

ÖZET**Toprak altı gömülü cisim tespitine yönelik bir tespit sistemi ve yöntemi**

Buluş, askeri kara araçlarının (A) ve askeri hava araçlarının (C) üzerine entegre edilen bir uzun-dalga hiperspektral kameradan (2) elde edilen 3-boyutlu görüntüler üzerinde tam otomatik bir şekilde toprağın etrafına göre farklılıkları (anomalileri) kullanarak toprağa gömülü cisimlerin tespitini gerçekleştiren bir tespit sistemi (1) ve bu sistemin (1) gerçekleştirilmesini sağlayan yöntem (100) ile ilgilidir.

İSTEMLER

1. Askeri hava aracında (B) kullanılıyorken yukarıdan, askeri kara aracında (A) kullanılıyorken belirli mesafe (C) uzaklıktan, yol üzerindeki bir alanda toprağa gömülü cisim için tarama yapan, yaptığı tarama sonucunda toprak altından üç boyutlu görüntü elde edilmesini sağlayan, orta-dalga kızıl ötesi (MWIR) veya uzun-dalga kızılötesi (LWIR) bantlarında çalışan en az bir hiperspektral kamera (2) içeren ve askeri kara araçlarının (A) ve askeri hava araçlarının (B) üzerine entegre edilen ve 3-boyutlu görüntüler üzerinde tam otomatik bir şekilde toprağın etrafına göre farklılıkları (anomalileri) kullanarak toprağa gömülü cisimlerin tespitini gerçekleştiren bir tespit sistemi (1) olup, **özelliği**; bahsedilen hiperspektral kamera (2) kullanılarak, yol üzerindeki bir alan için radyometrik düzeltme işlemine tabii tutulmuş elde edilen hiperspektral LWIR/MWIR 3 boyutlu görüntü verileri için,
- ❖ elde edilen görüntü verilerinin okunarak verilerde olası bir problemin olup olmadığının kontrol edilmesi,
 - ❖ elde edilen görüntü veri küplerindeki her bir bantta 2-boyutlu medyan filtreleme uygulanarak verilerdeki gürültülerin giderilmesi,
 - ❖ Savitzky Golay filtresinin doğru şekilde çalışabilmesi için elde edilen görüntü verileri üzerinde beyazlatma dönüşüm işleminin uygulanması,
 - ❖ elde edilen görüntü verileri için Savitzky Golay filtreleme işleminin yapılabilmesi için, kullanılan filtre uzunluğunun 55, çokterimlilerin derecesinin ise 3 olarak seçilmesi ve Savitzky Golay filtreleme işlemi yapılarak eşelenme ve ısı değişim etkilerinin daha belirgin olarak ortaya çıkartılması,
 - ❖ 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,
 - ❖ elde edilen görüntü verileri için yeni oluşturulan veri küpünden anomali algoritmasının koşturulması,
 - ❖ elde edilen görüntü verileri için koşturulan anomali algoritması sonucunda elde edilen anomali skor haritasının oluşturulması,
 - ❖ anomali 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.

