

**ÖZET****Havadan çekilen görüntüler vasıtasıyla haşhaş benzeri narkotik bitkinin tespitini sağlayan sistem ve yöntem**

Hiperspektral kameralar kullanılarak havadan çekilmiş VNIR (Visible and Near  
5 InfraRed) görüntülerden haşhaş benzeri narkotik bitkilerin tespitini gerçekleştiren bir  
tespit sistemi ve yöntemi (100) ile ilgilidir. Buluş özellikle haşhaş bitkisinin havadan hızlı  
ve etkin bir şekilde tespitini sağlamaktadır. Bu yöntem (100) ayrıca diğer bitkilerin de  
havadan tespitinde kullanılabilir. Haşhaş tespiti havadan yapılacağı için kaçak  
ekim bölgesinin etrafını farklı bitki ya da unsurlar ile çevirerek gizlemek veya ekimi  
10 yerleşim alanlarına uzak bölgelerde yapmak önerilen yöntem (100) için problem  
oluşturmamaktadır.

## İSTEMLER

1. Haşhaş benzeri narkotik bitkilerin tespiti için çekim yaparak bu bitkinin havadan VNIR görüntü verisini elde eden en az bir hiperspektral kamera içeren ve havadan çekilmiş VNIR (Visible and Near InfraRed) görüntülerden haşhaş benzeri narkotik bitkilerin tespitini gerçekleştiren bir tespit sistemi olup, **özelliği**;

❖ bahsedilen hiperspektral kamera kullanılarak, haşhaş benzeri narkotik bitkilere ait, radyometrik düzeltme işlemine tabii tutulmuş havadan çekilmiş VNIR görüntü verilerinin ve bitkiye ait metaverinin okunarak verilerde olası bir problemin olup olmadığının kontrol edilmesi,

❖ tarlaların sınırlarının ve taşma miktarının tespiti için, hiperspektral görüntü verilerine, üç bant kullanılarak uzamsal bölütlemenin yapılması,

❖ hiperspektral görüntü verilerine, toprak ve bitki özelliği göstermeyen diğer unsurların görüntülerden ayıklanması için kullanılan Normalize Fark Bitki İndeksinin (NDVI) uygulanması,

❖ hiperspektral görüntü verilerine, zayıf ve küçük yapıdaki haşhaş bitkisinin yoğun bitkilerden ve ağaçlardan ayrımını sağlamak için, bitkilerdeki klorofil yoğunluğu, gölgelik yaprak alanı ve tutulan su miktarıyla ilgili çalışmalar yapan Vogelmann Kırmızı Kenar İndeksinin (VREI) uygulanması,

❖ Savitzky Golay filtresinin doğru şekilde çalışabilmesi için hiperspektral görüntü verileri üzerinde beyazlatma dönüşüm işleminin uygulanması,

❖ beyazlatma dönüşüm işlemi uygulanan görüntü verilerine Savitzky Golay filtreleme işlemi yapılarak haşhaş bitkisinin diğer bitki ve yapılardan ayrımının sağlanması,

❖ SGF filtresinden gelen sonuçların, NDVI VREI ve uzamsal bölütleme algoritması sonuçlarına birleştirilmesi,

❖ birleştirilmiş veriler için skor haritasının oluşturulması

işlem adımlarını gerçekleştiren en az bir kontrol birimi içermesidir.

2. İstem 1'e uygun bahsedilen sistem olup, **özelliği**; üç bant kullanılarak uzamsal bölütlemenin yapılması işleminde; görüntüde uzamsal bilgiyi en iyi temsil eden

RGB (kırmızı, yeşil ve mavi) bantları üzerinden birden çok sınıflandırıcının bir araya gelmesiyle oluşturulmuş çok sınıflı sınıflandırma (multi-class classification) modeli olan Yapılandırılmış Orman (Structured Forest) Modeli yardımıyla, hiperspektral görüntüde bulunan kenar bilgilerini elde eden ve kenar bilgileri üzerinde yaptığı morfolojik operasyonlar ile görüntü bölütlemesini gerçekleştiren kontrol birimi içermesidir.

3. İstem 1'e uygun bahsedilen sistem olup, **özelliği**; baskın hiperspektral karakterleri ortaya koymak için Savitzky Golay filtre uzunluğunu bant sayısının neredeyse 3'te 1'i olacak şekilde seçen kontrol birimi içermesidir.

