

**ÖZET****Askeri amaçlı kullanılan bir gömülü cisim tespit sistemi ve yöntemi**

Buluş, askeri hava araçlarının (A) veya askeri kara araçlarının (B) üzerine entegre edilen bir uzun-dalga hiperspektral kameradan (2) elde edilen 3-boyutlu görüntüleri kullanarak toprağa gömülü cisimlerin tespitini gerçekleştiren bir tespit sistemi (1) ve bu sistemin (1) gerçekleştirilmesini sağlayan bir tespit yöntemi (100) ile ilgilidir.

## İSTEMLER

1. Askeri hava aracında (B) kullanılırken yukarıdan, askeri kara aracında (A) kullanılırken belirli mesafe (C) uzaklıkta bulunan, yol üzerindeki bir alanda toprağa gömülü cisim için tarama yapan, yaptığı tarama sonucunda toprak yüzeyinin farklı spektral bantlardan oluşan üç boyutlu görüntüsünün elde edilmesini sağlayan, orta-dalga kızıl ötesi (MWIR) veya uzun-dalga kızıl ötesi (LWIR) bantlarında çalışan en az bir hiperspektral kamera (2) içeren ve askeri kara araçlarının (A) ve askeri hava araçlarının (B) üzerine entegre edilen ve elde edilen 3-boyutlu görüntüleri kullanarak toprağa gömülü cisimlerin tespitini gerçekleştiren bir tespit sistemi (1) olup, **özelliği**;

- ❖ bahsedilen hiperspektral kameradan (2) elde edilen görüntülere ait verileri analiz eden, görüntü verileri kullanılarak gömülü cisim tespiti işlemini gerçekleştirmek için değişiklik analizi, imza tespiti ve anomali tabanlı teknikleri birleştiren, söz konusu verileri zamansal, uzamsal ve spektral kıymetlendirme tekniklerini kullanarak analiz eden, yaptığı analiz işleminde tarama yapılan alandan elde edilen görüntü (tarama görüntüsü) ile aynı alanın daha önceden çekilmiş görüntüsü (referans görüntü) arasında fiziksel değişimin ve toprak üzerinde herhangi bir eşelenme veya ısı değişimi belirtisinin olup olmadığını kontrol ederek toprak altında tehlikeli gömülü cisimlerin varlığını tespit eden en az bir kontrol birimi (3)

içermesidir.

2. İstem 1'e uygun bahsedilen sistem (1) olup, **özelliği**; gerçekleştirdiği işlemlerde bahsedilen hiperspektral kameradan (2) alınan görüntü verileri ile yerden ve havadan gömülü cisim tespit işlemini gerçekleştiren hiperspektral algoritmalar yöneticisinden, askeri kara aracı (A) veya askeri hava aracı (B) hareket halindeyken elde edilen verileri operatöre gösteren ve gömülü cisim (patlayıcı) tespit sonuçlarını skor değerleriyle birlikte işaretleyen kullanıcı ara biriminden, tarama yapılan bölgelerden elde edilen görüntülerin uzamsal koordinatlarla birlikte kayıt edilmesini sağlayan uzamsal veri tabanından oluşan görüntü analiz yazılımını kullanan kontrol birimi (3) içermesidir.

3. İstem 1'e uygun bahsedilen sistem (1) olup, **özelliği**; hiperspektral kamera (2) kullanılarak, yol üzerindeki bir alan için radyometrik düzeltme işlemine tabii tutulmuş A zamanında ve B zamanında elde edilen hiperspektral LWIR/MWIR 3 boyutlu görüntü verileri için,

- 5
- ❖ A zamanında ve B zamanında elde edilen görüntü verilerinin (referans ve tarama görüntüleri) okunarak verilerde olası bir problemin olup olmadığının kontrol edilmesi,
- 10
- ❖ A zamanında ve B zamanında elde edilen her bir görüntü veri küplerindeki her bir bantta 2-boyutlu medyan filtreleme uygulanarak verilerdeki gürültülerin giderilmesi,
  - ❖ A zamanında ve B zamanında elde edilen görüntü verileri arasında hizalama (registration) işleminin gerçekleştirilmesi,
  - ❖ hizalanmış görüntü verilerinin üzerindeki fiziksel değişiklikleri tespit etmek için değişiklik analizi algoritmalarının koşturulması,
- 15
- ❖ değişiklik analizi algoritmaları sonucunda elde edilen ve değişimin olduğu bölgelerin parlaklık olarak gözlemlendiği değişim skor haritasının oluşturulması,
  - ❖ Savitzky Golay filtresinin doğru şekilde çalışabilmesi için B zamanında elde edilen görüntü verileri üzerinde beyazlatma dönüşüm işleminin uygulanması,
- 20
- ❖ B zamanında elde edilen görüntü verileri (tarama görüntüleri) için Savitzky Golay filtreleme işlemi yapılarak eşelenme ve ısı değişim etkilerinin daha belirgin olarak ortaya çıkartılması,
  - ❖ B zamanında elde edilen ve Savitzky Golay filtreleme işlemi uygulanan görüntü veri küpünden topraktaki eşelenme ve sıcaklık etkisinin görüldüğü bazı bantların seçiminin ve bu bantlar kullanılarak yeni veri bir küpünün oluşumunun yapılması,
- 25
- ❖ B zamanında elde edilen görüntü verileri için yeni oluşturulan veri küpünden anomali algoritmasının koşturulması,
- 30
- ❖ B zamanında elde edilen görüntü verileri için koşturulan anomali algoritması sonucunda elde edilen anomali skor haritasının oluşturulması,

- ❖ Savitzky Golay filtreleme işlemi uygulanan görüntü veri küplerinden oluşan belirli bir eğitim kümesinden eşelenme ve ısı değişimini gösteren imzaların oluşturulması,
  - 5 ❖ B zamanında elde edilen görüntü verileri ile oluşturulan imzaların arasındaki spektral açı haritalandırıcı ile elde edilen imza skor haritasının oluşturulması,
  - ❖ imza skor haritası, anomali skor haritası ve değişim skor haritasının ağırlıklandırılmış entegrasyonu sonucu elde edilen final skor haritasının oluşturulması ve
  - 10 ❖ final skor haritasının skor değerine göre uzamsal eleme yapma sonucunda elde edilen noktalar ve onların skor değerlerinden oluşan gömülü cisim tespit sonuçlarının elde edilmesi
- işlem adımlarını gerçekleştiren kontrol birimi (3) içermesidir.
4. Askeri kara araçlarının (A) ve askeri hava araçlarının (B) üzerine entegre edilen ve elde edilen 3-boyutlu görüntüleri kullanarak toprağa gömülü cisimlerin tespitini gerçekleştiren bir tespit yöntemi (100) olup, **özelliği;**
- 20 ❖ hiperspektral kamera (2) kullanılarak, yol üzerindeki bir alan için radyometrik düzeltme işlemine tabii tutulmuş A zamanında ve B zamanında hiperspektral LWIR/MWIR 3 boyutlu görüntü verilerinin elde edilmesi,
  - ❖ A zamanında ve B zamanında elde edilen görüntü verilerinin (referans ve tarama görüntüleri) herbirinin kontrol birimi (3) vasıtasıyla okunarak verilerde olası bir problemin olup olmadığının kontrol edilmesi,
  - 25 ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, A zamanında ve B zamanında elde edilen her bir görüntü veri küplerindeki her bir bantta 2-boyutlu medyan filtreleme uygulanarak verilerdeki gürültülerin giderilmesi,
  - ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, A zamanında ve B zamanında elde edilen görüntü verileri arasında hizalama (registration) işleminin gerçekleştirilmesi,
  - 30 ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, hizalanmış görüntü verilerinin üzerindeki fiziksel değişiklikleri tespit etmek için değişiklik analizi algoritmalarının koşturulması,

- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, değişiklik analizi algoritmaları sonucunda elde edilen ve değişimin olduğu bölgelerin parlaklık olarak gözlemlendiği değişim skor haritasının oluşturulması,
- 5 ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, Savitzky Golay filtresinin doğru şekilde çalışabilmesi için B zamanında elde edilen görüntü verileri üzerinde beyazlatma dönüşüm işleminin uygulanması,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, B zamanında elde edilen görüntü verileri (tarama görüntüleri) için Savitzky Golay filtreleme işlemi yapılarak eşelenme ve ısı değişim etkilerinin daha belirgin olarak ortaya
- 10 çıkartılması,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, B zamanında elde edilen ve Savitzky Golay filtreleme işlemi uygulanan görüntü veri küpünden topraktaki eşelenme ve sıcaklık etkisinin görüldüğü bazı bantların seçiminin ve bu bantlar kullanılarak yeni veri bir küpünün oluşumunun yapılması,
- 15 ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, B zamanında elde edilen görüntü verileri için yeni oluşturulan veri küpünden anomali algoritmasının koşturulması,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, B zamanında elde edilen görüntü verileri için koşturulan anomali algoritması sonucunda elde edilen anomali
- 20 skor haritasının oluşturulması,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, Savitzky Golay filtreleme işlemi uygulanan görüntü veri küplerinden oluşan belirli bir eğitim kümesinden eşelenme ve ısı değişimini gösteren imzaların oluşturulması,
- 25 ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, B zamanında elde edilen görüntü verileri ile oluşturulan imzaların arasındaki spektral açı haritalandırıcı ile elde edilen imza skor haritasının oluşturulması,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, imza skor haritası, anomali skor haritası ve değişim skor haritasının ağırlıklandırılmış entegrasyonu sonucu
- 30 elde edilen final skor haritasının oluşturulması ve
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, final skor haritasının skor değerine göre uzamsal eleme yapma sonucunda elde edilen noktalar ve onların skor değerlerinden oluşan gömülü cisim tespit sonuçlarının elde edilmesi
- 35 işlem adımlarını içermesidir.

5. İstem 4'e uygun bahsedilen yöntem (100) olup, **özelliği**; baskın hiperspektral karakterleri ortaya koymak için SGF filtresinin uzun seçilmesidir.
6. İstem 4'e uygun bahsedilen yöntem (100) olup, **özelliği**; çift pencere anomali algoritmasının (DWRX) kullanılmasıdır.
- 5 7. İstem 4'e uygun bahsedilen yöntem (100) olup, **özelliği**; anomali algoritması olarak alt-uzay RX (subspace RX (SSRX)) metotlarının kullanılmasıdır.
8. İstem 4'e uygun bahsedilen yöntem (100) olup, **özelliği**; imzalar arası benzerliği ölçmek için spektral açı haritalandırıcısının kullanılmasıdır.
9. İstem 4'e uygun bahsedilen yöntem (100) olup, **özelliği**; imzalar arası benzerliği ölçmek için çapraz ilintileme metodunun kullanılmasıdır.
- 10 10. İstem 4'e uygun bahsedilen yöntem (100) olup, **özelliği**; imzalar arası benzerliği ölçmek için uyumlu süzgeç metotlarının kullanılmasıdır.
11. İstem 4'e uygun bahsedilen yöntem (100) olup, **özelliği**; LWIR/MWIR Hiperspektral kamera (2) görüntülerinde alansal ve kenarsal görüntü hizalama tekniklerinin uygulanmasıdır.
- 15 12. İstem 4'e uygun bahsedilen yöntem (100) olup, **özelliği**; görüntülerin çekimi esnasında elde edilen GPS koordinat değerlerinin hizalama esnasında kullanılmasıdır.
13. İstem 4'e uygun bahsedilen yöntem (100) olup, **özelliği**; hizalaması yapılmış görüntüler arasındaki radyans değerlerindeki değişimi modellemek için çapraz kovaryans yaklaşımı ile çözüm öneren Chronochrome (CC) metodunun kullanılmasıdır.
- 20 14. İstem 4'e uygun bahsedilen yöntem (100) olup, **özelliği**; hizalaması yapılmış görüntüler arasındaki radyans değerlerindeki değişimi modellemek için veri içi kovaryans matrisi üzerinden çözüm üreten özilinti dengeleme (Covariance Equalization - CE) algoritmasının kullanılmasıdır.
- 25 15. İstem 4'e uygun bahsedilen yöntem (100) olup, **özelliği**; hizalaması yapılmış görüntüler arasındaki radyans değerlerindeki değişimi modellemek için temel

bileşen temelli algoritma ile çözüm öneren zamansal temel bileşen analizi (TPCA) algoritmasının kullanılmasıdır.

## TARİFNAME

### Askeri amaçlı kullanılan bir gömülü cisim tespit sistemi ve yöntemi

#### Teknik Alan

5 Buluş, kara/hava askeri araçların üzerine entegre edilen bir uzun-dalga kızılötesi veya orta-dalga kızılötesi bant aralığında çalışan hiperspektral kameradan elde edilen 3-boyutlu görüntüleri kullanarak toprağa gömülü cisimlerin tespitini gerçekleştiren bir tespit sistemi ve yöntemi ile ilgilidir.

#### Tekniğin Bilinen Durumu

10 Günümüzde patlayıcı tespitine yönelik aktiviteler genellikle manuel olarak yapılan işlemlerdir. Toprağa gömülü cisimlerin tespiti, arama/tarama esnasında askeri personel tarafından bir takım emarelerin (toprak eşelenmesi, telsiz, kablo tespiti) bulunmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem askeri sevkiyat esnasında zaman kaybına neden olmakla birlikte verimli bir tespit metodu da değildir. Askeri personelin hayatını direk tehlikeye atmasından dolayı da patlayıcı tespiti işlemlerinin otomatik/yarı-otomatikleştirilmesinde fayda görülmektedir.

20 Dünyada gömülü patlayıcı tespitinde manuel yöntemler dışında yer tesirli radar (Ground Penetrating Radar (GPR)), elektro-manyetik indüksiyon (EMI) dedektör sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Söz konusu GPR etkili sistemler, çok fazla yanlış alarm üretmektedirler ve cihazın gömülü hedefe çok yakın olması gerektiğinden dolayı personel hayatını riske atmaktadırlar. EMI sistemlerinin ise sadece metal objelere duyarlı oldukları bilinmektedir. Bu nedenle bu sistemler, ahşap, plastik zarfa sahip patlayıcılara karşı etkili olmamaktadırlar.

25 GPR ve EMI teknolojilerini kullanan literatürde birçok patent ve ürün bulunmaktadır. US6473025 numaralı patent dokümanında önerilen sistemde GPR sistemi hareketli araçlara monte edilmektedir ve bir video ekran arayüzü sayesinde kullanıcıya olası mayın bölgeleri gerçek zamanlı olarak gösterilmektedir. Bu sistemin kullanılacağı alanın dikkatli bir şekilde taranması gerekmektedir. Ayrıca bu sistem oldukça fazla sayıda üretilen yanlış alarmlara yönelik herhangi bir çözüm sunmamaktadır.

