Donanmasına ilk teslimat Temmuz 2020'de yapılmıştır. Dört farklı versiyonu bulunmaktadır (Resim 19).



Resim 19: AN/SPY-6 AESA Radarı

AN/SPY-6 AESA radarının teknik özellikleri Tablo 6'da sunulmuştur.

Özellik	AN/SPY-6
Kullanım Platformu	Arleigh Burke Flight III muhripleri, amfibi hücum gemileri, uçak gemileri
Üretici	Raytheon (RTX)
Çıkış Yılı / Hizmet	2023 (USS Jack H. Lucas – DDG-125)
Menzil	Kesin menzili ABD Donanması tarafından gizli tutulmakla birlikte, menzilin ~500 km'den fazla olduğu, özellikle balistik füze tespitinde 1000 km+ kapasiteye çıkabildiği açık kaynaklarda yer almaktadır.
Hedef Takip	2000+ hedef, eş zamanlı takip
Görev Tipleri	Hava savunma + Balistik füze savunma (aynı anda)
Elektronik Harp Direnci	Çok yüksek, yoğun karıştırma ortamında çalışabilir.
Ağ Entegrasyonu	Aegis Combat System Baseline 10 ile tam uyumlu
Versiyonlar	V1 (37 RMA – Flight III destroyer), V2 (9 RMA – amfibi gemi), V3 (3 RMA – küçük gemi), V4 (24 RMA – Flight IIA modernizasyonu)

Tablo 6: AN/SPY6 AESA Radarının Teknik Özellikleri



(c) Kara Platformları

(aa) AN/TPS-80 (GROUND/AIR TASK-ORIENTED RADAR, G/ATOR):

Amerika Birleşik Devletleri Deniz Piyadelerinin yeni nesil Hava Gözetim/Hava Savunma ve Hava Trafik Kontrol Radarıdır. Northrop Grumman tarafından geliştirilmiştir. İnsansız hava sistemlerini, seyir füzelerini, roketleri, topçu silahlarını ve havanları tespit etmek için tasarlanmış, üç boyutlu, orta/uzun menzilli, çok fonksiyonlu bir radardır.

Sahip olduğu yeteneklerle daha önceden ABD Deniz Piyadeleri tarafından kullanılan beş eski radar sisteminin (AN/TPS-63, AN/TPS-73, AN/MPQ-62, AN/TPQ-46, ups-3) yerine kullanılmaktadır (Resim 20).



Resim 20: AN/TPS-80 AESA Radarı

AN/TPS-80 AESA radarının teknik özellikleri Tablo 7’de sunulmuştur.

Özellik	AN/TPS-80
Kullanım Platformu	Mobil, çekilebilir sistem (M-ATV veya kamyon üstü)
Üretici	Raytheon (RTX)
Çıkış Yılı / Hizmet	2015
Menzil	- Hava hedefleri: ~75–150 km - Küçük seyir füzeleri: ~50–100 km - Balistik füze / roketler: ~200 km (yüksek irtifa)
Hedef Takip	- Hava hedefleri (uçak, helikopter, İHA, seyir füzesi): ~200–300 eş zamanlı hedef - Balistik roket/füze hedefleri: Aynı anda 10–20 civarı yüksek hızlı hedef - Hareketli kara hedefleri: Yüzlerce kara aracını aynı anda izleyebilir
Görev Tipleri	Hava ve kara hedeflerini aynı anda izleyebilir



Özellik	AN/TPS-80
Elektronik Harp Direnci	Karıştırmaya dayanıklı
Ağ Entegrasyonu	Modern komuta kontrol sistemleri ile uyumlu
Taşınabilirlik	Mobil, kısa sürede kurulum ve konuşlandırma

Tablo 7: AN/TPS-80 AESA Radarının Teknik Özellikleri

(ab) LTAMDS (LOWER TIER AIR AND MISSILE DEFENSE SENSOR)

ABD Ordusu'nun Patriot hava savunma sistemine yönelik yeni nesil AESA radarıdır. Saniyede bir milden daha hızlı uçan hipersonik silahlar da dahil olmak üzere gelişmiş ve yeni nesil tehditleri yenmek için tasarlanmıştır. Önde bir ve arkada iki olmak üzere üç anten dizisine sahiptir. Bu diziler birlikte çalışarak, aynı anda her yönden gelen birden fazla tehdidi tespit edip etkisiz hale getirir. 360 derecelik tam kapsama alanı sağlayarak taktik balistik füzeler, seyir füzeleri, insanlı ve insansız uçaklar ve hipersonik silahlar dahil olmak üzere çok sayıda tehdidin eşzamanlı olarak algılanmasını ve izlenmesini sağlar.

ABD Ordusunun Entegre Hava ve Füze Savunma Savaş Komuta Sistemi (IBCS) ile sorunsuz entegrasyon için tasarlanan LTAMDS, hipersonik ve balistik silahlar da dahil olmak üzere gelişmiş tehditleri tespit etmek ve bertaraf etmek üzere dizayn edilmiştir (Resim 21).



Resim 21: LTAMDS AESA Radarı

LTAMDS AESA radarının teknik özellikleri Tablo 8'de sunulmuştur.

Özellik	LTAMDS
Kullanım Platformu	Avenger / Patriot hava savunma sistemleri
Üretici	Northrop Grumman
Çıkış Yılı / Hizmet	2023
Menzil	- Hava hedefleri: ~100-150 km - Kısa Menzilli Balistik Füzeler: ~50-100 km



Özellik	LTAMDS
Hedef Takip	+100 hedefi eşzamanlı izleme
Görev Tipleri	Hava ve füze savunma görevleri
Elektronik Harp Direnci	Karıştırmaya dayanıklı
Ağ Entegrasyonu	Patriot hava savunma sistemi ve modern komuta kontrol ağlarıyla tam uyumlu
Taşınabilirlik	Mobil, kısa sürede kurulum ve konuşlandırma

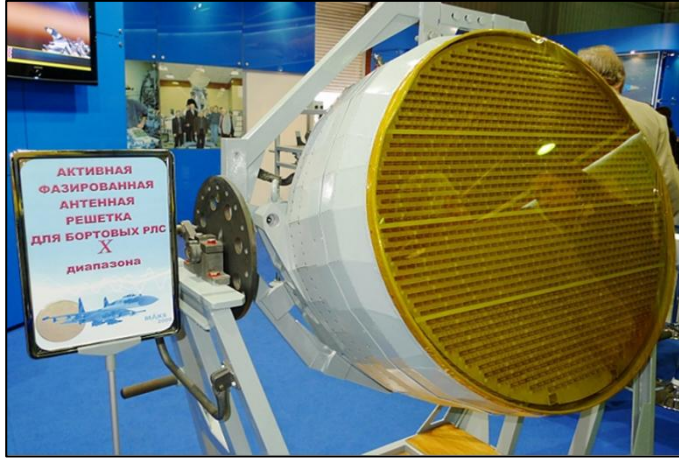
Tablo 8: LTAMDS AESA Radarının Teknik Özellikleri

(2) Rusya

(a) Hava Platformları

(aa) N036 BYELKA: N036 BYELKA, Rus Tikhomirov NIIP tarafından beşinci nesil Sukhoi Su-57 savaş uçağı için geliştirilen aktif elektronik taramalı dizi radar (AESA) sistemidir. 1.514 T/R modülüne sahip, N036-1-01 olarak adlandırılan ana burun üstü X-bant AESA radarı ve gövdenin ön tarafına monte edilmiş, N036B-1-01 olarak adlandırılan, 404 T/R modülüne sahip (toplam 2.322 T/R modülü) iki küçük X-bant AESA radarından oluşmaktadır.

Aynı anda havada 60 hedefi takip edip 16 hedefe angaje olabilme veya aynı anda karada dört hedefe kadar müdahale edebilme yeteneğine sahiptir. Hava-hava ve hava-yer modları mevcuttur (Resim 22).



Resim 22: N036 BYELKA AESA Radarı



N036 BYELKA AESA radarının teknik özellikleri Tablo 9’da sunulmuştur.

