



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
CUMHURBAŞKANLIĞI

**SAVUNMA SANAYİİ
BAŞKANLIĞI**

**KIZILÖTESİ/GÖRÜNÜR
DALGABOYUNDA ALGILAMA ODAK
TEKNOLOJİ AĞI
(OTAĞ)**

SONUÇ RAPORU

2024



KIZİLÖTESİ/GÖRÜNÜR
DALGABOYUNDA ALGILAMA
OTAĞ SONUÇ RAPORU

2024





BAŞKAN N SÖZÜ

Savunma Sanayii Başkanlığı olarak, savunma sanayii kapsamında yürütmekte olduğumuz çalışmaların ülkemiz için ifade ettiği anlamın ve değerin bilinciyle, Türkiye Yüzyılı vizyonuna hizmet edecek faaliyetlerimizi baŐarıyla yürütüyoruz. Bu kapsamda savunma sanayiimiz tarafından son yıllarda geliştirilen birçok platform, sistem ve alt sistem, ulusal ve uluslararası arenada büyük baŐarılarla imza atmaktadır.

Bu doğrultuda hedeflerimiz; günümüzün ve geleceğin teknolojilerine yönelik kapsayıcı ve istikrarlı gelişimi sürdürmek, savunma ve güvenlik güçlerimizin etkinliğini ve caydırıcılığını artıracak tedarik projelerini, dışa bağımlılığı asgari seviyeye indirecek şekilde yürütmek ve böylece, Türk Savunma Sanayii ekosistemini güçlendirmektir. 12. Kalkınma Planı ve Başkanlığımızın 2024-2028 Stratejik Planı doğrultusunda, amacımız geleceğe yön verecek teknoloji ve yetenekleri millî imknlarla geliŐtirmektir. Bu kapsamda özellikle ar-ge odaklı çalışmalar ve fark yaratacak teknolojik çalıŐmalarımız büyük bir titizlikle ve hızla devam etmektedir.

Geleceğin teknolojilerinin takibi ve belirlenmesine yönelik Ar-Ge ve Teknoloji Yönetimi faaliyetlerinde ortak aklın kullanımına, üst düzey iş birliğine ve koordinasyona büyük önem veriyoruz. Bu kapsamda yürütmekte olduğumuz Geleceğin Harekât Ortamını Şekillendirecek Teknolojiler (GHOST) Çalıştayı ile geleceğe yönelik yatırım ve araştırma yapılması gereken savunma teknolojilerinin belirlenmesini hedefliyoruz. Çalıştay sonuçlarının değerlendirilmesi ile gelecek dönemde başlatacağımız Odak Teknoloji Ağı (OTAĞ) konuları belirlenmekte, bu konulara yönelik OTAĞ faaliyetleri ile yakın ve uzak vadeli hedefleri içeren teknoloji bazlı yol haritaları hazırlanmakta ve teknoloji alanlarındaki gelişimi takip edilmektedir. Böylece savunma sektörümüzde yer alan aktörlerimiz içinde bir gelecek perspektifi Savunma Sanayii Başkanlığımız tarafından ortaya konulmaktadır.

Günümüzde halen, değişen ve şekillenen harekât ortamında savunma ve güvenlik alanları için, platformlarımızda yer alan görüntüleme sistemlerinde kullanılan kızılötesi ve görünür dalga boyunda algılama teknolojisi kritik öneme sahiptir. Geleceğin harekât ortamında otonom platformların öneminin artacağı öngörülmekte olup, bu süreçte algılama yapan sensörler ve yardımcı birimler kritikliğini korumaya devam edecektir. Kızılötesi algılama teknolojisine hakim olmak gelişmişlik ve üstünlük göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Sınırlı sayıda ülke ve üreticinin elinde bulunmakta olan bu teknoloji sahip olan ülkenin ulusal koruması altında yer almaktadır.

Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama alanında; Kızılötesi Dalgaboyunda Algılama, Yardımcı Birimler, Uydu-Uzay Uygulamaları, Görünür Dalgaboyunda Algılama ile Kızılötesi Karşı Tedbirler ve Algılama başlıklarında belirlenen teknolojiler kapsamında hazırlanan bu Yol Haritasının, gelecek hedeflerimiz doğrultusunda başlatılacak Ar-Ge projelerinde öneli bir referans teşkil ederek büyük katkılar sunacağına inanıyorum.

Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama Sonuç Raporu'nun ülkemiz savunma sanayii sektörü için hayırlı olmasını diliyor, Yol Haritası'nın hazırlanmasında emeği geçen Ar-Ge ve Teknoloji Yönetimi Daire Başkanlığı personeli başta olmak üzere, tüm Başkanlık personeline, değerli katkılarını esirgemeyen tüm akademisyen, kurum, kuruluş ve sektör temsilcilerine göstermiş oldukları çaba için teşekkür ediyor, çalışmanın sektörümüz ihtiyaçlarının giderilmesinde kılavuz rolü üstlenmesini temenni ediyorum.

Prof. Dr. Haluk Görgün
BAŞKAN

HAZIRLAYANLAR	
AD SOYAD	KURUM / KURULUŞ
Dr. Ayşe Göl TOKTAŞ	SSB
Begüm ÇINAR BAM	ASELSAN
Bilge İNCEL	SSB
Dr. Çağla AKGÜN	ASELSAN
Dr. Melek KELEŞ ÖZGÜL	SSB
Mustafa ÖZEN	SSB
Dr. Özgür KARCI	TUSAŞ
Rağıp YURTTAŞ	TÜBİTAK BİLGEM
Sevi KÜÇÜKBEYCAN	SSB
Dr. Süleyman Umut EKER	ASELSAN

*Hazırlayanlar alfabetik olarak listelenmiştir.

İÇİNDEKİLER

1. AMAÇ	11
2. KAPSAM	12
3. TANIMLAR VE KISALTMALAR	13
3.1. Tanımlar	13
3.2. Kısaltmalar	16
4. YÖNETİCİ ÖZETİ	19
5. 2024 KIZILÖTESİ/GÖRÜNÜR DALGABOYUNDA ALGILAMA OTAĞ FAALİYETLERİ	21
5.1. Yönlendirme Komitesi	22
5.2. Odak Çalışma Grupları	23
5.3. Toplantılar	25
6. ÖNCELİKLENDİRME METODOLOJİSİ VE ANALİZ YÖNTEMLERİ	27
6.1. Çalışma Metodolojisi	27
6.2. Önceliklendirme Metodolojisi	28
6.3. Önceliklendirme Analiz Yöntemi	33
6.4. Güncelleme Yöntemi	34
7. KIZILÖTESİ/GÖRÜNÜR DALGABOYUNDA ALGILAMA TEKNOLOJİSİ	35
7.1. Kızılötesi Dalgaboyunda Algılama Odak Teknoloji Grubu (OÇG-1)	35
7.2. Yardımcı Birimler Odak Çalışma Grubu (OÇG-2)	56
7.3. Uydu Uzay Uygulamaları, Görünür Dalgaboyunda Algılama Odak Çalışma Grubu (OÇG-3)	72
7.4. Kızılötesi Karşı Tedbirler ve Algılama Odak Çalışma Grubu (OÇG-4)	83
8. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	97
9. SAVUNMA SANAYİİ BAŞKANLIĞI TEKNOLOJİ KAZANIM ÇALIŞMALARI	100
REFERANSLAR	102
EKLER	104
EK-1 KATILIMCI LİSTESİ	104

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. OTAĞ İzlenen Yöntem	20
Şekil 2. Lansman Toplantısı Katılımcı Sayıları	21
Şekil 3. Çalışma Takvimi	22
Şekil 4. Yönlendirme Komitesi	23
Şekil 5. Odak Çalışma Grupları	23
Şekil 6. Odak Çalışma Grupları Katılımcı Sayısı	24
Şekil 7. Teknoloji Konu Öneri Sayısı	25
Şekil 8. Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ Toplantı Takvimi	25
Şekil 9. OTAĞ Faaliyeti Katılımcı Bilgisi	26
Şekil 10. Önceliklendirme Metodolojisi Akış Şeması	28
Şekil 11. Ana Kriterler ve Öznitelikler	29
Şekil 12. DEMATEL Yönteminde Kullanılan Etki Ölçeği ve DEMATEL Adımları	30
Şekil 13. AHP Yöntemi Adımları	31
Şekil 14. TOPSIS Adımları	32
Şekil 15. Teknoloji Konu Dağılımları	34
Şekil 16. Elektromanyetik Tayf (spektrum) [4]	35
Şekil 17. Kızılötesi Algılama Sisteminin Şematik Gösterimi [5]	36
Şekil 18. Kızılötesi Algılama Sisteminin Ana Bileşenleri (Termal Dedektörler)	36
Şekil 19. Kızılötesi Algılama Sisteminin Ana Bileşenleri (Foton Dedektörler)	37
Şekil 20. Kızılötesi Dedektör (Sensör ve Okuma Devresi)	37

Şekil 21. Sensör Üzerinde Yer Alan Piksel Yapısı Elektriksel Kontaklar ve İndiyum Toplar	38
Şekil 22. Kızılötesi Dedektör Teknolojileri	39
Şekil 23. Atmosferik Geçirgenliğin Dalgaboyuyla Değişimi	42
Şekil 24. Kızılötesi Dedektör Pazarı [6]	44
Şekil 25. Algılayıcı Malzeme Geliştirme Sürecinde Kullanılan Cihaz	46
Şekil 26. Süperörgü Kızılötesi Dedektör Takımı	49
Şekil 27. SWIR Kızılötesi Dedektör Takımı	51
Şekil 28. MCT Odak Düzlem Dizini ile Tümüleştirilmiş Okuma Devresi Yapısı	57
Şekil 29. Optik Üretim İş Akışı	63
Şekil 30. NIR GYT Çalışma Prensibi	65
Şekil 31. GYT Alt Bileşenleri	66
Şekil 32. Kızılötesi Verinin Görüntüye Dönüşümü İçin Gerekli İşlemler	68
Şekil 33. Yüksek Çözünürlüklü (GSD= 0.3 m) WorldView-3 Yer Gözlem Uydusu (sol) ile Yüksek Şerit Genişlikli (290 km) Sentinel-2 hiperspektral uydusu (sağ) [10], [11]	73
Şekil 34. Sırasıyla CCD, CMOS-TDI ve 2D-CMOS Si Tabanlı Sensörlere Örnekler [12]	74
Şekil 35. “Zaman Geciktirmeli Biriktirme” (TDI) Adımı ile Dinamik Görüntüleme [13]	75
Şekil 36. Hamamatsu Firmasının Geliştirmiş Olduğu CCD ve CMOS Özelliklerini Birleştiren Algılayıcı Mimarisi [17]	78
Şekil 37. KÖ Füze – Hava Platformu Angajmanı [19]	83
Şekil 38. Farklı Atmosferik Durumlarda Hava Platformunun Görünümü [22]	86
Şekil 39. Klasik Lazer (sol) ve QCL (sağ) Çalışma Prensibi [23]	90
Şekil 40. Yakın Vade Teknoloji Konu Önerileri	98
Şekil 41. Uzak Vade Teknoloji Konu Önerileri	99

TABLORAR LİSTESİ

Tablo 1. Odak Çalışma Grupları	24
Tablo 2. Çalışma Metodolojisi	27
Tablo 3. AHP Yönteminde Kullanılan Önem Ölçeği	31
Tablo 4. Değerlendirme Kriter Seti	33
Tablo 5. Termal Dedektör Çeşitleri, Kullanılan Malzemeler, Avantajları ve Dezavantajları.	40
Tablo 6. Foton Dedektör Çeşitleri, Kullanılan Malzemeler, Avantajları ve Dezavantajları	41
Tablo 7. Kızılötesi Dalgaboyu İsimleri	42
Tablo 8. Bazı Uygulama ve Ortam Koşulları için MWIR ve LWIR Bandlarının Karşılaştırılması	43
Tablo 9. OÇG-1 Yakın Vade Konu Önerileri	53
Tablo 10. OÇG-1 Uzak Vade Konu Önerileri	55
Tablo 11. Stirling ve JT Soğutucuların Karşılaştırması	59
Tablo 12. Gece görüş sistemlerinin ana ve ara nesillerinin özellikleri	65
Tablo 13. GYT Teknolojisi Dünya Mevcut Durumu	67
Tablo 14. OÇG-2 Yakın Vade Konu Önerileri	70
Tablo 15. OÇG-2 Uzak Vade Konu Önerileri	71
Tablo 16. Uyduların Kütle Özelliklerine Göre Sınıflandırılması	73
Tablo 17. OÇG-3 Yakın Vade Konu Önerileri	81
Tablo 18. OÇG-3 Uzak Vade Konu Önerileri	82
Tablo 19. OÇG-4 Yakın Vade Konu Önerileri	94
Tablo 20. OÇG-4 Uzak Vade Konu Önerileri	95

1. AMAÇ

Savunma Sanayii Başkanlığı Stratejik Planı çerçevesinde, teknoloji kazanımı çalışmaları bütüncül bir yaklaşımla planlanmakta, takip edilmekte ve desteklenmektedir. Teknoloji yol haritaları, her yıl belirlenen teknoloji alanlarında; üniversiteler, araştırma kuruluşları, ihtiyaç makamları, sanayi ve KOBİ'lerden ilgili temsilcilerin katılımıyla gerçekleştirilen Odak Teknoloji Ağları (OTAĞ) faaliyetleri neticesinde ortaya çıkmaktadır.

Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ ve Teknoloji Bazlı Yol Haritası Çalışması, Savunma Sanayii Başkanlığı Ar-Ge ve Teknoloji Yönetimi Daire Başkanlığımız öncülüğünde, Milli Savunma Bakanlığı, Emniyet ve Güvenlik Güçlerimizin temsilcileri, ülkemizin önde gelen kurum, kuruluş, üniversite ve araştırma enstitülerinden konu uzmanları ve Savunma Sanayii Başkanlığımızın ilgili Daire Başkanlıklarının katılımı ile oluşan geniş katılımlı bir takım çalışması ile gerçekleştirilmiştir.

Savunma alanında kullanılan platformların, her türlü hava ve ortam koşullarında keşif, gözetleme, hedefleme, ikaz, takip ve imha gibi kritik görevlerini etkin olarak icra edebilmeleri için en yüksek teknolojiye sahip algılayıcılar ile donatılmış olmaları gerekmektedir.

Kızılötesi algılama, gece ya da düşük ışıklı ortamlarda hareket eden düşman birliklerini veya araçlarını tespit edebilmeyi sağlamaktadır. Pek çok savunma aracı, silah ve askeri teçhizatın, belirgin kızılötesi izleri bulunur. Kızılötesi algılama teknolojisi bu araçların tespitini sağlayarak düşmanın gizlenme çabalarını zorlaştırır.

Ayrıca, uçaklar, insansız hava araçları (İHA'lar) ve füzeler gibi havadan saldırı sistemlerinde kullanılan kızılötesi sensörler, düşman hedeflerinin konumunu belirleyerek hedeflerin etkili bir şekilde imha edilmesine yardımcı olur. Hava savunma sistemlerinin, düşman uçaklarını veya füzelerini tespit etme ve izleme kabiliyetini artırır.

Bu nedenle Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama Teknolojisi her geçen gün etkinliğini ve önemini arttırmakta olup kullanımı yaygınlaşmaktadır. 2017 yılında Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama Teknolojisi Yol Haritası oluşturulmuştur. 2023 yılında başlatılan OTAĞ çalışmaları ile mevcut Yol Haritası güncellenmiş olup Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ Sonuç Raporu oluşturulmuştur.

2. KAPSAM

Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ faaliyetleri 01 Haziran 2023 tarihinde gerçekleştirilen Lansman ile başlatılmıştır. Lansman toplantısına 16 kurum/kuruluş, 21 üniversite ve araştırma merkezi ile 23 firmadan toplam 193 kişi katılım sağlamıştır. OTAĞ faaliyetleri;

- Kızılötesi Dalgaboyunda Algılama,
- Yardımcı Birimler
- Uydu Uzak Uygulamaları ve Görünür Dalgaboyunda Algılama,
- Kızılötesi Karşı Tedbirler ve Algılama,

4 Odak Çalışma Grubu ile 26 kurum/kuruluş/firma, 12 üniversite ve SSB temsilcilerinden oluşan 118 kişinin katılımı ile yürütülmüştür.

Gerçekleştirilen çalışmalar ve toplantılar sonucunda 51 teknoloji konusu belirlenerek önceliklendirilmiştir. Yapılan önceliklendirme yöntemi ile bu teknolojilerin yakın ve uzak vadede kazanımına yönelik plan oluşturulmuştur.

Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ çalışmalarının çıktısı olarak Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ Sonuç Raporu hazırlanmıştır.

“2024 Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ Faaliyetleri” bölümünde, çalışmalar kapsamında teşkil edilen Yönlendirme Komitesi, OÇGler ve gerçekleştirilen toplantılara ilişkin bilgi verilmektedir.

Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ çalışma sürecinde izlenen metotlar ve aşamalar, Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ Sonuç Raporu’nun “Önceliklendirme Metodolojisi ve Analiz Yöntemleri” bölümünde özetlenmektedir. Bununla birlikte, OÇGlerde belirlenen teknoloji konularının kritiklik dahil belirli kriterler, mevcut imkan ve kabiliyetler ile yapılan önceliklendirme çalışması değerlendirilmiştir.

“Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama Teknolojisi” bölümünde, OÇG konularına yönelik genel bilgiler verilmiş, teknoloji konularının Dünyadaki ve Türkiye’deki mevcut durumu değerlendirilmiş, pazar analizi ve teknoloji konularının önceliklendirilmesi yapılmıştır.

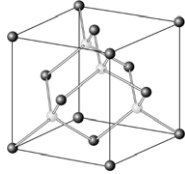
“Sonuç ve Değerlendirme” bölümünde, Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ çalışmaları özetlenmiş, OÇGler tarafından belirlenmiş öne çıkan teknoloji konularına ve ülkemizde Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama Teknolojileri alanında hedeflenen yetkinliğe ulaşılması için yapılan değerlendirmelere yer verilmiştir.

“Savunma Sanayii Başkanlığı Teknoloji Kazanım Çalışmaları” bölümünde öncelikli teknoloji konularının kazanımına yönelik yaklaşımlar ve SSB destek yöntemlerine yönelik bilgi verilmiştir.

3. TANIMLAR VE KISALTMALAR

3.1. TANIMLAR

Açık Çevrim	:	Isıl akışkanın kullanıldıktan sonra atmosfere salınarak sürecin devamında yeniden ısı akışkana ihtiyaç duyulan çevrimdir.
Bilimsel CMOS	:	Halihazırda bulunan CMOS teknolojisinin bir ileri seviyesidir. Düşük gürültü seviyesi, yüksek resim hızı, geniş dinamik aralık, yüksek çözünürlük gibi özellikler taşımaktadır.
Çift Band	:	Aynı aygıtta MWIR ve LWIR gibi iki farklı bandta algılama kabiliyetidir.
Çift Renk	:	Aynı aygıtta, aynı bandta iki farklı dalgaboyunda algılama kabiliyetinin olmasıdır.
Çinko Benzeri (Zinc Blende) Yapı	:	İç içe geçmiş iki yüzey merkezli kübik (Face Centered Cubic, FCC) yapısından oluşan kristal yapıdır. Kristal yapıyı oluşturan elementler (CdZnTe için Cd ve Zn ile Te) iç içe geçmiş yüzey merkezli kübik kafes (FCC) yapısındadır. Her atoma (örneğin Cd) en yakın konumdaki zıt tipteki (örneğin Te) 4 atom düzgün dört yüzlü oluşturacak şekilde konumlanmıştır.



CdTe birim hücre yapısı (Siyah noktalar Cd atomları, beyaz noktalar Te atomlarını göstermektedir.)

Çözünürlük	:	Yatay ve dikey düzlemlerdeki piksel sayısıdır.
Dedektör	:	Okuma devresiyle tümleştirilmiş ve tabanı inceltilmiş sensör
Dedektör Formatı	:	Sensör üzerinde yatayda ve dikeyde bulunan piksel sayısıdır. Çözünürlük olarak da ifade edilebilir.
Dinamik Aralık	:	Ölçülebilen maksimum elektriksel sinyalin ölçülebilen minimum sinyale (gürültü) oranıdır.
Ekzitans	:	Işık kaynağının birim alana yaydığı ışık miktarıdır.
Elektromanyetik Radyasyon (Işın)	:	Enerjinin uzayda dalgalar ya da tanecikler (foton) halinde yayılmasıdır.
Elektron Mobilitesi	:	Metal ya da yarı iletken malzemeler içerisinde, elektrik alan altında hareket eden elektronun hızının elektrik alana oranını ifade eder.
Epikatman	:	Atomik katmanların üst üste büyütülmesi ile oluşan kristal yapıdır.
Epitaksi	:	İnce dilim alttaşlar (~330µm) üzerinde kristal yapıda yarı iletken ince film tabakaların büyütülmesine “EPITAXY” (“epi”=on, “taxy”=arrangement) denir.
Fotodiyot	:	Işığa duyarlı p-n ve p-i-n yapısındaki yarı iletken aygıttır.
Foton	:	Işığın temel birimi ve tüm elektromanyetik radyasyon için temel parçacıktır.
FOV	:	FOV, görüntüleme bileşeninin algılayabileceği nesne veya hedef düzleminin açısal genişliğidir.

Hiperspektral	:	Dar bir band aralığında 100 veya daha fazla dalgaboyunu ayrıştırabilen sistemler, hiperspektral görüntüleme sistemi olarak adlandırılırlar.
İletken	:	Valans yörüngesindeki elektron sayısı 4'den küçük olan maddeler iletkenidir. (Bakır)
Kalkogenit Cam (Chalcogenite Glass)	:	En az bir kalkogenit malzeme (Sülfür, Tellür, Selenyum) içeren amorf optik malzemelerdir.
Kapalı Çevrim	:	Aynı ısı akışkanının kullanıldığı çevrimdir.
Kesim Dalgaboyu	:	Sensörün algılama yaptığı dalgaboyu aralığının bitiş değeridir.
Kıyıcı (chopper)	:	Dedektöre düşen radyasyonu belirli bir frekansda modüle eden birimdir.
Kriyojenik Sıcaklık	:	Yaklaşık 120K (-153°C) altında kalan sıcaklık bölgesidir.
Kuantum Kuyusu	:	Elektronların iki boyutta hapsedildiği potansiyel kuyu.
Kuantum Verimliliği	:	Foton elektron dönüşüm oranıdır.
MRTD	:	MRTD, kızılötesi görüntüleme bileşenlerinin görüntü kalitelerinin nicelendirilmesinde kullanılan bir parametredir. Bu parametre ölçülürken, statik hedef olarak 'dörtlü çubuk' tipinde hedefler kullanılmaktadır. Bahse konu ölçüm gerçekleştirilirken, çubuklar arası mesafesi belli bir değerde olan bir hedef için, çubukların boşluklarından geçen siyah cisim ışıması ile hedef plakası arasındaki sıcaklık farkı sıfır değerinden kademeli olarak artırılmaktadır. Kullanıcının görüntüleme bileşeninden gelen hedef görüntüsünde hedefin detaylarını ilk fark edebildiği noktadaki sıcaklık farkı değerinin kaydedilmesi ile belirli bir çubuklar-arası mesafeye karşılık gelen MRTD değeri elde edilmektedir. Bahse konu testin bu sıcaklık farkını pozitif bir değerden azaltarak da gerçekleştirilmesi ve hedefin detaylarının ilk görünmez olduğu noktanın tespit edilmesi de mümkündür.
Multispektral	:	Dar bir band aralığında 100'e kadar dalgaboyunu ayrıştırabilen sistemler, multispektral görüntüleme sistemi olarak adlandırılırlar.
NETD	:	Gürültü seviyesine karşılık gelen sıcaklık farkıdır. Görüntüleme bileşeninin dedektör çıkışında oluşan tepe (peak) sinyal seviyesinin gürültünün RMS değerine oranı bire eşit olduğu (SNR = 1) durumda hedef ile arka plan arasındaki sıcaklık farkıdır. NETD parametresi genellikle kameranın sıcaklık çözünürlüğünü nicelendirmektedir.
Okuma Devresi	:	Üretilen sensör dizinleriyle hibrit olarak tümleştirilecek ve sensör piksellerinin yarattığı elektriksel sinyali okuyup bu sinyali uygun forma çevirip işleyecek olan elektronik kartlara aktaran tümleşik devredir.
Örgü Uyumu	:	Farklı atomların veya bileşiklerin kristal periyodisetelerinin arasındaki uyumdur.

Piksel	:	Dedektör üzerinde format sayısına göre tekrar eden en küçük yapı birimidir.
Piksel Adımı	:	Komşu iki pikselin merkezleri arasındaki mesafe olarak tanımlanır.
Piroelektrik	:	Üzerine düşen radyasyon ile sıcaklığın ölçülmesidir.
Resim Hızı	:	Kameranin saniyede yaptığı çekim sayısıdır.
Sensör	:	Pikselleri işlenmiş ancak Okuma Devresi ile henüz tümleştirilmemiş algılayıcı birim.
Soğuk Kalkan	:	Kızılötesi dedektörler üzerine hedefin dışından veya OMT yapısını iç duvarlarından gelen istenmeyen kızılötesi ışımaları engellemek amacıyla kullanılan yapıdır.
Taban	:	Algılayıcı malzemelerin üzerinde büyütüldüğü kristal malzemedir. Aynı zamanda alttaş olarak da ifade edilir.
Tek kristal	:	Malzemenin tamamının tek yönelimde olması durumudur.
Termal Kontrast	:	Hedef sıcaklığındaki 1 Kelvin artış sonucu foton yayılımındaki değişimin yüzdesi olarak tanımlanır.
Yalıtkan	:	Yalıtkan maddelerin atomlarının valans yörüngelerinde 8 elektron bulunur. Bu tür yörüngeler doymuş yörünge sınıfına girdiği için elektron alıp verme gibi bir istekleri yoktur. Bu sebeple de elektriği iletmezler. (Plastik, cam)
Yarı iletken	:	Yarı iletkenlerin valans yörüngelerinde 4 elektron bulunmaktadır. Bu yüzden yarı iletkenler iletkenlerle yalıtkanlar arasında yer almaktadır. Elektronik elemanlarda en yaygın olarak kullanılan yarı iletkenler Germanyum ve Silisyumdur.
Zaman Geciktirmeli Biriktirme	:	Aynı sahneden gelen görüntünün geciktirilmeli ve kısa süreli olarak birden fazla piksel üzerine düşürülmesi ve sonunda piksel verilerinin toplanarak sinyal seviyesinin artırılmasıdır.

3.2. KISALTMALAR

µm	:	Mikrometre
°C	:	Santigrat Derece
ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
AHP	:	Analytic Hierarchy Process
AI	:	Artificial Intelligence (Yapay Zeka)
a-Si	:	Amorf Silisyum
BiSb	:	Bizmut Antimonür
CCD	:	Charge Coupled Device (Yük Bağlısımlı Cihaz)
CIS	:	CMOS Imaging Sensor (CMOS Görüntüleme Sensörü)
CMOS	:	Complementary Metal Oxide Semiconductor (Tümleyici Metal Oksit Yarı İletken)
Cu	:	Bakır
CZT	:	Cadmium Zinc Telluride (Kadmiyum Çinko Tellür, CdZnTe)
ÇKKV	:	Çok Kriterli Karar Verme
DEMATEL	:	Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
DITI	:	Digital Infrared Thermal Imaging (Dijital KÖ Termal Görüntüleme)
DIRCM	:	Directional Infrared Counter Measures (Yönlendirilmiş Kızılötesi Karşı Tedbir Sistemleri)
EAR	:	Export Administration Regulations (İhracat Yönetimi Düzenlemeleri)
ED	:	Elektronik Destek
EO	:	Elektro Optik
e-SWIR	:	Extended Short Wave Infrared (Genişletilmiş Kısa Dalga Kızılötesi)
EYDEP	:	Endüstriyel Yetkinlik Değerlendirme ve Destekleme Programı
FLIR	:	Forward Looking Infrared
FOV	:	Field of View (Görüş Açısı)
FPA	:	Focal Plane Array (Odak Düzlem Dizini)
FPN	:	Fixed Pattern Noise (Sabit Gürültü Örüntüsü)
Ga	:	Galyum
GaAs	:	Galyum Arsenür
Ge	:	Germanyum
GPS	:	Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
GSD	:	Ground Sampling Distance
GYT	:	Görüntü Yoğunlaştırıcı Tüpler
Hg	:	Cıva
HgCdTe	:	Mercury Cadmium Telluride (Cıva Kadmiyum Tellür)
HOT	:	High Operating Temperature (Yüksek Çalışma Sıcaklığı)
HTCC	:	High Temperature Co-Fired Ceramic (Yüksek Sıcaklıkta Eş Pişirilmiş Seramik)
IDDCA	:	Integrated Detector Dewar Cooler Assembly (Dedektör Opto-Mekanik Taşıyıcı Soğutucu Birimi)
InAs	:	İndiyum Arsenür

InAsSb	:	İndiyum Arsenür Antimonür
InGaAs	:	İndiyum Galyum Arsenür
InGaP	:	İndiyum Galyum Fosfat
InP	:	İndium Phosphide (İndiyum Fosfür)
InSb	:	İndiyum Antimonür
IrSi	:	İridyum Silisid
ITAR	:	International Traffic in Arms Regulations (Uluslararası Silah Trafiği Mevzuatı)
İHA	:	İnsansız Hava Araçları
JT	:	Joule-Thomson
K	:	Kelvin
KANAL	:	Kuantum Aygıtları ve Nanofotonik Araştırma Laboratuvarında
KÖ	:	Kızılötesi
KPG	:	Kötü Piksel Giderimi
LED	:	Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
LiTaO₃	:	Lityum Tantalat
LWIR	:	Long Wave Infrared (Uzun Dalga Kızılötesi)
MBE	:	Molecular Beam Epitaxy (Moleküler Işın Epitaksisi)
MCT	:	Mercury Cadmium Telluride (Cıva Kadmiyum Tellür, HgCdTe)
MEMS	:	Mikro-Elektro-Mekanik Sistemler
ML	:	Machine Learning (Makine Öğrenmesi)
MRTD	:	Minimum Resolvable Temperature Difference (Ayırt Edilebilir En Düşük Sıcaklık Farkı)
MWIR	:	Midwave Infrared (Orta Dalga Kızılötesi)
NETD	:	Noise Equivalent Temperature Difference (Gürültü Eşdeğer Sıcaklık Farkı)
NIR	:	Near Infrared (Yakın Kızılötesi)
NiCr	:	Nikel Krom
nm	:	<u>Nanometre</u>
OMT	:	Opto-Mekanik Taşıyıcı
PDG	:	Piksel Düzensizlik Giderimi
PbS	:	Kurşun Sülfür
PbSe	:	Kurşun Selen
PbSnTe	:	Kurşun Kalay Tellür
Pt₂Si	:	Platinyum Silisid (α fazı)
PtSi	:	Platinyum Silisid
T2SL	:	Tip II Süperörgü
QCL	:	Quantum Cascade Laser (Kuantum Çağlayan Lazer)
QDIP	:	Quantum Dot Infrared Photodetector (Kuantum Nokta Kızılötesi Fotodedektör)
QWIP	:	Quantum Well Infrared Photodetector (Kuantum Kuyulu Kızılötesi Fotodedektör)
RF	:	Radio Frequency (Radyo Frekansı)
RGB/NIR	:	Red, Green, Blue, Near Infrared
ROIC	:	Read-Out Integrated Circuit (Tümleşik Okuma Devresi)

Si	:	Silisyum
SNR	:	Signal to Noise Ratio (Sinyal Gürültü Oranı)
SWaP-C	:	Size, Weight, Power and Cost (Boyut, Ağırlık, Güç ve Maliyet)
SWIR	:	Short Wave Infrared (Kısa Dalga Kızılötesi)
TDI	:	Time Delayed Integration (Zaman Geciktirmeli Biriktirme)
TE	:	Termoelektrik
THS	:	Teknoloji Hazırlık Seviyesi
TOPSIS	:	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal
UHV	:	Ultra High Vacuum (Çok Yüksek Vakum)
VGf	:	Vertical Gradient Freeze (Dikey Gradyan Soğutma)
VLWIR	:	Very Long Wave Infrared (Çok Uzun Dalga Kızılötesi)
VOx	:	Vanadyum Oksit
VPE	:	Vapor Phase Expitaxy (Gaz Fazı Epitaksisi)
VWO	:	Vanadyum Tungsten Oksit
YBaCuO	:	Yitriyum Baryum Bakır Oksit
YETEN	:	Yetenek Envanteri

4. YÖNETİCİ ÖZETİ

Gelişen teknoloji ve sanayileşmenin etkisiyle tüm dünyada Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama Teknolojisi'nin kullanım alanları ve ihtiyacı önemli ölçüde artmıştır. Savunma Sanayii Başkanlığımızın son yıllarda yapmış olduğu projelerde önemli bir yer alan Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama Teknolojilerinde dünyadaki mevcut çalışmaları eş zamanlı takip ederek teknolojinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Böylece ilgili teknoloji alanlarında millilik ve yerlilik oranının arttırılması ile birlikte dışa bağımlılığın azaltılması hedeflenmiştir.

OTAĞ faaliyetleri “Kızılötesi Dalgaboyunda Algılama”, “Yardımcı Birimler”, “Uydu Uzay Uygulamaları ve Görünür Dalgaboyunda Algılama” ve “Kızılötesi Karşı Tedbirler ve Algılama” Odak Çalışma Grupları altında ele alınmıştır.

Savunma Sanayii Başkanlığı öncülüğünde başlatılan Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ faaliyeti ile bu teknoloji alanlarında ülkemizdeki ve dünyadaki mevcut durum incelenerek stratejik öneme sahip teknolojilere yönelik çalışmalar yürütülmüştür. Ayrıca kazanılması hedeflenen teknolojiler, kullanıcı makamların yetenek ihtiyaçları ile ilişkilendirilmiştir. Bu kapsamda oluşturulan Yol Haritası ile savunma, havacılık ve uzay alanlarında ülkemizin ihtiyaç duyduğu teknoloji konuları belirlenmiştir.

1 Haziran 2023 tarihinde lansmanı yapılan Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ çalışmaları ilgili kurum, kuruluş ve üniversitelerden konularında uzman toplam 193 üyenin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. 06 Haziran 2024 tarihinde Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ Kapanış Toplantısı'nda, OTAĞ faaliyetleri süresince belirlenen 51 konu önerisi önceliklendirme analizleri sonucunda yakın ve uzak vade olarak sunulmuştur.

OTAĞ çalışmaları kapsamında izlenen yöntem Şekil 1'de özetlenmiştir. Odak Çalışma Grubu faaliyetlerinin çıktısı olarak “Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ Sonuç Raporu” hazırlanmıştır.

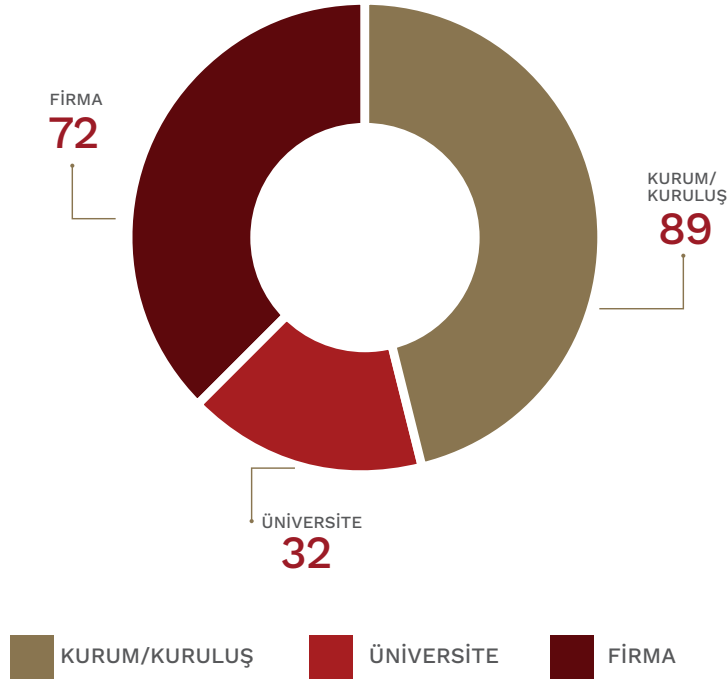


Şekil 1. OTAĞ İzlenen Yöntem

5. 2024 KIZILÖTESİ/GÖRÜNÜR DALGABOYUNDA ALGILAMA OTAĞ FAALİYETLERİ

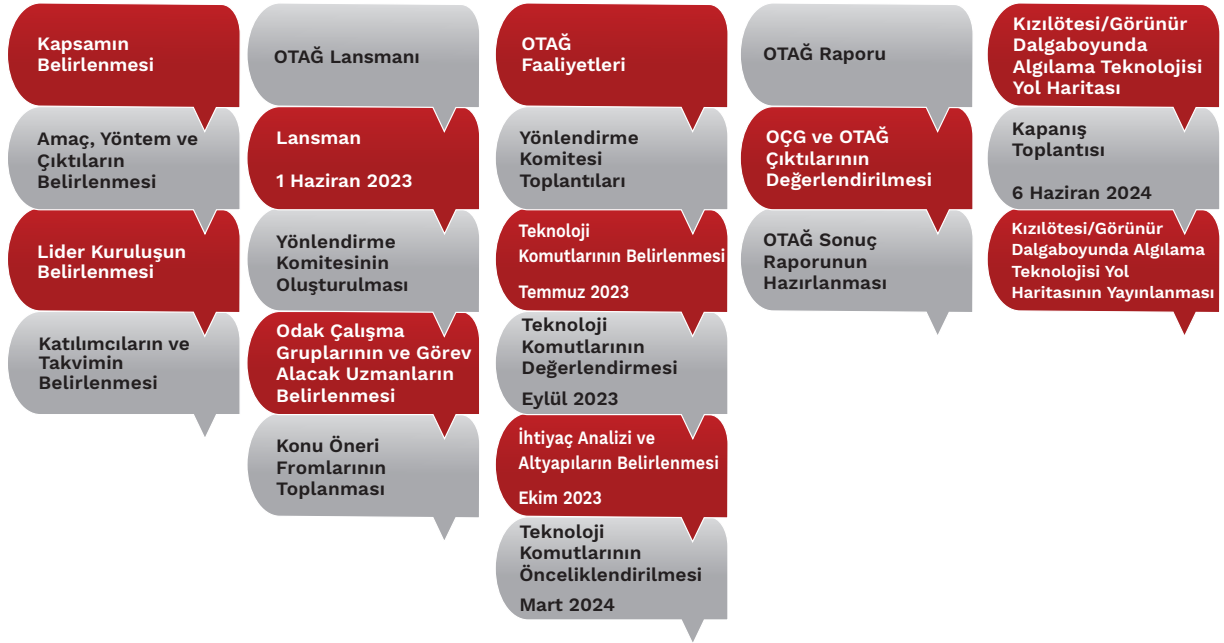
Savunma Sanayii Başkanlığı önderliğinde Kızılötesi/Görünür Dalgaboyu Teknolojileri Yol Haritası'nı güncellemek üzere 2023 yılı Nisan ayında başlanan çalışmalarda ASELSAN lider kuruluş olarak belirlenmiştir.