30 Askeri personel tarafından yaygın olarak kullanılan bir başka tespit sistemi ise termal kamera kullanılarak patlayıcı tespit etmeye yönelik yöntemlerdir. US6343534 ve

US20090107758A1 numaralı patent dokümanlarında aktif termal kamera sistemleri önerilmektedir. Bu dokümanlarda toprağı yüksek güçte termal bant aralığından ışıklandırıp, görüntü üzerinde etrafına göre değişiklik olan bölgeleri tespit etmeye yarayan sistemler önerilmektedir. Fakat bu patentlerde ışıklandırma süresinin ne kadar  
5 olması gerektiğı, ışıklandırılan alanın genişliğı ve patlayıcı gömülü alandan ne kadar uzakta bulunulması gerektiğı hakkında detaylı bilgi verilmemiştir. Sistemin genel olarak nasıl çalışabileceğı hakkında net bir ifadede bulunulması zordur.

WO20008117291, US2012/0133775 A1 ve US2010/0231716 A1 numaralı patent dokümanlarında hiperspektral kamera sistemleri patlayıcı tespitinde kullanılmaktadır.

10 US2010/0231716 A1 numaralı dokümanda hiperspektral kamera sistemlerini askeri araçlar üzerine çeşitli şekillerde entegre edilebilen bir sistem önerilmektedir.

WO20008117291 numaları patent dokümanında gömülü patlayıcı tespitinin görünür ve yakın kızıl ötesi (VNIR) bantlarında çalışan hiperspektral kamera sistemi kullanılarak yapıldığı belirtilmektedir. Bu sistemde gömülü patlayıcıdan toprağı sızmış olan nitrojen

15 kimyasalı imza tabanlı metotlar ile tespit edilmektedir. Bu sistemin çeşitli dezavantajları bulunmaktadır. Öncelikle sistem sadece güneş ışığının olduğu saatlerde (gündüz vakitlerinde) çalışmaktadır ve gece operasyonlarında aktif olarak kullanılamamaktadır.

Ayrıca bu imza tabanlı tespit metodunun gömülü cisimi streç folyo ile dikkatli bir şekilde sardığı durumlarda gömülü cisimden herhangi bir şey sızması mümkün olmadığı için

20 çalışması mümkün değildir. US2012/0133775 A1 numaralı patent dokümanında kısa dalga kızıl ötesi (SWIR), orta-dalga kızıl ötesi (MWIR) ve uzun-dalga kızıl ötesi (LWIR) bantlarında çalışan hiperspektral kameralar kullanılarak patlayıcı tespitine yönelik aktif bir sistem sunulmuş olup, gömülü cisimlerin tespitine yönelik tespit performansından bahsedilmemektedir.

25 Tekniğın bilinen durumunda yer alan US2013/0248715 A1 numaralı patent dokümanında hiperspektral kamera kullanmak yerine LWIR spektrumunda çalışan bir termal kameraya filtreler takılarak LWIR spektrumunun çeşitli aralıklarında görüntüler elde edilmektedir. LWIR spektrumunun farklı bant aralıklarında elde edilen bu görüntüler birbirlerine oranlanarak topraktaki eşelenme ve ısı değişiminin tespiti

30 sağlanmaktadır. Önerilen bu metodun donanımsal gereksinimleri farklı toprak türleri için farklı filtre sistemlerine ihtiyaç duyacağından dolayı gerçek zamanlı olarak kullanımı zordur.

Görüntülerde zamansal gerçekleşen fiziksel değişimler literatürde değişiklik analiz teknikleriyle bulunmaktadır. US8165340B2 ve US201000078561A1 numaralı patent dokümanlarında değişiklik analizi üzerine hiperspektral kamera kullanımından bahsedilmektedir. Söz konusu dokümanlarda hiperspektral kameraların gaz tespitine 5 yönelik olarak kullanıldığı gözlenmektedir.

Sonuç olarak, yukarıda anlatılan olumsuzluklardan dolayı ve mevcut çözümlerin konu hakkındaki yetersizliği nedeniyle ilgili teknik alanda bir geliştirme yapılması gerekli kılınmıştır.

### **Buluşun Amacı**

10 Buluş, mevcut durumlardan esinlenerek oluşturulup yukarıda belirtilen olumsuzlukları çözmeyi amaçlamaktadır.

Buluşun ana amacı, kara/hava askeri araçların üzerine entegre edilen bir uzun-dalga kızılötesi veya orta-dalga kızılötesi bant aralığında çalışan hiperspektral kameradan elde edilen 3-boyutlu görüntülerin kullanılarak toprağa gömülü cisimlerin tespitini 15 gerçekleştirilmesidir.

Buluşun diğer bir amacı, hava ve karada hareket eden platformlara (İHA, insanlı uçak, askeri araç vs.) entegre edilerek askeri konvoyların geçiş güzergâhlarında olası saldırılara karşı gömülü hedeflerin taramasında kullanılmasıdır.

20 Buluşun diğer bir amacı, toprak üzerindeki eşelenme ve ısı etkisini tespit yeteneğinin yanında değişiklik analiz teknikleri de kullanılarak tarama yapılan alandaki zamansal fiziksel değişiklikleri de tespit etme yeteneğinin kazanılmasıdır.

25 Buluşun diğer bir amacı, tarama yapılan alandaki gömülü cisim tespitine yönelik uzamsal ve spektral bilgilerin kullanılmasının yanında zamansal bilgilerinde kullanılması ve mevcut sistemlere göre hedef tespit ile yanlış alarm eleme oranlarında artış sağlanmasıdır.

Buluşun diğer bir amacı, var olan GPR, termal kamera ve VNIR Hiperspektral kamera kullanan sistemlere entegre edilebilmesidir.

Buluşun diğer bir amacı, gece ve gündüz şartlarında kullanılabilmesidir.

Buluşun yapısal ve karakteristik özellikleri ve tüm avantajları aşağıda verilen şekiller ve bu şekillere atıflar yapılmak suretiyle yazılan detaylı açıklama sayesinde daha net olarak anlaşılacaktır ve bu nedenle değerlendirmenin de bu şekiller ve detaylı açıklama göz önüne alınarak yapılması gerekmektedir.

## 5 **Buluşun Anlaşılmasına Yardımcı Olacak Şekiller**

**Şekil 1**, buluşa konu olan sistemin kara aracına monte halinin temsili şematik görünümüdür.

**Şekil 2**, buluşa konu olan sistemin hava aracına monte halinin temsili şematik görünümüdür.

10 **Şekil 3**, buluşa konu olan yönteme ait akış diyagramıdır.

### **Parça Referanslarının Açıklaması**

1. Tespit sistemi

2. Hiperspektral kamera

3. Kontrol birimi

- 15
- A. Askeri kara aracı
  - B. Askeri hava aracı
  - C. Mesafe

100. Tespit yöntemi

### **Buluşun Detaylı Açıklaması**

20 Bu detaylı açıklamada, buluşa konu olan tespit sistemi (1) ve yönteminin (100) tercih edilen yapılanmaları, sadece konunun daha iyi anlaşılmasına yönelik olarak açıklanmaktadır.