4. Havadan çekilmiş VNIR (Visible and Near InfraRed) görüntülerden haşhaş benzeri narkotik bitkilerin tespitini gerçekleştiren bir tespit yöntemi (100) olup, **özelliği**;

❖ hiperspektral kamera kullanılarak, haşhaş benzeri narkotik bitkilere ait, radyometrik düzeltme işlemine tabii tutulmuş havadan çekilmiş VNIR görüntü verilerinin elde edilmesi

❖ edilen görüntü verilerinin ve bitkiye ait metaverinin kontrol birimi vasıtasıyla okunarak verilerde olası bir problemin olup olmadığının kontrol edilmesi,

❖ kontrol birimi vasıtasıyla, tarlaların sınırlarının ve taşma miktarının tespiti için, hiperspektral görüntü verilerine, üç bant kullanılarak uzamsal bölütlemenin yapılması,

❖ kontrol birimi vasıtasıyla, hiperspektral görüntü verilerine, toprak ve bitki özelliği göstermeyen diğer unsurların görüntülerden ayıklanması için için kullanılan Normalize Fark Bitki İndeksinin (NDVI) uygulanması,

❖ kontrol birimi vasıtasıyla, hiperspektral görüntü verilerine, zayıf ve küçük yapıdaki haşhaş bitkisinin yoğun bitkilerden ve ağaçlardan ayrımını sağlamak için, bitkilerdeki klorofil yoğunluğu, gölgelik yaprak alanı ve tutulan su miktarıyla ilgili çalışmalar yapan Vogelmann Kırmızı Kenar İndeksinin (VREI) uygulanması,

❖ kontrol birimi vasıtasıyla, Savitzky Golay filtresinin doğru şekilde çalışabilmesi için hiperspektral görüntü verileri üzerinde beyazlatma dönüşüm işleminin uygulanması,

- ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, beyazlatma dönüşüm işlemi uygulanan görüntü verilerine Savitzky Golay filtreleme işlemi yapılarak haşhaş bitkisinin diğer bitki ve yapılardan ayrımının sağlanması,
- ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, SGF filtresinden gelen sonuçların, NDVI VREI ve uzamsal bölütleme algoritması sonuçlarına birleştirilmesi,
- ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, birleştirilmiş veriler için skor haritasının oluşturulması

5

işlem adımlarını içermesidir.

5. İstem 4'e uygun bahsedilen yöntem (100) olup, **özelliği**; üç bant kullanılarak uzamsal bölütlemenin yapılması işleminde; kontrol birimi vasıtasıyla, görüntüde uzamsal bilgiyi en iyi temsil eden RGB (kırmızı, yeşil ve mavi) bantları üzerinden birden çok sınıflandırıcının bir araya gelmesiyle oluşturulmuş çok sınıflı sınıflandırma (multi-class classification) modeli olan Yapılandırılmış Orman (Structured Forest) Modeli yardımıyla, hiperspektral görüntüde bulunan kenar bilgilerinin elde edilmesi ve kenar bilgileri üzerinden yapılan morfolojik operasyonlar ile görüntü bölütlemesinin gerçekleştirilmesidir.

10

15

6. İstem 4'e uygun bahsedilen yöntem (100) olup, **özelliği**; kontrol birimi vasıtasıyla, baskın hiperspektral karakterleri ortaya koymak için Savitzky Golay filtre uzunluğunun bant sayısının neredeyse 3'te 1'i olacak şekilde seçilmesidir.

20

## TARİFNAME

### Havadan çekilen görüntüler vasıtasıyla haşhaş benzeri narkotik bitkinin tespitini sağlayan sistem ve yöntem

#### Teknik Alan

- 5 Hiperspektral kameralar kullanılarak havadan çekilmiş VNIR (Visible and Near InfraRed) görüntülerden haşhaş benzeri narkotik bitkilerin tespitini gerçekleştiren bir tespit sistemi ve yöntemi ile ilgilidir.

#### Tekniğin Bilinen Durumu

- 10 Haşhaş ekimi genellikle yasal olarak izne tabiidir. Ancak yasal olmayan ekimler de mevcuttur. Bu ekimler ya tamamen izinsiz alanlarda ya da izin verilen tarım alanlarında taşma yapılarak gerçekleştirilmektedir.

- 15 Haşhaş bitkisinin devlet tarafından kontrollü olarak ekilmesinin nedeni bu bitkiden uyuşturucu madde elde edilebilmesidir. Haşhaş eroin ya da diasetilmorfin (diamorfin) adı verilen yarı-sentetik uyuşturucunun ham maddesini oluşturmaktadır. Uyuşturucu madde, haşhaş bitkisinin kafa kısmı ile gövde arasına atılan çizikten elde edilen sütün kurutulmasıyla elde edilmektedir.

- 20 Günümüzde haşhaş bitkisinin izne tabi olmayan ekimlerini veya taşma yoluyla elde edilmesini önlemeye yönelik sınırlı sayıda çalışma olduğu bilinmektedir. Hiperspektral kameralar ile hava görüntülerinden haşhaş tespiti yapabilen literatürde benzer bir yöntem veya sistem bulunmamaktadır. Literatürde yer alan makalelerde bahsedilen yöntemlerin başarı oranı oldukça sınırlı ve düşüktür.