1 Haziran 2023 tarihinde lansman toplantısı gerçekleştirilmiş olup alan uzmanları ve ilgili paydaşlar bilgilendirilmiş ve çalışma kapsamında beklenen girdiler ve güncellemeler talep edilmiştir. Lansman toplantısına Kızılötesi/Görünür Dalgaboyu teknoloji kullanıcıları, üreticileri, bu konuda araştırma/geliştirme faaliyetleri yürüten üniversite ve kurum temsilcileri ile ihtiyaç makamı temsilcileri katılım sağlamıştır. Aşağıda yer alan Şekil 2'te katılımcı sayıları verilmiştir.



Şekil 2. Lansman Toplantısı Katılımcı Sayıları

Daha sonraki aşamada Odak Çalışma Grupları belirlenmiş, her bir grup ile ayrı ayrı düzenli toplantılar icra edilerek OTAĞ Sonuç Raporu ve Teknoloji Yol Haritası çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te çalışma takvimi yer almaktadır.



Şekil 3. Çalışma Takvimi

5.1. YÖNLENDİRME KOMİTESİ

Yönlendirme Komitesi; SSB temsilcileri, TSK temsilcileri, lider kuruluş ASELSAN temsilcileri, OÇG liderleri ve kurum/kuruluş temsilcilerinden oluşmaktadır.

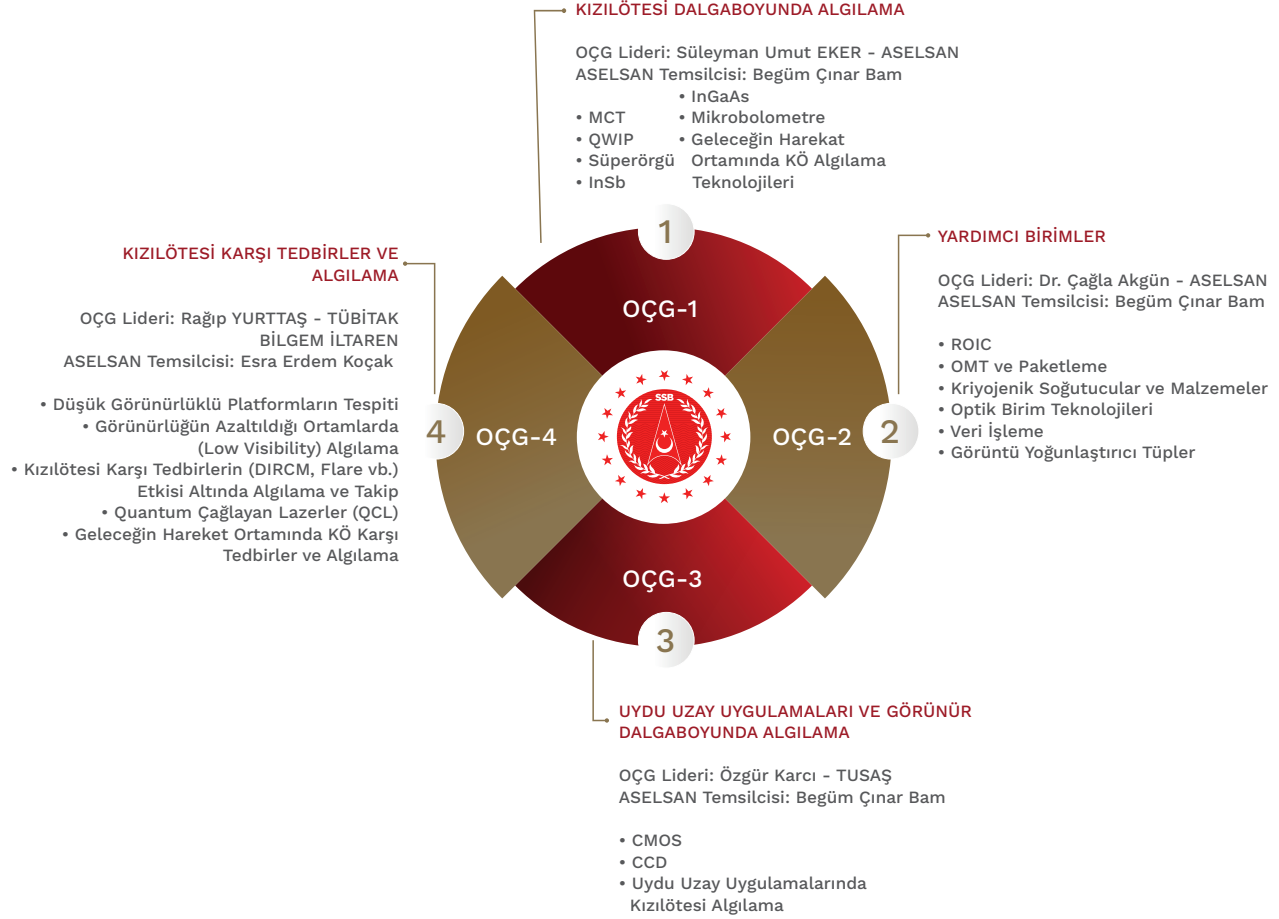
Yönlendirme Komitesi, tüm OÇG faaliyetlerini planlayan, yöneten, izleyen ve raporlayan bir komite olarak faaliyet göstermiş olup komite üyelerinin adları ile temsilcisi oldukları kurum ve kuruluş bilgisi Şekil 4'te yer almaktadır.

Bilge İNCEL Sevi KÜÇÜKBEYCAN Mustafa ÖZEN Dr. Ayşe Gül TOKTAŞ Dr. Melek Keleş ÖZGÜL Mustafa ÇELİK Alibey ÖZTÜRK Mehmet Fatih ENGİN	Alb. Mehmet Tuncay KAYA Fatma ÇATAL Duygu KOÇYİĞİT	Oğuz ALTUN Murat Celal KILIÇ Ömer Lütfü NUZUMLALI Dr. Süleyman Umut EKER Dr. Çağla AKGÜN Begüm ÇINAR BAM Esra ERDEM KOÇAK
Muherrram KALKAN Fulya SOLAK	Alb. Fatih TAHTALI Ütgm. Murat YAVIZ Ütgm. Osman Gökberk KAYGISIZ	Dr. Özgür KARCİ
Bnb. Bekir MANSIZ Tgm. Kadir EROL Tgm. Emrehan RENDA	Bnb. Serdar KIZILKAYA Şeref ÖCAL	Rağıp YURTTAŞ Mustafa SİVASLIĞİL
Alb. Orkun AĞRIOĞLU	J. Yarbay Alper TURNA J. Bnb. Serdar YILMAZ J. Ütgm. Alper ŞAHİN J. Atgm. Hazar İsmail AKDAŞ J. Bçvş. Zafer TUNCAY	
Berk Berkan TURGUT	Prof. Dr. Cengiz BEŞİKÇİ	Dr. Selçuk ÖZER
Doç. Dr. Mustafa KULAKÇI	İrfan YILDIZ	Alper KAHVECİOĞLU Birkan Kurşun
Prof. Dr. Ekmel ÖZBAY		

Şekil 4. Yönlendirme Komitesi

5.2. ODAK ÇALIŞMA GRUPLARI

Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama Yol Haritası çalışmaları, Kızılötesi Dalgaboyunda Algılama, Yardımcı Birimler, Uydu Uzak Uygulamaları ve Görünür Dalgaboyunda Algılama, Kızılötesi Karşı Tedbirler ve Algılama olmak üzere dört OÇG ile aşağıdaki Şekil 5’de yer alan teknoloji alt gruplarında yürütülmüştür.



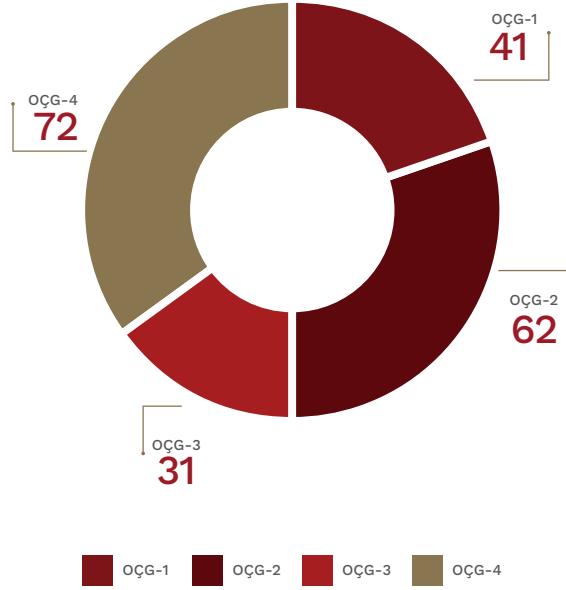
Şekil 5. Odak Çalışma Grupları

OÇG Liderleri Tablo 1’de belirtilmiştir.

Tablo 1. Odak Çalışma Grupları

Odak Çalışma Grubu	Odak Çalışma Grubu Lideri	Firma/Kurum/ Üniversite
Kızılötesi Dalgaboyunda Algılama	Dr. Süleyman Umut EKER	ASELSAN A.Ş
Yardımcı Birimler	Dr. Çağla AKGÜN	ASELSAN A.Ş
Uydu Uzak Uygulamaları ve Görünür Dalgaboyunda Algılama	Dr. Özgür KARCI	TUSAŞ
Kızılötesi Karşı Tedbirler ve Algılama	Rağıp YURTTAŞ	TÜBİTAK BİLGEM

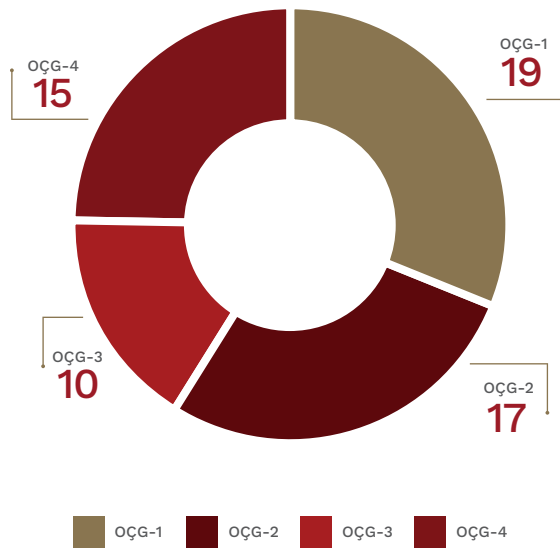
Odak Çalışma Grupları, Yönlendirme Komitesi, Grup Lideri ve Temsilcisi koordinasyonunda faaliyetlerini sürdürmüştür. Odak Çalışma Gruplarına kayıt yaptıran katılımcı sayısı Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6. Odak Çalışma Grupları Katılımcı Sayısı

Her bir Odak Çalışma Grubunda konu önerilerinin belirlenmesi, teknoloji, ihtiyaç ve altyapı envanterinin gözden geçirilmesi gerçekleştirilmiştir.

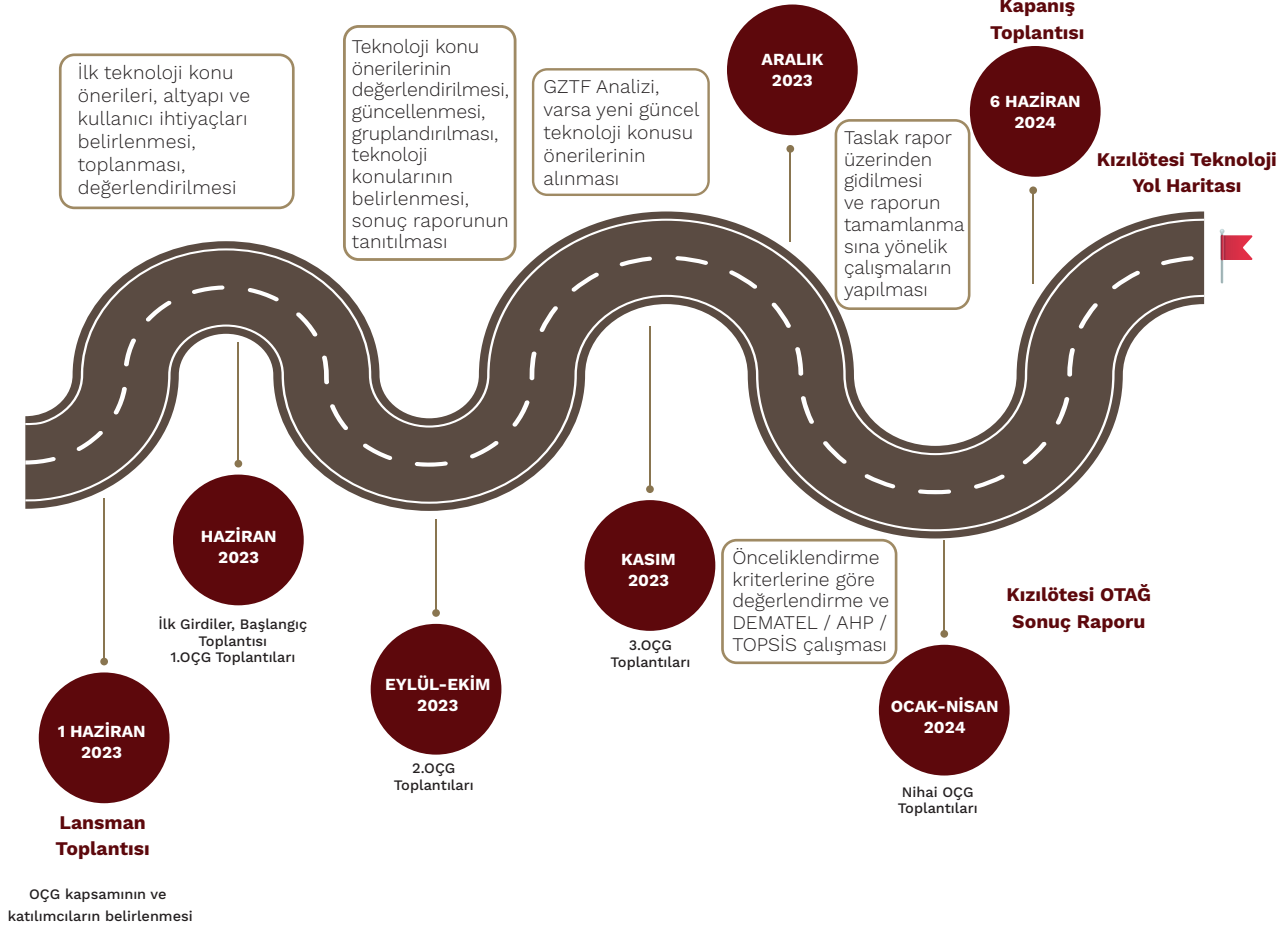
Odak Çalışma Grupları tarafından 21 teknoloji konu grubu ve 61 teknoloji konu önerisi oluşturulmuş olup benzer konu içeriklerine sahip olan konular değerlendirilmiş ve 51 teknoloji konusu önceliklendirilmiştir. Odak Çalışma Grupları bazında 61 teknoloji konu önerisinin sayıları Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Teknoloji Konu Öneri Sayısı

5.3. TOPLANTILAR

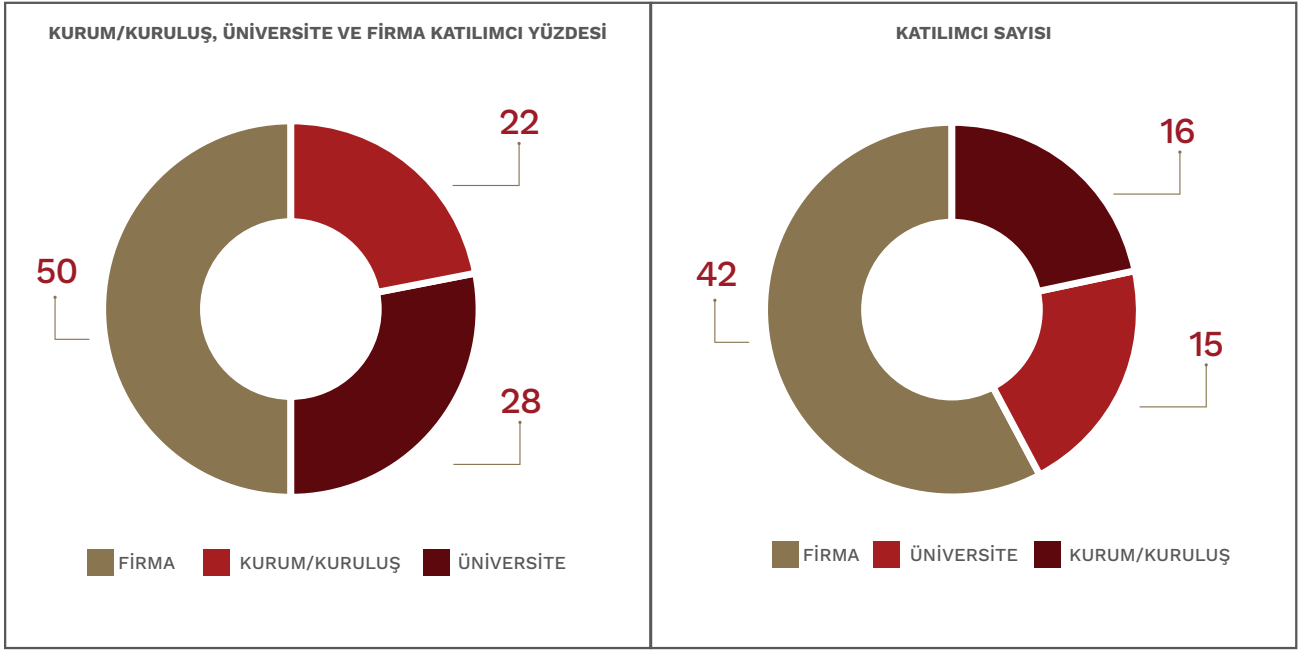
Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ çalışmaları süresince SSB önderliğinde, Yönlendirme Komitesi ve Odak Çalışma Grupları ile birlikte toplantılar gerçekleştirilmiştir. Yapılan toplantılar Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ Toplantı Takvimi

Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ çalışmaları, OTAĞ Lansmanına 16 kurum, 23 firma, 21 üniversite ve araştırma merkezinin katılımı ile başlatılmıştır.

Bir yıl boyunca devam eden OTAĞ faaliyetlerine katılan kurum/kuruluş, üniversite, firma ve katılımcı sayıları Şekil 9’de sunulmuştur.



6. ÖNCELİKLENDİRME METODOLOJİSİ VE ANALİZ YÖNTEMLERİ

6.1. ÇALIŞMA METODOLOJİSİ

Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama Teknolojileri Yol Haritası'nın güncellenmesi için “Ön Hazırlık, Lansman, Önerilerin/Problemlerin Toplanması, Odak Çalışma Grubu Toplantıları ve Önceliklendirme” olmak üzere beş adımlı “Ortak Akıl” yöntemi kullanılmıştır. Bu adımlara ait tanımlar Tablo 2’de açıklanmıştır.

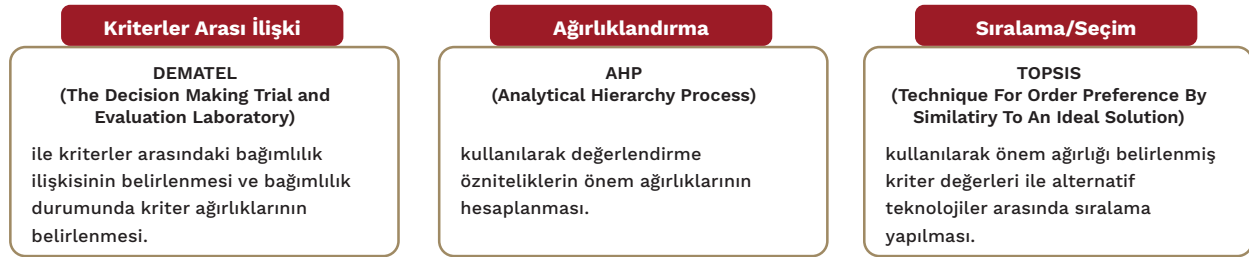
Tablo 2. Çalışma Metodolojisi

YÖNTEM ADIMLARI	KAPSAM
Ön Hazırlık	Lider kuruluşun belirlenmesi, Öncü kuruluşların tespiti, Alan uzmanları ve paydaşların tespiti, İlgili tematik alanda odak çalışma gruplarının tanımlanması, Lansman hazırlıkları, Roller ve sorumluluklar ile çalışma usullerinin tanımlanması, Ortak veri paylaşımı alanının oluşturulması
Lansman	Tematik yol haritası çalışmaları kapsamında alan uzmanlarının ve ilgili paydaşların bilgilendirildiği bir etkinlik düzenlenerek girdilerin talep edilmesi: • Konu önerileri • Teknoloji envanteri • Altyapı ihtiyaçları • Katılım sağlanacak odak çalışma grubu bilgileri
Önerilerin/ Problemlerin Toplanması	Tematik yol haritası kapsamında iletilen konu önerilerinin derlenmesi
Odak Çalışma Grubu Toplantıları	Odak Çalışma Grupları toplantıları ile teknoloji değerlendirilmesi • Konu önerilerin değerlendirilmesi ve gruplandırılması • Teknoloji konularının tespit edilmesi
Önceliklendirme	DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory), AHP (Analytic Hierarchy Process) ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal) metotları kullanılarak uçtan uca analitik önceliklendirme yöntemi ile konu özneteliklerinin ağırlıklandırılması ve önceliklendirme faaliyetleri

Ortak Akıl yöntemi, konu hakkında deneyim sahibi olan üniversite, enstitü, kamu kurumları ve sanayii temsilcilerinin ilgili tematik alanda birlikte çalışarak teknoloji yol haritası ve kazanım planı hazırlanmasını esas almaktadır. “SSB Teknoloji Taksonomisi”, “THS Kılavuzu” ve “Teknoloji Envanteri” gibi daha önce hazırlanan teknoloji yönetimi araç ve metotlarının çalışmada kullanılması ve uygulanması sağlanmıştır.

6.2. ÖNCELİKLENDİRME METODOLOJİSİ

2024 Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ konularının kazanım planına yön vermesi amacıyla 2024 Kompozit OTAĞ çalışması kapsamında belirlenen önceliklendirme metodolojisi kullanılmıştır. Geliştirilen metodolojinin adımları ve her bir adımda kullanılan yöntem Şekil 10’da sunulmuştur.



Şekil 10. Önceliklendirme Metodolojisi Akış Şeması

AHP ve DEMATEL yöntemleri ile kriter, alt kriter ve öznitelik ağırlıkları belirlenmiş, belirlenen pozitif ve negatif ideal teknoloji konuları referans alınarak TOPSIS metodu ile öncelik ve vade düzeylerine göre konular sıralanmıştır.

Geliştirilen önceliklendirme metodolojisi kapsamında teknoloji konularına ait vade ve öncelik değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Vade, bir teknolojinin ne zaman kullanıma hazır hale geleceğini veya etkisini göstereceğini ifade eder. Çalışma kapsamında konuların vade değerleri yakın ve uzak vade olarak kategorize edilmiştir. Öncelik ise, bir teknolojinin ne kadar önemli olduğunu ve ne kadar hızlı bir şekilde geliştirilmesi veya uygulanması gerektiğini ifade eder. Bahse konu parametrelerin ayrı ayrı hesaplanmaları ile önceliklendirme çalışmasının kapsayıcılığı ile doğruluğu artırılmıştır.

İlk olarak 2019 yılında Kompozit Teknolojileri Yol Haritası kapsamında kullanılan kriter seti üzerinde iyileştirmeler yapılmıştır. Bahse konu iyileştirmelerden ilki, teknoloji konularının önceliklendirilmesi kapsamında “Kritiklik” altında ele alınan ancak “Temin Riski” olarak değerlendirilebilecek 4 alt kriterin ayrıştırılarak yeni ana kriter başlığı altında ele alınmasıdır. Mevcutta yer alan ana kriterler altındaki değerler tek bir alt kriter değeri seçimiyle belirlenmiş olup, “Temin Riski” altında ele alınan alt kriterlerin çoktan seçmeli yapısı olduğu için alt kriter değerleri Evet / Hayır seçenekleriyle belirlenmiştir. “Tedarik Projelerine Uygulama” kriter adı “Projelere Uygulama” olarak, “Altyapı” altındaki özniteliklerde daha anlaşılır ifadeler kullanılarak revizyon yapılmıştır.

Her bir teknoloji konusu için 7 ana kriter altında yer alan 20 alt öznitelik, 4 alt kriter üzerinden önceliklendirme değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirmeye esas olan öznitelikler ve alt kriterleri Şekil 11’de listelenmiştir.



1- Dünyadaki Durum

- Ömür devrinin başında olan, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı, mevcut ticari ürünlerin olduğu teknolojidir.
- Ömür devrinin başında olan, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı, mevcut ticari ürünlerin olmadığı teknolojidir.
- Ömür devrinin ortalarında olan, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı teknolojiler arasındadır.
- Ömür devrinin sonlarında, gelişime açık olmayan bir teknolojidir.

2- Altyapı

- İlgili alt teknolojilere yönelik altyapılar mevcuttur.
- Benzer veya tamamlayıcı teknolojilere ilişkin altyapı mevcuttur.
- Temel araştırma fazı için üniversite laboratuvarı ve araştırma merkezi gibi altyapılar mevcuttur.
- Ulusal herhangi bir altyapı bulunmamaktadır.

3- Çift Kullanım

- Teknoloji çift amaçlı olarak kullanılmaktadır.
- Teknolojinin çift amaçlı kullanım imkanı vardır.
- Teknolojinin çift amaçlı olarak kullanımı yoktur.

4- Temin Riski

- Uluslararası anlaşmalarla transferi kontrol altına alınmıştır (ITAR, MTCR vb.)
- Ulusal ithalat yasağı ve ITAR düzenlemelerine tabidir.
- Üreticisi tek kaynaktır.
- Temin süresi uzundur.

5- Projelere Uygulama

- Projelerde kullanılacaktır.
- Projelerde kullanım imkanı vardır.
- Projelerde kullanım imkanı yoktur.

6- Kritiklik

- Ulusal güvenliğimize doğrudan etkisi bulunan, milli olarak kazanılması zorunlu bir teknolojidir.
- Kritik bir teknolojidir, kazanılmasının teknoloji yetkinliğine önemli katkısı olacaktır.
- Kritik bir teknoloji değildir.

7- İnsan Kaynağı

- Yetişmiş insan gücü bulunmaktadır.
- Yetişmiş insan gücü yetersizdir.
- Yetişmiş insan gücü yoktur.

Şekil 11. Ana Kriterler ve Öznitelikler

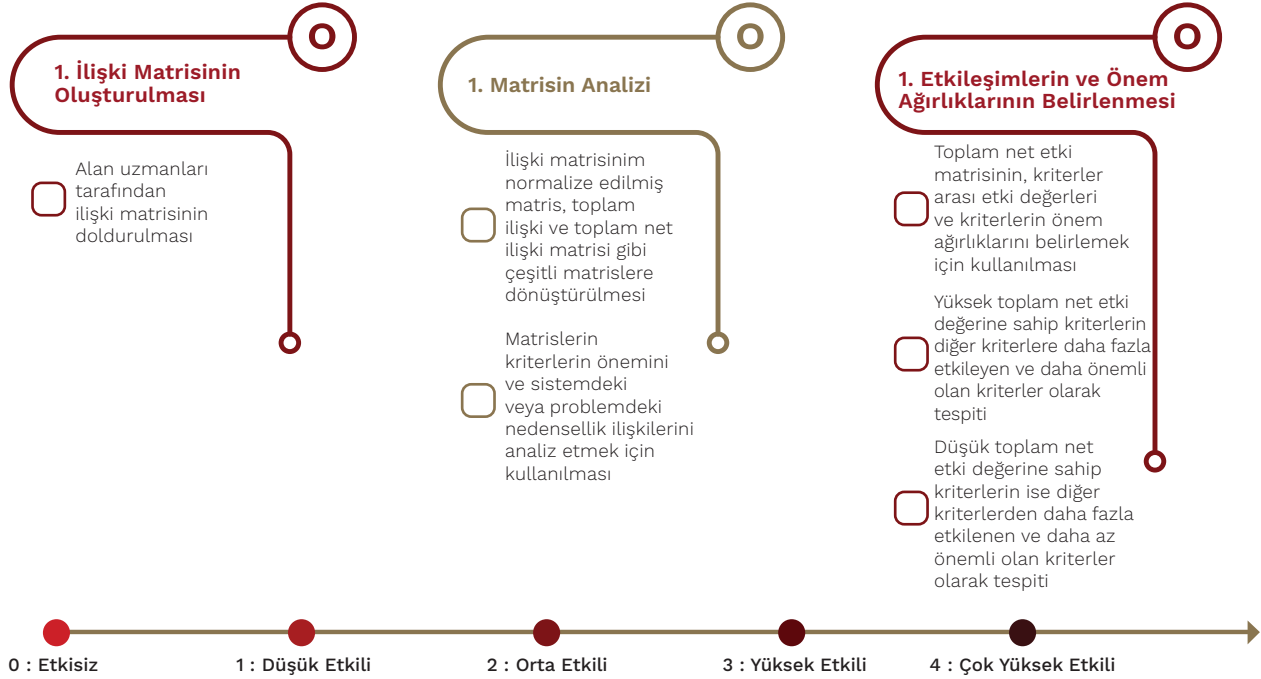
6.2.1. DEMATEL

DEMATEL yöntemi, 1970'lerde Cenevre Battelle Enstitüsü tarafından geliştirilen, karmaşık sistemlerdeki nedensellik ilişkilerini ve kriterler arasındaki önem ağırlığını analiz etmek için kullanılarak sebep ve sonuç arasındaki bağlantıları görselleştirerek sistemin dinamiklerini anlamaya yardımcı olan bir yöntemdir [1].

Uzman görüşlerine dayanan DEMATEL yöntemi, bir matris ve çeşitli analiz teknikleri kullanarak sistem bileşenleri veya kriterler arasındaki etkileşimleri incelemektedir. Bu sayede, nedensellik zincirlerini ve sistemdeki veya problemdeki en önemli bileşenleri veya kriterleri belirlemek mümkün hale gelmektedir.

Bu çalışma kapsamında DEMATEL yöntemi, ilişkisi olduğu değerlendirilen kriterler arasında uygulanarak kriterlerin birbirleri arasındaki önem ağırlık hesabının belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu kapsamda, Ana Kriterler ve “Temin Riski” alt kriterlerinin önem ağırlıkları DEMATEL yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Belirlenen Ana Kriter ve Alt Kriter önem ağırlıkları ise TOPSIS yöntemine girdi olarak kullanılmıştır.

DEMATEL yöntemi kapsamında takip edilen adımlar ve DEMATEL etki ölçeği Şekil 12 'de sunulmaktadır.



Şekil 12. DEMATEL Yönteminde Kullanılan Etki Ölçeği ve DEMATEL Adımları

6.2.2. AHP

AHP, karmaşık karar verme problemlerini çözmek için 1970'lerde Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiş bir yöntemdir [2]. AHP, birden fazla kriteri ve alternatifi sistematik bir şekilde analiz ederek en uygun seçeneği belirlemeye yardımcı olur. AHP'nin temel prensibi, karmaşık bir problemi hiyerarşik bir yapıya indirgeyerek ve her bir seviyedeki unsurları ikili karşılaştırmalar yoluyla karşılaştırarak çözmektir.

OTAĞ çalışmaları kapsamında, ilişkili olmayan kriterler altındaki özniteliklerin önem ağırlıklarının belirlenmesinde ise AHP yöntemi kullanılmıştır. AHP yönteminin adımları Şekil 13'te sunulmuştur.



Şekil 13. AHP Yöntemi Adımları

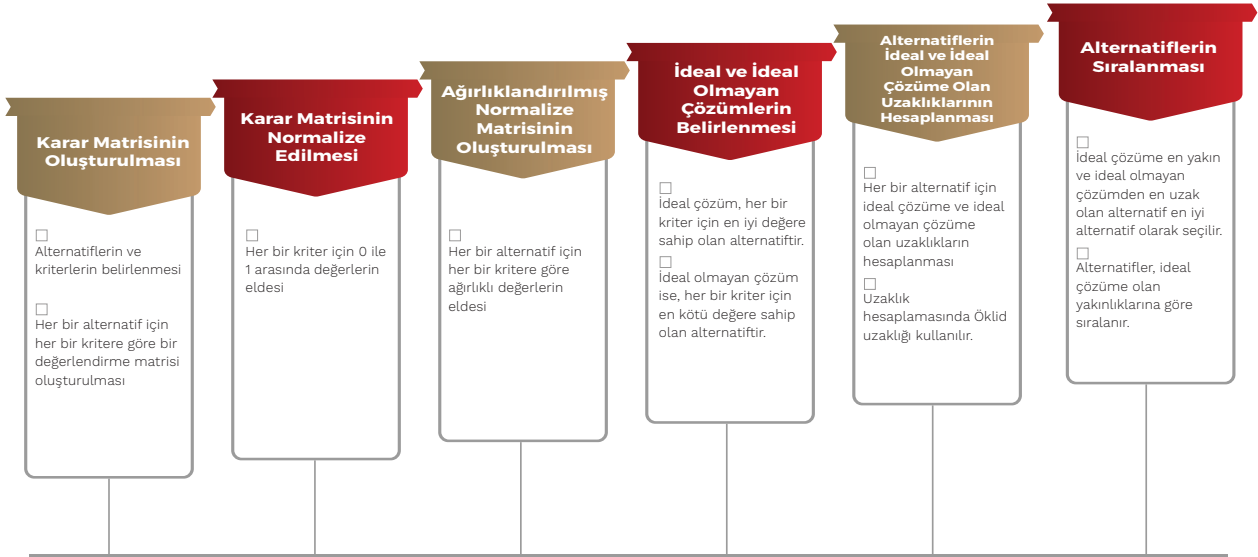
AHP yönteminde karşılaştırma aşamasında kullanılan önem ölçeği ise Tablo 3'de sunulmaktadır.

Tablo 3 AHP Yönteminde Kullanılan Önem Ölçeği

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Önem	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunmaktadır.
3	Orta derecede önem	Tecrübe ve yargı faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettirmektedir.
5	Kuvvetli düzeyde önem	Tecrübe ve yargı faaliyeti diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettirmektedir.
7	Çok kuvvetli düzeyde önem	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve uygulamada baskınlığı rahatlıkla görülür.
9	Aşırı düzeyde önem	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar büyük bir güvenliğe sahiptir.
2, 4, 6, 8	Ortalama değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanmak üzere iki ardışık yargı arasına düşen değerlerdir.

6.2.3. TOPSIS

TOPSIS, çok kriterli karar verme yöntemleri arasında en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilen TOPSIS yöntemi, ideal çözüme ve ideal olmayan çözüme olan uzaklıkları hesaplayarak alternatifleri sıralar [3]. TOPSIS yöntemine ait adımlar Şekil 14'te sunulmuştur.