2. Askeri kara araçlarının (A) ve askeri hava araçlarının (B) üzerine entegre edilen ve 3-
boyutlu görüntüler üzerinde tam otomatik bir şekilde toprağın etrafına göre farklılıkları
(anomali) kullanarak toprağa gömülü cisimlerin tespitini gerçekleştiren bir tespit
5 yöntemi (100) olup, **özellği**;
- ❖ hiperspektral kamera (2) kullanılarak, yol üzerindeki bir alan için radyometrik
düzeltme işlemine tabii tutulmuş hiperspektral LWIR/MWIR 3 boyutlu görüntü verilerinin
10 elde edilmesi,
 - ❖ elde edilen görüntü verilerinin kontrol birimi (3) vasıtasıyla okunarak
verilerde olası bir problemin olup olmadığının kontrol edilmesi,
 - ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, elde edilen görüntü veri küplerindeki her
bir bantta 2-boyutlu medyan filtreleme uygulanarak verilerdeki gürültülerin giderilmesi,
 - 15 ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, Savitzky Golay filtresinin doğru şekilde
çalışabilmesi için elde edilen görüntü verileri üzerinde beyazlatma dönüşüm işleminin
uygulanması,
 - ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, elde edilen görüntü verileri için Savitzky
Golay filtreleme işleminin yapılabilmesi için, kullanılan filtre uzunluğunun 55,
20 çokterimlilerin derecesinin ise 3 olarak seçilmesi ve Savitzky Golay filtreleme işlemi
yapılarak eşelenme ve ısı değişim etkilerinin daha belirgin olarak ortaya çıkartılması,
 - ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, 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
25 yapılması,
 - ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, elde edilen görüntü verileri için yeni
oluşturulan veri küpünden anomali algoritmasının koşturulması,
 - ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, elde edilen görüntü verileri için koşturulan anomali
algoritması sonucunda elde edilen anomali skor haritasının oluşturulması,
 - 30 ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, anomali skor haritasının skor değerine
göre uzamsal eleme yapma sonucunda elde edilen noktalar ve
onların skor değerlerinden oluşan gömülü cisim tespit sonuçlarının elde edilmesi,
 - ❖ hiperspektral kamera (2) kullanılarak, yol üzerindeki bir alan için radyometrik
düzeltme işlemine tabii tutulmuş hiperspektral LWIR/MWIR 3 boyutlu görüntü verilerinin
35 elde edilmesi,
 - ❖ elde edilen görüntü verilerinin kontrol birimi (3) vasıtasıyla okunarak
verilerde olası bir problemin olup olmadığının kontrol edilmesi,

- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, elde edilen görüntü veri küplerindeki her bir bantta 2-boyutlu medyan filtreleme uygulanarak verilerdeki gürültülerin giderilmesi,
 - ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, Savitzky Golay filtresinin doğru şekilde çalışabilmesi için elde edilen görüntü verileri üzerinde beyazlatma dönüşüm işleminin uygulanması,
 - ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, elde edilen görüntü verileri için Savitzky Golay filtreleme işleminin yapılabilmesi için, kullanılan filtre uzunluğunun 55, çokterimlilerin derecesinin ise 3 olarak seçilmesi ve Savitzky Golay filtreleme işlemi yapılarak eşelenme ve ısı değişim etkilerinin daha belirgin olarak ortaya çıkartılması,
 - ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, 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, elde edilen görüntü verileri için yeni oluşturulan veri küpünden anomali algoritmasının koşturulması,
 - ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, elde edilen görüntü verileri için koşturulan anomali algoritması sonucunda elde edilen anomali skor haritasının oluşturulması,
 - ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, anomali 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 içermesidir.

25 **3.** İstem 2'e uygun bahsedilen yöntem (100) olup, **özelliği**; çift pencere anomali algoritmasının (DWRX) kullanılmasıdır.

4. İstem 2'e uygun bahsedilen yöntem (100) olup, **özelliği**; anomali algoritması olarak alt-uzay RX (*subspace RX* (SSRX)) metotlarının kullanılmasıdır.

TARİFNAME

Toprak altı gömülü cisim tespitine yönelik bir tespit sistemi ve yöntemi

Teknik Alan

5 Buluş, askeri kara araçlarının ve askeri hava araçlarının üzerine entegre edilen bir uzun-dalga kızılötesi veya orta-dalga kızılötesi bant aralığında çalışan hiperspektral kameradan elde edilen 3-boyutlu görüntüler üzerinde tam otomatik bir şekilde toprağın etrafına göre farklılıkları (anomalileri) kullanarak toprağa gömülü cisimlerin tespitini gerçekleştiren bir tespit sistemi ve yöntemi ile ilgilidir.

Tekniğin Bilinen Durumu

10 Günümüzde gömülü 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
15 hayatını direk tehlikeye atmasından dolayı da patlayıcı tespiti işlemlerinin otomatik/yarı-otomatikleştirilmesinde fayda görülmektedir.

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
20 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.

GPR ve EMI teknolojilerini kullanan literatürde birçok patent ve ürün bulunmaktadır.
25 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.

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 5 ışıklandırıp, görüntü üzerinde etrafına göre değişiklik olan bölgeleri tespit etmeye yarayan sistemler önerilmektedir. Fakat bu patentlerde ışıklandırma süresinin ne kadar 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.