- 25 Havadan haşhaş tespiti genellikle uydu görüntüleri yardımıyla yapılmaktadır. Uydu görüntülerinden bitki olan bölgeler tespit edilip bu bölgelerin hangilerinin haşhaş olduğu belirlenmektedir. Bu çalışmalarda kullanılan görüntüler özellikle kaçak uyuşturucu ekiminin yoğun olduğu ancak kurak iklimlerin olduğu bölgeleri kapsamaktadır. Dolayısıyla, bu çalışmalar haşhaş bitkisinin diğer bitkilerden ayırt edilebilirliğini tam olarak gösterememektedir. Diğer bir yöntem ise kaçak ekim alanlarının ilgili mercilere ihbar edilmesidir. Ancak bu durumun önüne geçebilmek için yasal ekim yapma hakkı olan kişiler çeşitli tedbirler almaktadırlar. Örneğin ekim alanlarını yerleşim bölgelerine

uzak yerlerden seçerek ya da ekim alanlarını farklı yöntemlerle gizleyerek bu alanların tespit edilmesinin önüne geçmeye çalışmaktadırlar.

5 Narkotik bitkiler zararlı oluşumların ve terör örgütlerinin maddi gücünün ana kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Bu bitkilerin kaçak ekiminin tespit ve ardından imha edilmesi zararlı oluşum ve terör örgütleriyle mücadelede önemli bir rol oynamaktadır.

Günümüzde narkotik bitkilerin yetiştirildiği yerleri tespit eden ve bu sayede bu bitkilerin yasaklı bir şekilde yetiştirilmesini engelleyen, başarı oranı yüksek sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

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

### **Buluşun Amacı**

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

Buluşun ana amacı, hiperspektral kameralar kullanılarak havadan çekilmiş VNIR (Visible and Near InfraRed) görüntülerden haşhaş benzeri narkotik bitkilerin tespitinin gerçekleştirilmesidir.

20 Buluşun diğer bir amacı, haşhaş bitkisinin hem izne tabi olmayan ekim işlemlerinin hem de taşma yoluyla elde edilmesinin önlenmesidir.

Buluşun diğer bir amacı, uyuşturucu maddeye erişimi zorlaştırıp toplum sağlığına olumlu katkı sağlamasıdır.

Buluşun diğer bir amacı, maliyetten kazanç sağlamasıdır.

25 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 yöntemle ait akış diyagramıdır.

### **Parça Referanslarının Açıklaması**

100. Tespit yöntemi

### **Buluşun Detaylı Açıklaması**

- 5 Bu detaylı açıklamada, buluşa konu olan tespit sisteminin ve yönteminin (100) tercih edilen yapıları, sadece konunun daha iyi anlaşılmasına yönelik olarak açıklanmaktadır.

10 Buluş özellikle haşhaş bitkisinin havadan hızlı ve etkin bir şekilde tespitini sağlamaktadır. Bu yöntem (100) ayrıca diğer bitkilerin de havadan tespitinde kullanılabilir. Haşhaş tespiti havadan yapıldığı için kaçak ekim bölgesinin etrafını farklı bitki ya da unsurlar ile çevirerek gizlemek veya ekimi yerleşim alanlarına uzak bölgelerde yapmak önerilen yöntem (100) için problem oluşturmamaktadır.

Buluş, havadan çekilmiş VNIR (Visible and Near InfraRed) görüntülerden haşhaş benzeri narkotik bitkilerin tespitini gerçekleştiren bir tespit sistemi olup,

- 15 ❖ haşhaş benzeri narkotik bitkilerin tespiti için çekim yaparak bu bitkinin havadan VNIR görüntü verisini elde eden en az bir hiperspektral kamera ve
- ❖ bahsedilen hiperspektral kameradan elde edilen görüntülere ait verileri ve bitkiye ait metaveriyi alan, bu verileri inceleyerek söz konusu bitkilerin yerini tespit eden en az bir kontrol birimi

20 içermektedir.