Şekil 14. TOPSIS Adımları

Bu çalışma kapsamında TOPSIS yöntemi kullanılarak ana kriter, alt kriter ve öznitelik ağırlıkları belirlenmiş olan konular birbirleri arasında negatif ideal ve pozitif ideal konu vektörleri referans olarak sıralanmıştır. Sıralanan teknoloji konuları vade puanlarına göre sınıflandırılmıştır. Vade puanı hesaplanmış olan konular, geçmiş OTAĞ'larda kullanılan histogram içerisinde kullanılan normal dağılım yerine kesme vektörü belirlenmiş olan sınır değere göre sınıflandırılmıştır. Kesme vektörü, konuları vade puanlarına göre yakın ve uzak vade olmak üzere iki gruba sınıflandırır. Uzman görüşü ile belirlenen kesme vektörünün öznitelik değerleri, bir konunun yakın vadede kazanılması için gereken minimum öznitelik değerleri ne olması gerektiğine göre belirlenmiştir. Yakın ve uzak vade içerisindeki konular öncelik puanlarına göre birbirleri arasında büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır.

Uzman görüşüne olan bağımlılığı azaltıp daha kapsamlı, objektif, tutarlı bir karar verme süreci oluşturmak için AHP, DEMATEL, TOPSIS metotları bir arada kullanılarak hibrit bir karar modeli oluşturulmuştur. Yöntem üzerinde yapılan başlıca iyileştirmeler aşağıda açıklamalarıyla beraber sunulmuştur.

- **Vade ve Öncelik Düzeylerinin Belirlenmesi:** Teknoloji konuları çalışılma vadeleri ve öncelik düzeylerine göre farklı ağırlık kümeleriyle değerlendirilmiş olup daha şeffaf ve izlenebilir bir süreç yaratılmıştır.
- **Kapsamlılık:** AHP, kriterler arasındaki ikili karşılaştırmalara dayalı bir yöntemdir. DEMATEL ise kriterler arasındaki karşılıklı etkileşimleri de ele almaktadır. Bu iki yöntemin birlikte kullanılması, kriterler arasındaki karmaşık ilişkileri daha iyi anlamayı sağlamaktadır.
- **Tutarlılık:** TOPSIS ile alternatifleri ideal çözüme göre sıralayarak karar vermede daha doğru ve tutarlı sonuçlar oluşmaktadır.
- **Objektiflik:** Her teknoloji konusu özelinde vade düzeyini belirlerken ve öncelik puanında iyileştirme yaparken uzman görüş desteğine ihtiyaç duyulurken, geliştirilen metodoloji ile birlikte bu ihtiyaç ortadan kalkmış olup referans vade vektörüne göre konuların vadeleri analitik olarak tasnif edilmektedir.

6.3. ÖNCELİKLENDİRME ANALİZ YÖNTEMİ

Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama Odak Teknoloji Ağı'nda yer alan teknoloji konuları geliştirilen özgün önceliklendirme metodolojisi kullanılarak öncelik ve yakın, uzak vadelere kazanımı planlanmak üzere kategorize edilmiştir. Kategorizasyon sonrasında Odak Çalışma Grupları altındaki teknoloji konularının öncelik ve vade puanlarının aritmetik ortalaması hesaplanmıştır. Böylece öncelik ve vade puanları sektördeki teknolojik trendleri belirlemek ve geleceğe yönelik stratejiler geliştirmek için önemli bir veri tabanı oluşturmuştur.

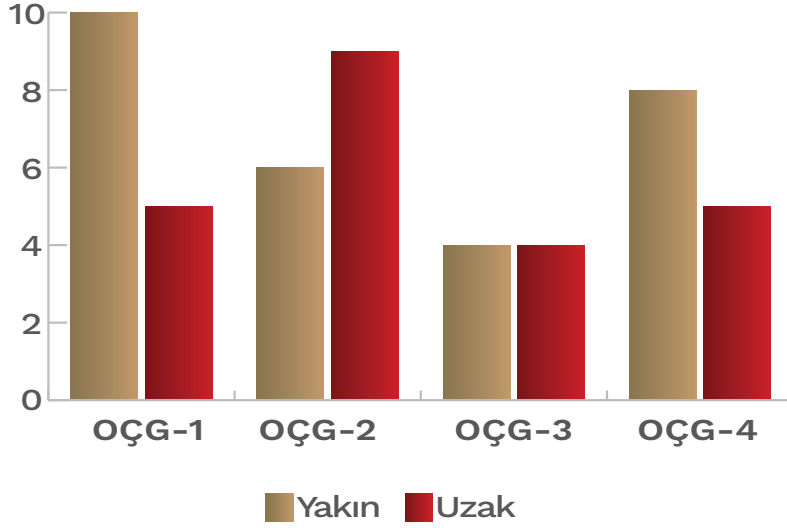
SSB OTAĞ Programında Kullanılan Değerlendirme Kriter Seti aşağıda yer alan Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Değerlendirme Kriter Seti

Değerlendirme Kriterleri	
Kritiklik	• Ulusal güvenliğimize doğrudan etkisi bulunan, milli olarak kazanılması zorunlu bir teknolojidir. • Kritik bir teknolojidir, kazanılmasının teknolojik yetkinliğe önemli katkısı olacaktır. • Kritik bir teknoloji değildir.
Dünyadaki Durum	• Ömür devrinin başında olan, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı, mevcut ticari ürünlerin olduğu teknolojidir. • Ömür devrinin başında olan, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı, mevcut ticari ürünlerin olmadığı teknolojidir. • Ömür devrinin ortalarında olan, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı teknolojiler arasındadır. • Ömür devrinin sonlarında, gelişime açık olmayan bir teknolojidir.
İnsan Kaynağı	• Yetişmiş insan gücü bulunmaktadır. • Yetişmiş insan gücü yetersizdir. • Yetişmiş insan gücü yoktur.
Altyapı	• İlgili alt teknolojilere yönelik altyapılar mevcuttur. • Benzer ve tamamlayıcı teknolojilere ilişkin altyapı mevcuttur. • Temel araştırma fazı için üniversite laboratuvarı ve araştırma merkezi gibi altyapılar mevcuttur. • Ulusal herhangi bir altyapı bulunmamaktadır.
Çift Kullanım	• Teknoloji çift amaçlı olarak kullanılmaktadır. • Teknolojinin çift amaçlı olarak kullanım imkanı vardır. • Teknolojinin çift amaçlı olarak kullanım yoktur.
Projelere Uygulama	• Projelerde kullanılacaktır. • Projelerde kullanım imkanı vardır. • Projelerde kullanım imkanı yoktur.
Temin Riski	• Uluslararası anlaşmalarla transferi kontrol altına alınmıştır (FTKR, NPT vb.). • Ulusal ihracat lisansına veya ITAR düzenlemelerine tabidir. • Üreticisi tek kaynaktır. • Temin süresi uzundur.

Sıralama sonucunda belirlenmiş olan vade puanlarına göre konular referans vade kesme noktasına göre yakın ve uzak olmak üzere sınıflandırılmıştır.

Şekil 15’de teknoloji konularının O G bazlı kazanım vadesine göre teknoloji konularının dağılımı verilmiştir.



Şekil 15. Teknoloji Konu Dağılımları

6.4.GÜNCELLEME YÖNTEMİ

Teknoloji yol haritasının güncelliğini koruyabilmesi için Bölüm 6’da belirtilen faaliyetlerin periyodik olarak tekrar edilmesi uygun değerlendirilmektedir. Buna ek olarak teknolojik gelişmeler, konjonktürel değişiklikler gibi hususlar nedeniyle güncelleme yapılması da gerekebilir. Güncelleme için izlenecek yöntem adımları aşağıda listelenmiştir:

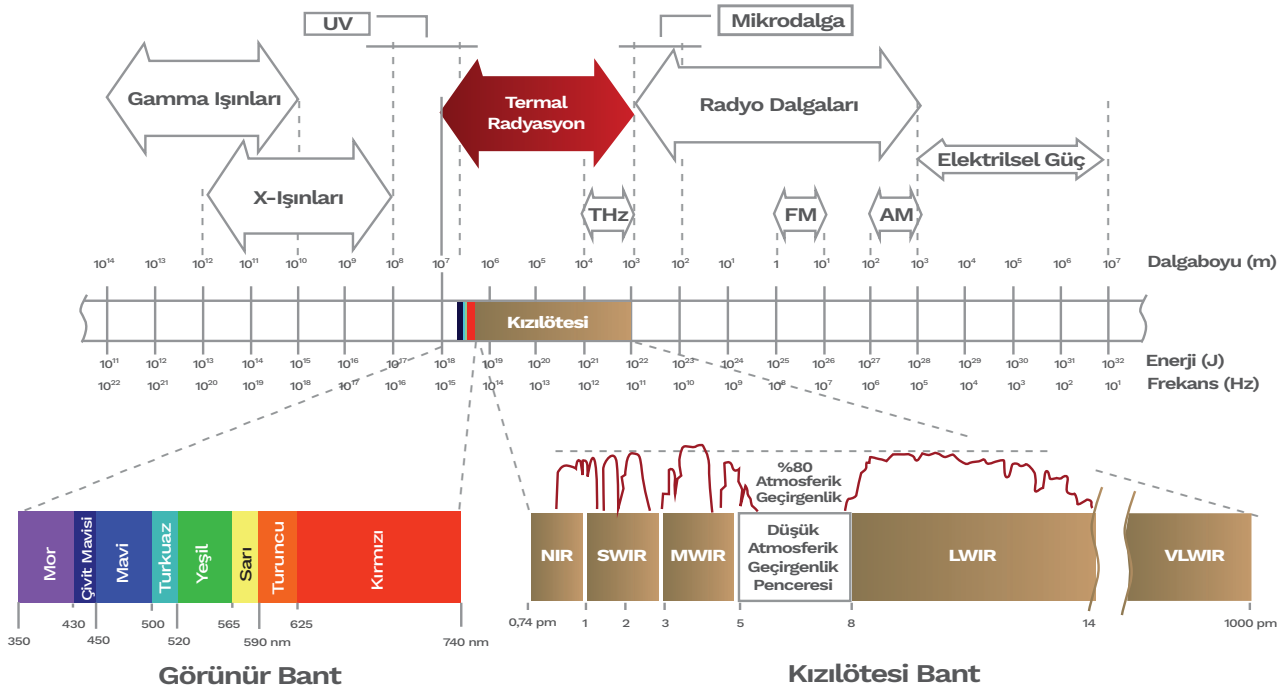
- Geri bildirim ve konu önerilerinin toplanması için bir platform oluşturulması,
- Düzenli olarak konu önerilerinin ya da geri bildirimlerin toplanması,
-  nerilerin belirli periyotlar ile alan uzmanları tarafından değerlendirilmesi ve teknoloji yol haritasının güncellemesi.

7. KIZILÖTESİ/GÖRÜNÜR DALGABOYUNDA ALGILAMA TEKNOLOJİSİ

7.1. KIZILÖTESİ DALGABOYUNDA ALGILAMA ODAK TEKNOLOJİ GRUBU (OÇG-1)

7.1.1. Genel Bilgi

Kızılötesi (KÖ) radyasyon (ışınım/ışırma), dalgaboyu görünür ışıktan uzun fakat mikrodalgadan daha kısa olan elektromanyetik ışıındır. Kesin tanımlama yapılmamakla birlikte KÖ dalgaboyu yaklaşık olarak 750 nanometre (nm) ile 100 mikrometre (μm) arasındadır.



Şekil 16. Elektromanyetik Tayf (spektrum) [4]

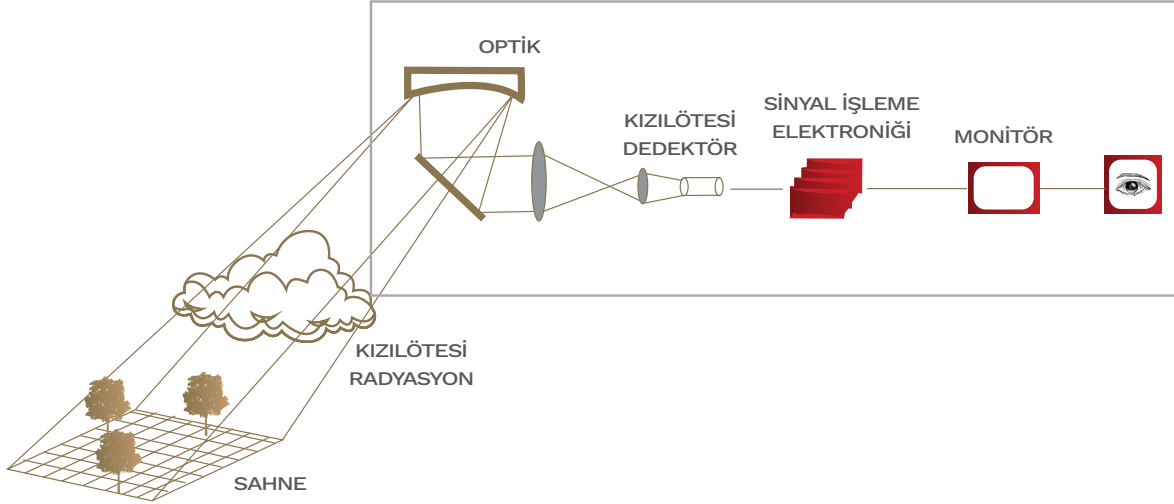
Kızılötesi algılama, görüşün zayıf olduğu (gece, sis gibi hava koşulları ile toz, duman ve kamufraj gibi) saha koşullarında tehditlerin algılanması ve hareket kabiliyetinin artırılması amacıyla, sıcaklık farklarını algılamaya ve termal görüntü bilgisini kullanmaya yönelik tüm görüntüleme uygulamalarında kullanılır [5].

0 K'den (-273 °C) daha yüksek sıcaklığa sahip her cisim elektromanyetik tayfın (spektrumun) bir dalgaboyunda ışıma yapar. Bu ışımanın güç ve enerjisi, cismin sıcaklığına doğrudan bağlıdır.

Kızılötesi algılama, ışıma duyarlı malzemelere sahip algılayıcılar sayesinde cisimlerden yayılan radyasyonu algılayıp, cisimlerin termal görüntüsünün oluşturulmasıdır.

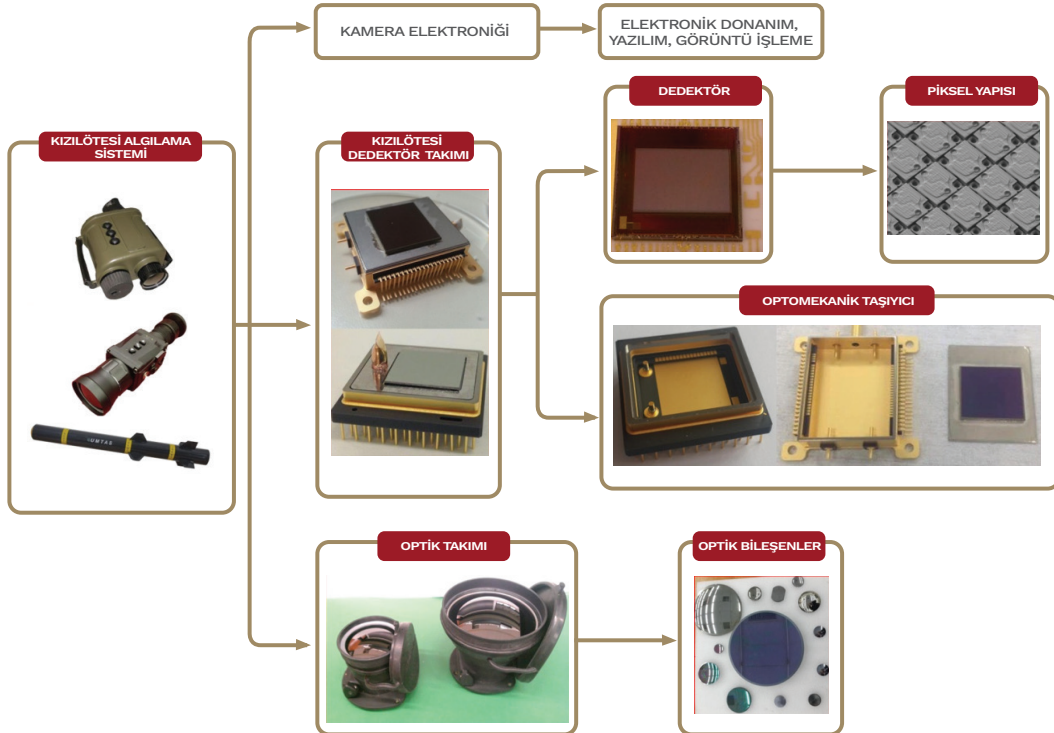
Kızılötesi Algılama Sistemi

Kızılötesi algılama sistemleri, yakın kızılötesi dalgaboyundan (Near Infrared, NIR) çok uzun dalgaboyuna (Very Long Wave Infrared - VLWIR) kadar olan bölgede foton yayan cisimleri görünür kılarak, görüş aralığımızı genişletmektedir. Tipik bir kızılötesi algılama sistemi, kızılötesi ışımayı elektrik sinyaline çeviren bir dedektör, dedektörün bakış açısını belirleyen soğuk kalkan, dedektörü vakum ortamında saklayan opto-mekanik taşıyıcı, dedektörün algılayıcı malzemesini soğutan/sabit bir sıcaklıkta tutan bir soğutucu, görüntüyü dedektörün üzerine düşüren lens ve okuma entegre devresini süren ve okuyan elektronikten oluşmaktadır. Tipik bir kızılötesi algılama sistemi Şekil 17’de verilmiştir.

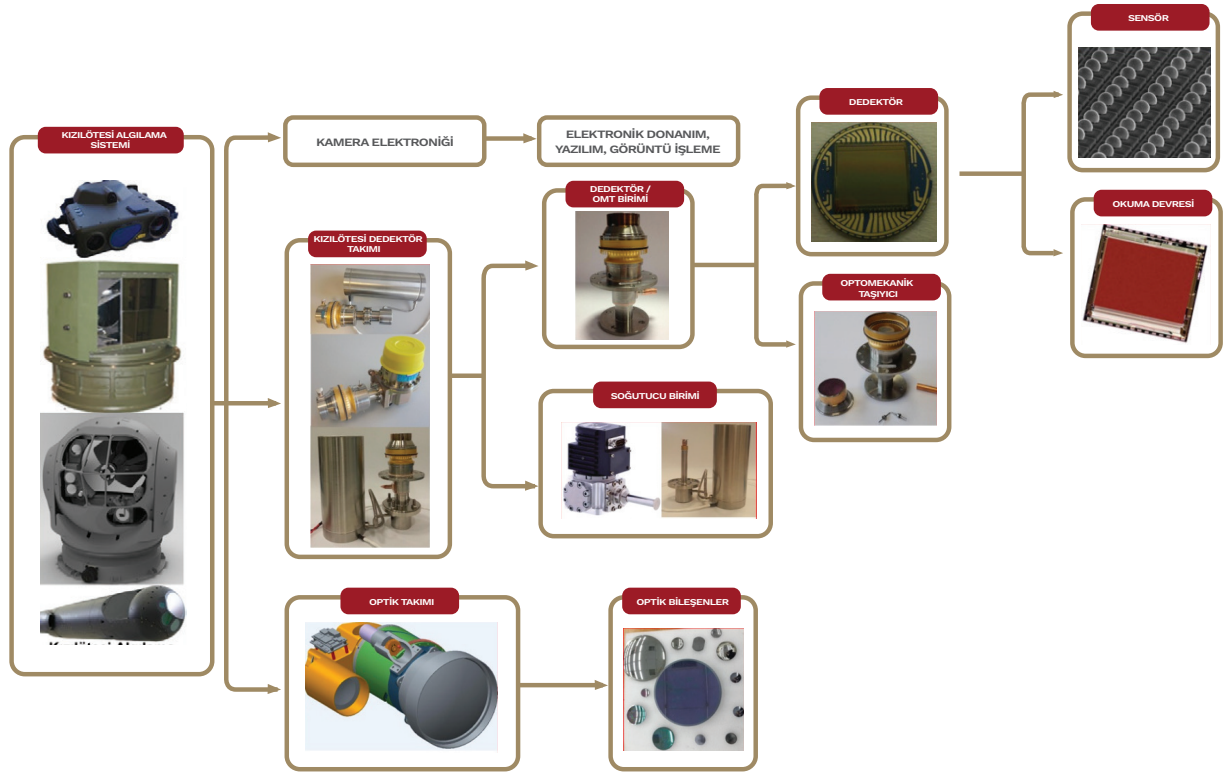


Şekil 17. Kızılötesi Algılama Sisteminin Şematik Gösterimi [5]

Kızılötesi algılama sisteminin ana bileşenleri Şekil 18’de termal dedektörler için ve Şekil 19’da foton dedektörler için gösterilmektedir.

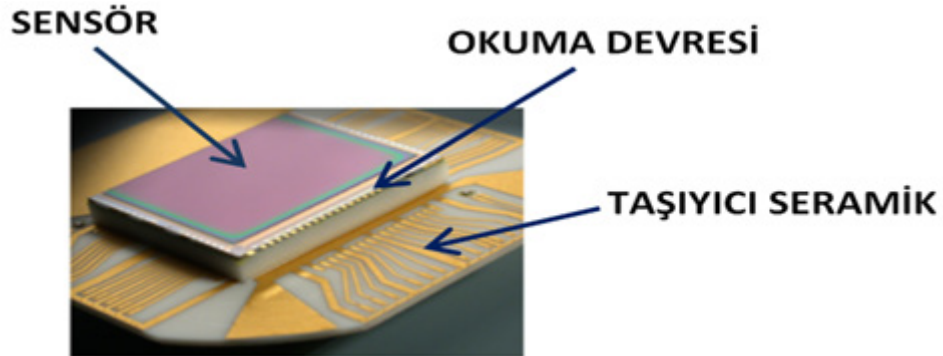


Şekil 18. Kızılötesi Algılama Sisteminin Ana Bileşenleri (Termal Dedektörler)



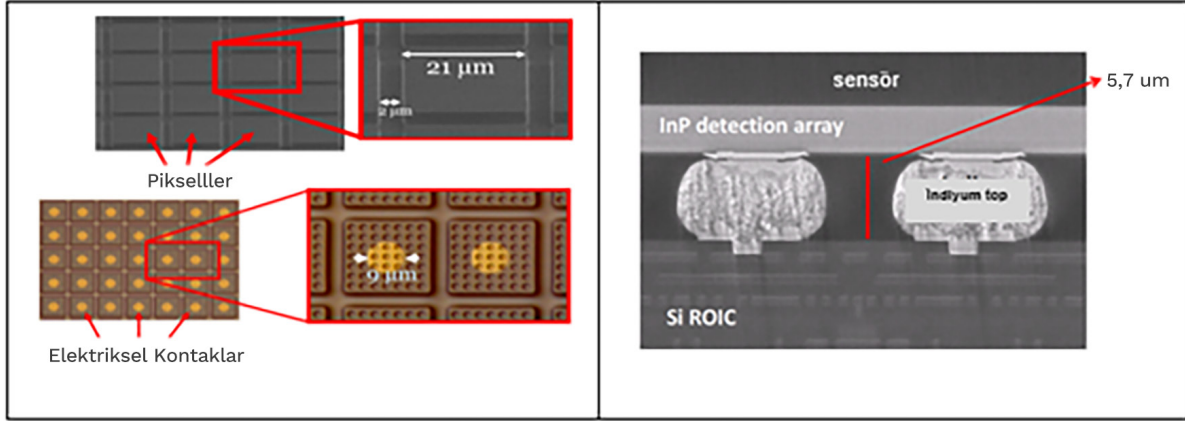
Şekil 19. Kızılötesi Algılama Sisteminin Ana Bileşenleri (Foton Dedektörler)

Kızılötesi algılama sistemlerinin tamamında yer alan **kızılötesi dedektör takımı (IDDCA)**; dedektör, opto-mekanik taşıyıcı ve soğutucudan oluşur. **Opto-mekanik taşıyıcı (OMT)** dedektörün çalışması için uygun koşulları sağlayan (vakum, kriyojenik sıcaklık) ve soğutucuya entegre edilen birimdir. Kızılötesi algılama sistemlerinin en kritik birimi olan algılamayı sağlayan **dedektör**, tümleştirilmiş kızılötesi **sensör ve okuma devresinden** oluşur. **Sensör**, kadmiyum çinko tellür (CZT), indiyum fosfür (InP), silisyum (Si), germanyum (Ge), galyum arsenür (GaAs) gibi taban malzemelerinin üzerine büyütülen algılayıcı malzemenin (Cıva kadmiyum tellür (HgCdTe (MCT)), InSb, vb.) piksel piksel işlenmesi sonucunda elde edilir ve **Odak Düzlem Dizini (FPA)** olarak da adlandırılır.



Şekil 20. Kızılötesi Dedektör (Sensör ve Okuma Devresi)

Görüntülenecek hedeften gelen radyasyon **optik (lens)** vasıtasıyla sensör üzerine odaklanmaktadır. Sensör, üzerine düşen radyasyonu algılamakta ve bununla orantılı bir elektriksel sinyal üretmektedir. Silisyum ve benzeri malzemelerden oluşan **okuma devresi** (Read-Out Integrated Circuit-ROIC), üretilen bu elektriksel sinyali okuyan ve işlenmek üzere okuma devresi çıkışlarına bağlı olan elektronik kartlara yollayan birimdir. Sensör ile okuma devresi arasında elektriksel iletişim sensör pikselleri üzerindeki indiyum topar sayesinde sağlanmaktadır.



Şekil 21. Sensör Üzerinde Yer Alan Piksel Yapısı Elektriksel Kontaklar ve İndiyum Toplar

Kızılötesi sensörlerin, etkin algılama yapabilmeleri için düşük sıcaklıklara soğutulmaları gerekmektedir. Dolayısıyla, dedektör, vakum içinde paketlenip **soğutucuyla** entegre edildikten sonra kızılötesi algılama sistemine takılmaktadır.

Elektronik donanım ve yazılımlar, okuma devresinden gelen bilgiler doğrultusunda görüntü verisini oluşturmakta, gerekli görüntü işleme ve diğer fonksiyonlarını (sensör yönetimi, hedef takibi, vb.) yerine getirmekte ve nihai görüntü verisini monitöre yollamaktadır.

Optik Takım, bir algılama sisteminin operasyon ve performans isterlerini karşılayan mercek, ayna, prizma, filtre vb. optik elemanlardan oluşmaktadır. Bu elemanları içeren optik birimi, görüntülenmesi amaçlanan obje veya sahadan algılama sistemine doğru gelen fotonların sistem gereksinimlerine uygun parametrelerle sensör üzerine odaklanmasını sağlar.

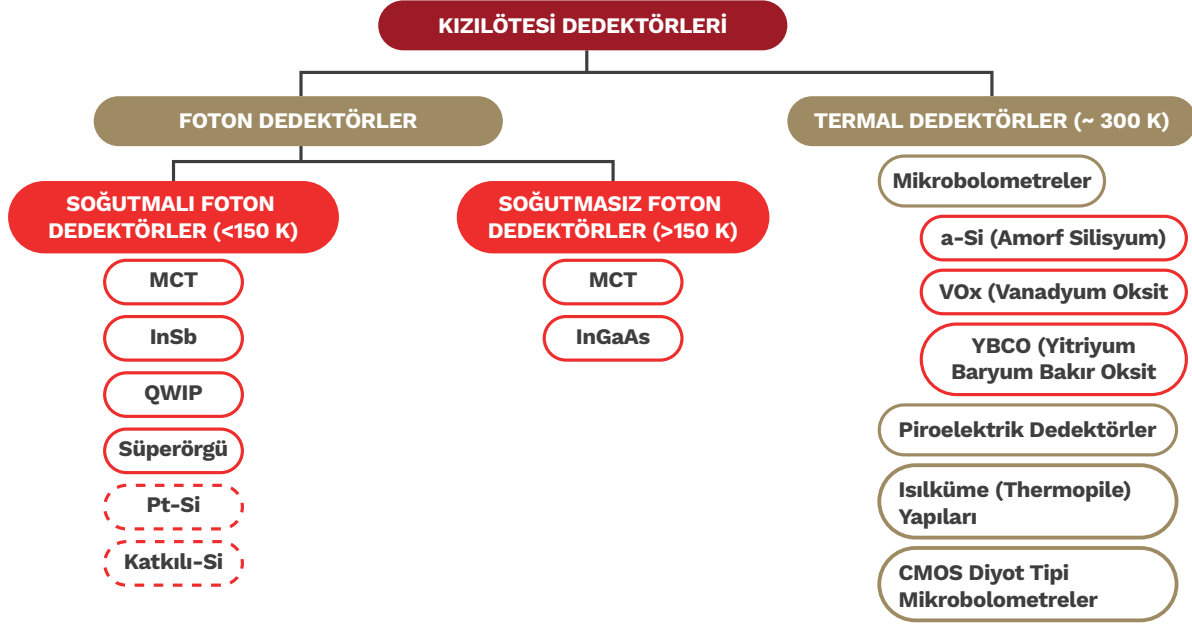
Kızılötesi Dedektör Teknolojileri

Kızılötesi algılama sistemlerinin en kritik birimi olan ve algılamayı sağlayan kızılötesi dedektörler, üzerine düşen ışımayı soğurup, soğurulan ışmanın yoğunluğuna bağlı olarak ölçülebilir bir elektriksel sinyale dönüştürme prensibine göre çalışırlar.

Cisimlerin sıcaklığına bağlı olarak yaydığı KÖ radyasyonun algılanması, **doğrudan (foton) algılama** ve **dolaylı (termal) algılama** yöntemleri ile iki türlü yapılabilmektedir. Bu sebeple kızılötesi dedektör teknolojileri yaptığı algılamaya göre, foton dedektörler ve termal dedektörler olmak üzere iki ana gruba ayrılır.

Doğrudan (foton) algılama, cisimlerden yayılan radyasyon sonucu sensöre düşen fotonların, algılayıcı malzeme ile etkileşerek serbest taşıyıcı oluşturması sonucu oluşan akımın (foto-akım, I_{foton}), okuma devreleri tarafından okunarak görüntü alınması prensibine dayalıdır.

Dolaylı (termal) algılamada, KÖ fotonlar algılayıcı malzeme tarafından emilerek malzemede sıcaklık değişimine sebep olur. Böylelikle malzemenin fiziksel özellikleri değişir. Malzemenin fiziksel özelliklerindeki bu değişimler tümleşik okuma devreleri ile elektriksel sinyallere dönüştürülür. Dolayısıyla bu tür algılamada algılayıcı malzemenin ısı özellikleri termal dedektörün performansını belirlemede önemli bir faktördür.



Şekil 22. Kızılötesi Dedektör Teknolojileri

Farklı dedektör tipleri aşağıdaki Tablo 5 ve Tablo 6'daki gibi özetlenebilir.

Tablo 5. Termal Dedektör Çeşitleri, Kullanılan Malzemeler, Avantajları ve Dezavantajları.

Dedektör	Sınıf	Kullanılan malzemeler	Avantajlar	Dezavantajlar
Termal Dedektörler	Mikrobolometreler Direnç Tipi Bolometreler (Resistive Bolometers)	VO_x a-Si YBaCuO VVO	- Oda sıcaklığında çalışabilme - Düşük maliyet - Daha hafif ve daha küçük kamera yapısı - Olgun teknoloji - Monolitik Üretim	- Yavaş tepki - Foton dedektörlerine göre daha düşük dedektivite
	Isıl küme (Thermopiles)	Bi-Sb-Te/Si n-polySi/Al p-polySi/ n-polySi BiSb/NiCr	- Çok düşük maliyet - Oda sıcaklığında çalışabilme - Daha hafif ve daha küçük kamera yapısı - Olgun teknoloji - Monolitik Üretim	- Kısa mesafe algılama performansı - Yavaş tepki
	CMOS Diyot Tipi Bolometreler	Silisyum Direnç	- Çok düşük maliyet - Oda sıcaklığında çalışabilme - Daha hafif ve daha küçük kamera yapısı - Olgun teknoloji - Monolitik Üretim	- Kıyıcı (chopper) gereksinimi - TE Soğutucu gereksinimi - Yavaş tepki - Tercih edilmeyen eski teknoloji
	Piroelektrik (Pyroelectric)	Triglycine sulphate $LiTaO_3$	Olgun teknoloji	- Kıyıcı (chopper) gereksinimi - TE Soğutucu gereksinimi - Yavaş tepki - Tercih edilmeyen eski teknoloji

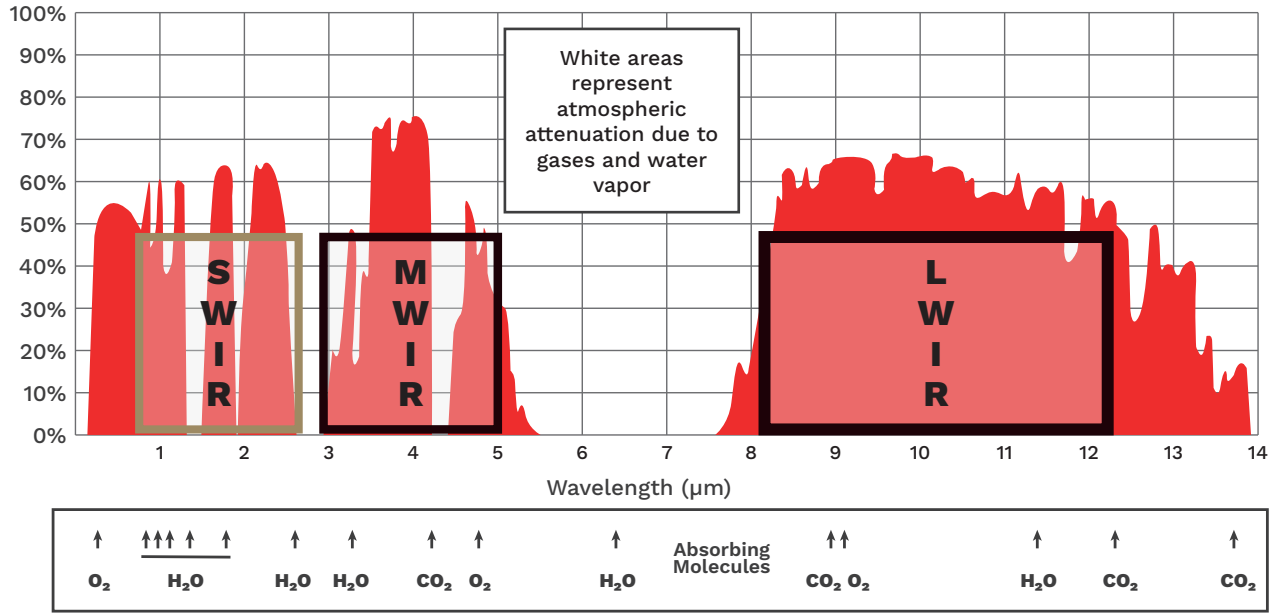
Tablo 6. Foton Dedektör Çeşitleri, Kullanılan Malzemeler, Avantajları ve Dezavantajları

Dedektör	Sınıf	Kullanılan malzemeler		Avantajlar	Dezavantajlar
Foton Dedektörler	Katkısız (Intrinsic)	IV–VI	PbS PbSe PbSnTe	• Hazırlanması kolay, kararlı malzemeler	• Çok yüksek termal genleşme katsayısı • Yüksek dielektrik sabit • Tercih edilmeyen eski teknoloji
		II–VI	MCT	• Geniş ve ayarlanabilir band aralığı • Olgun teknoloji • Çok renkli/çok bandlı dedektörler • En yüksek performanslı teknoloji	• Büyütme ve sensör işleme zorluğu • Erişilmesi zor teknoloji • Yüksek maliyet
		III–V	Uzatılmış dalgaboyu InGaAs	• SWIR MCT alternatifi • Düşük maliyet	• Gelişmekte olan bir teknoloji
			Örgü uyumlu InGaAs	• Olgun teknoloji • Düşük maliyet	• 1.7 µm dalgaboyu ile sınırlı
			InAs InSb InAsSb	• Olgun malzeme teknolojisi	• MWIR ile sınırlı dalgaboyu
		Ge		• Olgun teknoloji	• Düşük performans
	Katkılı (Extrinsic)	Si:Ga Si:As Ge:Cu Ge:Hg		• Çok uzun dalga boylarında çalışabilme • Göreceli olarak basit teknoloji	• Çok düşük sıcaklıklarda çalışma
		Siyah Si		• Düşük maliyet • Monolitik üretim • Çok Bandlı algılama	• Gelişmekte olan bir teknoloji
	Schottky Bariyerli	PtSi Pt ₂ Si IrSi		• Düşük maliyet • Monolitik üretim	• Çok düşük kuantum verimi
	Kuantum Kuyu	Tip I (QWIP)	GaAs/ AlGaAs InGaAs/InP	• Olgun malzeme teknolojisi • Geniş alanda homojenlik • Çok renkli/bandlı dedektörler • Kolay dalgaboyu kontrolü	• MCT'ye oranla düşük kuantum verimliliği • Düşük çalışma sıcaklığı
		Tip II (Süperörgü)	InAs/ InGaSb InAs/ InAsSb	• Kolay dalgaboyu kontrolü • Çok renkli dedektörler • Yüksek sıcaklıkta çalışabilme potansiyeli	• Karmaşık tasarım ve malzeme büyütme zorluk • Ara yüzlere duyarlılık
	Kuantum Nokta	QDIP	InAs/GaAs InGaAs/ InGaP Ge/Si	• Yüksek sıcaklıklarda çalışma potansiyeli	• Tekrarlanamayan malzeme büyütme süreçleri • Olgunlaşması zor bir teknoloji
		Koloidal Kuantum Nokta	PbS	• Düşük maliyet • Hızlı üretim süreci	• Düşük performans

Kızılötesi Algılamada Dalgaboyu

Kızılötesi algılama sistemlerinde en önemli faktör dedektörün algılama yaptığı dalgaboyudur. Bu dalgaboyları atmosferin geçirgenliği ile sınırlıdır. Atmosferin yeterince geçirgen olmaması durumunda hedeften gelen radyasyon tümüyle veya büyük ölçüde atmosfer tarafından zayıflatılır ve dedektörde yeterli seviyede sinyal yaratılamayıp arzu edilen görüntüleme performansı elde edilemez.