Özellik	N036 BYELKA
Kullanım Platformu	SU-57 Uçakları
Üretici	Tikhomirov NIIP (Tikhomirov Scientific Research Institute of Instrument Design)
Çıkış Yılı / Hizmet	2020’ler
Menzil	~200 km
Hedef Takip	30–60 hava hedefi, bunların çoğuna kilitlenebilir
Hava–Hava Yeteneği	Uzun menzil, çoklu hedef angajmanı
Hava–Yer Yeteneği	Gelişmiş SAR ile yer haritalama
LPI (Low Probability of Intercept) Görünürlük Olasılığı	Gelişmiş
Elektronik Harp Direnci	Yüksek

Tablo 9: N036 BYELKA AESA Radarının Teknik Özellikleri

(ab) Zhuk-A/AE (FGA-29): Zhuk, Tikhomirov NIIP tarafından MIG-35 gibi çok amaçlı savaş uçakları için geliştirilen, her türlü hava koşuluna uygun, AESA radarıdır. Rusya’nın ihracat için geliştirdiği ilk AESA radarıdır.

Radar, dağınık arazi ya da deniz gibi zor arka planlara karşı bile hedefleri algılayabilir ve alçak irtifadaki hedefleri tespit edebilir. Hem tek tek hedef takibi hem de aynı anda birden fazla hedefin izlenmesi mümkündür (Resim 23).



Resim 23: Zhuk-A/AE (FGA-29) AESA Radarı





Zhuk-A/AE (FGA-29) AESA radarının teknik özellikleri Tablo 10'da sunulmuştur.

Özellik	Zhuk-A/AE (FGA-29)
Kullanım Platformu	MiG-35 ve modernize edilmiş MiG-29
Üretici	Tikhomirov NIIP (Tikhomirov Scientific Research Institute of Instrument Design)
Çıkış Yılı / Hizmet	2010'lar
Menzil	~120-160 km
Hedef Takip	30-40 eş zamanlı hedef izleme; 6-8 hedefe angajman
Hava-Hava Yeteneği	Yeterli menzil, çoklu hedef angajmanı
Hava-Yer Yeteneği	Gelişmiş SAR ile yer haritalama
LPI (Low Probability of Intercept) Görünürlük Olasılığı	Orta seviye
Elektronik Harp Direnci	Karıştırmaya karşı dirençli

Tablo 10: Zhuk-A/AE (FGA-29) AESA Radarının Teknik Özellikleri

(b) Deniz Platformları

Poliment (Redut) Radarı: Poliment Radarı (bazı kaynaklarda Redut Radarı olarak da geçmektedir) Rusya'nın kıyı donanmasında ve fırkateyn/korvet platformlarında orta-uzeri deniz hava savunması amacıyla geliştirdiği AESA radardır. Diğer bir ifadeyle Rusya'nın "Poliment-Redut Hava Savunma Sisteminin" içerisinde bulunan radardır. Orta-uzun menzilli hava tehditleri, deniz hedefleri ve çok yönlü savunması için geliştirilmiştir. Özellikle Admiral Gorshkov sınıfı fırkateynler ve Steregushchiy-sınıfı korvetlerde kullanılmaktadır (Resim 24).





Resim 24: Poliment (Redut) AESA Radarı

Poliment (Redut) AESA radarının teknik özellikleri Tablo 11’de sunulmuştur.

Özellik	Poliment (Redut)
Kullanım Platformu	Admiral Gorshkov sınıfı fırkateynler ve Steregushchiy sınıfı korvetlerde
Üretici	Almaz-Antey Tasarım Bürosu
Çıkış Yılı / Hizmet	2013
Menzil	+200 km hava hedefleri Alçaktan gelen seyir balistik füzeler / denizaltı füze tehditleri için ~50 km
Hedef Takip	16 hedef, eş zamanlı takip
Görev Tipleri	Orta-uzun menzilli hava tehditleri, deniz hedefleri
Elektronik Harp Direnci	Karıştırmaya karşı dirençli
Ağ Entegrasyonu	Poliment-Redut Hava Savunma Sistemine entegre

Tablo 11: Poliment (Redut) AESA Radarının Teknik Özellikleri

(c) Kara Platformları

(aa) **92N6E “Cheese Board”**: Rusya’nın S-400 Hava Savunma Sisteminin sonraki versiyonlarında kullandığı ve S-400 bataryalarının çok katmanlı hava savunma sistemi içerisinde orta/uzun menzil katmanını sağlayan AESA radarıdır.

Faz dizili anten ve dijital beamforming özellikleri sayesinde çoklu hedef izleme ve hızlı yönlendirme yapabilme kabiliyeti bulunmaktadır (Resim 25).





Resim 25: 92N6E “Cheese Board” AESA Radarı

92N6E “Cheese Board” AESA radarının teknik özellikleri Tablo 12’de sunulmuştur.

Özellik	92N6E “Cheese Board”
Kullanım Platformu	S-400 Hava Savunma Sistemleri
Üretici	Almaz-Antey
Çıkış Yılı / Hizmet	2010’dan sonra
Menzil	Hava hedefleri: ~300-350 km
Hedef Takip	+20 hedefi eşzamanlı izleme
Görev Tipleri	S-400 sistemlerinde orta ve yüksek irtifa hedef tespiti; erken uyarı ve S-400 bataryalarının katmanlı hava savunma desteği.
Elektronik Harp Direnci	Karıştırmaya dayanıklı
Ağ Entegrasyonu	S-400 Hava Savunma Sistemleri ile tam uyumlu
Taşınabilirlik	Mobil, kısa sürede kurulum ve konuşlandırma

Tablo 12: 92N6E “Cheese Board” AESA Radarının Teknik Özellikleri

(ab) 77T6: Rusya’nın S-500 Hava Savunma Sisteminde balistik füze ve hipersonik hedef tespit katmanının ana bileşeni olan AESA tipindeki radardır. Almaz-Antey tarafından üretilmektedir. S-500 Hava Savunma Sisteminde bu radar haricinde 91N6A(M), 96L6-TsP ve 76T6 olarak adlandırılan başka AESA radarlar da bulunmaktadır (Resim 26).





Resim 26: 77T6 AESA Radarı

S-500 Hava Savunma Sisteminde bulunan AESA radarların teknik özellikleri Tablo 13'te sunulmuştur.

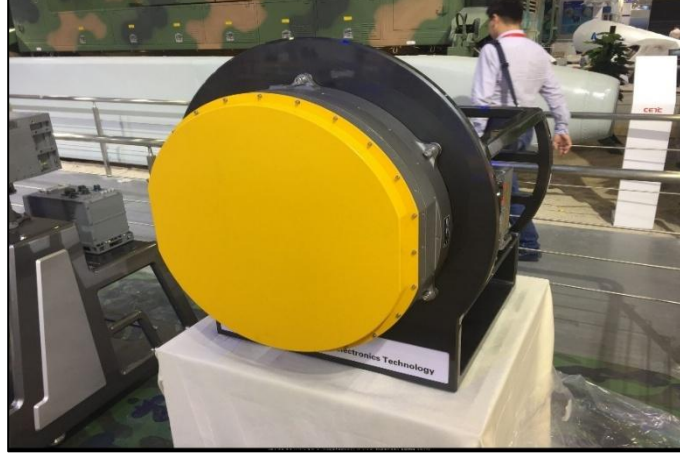
Özellik	S-500 Hava Savunma Sistemi AESA Radarları			
	91N6A(M)	96L6-TsP	76T6	77T6
Kullanım Platformu	S-500 Hava Savunma Sistemleri			
Üretici	Almaz-Antey			
Çıkış Yılı / Hizmet	2010'dan sonra			2015'den sonra
Menzil	~600 km	~400 km	~800 km	~2000 km
Hedef Takip	300–800 hedef takibi	100–300 hedef takibi	150–400 hedef takibi	200-600 hedef takibi
Görev Tipleri	Geniş alan tarayarak; uçaklar, helikopterler, İHA'lar, seyir füzeleri ve üst atmosfer balistik tehditler için ilk tespit/ortam resmi sağlar.	Orta menzil, yüksek/orta irtifa tespiti; hava hedefleri, seyir füzeleri ve hareketli hedefleri algılar.	Aerodinamik hedeflerin yanında orta/uzun menzilli balistik füzeleri tespit/izleme yeteneği. Hipersonik araçların orta seviye takibi	S-500'ün uzun menzil ABM/hipersonik katmanının ana radarı
Elektronik Harp Direnci	Yüksek	Orta–Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek
Taşınabilirlik	Mobil, kısa sürede kurulum ve konuşlandırma			

Tablo 13: S-500 Hava Savunma Sisteminde bulunan AESA radarların teknik özellikleri



(3) Çin**(a) Hava Platformları**

(aa) KLJ-7A: KLJ-7A, Çin'in Nanjing Elektronik Teknolojisi Araştırma Enstitüsü (NRIET) tarafından geliştirilen bir aktif elektronik taramalı dizi (AESA) radar sistemidir. Bu radar, özellikle JF-17 Block III savaş uçağı için tasarlanmıştır ve Pakistan Hava Kuvvetleri tarafından da kullanılmaktadır (Resim27).