- 10 WO20008117291, US2012/0133775 A1 ve US2010/0231716 A1 numaralı patent dokümanlarında hiperspektral kamera sistemleri patlayıcı tespitinde kullanılmaktadır. 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 15 yakın kızıl ötesi (VNIR) bantlarında çalışan hiperspektral kamera sistemi kullanılarak yapıldığı belirtilmektedir. Bu sistemde gömülü patlayıcıdan toprağı sızmış olan nitrojen 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.
- 20 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 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 25 bir sistem sunulmuş olup, gömülü cisimlerin tespitine yönelik tespit performansından bahsedilmemektedir.

- 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 30 elde edilmektedir. LWIR spektrumunun farklı bant aralıklarında elde edilen bu görüntüler birbirlerine oranlanarak topraktaki eşelenme ve ısı değışiminin tespiti sağlanmaktadır. Önerilen bu metodun donanımsal gereksinimleri farklı toprak türleri için farklı filtre sistemlerine ihtiyaç duyacağından dolayı gerçek zamanlı olarak kullanımı zordur.

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

Buluşun Amacı

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

Buluşun ana amacı, askeri kara araçlarının ve askeri hava araçlarının üzerine entegre edilen bir uzun-dalga kızılötesi veya orta-dalga kızılötesi bant aralığında çalışan hiperspektral kameradan elde edilen 3-boyutlu görüntüler üzerinde tam otomatik bir şekilde toprağın etrafına göre farklılıkları (anomalileri) kullanarak toprağa gömülü cisimlerin tespitininin 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.

- 15 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.

Buluşun Anlaşılmasına Yardımcı Olacak Şekiller

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

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

Şekil 3, buluşa konu olan yöntemle ait akış diyagramıdır.

Parça Referanslarının Açıklaması

1. Tespit sistemi

2. Hiperspektral kamera

3. Kontrol birimi

- 5
- A. Askeri kara aracı
 - B. Askeri hava aracı
 - C. Mesafe

100. Tespit yöntemi

Buluşun Detaylı Açıklaması

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

15 Buluş, askeri kara araçlarının (A) ve askeri hava araçlarının (B) üzerine entegre edilen ve 3-boyutlu görüntüler üzerinde tam otomatik bir şekilde toprağın etrafına göre farklılıkları (anomalileri) kullanarak toprağa gömülü cisimlerin tespitini gerçekleştiren bir tespit sistemi (1) olup,

- ❖ askeri hava aracında (B) kullanılırken yukarıdan, askeri kara aracında (A) kullanılırken belirli mesafe (C) uzaklıktan, yol üzerindeki bir alanda toprağa gömülü cisim için tarama yapan, yaptığı tarama sonucunda toprak altından üç boyutlu görüntü elde edilmesini sağlayan, orta-dalga kızıl ötesi (MWIR) veya uzun-dalga kızılötesi (LWIR) bantlarında çalışan en az bir hiperspektral kamera (2),
 - ❖ bahsedilen hiperspektral kameradan (2) elde edilen görüntülere ait verileri analiz eden, görüntü verileri üzerinde tam otomatik bir şekilde anomali algoritması kullanarak toprak üzerinde herhangi bir eşelenme veya ısı değişimi belirtisinin olup olmadığını kontrol eden ve bu sayede toprak altında tehlikeli gömülü cisimlerin varlığını tespit eden en az bir kontrol birimi (3)
- 25

içermektedir (Şekil 1 ve Şekil 2).

Tespit sisteminde (1) yer alan unsurları kullanan, askeri kara araçlarının (A) ve askeri hava araçlarının (B) üzerine entegre edilen ve 3-boyutlu görüntüler üzerinde tam