Kızılötesi dedektörlerin uzun mesafe algılama yeteneğine sahip olabilmesi için atmosferin geçirgenliğinin en yüksek olduğu aralıklarda çalışmak üzere tasarlanmaları gerekmektedir. Atmosfer geçirgenliğinin dalgaboyuyla değişimi Şekil 23'te gösterilmektedir.



Şekil 23. Atmosferik Geçirgenliğin Dalgaboyuyla Değişimi

Geçirgenlik penceresine göre KÖ dedektörler gruplandırılmaktadır. KÖ ışıma, farklı dalgaboyu değerlerine göre genellikle 5 farklı gruba ayrılırlar.

Tablo 7. Kızılötesi Dalgaboyu İsimleri

Yakın Kızılötesi (Near Infrared - NIR)	0,8 - 1,1 µm
Kısa Dalga KÖ (Short Wave Infrared - SWIR)	1-3 µm
Orta Dalga KÖ (Midwave Infrared - MWIR)	3-5 µm
Uzun Dalga KÖ (Long Wave Infrared - LWIR)	8-14 µm
Çok Uzun Dalga KÖ (Very Long Wave Infrared - VLWIR)	14-30 µm

Uzun mesafeli termal görüntüleme için MWIR ve LWIR dalgaboyları çok önemlidir. Bu dalgaboylarında oda sıcaklığına yakın cisimler termal görüntülemeye yetecek miktarda foton yaymaktadır ve atmosfer geçirgenliği de yeteri kadar yüksektir. Her iki bandın da birbirine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Oda sıcaklığına yakın cisimlerden LWIR bandında MWIR bandına göre daha fazla foton yayılır. Saçılma oranı dalgaboyu ile ters orantılı olduğu için, LWIR bandı parçacıklardan saçılmaya MWIR bandına göre daha az duyarlıdır. Bunun yanında, füze veya egzoz gazı gibi sıcak cisimler MWIR bandında daha fazla foton yaymaktadır. Kızılötesi radyasyon, atmosferde bulunan su buharı nedeniyle MWIR bandında LWIR bandına göre daha az soğrulmaktadır. Aynı zamanda, hedef sıcaklığındaki 1 K artış sonucu foton yayılımındaki değişimin yüzdesi olarak tanımlanan termal kontrast MWIR bandında LWIR bandına göre iki kat daha fazladır. Termal kontrastın yüksek olduğu durumlarda bir cisim üzerindeki sıcaklık dağılımı daha iyi gözlemlenebilmektedir. Sonuç olarak, çevresel koşullara bağlı olarak bazen MWIR bandı bazen de LWIR bandı daha kullanışlı hale gelmektedir.

Örneğin, atmosferdeki su buharı ve nem miktarının yüksek olduğu deniz uygulamalarında MWIR bandı tercih edilirken, su buharı ve nem miktarının az olduğu ve/veya soğuk arka planlarda LWIR bandı tercih edilmektedir. Bazı uygulama ve ortam koşulları için MWIR ve LWIR bandlarının karşılaştırılması Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Bazı Uygulama ve Ortam Koşulları için MWIR ve LWIR Bandlarının Karşılaştırılması

Ortam	MWIR (3-5 μm)	LWIR (8-12 μm)
Deniz Uygulamaları	X	
Soğuk Arkaplan		X
Tozlu ve puslu savaş ortamı		X
Ultra Dar Bakış Açısı (NFOV) ile uzak mesafeden tanıma	X	
Egzoz gazı tespiti	X	
Güneş Yansımaları	MWIR/MWIR*	X
Gimbal taramaları (Çok düşük entegrasyon süresi)		X
CCM (Flare, vb.)	MWIR/MWIR*	X
Yeni gömülmüş mayın tespiti		LWIR/LWIR**
Yüksek Termal Kontrast	X	

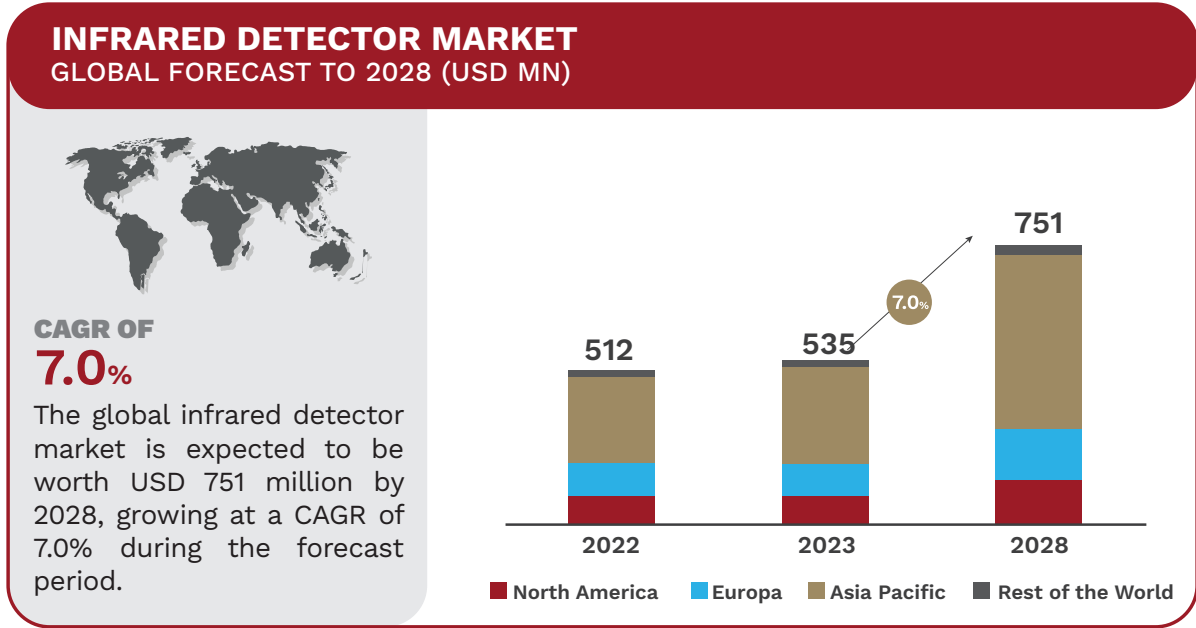
*Güneş yansıması ve CCM imzaları MWIR bandının tamamında yer almasına rağmen belirli bir aralığında daha yoğun olmaktadır. MWIR bandını ikiye bölerek her bir MWIR alt bandındaki sinyal seviyesi değerlendirilir ve güneş yansıması veya CCM gibi yanıltıcı bilgiler ayırt edilebilir.

**Mayın yerleştirmek için yeni kazılmış toprağın kızılötesi emisyonu değişiklik gösterir. Bu değişiklik iki farklı LWIR bandında alınan sinyallerin karşılaştırılması ile tespit edilebilir.

SWIR bandta algılamanın daha uzun dalgaboylarındaki MWIR ve LWIR bandlarından temel farkı algılama sisteminin cisimlerden yayılan radyasyon yerine ortamda bulunan ışığın cisimlerden yansımısını algılamasıdır. Bu nedenle, SWIR bandında çalışan sensörler, insan gözünün çalışma prensibine daha yakındır ve insanların aşına olduğu bir görüntü oluşturur. Bununla birlikte, bu sensörler hedefteki sıcaklık ayrımlarını sergileyen termal algılama ve sıfır ışıklı ortamlarda görüntüleme yapamaz. Bunun nedeni oda sıcaklığı (300 K) civarındaki cisimlerin spektral ekzitansının SWIR bandında içerdіđi çok düşük foton sayısıdır. Oda sıcaklığı civarındaki cisimlerden SWIR bandında yayılan ışımanın şiddeti LWIR ile kıyaslandığında yaklaşık 10.000 kat daha azdır. Bu durumda yalnızca cisimlerin kendilerinden yayılan SWIR dalgaboyundaki ışıma bir algılama sistemi tarafından algılanarak görüntü oluşturabilecek miktarda değildir. Dolayısıyla SWIR dedektörler görüntüleme yapabilmeleri için harici bir ışık kaynağına ihtiyaç duyarlar ve ışık olmayan ortamlarda algılama yapamazlar.

7.1.2. Pazar Analizi

Kızılötesi dedektör pazarı 2023 yılında 535 milyon dolarlık bir büyüklüğe erişmiştir. Bu pazarın 2028 yılında yıllık %7'lik bir büyüme ile 751 milyona erişeceği öngörülmektedir [6]. Kızılötesi dedektör pazarındaki büyümenin güvenlik ve gözetleme sistemleri için artan ihtiyaç, kızılötesi dedektörlerin endüstriyel otomasyon ve üretim süreçlerine entegrasyonu, temassız sıcaklık ölçümü, gaz analizi, astronomi ve yangın algılama alanındaki kullanımlarının artması ile olacağı öngörülmektedir.



Şekil 24. Kızılötesi Dedektör Pazarı [6]

Algılayıcı Malzeme Teknolojileri

Kızılötesi Dalgaboyunda Algılama Odak Çalışma Grubu altında yer alan teknoloji alt grupları aşağıda verilmektedir.

- » Cıva Kadmiyum Tellür (MCT, HgCdTe)
- » QWIP
- » SÜPERÖRGÜ
- » InSb (İndiyum Antimonür)
- » InGaAs (İndiyum Galyum Arsenür)
- » Kolloidal Kuantum Nokta Fotodedektörler
- » Mikrobolometre

Cıva Kadmiyum Tellür (MCT, HgCdTe)

MCT malzemesi, çinko benzeri (Zinc Blende) kristal yapısına sahip bir alaşımdır. Cıva Tellür (HgTe (1-x)) ve Kadmiyum Tellür (CdTe (x)) malzemelerinin belirli oranlarda bir arada bulunmasıyla oluşturulan MCT, “x”e bağlı olarak band aralığının değiştirilebilmesi sayesinde zaman içerisinde en önemli KÖ malzemesi olarak kendini göstermiştir. Band aralığının ayarlanabilir olması, MCT malzemesinin kısa dalgaboyu KÖ (SWIR, 1-3µm), orta dalgaboyu KÖ (MWIR, 3-5 µm), uzun dalgaboyu KÖ (LWIR, 8-12µm) ve çok uzun dalgaboyu KÖ (VLWIR, 12-30µm) bandları gibi bütün stratejik KÖ bandlarında dedektör uygulamalarında kullanılabilmesine olanak vermektedir. MCT malzemesi ile çift/çok bandlı/renkli dedektör yapıları oluşturmak mümkündür.

MCT malzemesinin önemli özellikleri olarak, direkt band aralığına sahip olması, geniş aralıkta taşıyıcı yoğunluklarına erişilmesine uygun olması, yüksek elektron mobilitesine ve düşük dielektrik sabitine sahip olması örnek gösterilebilir. Ayrıca, bu malzemenin kuantum verimliliği çok yüksektir (~%90 mertebeleri). Dolayısı ile bu malzeme ideale yakın bir KÖ algılama malzemesi olarak karşımıza çıkarmaktadır. Ancak, II-VI bileşiği olmasından ve Cıvadan (Hg) kaynaklanan birçok zorluk bu malzemeyi büyütülmesi ve işlenmesi en zor malzemelerden biri yapmaktadır.

Dünyadaki Mevcut Durum

Dünyada Amerika Birleşik Devletleri (ABD) başta olmak üzere, Fransa, İngiltere, Almanya, Çin, Güney Kore, Türkiye ve İsrail MCT teknolojisine sahiptir. Bu ülkelerin yanı sıra, Hindistan ve Rusya’da MCT teknolojisi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır.

Dünyadaki mevcut teknolojik eğilim, daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilen, düşük piksel adımına sahip, çok yüksek çözünürlüklü, birden fazla bandta algılama yapabilen MCT dedektörlerin geliştirilmesi yönündedir. Bunun yanı sıra alternatif taban üzerine büyütülmüş MCT algılayıcı katmanlar ile MWIR ve LWIR bandında algılama yapan yüksek performanslı dedektör dizinlerinin geliştirilmesi yönünde yoğun çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

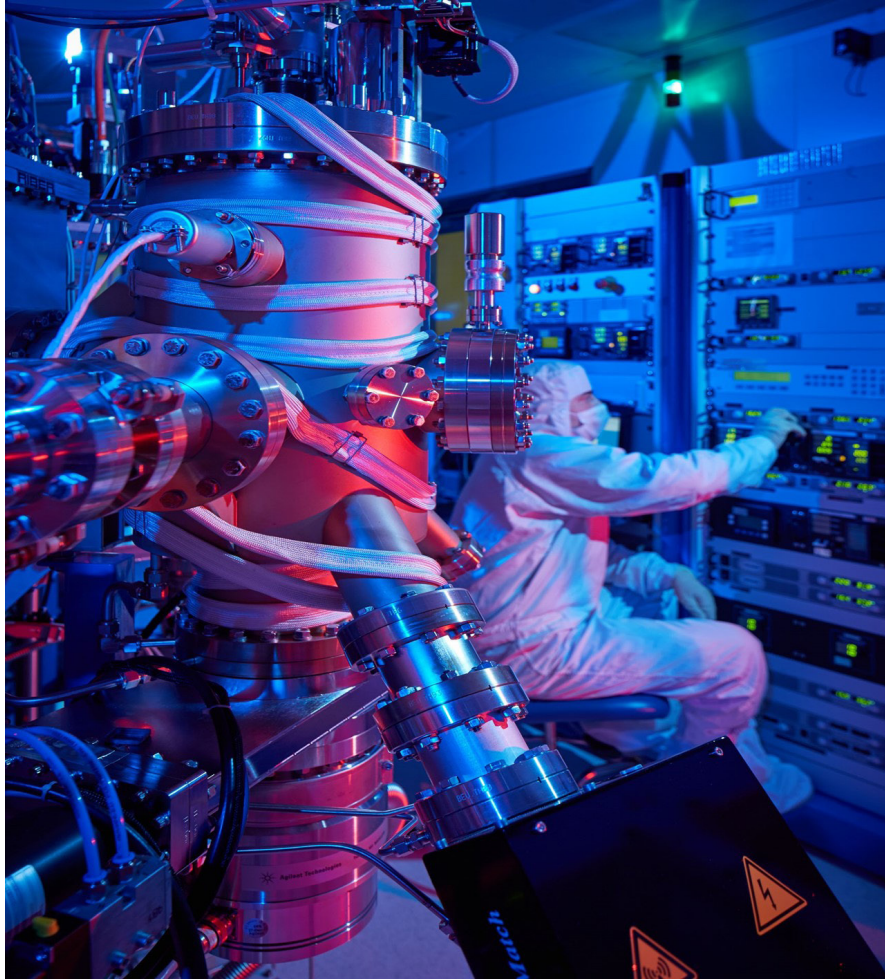
MCT dedektörlerde yüksek çalışma sıcaklığında (High Operating Temperature, HOT) çalışan dedektör geliştirme faaliyetleri mevcuttur. Günümüzde termoelektrik (TE) soğutucular kullanılarak yüksek hassasiyetli KÖ görüntü elde etmek büyük başarı olarak değerlendirilmektedir. TE soğutucular hafif, maliyeti düşük ve az güç tüketmelerinin yanı sıra bağlı oldukları sistemleri 190 K'e kadar soğutabilmeleri gibi özelliklerinden dolayı son birkaç yıldır KÖ teknolojisinde önemli bir yere sahiptir.

Dünyada üretim maliyeti, boyutu, paketlenmiş ağırlığı ve güç tüketimini azaltarak, daha yüksek sıcaklıklarda çalışan dedektörler için çok sayıda çalışma yapılmaktadır.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık/Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

Türkiye'de farklı format ve piksel adımına sahip MCT kızılötesi dedektör takımlarına yönelik çalışmalar mevcuttur.

KDT üreticilerinden son kullanıcı belgesi ile KDT temin edilebilmekte olup bu durum KDT kullanılarak geliştirilen üst sistemlerin özelliklerinin belirlenmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte KDT içeren sistemlerin ihracatı da KDT'yi üreten ülkelerin izini doğrultusunda gerçekleşmektedir.



Şekil 25. Algılayıcı Malzeme Geliştirme Sürecinde Kullanılan Cihaz

Kuantum Kuyulu Kızılötesi Fotodedektör (QWIP)

Periyodik cetvelin III-V grubuna sahip malzemeler (AlGaAs/GaAs ve InP/InGaAs) kullanılarak kuantum kuyulu kızılötesi fotodedektör (Quantum Well Infrared Photodetector, QWIP) yapılar oluşturulur. Kuantum kuyularının kalınlıklarını ve kuantum bariyerlerinin potansiyelleri ayarlanarak QWIP dedektörlerin algılama dalgaboyu değiştirilebilir. QWIP dedektörler diğer kızılötesi dedektörlerden farklı olarak bandlar arası değil band içi elektron geçişi prensibi ile çalışmaktadır.

QWIP teknolojisi MWIR, LWIR ve VLWIR bandlarında sensörlerin üretilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca bu bandların kombinasyonları ile çift bandlı sensörlerin geliştirilebilmesi mümkündür.

QWIP teknolojisi, sahnelerin çok hızlı değişmediği durumlarda birçok uygulama için kullanılabilir. Bunlara örnek olarak zırhlı araçlarda sürücü periskopları, atış kontrol sistemleri, tanksavar füze fırlatma platformu, sınır gözetleme sistemleri ve FLIR sistemleri verilebilir.

Dünyadaki Mevcut Durum

QWIP teknolojisi yaklaşık 30 yıldır üzerinde kapsamlı çalışmalar yapılan bir teknolojidir. MWIR ve LWIR bandlarının her ikisinde megapiksel FPA'ler çeşitli kurumlarca üretilmiştir. Standart AlGaAs/GaAs QWIP'lerde gözlenen düşük kuantum verimliliği nedeniyle, ABD proje destek ofisleri tarafından, LWIR bandında yüksek üretim maliyetli HgCdTe teknolojisine alternatif olabilecek Quantum Dot Infrared Photodetector (QDIP) ve Süperörgü gibi diğer teknolojilerin de desteklenmesine karar verilmiştir. Bu durum QWIP teknolojisindeki gelişmeleri yavaşlatmasına rağmen çeşitli firmalar tarafından üretilen QWIP'ler birçok sisteme takılmış ve sahada kendini kanıtlamıştır.

Bu teknolojinin alt dalı olarak görülebilecek diğer bir teknoloji kuantum nokta kızılötesi fotodedektör (QDIP) teknolojisidir. QDIP teknolojisi ABD proje destek ofisleri tarafından, QWIP teknolojisinin düşük çalışma sıcaklığı ve düşük kuantum verimliliği dezavantajlarını ortadan kaldırmayı hedefleyerek desteklenmesine başlanmış bir teknolojidir. Ancak bu teknoloji hedeflenen performansı göstermemiş ve ürün haline gelememiştir. QWIP teknolojisinin deneysel olarak doğrulanması ile birlikte Amerika Birleşik Devletleri başta olmak üzere, Fransa, Almanya, Kanada, Çin ve İsveç'te QWIP'ler konusunda çalışmalara başlanmıştır.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

Dünyadaki gelişmiş ülkelerin sahip olduğu kızılötesi dedektör teknolojisine, ülkemizde temel teşkil edecek araştırma çalışmalarına başlanmış olup bugüne kadar bu teknolojinin ülkemize kazandırılması yolunda çok önemli kazanımlar elde edilmiştir.

QWIP dedektörler son kullanıcı belgesi kısıtlamalarıyla yurt dışından temin edilebilmektedir.

Süperörgü

Süperörgü algılayıcı malzeme, birkaç nanometre (3-5 nm gibi) kalınlığındaki InAs ve GaSb gibi III-V grubu yarı iletken katmanların ardışık (epikatman) olarak büyütülerek oluşturulduğu yapıdır. Süperörgü algılayıcı malzeme içeren kızılötesi dedektör teknolojisi ise bu yapıdan piksellerin oluşturulması ile ortaya çıkmaktadır.

Süperörgü epikatman yapı büyütmede GaSb taban malzemesi kullanılmaktadır. GaSb taban ile örgü uyumuna sahip InAs, GaSb ve AlSb yarı iletkenler ve bunların üçlü ve dörtlü bileşikleri kullanılarak tasarlanan farklı yapılar kullanılmaktadır. (GaSb/InAs, InAs/InAsSb, GaInSb/InAs, GaSb/AlSb, InAs/GaSb, GaSb/AlSb/InAs, InAs/AlSb/GaSb vb.)

Süperörgü epikatman büyütmenin uygun kalınlıklarda ve yapıda oluşturulmasıyla (fiziksel tasarım) geniş band aralığında MWIR, LWIR veya VLWIR kızılötesi dalga boylarının algılanması sağlanır.

Dünyadaki Mevcut Durum

Süperörgü teknolojisinin sahip olduğu potansiyelin önemi nedeniyle dünyada gelişmiş ülkelerdeki sensör üreticileri, üniversiteler ve araştırma enstitüleri araştırmalarını bu teknoloji üzerine yoğunlaştırmıştır.

Dünyada Amerika Birleşik Devletleri başta olmak üzere, Fransa, İngiltere, Almanya, Çin, Güney Kore ve İsrail Süperörgü teknolojisine sahiptir. Ayrıca, günümüzde 5 µm piksel adımına sahip 5 megapiksellik MWIR dedektörler geliştirilmiştir [7].

Günümüzde birçok çalışma kızılötesi sensörlerin daha yüksek sıcaklıklarda çalıştırılması üzerine odaklanmış olup hem literatürde hem de markette bu özelliklerde ürünler yer almaya başlamıştır. Dünyada 150K sıcaklıkta çalışan MWIR süperörgü dedektörleri ticari olarak üretilmiştir [8].

Süperörgü dedektörler eriştiği yüksek performans sonucunda sabit ve döner kanatlı birçok platformun elektro-optik sistemleri, keşif ve gözetleme sistemleri ve füze arayıcı başlıkları gibi kritik sistemlerde kullanım alanı bulmaktadır.

Kızılötesi dedektör üretici firmaları tarafından, kaliteli Süperörgü malzeme büyütme, dedektör formatını büyütme megapiksel ve üzeri formatlara erişmek, piksel adımını küçültme, fiziksel malzeme tasarımları ile dedektör çalışma sıcaklığını yükseltmek ve yüksek performanslı çift bandlı veya renkli algılama elde etmek için çalışmalar yürütülmektedir. Bu sayede daha uzak mesafeden daha kaliteli görüntü alınabilme imkanı sağlanmış, daha küçük soğutucu kullanılarak güç tüketimi ve dedektör ağırlığı azaltılması amaçlanmıştır.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

Dünyada gelişmeye devam eden bu teknoloji üzerine Türkiye’de de farklı dalgaboylarında ve farklı formatlarda araştırma geliştirme çalışmaları yapılmaktadır.

Süperörgü dedektörler son kullanıcı belgesi ile yurtdışından temin edilebilmektedir. Yüksek çözünürlük ve performanslı süperörgü dedektörlerin ülke dışına satışı genel olarak tüm ülkeler için hükümet iznine tabidir.



Şekil 26. Süperörgü Kızılötesi Dedektör Takımı

InSb (İndiyum Antimonür)

İndiyum Antimonür (InSb) iyi bilinen III-V grubu yarı iletken bir kızılötesi dedektör malzemesidir ve kızılötesi algılayıcılar için yüksek kuantum verimi sunmaktadır. InSb, 77K sıcaklıkta 5,5 μm kesim dalgaboyuyla MWIR bandında termal görüntüleme için 1950 yıllarından beri kullanılan en önemli yarı iletkenlerdendir. InSb malzemesi, yarı iletken teknolojilerinde uzun süredir yaygın olarak kullanılmaktadır ve olgun bir teknoloji olarak nitelendirilmektedir.

MCT dedektörlere aynı dönemlerde geliştirilen bu malzeme, MWIR bandında MCT’ye göre sağladığı kolay üretilebilirlik ve düzgünlük gibi avantajları nedeniyle yaygın kullanım alanı bulunmaktadır.

Dünyadaki Mevcut Durum

InSb, ikili bir bileşik olmasından dolayı sağladığı yüksek tekdüzelik (uniformity) ve malzemenin yüksek emilim katsayısı kaynaklı yüksek kuantum verimi nedeniyle geniş formatlı ve yüksek performanslı dedektör üretimlerinde sıklıkla kullanılan bir teknoloji olmuştur. Ancak MCT ve T2SL teknolojileri ile kıyaslandığında çift renk/çift band dedektör yapılmasının mümkün olmaması, uzun dalgaboyu kızılötesi algılama yapmaya uygun olmaması, çalışma sıcaklığının yaygın olarak 80 K olması ve yüksek sıcaklıkta çalışamaması, büyük soğutucu ve yüksek soğutma gücü ihtiyaçları nedeniyle SWaP-C uygulamalarına uygun olmaması nedeniyle dünya genelinde InSb teknolojisine dayalı yeni teknoloji geliştirilmemektedir.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

Ülkemizde InSb'e yönelik çalışmalar yürütülmüştür. InSb KDT temini ihraç izni ile kontrol edilmektedir.

InGaAs (İndiyum Galyum Arsenür)

İndiyum Galyum Arsenür (InGaAs) yarı-iletken malzeme sistemi, İndiyum Arsenür (InAs) ve Galyum Arsenür (GaAs) malzemelerinden oluşan III-V grubu bir alaşımdır. InP üzerine örgü uyumlu olarak büyütülen InGaAs yarı iletken yapıları son yıllarda NIR/SWIR (0.7 μm - 1.7 μm) dalgaboyunda çalışan dedektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. InGaAs algılayıcı katman içerisindeki indiyum mol oranının artırılması ile algılama dalgaboyu 2.5 μm 'ye kadar arttırılabilmektedir ve bu dedektörler genişletilmiş SWIR (e-SWIR) olarak adlandırılırlar. İndiyum mol oranı arttırıldığında InP taban malzemesi ile oluşan örgü uyumsuzluğundan dolayı algılayıcı katman içerisinde oluşan kusurlar dedektör performansında düşüşe neden olmaktadır. Bu nedenle e-SWIR dedektörler için süperörgü ve MCT de yaygın olarak kullanılan algılayıcı malzemelerdir.

e-SWIR bandında hem SWIR'da olduğu gibi yansıma temelli hem de MWIR'da olduğu gibi ısı görüntü elde edilebilir. Yansımali görüntü için güneş, gece parıltısı (nightglow) veya lamba gibi harici bir ışık kaynağına ihtiyaç duyulur. e-SWIR bandı birçok uygulama için elverişlidir. Bu uygulamalara örnek olarak hiperspektral görüntüleme ve kimyasal teşhisi, gece görüş, keşif ve gözetleme, 2 μm ve daha uzun dalga boylu lazer algılaması ve uzay uygulamaları verilebilir.

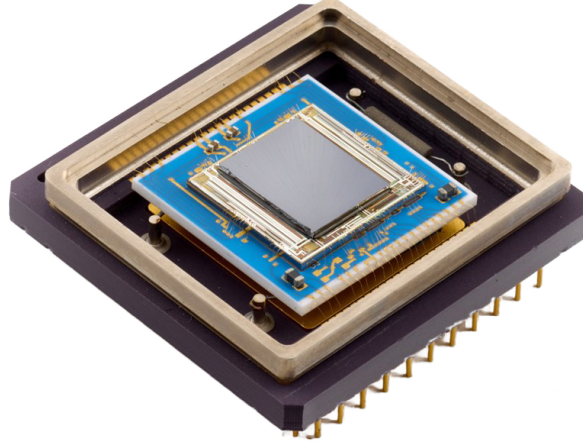
SWIR sensörlerin soğutma gereksinimlerinin olmaması, olgun yarı-iletken sistemleriyle üretilebilmeleri ve geçtiğimiz on yıl içinde teknolojik gelişmelerle birlikte performanslarında sağlanan artış, bu sensörlerin çok düşük ışık seviyeleri altında gece görüşü sağlamak üzere kullanılmalarını sağlamıştır.

Dünyadaki Mevcut Durum

Dünyada, askeri kullanım amacıyla üretilen InGaAs dedektörler asenkron lazer darbe algılama, derinlik algılama, düşük ışık seviyelerinde görüntüleme, keskin nişancı tespiti gibi uygulama alanlarında yer almaktadırlar. Amerika Birleşik Devletleri, Fransa, Belçika, Çin, İsrail, Japonya ve Tayvan'da SWIR dedektör üretimine yönelik faaliyetler bulunmaktadır. Ayrıca ABD ve İsveç'te süperörgü tabanlı e-SWIR, ABD'de InGaAs tabanlı e-SWIR, Fransa'da MCT tabanlı e-SWIR dedektör ve kamera çalışmaları yürütülmektedir.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

SWIR kızılötesi dedektör geliştirilmesine yönelik çalışmalar ülkemizde yürütülmektedir. SWIR dedektörler farklı ülkelerden son kullanıcı belgesi ile temin edilebilmektedir.



Şekil 27. SWIR Kızılötesi Dedektör Takımı

Kolloidal Kuantum Nokta Fotodedektörler

1980'lerin başlarında, bilim insanları, nano boyutlu parçacıkların özellikle optik özelliklerinde gözle görünür değişikliklere neden olan kuantum noktalarını keşfetmişlerdir. Kolloidal kuantum noktalar bir çözelti içerisinde yer alan ve kuantum noktanın büyüklüğüne göre band aralığı değiştirilebilen yarıiletken nano kristallerdir.

Son yıllarda, teknolojiye ileri adımlar, kuantum noktalarının kullanım alanlarına yönelik araştırmaların ve uygulamaların hızla artmasına neden olmuştur. Bu yenilikçi teknoloji; bilişim, tıp, enerji ve diğer birçok sektörde devrim niteliğinde değişiklikler sunmaktadır. Kuantum noktaları, tek atom transistörlerinden güneş hücrelerine, LED'lerden görüntüleme sistemlerine kadar birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle Kurşun Sülfür (PbS) kuantum noktaları, SWIR görüntüleme sensörleri için mükemmel bir seçenek olmaktadır. Bu tür sensörler, otonom araçlar, savunma sanayi, lazer ışını profillemesi, tarımsal algılama ve tıbbi görüntüleme gibi birçok uygulama alanında kullanılmaktadır.

Dünyadaki Mevcut Durum

Fotoiletken yapısındaki ilk kolloidal kuantum nokta fotodedektör hakkında yapılan çalışmalar 2006 Nature Letters dergisinde rapor edilmiştir. 2009 yılında ise kuantum noktaların organik malzemelerle karıştırılmasıyla elde edilen aktif katman, NIR bölgesinde algılama yapacak fotodiyot yapısında kullanılmıştır ve Nature Photonics dergisinde rapor edilmiştir.

Yapılan çalışmalar ve yaşanan gelişmelere bakıldığında ve teknolojinin sunduğu avantajlar göz önüne alındığında düşük maliyetin getirdiği yeni eklenen uygulamalarla birlikte kolloidal kuantum nokta tabanlı sensör pazarının gelişeceği öngörülmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde CQD sensörleri geliştirilmiştir. Fransa, CQD sensörlerin gösterimini 2023 yılında gerçekleştirmiştir. Ayrıca Finlandiya ve İngiltere'de CQD sensör geliştirme çalışmaları yürütülmektedir.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

Ülkemizde ise kuantum nokta araőtırmaları yürütölmektedir.

Üretim yöntemlerinin nispeten basit olması, karmaşık altyapılar gerektirmemesi, kullanılan malzemelerin askeri-sivil uygulamalara yönelik olması nedenleriyle teknolojinin geliştirilmesine yönelik kısıtlamaların oluşmayacağı değerlendirilmektedir.

Mikrobolometre

Mikro Elektro Mekanik Sistemler (MEMS) teknolojisi, basit tanımı ile silisyum diskler üzerine üretilen mikro makina teknolojisidir. MEMS yapıların, alt birimlerinin boyutları genellikle 1 – 100 µm aralığında olup, toplam büyüklüğü milimetreler civarına ulaşabilmektedir. MEMS Teknolojisi, gece görüş (Mikrobolometre), navigasyon (ivmeölçer, dönüölçer), RF (MEMS anahtarlar, akıllı antenler, ayarlanabilir filtreler), optik alanı (mikro aynalar) gibi çok çeşitli askeri alanlarda kullanılmaktadır. Bu teknoloji aynı zamanda sağlık (mikro tanı ve teşhis kitleri), otomotiv (ivmeölçer, basınç sensörü, Mikrobolometre), güvenlik (hareket sensörü, duman ve yangın sensörü), kalite kontrol (ürünlerin üretim hattında kontrolü), bilişim (hard disk, bilgisayar, tablet, akıllı telefonlar) ve eğlence (oyun konsolu, vs.) alanlarında da kullanılmaktadır.

Bu teknolojiye dayalı olarak geliştirilen en önemli ürünlerden biri termal algılama prensibine dayalı olan ve soğutma ihtiyacı olmayan Mikrobolometre tipi kızılötesi dedektörlerdir. Bu dedektörlere aynı zamanda soğutmasız kızılötesi dedektörler de denilmektedir. Mikrobolometre tipi kızılötesi dedektörler, cisimlerden yayılan radyasonu soğurunca elektriksel direnci değişen bir aktif katman içerirler. Dirençteki değişim miktarı algılanarak kızılötesi görüntü oluşturulur. Günümüzde en yaygın kullanılan mikrobolometrelerde aktif katman olarak VOx ve a-Si teknolojisi kullanılmaktadır.

Mikrobolometrelerin kriyojenik soğutuculara ihtiyaç duymaması, bu dedektörlerin kullanıldığı sistemlerin daha az güç tüketmesine, daha hafif ve elde taşınabilir şekilde kompakt yapıda olmasına olanak vermektedir.

Dünyadaki Mevcut Durum

Mikrobolometre teknolojisinde son dönemde piksel adımının küçöltölmesi, çözünürlüğün artırılması, termoelektik soğutucu ve kapatıcı (shutter) kullanmadan dedektör üretilmesi konularında dünya genelinde çalışmalar devam etmektedir.

Amerika Birleşik Devletler, İsrail, Fransa, Çin ve Güney Kore mikrobolometre tipi soğutmasız kızılötesi dedektör pazarında söz sahibi olan önemli ölkelerdir.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

Mikrobolometre tipi soğutmasız dedektör geliştirme çalışmaları ülkemizde gerçekleştirilmektedir. Mikrobolometre dedektörler son kullanıcı belgesi ile temin edilebilmektedir.

7.1.3. Teknoloji Konu Önerileri

Kızılötesi Dalgaboyunda Algılama Odak Çalışma Grubu çalışmaları sonucunda elde edilen teknoloji konuları aşağıda yer almaktadır.