Resim 27: KLJ-7A AESA Radarı

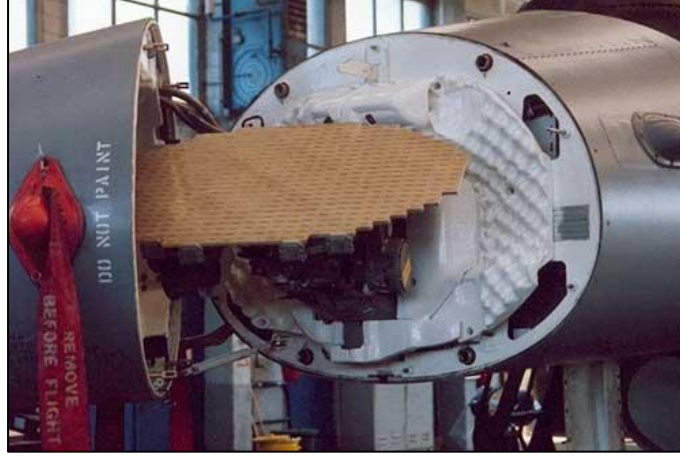
KLJ-7A AESA radarının teknik özellikleri Tablo 14'te sunulmuştur.

Özellik	KLJ-7A
Kullanım Platformu	JF-17 Block III savaş uçağı
Üretici	Nanjing Elektronik Teknolojisi Araştırma Enstitüsü (NRIET)
Çıkış Yılı / Hizmet	2016 ile 2020 yılları arası
Menzil	~170 km
Hedef Takip	15 hava hedefi, 4 hedefe angaje olma
Hava-Hava Yeteneği	Uzun menzil, çoklu hedef angajmanı
Hava-Yer Yeteneği	Gelişmiş SAR ile yer haritalama
LPI (Low Probability of Intercept) Görünürlük Olasılığı	Orta
Elektronik Harp Direnci	Yüksek

Tablo 14: KLJ-7A AESA Radarının Teknik Özellikleri



(ab) KLJ-10A (Type 1479): Çin'in Nanjing Elektronik Teknolojisi Araştırma Enstitüsü (NRIET) tarafından geliştirilen bir aktif elektronik taramalı dizi (AESA) radar sistemidir. Bu radar, özellikle Chengdu J-10C savaş uçağı için tasarlanmıştır ve Çin Hava Kuvvetleri tarafından kullanılmaktadır (Resim 28).



Resim 28: KLJ-10A AESA Radarı

KLJ-10A AESA radarının teknik özellikleri Tablo 15'te sunulmuştur.

Özellik	KLJ-10A
Kullanım Platformu	Chengdu J-10C savaş uçağı
Üretici	Nanjing Elektronik Teknolojisi Araştırma Enstitüsü (NRIET)
Çıkış Yılı / Hizmet	2018
Menzil	+200 km
Hedef Takip	15 hava hedefi, 4 hedefe angaje olma
Hava-Hava Yeteneği	Uzun menzil, çoklu hedef angajmanı
Hava-Yer Yeteneği	Gelişmiş SAR ile yer haritalama
LPI (Low Probability of Intercept) Görünürlük Olasılığı	Orta
Elektronik Harp Direnci	Yüksek

Tablo 15: KLJ-10A AESA Radarının Teknik Özellikleri

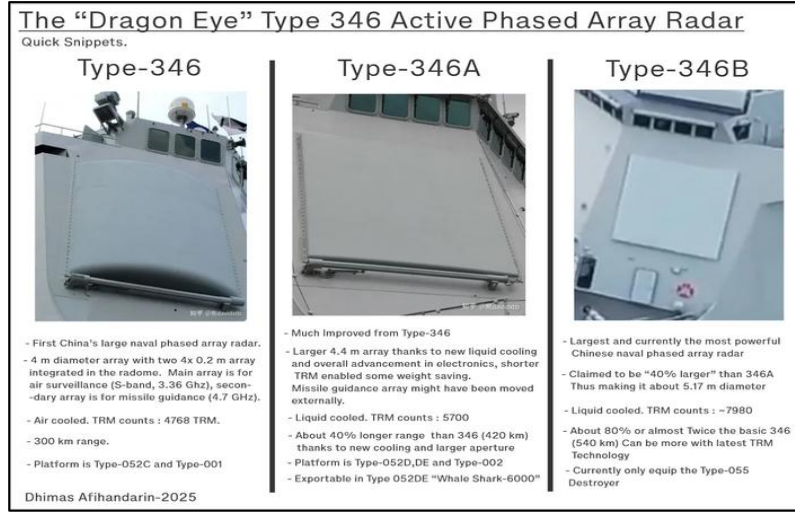
(b) Deniz Platformları

(aa) Type 346 (Dragon Eye): Type 346 serisi radarlar, Çin Donanması'nın hava ve deniz savunma yeteneklerini güçlendiren önemli AESA tipi radar sistemlerdir. Çin'in Nanjing Elektronik Teknolojisi Araştırma Enstitüsü (NRIET) tarafından geliştirilmiştir. Bu radar, Çin'in



ilk AESA radar sistemlerinden biridir ve 2004 yılında Type 052C destroyerlerinde hizmete girmiştir (Resim 29).

Sonrasında radarın Type 346A ve Type346B versiyonları geliştirilmiştir.



Resim 29: Type 346 AESA Radarı ve Versiyonları

Type 346 AESA radarının teknik özellikleri Tablo 16'da sunulmuştur.

Özellik	Type 346
Kullanım Platformu	Type 052C, Type 052D, Type 055 destroyerleri ve Type 001A uçak gemisi
Üretici	Nanjing Elektronik Teknolojisi Araştırma Enstitüsü (NRIET)
Çıkış Yılı / Hizmet	2004 (İlk versiyon)
Menzil	200-250 km Type 346, 400 km Type 346A +400 km Type 346B
Hedef Takip	Type 346 için; 200 hedef takip, 60-120 hedef izleme 6-12 hedefe eş zamanlı angajman
Görev Tipleri	Orta-uzun menzilli hava tehditleri, deniz hedefleri
Elektronik Harp Direnci	Type 346 Orta Type 346A Yüksek Type 346B Çok Yüksek

Tablo 16: Type 346 AESA Radarının Teknik Özellikleri



(c) Kara Platformları

(aa) SLC-7: Çin kaynaklarında geçen ve uzun menzilli kara/erken uyarı / anti-stealth amaçlı bir radar platformu olarak tanımlanmaktadır. Uçak, İHA, seyir füzesi, düşük-RCS değerine sahip hedeflere karşı geliştirilmiştir (Resim 30).



Resim 30: SLC-7 AESA Radarı

SLC-7 AESA radarının teknik özellikleri Tablo 17’de sunulmuştur.

Özellik	SLC-7
Kullanım Platformu	Bölgesel/ulusal IADS (Integrated Air Defence System) HQ-9, HQ-22
Üretici	Nanjing Research Institute of Electronic Technology (NRIET)
Çıkış Yılı / Hizmet	2016’dan sonra
Menzil	Hava hedefleri: ~400-450 km
Hedef Takip	~800 hedef tespit, ~200 hedef izleme
Görev Tipleri	HQ-9 ve HQ-22 Hava Savunma Sistemi bataryalarına katmanlı hava savunma desteği.
Elektronik Harp Direnci	Yüksek
Ağ Entegrasyonu	HQ-9 ve HQ-22 Hava Savunma Sistemleri ile tam uyumlu
Taşınabilirlik	Mobil, kısa sürede kurulum ve konuşlandırma

Tablo 17: SLC-7 AESA Radarının Teknik Özellikleri



(ab) **YLC-8E:** Düşük frekanslı anti-stealth erken uyarı maksadıyla geliştirilmiş AESA radarıdır. HQ serisi bataryalara hedef verisi sağlar. CETC (China Electronics Technology Group Corporation) tarafından geliştirilmiştir (Resim-31).



Resim 31: YLC-8E AESA Radarı

YLC-8E AESA radarının teknik özellikleri Tablo 18’de sunulmuştur.