Tespit sisteminde yer alan unsurları kullanan ve havadan çekilmiş VNIR (Visible and Near InfraRed) görüntülerden haşhaş benzeri narkotik bitkilerin tespitini gerçekleştiren bir tespit yöntemi (100) olup,

- 25 ❖ hiperspektral kamera kullanılarak, haşhaş benzeri narkotik bitkilere ait, radyometrik düzeltme işlemine tabii tutulmuş havadan çekilmiş VNIR görüntü verilerinin elde edilmesi
- ❖ edilen görüntü verilerinin ve bitkiye ait metaverinin kontrol birimi vasıtasıyla okunarak verilerde olası bir problemin olup olmadığının kontrol edilmesi,

- ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, tarlaların sınırlarının ve taşma miktarının tespiti için, hiperspektral görüntü verilerine, üç bant kullanılarak uzamsal bölütlemenin yapılması,
- 5 ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, hiperspektral görüntü verilerine, toprak ve bitki özelliği göstermeyen diğer unsurların görüntülerden ayıklanması için kullanılan Normalize Fark Bitki İndeksinin (NDVI) uygulanması,
- 10 ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, hiperspektral görüntü verilerine, zayıf ve küçük yapıdaki haşhaş bitkisinin yoğun bitkilerden ve ağaçlardan ayrımını sağlamak için, bitkilerdeki klorofil yoğunluğu, gölgelik yaprak alanı ve tutulan su miktarıyla ilgili çalışmalar yapan Vogelmann Kırmızı Kenar İndeksinin (VREI) uygulanması,
- 15 ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, Savitzky Golay filtresinin doğru şekilde çalışabilmesi için hiperspektral görüntü verileri üzerinde beyazlatma dönüşüm işleminin uygulanması,
- ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, beyazlatma dönüşüm işlemi uygulanan görüntü verilerine Savitzky Golay filtreleme işlemi yapılarak haşhaş bitkisinin diğer bitki ve yapılardan ayrımının sağlanması,
- 20 ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, SGF filtresinden gelen sonuçların, NDVI VREI ve uzamsal bölütleme algoritması sonuçlarına birleştirilmesi,
- ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, birleştirilmiş veriler için skor haritasının oluşturulması

işlem adımlarını içermektedir (Şekil 1).

25 Bu buluşta, hiperspektral kamera ile alınmış ve radyometrik düzeltme işlemine tabii tutulmuş radyans görüntü verisi ve metaveri kullanılarak havadan bitki tespitini gerçekleştiren yöntem (100) geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem (100) haşhaş bitkisi tespiti üzerinde uygulanmıştır.

Hiperspektral kamera vasıtasıyla elde edilen veriler kontrol birimine kayıt edilmektedir. Kontrol birimi kayıt edilen görüntü verileri ve metaverileri kullanarak haşhaş bitkisinin tespit işlemini gerçekleştirmektedir.

30 Detaylı açıklamanın bu kısmından sonra anlatılan işlemler kontrol birimi tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle yazım ve anlatım kolaylığı açısından, yapılan herbir işlem için tek tek kontrol birimi tarafından gerçekleştirilmiştir şeklinde bir ibare yazılmamıştır.

İlk aşamada hiperspektral radyans verisi üzerinde uzamsal bölütleme gerçekleştirilerek sınır bilgisi elde edilmektedir. Elde edilen sınır bilgileri kullanılarak her bir sınır içerisinde kalan piksel sayıları hesaplanarak küçük bölütleri elemek mümkün olmaktadır. Genellikle küçük bölütler ağaç, taş, kaya parçaları olduğundan spektral olarak ayırmakta zorlanılan yanlış alarmların uzamsal bölütleme algoritması kullanılarak elenmesi gerçekleştirilmektedir.

Bu amaçla hiperspektral kameradan elde edilen görüntüde uzamsal bilgiyi en iyi temsil eden RGB (kırmızı, yeşil ve mavi) bantları seçilmiştir. Bu bantlar üzerinden Yapılandırılmış Orman (Structured Forest) olarak adlandırılan önceden eğitilmiş çok sınıflı sınıflandırma modeli yardımıyla hiperspektral görüntüde bulunan kenar bilgileri elde edilmektedir. Son olarak, kenar bilgileri üzerinde yapılan morfolojik operasyonlar ile görüntü bölütlemesi gerçekleştirilmektedir.

Yapılandırılmış Orman Modeli (YOM), birden çok sınıflandırıcının bir araya gelmesiyle oluşturulmuş çok sınıflı sınıflandırma (multi-class classification) modelidir. YOM, eğitim kümesinde bulunan resimlerden elde edilen aynı büyüklükteki alt parçalar üzerinden eğitilmekte ve yine alt parçalar ile test edilmektedir. Bu modelde, eğitim kümesi dahilinde bulunan alt parçalar  $X = \{x_1 x_2 x_3 \dots x_m\}$ , bu alt parçaların hedef obje içerip içermediği bilgisi de  $Y = \{y_1 y_2 y_3 \dots y_m\}$  ifadesiyle temsil edilebilir.

YOM'un iç düğümlerinde (inner nodes) bulunan her bir düğüm bir  $f_t(x)$  karar ağacını temsil etmektedir. Bu karar ağaçları modele girdi olarak verilen resimlere ait her  $x$  alt parçasını sağ ya da sol çocuğuna yönlendirmekte ve bu işlem uç düğümlere (leaf nodes) ulaşıncaya kadar devam etmektedir.