Tablo 9. OÇG-1 Yakın Vade Konu Önerileri

	Konu Adı ve Kapsamı	Vade
1	Yüksek Sıcaklıkta Çalışan (HOT) MWIR Süperörgü Kızılötesi Dedektör Takımı Teknolojisinin Geliştirilmesi Yüksek sıcaklıkta çalışan epi-katman tasarım kabiliyeti, epi-katman algılayıcı malzeme büyütme yeteneği, sensör üretim ve entegrasyon kabiliyeti edinilecektir. Elde edinilecek yeteneklerin entegrasyonu ile KDT geliştirilmesi hedeflenecektir.	Yakın
2	Genişletilmiş Kısa Dalgaboyu (e-SWIR) Kızılötesi Dedektör Takımı Teknolojisinin Geliştirilmesi e-SWIR bandında algılama yapan dedektörler için en uygun algılayıcı malzeme sisteminin belirlenmesi, epi-katman tasarım ve büyütme kabiliyetlerinin kazanılması, sensör üretim yeteneğinin ve kızılötesi dedektör takımlarının milli olarak geliştirilmesi amaçlanmaktadır.	Yakın
3	Yüksek Sıcaklıkta Çalışan (HOT) MWIR Cıva Kadmiyum Tellür (MCT) Kızılötesi Dedektör Takımı Teknolojisinin Geliştirilmesi Geleneksel Kızılötesi Dedektör Takımlarına göre daha yüksek sıcaklıklarda çalışacak HOT MCT teknolojisini kazanılması hedeflenecektir. Böylece daha küçük boyutlarda ve hafif soğutucular kullanılarak modüler sistemlere entegre olabilecek KDT üretilmesi hedeflenecektir.	Yakın
4	Megapiksel Formatlı, Düşük Piksel Adımlı Süperörgü LWIR Kızılötesi Dedektör Takımı Teknolojisinin Geliştirilmesi LWIR Süperörgü algılayıcı malzeme epi-katman tasarım kabiliyeti, epi-katman algılayıcı malzeme büyütme yeteneği, sensör üretim ve entegrasyon kabiliyeti edinilecektir. Elde edinilecek yeteneklerin entegrasyonu ile LWIR Süperörgü KDT geliştirilmesi hedeflenecektir.	Yakın

	Konu Adı ve Kapsamı	Vade
5	Megapiksel Formatlı, Düşük Piksel Adımlı Mikrobolometre Kızılötesi Dedektör Takımı/Modül Teknolojisinin Geliştirilmesi Minyatür, düşük güç tüketimli, yüksek çözünürlüklü ve hassasiyetli mikrobolometre kameraların geliştirilmesi sağlanacaktır. Bu sayede hafif ve düşük güç tüketimli ve boyutlu termal kameralar gerektiren platformlarda geliştirilecek ürünlerin kullanılması mümkün olabilecektir. Çalışmada yapılacak optimizasyonlarla SWaP-C açısından teknoloji performansı iyileştirilirken elektro-optik performansın mevcut teknolojiye göre daha iyi bir noktaya getirilmesi hedeflenecektir.	Yakın
6	Süperörgü MWIR/LWIR Kızılötesi Dedektör Takımı Teknolojisinin Geliştirilmesi MWIR/LWIR Süperörgü algılayıcı malzeme epi-katman tasarım kabiliyeti, epi-katman algılayıcı malzeme büyütme yeteneği, sensör üretim ve entegrasyon kabiliyeti edinilecektir. Elde edinilecek yeteneklerin entegrasyonu ile MWIR/LWIR Süperörgü KDT geliştirilmesi hedeflenecektir.	Yakın
7	Süperörgü MWIR/MWIR Kızılötesi Dedektör Takımı Teknolojisinin Geliştirilmesi MWIR/MWIR Süperörgü algılayıcı malzeme epi-katman tasarım kabiliyeti, epi-katman algılayıcı malzeme büyütme yeteneği, sensör üretim ve entegrasyon kabiliyeti edinilecektir. Elde edinilecek yeteneklerin entegrasyonu ile MWIR/MWIR Süperörgü KDT geliştirilmesi hedeflenecektir.	Yakın
8	GaSb Taban Büyütme ve Yüzey Hazırlama Teknolojisinin Geliştirilmesi GaSb taban teknolojisinin geliştirilmesi çalışmaları sonucunda hacimsel kristal büyütme ve yüzey hazırlama konularında bilgi birikimi edinilecek ve süperörgü epikatman büyütme olanak tanıyacak kalitede GaSb tabanlar elde edilmesi hedeflenecektir.	Yakın
9	Büyük Yüzey Alanlı Alttaş CdZnTe Kristal Büyütme Teknolojisinin Geliştirilmesi MCT Algılayıcıların MBE yöntemi ile büyütülmesi için alttaş olarak kullanılan kritik CdZnTe (CZT) malzemesinin yüzey alanının artırılması için yerli ve milli imkanlar kullanılarak yüksek iç çapa sahip fırın, fırın destek sistemi ve kontrol ekipmanlarının tasarımı ve üretiminin yapılması ve geniş alanlı CZT taban malzemelerinin büyütülmesi hedeflenmektedir.	Yakın
10	Süperörgü MWIR/LWIR Dedektör Algılayıcı Malzeme Büyütme Teknolojisinin Geliştirilmesi MWIR/LWIR Süperörgü epi-katman algılayıcı malzeme büyütme yeteneğinin kazanılması hedeflenmektedir.	Yakın

Tablo 10. OÇG-1 Uzak Vade Konu Önerileri

	Konu Adı ve Kapsamı	Vade
1	Kolloidal Kuantum Nokta Fotodedektör Teknolojisinin Geliştirilmesi SWIR spektrumunda algılama yapacak kolloidal kuantum noktaların geliştirilmesi, bu kuantum noktalar kullanılarak sensör geliştirilmesi hedeflenmektedir.	Uzak
2	İndiyum Galyum Arsenür (InGaAs) Kısa Dalgaboyu (SWIR) Kızılötesi Dedektör Algılayıcı Malzeme Büyütme Teknolojisinin Geliştirilmesi SWIR ve e-SWIR dalgaboylarında algılama yapacak InGaAs algılayıcı malzemesinin epitaksiyel büyütmesi teknolojisinin kazınılması hedeflenmektedir.	Uzak
3	İndiyum Antimonür (InSb) Kızılötesi Dedektör Takımı Teknolojisinin Geliştirilmesi InSb algılayıcı malzeme epi-katman tasarım kabiliyeti, epi-katman algılayıcı malzeme büyütme yeteneği, sensör üretim ve entegrasyon kabiliyeti edinilecektir. Elde edinilecek yeteneklerin entegrasyonu ile InSb KDT geliştirilmesi hedeflenecektir.	Uzak
4	İndiyum Antimonür (InSb) Kızılötesi Dedektör Algılayıcı Malzeme Büyütme Teknolojisinin Geliştirilmesi InSb algılayıcı malzeme epi-katman büyütme yeteneğinin kazanılması hedeflenmektedir.	Uzak
5	QWIP LWIR Kızılötesi Dedektör Takımı Teknolojisinin Geliştirilmesi VGA ve MegaPiksel formatında düşük NETD'ye sahip LWIR QWIP geliştirilmesi ve seri üretime aktarımı hedeflenmektedir.	Uzak

7.2. YARDIMCI BİRİMLER ODAK ÇALIŞMA GRUBU (OÇG-2)

7.2.1. Genel Bilgi

Kızılötesi/görünür dalgaboyunda algılama yapan sensörlerin verilen isterler doğrultusunda sistemlere entegre edilebilmesi için ilgili yardımcı birimleriyle (okuma devresi, opto-mekanik taşıyıcı, kriyojenik soğutucular ve malzemeler, optik birimler, veri işleme, vb.) beraber bir bütün olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Kızılötesi ve görünür dalgaboyunda algılama konusunda tam bağımsızlığın sağlanabilmesi için alt birimlerin teknolojileri hakkında bilgi birikimi, tecrübe ve pratik yetkinlik kazanılması kritiktir.

Yardımcı Birimler Odak Çalışma Grubu kapsamında yardımcı birimler ve görüntü yoğunlaştırıcı tüpler (GYT) konusunda dünyadaki ve Türkiye'deki mevcut durum göz önünde bulundurularak karşılanması gereken ihtiyaçların belirlenmesi hedeflenmiştir. Buna ek olarak, kameralar için kritik bileşen olan optik teknolojisine yönelik dünyadaki ve Türkiye'deki mevcut durum ve çalışmalar belirlenerek yeni teknolojilere yönelik çalışmalar önceliklendirilmiştir.

7.2.2. Pazar Analizi

Kızılötesi/görünür dalgaboyunda algılama yapan dedektörlere ve sistemlere ait yardımcı birimler (okuma devresi, opto-mekanik taşıyıcı, kriyojenik soğutucular ve malzemeler, optik birimler, veri işleme, vb.) için “7.1. Kızılötesi Dalgaboyunda Algılama Odak Teknoloji Grubu” içerisinde verilen “7.1.2. Pazar Analizi” verileri referans alınmalıdır.

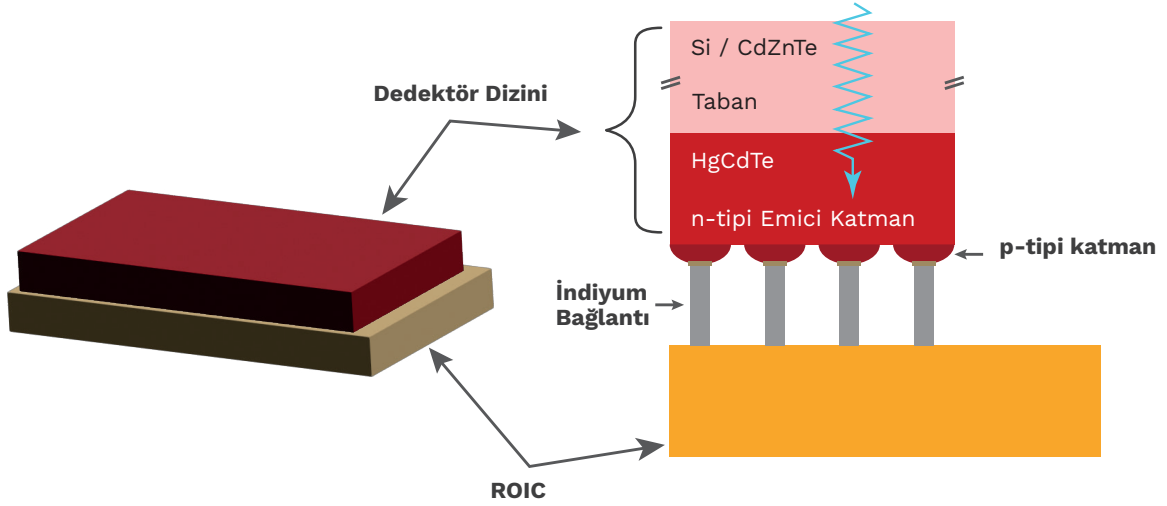
Görüntü yoğunlaştırıcı tüp (GYT) teknolojisinin 2023 yılındaki pazar büyüklüğü 1.16 milyar ABD doları olarak raporlanmıştır. 2029'da pazar büyüklüğünün, %6.87'lik bileşik yıllık büyüme oranı ile 1.74 milyar ABD doları olacağı öngörülmektedir. Bu teknoloji için en büyük pazarın Kuzey Amerika olduğu ve en hızlı büyüyen segmentin de orta çözünürlüğe sahip GYT'ler olduğu yine ilgili raporlarda yer alan veriler arasındadır [9].

Yardımcı Birimler Odak Çalışma Grubu altında yer alan teknoloji alt grupları aşağıda verilmektedir.

- » Tümüleşik Okuma Devreleri
- » Opto-Mekanik Taşıyıcı Tasarım ve Paketleme
- » Kriyojenik Soğutucular ve Malzemeler
- » Optik Birim Teknolojisi
- » Görüntü Yoğunlaştırıcı Tüp Teknolojileri
- » Veri İşleme

Tümleşik Okuma Devreleri (ROIC)

Tümleşik okuma devresi (Read-Out Integrated Circuit, ROIC), sensör tarafından üretilen elektriksel sinyali okuyan ve işlenmek üzere okuma devresi çıkışlarına bağlı olan elektronik kartlara yollayan, bütün sensör tasarımları için geçerli bir arayüz birimidir. Tümleşik okuma devreleri, piksel olarak bilinen hücrelerden ve etrafındaki yardımcı devrelerden oluşmaktadır. Tümleştirileceği odak düzlem dizini ile aynı formata ve piksel sayısına sahiptir (Şekil 28).



Şekil 28. MCT Odak Düzlem Dizini ile Tümleştirilmiş Okuma Devresi Yapısı

Okuma devresi, odak düzlem dizinlerinin okunması için geliştirilen ve genelde CMOS teknolojisi kullanılarak üretilen tümleşik devredir. CMOS teknolojisi, Si tabanlı tümleşik devrelerin üretildiği teknolojilerin genel adıdır. CMOS görüntüleme sensörleri ise, CMOS teknolojisi kullanılarak üretilmiş olan görünür dalgaboyunda çalışan ve genelde monolitik yapılı olan görüntüleme sensörleridir.

Çalışma sıcaklığı, gürültü seviyesi, güç tüketimi, dinamik aralık, termal genleşme etkileri, hız ve radyasyon dayanıklılığı, farklı uygulamaların okuma devrelerinden beklediği fonksiyonlardan bazılarıdır.

Okuma devrelerinin gelişimine bakıldığında analog ağırlıklı tasarımların yoğun olduğu devrelerden, sayısal tasarımların ağırlık kazandığı devrelere doğru bir yönelim olduğu gözlemlenmektedir. Yeni nesil teknolojilerde üretim süreci daha küçük transistörleri desteklediği için, birim alana daha fazla transistör sığabilmektedir. Seçilen teknoloji ne kadar yeni nesil bir teknoloji ise sayısal ağırlıklı tümleşik devre tasarımları, tasarımcıya o kadar avantaj sağlamaktadır.

Dünyadaki Mevcut Durum

Dünyada, tümleşik okuma devreleri üzerinde birçok ülke (ABD, İngiltere, Almanya, Fransa, İsrail, vb.) ve kurum çalışmaktadır. Dedektör ve platform üreten firmalar ROIC tasarımlarını kendi bünyelerinde yapmakta olup üretimlerini, CMOS üretim evlerinde (foundry) yaptırmaktadırlar.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

Türkiye’de tümleşik okuma devresi tasarımları yapılabilmektedir.

Uzun vadede ise gelişmiş okuma devreleri geliştirilmeye başlanıldığında daha ileri seviye teknolojilerde tasarımın yapılmasına ihtiyaç duyulacaktır. Dünyada üretim yapan CMOS üretim evi sayısı kısıtlıdır.

Opto-Mekanik Taşıyıcı Tasarım ve Paketleme

Kızılötesi dalgaboyunda algılama yapan soğutmalı ve soğutmasız kızılötesi dedektörlerin ve görünür dalgaboyunda algılama yapan sensörlerin ürün haline gelebilmesi için entegre edildikleri sistem ile mekanik, elektriksel ve optik arayüz gereksinimlerini karşılayan hermetik özellik gösteren özel taşıyıcı yapılar (Opto-Mekanik Taşıyıcı, OMT) içerisine entegre edilmeleri gerekmektedir.

Hizmet ömürleri boyunca dışarıdan tekrar müdahale şansı mümkün olmayan OMT yapılarının gerekli hermetik özelliklerini koruyabilmeleri için bu yapıların oluşturulmasında kullanılan malzemelerin ve malzeme birleştirme proseslerinin askeri standartlarla tanımlanan sızdırmazlık isterlerini sağlayacak şekilde seçilmesi ve optimize edilmesi gerekmektedir.

Kızılötesi dedektörlerin üst sistem entegrasyonu için gerekli arayüzlere sahip bu OMT’lerin elde edilmesine yönelik olarak metal, seramik ve yarı iletken gibi farklı özelliklere sahip çok sayıda parça uzun yıllar gerekli vakum koşullarını devam ettirebilecek sızdırmazlığa ve düşük gaz salınımına sahip olacak şekilde birleştirilmelidir.

Soğutmasız kızılötesi dedektörler için gereken OMT tasarım bilgileri ve prosesler soğutmalı OMT yapı tasarımı için gerekenlerle benzerlik göstermektedir. Uzun servis ömrü beklentilerine bağlı olarak, mikrobolometre tipi soğutmasız kızılötesi dedektörlerin de yüksek vakum koşullarında kapatılması gereklidir. Soğutma gereksiniminin bulunmaması, mikrobolometre paketlerinin soğutmalı dedektör paketlerine kıyasla daha kolay üretilebilmesini sağlamaktadır.

Dünyadaki Mevcut Durum

Dünya genelinde bu konu üzerine gerçekleştirilen çalışmalar, boyut, ağırlık ve güç tüketimini asgari seviyelere indirmeyi hedefleyen tasarımlar ve vakum ömrü özelliğini uzun yıllar koruyabilen opto-mekanik taşıyıcı yapılar üretmek üzerine yoğunlaşmaktadır.

Kızılötesi dedektör geliştiren ülkeler UHV ve kriyojenik teknoloji birikimine ve dolayısıyla OMT yapı geliştirilmesi teknolojisine sahiptirler. Bu ülkeler Almanya, Fransa, İtalya, İsrail, Güney Kore, Japonya, İsveç, ABD ve Çin’dir.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

OMT tasarım ve üretimine yönelik ülkemizde çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Ülkelerin kendi milli güvenlik konuları ile doğrudan ilişkili olması nedeni ile kızılötesi dedektör OMT yapıları için tasarım ve üretimine yönelik hizmetler sınırlıdır.

Kriyojenik Soğutucular ve Malzemeler

120 K (-153°C) ve daha düşük sıcaklıklar “kriyojenik sıcaklıklar” olarak adlandırılmaktadır. Soğutmalı kızılötesi dedektörlerden termal görüntü alınabilmesi için dedektör sıcaklığının kriyojenik sıcaklıklara soğutulması gerekir. Bu sebeple belirtilen sıcaklık bölgesine inilmesini sağlayan kriyojenik soğutucular kullanılır.

Kriyojenik soğutucular temel olarak termodinamik prensiplerine uygun olarak kapalı veya açık çevrim ile çalışırlar.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan kızılötesi dedektörlerde Stirling ve Joule Thomson (JT) termodinamik çevrimleri ile çalışan soğutucular kullanılmaktadır. Stirling çevrimi ile çalışan soğutucular bakıma ihtiyaç duymadan daha uzun süre boyunca soğutma sağlamaktadır. Joule-Thomson (JT) soğutucular çoğunlukla hızlı soğuma isterlerinin olduğu platformlarda kullanılmaktadır. Stirling ve JT soğutucular aşağıdaki tabloda karşılaştırılmıştır (Tablo 11).

Bu soğutucuların dışında Brayton, Gifford McMahon, Pulse Tube soğutucuların da farklı amaçlarla kullanıldığı bilinmektedir.

Tablo 11. Stirling ve JT Soğutucuların Karşılaştırması

Stirling Soğutucu	Joule-Thomson Soğutucu
Stirling çevrimini kullanarak soğutur.	Joule-Thomson etkisini kullanarak soğutur.
Akışkan olarak helyum kullanılır.	Akışkan olarak argon, azot veya kuru hava kullanılır.
Kapalı çevrim ile çalışır.	Açık veya kapalı çevrim ile çalışır.
Faz değişimi yok, her zaman gaz fazındadır.	Faz değişimi vardır.
Hareketli parçalardan oluşur.	Hareketli parça yoktur.
Sistem içi gaz basınç değerleri 16 bar ile 40 bar arasındadır.	Sistem içi gaz basınç değerleri 150 bar ile 500 bar arasında olabilmektedir.
Daha büyük boyutlardadır.	Daha küçük boyutlardadır.
Soğutma süresi dakikalar mertebesinde (4-8 dakika arası).	Soğutma süresi saniyeler mertebesinde (5-60 sn arası).
Çalışma ömrü alt sistemlerinin aşınma dayanımıyla sınırlıdır (8000-50000 saat).	Hareketli parça içermediği için çalışma ömrü genellikle daha uzun olabilmektedir.

Stirling Soğutucu	Joule-Thomson Soğutucu
Çalışma ömrü süresince soğutma yapabilir.	Çalışma süresi gaz kaynağının kapasitesi ile sınırlıdır.
Uzun süre görüntüleme yapacak sistemlerde kullanılır.	Kısa süre görüntüleme yapacak sistemlerde kullanılır.
Örnek uygulamalar: İlk çalıştırmadan sonra hızlı görüntü alınmasının gerekli olmadığı, uzun süreli çalışma isteri olan keşif gözetleme sistemleri, elde taşınabilen mobil termal kameralar, seyir füzeleri ve bazı hava-hava füzeleri	Örnek uygulamalar: İlk çalıştırmadan sonra hızlı görüntü alınmasının gerektiği, kısa süreli çalışma isteri olan takip sistemleri, arayıcı başlıklar

Dünyadaki Mevcut Durum

Fransa, İsrail, Slovenya, Amerika Birleşik Devletleri ve Çin’de farklı soğutma güçlerinde ve boyutlarda Stirling soğutucular konusunda uzman oldukları bilinmektedir. Ayrıca, Joule-Thomson soğutucu tasarım ve imalat tecrübeleri ve ürünleri olduğu bilinmektedir.

Stirling soğutucular için daha yüksek çalışma sıcaklıklarına uygun daha küçük boyutlu ürünler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu ürünlerde düşük güç tüketimi, düşük üretim maliyetleri ve uzun çalışma ömrü konularında araştırma faaliyetlerinin devam ettiği bilinmektedir. JT soğutucularda ise üretim maliyetlerini ve ilk soğuma süresini azaltmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

Ülkemizde kriyojenik soğutuculara yönelik çalışmalar yürütülmektedir.

Dedektöre özel soğutucu ihtiyacı nedeni ile rafta hazır ürünlerin doğrudan kullanımında zorluklar yaşanabileceği değerlendirilmektedir.

Optik Birim Teknolojisi

Optik birim, algılama sisteminde görüntülenmesi amaçlanan nesne veya alandan KÖ/EO algılama sistemine doğru gelen ışınların sistem gereksinimlerine uygun parametrelerle kullanılacak sensör üzerine odaklanmasını sağlayan sistemdir.

KÖ algılama sisteminin ne kadar uzaktan hedefi tespit edeceği optik tasarım (KÖ algılama sistemi göz önünde bulundurularak gerçekleştirilen) ve buna bağlı olarak üretilen optik birim/bileşenler belirlemektedir.

Optik birim ve bileşenlerin üretimi kapsamında öncelikli olarak;

- » Optik sistem tasarımı,
- » Optik malzemelerinin geliştirilmesi ve üretimi,
- » Optik üretim teknolojileri,
- » Optik kaplama teknolojileri

ön plana çıkmaktadır.

Optik Sistem Tasarımı

Optik birim, algılama sisteminde görüntülenmesi amaçlanan nesne veya alandan sisteme doğru gelen ışınların sensör üzerine odaklanmasını sağlayan sistemdir. Bu sistemi oluşturan mercek, ayna, prizma, filtre gibi alt bileşenler de optik elemanlar olarak isimlendirilir.

Kompleks bir sistem birçok boyutlu uzayda sonsuz sayıda çözüme sahiptir. Tasarımcının görevi bu çözümlerden hangisinin optimum olduğuna karar vermektir.

Dünyadaki Mevcut Durum

Dünyada özellikle askeri uygulamalarda kullanıcıdan gelen isterlerden başlayarak optik birimin tasarımını, üretimini ve optik elemanların ince film kaplamalarını yapabilen birçok firma mevcuttur.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

Ülkemizde optik sistem tasarım alanında çalışmalar yürütülmektedir.

Optik Malzemelerinin Geliştirilmesi ve Üretimi

EO sistemlerde ışınlara yön verilmesi için optik malzemeler çeşitli formlarda kullanılmaktadır. Optik malzemeler seçilirken temel olarak kullanılacağı dalgaboyunda optik geçirgenlikte olmalıdır. Optik sistemin tasarımına bağlı olarak farklı kırılma indislerine sahip optik malzemeler sistemelerde kullanılmaktadır.

Safir, Alüminyum Oksit'in (Al_2O_3) tek kristal olarak büyütülmesi ile oluşturulan bir malzeme olup mor ötesi bölgeden 5 μm 'a kadar olan optik geçirgenliği nedeniyle MWIR kızılötesi dalgaboyu uygulamalarında tercih edilmektedir. Safir, en sert malzemelerden biridir, aynı zamanda yüksek sıcaklığa, hızlı ısınma-soğuma ve kimyasal korozyona karşı sağladığı yüksek dayanç nedeniyle pencere uygulamalarında avantajlıdır.

Germanyum tek-kristalleri, 2-14 µm dalgaboyu aralığında sahip olduğu yüksek geçirgenlik sebebiyle kızılötesi dedektörlerde, termal kamera/FLIR merceklerinde ve ses altı hızlara sahip füzelerin arayıcı başlıkları için ideal bir optik pencere malzemesidir. Germanyumun yüksek geçirgenliğinin yanı sıra kolay işlenebilirlik, kimyasallara ve neme karşı yüksek direnç gibi avantajları ile de askeri uygulamalarda ön plana çıkmaktadır.

Silisyum, kızılötesi algılama sistemlerinde genellikle 3-5 µm dalgaboyunda kullanılmaktadır. Silisyumun KÖ optik malzemesi olarak kullanılabilmesi için, malzeme hatalarının minimize edilerek tek kristal olarak büyütülmesi gereklidir. Bu sayede maksimum optik geçirgenlik elde edilebilir. Silisyum düşük maliyet, hafiflik, iyi termal iletkenlik ve yüksek mekanik mukavemet gibi avantajlara sahiptir. Silisyumun Germanyum'a göre sert oluşu ve daha zor şekil verilmesi ise bu malzemenin dezavantajı olarak görülmektedir.

Çinko Selenür (ZnSe) ve Çinko Sülfür (ZnS) malzemeleri görünür bölgeden 14 µm'a kadar yüksek geçirgenliğe sahiptir. Geniş bandtaki geçirgenliği, iki malzemeyi de çift band uygulamalarında ön plana çıkartmaktadır. Kimyasal tepkimelere karşı yüksek direnci, su tutmaz yüzey yapısı, yüksek saflıkta (safsızlık miktarı <0.1 ppm) üretilmesi, yoğun yapısı (gözenek miktarı az), işlenebilirlik kolaylığı ve termal şoklara karşı yüksek dayancı iki malzemenin de avantajlı yönleri olarak görülmektedir.

Dünyadaki Mevcut Durum

Kızılötesi dalgaboylarında optik geçirgenliğe sahip malzemeler oldukça limitlidir. Çin, Rusya ve ABD'de safir tek kristal büyütme ve sonraki süreçlere ait ürün tedarik edilebilecek firmalar bulunmaktadır. Germanyum, Çin, Rusya, Hindistan ve ABD kaynaklarından tedarik edilmektedir. Germanyum madeni bulunmayan bir element olması nedeniyle rezerv olarak azdır. Germanyum malzemesinin rezerv kısıtı nedeniyle alternatif olarak kalkogenit camlar ön plana çıkmaktadır. Silisyum tek kristal büyütme teknolojisine ait süreçlerde germanyumla benzerdir. Çeşitli tedarikçilerden silisyum optikleri sağlanabilmektedir. Çinko Selenür (ZnSe) ve Çinko Sülfür (ZnS) malzemeleri Almanya, Belçika ve Çin'de yer alan firmalar tarafından üretilmektedir.

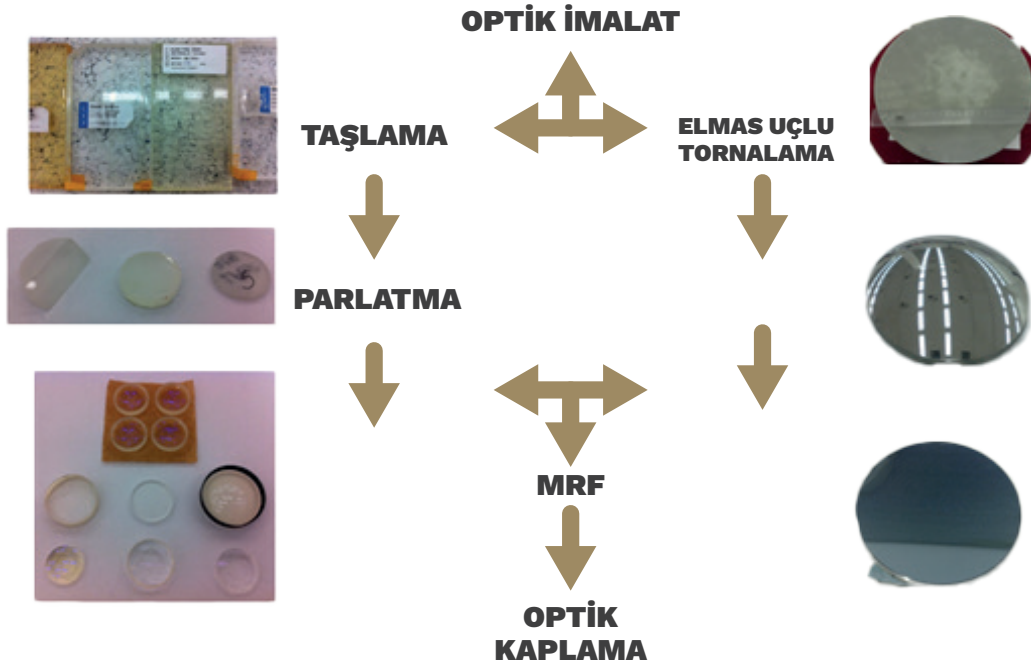
Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

Türkiye'de optik malzemelerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar mevcuttur.

Optik Üretim ve Kaplama Teknolojileri

Optik Üretim

Kızılötesi sistemlerde kullanılan optik malzemeler daha çok elmas uçlu tornalama (single point diamond turning, SPDT) ile üretilirken görünür ve yakın kızılötesi mercekler için taşlama/parlatma sistemleri kullanılmaktadır. Çok yüksek yüzey hassasiyetine sahip sistemler için optik elemanların yüzeyleri MRF (Magnetorheological Finishing) ile iyileştirilmekte ve optik ince film kaplamaya aktarılmaktadır.



Şekil 29. Optik Üretim İş Akışı

Optik Kaplama

Optik kaplama teknolojileri disiplinler arası eğitim ve bilgi gerektiren bir süreçtir. Kaplama teknolojileri optik bileşenlerin korunması, yüksek yansıtma ve yüksek geçirgenlik değerlerinin sağlanması için mercek, pencere, prizma, vb. optik bileşenlerin üzerine uygulanan yöntemdir.

Optik işleme tamamlandıktan sonra optik elemanlar üzerinde geçirgenlik veya yansıtma sağlayan ya da ihtiyaca göre değişik bandları geçirip diğerlerini yansıtan özel optik ince film kaplamalar kullanılmaktadır.

Dünyadaki Mevcut Durum

Dünyada birçok firma tasarım yeteneğine kendi kontrolleri altında firma içinde sahiptir. Optik kaplama altyapısı ABD, Almanya, İngiltere, Fransa, Bulgaristan, Litvanya, Çekya, Çin, Hindistan, vb. ülkelerde yer almaktadır.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

Ülkemizde tasarlanan optik sistemlerin üretimi ve ince film kaplaması için yetenek bulunmaktadır.

Genel olarak optik sistemlerde kullanılan optik elemanların imalatı sürecinde yurtdışına bağımlılık minimum düzeye inmiştir.

Görüntü Yoğunlaştırıcı Tüp Teknolojileri

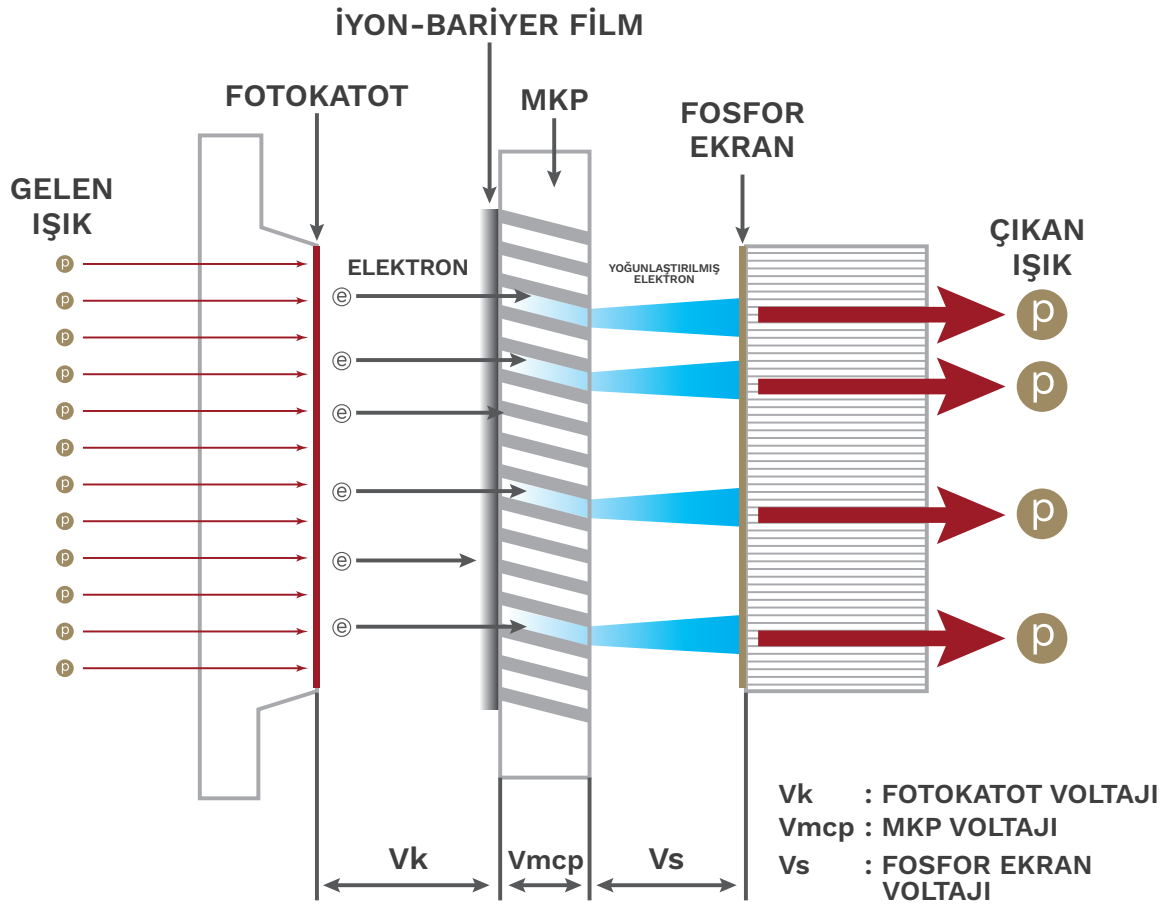
Görüntü yoğunlaştırıcı tüpler (GYT) düşük foton yoğunluklarında ve/veya yakın kızılötesi (IR) bölgede yansıyan elektromanyetik dalgaları algılayarak görüntü oluşturmaktadır. Bu cihazlar, ay veya yıldız ışığında cisimlerin görülmesini sağlamaktadır. Bir görüntü yoğunlaştırıcı tüp, giriş optiği, fotokatot, mikro kanallı plaka ve çıkış optiğinden oluşmaktadır.

GYT'lerin kullanım amacı düşük ışık koşullarında (gece) ortamda bulunan ışığı (görüntüyü) yoğunlaştırarak insan gözünün görebileceği seviyeye çıkartmaktır (Şekil 30). Işık, foton olarak bilinen elektromanyetik dalga formunda hareket eden parçacıklardan oluşmaktadır. Gece ortamda bulunan görünür dalga boylarındaki (400 nm-700 nm) foton sayısı insan gözünde bulunan foto-algılayıcılar tarafından veriye dönüştürülerek beyinde görüntü bilgisi oluşturacak yoğunlukta değildir. Ortamda bulunan bu fotonlar bir optik yardımıyla GYT'nin fotokatot penceresi üzerine odaklanır. Fotokatot penceresi içerisinden geçen fotonlar, pencerenin iç yüzeyinde bulunan fotokatot üzerine düşerek enerjilerini malzeme içerisindeki elektronlara aktarırlar. Aldıkları enerjiyle serbest kalan elektronlar uygulanan fotokatot gerilimi ile oluşturulan elektrik alan içerisinde hızlandırılarak MKP yüzeyine yüksek kinetik enerjiyle çarptırılır.

MKP yüzeyine çarpan elektronlar yüzeyde çözünmüş olan gazları iyonize ederek serbest kalmalarına ve vakum içerisinde balistik hareket ile fotokatot yüzeyine doğru hareket etmelerine sebep olmaktadır. MKP yüzeyine çarpan elektronlar MKP üzerine uygulanan gerilim ile oluşturulan elektrik alan sebebiyle mikro-kanallar içerisine girmektedir. Mikro-kanallar içerisinde sahip oldukları yüksek kinetik enerjiyle kanalların iç duvarlarına çarparak ilerleyen elektronlar her bir çarpma sonrasında yüzeyden yeni elektronlar kopartmaktadır. Kopan bu elektronlar da elektrik alan içerisinde hızlandırılarak benzer süreç katlanarak devam ettirilir. Böylece MKP çıkışında yoğunlaştırılmış elektron demeti elde edilir. Elektron demetinin büyüklüğü uygulanan gerilimle doğru orantılı olarak artmaktadır.

Yoğunlaştırılmış elektronlar fosfor ekran gerilimi ile oluşturulan elektrik alan içerisinde hızlandırılarak fosfor ekran yüzeyine çarptırılır. Yüzeye çarpan elektronlar enerjilerini fosfor içerisindeki diğer elektronlara aktararak bulundukları seviyeden daha yüksekteki enerji seviyelerine çıkmalarına sebep olmaktadır. Bu elektronların sönmelenmesi sırasında fosfor malzemesinin dalga aralığı ile orantılı olarak foton ışıması gerçekleşmektedir. Işıyan bu fotonlar bir fiberoptik yönlendirici ile GYT dışına çıkmaktadır.

GYT'nin çıkışında insan gözü tarafından algılanabilecek seviyeye yoğunlaştırılmış sayıda foton çıkışı gerçekleşmektedir.



Şekil 30. NIR GYT Çalışma Prensibi

Uzun yıllardır gelişimini sürdürmekte olan gece görüş teknolojisindeki gelişmeler “nesil” olarak sınıflandırılmaktadır. Gece görüş sistemlerinde kullanılan teknoloji dört ana nesilde sınıflandırılabilir. Nesil numarası arttıkça gece görüş sistemleri daha karmaşık hale gelmektedir. Gece görüş teknolojisinin ana ve ara nesillerinin belli başlı özellikleri Tablo 12’de listelenmiştir.