Özellik	YLC-8E
Kullanım Platformu	HQ-9, HQ-16, HQ-22 Hava Savunma Sistemleri
Üretici	CETC (China Electronics Technology Group)
Çıkış Yılı / Hizmet	2016’dan sonra
Menzil	Hava hedefleri: ~300-500 km
Hedef Takip	~800 hedef tespit, ~200 hedef izleme
Görev Tipleri	HQ-9, HQ-16 ve HQ-22 Hava Savunma Sistemi bataryalarına Hava sahası gözetleme, İHA/seyir füzesi tespiti, saha hava savunma ağlarına hedef bilgisi sağlama
Elektronik Harp Direnci	Orta-Yüksek
Ağ Entegrasyonu	HQ-9, HQ-16 ve HQ-22 Hava Savunma Sistemleri ile tam uyumlu
Taşınabilirlik	Mobil, kısa sürede kurulum ve konuşlandırma

Tablo 18: YLC-8E AESA Radarının Teknik Özellikleri



(4) Fransa**(a) Hava Platformları**

RBE2-AA: Dassault Rafale savaş uçakları için geliştirilen ve modern hava muharebesinin gereksinimleri için tasarlanmış bir X-band AESA radar sistemidir. RBE2-AA, çok sayıda küçük T/R (transmit/receive) modülünün bağımsız olarak çalışması sayesinde hem tarama hızını hem de elektronik harp (ECM/ ECCM) dayanımını önemli ölçüde artırmaktadır. Bu mimari, radarın aynı anda farklı görevleri — uzun menzilli hava arama, çok hedef izleme, hedef sınıflandırma ve yüksek çözünürlüklü yer/deniz görüntüleme (SAR/DBS) gibi — eşzamanlı olarak yürütmesine olanak tanımaktadır (Resim 32).

Envanterlerinde Rafale savaş uçağı bulunan Fransa, Mısır, Katar, Hindistan, Yunanistan ve Hırvatistan’da kullanılmaktadır.



Resim 32: RBE2-AA AESA Radarı

RBE2-AA AESA radarının teknik özellikleri Tablo 19’da sunulmuştur.

Özellik	RBE2-AA
Kullanım Platformu	Rafale savaş uçakları
Üretici	Thales Group
Çıkış Yılı / Hizmet	2012’ den sonra
Menzil	~200 km
Hedef Takip	40 hava hedefi, 8 hedefe angaje olma
Hava–Hava Yeteneği	Uzun menzil, çoklu hedef angajmanı
Hava–Yer Yeteneği	Gelişmiş SAR ile yer haritalama
LPI (Low Probability of Intercept) Görünürlük Olasılığı	Orta

Tablo 19: RBE2-AA AESA Radarının Teknik Özellikleri



Thales Firması tarafından RBE2-AA radarının bir üst modeli olan RBE2-XG radarının geliştirilmesi çalışmaları devam etmektedir.

(b) Deniz Platformları

Sea Fire: Thales tarafından geliştirilen dijital, çok amaçlı bir deniz AESA radarıdır. Dört sabit AESA paneliyle 360° kapsama sağlamak üzere tasarlanmıştır; görevleri arasında uzun menzilli 3D hava gözetimi, yüzey gözetimi, hava-deniz ateş kontrolü ve Aster füzeleri için atış kontrol desteği yer almaktadır (Resim 33).



Resim 33: Sea Fire AESA Radarı

Sea Fire AESA radarının teknik özellikleri Tablo 20’de sunulmuştur.

Özellik	Sea Fire
Kullanım Platformu	Fransız Deniz Kuvvetleri FDI tipi Fırkateynleri
Üretici	Thales Group
Çıkış Yılı / Hizmet	2021
Menzil	Hava Hedefleri +300 km Deniz Hedefleri +80 km
Hedef Takip	800 hedef takip 10–16 hedefe eş zamanlı angajman (atış kontrol sistemleri ile birlikte)
Görev Tipleri	Orta-uzun menzilli hava tehditleri, deniz hedefleri
Elektronik Harp Direnci	Yüksek

Tablo 20: Sea Fire AESA Radarının Teknik Özellikleri



(c) Kara Platformları

Ground Master: Thales firmasının ürettiği kara platformları için geliştirilmiş AESA Radarıdır. GM60 (kısa menzil), GM200 (orta menzil) ve GM400 (uzun menzil) şeklinde varyantları bulunmaktadır. Sistemler hareket halinde konuşlandırılabilir, çoklu görev (hava gözetleme, yüzey gözetleme) yapabilmektedir (Resim 34). Bu radarlardan **GM60 radarının hareket halindeyken** kullanılabilme özelliğinin bulunduğu vurgulanmaktadır.



Resim 34: Ground Master AESA Radarı (GM200 Modeli)

Ground Master AESA radarının teknik özellikleri Tablo 21’de sunulmuştur.

Özellik	Ground Master
Kullanım Platformu	GM 60 V/SHORAD / M-SHORAD Hava Savunma Sistemleri GM200/400 SAMP/T/SAMP/T-NG Hava Savunma Sistemleri
Üretici	Thales Group
Çıkış Yılı / Hizmet	2016’dan sonra (GM60 için)
Menzil	GM60 80 km GM200 250 km GM400 450 km
Hedef Takip	Açık kaynaklarda net rakamlar verilmemiştir.
Görev Tipleri	Kullanıldıkları Hava Savunma Sistemi bataryalarına Hava sahası gözetleme, İHA/seyrir füzesi tespiti, saha hava savunma ağlarına hedef bilgisi sağlama
Elektronik Harp Direnci	Orta-Yüksek



Özellik	Ground Master
Ağ Entegrasyonu	V/SHORAD / M-SHORAD ve AMP/T/SAMP/T-NG Hava Savunma Sistemleri ile tam uyumlu
Taşınabilirlik	Mobil, kısa sürede kurulum ve konuşlandırma GM60 Modelinde hareket halinde kullanım

Tablo 21: Ground Master AESA Radarının Teknik Özellikleri

(5) Almanya

(a) Deniz Platformları

TRS-4D: Almanya merkezli HENSOLDT tarafından geliştirilen çok fonksiyonlu AESA radar sistemidir. Sistem esas olarak deniz platformları için tasarlanmıştır ve 3D gözetleme, hedef tespiti ve atış kontrol görevlerini aynı anda yürütebilmektedir (Resim 35).



Resim 35: TRS-4D AESA Radarı

TRS-4D AESA radarının teknik özellikleri Tablo 22’de sunulmuştur.

Özellik	TRS-4D
Kullanım Platformu	Fırkateyn, korvet, diğer savaş gemileri
Üretici	HENSOLDT
Çıkış Yılı / Hizmet	2015 sonrası
Menzil	Hava Hedefleri 250 km Deniz Hedefleri 10-30 km
Hedef Takip	1000 hedef takip
Görev Tipleri	Orta menzilli hava tehditleri, deniz hedefleri



Özellik	TRS-4D
Elektronik Harp Direnci	Orta Yüksek

Tablo 22: TRS-4D AESA Radarının Teknik Özellikleri

(b) Kara Platformları

TRML-4D: HENSOLDT tarafından geliştirilen mobil AESA radarıdır. Sistem, küçük RCS'li, alçak irtifa ve hızlı manevra eden hedeflere karşı yüksek tespit/izleme kabiliyeti sağlamak üzere tasarlanmıştır (Resim 36).



Resim 36: TRML-4D AESA Radarı

TRML-4D AESA radarının teknik özellikleri Tablo 23'te sunulmuştur.