YOM farklı kenar tipleri farklı sınıflar olarak ele alınmakta ve bu sınıflar uç düğümlerde temsil edilmektedir. Dolayısıyla, girdi olarak verilen alt-parça hangi uç düğüme ulaştıysa, girdi o düğümün sınıflandırma etiketini/kenar bilgisini almaktadır. Modelde bulunan her bir ağaç girdileri aşağıdaki fonksiyon ile sol ya da sağ çocuğuna yönlendirmektedir:

$$h(x, \theta_j) \in \{0,1\} \quad (1) \quad (\text{Formül 1})$$

Bu fonksiyondan (1) elde edilen çıktı 0 ise  $j$  düğümü girdiyi sol, aksi halde sağ çocuğa yönlendirmektedir. Fonksiyonda  $\theta = (k, \bar{h})$  ve  $h(x, \theta) = [x(k) < \bar{h}]$  olarak ifade

edilebilir. Model, eğitim esnasında ilgili fonksiyon parametrelerini ve uygun eşik değerini öğrenmektedir. Modelin başarılı şekilde çalışabilmesi için doğru karar ağaçlarından geçmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla eğitim kümesi üzerinde ilgili  $h(x, \theta)$  fonksiyonlarından elde edilen bilgi kazanımının yüksek olması için aşağıdaki

5 eşitlikler tanımlanmaktadır:

$$I_j = G(S_j) - \sum_{k \in \{L, R\}} \left( \frac{S_j^k}{S_j} \right) G(S_j^k) \quad (\text{Formül 2})$$

$$G(S_j) = - \sum_y P_y \log(P_y) \quad (\text{Formül 3})$$

Formül 2, modelde bulunan  $j$  düğümü için bilgi kazanımını hesaplamaktadır. Bu formülde  $S$  eğitim kümesini,  $G$  Shannon Entropiyi,  $L$  değeri ilgili düğümün sol çocuğunu ve  $R$  değeri ise sağ çocuğunu temsil etmektedir. Formül 2 genelleştirilip, YOM dahilindeki tüm iç düğümlere uygulandığında bilgi kazanımının en yüksek olduğu yapı öğrenilecektir. Böylece test esnasında, resimlerden elde edilen alt parçaların doğru uç düğümlere yönlendirilmesi ve dolayısıyla doğru sınıflandırılması sağlanacaktır. Formül 3'te  $P_y$  ifadesi  $S$  veri kümesinde bulunan  $y$  etiketlerinin oranını temsil etmektedir.

Özetle, Yapılandırılmış Orman Modeli birden çok sınıftan oluşan bir sınıflandırma modelidir. Eğitim esnasında modelin iç düğümleri ve ilgili parametreleri üzerinde Shannon Entropi yardımıyla yapılan düzenlemelerle girdi olan verilen alt parçanın ilgili uç düğüme ulaşması sağlanır. Modelde bulunan her sınıf, bir uç düğüm ile temsil edilmektedir. Bu sınıflar kenar bilgisi içermeyen düz bir bölge (flat region) olabileceği gibi bir tür kenar bilgisi de içerebilmektedir. Modelin eğitilmesinin ardından test aşamasında, resimler yine alt parçalarla temsil edilmekte ve alt parçalar YOM 15 yardımıyla bir etikete atanmaktadır. Bu etiketlendirme uzamsal olarak elde edilen tüm parçalar üzerinde yerel komşuluk bilgisi kullanılarak uygulanmakta ve bölütleme gerçekleştirilmektedir.

20 Uzamsal bölütleme yapılabilmesi için YOM'a alternatif farklı yöntemler de kullanılabilir.

Uzamsal bölütlemenin ardından radyans görüntüler üzerinde NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ve VREI (Vogelmann Red Edge Index) indeksleri çalıştırılmaktadır. NDVI toprak, yol gibi bitkilerden farklı yapılan elenmesi için kullanılmaktadır. Bu indeks aşağıdaki gibi formüle edilebilir:

$$5 \quad \text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red}} \quad (\text{Formül 4})$$

İndeks sonuçları [-1,1] aralığında üretilmektedir. Bu buluşta, NDVI için eşik değeri olarak tercihen 0.1 kullanılmış, bu eşik değerinden düşük tüm pikseller bitki olmayan unsur olarak işaretlenmiştir. NDVI dışında, ağaç benzeri yoğun bitki yapılarını eleyebilmek için VREI kullanılmıştır. VREI hiperspektral görüntüde bulunan piksellerin klorofil yoğunluğu, gölgelik yaprak alanı ve tutulan su miktarı gibi bilgilerini ölçmek için kullanılmaktadır. Haşhaş bitkisi görece zayıf ve küçük bir bitki olması nedeniyle, haşhaşın yoğun bitkilerden ve ağaçlardan ayrımını sağlamak için bu indeks katkı sağlamaktadır. Bu indeks aşağıdaki gibi formüle edilebilir:

$$10 \quad \text{VREI} = \frac{\rho_{734} - \rho_{747}}{\rho_{715} + \rho_{726}} \quad (\text{Formül 5})$$