Tablo 12. Gece görüş sistemlerinin ana ve ara nesillerinin özellikleri

Nesil	Fotokatod	Fotohassasiyet (µA/lm)	Çözünürlük (lp/mm)	Güvenirlilik (saat)	Ekstra Özellikler
1	S-10 veya S-20	120-200	25-30	1000	Elektrostatik focus
1+	S-10 veya S-20	240	50	1000	Girişte fiber optik plaka kullanımı
2	S-25	240-350	28-36	2000	MKP
2+	S-25	300-450	32-40	2000	-
SuperGen	S-25	500-600	45-54	10000	-
HyperGen	S-25	600-800	55-82	15000	Autogating
3	GaAs	>800	32-72	15000	GaAs fotokatot, iyon bariyeri

GYT temel olarak 6 alt bileşenden oluşmaktadır. Bunlar arasında performansa etkisi en önemli olan bileşenler fotokatot, MKP ve fosfor ekrandır. Alt bileşenler aşağıdaki görselde gösterilmektedir (Şekil 31).



Şekil 31. GYT Alt Bileşenleri

- » **Giriş Penceresi:** Sahnedeki ışığı alarak fotokatot üzerine düşürülmesini sağlayan bileşendir.
- » **Fotokatot:** Ortamdan gelen ışığı soğurarak elektrona dönüştüren bileşendir.
- » **MKP:** Fotokatotda oluşturulan elektronu çoğaltan bileşendir.
- » **Fiber Optik Ekran:** MKP tarafından çoğaltılan elektronları fotona dönüştürerek görünür bölgede görüntü elde etmeye yarayan bileşendir.
- » **Güç Kaynağı:** GYT'lerin çalışması için gereken yüksek voltajı üretmek için DC gerilim sağlayan birimdir.
- » **Gövde:** GYT'lerin vakum sızdırmazlığını ve aynı zamanda ilgili birimlere yüksek gerilim uygulanmasını sağlayan seramik ve metallerden oluşan birimdir.
- » **Koruyucu Gövde:** GYT ve güç kaynağını dış ortam etkilerinden koruyan birimdir.

Dünyadaki Mevcut Durum

Dünyada, birçok farklı firma GEN 2+ ve GEN 3 tipi analog GYT üretimi yapmaktadır. Günümüzde analog tüp performansını iyileştirme çalışmaları devam etmektedir ve her performans iyileşmesiyle yeni bir nesil olarak piyasaya sürülmektedir. Bununla birlikte sayısal tüp geliştirme çalışmaları da başlamıştır. Dünyadaki mevcut durum Tablo 13’de verilmektedir.

Tablo 13 GYT Teknolojisi Dünya Mevcut Durumu

Ülke	Ürün	Teknoloji
ABD	•Gece Görüş Sistemleri •GYT •Sayısal GYT	Gen 2+ Gen 3 NA EBAPS
Almanya	•GYT •UV Tüp	Gen 2 Gen 2+ Gen 3 UV VIS
Rusya	•GYT •Gece Görüş Sistemleri	Gen 0 Gen 2+ Gen 3
Çin	•GYT •Gece Görüş Sistemleri	Gen 1 Gen 2 Gen 3 UV
Kanada	•Gece Görüş Sistemleri •GYT	Gen 2+ Gen 3
Fransa	•Gece Görüş Sistemleri •GYT	Gen 2+ NA
İngiltere	•GYT	Gen 2
Danimarka	•GYT	UV VIS
Japonya	•Scientific GYT	Gen 2+ Gen 3

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

Ülkemizde GYT geliştirme yönelik çalışmalar bulunmaktadır.

Görüntü yoğunlaştırıcı tüplerde kullanılan alt bileşenlerin temininde herhangi bir kısıtlama bulunmamaktadır.

Veri İşleme

Dedektörlerden alınan ham verilerin sistem ekranında gösterimi ya da sistem üzerindeki diğer modüllerin kullanımına uygun hale getirilebilmeleri için bazı temel veri işleme yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Kızılötesi verinin elde edilmesinden görüntüye dönüştürülmesine kadar uygulanan işlemler aşağıdaki blok diyagramda özetlenmektedir (Şekil 32). “Piksel Düzensizlik Giderimi” ile başlayan görüntü işleme süreç paketinden önce ön işleme algoritmalarının kullanımının sonuçlar için fayda gösterdiği senaryolar bulunmaktadır.



Şekil 32. Kızılötesi Verinin Görüntüye Dönüşümü İçin Gerekli İşlemler

- » **Piksel Düzensizliği Giderimi (Non-uniformity Correction):** Homojen bir sahnede belirli bir kızılötesi (KÖ) ışınımına her piksel aynı şekilde yanıt vermeyebilir. PDG için kullanılan yöntemler temel olarak “Kalibrasyon Temelli PDG” ve “Sahne Temelli PDG” olarak ikiye ayrılır.
- » **Kötü Piksel Giderimi (Bad Pixel Replacement):** Dedektördeki her piksel kazanç (gain) değeri, sapma (deviation) değeri ve gürültü seviyesi olmak üzere üç özellikte karakterize edilebilir.

Eğer bir piksel, bu özelliklerin herhangi birinde dedektörün diğer piksellerinden belirgin bir şekilde farklı davranıyorsa kötü piksel olarak kabul edilir.

- » **Sütunları Gürültüden Arındırma (Column Noise Cancellation):** Termal dedektörlerin lineer olmayan davranışlarından ötürü oldukça belirgin sütun gürültüsü oluşabilmektedir. Bu sütun gürültüleri içeriklerinde yüksek frekanslı unsurlar bulundurmaktadır. Bu gürültü, esasında nispeten sabit bir gürültü olduğundan birbirini takip eden görüntü karelerinde sütun başı gürültü çok az değişmektedir.
- » **Satırları Gürültüden Arındırma (Row Wise Denoising):** Özellikle soğutmasız dedektörlerde mevcut yüksek sıcaklıktan ötürü görüntüde satırsal ve rastgele gürültü oluşabilmektedir. Gürültü rastgele biçimde oluşabileceğinden ötürü klasik bir gürültüden arındırma yaklaşımı uygulanamamaktadır. Çözüm olarak her satırın komşuluklarıyla benzerlik kestirimlerinden faydalanan algoritmalar kullanılabilir. Ayrıca zaman eksenindeki bilgilerden de yararlanılabilir.

- » Harekete Duyarlı Gürültüden Arındırma (Motion Aware Denoising): Piksellerin doygunluk (intensity) değerlerinde alınan görüntüdeki hareket dolayısıyla sapmalar gözlemlenebilir. Bu soruna çözüm bulmak için dikkat edilmesi gereken iki kısıt, hareketsiz piksellerin hareket gürültüsünden daha şiddetli bir biçimde arındırılması ve hareketli piksellerin de bu işleme daha az maruz kalarak hayalet etkisine uğramaması dengeli bir biçimde ele alınmalıdır. Bunun için gerekli çözüm Harekete Duyarlı Gürültüden Arındırma ile sağlanır.
- » Görüntü İyileştirme: Görüntü iyileştirme, kızılötesi dedektörden alınan ham verinin PDG ve KPG işlemlerinden geçmiş hali üzerinde yapılan görüntü iyileştirme çalışmalarını belirtmektedir. Bu iyileştirmeler, görüntü histogram manipülasyonu ile karşılığın (kontrastın) düzenlenmesini, keskinlik artırımını ve uygun bit derinliğindeki nihai görüntünün oluşturulmasını kapsar.
- » Görüntü Keskinleştirme: Görüntü üzerinde uygulanan bir diğer işlem de keskinleştirme işlemidir. Burada amaç görüntüdeki objelerin belirginleştirilerek kullanıcıya sunulması olup, olası hedeflerin farkedebilmesi için önemli bir işlemidir.

Dünyadaki Mevcut Durum

Termal görüntüleme teknolojisi konusunda çalışan ABD, İsveç, Çin ve birçok farklı ülkeden kamera üreticisi bulunmaktadır.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

Ülkemiz, görüntü işleme teknolojilerinde dünyada önde gelen ülkeler arasındadır.

7.2.3. Teknoloji Konu Önerileri

Tablo 14. OÇG-2 Yakın Vade Konu Önerileri

	Konu Adı ve Kapsamı	Vade
1	Yüksek Verimli SWaP Döner Tip ve Lineer Stirling Soğutucu Teknolojilerinin Geliştirilmesi EO endüstrisinde küçük boyutlu, düşük güç tüketimine ve kütleye (SWaP sahip kriyojenik soğutucuların geliştirilmesi yönünde bir ihtiyaç oluşmuştur. Bu konu önerisi kapsamında, yüksek verimli SWaP döner tip ve lineer stirling soğutucuların tasarımı ve üretimi için gerekli olan teknolojik yetkinliğin kazanılması hedeflenmiştir.	Yakın
2	Olay Tabanlı Görüntüleme Özellikli Okuma Devresi Teknolojisinin Geliştirilmesi Soğutmalı kızıötesi ve SWIR sensörlere olay tabanlı görüntüleme özelliği kazandırabilecek okuma devrelerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Olay tabanlı görüntüleme ile çok yüksek görüntüleme hızlarına ulaşılarak çok hızlı değişimlerin bilinmesi yeni uygulamaya uygun SWaP kameraların geliştirilmesi mümkün olabilecektir.	Yakın
3	Robotik Parlatma Yöntemi ile Büyük Optik Üretim Teknolojisinin Geliştirilmesi Bu konu önerisi kapsamında, ≤ 2 metre çapa sahip optik bileşenlerin robotik bir kol ile uzay kalite yüzeylere sahip olacak şekilde parlatılması kabiliyetinin kazanılması ile geniş açıklıklı yüzeylerin yüksek hassasiyet ve verimlilikle üretilmesi hedeflenmektedir.	Yakın
4	Düşük Işık CMOS Görüntüleme Sensör Teknolojisinin Geliştirilmesi (Low Light CMOS) Düşük ışık CMOS teknolojisi kullanan görüntüleme sensörleri, Silisyum (Si) tabanlı CMOS bir algılayıcı olup çok az miktarda olan fotonları algılayıp, belirli bir kazanç ile sayısını arttırmak (yoğunlaştırmak) üzere tasarlanmaktadır. CMOS tabanlı sensörlerin gece görüş sistemlerinde kullanılması hedeflenmektedir.	Yakın
5	Görüntüleme Sistemlerinde Farklı Hedef ve Malzeme Algılamalarına Yönelik Dar Band Kaplama Teknolojisinin Geliştirilmesi Görüntüleme sistemlerinde hedef ayırt edilebilirliğini arttırmak amacıyla sistemlerde kullanılan optik filtrele ilgili uygulanacak dar band aralıklarına sahip kaplamalar için kaplama yöntemlerinin ve reçetelerin geliştirilmesi hedeflenmektedir.	Yakın
6	Küçük Atlamalı Tarama Teknolojisinin Geliştirilmesi (Dithering Microscan) Maliyeti yüksek olan sensörlerin çözünürlüğünü arttırmak için kullanılan “küçük atlamalı tarama (dithering microscan)” teknolojisini geliştirmek amacıyla, çok yüksek frekanslarda, yüksek doğrulukta ve yüksek band genişliğinde hareket edebilen elektro mekanik sistemlerin tasarımı ve üretimi hedeflenmektedir.	Yakın

Tablo 15. OÇG-2 Uzak Vade Konu Önerileri

	Konu Adı ve Kapsamı	Vade
1	HTCC Teknolojisinin Millileştirilmesi İlgili konu önerisi kapsamında, optomekanik taşıyıcılarda kullanılmakta olan yüksek sıcaklıkta birlikte pişirilmiş seramik (high-temperature co-fired ceramic, HTCC) bileşenlerinin yerli imkanlarla üretilmesine yönelik altyapı kurularak ilgili proseslerin geliştirilmesi hedeflenmektedir.	Uzak
2	Görüntü Yoğunlaştırıcı Tüpler İçin Multi Kanallı Plaka Üretim Teknolojisinin Geliştirilmesi Görüntü yoğunlaştırıcı tüpler (GYT) içerisinde, elektronları çoğaltmak için kullanılan bileşen olan multi kanallı plakaların (MKP), yüksek performans isterlerini sağlar şekilde milli ve yerli olarak tasarımı ve üretimi hedeflenmektedir.	Uzak
3	Optik Test Düzeneği Teknolojisinin Millileştirilmesi Ülkemizde gelişmekte olan optik üretim ve entegrasyon faaliyetlerinin süreç ile ilgili testlerini yerine getirmek, üretim sonu testlerini yapabilmek adına; optik hizalama cihazları, profilometreler, spektrometreler, kolimatörler gibi optik test sistemlerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir.	Uzak
4	Optik Kaplama Tasarım ve Üretim Teknolojilerinin Geliştirilmesi MWIR ve LWIR bandlarında istenen referans dalgaboyu için özgün tam yansıtma optik kaplamaların tasarım, üretim, karakterizasyon ve çevre koşulu testleri amaçlanmıştır.	Uzak
5	Yakın Kızılötesi (NIR) Görüntü Yoğunlaştırıcı Tüp Teknolojisinin Geliştirilmesi Gece görüş cihazlarında kullanılan ve insan gözü için yetersiz ışık koşullarının olduğu durumlarda ortamdaki ışığı çoğaltan NIR görüntü yoğunlaştırıcı tüp teknolojisinin geliştirilmesi hedeflenmektedir.	Uzak
6	Kalkojenit Camların Hassas Cam Kalıplaması Yöntemi ile Üretimi Teknolojisinin Geliştirilmesi Hassas cam kalıplaması, ham malzemenin kalıp üzerine yerleştirilmesinden sonra, ısıtma, presleme, ısıl işlem ve soğutma aşamalarından oluşur. Kalıp malzemesi ve tasarımı, süreç parametrelerinin optimizasyonu konu kapsamı içerisinde olabilir. Konu önerisi ile kalkojenit camların yüksek şekil doğruluğu ile düşük maliyet ve yüksek verimlilikte üretilmesi planlanmaktadır.	Uzak
7	Optik Bileşen Hizalama Ölçüm Teknolojileri ve Analiz Algoritmalarının Geliştirilmesi Ülkemiz için milli uygulamalarda kullanılan ölçüm ve hizalama teknolojisinin derinlemesine anlaşılması ve ihtiyaçlara göre geliştirilmesi ve/veya uyarlanması hedeflenmektedir.	Uzak

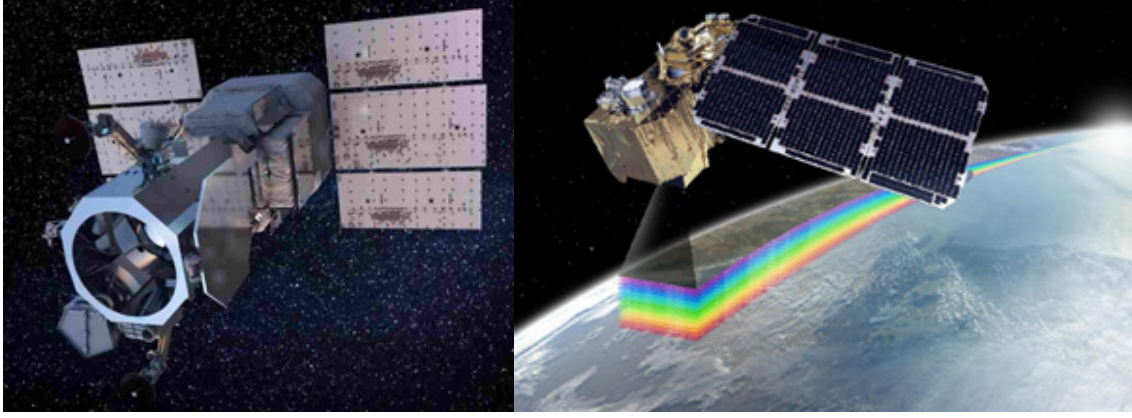
	Konu Adı ve Kapsamı	Vade
8	Spektral Domain NIR/LWIR Termal Kamera Teknolojisinin Tasarımı ve Geliştirilmesi Görüntünün iki boyutlu spektrumunun alınmasıyla sensör üzerine düşen ısı radyasyonunun daha şiddetli ve dalgaboyuna göre daha seçici olmasını sağlayacak bir spektral teknik önerilmektedir. Bu teknik ile, özellikle LWIR bandında, görüntüleme kalitesinin, çözünürlüğünün ve çeşitli bandlarda filtrelenebilme özelliğinin artırılması hedeflenmektedir.	Uzak
9	IR Bandında (SWIR, MWIR ve LWIR) Görüntü Kalitesini İyileştirme Teknolojisinin Geliştirilmesi Konu önerisi kapsamında, genlik, faz ve frekans parametreleri kullanılarak düşük görünürlikli hedef ve/veya ortam görüntülerinin kalitesinin iyileştirilmesi hedeflenmektedir.	Uzak

7.3. UYDU UZAY UYGULAMALARI, GÖRÜNÜR DALGABOYUNDA ALGILAMA ODAK ÇALIŞMA GRUBU (OÇG-3)

7.3.1. Genel Bilgi

Yer gözlem uyduları, uydu uzay ve görünür dalgaboyunda algılamanın en önemli ve kritik uygulama alanını oluşturmaktadır. Yer gözlem uyduları, alçak yörünge (Low Earth Orbit, LEO) olarak ifade edilen 400-800 km yörünge yüksekliğinde hareket ederek yeryüzünden yüksek çözünürlüklü görüntü sağlayabilmektedir. Bu uydular, genel olarak 450-800 nm band aralığında tek (mono veya panchromatic) bir spektrumdan görüntü alırken, multispektral olarak adlandırılan RGB/NIR (Red, Green, Blue, Near Infrared) bandlarından da aynı anda görüntü alan yaygınlaşmış bir yöntem izlemektedir. Elde edilen mono görüntüler ile renkli görüntüler daha sonra görüntü işleme ile üst üste getirilerek yüksek çözünürlüklü renkli görüntüler oluşturulmaktadır. İstihbarat, şehircilik, orman, madencilik ve tarım uygulamaları önemli kullanım alanlarını oluşturmaktadır. Termal, SWIR, gece-görüş (night vision) gibi uygulama alanları da son dönemde artan ihtiyaçları karşılamak için farklı misyonlarda atılan uydu sistemleri ile karşılanabilmektedir. Hiperspektral olarak adlandırılan uydu uygulamaları ile 400-2500 nm aralığında, yaklaşık 10 nm spektral çözünürlükle görüntüleme yapan uydular da kullanımdadır.

Yüksek çözünürlük, görüntü şerit genişliği, geniş spektrum, ziyaret sıklığı gibi değişkenler görüntüleme uydularının avantajları olarak öne çıkmaktadır. Şekil 33'te yüksek çözünürlüklü WorldView-3 ve yüksek şerit genişliği olan Sentinel-2 uydularının operasyonel fotoğrafları bulunmaktadır.



Şekil 33. Yüksek Çözünürlüklü (GSD= 0.3 m) WorldView-3 Yer Gözlem Uydusu (sol) ile Yüksek Şerit Genişlikli (290 km) Sentinel-2 hiperspektral uydusu (sağ) [10], [11]

Yer gözlem uydularının, kütle özelliklerine göre sınıflandırılması Tablo 16’da verilmiştir. Genel olarak yüksek çözünürlüklü uydu sistemleri (GSD <2.5 m) “mini uydu” sınıfında yer alırken, çok yüksek çözünürlüklü uydu sistemleri (GSD <0.5 m) “büyük uydu” sınıfında yer almaktadır.

Günümüzde “new space” olarak adlandırılan yaklaşımla, çok daha küçük boyut ve kütlelerde, yedeklilik yaklaşımlarının basitleştirildiği ve ticari komponentlerin yoğun olarak kullanılarak çok daha düşük bütçeli uydu sistemlerinin takım uydular şeklinde fırlatıldığı görülmektedir. Daha kısa görev ömrü hedeflenen bu sistemlerle daha alçak yörüngelerde yüksek çözünürlükte görüntüler almak mümkün olabilmektedir. Bu yaklaşım, çok sayıda uydunun kullanıldığı küçük boyutlu uydu sistemlerinden oluşan, üretim süreçleri kısalan ve basitleşen uydu takımları ile küresel kaplama alanının ya da etkinliğin artırılmasının önünü açmıştır.

Tablo 16. Uyduların Kütle Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

Uydu Sınıfı	Kütle (kg)
Büyük Uydu	>1000
Mini Uydu	100-1000
Mikro Uydu	10-100
Nano Uydu	1-10

Görüntüleme sensörü, teleskop ile birlikte yüksek çözünürlüklü EO kameraların en önemli iki kritik alt birimini oluşturmaktadır.

Yer Gözlem Uydularında Görüntüleme Optiği

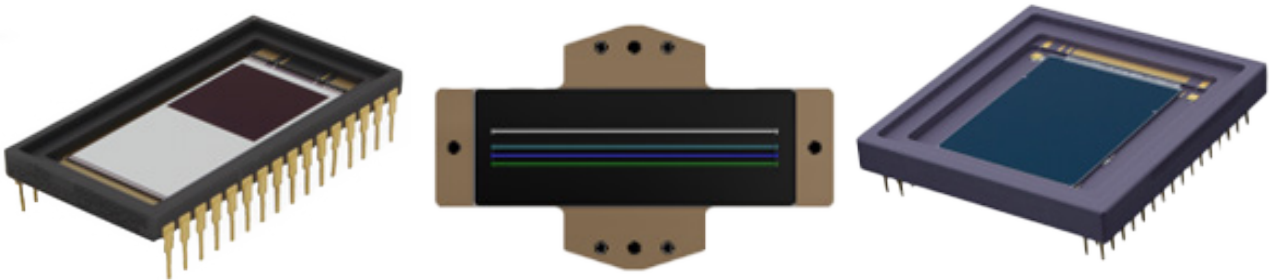
Yer gözlem uydularında görüntüleme işlemi, EO görev yükleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. EO sistemler, yeryüzünden gelen ışığı toplayan kırınım-limitli bir optik tasarıma sahip teleskop ve algılama işleminin gerçekleştirildiği bir odak düzlem dizininden oluşmaktadır.

Yüksek çözünürlüklü EO kameraların sahip olduğu yüksek performanslı teleskop sistemleri için hafifletilmiş, genleşme katsayısı sıfıra yakın cam veya cam/seramik malzemelerden yapılan asferik formda aynalar kullanılmaktadır. Uzay-kalifiye bir optik kaplamaya sahip olan bu aynaların yüzey formları özel üretim teknikleri ile yerçekimi etkilerinden arındırılarak 20 nm RMS değerinden küçük olacak şekilde üretilmektedir. Uzayda kullanılan bu özel optiklerin çapları, hafifletme oranları, yüzey form toleransları belirli bir seviyenin üzerine çıktığında ihraç kısıtları engel teşkil etmektedir.

Kızılötesi/Görünür Dalgaboyu Uydu Kameraları İçin Görüntüleme Sensörleri

Uydu kameralarının en önemli ekipmanlarından birisi EO kameralardır. Bu ekipman, kamera optik açıklığına ulaşan ışığı toplayan ve odak düzlemine ulaştıran optikler ve algılayıcı alt birimlerinden oluşmaktadır. Görünür ve yakın kızılötesi dalgaboyunda görüntü almak için yaygın olarak silisyum (Si) tabanlı yarı iletken görüntüleme sensörleri kullanılmaktadır. Görünür dalgaboyunda fotonların enerji seviyesi MWIR dalgaboyundaki fotonların enerjilerine göre ortalama 8 kat, LWIR fotonların enerjilerine göre ise ortalama 20 kat daha yüksektir. Bu nedenle, görünür dalgaboyunda görüntüleme yapmak için Si gibi daha yüksek band aralığına sahip malzemeler (yaklaşık 1.12 eV), kızılötesi dalgaboyunda algılama yapmak için kullanılan algılayıcı malzemelere göre daha uygundur. Ayrıca, görünür dalgaboyunda çalışan Si tabanlı görüntüleme sensörleri oda sıcaklığı seviyesinde soğutucu gereksinimi olmadan kullanılabilir.

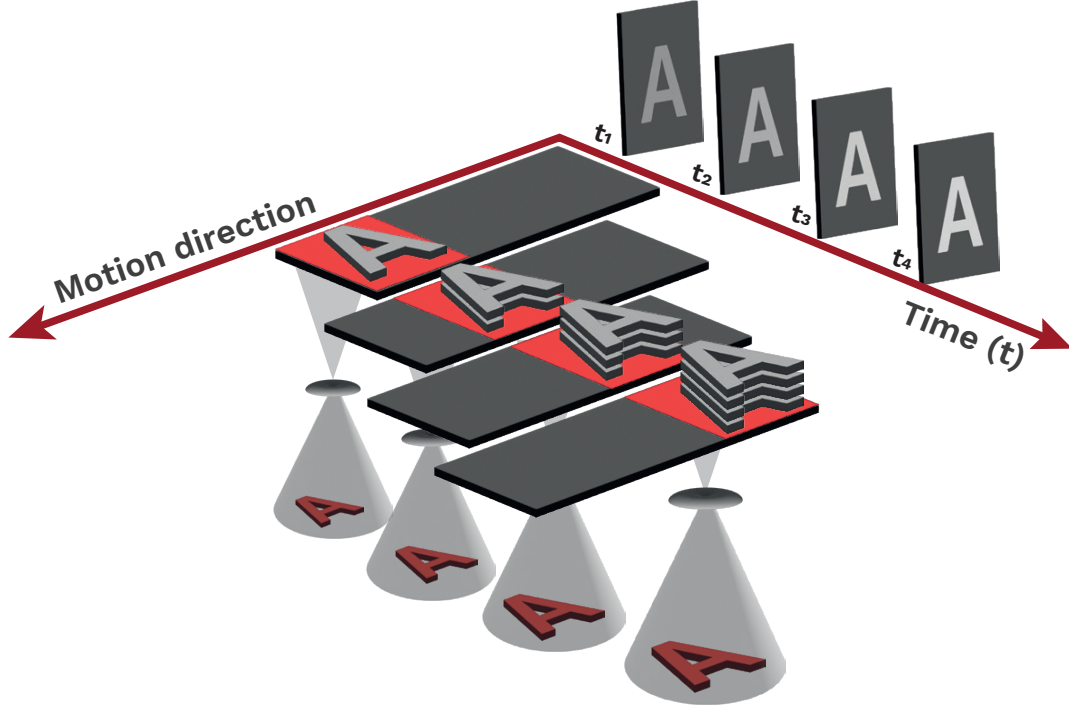
Yarı iletken temelli sensörlerin en yaygın iki örneği Charged Coupled Device (CCD) ve Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) türleridir. CCD, CMOS-TDI ve 2 boyutlu CMOS sensör örnekleri Şekil 34'te verilmiştir.



Şekil 34. Sırasıyla CCD, CMOS-TDI ve 2D-CMOS Si Tabanlı Sensörlere Örnekler [12]

İlk yer gözlem uyduları çizgisel algılayıcılar kullanılarak yapılmış olup, uydu kameralarının yer örnekleme mesafesi gerekli sinyal-gürültü oranını (SNR) yakalayamadığı için sınırlı kalmıştır. Bu durumu ortadan kaldırmak için zaman geciktirmeli biriktirme (TDI) yönteminin kullanılması gerekmiştir (Şekil 35).

Zaman geciktirmeli biriktirme yönteminde, durağan bir cisim hareket eden bir algılayıcının sıralı piksel dizinleri ile görüntülenirken ışık ile uyarılma sonucunda oluşan yükler bir piksel dizininden diğerine aktarılarak toplanır. Bu nedenle, ilk geliştirilen TDI algılayıcılar bu özelliği doğal olarak içinde bulunduran CCD temelli sensörlere dayalı olup, yükü sensörün içinde uydunun yerizi hızı ile örtüşen bir oranda kaydırarak çalışacak şekilde tasarlanmışlardır. TDI-CCD yaygın olarak kullanılan, birçok misyonda tarihçe kazanmış önemli bir sensör tipidir.



Şekil 35. “Zaman Geciktirmeli Biriktirme” (TDI) Adımı ile Dinamik Görüntüleme [13]

TDI-CMOS teknolojisindeki gelişmeler son yıllarda önem kazanmış, birçok misyonda CCD’lerin yerini alarak kullanılmaya başlanılmıştır. Radyasyon dayanımı, fırlatma yüklerine uygun mekanik tasarım ve ısıl tasarım, odak düzlem dizini tasarımının en önemli özellikleridir. Yer gözlem için tasarlanan EO kameralar, çok geniş bir tarama izi genişliğine sahip olduğu için CCD veya CMOS için üretilen yarıiletken çipler yeterli piksel sayısına/genişliğine sahip değildir. Bu pratik sorun, çiplerin zigzag (staggered) bir yapıda belirli bir toleransta sıralanmasıyla veya optik yöntemlerle birleştirilerek aşılmaktadır.

Uydu/Uzay Algılayıcı Sensörlerinde Hassasiyetin Arttırılması

Düşük ışık ile görüntüleme yapılan uydu/uzay sistemlerinde EO kameraların verimliliğinin ve SNR değerlerinin yüksek olması önemli bir kriterdir. Bu sebeple, sensörlerin verimliliğini arttırmak için hassasiyetini arttıracak çalışmalar yapılmaktadır. Algılayıcı hassasiyetinin arttırılması yani sensörü oluşturan yarıiletkenin yapısı ve çip mimarisi teknik çalışmaların son derece yoğunlaştığı bir alan olup, maliyet etkin üretim akışı ve diğer çip işleme ile uyumlu entegre sürücü ve okuma devresi oluşturulması gibi süreçleri de içermektedir.

7.3.2. Pazar Analizi

Uydu uzay uygulamalarında kullanılmakta olan CCD ve CMOS sensörlerini içeren görüntüleme sistemlerinden TDI kameralarının küresel pazar değeri 2018 yılında yarım milyar dolar iken 2033 yılında yaklaşık 2 milyar dolar'a ulaşması beklenmektedir. Bu aralıkta TDI kamera pazarında yıllık büyüme oran beklentisi %9.3'tür [14].

Uydu uzay uygulamalarında kullanılan hiperspektral görüntüleme sistemlerinde ise pazar değerinin 2024 yılı itibari ile yaklaşık 850 milyon dolar olması beklenirken, 2029 yılında bu değerinin 1.5 milyar dolar seviyesine çıkması öngörülmektedir. Böylece, 2024 yılı ile 2029 yılı aralığında hiperspektral görüntüleme sistemlerinde yıllık büyüme oranı %12.6 olarak hesaplanmaktadır [15].

Bunların yanında, uydu görüntüleme küresel pazar büyüklüğü 2022 yılında 3.3 milyar dolar iken, 2030 yılı itibari ile yaklaşık 14 milyar dolar'a ulaşması, böylece yıllık büyüme oranının %19.12 olması öngörülmektedir. 2022 yılı verilerine göre, %45.57 pay ile Kuzey Amerika uydu görüntüleme pazarında baskın etkiye sahiptir [16].

CCD

CCD (charge-coupled device, yük bağlaşımlı cihaz) metal-oksit-yarı-iletken (metal-oxide-semiconductor, MOS) yapısına dayalı foton duyarlı piksellerden oluşan bir ışık-algılayıcıdır. CCD pikselleri basit bir yapıda olduğu için pikseller arasındaki üretim kaynaklı farklılık miktarı çok düşük seviyede tutulabilmektedir. Bu sayede görüntü üzerinde pikseller arasında düzeltme gereksinimi de azalmaktadır. Ayrıca bu basit piksel yapısı, arada dış bir devre elemanı olmadan, pikselin üzerine düşen ışığa bağlı olarak oluşan ve biriktirilen yük miktarının çıkış katında gerilime çevrilmesi sırasında, sensör tarafından katılan elektronik gürültü miktarını en düşük seviyede tutabilmektedir. Bu basit piksel ve dizin yapısı düşük hızlı görüntüleme uygulamaları için düşük bir gürültü seviyesi sağlayabilmektedir. Aynı zamanda CCD teknolojisinde yine dış bir yapı kullanmadan TDI işlemi yapılabilmekte, bu durum özellikle uydu tabanlı görüntüleme uygulamaları için CCD sensörlerini cazip hale getirmektedir.

Öte yandan uzun yıllardan bu yana çok az bir değişimle günümüze kadar gelmiş olan CCD yapısı, sahip olduğu teknolojik olgunluk ve az sayıda üretim katmanı sebebi ile büyük formatlı sensörlerin üretimi için, yüksek üretim verimliliği (yield) ve düşük ölü piksel oranı bakımından önemli bir avantaja sahiptir.

CCD'nin basit mimari yapısı bir taraftan piksel aynılığı konusunda bir avantaj yaratırken, diğer taraftan da içindeki entegrasyon seviyesini sınırlamamaktadır. Bu nedenle CCD devreler için çok sayıda harici devre elemanına ve harici olarak uygulanan sayısal zamanlama ve kontrol sinyallerine ihtiyaç duyulmaktadır. Harici olarak sağlanan bu kontrol sinyalleri için yüksek gerilim değerleri gerektiğinden, CCD ürünlerinin modern mikroişlemciler veya FPGA kartları ile doğrudan birleştirilmeleri mümkün olmamaktadır.

Dünyadaki Mevcut Durum

Uzun yıllardan bu yana çok az bir değişimle günümüze kadar gelmiş olan CCD yapısı, sahip olduğu teknolojik olgunluk ve az sayıda üretim katmanı sebebi ile büyük formatlı sensörlerin üretimi için, yüksek üretim verimliliği (yield) ve düşük ölü piksel oranı bakımından önemli bir avantaja sahiptir. Ancak CCD ürünlerinin üretildiği temiz alan altyapısı ağırlıklı olarak 150 mm çaplı silisyum diskleri işleyecek yapıda olduğundan, üretim süreçleri bakımından en gelişmiş teknolojik çözümlerin kullanılmasına olanak vermemektedir.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

Uydu görüntüleme sistemlerinde kullanılan CCD sensörler, yüksek hassasiyet ve performans gerektirmektedir. Uydu sensörlerinin üretiminde en önemli kısıtlar; uydu sistemlerinde kullanılan CCD'lerin yüksek maliyeti, yüksek teknoloji gerektiren üretim kapasitesi ve yurtdışı bağımlılığı olarak sıralanabilir.

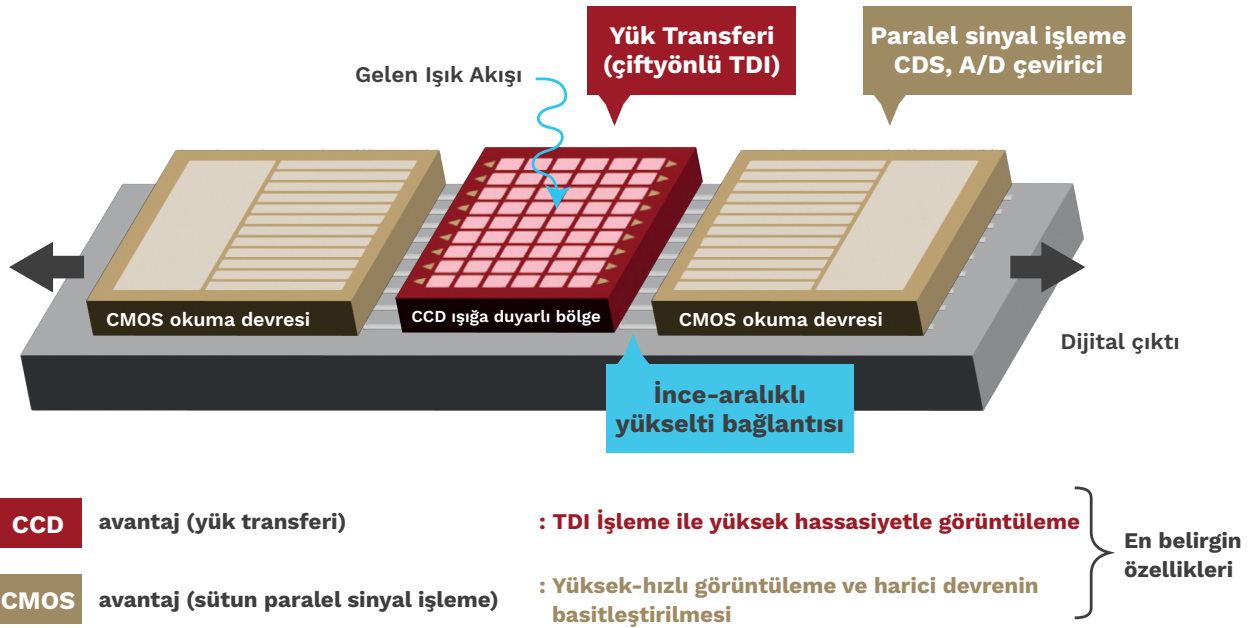
CMOS

Uydu teknolojilerindeki güncel yönelimler gereksinimler; 30 kHz üzeri çizgi hızlarında, 7 µm altı piksel boyutları olan, aynı zamanda spektral çözünürlüğü de yüksek karakterdeki sensörlere dönük gereksinimi daha da arttırmıştır. Bu açığa katkı sunmak amacıyla, piyasada halihazırda mevcut çizgisel CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) sensörleri CCD sensörlere alternatif olarak ortaya çıkmıştır. CMOS yapıli sensörlere dayalı görüntüleme algılayıcıları spektroskopi, uzaklık ölçümü, yabancı cisim inceleme ve boyut ölçümü gibi makina görüntü (machine vision) kameralarında yaygın olarak kullanılmakta olduğundan, bu sensörlerin foton-duyarlı (photosensitive) bölgeleri, spektral duyarlılığı ve elektronik paketleme yöntemi uzay sistemlerine uyum sağlayacak şekilde iyileştirilmiş ve uygulamaya dönük olarak özelleştirilmiştir.