Özellik	TRML-4D
Kullanım Platformu	TRML-4D en başta Diehl Defence'in IRIS-T SLM/SLX Hava Savunma Sistemlerine entegre edilmek üzere tasarlanmıştır.
Üretici	HENSOLDT
Çıkış Yılı / Hizmet	2020
Menzil	Hava Hedefleri 250 km Jet uçakları 120 km Füzeler 60 km
Hedef Takip	1.500 hedefe kadar eşzamanlı tespit/izleme
Görev Tipleri	Kullanıldıkları Hava Savunma Sistemi bataryalarına Hava sahası gözetleme, hava savunma ağlarına hedef bilgisi sağlama



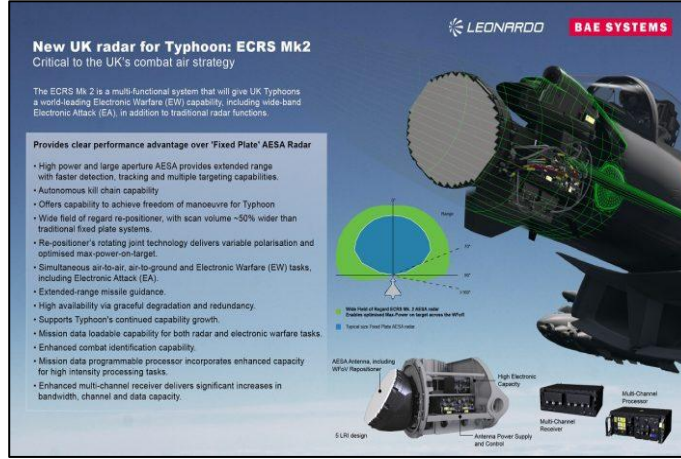
Özellik	TRML-4D
Elektronik Harp Direnci	Orta-Yüksek
Ağ Entegrasyonu	IRIS-T SLM/SLX Hava Savunma Sistemleri ile uyumlu
Taşınabilirlik	Mobil, kısa sürede kurulum ve konuşlandırma

Tablo 23: TRML-4D AESA Radarının Teknik Özellikleri

(6) İngiltere

(a) Hava Platformları

CAPTOR-E / ECRS: BAE / Leonardo UK liderliğindeki Euroradar Konsorsiyumu (HENSOLDT, Indra vb. ortaklar da bulunmaktadır) tarafından Eurofighter Typhoon uçakları için geliştirilmiş AESA radar sistemidir (Resim 37).



Resim 36: CAPTOR-E / ECRS AESA Radarı

CAPTOR-E / ECRS radarının ilk versiyonları MK1 olarak adlandırılmış, gelişmiş versiyona ise MK2 adı verilmiştir.

CAPTOR-E / ECRS Mk2 AESA radarının teknik özellikleri Tablo 24'de sunulmuştur.

Özellik	CAPTOR-E / ECRS Mk2
Kullanım Platformu	Eurofighter Typhoon uçakları
Üretici	BAE / Leonardo UK liderliğinde konsorsiyum
Çıkış Yılı / Hizmet	Mk2 2020'ler
Menzil	Savaş Uçakları ~250 km Seyir füzeleri ~30-120 km



Özellik	CAPTOR-E / ECRS Mk2
	Küçük İHA'lar, dolanan mühimmat ~3-30 km (Rakamlar kesin rakamlar olmayıp açık kaynak tahminlerine dayanmaktadır)
Hedef Takip	Açıklama bulunmamaktadır
Hava-Hava Yeteneği	Uzun menzil, çoklu hedef angajmanı
Hava-Yer Yeteneği	Gelişmiş SAR ile yer haritalama
LPI (Low Probability of Intercept) Görünürlük Olasılığı	Yüksek
Elektronik Harp Direnci	Yüksek

Tablo 24: CAPTOR E / ECRS Mk2 AESA Radarının Teknik Özellikleri

(b) Deniz Platformları

SAMPSON: BAE Systems tarafından geliştirilen ve Royal Navy'nin Type 45 destroyerlerinde görev yapan çok fonksiyonlu bir AESA deniz radarıdır. Hava gözetleme, hedef takibi ve Sea Viper füzeleri için atış kontrol verisi sağlama kapasitesine sahiptir (Resim 37).



Resim 37: SAMPSON AESA Radarı entegre edilmiş Type 45 Destroyeri

SAMPSON AESA radarının teknik özellikleri Tablo 25'te sunulmuştur.

Özellik	SAMPSON
Kullanım Platformu	Type 45 destroyerleri
Üretici	BAE Systems
Çıkış Yılı / Hizmet	2008-2010 yılları



Özellik	SAMPSON
Menzil	Hava Hedefleri 400 km Deniz Hedefleri 50-150 km (büyük hedefler) Deniz hedefleri 20-40 km (küçük botlar)
Hedef Takip	+500 hedef takip (Tahmini) 8-16 hedef eşzamanlı angajman (PAAMS/Sea Viper deniz hava savunma füzeleri için)
Görev Tipleri	Orta menzilli hava tehditleri, deniz hedefleri
Elektronik Harp Direnci	Orta Yüksek

Tablo 25: SAMPSON AESA Radarının Teknik Özellikleri

(7) Güney Kore

HANWHA Systems AESA Radarı: Güney Kore Firması olan HANWHA Systems tarafından KF-21 Boramae 4.5+ nesil savaş uçağı için geliştirilmiş bir AESA radardır. Yaklaşık 1000 T/R modülüne sahiptir. Kesin değerler açık kaynaklarda yer almamakla birlikte 150+ km kadar menzilin olduğu değerlendirilmektedir. 2016 yılında başlanan çalışmalar neticesinde ilk prototip radar 2020 yılında tanıtılmış, 2025 yılında ise seri üretime geçilmiştir

Hanwha Systems tarafından geliştirilen radar, Güney Kore'nin savunma sanayisinde önemli bir adım olup, ülkenin ilk yerli AESA radarı olma özelliğine sahiptir (Resim 38).



Resim 38: HANWHA Systems AESA Radarı

HANWHA Systems AESA radarının teknik özellikleri Tablo 26’da sunulmuştur.

Özellik	HANWHA Systems AESA Radarı
Kullanım Platformu	KF-21 Boramae Savaş Uçağı
Üretici	HANWHA Systems





Özellik	HANWHA Systems AESA Radarı
Çıkış Yılı / Hizmet	2020
Menzil	~150+ km
Hedef Takip	20+ hedefi eş zamanlı izleme ve birden fazla hedefe angajman
Hava–Hava Yeteneği	Çoklu hedef tespiti, takip, angajman
Hava–Yer Yeteneği	SAR haritalama, ISAR (Inverse SAR) ile deniz hedefi görüntüleme, GMTI (Ground Moving Target Indicator) ile kara hedefi tespiti
LPI (Low Probability of Intercept) Görünürlük Olasılığı	Orta seviye
Elektronik Harp Direnci	Karıştırmaya karşı dirençli

Tablo 26: HANWHA Systems AESA Radarının Teknik Özellikleri

Güney Kore tarafından FA-50 hafif savaş uçakları için ESR-500A ve L-SAM Hava Savunma Sistemleri için geliştirilme aşamasında olan AESA radarları bulunmaktadır.

(8) İsrail

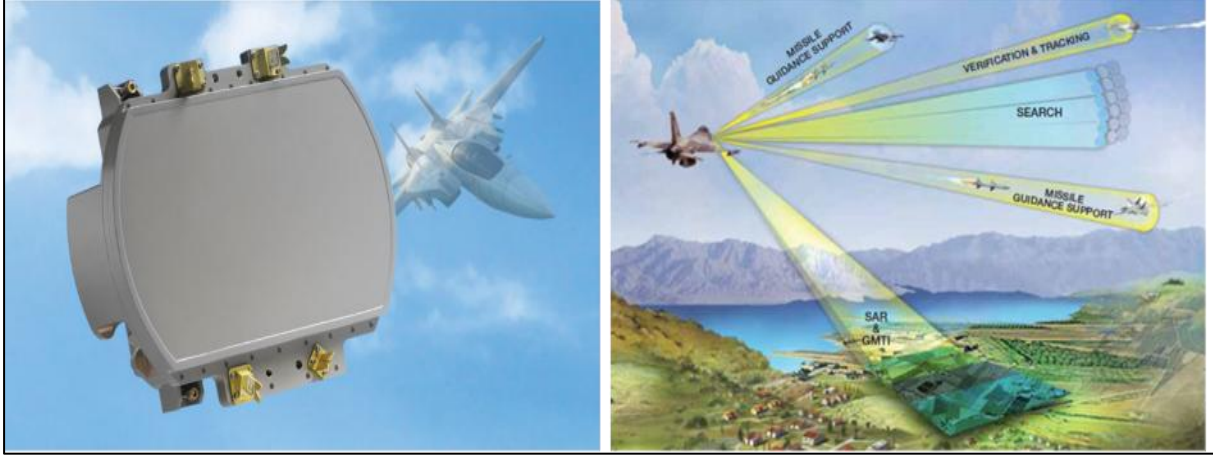
İsrail, özellikle ELTA Systems (Israel Aerospace Industries – IAI’nin bir parçası) üzerinden dünyanın en gelişmiş AESA radarlarını üreten ülkelerden biridir. Hem hava platformları hem kara ve deniz sistemleri için farklı AESA radarları geliştirmiştir.