15 Yukarıdaki eşitlikte bulunan  $\rho_n$  terimlerinde, n nanometre cinsinden dalga boyunu temsil etmektedir. Bu buluşta, VREI için eşik değeri olarak tercihen 0.8 kullanılmış, bu eşik değerinden büyük tüm pikseller ağaç ve benzeri unsur olarak işaretlenmiştir.

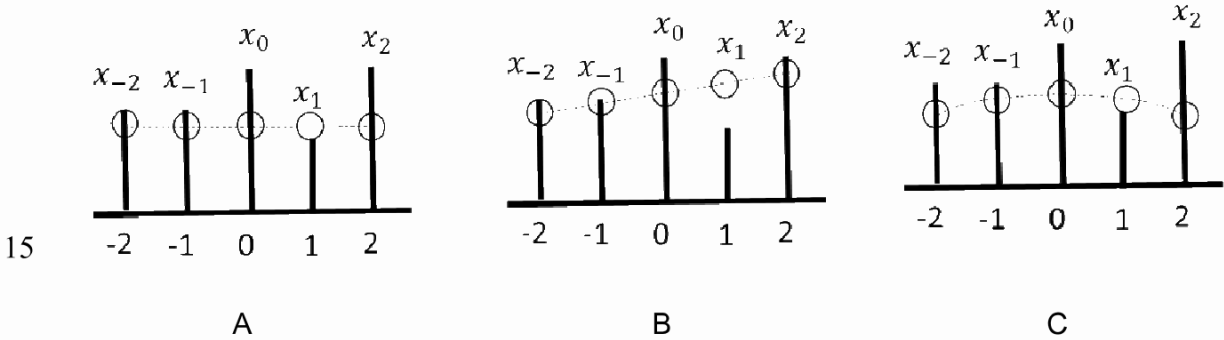
Bitki indekslerinin hesaplanmasının ardından radyans görüntü üzerinde beyazlatma işlemi (whitening transformation) uygulanmaktadır. Hiperspektral görüntülerdeki 20 örnekleme aralığının yakınlığı ve spektral çözünürlüğün genişliğinden hiperspektral görüntülerde spektral ilintinin yüksek olmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı, radyans veri-küpündeki ilintiyi azaltmak için beyazlatma işlemi kullanılmaktadır. Beyazlatma işleminde her bir piksel verisi, x, üzerinde Formül 6'da belirtilen işlemi uygulamaktadır ve beyazlatılmış veri, y, elde edilmektedir.

$$25 \quad y = \Sigma^{-1/2} x \quad (\text{Formül 6})$$

$$\Sigma = \frac{1}{Z} \sum_{i=1}^Z (x - \mu)(x - \mu)^T \quad (\text{Formül 7})$$

Formül 6'da kullanılan  $\Sigma$  ortak değışinti (covariance) matrisi olup Formül 7'de gösterilen eşitlikle hesaplanır. Bu eşitlikte,  $Z$  değışkeni görüntüdeki toplam piksel sayısını,  $\mu$  vektörü ise görüntüdeki piksellerin spektral ortalamasını temsil etmektedir.

- 5 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 değışik derecelerdeki çokterimliler oturtularak veri yumuşatmayı gerçekleştirmektedir. Bu yöntem gürültü temizlemede literatürde sıklıkla kullanılan FIR olan ortalama süzgeç
- 10 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 - 3 farklı derecede çokterimli kullanarak veriyi yumuşatma grafiği

- 20 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'de gösterilen  $x$  sinyali için 2 derece çokterimli kullanarak elde edilen yumuşatılmış sinyal değeri,  $\tilde{x}_m$ , Formül 8'deki gibi yazılabilir:

$$\tilde{x}_m = c_0 + c_1 m + c_2 m^2 \quad (m = -2, -1, 0, 1, 2) \quad (\text{Formül 8})$$

Burada veriye en uygun olarak oturan çokterimli katsayıları (  $c_0, c_1, c_2$  ) Formül 9'da belirtilen en az kareleme yöntemini kullanarak belirlenir.

$$\min J = \sum_{m=-2}^2 e_m^2 = \sum_{m=-2}^2 (x - (c_0 + c_1 m + c_2 m^2))^2 \quad (\text{Formül 9})$$

5 Maliyet fonksiyonu,  $J$ , orijinal sinyal ( $x$ ) ve kestirilen sinyal ( $\tilde{x}$ ) farkı olarak Formül 10'daki gibi yazabilir.