otomatik bir şekilde toprağın etrafına göre farklılıkları (anomalileri) 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 hiperspektral LWIR/MWIR 3 boyutlu görüntü verilerinin elde edilmesi,
- ❖ elde edilen görüntü verilerinin kontrol birimi (3) vasıtasıyla okunarak verilerde olası bir problemin olup olmadığının kontrol edilmesi,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, elde edilen görüntü veri küplerindeki her bir bantta 2-boyutlu medyan filtreleme uygulanarak verilerdeki gürültülerin giderilmesi,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, Savitzky Golay filtresinin doğru şekilde çalışabilmesi için elde edilen görüntü verileri üzerinde beyazlatma dönüşüm işleminin uygulanması,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, elde edilen görüntü verileri için Savitzky Golay filtreleme işlemi yapılarak eşelenme ve ısı değişim etkilerinin daha belirgin olarak ortaya çıkartılması,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, 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, elde edilen görüntü verileri için yeni oluşturulan veri küpünden anomali algoritmasının koşturulması,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, elde edilen görüntü verileri için koşturulan anomali algoritması sonucunda elde edilen anomali skor haritasının oluşturulması,
- ❖ kontrol birimi (3) vasıtasıyla, anomali skor haritasının skor değerine göre uzamsal eleme yapma sonucunda elde edilen noktalar ve onların skor değerlerinden oluşan gömülü cisim tespit sonuçlarının elde edilmesi

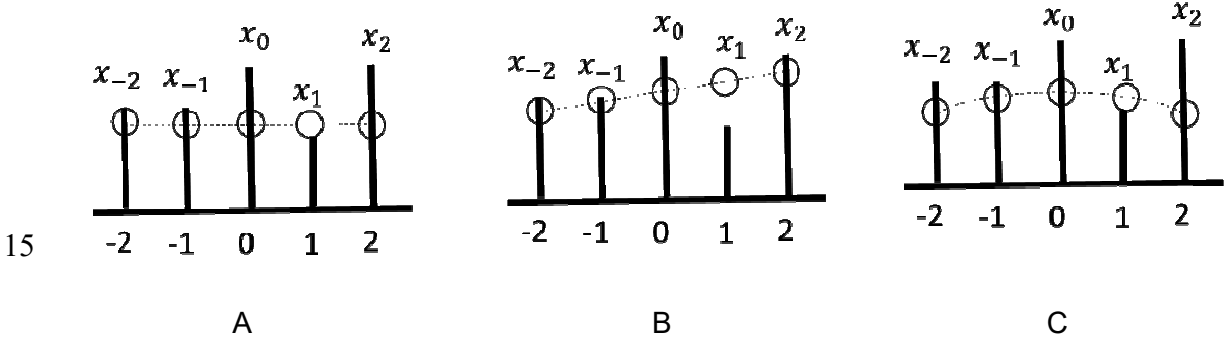
işlem adımlarını içermektedir (Şekil 3).

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 gerçekleştirmektedir.

5 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 gerçekleştirmektedir.

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 kızılötesi (LWIR) veya orta-dalga kızılötesi (MWIR) hiperspektral kamera (2) ile gömülü cisim tespitine yönelik anomali tespitine dayanan yeni bir sistem (1) ve yöntem (100) önerilmektedir.

Bu buluşta önerilen yöntemde (100) ilk olarak uzun-dalga kızılötesi (LWIR) veya orta-dalga kızılötesi (MWIR) 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 banttandır 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 MxN 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 Σ ortak değişinti (covariance) matrisi olup Formül 2'de gösterilen eşitlikle hesaplanır. Bu eşitlikte, Z değişkeni görüntüdeki toplam piksel sayısını, μ 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 (window length) 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:

$$5 \quad \tilde{x}_m = c_0 + c_1 m + c_2 m^2 \quad (m = -2, -1, 0, 1, 2) \quad (\text{Formül 3})$$

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

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

10 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.

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

15 Çokterimli katsayılarını (c) belirlemek için maliyet fonksiyonunun katsayılara göre türevi belirlenmektedir ve 0’a eşitlenmektedir.