Buluş, askeri kara araçlarının (A) ve askeri hava araçlarının (B) üzerine entegre edilen ve elde edilen 3-boyutlu görüntüleri kullanarak toprağa gömülü cisimlerin tespitini

25 gerçekleştirilen bir tespit sistemi (1) olup,

- ❖ askeri hava aracında (B) kullanılırken yukarıdan, askeri kara aracında (A) kullanılırken belirli mesafe (C) uzaklıkta bulunan, yol üzerindeki bir alanda toprağa gömülü cisim için tarama yapan, yaptığı tarama sonucunda toprak yüzeyinin farklı spektral bantlardan oluşan üç boyutlu görüntüsünün elde edilmesini sağlayan, orta-dalga kızıl ötesi (MWIR) veya uzun-dalga kızıl ötesi (LWIR) bantlarında çalışan en az bir hiperspektral kamera (2) içeren
- ❖ bahsedilen hiperspektral kameradan (2) elde edilen görüntülere ait verileri analiz eden, görüntü verileri kullanılarak gömülü cisim tespiti işlemini gerçekleştirmek için değişiklik analizi, imza tespiti ve anomali tabanlı teknikleri birleştiren, söz konusu verileri zamansal, uzamsal ve spektral kıymetlendirme tekniklerini kullanarak analiz eden, yaptığı analiz işleminde tarama yapılan alandan elde edilen görüntü (tarama görüntüsü) ile aynı alanın daha önceden çekilmiş görüntüsü (referans görüntü) arasında fiziksel değişimin ve toprak üzerinde herhangi bir eşelenme veya ısı değişimi belirtisinin olup olmadığını kontrol ederek toprak altında tehlikeli gömülü cisimlerin varlığını tespit eden en az bir kontrol birimi (3)

içermektedir (Şekil 1 ve Şekil 2).

Tespit sisteminde (1) yer alan unsurları kullanan ve askeri kara araçlarının (A) ve askeri hava araçlarının (B) üzerine entegre edilen ve elde edilen 3-boyutlu görüntüleri kullanarak toprağa gömülü cisimlerin tespitini gerçekleştiren bir tespit yöntemi (100) olup,

- ❖ hiperspektral kamera (2) kullanılarak, yol üzerindeki bir alan için radyometrik düzeltme işlemine tabii tutulmuş A zamanında ve B zamanında hiperspektral LWIR/MWIR 3 boyutlu görüntü verilerinin elde edilmesi,
- ❖ A zamanında ve B zamanında elde edilen görüntü verilerinin (referans ve tarama görüntüleri) herbirinin kontrol birimi (3) vasıtasıyla okunarak verilerde olası bir problemin olup olmadığının kontrol edilmesi,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, A zamanında ve B zamanında elde edilen her bir görüntü veri küplerindeki her bir bantta 2-boyutlu medyan filtreleme uygulanarak verilerdeki gürültülerin giderilmesi,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, A zamanında ve B zamanında elde edilen görüntü verileri arasında hizalama (registration) işleminin gerçekleştirilmesi,

- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, hizalanmış görüntü verilerinin üzerindeki fiziksel değişiklikleri tespit etmek için değişiklik analizi algoritmalarının koşturulması,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, değişiklik analizi algoritmaları sonucunda elde edilen ve değişimin olduğu bölgelerin parlaklık olarak gözlemlendiği değişim skor haritasının oluşturulması,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, Savitzky Golay filtresinin doğru şekilde çalışabilmesi için B zamanında elde edilen görüntü verileri üzerinde beyazlatma dönüşüm işleminin uygulanması,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, B zamanında elde edilen görüntü verileri (tarama görüntüleri) için Savitzky Golay filtreleme işlemi yapılarak eşelenme ve ısı değişim etkilerinin daha belirgin olarak ortaya çıkartılması,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, B zamanında elde edilen ve Savitzky Golay filtreleme işlemi uygulanan görüntü veri küpünden topraktaki eşelenme ve sıcaklık etkisinin görüldüğü bazı bantların seçiminin ve bu bantlar kullanılarak yeni veri bir küpünün oluşumunun yapılması,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, B zamanında elde edilen görüntü verileri için yeni oluşturulan veri küpünden anomali algoritmasının koşturulması,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, B zamanında elde edilen görüntü verileri için koşturulan anomali algoritması sonucunda elde edilen anomali skor haritasının oluşturulması,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, Savitzky Golay filtreleme işlemi uygulanan görüntü veri küplerinden oluşan belirli bir eğitim kümesinden eşelenme ve ısı değişimini gösteren imzaların oluşturulması,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, B zamanında elde edilen görüntü verileri ile oluşturulan imzaların arasındaki spektral açı haritalandırıcı ile elde edilen imza skor haritasının oluşturulması,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, imza skor haritası, anomali skor haritası ve değişim skor haritasının ağırlıklandırılmış entegrasyonu sonucu elde edilen final skor haritasının oluşturulması ve
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, final skor haritasının skor değerine göre uzamsal eleme yapma sonucunda elde edilen noktalar ve onların skor değerlerinden oluşan gömülü cisim tespit sonuçlarının elde edilmesi

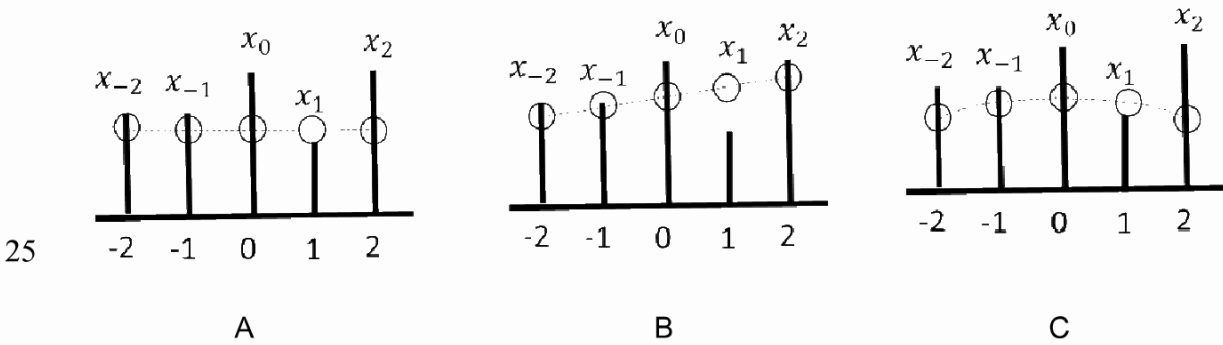
işlem adımlarını içermektedir (Şekil 3).

Şekil 1'de hiperspektral kamera (2) entegre edilmiş hareketli askeri kara aracı (A) ile yerden veri çekiminin genel görünümü yer almaktadır. Hareketli askeri kara aracı (A) (kamyon, kamyonet vb.) yol üzerinde hareket ederken, belirli bir mesafe (C) (tercihen 10 ila 30 metre arası) uzaklıkta bulunan, hiperspektral kameranın (2) görüş açısı içerisinde kalan alanda, gömülü cisim taraması yapılmaktadır. Söz konusu mesafe (C) operatör tarafından belirlenmektedir. Hiperspektral kamera (2) vasıtasıyla elde edilen veriler tercihen bir bağlantı kablosu sayesinde kontrol birimine (3) kayıt edilmektedir. Kontrol birimi (3) kayıt edilen görüntü verileri üzerinde gömülü cisim tespitine yönelik analizler gerçekleştirilmektedir.