(a) Hava Platformları

EL/M-2052: Elta 2052 veya EL/M-2052, savaş uçaklarının hava-hava muharebe ve saldırı görevlerini desteklemesi için tasarlanmış bir X-Band havadan Aktif Elektronik Taramalı Dizi (AESA) atış kontrol radarıdır. Tamamen katı hal aktif faz dizilimi teknolojisine dayanmaktadır. Radar, aynı anda 64 hedefi takip edebilen çoklu hedef izleme yeteneklerine sahiptir.



Radarın, SAR yetenekleri arasında yüksek çözünürlüklü haritalama, yer/yüzey hareketli hedef tespiti ve Gerçek Işın Haritalama (RBM), Doppler Işın Keskinleştirme (DBS) ve Hava-Yer Mesafe Ölçümü (AGR) kullanılarak takip yer almaktadır. Radar sistemi ayrıca, hedef sınıflandırma yetenekleri (RS, ISAR) de dahil olmak üzere uzun menzilli hedef tespiti ve takibi de sağlamaktadır (Resim 39).



Resim 39: EL/M-2052 AESA Radarı

EL/M-2052 AESA radarının teknik özellikleri Tablo 27’de sunulmuştur.

Özellik	EL/M-2052
Kullanım Platformu	Hindistan Hava Kuvvetleri'nin SEPECAT Jaguar ve HAL Tejas uçaklarına entegre edilmiştir. Ayrıca, F-15, MiG-29, Mirage 2000 ve FA-50 gibi uçaklarda da kullanılabilir.
Üretici	Elta Systems
Çıkış Yılı / Hizmet	2017
Menzil	Hava hedefleri 200 km Hava Yer Hedefleri 300 km
Hedef Takip	64 hedefe kadar eşzamanlı takip
Hava-Hava Yeteneği	Uzun menzilli çoklu hedef tespiti ve angajmanı
Hava-Yer Yeteneği	Yüksek çözünürlüklü haritalama, hareketli yüzey hedef tespiti ve izleme
LPI (Low Probability of Intercept) Görünürlük Olasılığı	Gelişmiş seviye
Elektronik Harp Direnci	Yüksek

Tablo 27: EL/M-2052 AESA Radarının Teknik Özellikleri



(b) Deniz Platformları

EL/M-2248 MF-STAR: İsrail'in Elta Systems tarafından geliştirilen modern bir AESA (Aktif Elektronik Taramalı Dizi) radar sistemidir ve özellikle deniz platformları için tasarlanmıştır. Modern deniz savaşı ihtiyaçları gözetilerek tasarlanmış olup; hava gözetleme, yüzey izleme, balistik ve seyir füzesi tespiti, hedef takip ve füze yönlendirme görevlerini tek bir entegre sistemde birleştirmektedir.

MF-STAR, özellikle korvetten fırkateyne kadar değişen sınıflarda kullanılabilir. İsrail Sa'ar sınıfları, Hindistan'ın bazı muhrip ve fırkateyn projeleri ile uçak gemisi entegrasyon örnekleri bulunmaktadır. Sistem, farklı gemi tiplerine uyarlanabilen modüler konfigürasyonlara sahiptir (Resim 40).



Resim 40: EL/M-2248 MF-STAR AESA Radarı

EL/M-2248 MF-STAR AESA radarının teknik özellikleri Tablo 28'de sunulmuştur.

Özellik	EL/M-2248 MF-STAR
Kullanım Platformu	İsrail Donanmasının Sa'ar 5 ve Sa'ar 6 sınıfı korvetleri, Hindistan Donanmasının Kolkata ve Visakhapatnam sınıfı muhripleri, Nilgiri sınıfı fırkateynler, INS Vikrant uçak gemisi
Üretici	Elta Systems
Çıkış Yılı / Hizmet	2011 Sonrası
Menzil	Hava Hedefleri 450 km, Deniz Hedefleri 25-100 km Kara hedefleri 200-250 km
Hedef Takip	200-1000 hedef eşzamanlı (Hava hedefleri) 50-200 hedef (deniz yüzeyi hedefleri) 50-150 hedef (kara hedefleri)



Özellik	EL/M-2248 MF-STAR
Görev Tipleri	Hava, deniz ve kara gözetleme, füze yönlendirme ve hava savunma sensörü görevlerini tek bir sistemde birleştirmektedir.
Elektronik Harp Direnci	Yüksek

Tablo 28: EL/M-2248 MF-STAR AESA Radarının Teknik Özellikleri

(c) Kara Platformları

(aa) EL/M-2084 MMR: ELTA Systems tarafından üretilen, İsrail'e ait kara tabanlı mobil 3D AESA çok görevli radar sistemidir. Radar hem uçak hem de balistik hedefleri tespit edip takip edebilmekte ve füze önleme veya topçu hava savunması için ateş kontrol rehberliği sağlayabilmektedir.

Hem hava gözetleme (uçak, helikopter, İHA, seyir füzesi) hem de düşman topçu/roket/mortar atışlarının tespiti ve hava savunma fırlatma/atış kontrol görevleri için kullanılmaktadır. Radar, Iron Dome, David's Sling ve Barak hava-savunma zincirleriyle entegrasyon için ana sensörlerden birisidir.

Radarın çeşitli versiyonları İsrail, Kanada Ordusu, Çek Cumhuriyeti Ordusu ve Slovak Silahlı Kuvvetleri dahil olmak üzere çok sayıda ordu tarafından kullanılmaktadır (Resim 41).



Resim 41: EL/M-2248 MF-STAR AESA Radarı

EL/M-2084 MMR AESA radarının teknik özellikleri Tablo 29'da sunulmuştur.

Özellik	EL/M-2084 MMR
Kullanım Platformu	Iron Dome, David's Sling ve Barak Hava Savunma Sistemlerinin ana radar sensörü
Üretici	Elta Systems
Çıkış Yılı / Hizmet	2010 sonrası



Özellik	EL/M-2084 MMR
Menzil	Hava Hedefleri +350 km Topçu ve Havan 50-100 km
Hedef Takip	Net bir veri olmamakla birlikte yüzlerce hedefi eşzamanlı takip edebildiği değerlendirilmektedir.
Görev Tipleri	Kullanıldıkları Hava Savunma Sistemi bataryalarına Hava sahası gözetleme, hava savunma ağlarına hedef bilgisi sağlama, düşman topçu bataryalarının yerini tespit,
Elektronik Harp Direnci	Yüksek
Ağ Entegrasyonu	Iron Dome, David's Sling ve Barak Hava Savunma Sistemleri ile uyumlu
Taşınabilirlik	Mobil, kısa sürede kurulum ve konuşlandırma

Tablo 29: EL/M 2084 MMR AESA Radarının Teknik Özellikleri

(ab) Green Pine EL/M-2080S: Elta Systems tarafından geliştirilen kara-tabanlı, taşınabilir AESA radarıdır. Ana görevi taktik/balistik füze (TBM) erken uyarı, izleme ve Arrow ailesi anti-füze bataryalarına atış kontrol desteği sağlamaktır.

Açık kaynaklarda Green Pine radarının ~2.000–2.300 adet TRM'ye sahip olduğu bilgisi yer almaktadır. S modelinde ise daha küçük ama daha güçlü TRM'lerle daha yüksek verim sağlanmaktadır. (Resim 42).



Resim 42: Green Pine EL/M-2080S AESA Radarı

Green Pine EL/M-2080S AESA radarının teknik özellikleri Tablo 30'da sunulmuştur.



Özellik	Green Pine EL/M 2080S
Kullanım Platformu	Arrow (Arrow 2 / Arrow 3) Balistik Füze Savunma (TBMD) sisteminin ana radar sensörü
Üretici	Elta Systems
Çıkış Yılı / Hizmet	2012 sonrası
Menzil	Füzelere karşı +500 km (Green Pine), +800 km (Green Pine S)
Hedef Takip	30–40 hedefi aynı anda izleyebilir (Green Pine), S modeli 50-60 hedef
Görev Tipleri	Balistik Füze Erken Uyarı, Arrow gibi önleyici sistemlere hedef bilgisi sağlama.
Elektronik Harp Direnci	Yüksek
Ağ Entegrasyonu	Arrow (Arrow 2 / Arrow 3) Balistik Füze Savunma (TBMD) Sistemleri ile uyumlu
Taşınabilirlik	Mobil, kısa sürede kurulum ve konuşlandırma

Tablo 30: Green Pine EL/M 2080S AESA Radarının Teknik Özellikleri

d. Ülkemizde AESA Radar Çalışmaları

(1) **ASELSAN:** Firmanın internet sitesinde bulunan AESA radar ailesi ürünleri şunlardır:

(a) Hava Platformları

(aa) **MURAD 100-A:** MURAD 100-A, sahip olduğu AESA mimarisi sayesinde çevik elektronik hüzmeye yönlendirme kabiliyetine sahip olan ve eşzamanlı hava-hava / hava-yer angajman yetenekleri sunabilen son teknoloji çok fonksiyonlu atış kontrol radarıdır (Resim43).