$$\min J = \|x - \tilde{x}\|^2 = (x - \tilde{x})^T (x - \tilde{x}) \quad (\text{Formül 10})$$

Kestirilen sinyal,  $\tilde{x}$ , matris ve vektör çarpımı olarak daha sade şekilde Formül 11'deki gibi belirtilebilir.

$$\tilde{x} = c_0 \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} + c_1 \begin{bmatrix} -2 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \\ 2 \end{bmatrix} + c_2 \begin{bmatrix} 4 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 4 \end{bmatrix} = c_0 S_0 + c_1 S_1 + c_2 S_2 = S c \quad (\text{Formül 11})$$

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

$$\min J = (x - S c)^T (x - S c) \quad (\text{Formül 12})$$

$$\frac{\partial J}{\partial c} = 0 \rightarrow S^T S c = S^T x \quad (\text{Formül 13})$$

15 Çokterimli katsayıları,  $S$  matrisinin yalancı-terci (pseudoinverse) ile orijinal sinyal ( $x$ ) 'in çarpımı olarak Formül 14'te gösterildiği gibi yazılabilir.

$$c = (S^T S)^{-1} S^T x \quad (\text{Formül 14})$$

Kestirimi yapılan sinyali,  $\tilde{x}$ , çokterimli katsayılarını kullanarak Formül 15'teki gibi yazılmaktadır.

$$\tilde{x} = S c = S (S^T S)^{-1} S^T x = B x \quad (\text{Formül 15})$$

20 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.

Bu buluşta tercihen, veri-küplerini elde ederken filtre uzunluğu 55, çokterimlilerin derecesi ise 3 olarak seçilmiştir. Normal şartlarda, SGF gürültü gidermek amacıyla kullanılmaktadır ve bu amaçla filtre uzunluğu küçük seçilmektedir. Ancak bu buluşta, SGF baskın hiperspektral karakterleri ortaya koymak için kullanılmaktadır. Bu amaçla 5 filtre uzunluğu bant sayısının neredeyse 3'te 1'i olacak şekilde seçilmektedir. Yakın Kızılötesi Hiperspektral Kamera görüntüler 182 spektral banttandır olduğu için filtre boyu olarak 55 uygun görülmüştür. Filtre uzunluğu için [50-65] aralığında benzer sonuçların oluşması beklenmektedir.

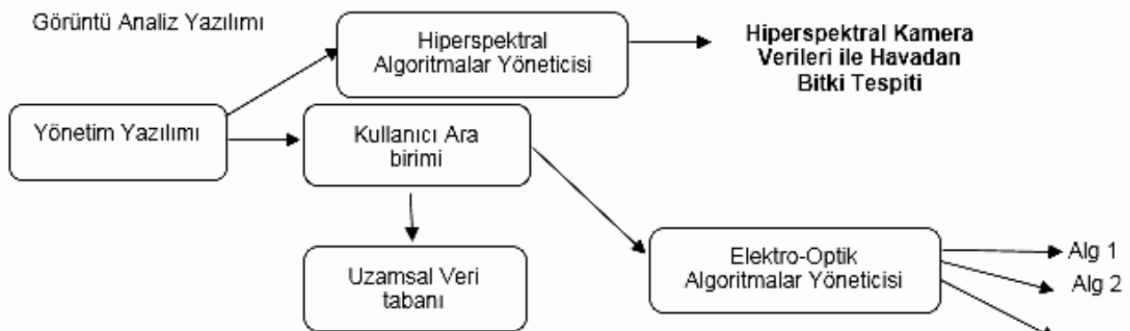
SGF filtresi uygulandıktan sonra elde edilen veri-küpü üzerinde haşhaş bitkisini diğer unsurlardan ayırt edici bantlar (1 ve 165. bantlar) ortaya çıkmaktadır. Ayrıca haşhaş hedefinin hiç karakter belirtisi göstermediği bant olarak da 78 gözlemlenmektedir. Buluşta, bantlar üzerinde aşağıdaki Formül 16 uygulanarak, haşhaş tespiti gerçekleştirilmeye çalışılmaktadır:

$$R = [(B_1 + B_{165}) > T] * (1 - B_{165}) \quad (\text{Formül 16})$$

15 Yukarıdaki eşitlikte bulunan  $B_n$  terimlerinde, n bant numarasını temsil etmektedir. Ayrıca,  $T$  eşikleme değeri ise 0.3 olarak belirlenmiştir.

Son olarak, SGF filtresinden gelen sonuçlar, NDVI ve VREI ve uzamsal bölütleme algoritması sonuçları birleştirilmektedir. Bölüt dâhilinde hedef olarak işaretlenen piksellerin, bölütte bulunan tüm piksellere oranı belli bir eşik değerinden büyükse, bölüt 20 haşhaş tarlası olarak işaretlenmektedir. Bu eşik değeri ise yapılan deneylerde 0.1 olarak belirlenmiştir.