Şekil 2'de hiperspektral kamera (2) entegre edilmiş hareketli askeri hava aracı (B) ile veri çekiminin genel görünümü yer almaktadır. Hareketli askeri hava aracı (A) (IHA, uçak vs.) yol üzerinde hareket ederken, tercihen 350 metre yükseklikteki kamera (2) görüş açısı içerisinde kalan alanda, gömülü cisim taraması yapılmaktadır. Hiperspektral kamera (2) vasıtasıyla elde edilen görüntü verileri tercihen bir bağlantı kablosu sayesinde kontrol birimine (3) kayıt edilmektedir. Kontrol birimi (3) kayıt edilen görüntü verileri üzerinde gömülü cisim tespitine yönelik analizler gerçekleştirilmektedir.

Hiperspektral kamera (2) vasıtasıyla aynı bölgeden iki farklı zamanda elde edilen görüntü verileri (referans ve tarama görüntüleri), kontrol birimi (3) vasıtasıyla hizalandırılmakta (örtüştürüldükten) ve daha sonrasında değişiklik analizi tekniği ile fiziksel değişimler tespit edilmektedir.

Grafik 1'de 3 farklı derecede çokterimli kullanarak veriyi yumuşatma gösterilmektedir. A) 0-derece çokterimli oturtulmasını, B) 1-derece çokterimli oturtulmasını ve C) 2-derece çokterimli oturtulmasını göstermektedir. Yuvarlak noktalar yumuşatma sonucu elde edilmiş verileri göstermektedir.



Grafik 1 - 3 farklı derecede çokterimli kullanarak veriyi yumuşatma grafiği

Bu buluşta, uzun-dalga kızıl ötesi (LWIR) veya orta-dalga kızıl ötesi (MWIR) hiperspektral kamera (2) ile gömülü cisim tespitine yönelik değişiklik analizi, imza tespiti ve anomali tabanlı teknikleri birleştiren yeni bir sistem (1) ve yöntem (100) önerilmektedir. Önerilen sistemde (1) LWIR/MWIR Hiperspektral kamera (2) entegre edilmiş askeri kara aracı (A) veya askeri hava aracıyla (B) tarama yapılan alandan çekilen görüntüde anomalilerin tespitiyle birlikte aynı alanın daha önceden çekilmiş görüntüsüne göre farklılıklar tespit edilmektedir.

Kontrol birimi (3), tarama yapılan alandan elde edilen görüntü (tarama görüntüsü) ile aynı bölgenin daha önceden çekilmiş görüntüsü (referans görüntü) arasında fiziksel değişimin olup olmadığı ve toprak üzerinde herhangi bir eşelenme veya ısı değişimi belirtisi olup olmadığını test etmektedir.

Bu buluşta önerilen yöntemde (100) ilk olarak uzun-dalga kızıl ötesi (LWIR) hiperspektral kamera (2) ile hedefin gömülü olduğu alanın görüntüsü elde edilmektedir. Bu Şekil 1 ve Şekil 2'de gömülü cisim taraması yapılan alan olarak belirtilmiştir. Elde edilen bu görüntü 3 boyutlu bir görüntü küpü olup  $M \times N \times K$  boyutlu bir imge olarak temsil edilebilir. M ve N değerleri görüntülenen alanın yatay ve dikey eksenini temsil etmektedir. K değeri ise bant sayısına eşit olup, her bir piksele karşılık gelen yüzey alanının LWIR/MWIR spektrumundaki farklı dalga boylarına olan tepkisini temsil ettiği spektral değerlerdir. Günlük hayatta karşılaştığımız renkli görüntüler sadece 3 farklı banttan oluşmaktayken, Hiperspektral kameralarda (2) K değeri yüzlerce banta karşılık gelmektedir. Görüntü küpünün elde edilmesinin ardından kontrol birimi (3) vasıtasıyla her bir bant için (yani her bir  $M \times N$  görüntü üzerinde), 2-boyutlu bir medyan filtre geçirmek suretiyle görüntüdeki gürültü azaltılmaktadır.

Bu detaylı açıklamanın bu kısmından sonra yapılan işlemler kontrol birimi (3) vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir.

Medyan (median) filtreleme ile gürültü giderme işlemi uygulanmasının ardından radyans görüntü üzerinde beyazlatma işlemi (whitening transformation) uygulanmaktadır. Hiperspektral görüntülerdeki örnekleme aralığının yakınlığı ve spektral çözünürlüğün genişliğinden hiperspektral görüntülerde spektral ilintinin yüksek olmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı, radyans veri-küpündeki ilintiyi azaltmak için beyazlatma işlemi kullanılmaktadır. Beyazlatma işleminde her bir piksel verisi, x, üzerinde Formül 1'de belirtilen işlemi uygulamaktadır ve beyazlatılmış veri, y, elde edilmektedir.

$$y = \Sigma^{-1/2} x \quad (\text{Formül 1})$$

$$\Sigma = \frac{1}{Z} \sum_{i=1}^Z (x - \mu)(x - \mu)^T \quad (\text{Formül 2})$$

Formül 1'de kullanılan  $\Sigma$  ortak değişinti (covariance) matrisi olup Formül 2'de gösterilen eşitlikle hesaplanır. Bu eşitlikte, Z değişkeni görüntüdeki toplam piksel sayısını,  $\mu$  vektörü ise görüntüdeki piksellerin spektral ortalamasını temsil etmektedir.

Beyazlatma işleminden sonra, elde edilmiş beyazlatılmış görüntü üzerinde Savitzky-Golay filtresi (SGF) uygulanmaktadır. Savitzky-Golay sonlu impulse tepkisi (finite impulse response (FIR)) yumuşatma süzgeçleme yöntemi çokterimli tabanlı sinyal yumuşatma tekniği olarak bilinmektedir ve veri kümesindeki noktalara değişik derecelerdeki çokterimliler oturtularak veri yumuşatmayı gerçekleştirmektedir. Bu yöntem gürültü temizlemede literatürde sıklıkla kullanılan FIR olan ortalama süzgeç göre verinin içindeki yüksek frekans içeriğini daha iyi muhafaza ederken, gürültüyü ortalama süzgeç kadar elememektedir. SGF süzgecinin uygulanması esnasında süzgecin derecesi ve uzunluğu belirtilmelidir. Grafik 1'de 5 elemanı olan x sinyali için uzunluğu 5 ve 0, 1 ve 2 derece çokterimliler kullanılarak sinyalin yumuşatılması görsel olarak gösterilmiştir.

Grafik 1'de gösterilen x sinyali için 2 derece çokterimli kullanarak elde edilen yumuşatılmış sinyal değerleri,  $\tilde{x}_m$ , aşağıda gibi yazılabilir:

$$\tilde{x}_m = c_0 + c_1 m + c_2 m^2 \quad (m = -2, -1, 0, 1, 2) \quad (\text{Formül 3})$$

Burada veriye en uygun olarak oturan çokterimli katsayıları (  $c_0, c_1, c_2$  ) Formül 4'te belirtilen en az kareleme yöntemini kullanarak belirlenir.

$$\min J = \sum_{m=-2}^2 e_m^2 = \sum_{m=-2}^2 (x - (c_0 + c_1 m + c_2 m^2))^2 \quad (\text{Formül 4})$$

Maliyet fonksiyonu, J, orijinal sinyal (x) ve kestirilen sinyal ( $\tilde{x}$ ) farkı olarak Formül 5'teki gibi yazabilir.

$$\min J = \|x - \tilde{x}\|^2 = (x - \tilde{x})^T (x - \tilde{x}) \quad (\text{Formül 5})$$

Kestirilen sinyal,  $\tilde{x}$ , matris ve vektör çarpımı olarak daha sade şekilde Formül 6'daki gibi belirtilebilir.