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

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

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

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

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

$$\hat{x} = Sc = S(S^T S)^{-1} S^T x = Bx \quad (\text{Formül 10})$$

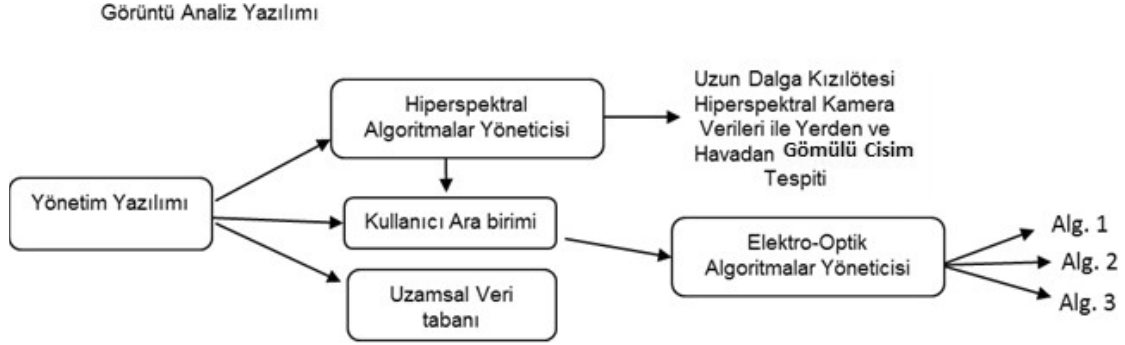
Yukarıdaki eşitlikten de görüldüğü gibi yumuşatılmış verinin elde edilmesi için orijinal 5 verinin B matrisine izdüşümü bulunmaktadır. Hiperspektral görüntülerde her bir piksel verileri üzerinde, x , SGF süzgeci koşturulmaktadır ve yeni veri-küpleri elde edilmektedir.

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) 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 20 algoritması sonucunda anomali skor haritası oluşturulmaktadır.

Gömülü cisim tespit sonuçları, anomali skor haritası 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

25 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 30 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 patlayıcı tespit edilen bölgeleri daha detaylı inceleyebilmektedir.



5 Grafik 2 – Görüntü analiz yazılımının bileşenleri

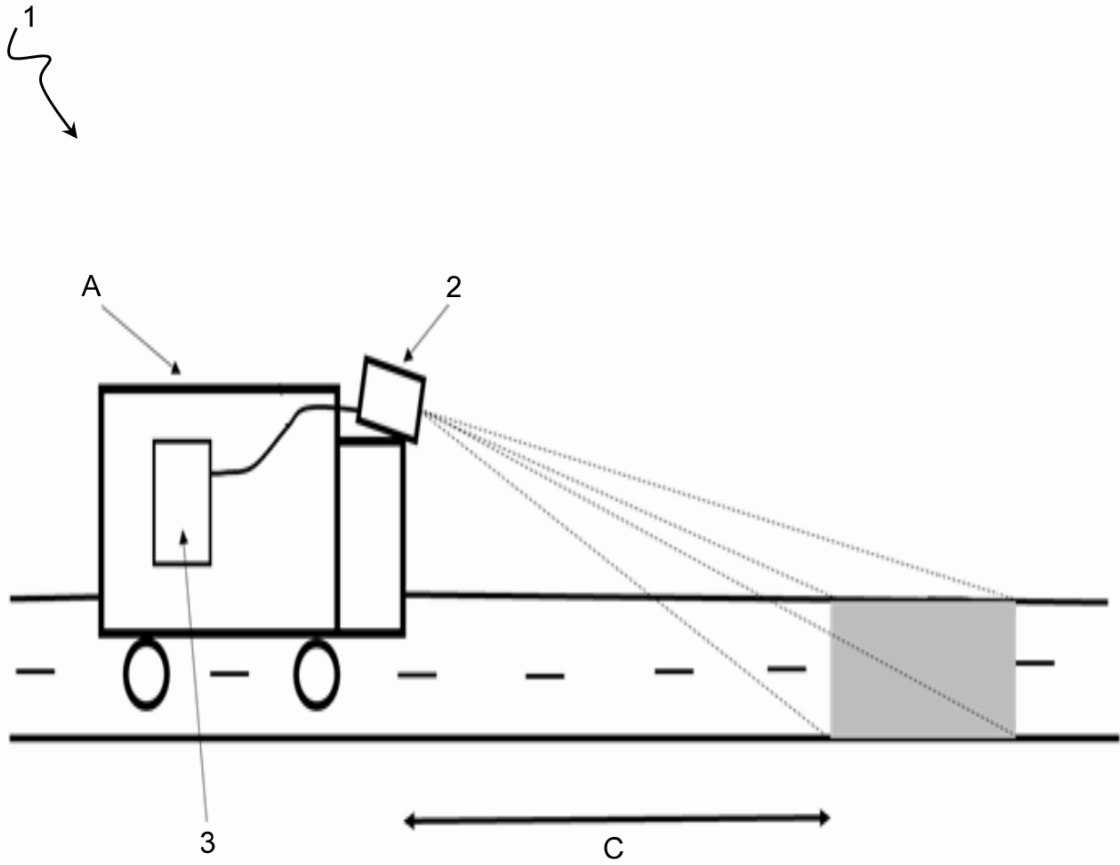
Buluş konusu tespit sistemi (1) ve yönteminin (100) var olan sistemlere göre sağladığı faydalar başlıca şöyle özetlenebilir;