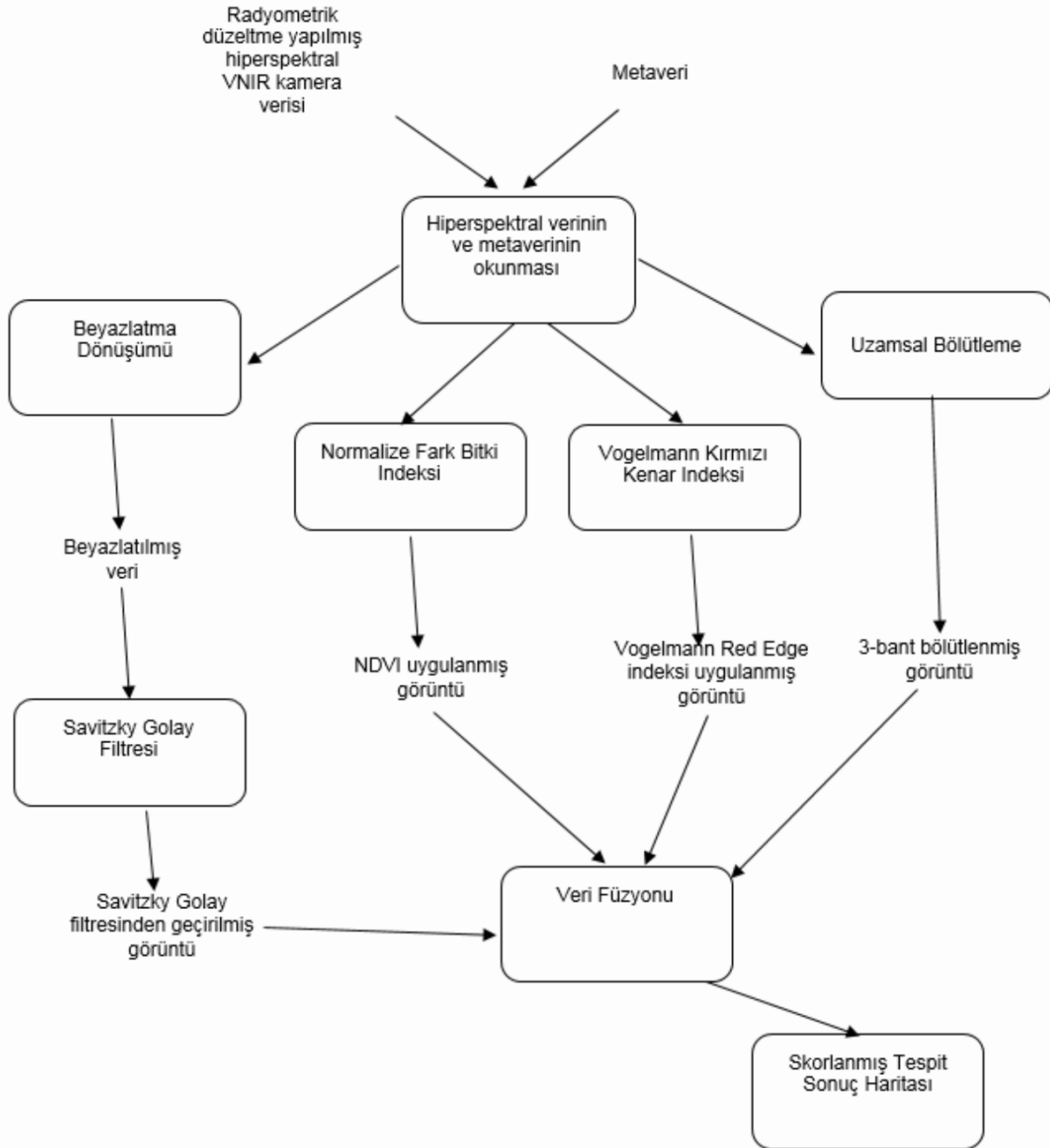
Kontrol birimi bitki tespit için yapılan işlemleri gerçekleştirmek ve algoritmaları koşturmak için en az bir görüntü analiz yazılımı içermektedir. Görüntü analiz yazılımının şematik gösterimi aşağıda Grafik 1'de yer almaktadır.



Grafik 1 – Kontrol biiminde yer alan görüntü analiz yazılımının şematik gösterimi

Buluş konusu tespit yöntemi (100) haşhaş dışında başka bitkilerin tespiti için de kullanılabilir. Bu amaçla, aranacak bitki türü için bakılan bant aralıklarının güncellenmesi gerekmektedir.

100



Şekil 1