$$\tilde{x} = c_0 \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} + c_1 \begin{bmatrix} -2 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \\ 2 \end{bmatrix} + c_2 \begin{bmatrix} 4 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 4 \end{bmatrix} = c_0 S_0 + c_1 S_1 + c_2 S_2 = S c \quad (\text{Formül 6})$$

Çokterimli katsayılarını (c) belirlemek için maliyet fonksiyonunun katsayılarına göre türevi belirlenmektedir ve 0'a eşitlenmektedir.

$$\min J = (x - S c)^T (x - S c) \quad (\text{Formül 7})$$

$$5 \quad \frac{\partial J}{\partial c} = 0 \rightarrow S^T S c = S^T x \quad (\text{Formül 8})$$

Çokterimli katsayıları, S matrisinin yalancı-tersi (pseudoinverse) ile orijinal sinyal (x) 'in çarpımı olarak Formül 9'da gösterildiği gibi yazılabilir.

$$c = (S^T S)^{-1} S^T x \quad (\text{Formül 9})$$

10 Kestirimi yapılan sinyali,  $\tilde{x}$ , çokterimli katsayılarını kullanarak Formül 10'daki gibi yazılmaktadır.

$$\tilde{x} = S c = S (S^T S)^{-1} S^T x = B x \quad (\text{Formül 10})$$

15 Yukarıdaki eşitlikten de görüldüğü gibi yumuşatılmış verinin elde edilmesi için orijinal verinin B matrisine izdüşümü bulunmaktadır. Hiperspektral görüntülerde her bir piksel verileri üzerinde, x, SGF süzgeci koşturulmaktadır ve yeni veri-küpleri elde edilmektedir.

20 Literatürde SGF filtreleri verideki gürültüyü azaltmak amacıyla kullanılmaktadır ve bu amaçla filtre uzunluğu küçük seçilmektedir. Ancak bu buluşta literatürde olmayan bir şekilde, SGF filtresi uzun seçilmiş ve böylece baskın hiperspektral karakterleri ortaya konulmuştur Radyans veri-küpleri filtrelenirken kullanılan filtre uzunluğu 55, çokterimlilerin derecesi ise 3 olarak seçilmiştir. SGF filtresi uygulandıktan sonra elde edilen veri-küpü üzerinde eşelenme ve ısı etkisinin belirgin olduğu ayırt edici bantlar (31, 47, 81 ve 105. bantlar) ortaya çıkmaktadır. Sadece bu bantlardan oluşturulan yeni veri küpü üzerinde anomali bulma algoritması koşturulmaktadır. Literatürde birçok anomali algoritması mevcut olup, buluş konusu tespit sistemi (1) ve yönteminde (100) 25 tercihen çift pencere anomali algoritması (DWRX) kullanılmaktadır. Buluşun bir yapılanmasında anomali algoritması olarak, literatürde belirtilen RX, alt-uzay RX

(subspace RX (SSRX)) metotları kullanılarak benzer sonuçlar elde edilmiştir. Anomali algoritması sonucunda anomali skor haritası oluşturulmaktadır.

Beyazlatılmış ve SGF filtrelenmiş veri küpünde eşelenme ve ısı değişim belirtilerini imza tabanlı metotları kullanarak tespit etmek üzere imza kütüphanesindeki imzalar kullanılarak benzeşme skor haritaları elde edilmektedir. İmzalar arası benzerliği ölçmek için spektral açı haritalandırıcı (spectral angle mapper), çapraz ilintileme (cross covariance), uyumlu süzgeç (matched filter) metotları kullanılabilir. Buluş konusu tespit sistemi (1) ve yönteminde (100) tercihen spektral açı haritalandırıcı kullanılmaktadır. Buluşun bir diğer yapılanmasında literatürde mevcut olan çapraz ilintileme metodu kullanılmaktadır. Buluşun bir diğer yapılanmasında uyumlu süzgeç metotları kullanılmaktadır. İmza benzeşmesi sonucunda imza skor haritası elde edilmektedir.

Değişiklik analizi, aynı bölgenin aynı görüntüleme sistemleri ile farklı zamanlarda alınan görüntüleri arasındaki farklılıkların bulunmasıdır. Değişiklik analizi için bir bölgenin iki farklı zaman dilimlerindeki görüntüleri kullanılmaktadır. İlk görüntü referans görüntü olup, ikinci görüntü ise o bölgeye bir cisim gömüldükten sonra çekilen tarama görüntüsüdür. Değişiklik analizinde ilk olarak hizalama ve değişiklik analizi algoritmaları uygulanmaktadır. LWIR/MWIR Hiperspektral kamera (2) görüntülerinde alansal ve kenarsal görüntü hizalama tekniklerinin uygulanmıştır ve benzer sonuçlar ürettikleri gözlenmiştir. Görüntülerin çekimi esnasında elde edilen GPS koordinat değerleri hizalama esnasında kullanılmaktadır. Hizalaması yapılmış görüntüler arasındaki radyans değerlerindeki değişimi modellemek için çapraz kovaryans yaklaşımı ile çözüm öneren Chronochrome (CC) metodu kullanılmıştır. Chronochrome (CC) yöntemi görüntüler arası genel değişimi kovaryans matrislerini kullanarak modellemektedir. CC dönüşümünde ilk olarak referans ve tarama görüntülerinin tüm piksel spektrumlarının ortalama vektörü  $\mu_x$ ,  $\mu_y$  ve kovaryans matrisi  $C_x$  ve  $C_{yx}$  hesaplanmaktadır. Radyometrik farklılığı dengelemek için iki veri arasında  $\hat{y}_i = T \cdot x_i + d$  doğrusal dönüşüm modeli oluşturulmaktadır. Doğrusal modele ait öteleme ve ölçek parametrelerini kestirebilmek için Formül 11'de verildiği gibi çapraz kovaryans matrisi  $C_{yx}$  kullanılmaktadır.

$$T_{CC} = C_{yx} C_x^{-1}, d_{cc} = \mu_y - C_{yx} C_x^{-1} \mu_x \quad (\text{Formül 11})$$

Hizalaması yapılmış görüntüler arasındaki radyans değerlerindeki değişimi modellemek için Chronochrome metodunun dışında buluşun bir yapılanmasında veri içi kovaryans matrisi üzerinden çözüm üreten özilinti dengeleme (Covariance Equalization - CE)

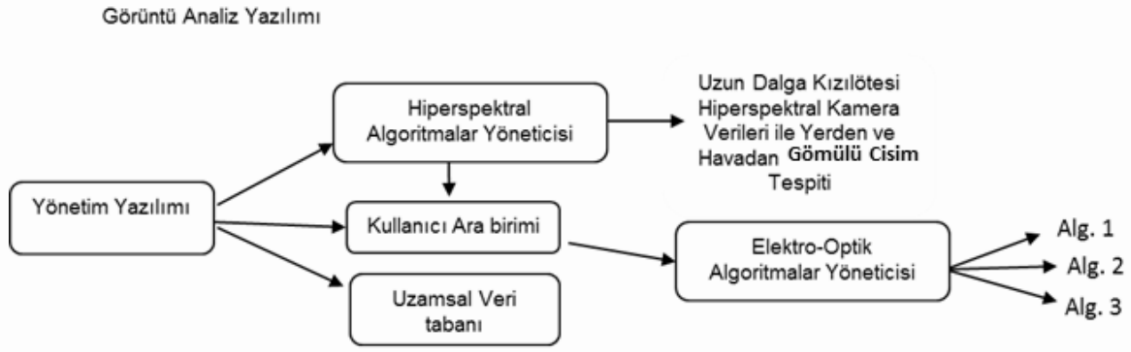
5 algoritması kullanılmıştır. Bu metodların dışında buluşun bir diğer uygulamasında temel bileşen temelli algoritma ile çözüm öneren zamansal temel bileşen analizi (TPCA) algoritması kullanılmaktadır. CC yöntemi ile hedef görüntü ile referans görüntü arasında bir dönüşüm tanımlanmakta ve hesaplanmaktadır. Dönüşüm sonrasında görüntüler arasında her bir piksel için öklid uzaklık metriği kullanılarak değişim haritaları hesaplanmaktadır.