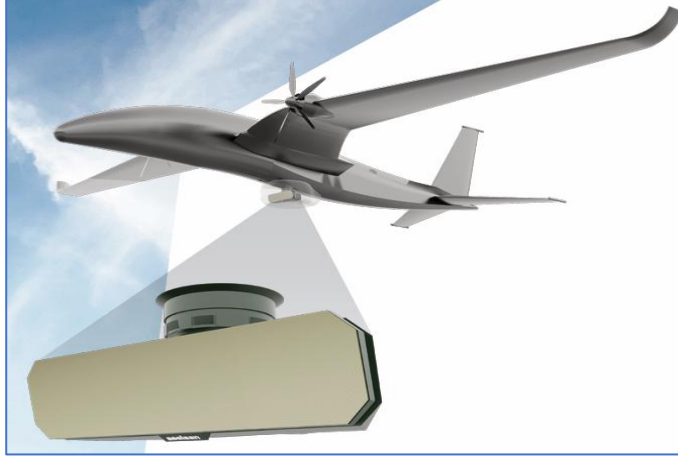


Resim 43: Murad 100-A AESA Radar



2024 yılında F-16 ve Bayraktar AKINCI TİHA'da test edilmiştir. Sonraki yıllarda Bayraktar KIZILELMA ve KAAN Millî Muharip Uçak platformlarına entegrasyonu için çalışmaların devam ettiği ifade edilmektedir.

(ab) FULMAR 500-A: FULMAR 500-A Sistemi, İHA'lara ve insanlı keşif gözetleme uçaklarına entegre edilebilen, kapsamlı su üstü resmini oluşturmak üzere deniz arama, su üstü/hava/kara hedefleri tespit/takip işlevlerine, su üstü ISAR görüntüleme ve yeryüzü SAR görüntüleme işlevlerine sahip, Aktif Elektronik Taramalı Dizi (AESA) yapıda çok fonksiyonlu keşif gözetleme radar sistemidir (Resim 44).

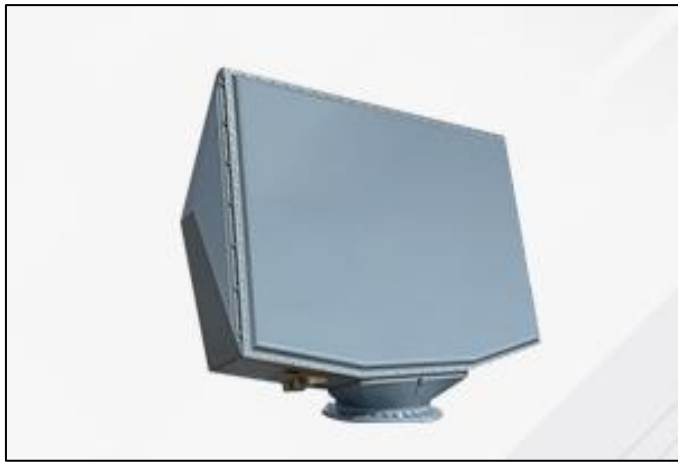


Resim 44: Fulmar 500-A AESA Radar

FULMAR 500-A Sistemi deniz kuvvetlerinin gündüz/gece ve tüm hava koşullarındaki görev ihtiyaçlarını karşılamak üzere geliştirilmiştir. Sistemin bir önceki versiyonu (FULMAR 200-A) ile test uçuşları 2024 yılı içerisinde Bayraktar TB2 ile gerçekleştirilmiştir. FULMAR 500-A radarının kara versiyonu da bulunmaktadır.

(b) Deniz Platformları:

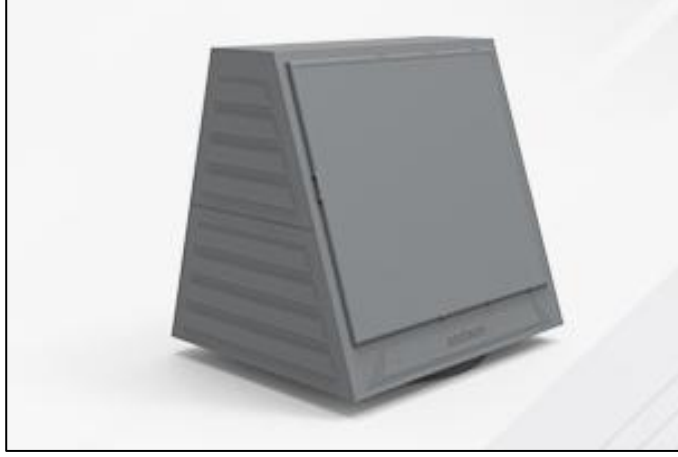
(aa) CENK 200-N: ASELSAN tarafından üretilen 3 boyutlu, çoklu huzmeli deniz platformu CENK 200-N arama radarı, kısa menzilden orta menzile kadar kullanılabilen, hava ve suüstü gözetlemesi ile hedef tespiti yapabilen aktif faz dizili anten yapısına sahip bir radardır (Resim 45).



Resim 45: Cenk 200-N AESA Radar



(ab) **CENK 300-N:** 2 eksen elektronik taramalı AESA deniz platformu radarı CENK 300-N GaN tabanlı katı hal gönderme/alma modülleri, gelişmiş Sayısal İşaret İşleme mimarisi, darbe sıkıştırma özelliği, çoklu hedef takibi, elektronik hüzmeye stabilizasyonu, kısa reaksiyon süresi, gelişmiş elektronik korunma teknikleri ile modern ve özgün mimariye sahiptir (Resim 46).



Resim 46: Cenk 300-N AESA Radar

(ac) **CENK 400-N:** 300-N modelinin S-Bandında çalışan versiyonudur. (Resim 47).

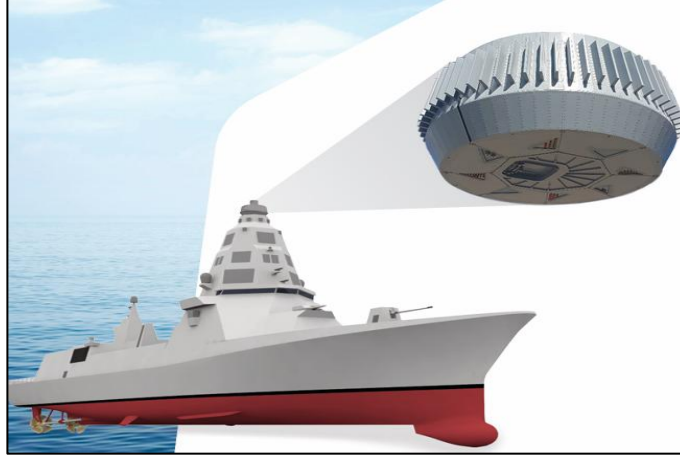


Resim 47: Cenk 400-N AESA Radar

(ad) **CENK 500-N, 600-N, 700-N SSR:** Çok Fonksiyonlu Radar Sistemleri, katı hal gönderme/alma modülleri, gelişmiş Sayısal İşaret İşleme mimarisi, darbe sıkıştırma özelliği, çoklu hedef takibi, elektronik hüzmeye stabilizasyonu, kısa reaksiyon süresi, gelişmiş elektronik korunma teknikleri ile özgün çözümü son teknoloji ile buluşturan, GaN temelli 2 eksen AESA radar sistemleridir.

500-N X-bandında çalışmakta ve su üstü hedeflerine karşı 150 km menzili bulunmaktadır. 600-N ise S-bandında çalışmakta ve 450 km menzili bulunmaktadır (Resim 48).





Resim 48: Cenk 500, 600, 700-N AESA Radar Ailesi

(c) Kara Platformları

(aa) STR 400-G: ASELSAN tarafından özgün olarak geliştirilmiş olan STR 400-G radar sistemi, görüş hattında bulunan havan, top ve roket mermilerinin tespit ve takibini yaparak mermilerin tahmini çıkış ve düşüş yerlerini hesaplayan, 360° yanca kapsamaya sahip, AESA mimaride bir radar sistemidir. Balistik yeteneklere ek olarak, eş zamanlı mini/mikro İHA tespit, takip ve sınıflandırma yeteneği de mevcuttur (Resim 49).