CMOS görüntü sensörleri de CCD sensörleri gibi optik bilgiyi elektrik sinyaline dönüştüren yapılardır. CMOS mimarilerinde CCD sensörlerinden farklı olarak okuma bölümünde her bir pikselden analog sinyal olarak veri alınır. Ayrıca CMOS mekanizması sensör üzerinde zamanlama ve gerilim uygulama işlemlerinin çip üzerinde gerçekleştirilmesine olanak verir. Böylelikle dış sürücü devresi basitleştirilmiş olur.

Uzay uygulamalarında gereksinim duyulan zayıf sinyalleri algılama yeteneği için, CCD sensörlerindeki gibi bir toplama mekanizmasının CMOS mimarilerine eklenmesi için sayısal TDI (digital TDI, dTDI) yöntemi geliştirilmiştir. Sayısal TDI yaklaşımında TDI fonksiyonu sayısal toplamaya dayanmakta olup, ardışık her bir pikselde üretilen sinyal toplanarak yükseltilmektedir. Bu sayede, sayısal TDI (dTDI) CMOS yapılara özgü bu sinyal toplama yaklaşımının çizgi hızı ve güç tüketimi açısından sınırları genişletilmiş ve yüksek performans açısından beklentilerine yanıt verebilen bir çözüm üretilmiştir.

Bunların yanında, hem CCD ve CMOS mimarilerinin kendine has avantajlarının kullanılması hem de sensör verimliliğinin artırılması için TDI tabanlı hibrit yapılara geçiş yapılmıştır. CCD ve CMOS yapılarını tek sensörde birleştirip, katman (wafer) ya da cam seviyesinde spektral filtrelerle birleştirilerek oluşturulan hibrit sensörler CCD-in-CMOS olarak adlandırılmaktadır. Bu yapılarda doğrusal olarak hareket eden bir cismin piksel izi boyunca gürültü arttırmadan çoklu pozlamalar yolu ile yük toplaması gerçekleştirilir. CCD TDI piksellerinin CMOS okuma şeması ile entegre edilmesi sayesinde CCD ve CMOS özellikleri tek çip üzerinde birleştirilerek yüksek duyarlılıkta TDI ve yüksek seviyede entegrasyon (ADC, sürücüler, dijital logic, vb.) sağlanmış olur (Şekil 36). Bununla birlikte, bu sistemlerde doygunluk (saturation) ve serpilme (blooming) gibi görüntüde veri kaybına neden olan durumlara karşı CMOS altyapısı kullanılarak veri kaybı minimize edilir.



Şekil 36. Hamamatsu Firmasının Geliştirmiş Olduğu CCD ve CMOS Özelliklerini Birleştiren Algılayıcı Mimarisi [17]

Öte yandan, CCD teknolojisinin en önemli özellikleri arasında bulunan düşük gürültülü piksel yapısı da günümüzde gelişmiş CMOS görüntüleme sensör teknolojisinde entegre edilebilmektedir.

CMOS üreticileri, geliştirmiş oldukları en üstün özellikli CMOS görüntüleme sensör teknolojilerini artık CMOS yerine “Bilimsel CMOS” (Scientific CMOS, sCMOS) olarak adlandırmaktadır. Bilimsel CMOS teknolojisi ile hem düşük tarama hızlarında hem de yüksek tarama hızlarında CCD teknolojisinin erişmekte zorlandığı 1 ϵ rms seviyesindeki düşük gürültü seviyelerini sağlaması mümkün olmuştur.

Bilimsel CMOS tabanlı yeni nesil görüntüleme teknolojisinde düşük aydınlatma seviyelerinde çalışabilen ve gece renkli görüntülemeye (CNV, color night vision) izin veren yüksek çözünürlüklü ve yüksek hızlı yeni nesil elektronik gece görüş sensör ürünleri üretilmektedir.

Dünyadaki Mevcut Durum

CMOS teknolojisinin radyasyon dayanıklılığı ve içerisinde barındırdığı yüksek entegrasyon seviyeli sistem çözümleri CMOS ürünlerinin güvenilirliğini arttırmaktadır. Yüksek fonksiyonellik ile hızlı görüntüleme ihtiyacı olan uygulamalar için yüksek entegrasyon seviyesine sahip CMOS tabanlı görüntüleme teknolojileri daha uygun olmakta ve böylece pazarda önceleri CCD ürünlerinin baskın olarak kullanıldığı alanları ele geçirmektedir.

Küçük boyutlu uydu sistemlerinin uzay uygulamalarında yayılmasını öngören “Yeni Uzay (New Space)” akımı yer gözlem uydu kamerası tasarımlarını etkilemiş olup ve bu konu üzerine çalışan birçok şirketin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu şirketler kısa zamanda mevcut ticari (CoTS) ürünleri kullanarak uydu ve kamera sistemleri geliştirmiş olup günlük güncellenen görüntüler elde etmeye ve pazarlamaya başlamışlardır.

Sensör teknolojileri alanında etkinlik gösteren firmalar ürün geliştirme çalışmalarını başlıca dört kolda yürütmektedir. Bu kollar; fotodiyot optimizasyonu, sensör mimarisi, mikro-optik yapılar ve uygulamaya özel tasarımlardır.

- » Fotodiyot optimizasyonu alanında derin kanal yalıtımları (deep trench isolation), yansıma engelleyici kaplamalar ve yakın kızılötesi bölgede iyileştirme,
- » Sensör mimarisi alanında özellikle katmanlı yapılandırma (stacking) ve deklanşör (shutter) mekanizmaları,
- » Mikro-optik yapılarda renk filtreleri, mikrolensler ve meta-optikler,
- » Özelleştirilmiş tasarımlar için ise foton sayma, logic yapılar, SWIR duyarlılığı ve olay belirleme (event detection)

konuları firmaların sensör teknolojilerine dönük araştırma konuları arasında yer almaktadır.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

Ülkemizde yarıiletken tasarımı ve okuma devreleri geliştiren çeşitli kurum ve kuruluşlar bulunmaktadır.

Uydu Uzay Uygulamalarında Kızılötesi Algılama

Uydu uzay teknolojilerinde kızılötesi sensörler, kızılötesi bölgelerin özelliklerine göre farklı araştırma ve uygulama alanları için kullanılmaktadır. Yakın kızılötesi bölge (SWIR), yer yüzeyine yakın gözlemler ve atmosferik çalışmalar için uygundur. Genellikle, SWIR spektrumunda algılayıcısı bulunan yer gözlem uyduları, bitki örtüsü izleme ve ekosistem sağlığının takibi, kentsel planlama ve arazi kullanımının incelenmesi, okyanus gözlemleri ve yüzey sıcaklıklarının izlenmesi gibi alanlarda görev yapmaktadır.

Özellikle 3–14 µm aralığında görev yapan termal uydular, kızılötesi spektrum bölgesinin orta dalga boylu kızılötesi (MWIR) ve uzun dalgaboylu kızılötesi (LWIR) algılama yapan sensörler bulundurlar. Bu uydular temel olarak, yerküre yüzeyi ve deniz yüzeyi sıcaklıklarının takibi ile iklim değışikliğinin izlenmesi, yeryüzünde sıcak noktaların ve lav akışlarının takibi ve tespiti ile volkanik aktivitelerin değeriendirilmesi ve orman yangınlarının tespit edilmesi, kentsel alanlarda ısı gözlem gibi amaçlarla kullanılabilirler. Ayrıca, termal uydular kullanılarak termal izlem ile bitki sağlığı ve su kaynaklarının gözlenmesi ile tarımsal takip, hedeflerin izlenmesi ile askeri ve savunma alanında da çalışmalar yürütölmektedir.

Uzak kızılötesi bölgede (VLWIR) yer alan gözlem uyduları ise, genellikle soğuk cisimlerin yaydığı ısınnın izlenmesi için kullanılır. Daha çok kozmik mikrodalga arka planı, evrenin takibi gibi astronomik gözlemler için kullanılan VLWIR algılayıcılar, uzun dalga kızılötesi banddaki emisyonları ile atmosferdeki düşük sıcaklıklı bulutların izlenmesi amacıyla da kullanılmaktadır.

Kızılötesi algılama teknolojisinin gelişmesiyle birlikte hiperspektral sensörler uzay uygulamalarında giderek daha önemli rol oynamaya başlamıştır. Hiperspektral algılama, elektromanyetik spektrumun geniş aralığında çok dar bandlarda veri toplar ve bu sayede nesnelerin daha detaylı bir spektral imzasını elde etmeyi mümkün kılar. Kızılötesi spektrumda hiperspektral görüntöleme, özellikle çevre, tarım, jeoloji ve askeri uygulamalarda büyük rol oynar. Ayrıca, bitkilerin farklı spektrumlarının detaylı incelenmesi ile farklı bitkilerin ayrıştırılması, kuraklık, hastalık gibi etkilerden kaynaklanan bitki streslerinin gözlenmesi gibi amaçlarla da kullanılabilir.

Dünyadaki Mevcut Durum

Hiperspektral görüntöleme, standart görüntöleme sistemlerine göre daha fazla bilgi içermesi, alınan görüntü üzerinden daha detaylı analizler yapılabilmesi, geniş spektrumunda hem VIS hem de IR data bulundurması sayesinde günden güne daha fazla tercih edilir olmuştur. Hiperspektral kamera entegre edilmiş takım uydularla güvenlik, tarım, iklim ve hava koşulları, güvenli su kaynakları, madencilik, yer hareketleri gözlemi gibi alanlarda araştırma yapan ölkeler Finlandiya, Kanada, ABD, İsviçre'dir.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

Kızılötesi algılama sensörlerinin temininde uluslararası anlaşmalara, ulusal ihracat lisansına, ITAR düzenlemelerine veya son kullanıcı talep formuna ihtiyaç duyulmaktadır. Bunların yanında, teknolojinin temin süreleri çok uzun sürebilmektedir.

7.3.3. Teknoloji Konu Önerileri

Tablo 17. OÇG-3 Yakın Vade Konu Önerileri

	Konu Adı ve Kapsamı	Vade
1	Hibrit, CMOS Üzerine CCD Zaman Geciktirmeli Biriktirme (TDI) Üretim Teknolojisinin Geliştirilmesi Bu konu önerisi kapsamında, hibrit, CMOS üzerine CCD zaman geciktirmeli biriktirme (TDI) üretim mimarisine dayanan TDI-CMOS algılayıcıların tasarımı ve üretimi için gerekli olan teknolojik yetkinliğin kazanılması hedeflenmektedir.	Yakın
2	Hiperspektral Uydu Kamerası Geliştirilmesi Bu konu önerisi kapsamında, alçak dünya yörüngesinden (400 – 800 km), geniş bir band aralığında (400 – 2500 nm), yüksek spektral çözünürlükte (≤ 10 nm) görüntü alabilecek hiperspektral uydu kamerası tasarımı ve üretimi için gerekli teknolojik yetkinliğin kazanılması hedeflenmektedir.	Yakın
3	2D CMOS Teknolojisine Dayalı, Uzay-Kalifiye Odak Düzlem Dizini Tasarımı ve Mikrouydu Platformlarıyla Tarihçe Kazandırılması Bu konu önerisi kapsamında, tedarik edilen ticari 2D CMOS algılayıcılar ile yüksek çözünürlüklü uydu kameraları için “dijital TDI” özellikli odak düzlem dizini tasarımı yapılacaktır. Uygun filtreler kullanılarak pankromatik ve multispektral band bölgeleri oluşturulacak, radyasyon dayanım testleri ve çevresel testleri gerçekleştirilecektir. Uzay kalifiye olacak şekilde tasarlanan ve üretilen ticari CMOS odak düzlemine yörüngede uzay tarihçesi kazandırılması nihai hedeftir.	Yakın
4	Rad-Hard (Radiation Hardening) Testlerinin Akredite Olabilecek Seviyede Teknoloji Geliştirilmesi Bu konu önerisi kapsamında, uydu ve uzay uygulamaları için tasarlanan sistemlerin uzay ortamındaki maruz kalacağı radyasyona dayanımı ve bunların test edilmesi için gerekli teknolojinin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu çalışma sonunda, elektronik komponentler, elektronik ekipmanlar, çok katmanlı yalıtım battaniyeleri ve optiklerin yüzey kaplamaları gibi kritik bileşenler veya ekipmanların testlerinin akredite seviyede milli olarak yapılması amaçlanmaktadır.	Yakın

Tablo 18. OÇG-3 Uzak Vade Konu Önerileri

	Konu Adı ve Kapsamı	Vade
1	Uydu Uzay Kızılötesi Algılayıcılar için 20 K Soğutucu Geliştirilmesi Uzay ortamında çalışacak, uydudan SWIR, MWIR veya LWIR bölgelerinde görüntülemeyapacak sistemler için soğutucu geliştirilmesi hedeflenmektedir.	Uzak
2	Uydu Üzerinde Yapay Zeka ile Hedef Odaklı Görüntü Algoritmalarının Geliştirilmesi Uydu sistemlerine bilinç aktarılarak, algıladıkları görüntünün sınıflandırması ve ön işleminin doğrudan algılandığı seviyede yapılması hedeflenmektedir. Bugüne kadar toplanan ve işlenen veriler bir model haline getirilerek, uyduda çalışabilecek bir zeka işlemcisine aktarılarak uydunun, geleneksel görüntü işleme yöntemleri veya yapay zeka yöntemleri ile işlenerek karar vermesi sağlanabilecektir. Böylece sonraki nesil uydularda verinin gerçek zamanlı olarak uydu içerisinde işlenebilmesi, kendi kendine karar verebilen güç tasarruflu, küçük ve az masraflı veya daha üstün performanslı bir uydu yapılması hedeflenmektedir.	Uzak
3	Arazi Kullanım Deseni ve Su Kaynakları için Uydu Görüntüleri Aracı ile Görüntü Kıymetlendirilmesi Uydudan alınan görüntülerin kıymetlendirilmesi ile tatlı su rejimlerinin izlenmesi ve tarımsal alanların takibi gibi kritik alanda geliştirilecek veri kıymetlendirme çalışmaları gerçekleştirilecektir. Böylece tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini ve su kaynaklarının verimli kullanımını sağlamak mümkün olacaktır. Verileri depolayan ve verileri işleyen bir altyapı geliştirilmesi bu konu önerisinin ana hedefidir.	Uzak
4	Uydu Kameraları için Ayna Tarama Sisteminin Geliştirilmesi (De Scan Mirror) Fast Steering Mirror (FSM) gibi hızlı hareket eden piezo sistemleri ve optik yansıtıcılar kullanılarak tarama sistemlerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Uydu sistemlerinde kullanılan tarama sistemi sayesinde adaptif optik sistemlerinin geliştirilmesi, uydu boyutlarının küçülmesi, hedef üzerinde entegrasyon süresinin artması ve maliyetlerin azalması hedeflenmektedir.	Uzak

7.4. KIZILÖTESİ KARŞI TEDBİRLER VE ALGILAMA ODAK ÇALIŞMA GRUBU (OÇG-4)

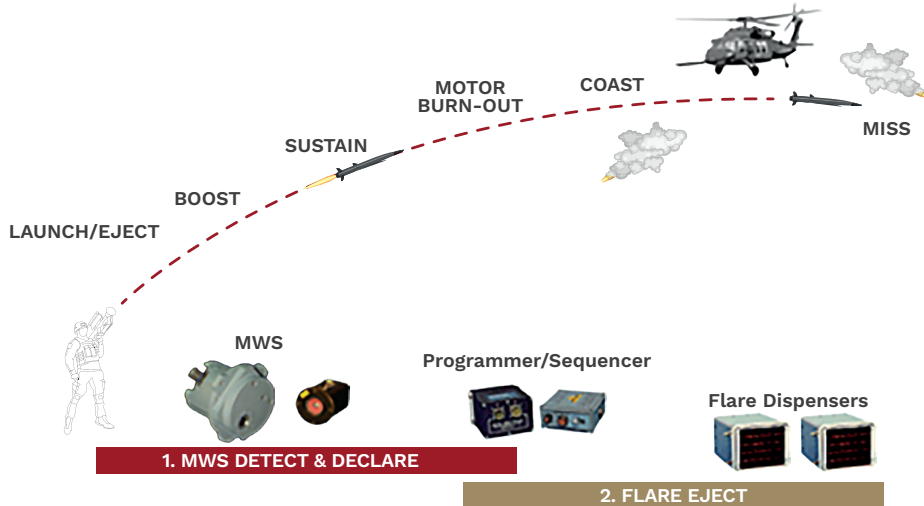
7.4.1. Genel Bilgi

Kızılötesi Karşı Tedbir, düşman unsurlarının dost unsurlara zarar vermesini önlemek amacıyla kullanılan/uygulanan tedbirlerin bütünüdür. Örneğin, düşman tarafından dost hava platformuna fırlatılan kızılötesi güdümlü bir füzenin dost hava platformuna angaje olmasını engellemek veya güdümlü füzenin bertaraf edilmesini sağlamak için uygulanan ısı fişekleri ve kızılötesi karıştırma taktiği karşı tedbir olarak ifade edilmektedir.

Kızılötesi Karşı Tedbirler ve Algılama Odak Çalışma Grubu kapsamında düşman unsurlar tarafından dost unsurlara uygulanan karşı tedbirlerin tespiti ve kızılötesi karşı tedbir altında dahi düşman unsurlarının tespitinin, takibinin ve gerekmesi durumunda yok edilmesinin sağlanması için uygulanan yöntemler yer almaktadır.

Elektronik Harp, elektromanyetik spektrumun düşman tarafından kullanımını belirlemek, düşman kullanımından faydalanmak, düşman kullanımını azaltmak veya önlemek için elektromanyetik enerjinin kullanımını içeren askeri bir eylemin yanı sıra, elektromanyetik spektrumun dostane kullanımını koruyan bir eylemdir [18].

Örneğin düşman tarafından kullanılan kızılötesi arayıcı başlıklı füze, kızılötesi spektrumda hava platformunun kızılötesi izini tespit edip buna kilit atmaktadır. Dost unsurlar ya da platformun kendisi ise bu füzenin hava platformuna zarar vermesini engellemek için teknik ve taktikler uygulamaktadır. Hava platformunun kendisine fırlatılan füzeyi tespit etmesi ve füzenin yönünü doğru bulabilmesi amacıyla hava platformu üzerinde yer alan Füze İkaz Sistemleri kullanılmaktadır. Füze İkaz Sistemi ikaz verdikten sonra füzenin hava platformuna zarar vermesini engellemek için hava platformu manevra yapabilir, ısı fişekleri fırlatılabilir ya da kızılötesi bandında karıştırma uygulayabilir. Bu uygulanan karşı tedbirler ile füzenin elektromanyetik spektrumu kullanması engellenmeye çalışılmaktadır. Fakat füze de kendisine karşı bir karşı tedbir uygulandığını algılama kabiliyetine sahip ise bu karşı tedbirlere karşı karşı-karşı tedbir uygulayabilmektedir (Şekil 37).



Şekil 37. KÖ Füze – Hava Platformu Angajmanı [19]

7.4.2. Pazar Analizi

Elektronik Harp pazarı harcamaları tüm dünyada 2022'de 9.8 milyar dolar, 2023'te 10.8 milyar dolar'dır. 2028'de bu pazarın 19.4 milyar dolar olması beklenmektedir. Bu da 2023'ten 2028 yılına kadar pazarda %12.5'luk bir artışa denk gelmektedir. Ayrıca bu harcamaların büyük bir çoğunluğu Kuzey Amerika kıtası ülkelerinde gerçekleşmektedir. Asya-Pasifik ve Avrupa kıtası ülkeleri de Kuzey Amerika ülkelerini takip etmektedir [20].

Askeri EO ve KÖ sistem pazarı harcamaları tüm dünyada 2022'de 7.5 milyar dolar, 2023'te 7.8 milyar dolar'dır. 2028'de bu pazarın 9.5 milyar dolar olması beklenmektedir. Bu da 2023'ten 2028 yılına kadar pazarda %4'lük bir artışa denk gelmektedir. Ayrıca bu harcamaların büyük bir çoğunluğu Asya-Pasifik kıtası ülkelerinde gerçekleşmektedir. Kuzey Amerika ve Avrupa kıtası ülkeleri de Asya-Pasifik ülkelerini takip etmektedir [21].

Kızılötesi Karşı Tedbirler ve Algılama Odak Çalışma Grubu altında yer alan teknoloji alt grupları aşağıda verilmektedir.

- » Düşük Görünürlüklü Platformların Tespiti
- » Görünürlüğün Azaltıldığı Ortamlarda (Low Visibility) Algılama
- » Kızılötesi Karşı Tedbirlerin (DIRCM, Flare vb.) Etkisi Altında Algılama ve Takip
- » Quantum Çağlayan Lazerler (QCL)
- » Geleceğin Harekat Ortamında KÖ Karşı Tedbirler ve Algılama

Düşük Görünürlüklü Platformların Tespiti

KÖ sistemler ile hedef platformun tespitinde ve takibinde; hedeften gelen KÖ ışıma kullanılır. Bu nedenle KÖ bandında çalışan sistemler tarafından hedef platform tespitinde ve takibinde herhangi bir aydınlatma kullanmaya gerek kalmamaktadır. Hedeften gelen bu KÖ ışıma hedefin pasif olarak tespit ve takibini mümkün kılmaktadır. Bir hedefin ışımmasının havadaki veya yerdeki bir sensör tarafından pasif olarak tespiti ve takibi hedef tarafından algılanamamaktadır. Hedefin tespit ve takip edildiğini anlayabildiği ilk durum, kendisine doğru fırlatılan roket ve/veya füzenin hedef platform üzerinde yer alan Elektronik Destek (ED) sistemleri tarafından algılanmasıdır. Bunun öncesinde hedef platform tespit ve takip edildiğinden habersizdir. Hedef platform tespit ve takip edildiğini ED sistemleri sayesinde öğrendikten sonra bu tehdide karşı etkin bir karşı tedbir uygulaması gerekmektedir. Fakat karşı tedbirin etkinliği için kalan süre angajmana ve sistem performanslarına bağlı olmasına rağmen oldukça kısadır. Hedef platformların KÖ bandında pasif tespit ve takibi, KÖ arama/izleme sistemlerine ve füzelere karşı savunmayı zorlu bir mücadele haline getirmektedir.

Kendisinin KÖ bir sistem tarafından tespit ve takip edildiğinden bihaber olan hedef platformunun uygulayabileceği ilk ve en önemli karşı tedbirlerden birisi kendi KÖ imzasını/izini azaltmak olacaktır. Bu nedenle kara, hava ve deniz platformlarında platformların KÖ izlerini azaltıcı ve bastırıcı sistemler yer almaktadır. Böylece platformun düşman sistemleri tarafından tespiti ve takibinin zorlaştırılması mümkün hale gelmektedir.

Düşük görünürlüğe ve KÖ ize sahip düşman platformunun dost unsurlara zarar vermeden tespit edilip bertaraf edilmesinin önemli olduğu değerlendirilmektedir. Bu nedenle düşük görünürlüklü platform tespiti askeri alanda önem arz etmektedir. Bu kapsamda yapılabilecekler;

- » KÖ başlığa sahip füzelerde, görünürlüğü azaltılmış platformları tespit ve takip edebilmesi amacıyla farklı spektral bandlara sahip ve daha hassas dedektör teknolojileri kullanılmaktadır. Böylelikle hem füzenin menzil değeri artmaktadır hem de hedef platformun KÖ izi azaltılsa dahi daha uzaktan tespit ve takip edilebilmektedir.
- » EO/KÖ arama, Tespit ve İzleme Sistemleri'nde görünürlüğü azaltılmış platformları tespit ve takip edebilmesi amacıyla;
 - Her türlü atmosferik ortamda çalışabilen,
 - Gelişmiş optik sistemler sayesinde hedefi uzakta tespit ve takip edebilen,
 - Birden fazla KÖ bandda çalışıp bu verileri füzyon yapabilen,
 - Hassas dedektör teknolojisine sahip sistemler geliştirilmektedir.

Dünyadaki Mevcut Durum

Düşük görünürlüklü platformların tespiti için uygulanan bazı yöntemler aşağıda sıralanmaktadır.

- » Yüksek hassasiyetli dedektör geliştirme
- » Multi-band ve multi-color sistemler
- » Gelişmiş optik ve EO tasarımlar
- » Gelişmiş görüntü/video işleme algoritmaları
- » ATR (Otomatik Hedef Teşhis, Automatic Target Recognition) algoritmaları
- » Cognitive (Bilişsel) çözümler

Dünyadaki mevcut duruma bakıldığında; görünürlüğü düşük ya da bastırılmış platformların tespiti ve takibi ile ilgili olarak geliştirilmiş/geliştirilen sistemler bulunmaktadır.

EO/KÖ Arama, Tespit ve İzleme Sistemleri'nde düşük görünürlüklü platformların tespitine yönelik ABD, İtalya, İngiltere, İsveç, Almanya, Kore, Rusya ve Çin'de çalışmalar sürdürülmektedir.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık/Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

Görünürlüğü azaltılmış ya da bastırılmış platformların tespiti ve takibi ile ilgili olarak Türkiye’de de çalışmalar yapılmaktadır.

KÖ arayıcı başlığa sahip füzelerin ve EO/KÖ arama, tespit ve izleme sistemlerinin en önemli bileşenlerinden biri kızılötesi dedektör takımıdır. Bu alt bileşenin teknik özellikleri sistem performansı açısından kritik olabileceği değerlendirilmektedir.

Görünürlüğün Azaltıldığı Ortamlarda (Low Visibility) Algılama

KÖ ve EO sistemlerin performansları atmosferden ve tespit/takip edilecek hedefin bu bandlardaki toplam KÖ izlerinden oldukça etkilenmektedir. Özellikle KÖ sistemlerin kullanacağı alt band seçiminde;

- Sistemin çalışacağı atmosferik ortamın sistem performansına etkileri düşünülmelidir. Eğer ortamda sis, pus, nem, yağmur vb. durumlar varsa böyle durumlarda da algılama ve tespit yapabilen alt band seçilmelidir.
- Hedefin KÖ izinin sistem performansına etkileri de düşünülmelidir. Örneğin hedefin izi SWIR bandında yüksekse buna uygun bir band seçmek gerekmektedir.

Şekil 38 ile gösterilen örnekte sisli ortamlardaki farklı bandlarda (KÖ, görünür) çalışan kameralar ile alınan görüntüler gösterilmektedir. Örnekten de anlaşılacağı gibi bazı görünür bandda sisli ortamda araç ve şehir net anlaşılamamaktadır. Fakat SWIR band KÖ kamera görüntüsünde hem araç hem de şehir net olarak ayırt edilebilmektedir.



Şekil 38. Farklı Atmosferik Durumlarda Hava Platformunun Görünümü [22]

Görünürlüğün azalması/azaltılması amacıyla uygulanan yöntemlerden bazıları aşağıda detaylandırılmaktadır. Bu yöntemlerden görünürlüğün azaltılması amacıyla platform tarafından uygulanan yöntemler ve görünürlüğün azalmasına neden olan atmosferik etkiler aşağıda sıralanmaktadır.

- » Platform tarafından uygulanan görünürlüğün azalmasını sağlayan yöntemler
 - Sis (smoke) fırlatmak
- » Görünürlüğü azaltan atmosferik etkiler
 - Gece/Gündüz durumu,
 - Atmosferik koşullar (nem, sis, yağmur, güneş, rüzgar vb.)

Düşman platformları atmosferik ortamlarda görünürlüğünü azaltmaya yönelik yöntemleri kullansa dahi tespit edilerek bertaraf edilmesi önem arz etmektedir. Görünürlüğün azaltıldığı/azaldığı durumlarda yapılabilecekler aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır.

- » Pasif (Termal) Görüntüleme esnasında yapılabilecekler
 - Kullanılan sistemde uygun dedektör bandı seçimi,
 - Daha hassas sensör geliştirme,
 - Gelişmiş görüntü/video iyileştirme, işleme, tespit ve takip algoritmaları/uygulamaları
- » Aktif Görüntüleme esnasında yapılabilecekler
 - Gated imaging uygulamaları,
 - LIDAR (Light Detection and Ranging) ile yapay aydınlatma yaparak düşük görünürlüklü nesne tespiti,
 - Gelişmiş görüntü/video iyileştirme, işleme, tespit ve takip algoritmaları/uygulamaları
- » Pasif ve Aktif Sistemlerin Füzyonu

Dünyadaki Mevcut Durum

Gelişmiş füzelerde ve EO/KÖ arama, Tespit Ve İzleme Sistemleri'nde görünürlüğün azaltıldığı/azaldığı ortamlarda düşman platformların tespiti, takibine yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Dünyadaki çalışmalara bakıldığında; görünürlüğün azaltıldığı/azaldığı ortamlarda düşman platformların tespiti için geliştirilmiş/geliştirilen sistemler bulunmaktadır.

- » Aktif Görüntüleme Sistemlerine yönelik Fransa, Kanada,
- » Çift Renk KÖ Füze İkaz Sistemlerine yönelik Fransa, Almanya, ABD, İtalya,
- » ECCM özelliğine sahip füzeler için ABD, Rusya, Çin, Almanya, İtalya, Fransa, Norveç gibi ülkeler sistemler geliştirmektedir.

Geliştirilen sistemlerin her türlü durumda (düşük izli platforma angaje olma, her türlü atmosfer ortamında çalışma, düşman platformu karşı tedbir uyguladığı durumlarda) etkin olması amaçlanmaktadır.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

EO/KÖ Arama, Tespit ve İzleme Sistemleri'ne yönelik donanımsal ve algoritmasal çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Yüksek hassasiyete sahip ve birden çok bandda algılama yapabilen sistemler için yüksek teknolojiye sahip dedektör ve optik malzemelerinin önemli olabileceği değerlendirilmektedir.

Kızılötesi Karşı Tedbirlerin (DIRCM, Flare vb.) Etkisi Altında Algılama ve Takip

Gelişen tespit ve takip sistemleri, füze sistemleri nedeniyle düşman unsurları da kendilerinin tespit, takip ve bertaraf edilmesinin engellenmesi amacıyla karşı tedbir kullanmaktadır. Karşı tedbirin uygulanması hem tespit, takip sistemlerinin hem de KÖ füze sistemlerinin performansını ve öldürücülüğünü azaltmaktadır. Bu nedenle düşman unsurlarının karşı tedbir uygulasa dahi bertaraf edilmesi için EO/KÖ arama, tespit, takip ve füze sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Kızılötesi karşı tedbirler düşman tehdit sistemlerinin dost unsurlarına zarar vermesini engellemek için kullanılmaktadır. KÖ tehdidin bertaraf edilmesi için uygulanan KÖ karşı tedbirler bir ED sisteminin tehdidi tespit edip ikaz vermesi ile otomatik olarak tetiklenebileceği gibi pilot/operatör tarafından önleyici (pre-emptive) olarak da kullanılabilir.

Platform tarafından uygulanan karşı tedbirler on-board (platform üstü) ve off-board (platform dışı) olmak üzere iki ana başlık altında toplanabilmektedir. On-board KÖ karşı tedbirler uygulandığı platform üzerine Home-On Jamming (HOJ) yapan sistemlerdir. Off-board KÖ karşı tedbirler ise uygulandığı platformdan fırlatılarak platformdan uzak bir noktada aktif hale gelen karşı tedbirlerdir.

» Platform Üstü KÖ Karşı Tedbirler

- KÖ İz Basıtırıcılar, İz Azaltıcı Kaplama ve Boyalar,
- Omni-directional IR Jammer,
- Directed IR Jammer (DIRCM),
- Yüksek Güçlü Lazer ile Hard-Kill Sistemler

» Platform Dışı KÖ Karşı Tedbirler

- Isı fişekleri,
- Sis mühimmatları,
- Active Protection Sistemleri / Hard Kill Sistemleri

KÖ karşı tedbirler başlatılma/uygulanma durumuna göre de sınıflandırılabilir. KÖ karşı tedbirler her daim aktif olan ve tetikleme yöntemiyle aktif olan KÖ karşı tedbirler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

- » Her Daim Aktif Olan KÖ Karşı Tedbirler
 - KÖ İz Basıtırıcılar ve İz Azaltıcı Kaplama ve Boyalar,
 - Omni-directional IR Jammer
- » Tetikleme Yöntemiyle Aktif Olan Karşı Tedbirler
 - Isı fişekleri,
 - Sis mühimmatları,
 - Active Protection Sistemleri / Hard Kill Sistemleri,
 - Directed IR Jammer (DIRCM),
 - Yüksek Güçlü Lazer ile Hard-Kill Sistemleri

Düşman platformu tarafından uygulanan karşı tedbirlerin KÖ füzeler üzerine etkilerini asgariye indirecek ve bu füzelerin görevlerini yerine getirmesini sağlayacak kabiliyetlerin ve algoritmaların/donanımların geliştirilmesi ve sistemlere entegre edilmesi gerekmektedir.

KÖ arayıcı başlıklı füzelerin karşı tedbir ortamında dahi hedefini tespit ve takip edebilecek sistemlere/algoritmalara karşı-karşı tedbir ECCM adı verilmektedir. Gelişen füze teknolojisi ve dedektör teknolojisi sayesinde ECCM algoritmaları da gelişmektedir. Füzelerde ECCM yöntemlerinin tetiklenmesi ve tetiklendikten sonra da ECCM yönteminin uygulanması gerekmektedir. Bunlara yönelik yöntemler aşağıda özetlenmektedir.

- » ECCM Tetikleme Yöntemleri
 - Anlık Şiddet Artımı (Intensity Rise-Time),
 - Bakış Açısı Değişim Oranı (LOS Rate Change),
 - Spektral Ayrımsama,
 - Uzamsal Ayrımsama
- » ECCM Yöntemleri
 - Sektör Zayıflatma (Sector Selection, Sector Attenuation),
 - İtme-Çekme (Push-Pull),
 - İleri İtme (Push-Ahead),
 - Hafızalı Takip (Memory Track),
 - Korelasyon Tabanlı İzleyici ve Gated Video Tracker,
 - ATR Kabiliyetine sahip füzeler,
 - Multi band füzeler,
 - Hibrid füzelerde birden fazla yer alan arayıcı başlıklar (RF, KÖ, lazer, GPS vb.) arasında geçişlerin yapılması

Füzelerin yanı sıra KÖ/EO arama, tespit ve takip sistemleri de düşman platformu tarafından uygulanan karşı tedbirler etkilenmekte ve performanslarında düşüş gözlenmektedir. Bu sistemler için de karşı tedbir etkisi altında dahi yüksek performansta hedef arama, tespit ve takibi yapabilmek için donanımlar ve algoritmalar geliştirilmektedir. Bunların bazıları aşağıda sıralanmaktadır.

- » Gelişmiş ATR Algoritmaları,
- » Gelişmiş Görüntü İşleme ve Takip Algoritmaları,
- » Multi band sistemler

Dünyadaki Mevcut Durum

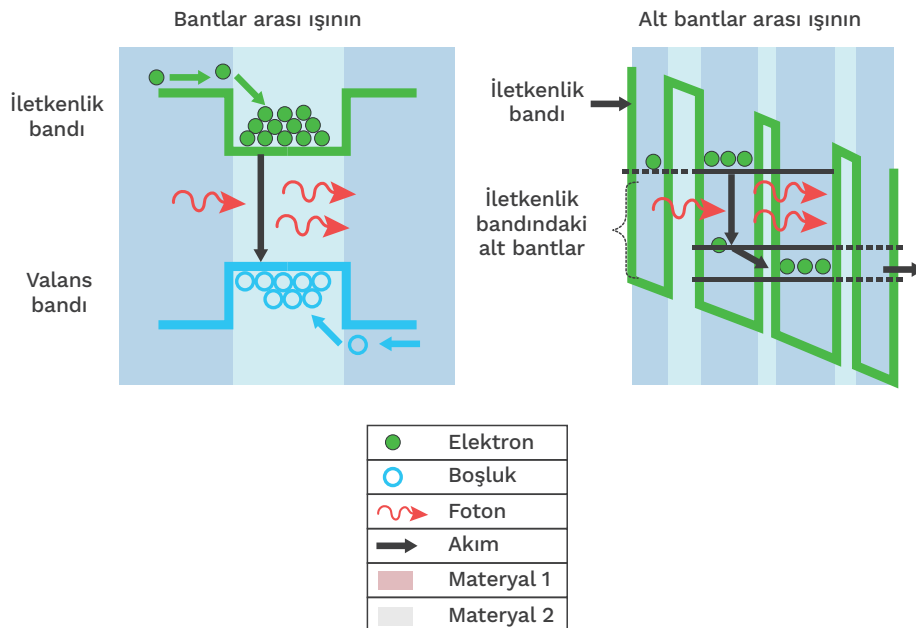
Dünyadaki mevcut durumda KÖ arayıcı başlığa sahip tehditlerde ECCM özellikleri vardır. Rusya, İngiltere, Fransa, Almanya ve ABD’de bu konularda çalışmalar yürütülmektedir.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

Türkiye’de EO/KÖ arama, Tespit ve İzleme Sistemlerine yönelik geliştirme çalışmaları bulunmaktadır.