- Toprak altına gömülü objeler, toprak yüzeyindeki eşelenmeler ve ısı farkı kullanılarak tespit edilmektedir. Önceki metotlardan farklı olarak tam otomatik bir şekilde yoprağın etrafına göre farklılıklar (anomaliler) tespit edilmektedir.
- Sadece hareketli askeri kara araçlarına (A) monte edilmiş hiperspektral kameralardan (2) elde edilen görüntülerde değil, hareketli askeri hava araçlarına (B) monte edilmiş LWIR/MWIR Hiperspektral kameralardan (2) elde edilen görüntülerden de gömülü cisim tespiti yapılabilmektedir.
- Gömülü cisim hedeflerinin uzaktan (10 metre ile 30 metre uzaklıktan) tespit edebilmesinden dolayı askeri personel hayatı riske atılmamaktadır.
- Var olan termal kamera ve VNIR Hiperspektral kamera kullanan sistemlere entegre edilebilmesi mümkündür.
- Gece ve gündüz şartlarında askeri personel tarafından patlayıcı tespitinde kullanılabilir.

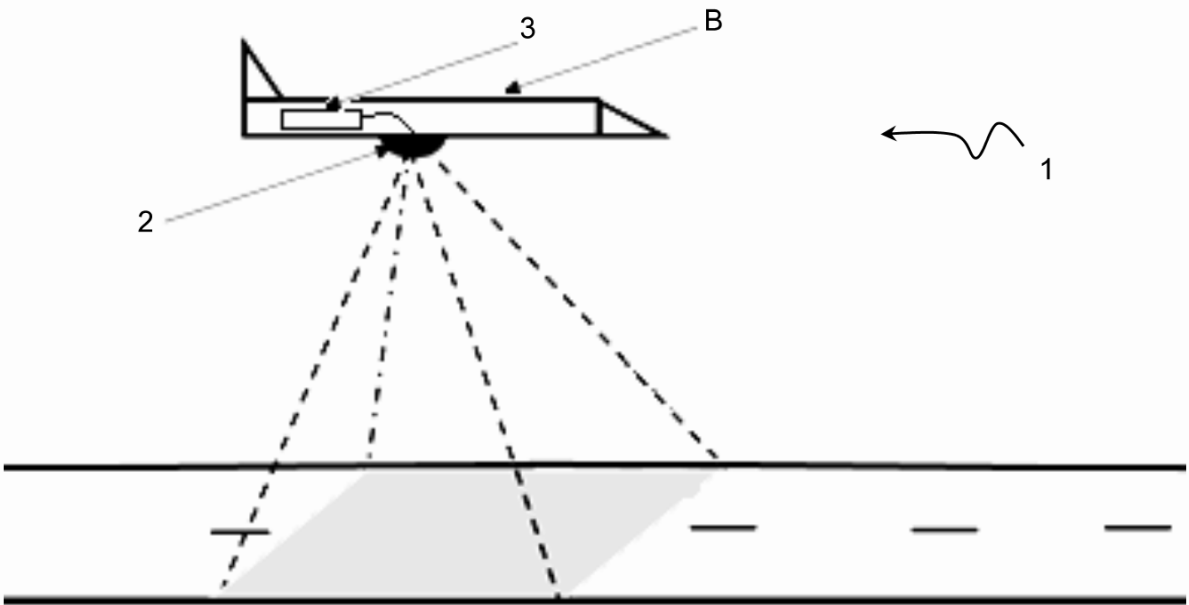
Söz konusu buluş; karakol etrafı ve sınır hattı gibi sabit bölgeleri izlemek ve terör unsurlarınca yerleştirilmiş gömülü patlayıcı hedeflerini tespit için de kullanılabilir. Bu durumda Hiperspektral kamera (2) sistemi sabit bir platform üzerinden devamlı aynı bölgeyi izleyecek ve kontrol birimi (3) etrafına göre eşelenme belirtisi olan bölgeleri