Resim 49: STR 400-G AESA Radar

(ab) ALP 100-G: Çok Fonksiyonlu AESA teknolojisine sahip Alçak İrtifa Radar Sistemi ALP 100-G, ASELSAN'ın ölçeklenebilir S-Bant radar ailesinin bir üyesidir. ALP 100-G, kara konuşlu hava savunma sistemleri için ana arama radarı ve uzun menzilli radarlar için tamamlayıcı (gap filler) olarak görev alabilmektedir (Resim 50).





Resim 50: ALP 100-G AESA Radar

(ac) ALP 300-G: ALP 300-G, uzun menzilli erken ihbar amaçlı geliştirilen, yeni nesil S-Bant AESA radardır. ALP 300-G hava soluyan hava hedeflerinin yanı sıra Balistik Füzelerin ve görünmezlik teknolojisine sahip/ düşük RKA'lı hedeflerin uzun menzilden tespit ve takip kabiliyetine de sahiptir (Resim 51).

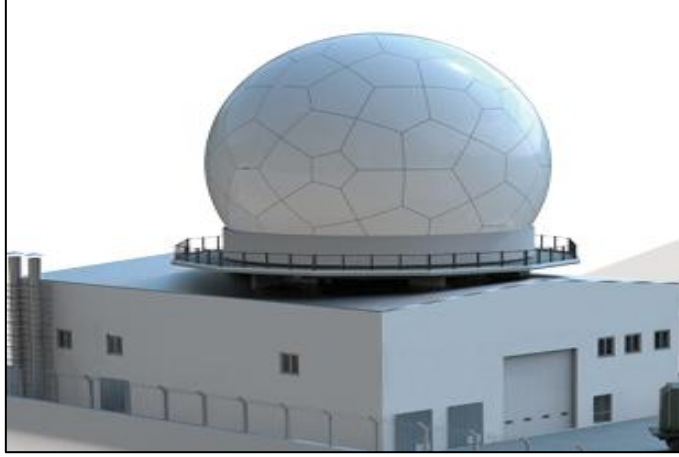


Resim 51: ALP 300-G AESA Radar

(ad) ALP 500-G: ASELSAN'ın ölçeklenebilir S-Bant erken ihbar radar ailesinin sabit bir mevzide konuşlanacak en uzun menzilli arama radarı olan ALP 500-G, çok fonksiyonlu AESA teknolojisine ve sayısal hüzme oluşturma anten mimarisine sahip yeni nesil bir radardır (Resim 52).

ALP serisi radarlar (mobil versiyonuna ERALP ismi verilmektedir) SİPER Hava Savunma Sistemlerinde kullanılan AESA tipi radar ailesidir.





Resim 52: ALP 500-G AESA Radar

(ae) **KALKAN 050-G:** Yakın ve Orta Hava Savunma Sistemleri için özel olarak tasarlanmıştır. Radar Savaş uçağı, Helikopter, Taktik İHA/SİHA, Mini/mikro İHA/SİHA başta olmak üzere güncel hava ve kara hedefleri tespit ve takip edebilen, ASELSAN AKREP 100-G Atış Kontrol Radarı ile uyumlu çalışan, AESA (aktif elektronik taramalı anten dizisi) anten yapısına sahip bir hava savunma radar sistemidir (Resim 53).

HİSAR A Hava Savunma Sisteminde kullanıldığı bilinmektedir.



Resim 53: KALKAN 050-G AESA Radar

(af) **KALKAN 200-G:** KALKAN 200-G, çeşitli hava savunma komuta kontrol sistemlerinde ana arama radarı olarak kullanılabildiği gibi kendi başına çalışma özelliğine de sahiptir. ASELSAN tarafından üretilen 3 boyutlu, çoklu hüzmeli mobil arama radarı, kısa menzilden orta menzile kadar kullanılabilen, hava gözetlemesi ile hedef tespiti yapabilen bir AESA radardır (Resim 54).

HİSAR O+ Hava Savunma Sisteminde kullanıldığı bilinmektedir.





Resim 54: KALKAN 200-G AESA Radar

(ag) MAR: MAR, ASELSAN tarafından geliştirilen araç-üstü kısa menzil 3D AESA hava savunma radar sistemidir. Radar X-band frekansında çalışır ve yüksek çözünürlük gerektiren kısa mesafe tespitleri için uygundur. 70–100 km civarında tespit menziline sahip olduğu ifade edilmektedir.

MAR radar, HİSAR A ve A+ Hava Savunma Sistemlerinde kullanılmaktadır.

(af) FULMAR: FULMAR, ASELSAN tarafından geliştirilen orta menzil 3D hava savunma radar sistemidir. Radar, S-band AESA teknolojisini kullanır ve çoklu hedef takibi yapabilir. FULMAR, 150–200 km menzil aralığında hava hedeflerini tespit edebilir ve takip edebilir.

Sistem, HİSAR-O+ bataryalarında orta menzil radar katmanı olarak görev yapar ve atış kontrol sistemlerine hedef verisi sağlamaktadır.

(ag) FULMAR 500-A: Hava platformlarında da kullanılabilen versiyonu olan bu radar, ASELSAN tarafından geliştirilen orta-uzun menzil, araç-üstü/treyler taşınabilir AESA 3D hava savunma radarıdır.

Radar S-band frekansında çalışmakta ve uzun menzil ve kötü hava koşullarında daha güvenli tespit sağlayabilmektedir. Araç üstü taşınabilen bu radar HİSAR O+ Blok 2 Hava Savunma Sistemlerinde kullanılmaktadır.

(2) METEKSAN

Retinar AESA: Meteksan Savunma tarafından üretilen Retinar AESA Radar, ilk defa IDEF 2023 Fuarında sergilenmiştir. Retinar AESA'nın mini/mikro İHA'ların yanında, Kamikaze İHA ve Taktik İHA'ları da tespit ve takip edebildiği ifade edilmektedir. Ayrıca sistemin tasarım yapısı ve düşük güç tüketimi sayesinde sabit olarak kritik tesislerin ve sınırların korunması dışında, araç entegrasyonu ile hareket halindeki araçlar üzerinde de kullanılabileceği belirtilmektedir (Resim 55).





Resim 55: RETİNAR AESA Radar

e. AESA Radarlarının Pazar Büyüklüğü

Özelikle radar teknolojisindeki gelişmeler incelendiğinde, AESA radarları (Active Electronically Scanned Array), bugün hem askeri hem de sivil radar pazarında en hızlı büyüyen ve en çok tercih edilen radar teknolojisi olduğu görülmektedir.

2025 itibarıyla yeni geliştirilen savaş uçaklarının %90'ı, yeni savaş gemilerinin %80'i ve yeni kara radarlarının %60'ı AESA tabanlı olması, bu radarlarının ne kadar önemli olduklarının bir göstergesi olarak kabul edilebilir.

Küresel bazda rakamlara bakıldığında AESA Radarlarının pazar büyüklüğünün 2025 yılında 10.29 milyar ABD dolarına ulaştığı ve yıllık %7,16 bileşik büyüme oranıyla 2030 yılında 14.54 milyar ABD dolarına çıkacağı tahmin edilmektedir (Resim 56).



Resim 56: AESA Radar Pazar Büyüklüğü (Kaynak: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/electronically-scanned-array-radar-market>)

Hatta diğer bazı kaynaklarda, AESA radarlarının 2030 yılındaki pazar payının 17-20 milyar ABD dolarına ulaşacağına dair analizler de bulunmaktadır.





5. Değerlendirmeler ve Sonuç

a. Radar, 2'nci Dünya Savaşı'ndan itibaren askeri dengeyi değiştiren kritik bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır. Başlangıçta yalnızca düşman uçak ve gemilerini tespit etmeye odaklanan radar sistemleri, zamanla elektronik harp, komuta kontrol, istihbarat ve silah sistemleri ile bütünleşerek modern muharebe alanının ayrılmaz bir parçası hâline gelmiştir.

b. Özellikle son yirmi yılda radar teknolojisi; sensör mimarisi, yüksek hızlı sinyal işleme algoritmaları ve gelişmiş malzeme teknolojilerindeki ilerlemeler sayesinde **AESA (Active Electronically Scanned Array)** sistemlerine doğru köklü bir dönüşüm geçirmiştir. AESA radarlar;

**Devamı ve Detaylı Bilgi İçin
Bize Ulaşın**

www.alpusam.com