10 Son basamak olarak anomali, değişiklik analizi ve imza skor haritalarının ağırlıklandırılmış entegrasyonu yapılmaktadır. Anomali haritası, değişiklik haritası ve imza haritası Formül 12'de belirtildiği gibi belirli ağırlıklara göre oranlanarak Final skor haritası olan  $\tilde{S}$  elde edilmektedir. Burada  $c_0$ ,  $c_1$  ve  $c_2$  değerleri  $[0,1]$  aralığında olup toplamları 1'e eşittir. Toprağın yapısına göre, değişiklik analizi yapılan zaman aralığının uzunluğuna bağlı olarak haritalara daha yüksek ağırlık vermek mümkündür.

$$\tilde{S} = c_0 S_0 + c_1 S_1 + c_2 S_2 \quad (\text{Formül 12})$$

15 Buluş konusu tespit sistemi (1) ve yönteminde (100) tercihen  $c_0$ ,  $c_1$  ve  $c_2$  için 0.333 değeri kullanılmaktadır fakat bu değer toprak yapısına göre ayarlanmalıdır. Gömülü cisim tespit sonuçları, final skor haritası  $\tilde{S}$  üzerinde maksimum olmayan noktaların elenmesi (non-maxima suppression) olarak bilinen uzamsal eleme işlemlerinden sonra elde edilmektedir. Bu işlem sonucunda patlayıcıların bulunduğu bölgeler nokta halinde döndürülmektedir ve noktaların da skor değerleri bulunmaktadır

20 Kontrol birimi (3), gerçekleştirdiği işlemlerde Grafik 2'de gösterilen görüntü analiz yazılımını kullanmaktadır. Görüntü analiz yazılımı, hiperspektral algoritmalar yöneticisi, kullanıcı ara birimi ve uzamsal veri tabanından oluşmaktadır. Hiperspektral algoritmalar yöneticisi, hiperspektral kameradan (2) alınan görüntü verileri ile yerden ve havadan gömülü cisim tespit işlemini gerçekleştirmektedir. Askeri kara aracı (A) veya askeri  
25 hava aracı (B) hareket halindeyken elde edilen veriler ilk olarak kullanıcı ara birimi sayesinde operatöre görsel olarak gösterilmekte ve gömülü patlayıcı tespit sonuçları kullanıcı ara birimi üzerinde işaretlenmektedir (skor değerleriyle birlikte). Uzamsal veri tabanı ise tarama yapılan bölgelerden elde edilen görüntülerin uzamsal koordinatlarla birlikte kayıt edilmesini sağlamaktadır. Kullanıcı elektro-optik kameralar yardımıyla  
30 patlayıcı tespit edilen bölgeleri daha detaylı inceleyebilmektedir.



Grafik 2 – Görüntü analiz yazılımının bileşenleri

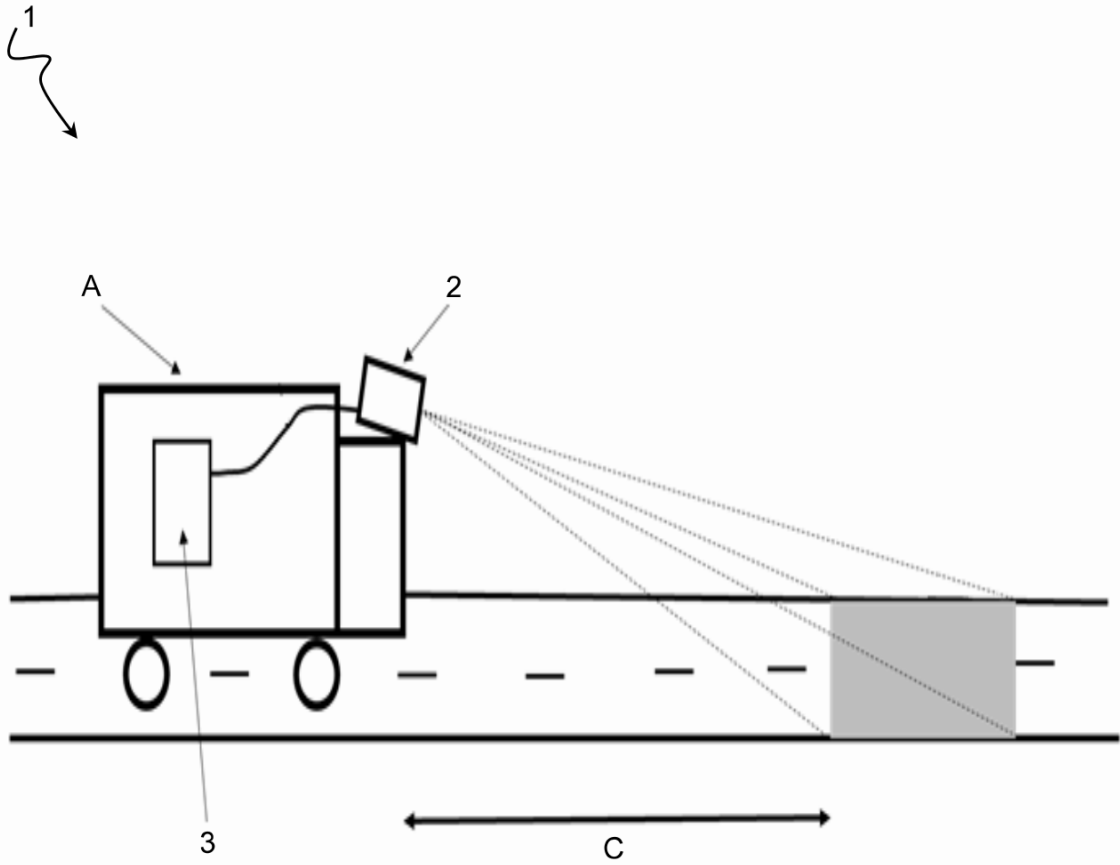
Buluş konusu tespit sistemi (1) ve yönteminin (100) var olan sistemlere göre sağladığı faydalar başlıca şöyle özetlenebilir;

- 5 • Toprak altına gömülü objeler, toprak yüzeyindeki eşelenmeler, ısı farkı ve toprak üzerinde zamansal gerçekleşen fiziksel değişiklikler kullanılarak tespit edilmektedir.
- Askeri hara aracı (A) ve askeri hava aracının (B) geçiş güzergâhı üzerinde değişiklik analizi algoritmaları kullanılarak toprak üzerindeki zamansal fiziksel
- 10 değişim tespit edilebilmektedir. Bu eşelenme ve ısı farkı kaynaklı yanlış alarmların elemesinin yanında gömülü cisim geri getirme oranında yükselme sağlanmaktadır.
- Sadece hareketli askeri kara araçlarına (A) monte edilmiş hiperspektral kameralardan (2) elde edilen görüntülerde değil, hareketli askeri hava
- 15 araçlarına (B) monte edilmiş LWIR Hiperspektral kameralardan (2) elde edilen görüntülerden de gömülü cisim tespiti yapabilmektedir.
- Gömülü cisim hedeflerinin uzaktan (10 metre ile 30 metre uzaklıktan) tespit edebilmesinden dolayı askeri personel hayatı riske atılmamaktadır.
- Var olan GPR, termal kamera ve VNIR Hiperspektral kamera kullanan
- 20 sistemlere entegre edilebilmesi mümkündür.
- Gece ve gündüz şartlarında askeri personel tarafından patlayıcı tespitinde kullanılabilir.