25 uzman personele tehdit olarak bildirecektir.

Bu buluş ayrıca sınır hattı boyunca uzun yıllar gömülü kalmış mayınların tespiti ve temizlenmesi için kullanılabilir. Bu durumda hiperspektral kamera (2) sabit bir platform üzerinden patlayıcı gömülü bölgeyi izleyecek ve kontrol birimi (3) etrafına göre ısı farkı olan bölgeleri uzman personele tehdit olarak bildirecektir.

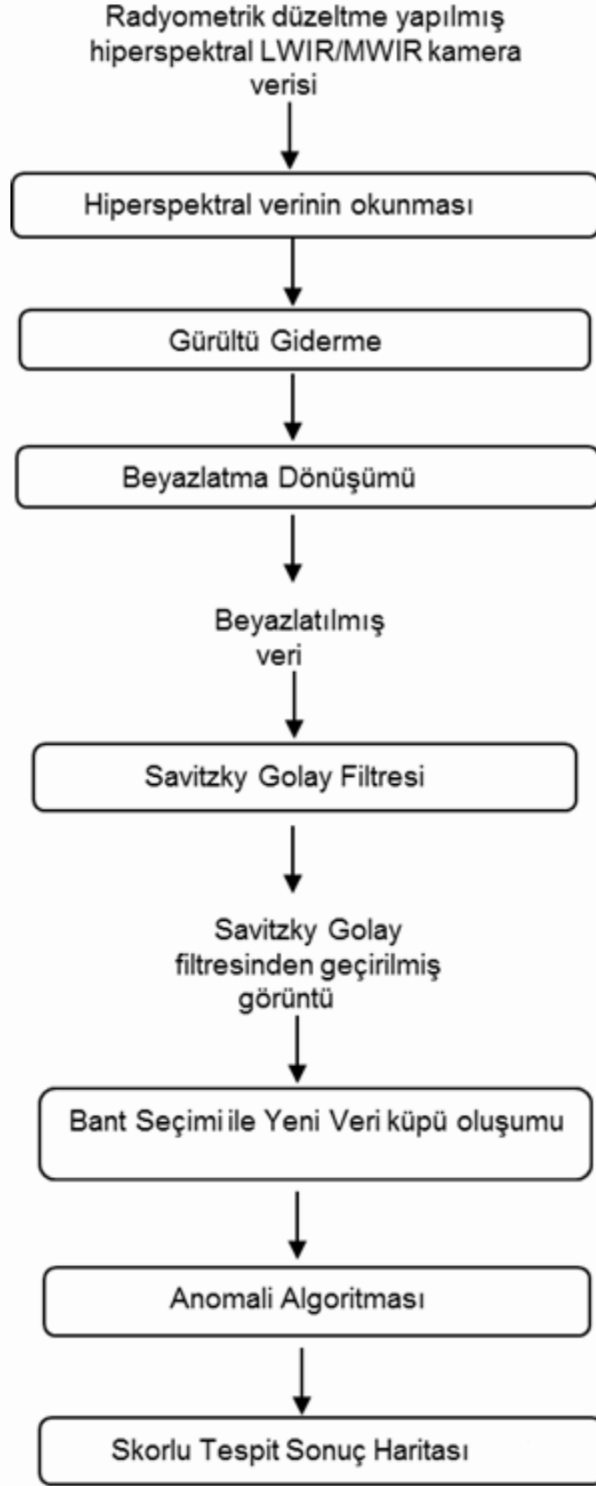


Şekil 1



Şekil 2

100



Şekil 3