Quantum Çağlayan Lazerler (QCL)

QCL’ler, lazer ışığı üretmek için kuantum kademelendirme olayını kullanır. Geleneksel yarıiletken lazerlerde elektronlar tek bir malzeme içinde iki enerji seviyesi arasında geçiş yaparken, QCL’ler birden fazla yarı-iletken tabakanın enerji band yapısını kullanarak elektronların aynı kuantum kuyusunda alt bantlar arasında geçiş yapmasını sağlar. Bu kademelenme (“şelalelenme”) işlemi belirli dalga boylarında foton salınımını sağlar.



Şekil 39. Klasik Lazer (sol) ve QCL (sağ) Çalışma Prensibi [23]

QCL lazer kaynaklarından alınabilecek spektral aralık 3-25 μm 'dir. QCL lazer kaynaklarının sahip olduğu en önemli özelliklerden birisi dalgaboyunun ayarlanabilir olmasıdır. Kuantum kuyularının kalınlığı değiştirilerek enerji ve dolayısı ile foton dalgaboyu ayarlanabilmektedir.

Gelişen lazer teknolojisi ile bu teknolojinin savunma sanayinde kullanım alanları artmaktadır. Ayrıca savunma sanayinde tehditlere özel farklı bandlarda yüksek güçlü lazer sistemlerine ihtiyaç da her geçen gün artmaktadır. Bu bağlamda yüksek güçlü lazer sistemlerinde ve geleneksel lazer içeren DIRCM sistemlerinde yüksek güç tüketimi, soğutma ihtiyacı, SWaP ve düşük verim problem olarak görülmektedir. QCL ile bu problemlerden bazılarının çözülebileceği değerlendirilmektedir. Görece yeni bir lazer teknolojisi olan QCL, benzersiz özellikleri sayesinde hem askeri hem de sivil (sağlık, haberleşme vb.) sağlık alanında alanda birçok uygulama alanı bulmuştur.

Dünyadaki Mevcut Durum

Dünyada QCL üretimi giderek yaygınlaşmaktadır. QCL üreten firma sayısı da giderek artmaktadır. Birçok ülkede QCL geliştirilmesine yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan bazıları Almanya, İsrail, Fransa, ABD ve Japonya'dır.

QCL sisteminin DIRCM sisteminin lazer kaynağı olarak kullanımına yönelik çalışmalar bulunmaktadır.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

QCL sistemlerinin temininde yaşanabilecek kısıtlamalara karşı Ülkemizde araştırma merkezleri, üniversiteler veya kurum/kuruluşlar tarafından QCL teknolojisine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Geleceğin Harekat Ortamında KÖ Karşı Tedbirler ve Algılama

Geleceğin harekat ortamına yönelik çalışmalar kapsamında ilgili KÖ Karşı Tedbirler ve Algılama teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Harekatlarda kullanılan sistemlerde ve bu sistemlere karşı uygulanan karşı-tedbirlerde bire-bir (one to one) angajmandan system-of-system (Many-to-Many) angajmanına geçilmiştir. Ayrıca, yeni nesil karşı tedbirler ile ilgili yapılabilecek çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

- Yeni nesil ısı fişeklerinin geliştirilmesi,
- Akıllı karşı tedbir atım sistemlerinin geliştirilmesi,
- Füze/tehdit fırlatılmadan önce tespit edebilen sistemler,
- Yeni nesil ve bütünleşik füze ikaz sistemleri,

- Gelişmiş DIRCM (Directed Infrared Countermeasure)
 - Close-loop DIRCM,
 - Karıştırma ve kamaştırma yapabilen DIRCM sistemleri,
 - Birden fazla bandda karıştırma ve kamaştırma yapabilen DIRCM sistemleri,
- Bütünleşik ET Çözümleri (DIRCM ile ısı fişeği karşı tedbirlerinin bütünleşik çalıştırılması vb.),
- Yüksek güçlü lazer sistemleri ile hard-kill,
- Aktif koruma sistemleri,
- Agnostic (bilinmezci) karşı tedbirler,
- Yeni nesil füzeler,
 - Multi-band tehditler,
 - Füze sistemlerinde birden fazla alt sistemin bütünleşik çalışması ve cued-threats,
 - Hibrid tehditler,
 - Terminal fazda KÖ arayıcı başlık ile hedefe hassas güdümleme,
 - Birden fazla alt sistemden oluşan ve bütünleşik çalışan füzeler,
- Gelişmiş EO/KÖ arama, tespit ve takip sistemleri (IRST, CATS, FLIR vb.),
- Cognitive (bilişsel) çalışmalar

Dünyadaki Mevcut Durum

Dünyada yeni nesil ısı fişeklerine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bu ısı fişeklerinin bazıları;

- » Aerodinamik ısı fişeği,
- » SMD (Special Material Decoy, Özel Materyal Isı Fişeği),
- » İkili (Dual) ısı fişeği (çoklu MTV ısı fişeği, spektral – MTV ısı fişeği vb.),
- » EO flash etkili ısı fişeği,
- » Kontrast ısı fişeği,
- » Siyah duman özellikli ısı fişeği,
- » Beyaz duman özellikli ısı fişeği,
- » Çoklu Çizgi /Çoklu Spot ısı fişeği'dir.

Yeni nesil ve bütünleşik Füze İkaz Sistemleri ile ilgili olarak Fransa, Almanya, ABD ve İtalya'da çalışmalar yürütülmektedir.

Yüksek güçlü hard-kill sistemleri ve aktif koruma sistemlerine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Yeni nesil tehditlere yönelik dünyada Almanya, Rusya, ABD, İsrail, Fransa ve İngiltere çalışmaktadır. Bu çalışmalarda; multi-spectral KÖ dedektör, AI (yapay zeka) ve ML (makine öğrenmesi) tabanlı hedef tespit/seçim ve takip algoritmaları geliştirilmektedir [24], [25].

Cued-threats (İpucu ile gelen tehdit) kapsamında, platformların/yardımcı sistemlerin radarından ya da EO/KÖ tespit ve takip (IRST, CATS gibi sistemler) sisteminden gelen bilgi ve/veya pilotun kaskı ile KÖ arayıcı başlıklı füzeyi tehdit platforma yönlendirme ve yönlendirilen hedefe fırlatabilme kabiliyetine sahip füzeler dünyada geliştirilmektedir.

KÖ füzeyi hedefine kilit atmadan fırlatıp yüzey eşleştirme/GPS/INS/komuta güdüm ile terminal faza kadar sürmek sonrasında da (terminal fazda) KÖ arayıcı başlık ile hedefe hassas güdümlenme özelliğine sahip füzeler geliştirilmektedir.

Türkiyedeki Mevcut Durum ve Yurt Dışı Bağımlılık /Kısıtlamalar/Millî Kritiklik

Ülkemizde ısı fişekleri, yüksek güçlü hard-kill, aktif koruma gibi birçok alanda çalışmalar mevcuttur.

Bu başlık altında belirtilen yeni nesil sistemler son teknolojik alt birimleri, sensörleri ve dedektörleri bünyesinde barındırmaktadır. Bu nedenle bu tip bir sistem geliştirmek için gerekli alt birimlerin geliştirilmesi önem arz etmektedir.

7.4.3. Teknoloji Konu Önerileri

Tablo 19. OÇG-4 Yakın Vade Konu Önerileri

	Konu Adı ve Kapsamı	Vade
1	Kuantum Çağlayan Lazer (QCL) Teknolojisinin Geliştirilmesi Konu önerisi kapsamında QCL teknolojisinin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Geliştirilecek bu QCL sisteminde kazanç ortamı (aktif bölge ve injection bölgesi), optik rezonatör ve diğer alt kısımlarının geliştirilmesi hedeflenmektedir.	Yakın
2	Kuantum Çağlayan Lazer (QCL) Tabanlı Karşı Tedbir Teknolojisinin Geliştirilmesi Konu önerisi kapsamında ilk etapta laboratuvar ortamında kuantum çağlayan lazer geliştirilmesi hedeflenmektedir. Geliştirilen bu QCL sisteminin de askeri alanlarda kullanılabilir ürün haline getirilmesi amaçlanmaktadır.	Yakın
3	Kızılötesi Görüntülemeli Arayıcı Başlıklarda İleri Karşı Karşı Tedbir (ECCM) Algoritmalarının Geliştirilmesi Konu önerisi kapsamında düşman platformuna dost unsurlar tarafından fırlatılan kızılötesi görüntülemeli arayıcı başlığa sahip füzelere karşı düşman hava platformundan uygulanan karşı tedbirlerin algılanıp bu karşı tedbirlere yönelik gerekli önlemlerin füze tarafından otomatik olarak uygulanması hedeflenmektedir.	Yakın
4	Yeni Nesil Isı Fişegi Teknolojisinin Geliştirilmesi Konu önerisi kapsamında ısı fişeginin kullanılacağı platform ve tehdit analizlerinin yapılması, yeni nesil ısı fişeklerinde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşenlerinin belirlenmesi, bu malzemelerin radyometrik analizlerinin yapılması, nihai olarak ısı fişeklerinin üretim alt yapı ihtiyaçlarının belirlenmesi ve prototip üretim gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.	Yakın
5	Karşı Tedbir Sistemlerine Yönelik Tehdit İz Kütüphanesi Oluşturulması Konu önerisi kapsamında ilk aşamada tehdit iz ve ET kütüphanesi'nin oluşturulabilmesi için literatür taraması yapılarak EO/KÖ güdümlü mermi teknolojilerine yönelik açık kaynaklarda yer alan bilgilere ulaşmak gerektiği değerlendirilmektedir. Bu bilgilerin kısıtlı olacağı tahmin edildiğinden ülkemizde mevcut ve ülkemiz için tehdit olabilecek envanterdeki füze ve/veya füze simulatorsleri ile ölçüm kampanyalarının düzenlenmesi ve iz karakterleri ile çalışma prensiplerine yönelik çalışmaların gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.	Yakın

	Konu Adı ve Kapsamı	Vade
6	DIRCM için Çinko Germanyum Fosfat (ZGP) Hacimsel Kristal Büyütme Yönteminin Geliştirilmesi Konu önerisi kapsamında DIRCM uygulamalarında OPO (optik parametrik osilatör) kristali olarak kullanılan ZGP kristalinin hacimsel büyütme yönteminin çalışılması hedeflenmektedir. 45 mm çapta, silindirik ZGP külçesi VGF yöntemi ile büyütülerek, uygulama yönelimine göre dilimlenecektir. Dilimleme sonrası 4 mm x 4 mm x 10 mm boyutlarına sahip ZGP tek kristalleri elde edilmesi öngörülmektedir. Elde edilen kristallere temiz alan ortamında düzleme ve parlatma işlemi uygulanarak ayna görünümlü yapıya getirilecektir. Ayna görünümlü yapıdan kaynaklı kayıpları engellemek için yansıma önleyici kaplama teknolojisi için çalışmalar gerçekleştirilecektir.	Yakın
7	Kızılötesi Görüntülerde Hava Platformu Tespit ve Teşhis Algoritmalarının Geliştirilmesi Konu önerisi kapsamında hava platformları için otomatik hedef tespit ve teşhis algoritmalarının geliştirilmesini, veri setinin oluşturulmasını ve veri seti etiketleme işlemlerini kapsamaktadır. Görüntülerdeki kızılötesi izleri ve diğer karakteristik özellikleri analiz ederek tespit ve teşhis etmek için derin sinir ağı algoritmalarının kullanılması hedeflenmektedir.	Yakın
8	Yüksek Güçlü Lazer Teknolojisine Yönelik Çift Yönlü Esnek Ayna Teknolojisinin Geliştirilmesi Konu önerisi kapsamında bu teknolojinin gerçekleştirilebilmesi için çok yüksek frekanslarda (KHz), yüksek doğrulukta (Nanometre Seviyesinde), yüksek band genişliğinde (1 msn Settling Time) hareket edebilen Elektro Mekanik Sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. İhtiyaç duyulan Elektro Mekanik Sistemi tasarlayabilmek için temel teknolojik yapıtaşı olan Amplified Piezo Actuator teknolojisinde çalışılması gerekmektedir. Sonrasında Bimorph Deformable Mirror Geliştirme çalışmalarına başlanması hedeflenmektedir.	Yakın

Tablo 20. OÇG-4 Uzak Vade Konu Önerileri

	Konu Adı ve Kapsamı	Vade
1	Çift Band Füze İkaz Teknolojisinin Geliştirilmesi Konu önerisi kapsamında mevcutta aktif olarak çalışan füze ikaz sistemlerinin, görünür bölgede yüksek çözünürlük ve çerçeve yenileme hızına sahip algılayıcılar ile mevcut olan görüntü işleme algoritmaları sayesinde görünürlüğün azaltıldığı ortamlarda yüksek hassasiyette çalışması hedeflenmektedir.	Uzak
2	Kızılötesi ve Görünür Band Görüntülerine Yönelik Füzyon Algoritmalarının Geliştirilmesi Konu önerisi kapsamında kızılötesi ve görünür band görüntülerinin füzyonu ile üretilen görüntüler sayesinde görünürlüğün azaltıldığı veya düşük görünürlüklü platformların olduğu ortamlarda algılama performansının yükseltilmesi, mümkünse füzyon işleminin gerçek zamanlı hedef takibinde de kullanılabilmesi hedeflenmektedir.	Uzak
3	Yakın Kızılötesi Füze İkaz Teknolojisinin Geliştirilmesi Konu önerisi kapsamında ilk aşamada prototip masaüstü Yakın Kızılötesi Füze İkaz Sistemi geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu ürünle ilgili çalışmalar icra edilerek önerisini 2. aşamasında ürünün saha testlerinde denenmesi ve nihai ürün haline getirilmesi hedeflenmektedir.	Uzak
4	Anti-Tank Güdümlü Mermilere Elektro-Optik/ Kızılötesi Karşı Tedbir Teknolojilerinin Geliştirilmesi Konu önerisi kapsamında Anti-Tank Güdümlü Mermilere Karşı Tedbir Teknolojileri için öncelikle tehdit olan farklı nesillerdeki mühimmatlar ile ilgili açık kaynaklardan ulaşılabilen teknik özellikler, çalışma prensipleri incelenmeli, ülkemizde mevcut tehditler ve/veya simulatörler ile ölçüm kampanyaları düzenlenerek geliştirilecek EO/KÖ karşı tedbir yönteminin belirlenmesi önündeki teknik bilgi eksikliği giderilmelidir. Aynı zamanda dünyada bu tehditlere karşı geliştirilmiş benzer sistemlerle ilgili bilgiler ve imkan varsa bu sistemler üzerinde incelemeler yapılması hedeflenmektedir.	Uzak
5	Karşı Tedbire Dayanıklı Yeni Nesil Arayıcı Başlık Teknolojilerinin Geliştirilmesi Konu önerisi kapsamında karşı tedbire dayanıklı yeni nesil arayıcı başlık teknolojilerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir.	Uzak

8. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Günümüzde değişen ve şekillenen hareket ortamında savunma ve güvenlik alanları için, platformlarımızda yer alan görüntüleme sistemlerinde kullanılan kızılötesi ve görünür dalgaboyunda algılama teknolojisi kritik öneme sahip bir alandır. Bu teknolojiye uzun ve kapsamlı bilimsel ve teknolojik araştırmalar sonucunda hakim olunabilmektedir.

Geleceğin hareket ortamında otonom platformların öneminin artacağı öngörülmektedir ve bu süreçte algılama yapan sensörler ve yardımcı birimler kritikliğini korumaya devam edecektir. Ayrıca, ülkemizin yüksek çözünürlüklü yer gözlem uydusu geliştirme vizyonu bulunmakta ve bu tür görüntüleme sensörlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Gelişen karşı tedbir dünyasında gelişmelerin takip edilmesi ve bu alanda eş zamanlı çalışmaların başlatılması kritik öneme sahiptir. Bu husus dikkate alınarak Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama Yol Haritası'nın güncellemesi için Kızılötesi Dalgaboyunda Algılama, Yardımcı Birimler, Uydu Uzay Uygulamaları ve Görünür Dalgaboyunda Algılama, Kızılötesi Karşı Tedbirler ve Algılama olmak üzere dört OÇG ile Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ faaliyeti yürütülmüştür.

Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ faaliyetlerinde ülkemiz ihtiyaçları, kabiliyetleri, altyapıları ortaya konulmuş olup ihtiyaçlar ve yetkinlikler çerçevesinde kazanılması gereken **yakın** ve **uzak** vade teknoloji konuları tespit edilmiştir. Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ çalışmaları neticesinde 51 teknoloji konu önerisinin önceliklendirilmesi yapılmıştır. DEMATAL, AHP ve TOPSIS metotları kullanılarak uçtan uca analitik önceliklendirme metodolojisi ile bu teknolojilerin **yakın ve uzak vadede kazanımına** yönelik plan oluşturulmuştur. Çalışmalar neticesinde tüm OTAĞ katılımcıları ile oluşturulan Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama Teknolojisi Yol Haritası Şekil 36 ve 37'de yer almaktadır. Elde edilen Yol Haritası kapsamında 28 konu önerisi yakın, 23 konu önerisi uzak vade olarak belirlenmiştir.

Ülkemizin Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama Teknolojileri konusunda bilgi birikimi, insan gücü ve altyapısı incelenerek alt teknoloji alanlarındaki yetkinlik analizi yapılmıştır. İhtiyaç duyulan öncelikli teknolojilerin yerli/millî imkanlarla kazanımı için belirli bir plan/program dahilinde projelendirme faaliyetlerinin sürdürülmesi ve önemlidir.

Başkanlığımız tarafından 2017 yılında Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama Teknolojisi Yol Haritası oluşturulmuştur. 2023 yılında başlatılan OTAĞ çalışmaları ile mevcut Yol Haritası güncellenmiş olup Kızılötesi/Görünür Dalgaboyunda Algılama OTAĞ Sonuç Raporu 2024 yılında oluşturulmuştur. Gelişen güncel teknolojiler ve oluşacak ihtiyaçlar doğrultusunda güncellenmeye devam edilmesi gerekmektedir.

YAKIN VADE

- Hibrit, CMOS Üzerine CCD Zaman Geciktirmeli Biriktirme (TDI) Üretim Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Kuantum Çağlayan Lazer (QCL) Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Süperörgü MWIR/LWIR Kızılötesi Dedektör Takımı Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Kızılötesi Görüntülemeli Arayıcı Başlıklarda İleri Karşı Tedbir (ECCM) Algoritmalarının Geliştirilmesi
- Kuantum Çağlayan Lazer (QCL) Tabanlı Karşı Tedbir Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Yüksek Verimli SWAP Döner Tip ve Lineer Stirling Soğutucu Teknolojilerinin Geliştirilmesi
- Genişletilmiş Kısa Dalgaboyu (e-SWIR) Kızılötesi Dedektör Takımı Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Yeni Nesil Isı Fişegü Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Hipspektral Uydu Kamerası Geliştirilmesi
- 2D CMOS Teknolojisine Dayalı, Uzay-Kalifiye Odak Düzlem Dizini Tasarımı ve Mikrouydu Platformuyla Tarihçe Kazandırılması
- Yüksek Sıcaklıkta Çalışan (HOT) MWIR Süperörgü Kızılötesi Dedektör Takımı Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Karşı Tedbir Sistemlerine Yönelik Tehdit İz Kütüphanesi Oluşturulması
- Olay Tabanlı Görüntüleme Özellikli Okuma Devresi Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Rad-Hard (Radiation Hardening) Testlerinin Akredite Olabilecek Seviyede Teknoloji Geliştirilmesi
- Süperörgü MWIR/LWIR Kızılötesi Dedektör Takımı Teknolojisinin Geliştirilmesi
- GaSb Taban Büyütme ve Yüzey Hazırlama Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Yüksek Sıcaklıkta Çalışan (HOT) MWIR Cıva Kadmiyum Tellür (MCT) Kızılötesi Dedektör Takımı Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Süperörgü MWIR/LWIR Dedektör Algılayıcı Malzeme Büyütme Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Megapiksel Formatlı, Düşük Piksel Adımlı Süperörgü LWIR Kızılötesi Dedektör Takımı Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Büyük Yüzey Alanlı Alttaş CdZnTe Kristal Büyütme Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Yüksek Güçlü Lazer Teknolojisine Yönelik Çift Yönlü Esnek Ayna Teknolojisi
- DIRCM İçin Çinko Germanyum Fosfat (ZGP) Hacimsel Kristal Büyütme Yönteminin Geliştirilmesi
- Görüntüleme Sistemlerinde Farklı Hedef ve Malzeme Algılamalarına Yönelik Dar Bant Kaplama Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Kızılötesi Görüntülerde Hava Platformu Tespit ve Teşhis Algoritmalarının Geliştirilmesi
- Megapiksel Formatlı, Düşük Piksel Adımlı Mikrobolometre Kızılötesi Dedektör Takımı/Modül Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Düşük Işık CMOS Görüntüleme Sensör Teknolojisinin Geliştirilmesi (Low Light CMOS)
- Robotik Parlatma Yöntemi ile Büyük Optik Üretim Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Küçük Atlamalı Tarama Teknolojisinin Geliştirilmesi (Dithering Microsan)

Şekil 40. Yakın Vade Teknoloji Konu Önerileri

UZAK VADE

- Görüntü Yoğunlaştırıcı Tüpler için Multi Kanallı Plaka Üretim Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Kolloidal Kuantum Nokta Fotodedektör Teknolojilerinin Geliştirilmesi
- İndiyum Galyum Arsenür (InGaAs) Kısa Dalgaboyu (SWIR) Kızılötesi Dedektör Algılayıcı Malzeme Büyütme Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Optik Test Düzeneği Teknolojisinin Millileştirilmesi
- HTCC Teknolojisinin Millileştirilmesi
- Uydu Uzak Kızılötesi Algılayıcılar için 20 K Soğutucu Geliştirilmesi
- Optik Kaplama Tasarım ve Üretim Teknolojilerinin Geliştirilmesi
- Yakın Kızılötesi (NIR) Görüntü Yoğunlaştırıcı Tüp Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Uydu Üzerinde Yapay Zeka ile Hedef Odaklı Görüntü Algoritmalarının Geliştirilmesi
- Kalkojenit Camların Hassas Cam Kalıplaması Yöntemi ile Üretim Teknolojisinin Geliştirilmesi
- İndiyum Antimonür (InSb) Kızılötesi Dedektör Takımı Teknolojisinin Geliştirilmesi
- İndiyum Antimonür (InSb) Kızılötesi Dedektör Algılayıcı Malzeme Büyütme Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Yakın Kızılötesi Füze İkaz Teknolojisinin Geliştirilmesi
- Çift Band Füze İkaz Teknolojisi
- Optik Bileşen Hizalama Ölçüm Teknolojileri ve Analiz Algoritmalarının Geliştirilmesi
- Kızılötesi ve Görünür Band Görüntülerine Yönelik Füzyon Algoritmalarının Geliştirilmesi
- Arazi Kullanım Deseni ve Su Kaynakları için Uydu Görüntüleri Aracı ile Görüntü Kıymetlendirilmesi
- Uydu Kameraları için Ayna Tarama Sisteminin Geliştirilmesi (De Scan Mirror)
- Anti-Tank Güdümlü Mermilere Elektro-Optik/Kızılötesi Karşı Tedbir Teknolojilerinin Geliştirilmesi
- QWIP LWIR Kızılötesi Dedektör Takımı Teknolojisinin Geliştirilmesi
- IR Bandında (SWIR, MWIR ve LWIR) Görüntü Kalitesini İyileştirme Tekniklerinin Geliştirilmesi
- Spektral Domain NIR/LWIR Termal Kamera Tasarımı ve Geliştirilmesi
- Karşı Tedbire Dayanıklı Yeni Nesil Arayıcı Başlık Teknolojisinin Geliştirilmesi

Şekil 41. Uzak Vade Teknoloji Konu Önerileri

9. SAVUNMA SANAYİİ BAŞKANLIĞI TEKNOLOĞI KAZANIM ÇALIŐMALARARI

Başkanlığımızın 2024–2028 Stratejik Planı kapsamında Ar-Ge ve Teknoloji alanında geleceğe yön verecek teknoloji ve yetenekleri milli imkanlarla geliştirmek amacıyla, günümüz ve geleceğin teknolojilerine yönelik kapsayıcı ve istikrarlı gelişimin sürdürölmesi ve çığır açan teknoloji alanlarında yetenek kazanımının sağlanması hedeflenmektedir.

Savunma sanayii alanında dışa bağımlılığı asgari seviyeye indirmek, ana sistemlerin ve tüm kritik alt sistemlerin yerleştirilmesi ile mümkündür. Bunun yanı sıra, teknolojiyi takip eden değil teknolojide öncü olan bir ölke olmak için, ileri teknolojiye yatırım yapmak büyük önem arz etmektedir.

Bu doğrultuda, Başkanlığımız tarafından günümüzdeki teknolojik gelişimin hızıyla 3-5 yıl olarak tanımlanabilecek yakın vadede ötesini ve o yılların hareket ortamlarını tasvir etmek ve bu ortamlarda etkin olacak konseptler ile onların gerçekleştirilmesini sağlayacak teknolojileri belirlemek amacı ile Geleceğin Harekat Ortamını şekillendirecek Teknolojiler (GHOST) etkinliği gerçekleştirilmektedir.

GHOST kapsamında geleceğe etki potansiyeli yüksek olarak belirlenen teknolojiler Savunma Sanayii Başkanlığı Ar-Ge ve Teknoloji Yönetimi Daire Başkanlığı tarafından düzenlenmekte olan Odak Teknoloji AĞı (OTAĞ) çalışmalarını kapsamında ele alınmaktadır. Her yıl belirlenen teknoloji alanlarında; üniversiteler, araştırma kuruluşları, ihtiyaç makamları, sanayi ve KOBİ'lerden ilgili temsilcilerin katılımıyla OTAĞ faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. OTAĞ faaliyetlerine ilişkin bilgilere, Ar-Ge ve Teknoloji Yönetimi Portalı'ndan (<https://arge.ssb.gov.tr>) ulaşılabilmektedir.

OTAĞ faaliyetleri ile ele alınan teknolojiler bütüncöl bir yaklaşımla, ekosistemde yer alan tüm paydaşların katkıları ile, belirlenen ve önceliklendirilen konu önerileri doğrultusunda Teknoloji Bazlı Ar-Ge Yol Haritaları oluşturulmaktadır.

Ar-Ge Paneli'ne sunulacak konuların belirlenmesinde, Teknoloji Bazlı Ar-Ge Yol Haritaları öncelikli girdidir.

Gereksinimleri net olarak belirlenmemiş ya da belirlenemeyen konular, Savunma Sanayii Ar-Ge Geniş Alan (SAGA) Çağırısı olarak, diğer durumlarda, Ar-Ge Projesi Önerisi olarak Ar-Ge Paneli'ne sunulur.

Ar-Ge Paneli Kararları alındıktan sonra SSB projelendirme faaliyetleri gerçekleştirilir. Projenin tamamlanması sonrasında da çıktıların kullanım durumları Ar-Ge ve Teknoloji Yönetimi Daire Başkanlığı ve Sanayileőme Daire Başkanlığı tarafından takip edilir.

Sanayileőme Daire Başkanlığı tarafından sektörel yetkinlik ve kapasitelerin belirlenmesi, farklı kategorilerde ve süreklilik içinde değerlendirilmesi ve puanlandırılması amacıyla Endüstriyel Yetkinlik Değerlendirme ve Destekleme Programı (EYDEP) yürütölmektedir. EYDEP ile savunma sanayiinde faaliyet gösteren veya göstermek isteyen firmaların, sektörde nitelikli tedarikçi olabilmelerini teminen durum analizleri yapılmakta ve gelişme planlarının oluşturulması amaçlanmaktadır. EYDEP'e başvurular <https://yeten.ssb.gov.tr/eydepinfo> internet adresinden yapılabilmektedir. Ayrıca, Savunma Sanayii Yetenek Envanteri (YETEN) kapsamında birçok kamu kurum ve kuruluşu ile entegrasyon sağlanarak mevcut veri tabanlarından bilgi transferi sağlanmaktadır. Bu kapsamda, savunma sanayii alanında faaliyet gösteren firmaların ürünlerinin, üretim ve test altyapılarının, finans ve insan kaynağı bilgilerinin YETEN'e kayıt etmesi gerekmektedir. Böylece TSK'nın ihtiyaç duyacağı her türlü harp sanayii ürününün ve hizmetlerinin milli sanayiinin kaynak ve imkanları ile azami ölçüde yurt içinden karşılanması için mevcut sanayiinin kapasitesi ayrıntılı olarak ortaya çıkarılmakta, açık teknoloji alanları belirlenmekte, sanayii içinden yapay zeka teknolojisi ile potansiyel firma önermesi yapılabilmekte ve teknoloji transferi ile yurt içinde imal edilebilecek olan ürünler ile bu ürünleri üretebilecek potansiyel firmalar belirlenebilmektedir. YETEN ile ilgili detaylı bilgi <https://yeten.ssb.gov.tr/> adresinde yer almaktadır.

REFERANSLAR

- [1] F. E. G. A, «World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL,» Battelle Geneva Research Center, Geneva, Switzerland., cilt 1, no. 8, pp. 4-12, 1972.
- [2] T. Saaty, «The analytic hierarchy process,» McGraw-Hill, New York, 1980.
- [3] C. L. & Y. K. Hwang, «Multiple attribute decision making: Methods and applications,» Springer-Verlag, New York, 1981.
- [4] J. M. d. Silva, P. Correia, M. C. Pires, J. S. Augusto ve J. M. Costa, «Interdisciplinarity in action: Using infrared thermography to teach plants' energy balance in secondary education,» %1 içinde 2020 Quantitative InfraRed Thermography, Porto, 2020.
- [5] R. Driggers, J. Nichols ve M. Friedman, Introduction to Infrared and Electro-Optical Systems, Norwood: Artech House, 2012.
- [6] «Infrared Detector Market Size, Industry Report, Share, Revenue Trends and Growth Drivers,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/ir-detector-market-161116561.html>. [Erişildi: 06 08 2024].
- [7] «Crane HFM-SCD-Semiconductor Devices,» SCD, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.scd.co.il/products/crane-hfm/>. [Erişildi: 05 08 2024].
- [8] «T2SL Oden MW,» IRnova, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.irnova.se/t2sl-oden-mw>. [Erişildi: 05 08 2024].
- [9] I. I. T. M. B. Size, «Growth, Trends and Forecast 2029F,» TechSci Research.
- [10] «eoPortal,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.eoportal.org/satellite-missions/worldview-3#eop-quick-facts-section..>
- [11] «eoPortal,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.eoportal.org/satellite-missions/copernicus-sentinel-2.> .
- [12] «Teledyneimaging,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.teledyneimaging.com/en/aerospace-and-defense/products/ccds-for-space/>. .
- [13] J. L. a. Z. Liu., «High-resolution dynamic inversion imaging with motion-aberrations-free using optical flow learning networks,» Scientific Reports, cilt 9, no. 11319, 2019.
- [14] F. M. Insights, «TDI (Time Delay Integration) Cameras Market Growth 2033 (futuremarketinsights.com),» Future Market Insights, 2024.
- [15] M. a. markets, «Hyperspectral Imaging Systems Market Size, Share, Industry Report and Growth Drivers 2030 (marketsandmarkets.com),» Markets and markets, 2024.
- [16] F. B. Insights, «Satellite Imaging Market Size, Share, Growth | Overview, 2030 (fortunebusinessinsights.com),» 2024.
- [17] «Novus Light,» 6 June 2016. [Çevrimiçi]. Available: https://www.novuslight.com/summing-opportunities-in-tdi-cmos-sensor-architectures_N5687.html.
- [18] D. S. I. & D. C. (. «Electronic Warfare», «Electronic Warfare», Defence Scientific Information & Documentation Centre (DESIDOC),» Ministry of Defence, DRDO,, Delhi.
- [19] S. D. Shepherd, «Air Force Materiel Command, NDIA 20th Test & Evaluation Conference Presentation, «Effectively Using (and Accrediting) Modeling and Simulation (Especially Hardware-In-The-Loop) for OT&E,» %1 içinde U.S. Air Force, 2024.
- [20] «MarketsandMarkets,» 2024. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/electronic-warfare-market-1301.html>.

- [21] «MarketsandMarkets,» 2024. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/electro-optical-market-234736604.html>.
- [22] «Short-Wave InfraRed introduction and its applications,» 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://medium.com/@svogisan/short-wave-infrared-introduction-and-its-applications-17170d94f16d>.
- [23] İ. Demir, InxGa1-xAs/InyAl1-yAs TABANLI KUANTUM ÇAĞLAYAN LAZER YAPILARININ BÜYÜTÜLMESİ VE KARAKTERİZASYONU, Cumhuriyet Üniversitesi Doktora Tezi, 2017.
- [24] «Janes Eurosatory,» 2023. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/eurosatory-2022-diehl-touts-advanced-capabilities-of-fcaam-future-air-to-air-missile>.
- [25] «EDR Online,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.edrmagazine.eu/iris-t-fcaam-the-future-sraam-6th-generation-missile-by-diehl-defence>.

EKLER

EK-1 Katılımcı Listesi

KURUM	
1	SAVUNMA SANAYİİ BAŞKANLIĞI
2	SANAYİ VE TEKNOLOJİ BAKANLIĞI
3	MİLLİ İSTİHBARAT TEŞKİLATI BAŞKANLIĞI
4	GENELKURMAY BAŞKANLIĞI
5	MSB TEKNİK HİZMETLER GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
6	HAVA KUVVETLERİ KOMUTANLIĞI
7	KARA KUVVETLERİ KOMUTANLIĞI
8	DENİZ KUVVETLERİ KOMUTANLIĞI
9	ASKERİ FABRİKALAR GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
10	ELEKTROOPTİK SİSTEMLER ANA BAKIM FABRİKA MÜDÜRLÜĞÜ
11	TÜBİTAK MAM
12	TÜBİTAK SAGE
13	TÜBİTAK BİLGEM
14	TÜBİTAK UME
15	TÜBİTAK UZAY TEKNOLOJİLERİ ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ
16	TÜRKİYE UZAY AJANSI
ÜNİVERSİTE VE ARAŞTIRMA MERKEZLERİ	
1	ADİYAMAN ÜNİVERSİTESİ
2	AFYONKOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
3	ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
4	İHSAN DOĞRAMACI BİLKENT ÜNİVERSİTESİ/NANOTAM
5	ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
6	ESKİŞEHİR TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
7	FIRAT ÜNİVERSİTESİ
8	GAZİ ÜNİVERSİTESİ
9	GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
10	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
11	İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
12	İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
13	İZMİR YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
14	KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
15	KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
16	NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
17	ORTADOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
18	ORTADOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ/İVMER
19	ORTADOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ/KBL
20	ODTÜ MEMS MERKEZİ
21	SABANCI ÜNİVERSİTESİ

FİRMA	
1	ASELSAN A.Ş.
2	ATEL TEKNOLOJİ VE SAVUNMA SANAYİİ A.Ş.
3	BİTES SAVUNMA VE HAVACILIK
4	BMC OTOMOTİV A.Ş.
5	BOTEK AR-GE KİMYA A.Ş.
6	FNSS SAVUNMA A.Ş.
7	İMTEK A.Ş.
8	KDE BİLİŞİM VE ELEKTRONİK VE GÜVENLİK TEKNOLOJİLERİ SAN.TİC.A.Ş.
9	MAGSPİN A.Ş.
10	MESAN A.Ş.
11	METESAN SAVUNMA SANAYİİ A.Ş.
12	MİKRO TASARIM ELEKTRONİK SAN. VE TİC. A.Ş.
13	NOVELTY YAPAY ZEKA TEKNOLOJİLERİ
14	OSTİM SAVUNMA VE HAVACILIK KÜMELENMESİ
15	OTOKAR OTOMOTİV VE SAVUNMA SANAYİİ A.Ş.
16	PDMTECH SAVUNMA ARAŞTIRMA GELİŞTİRME A.Ş.
17	REKROM OPTOELEKTRONİK MÜH. SİSTEM TEKNOLOJİLERİ A.Ş.
18	ROKETSAN A.Ş.
19	TARGET ELEKTRO OPTİK SİSTEMLER ÜRETİM PAZARLAMA
20	TARSENS
21	TEKNOMA TEKNOLOJİK MALZEMELER SAN. TİC. LTD.ŞTİ.
22	TEOPS
23	TÜRK HAVACILIK VE UZAY SANAYİİ A.Ş.



**KIZILÖTESİ/GÖRÜNÜR
DALGABOYUNDA ALGILAMA ODAK
TEKNOLOJİ AĞI
(OTAĞ)**

SONUÇ RAPORU

2024