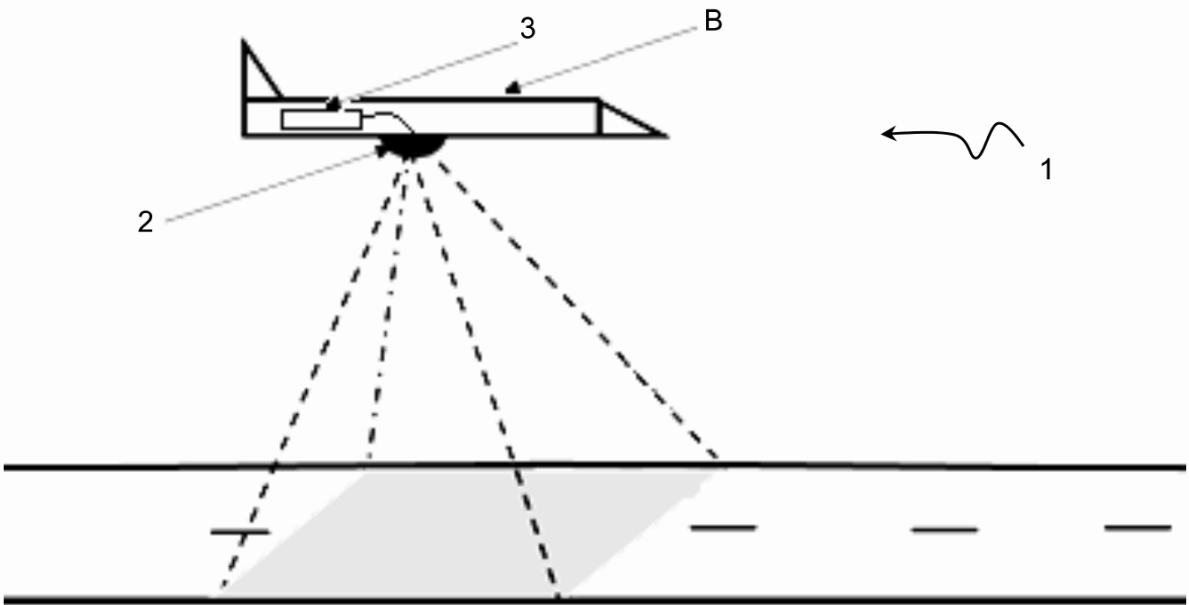
Söz konusu buluş; karakol etrafı ve sınır hattı gibi sabit bölgeleri izlemek ve terör unsurlarınca yerleştirilmiş gömülü patlayıcı hedeflerini tespit için de kullanılabilir. Bu

25 durumda Hiperspektral kamera (2) sistemi sabit bir platform üzerinden devamlı aynı

bölgeyi izleyecek ve kontrol birimi (3) etrafına göre zamansal fiziksel değişiklik, eşelenme belirtisi olan bölgeleri uzman personele tehdit olarak bildirecektir.

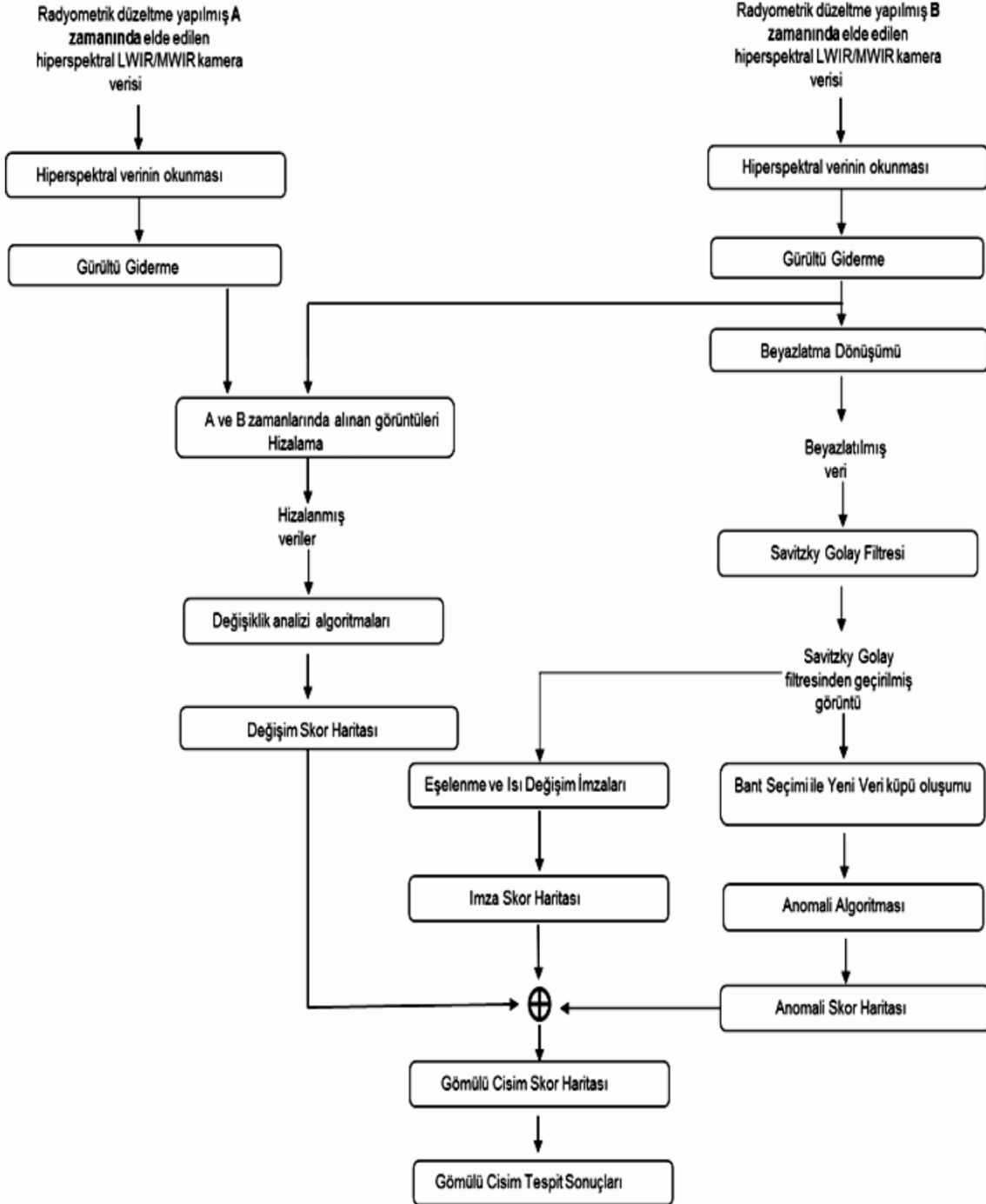


Şekil 1



Şekil 2

100



Şekil 3