

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

Hiperspektral kameralar kullanılarak havadan çekilmiş VNIR (Visible and Near
5 InfraRed) görüntülerden kenevir benzeri narkotik bitkilerin tespitini gerçekleştiren bir
tespit sistemi ve yöntemi (100) ile ilgilidir. Buluş özellikle kenevir bitkisinin havadan hızlı
ve etkin bir şekilde tespitini sağlamaktadır. Bu yöntem (100) ayrıca diğer bitkilerin de
havadan tespitinde kullanılabilir. Kenevir 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. Kenevir 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 kenevir benzeri narkotik bitkilerin tespitini gerçekleştiren bir tespit sistemi olup, **özelligi;**

5

❖ bahsedilen hiperspektral kamera kullanılarak, kenevir 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,

10

❖ hiperspektral görüntü verilerindeki gürültülerin azaltılması ve veri kalitesinin artırılması amacıyla verilerdeki atmosferik bantların atılması,

15

❖ görüntü verilerine ait piksel imzaları ile referans kütüphane kenevir imzaları arasındaki genlik farkının giderilmesi amacıyla görüntü verilerine spektral normalizasyon işleminin uygulanması,

❖ boyut azaltarak hedef tespit algoritmalarına olumlu katkı sağlamak amacıyla yüksek bant sayısına sahip görüntü verilerinin bant sayılarının düşürülmesi,

20

❖ kenevir imzası için spektral kütüphanenin oluşturulması,

❖ kenevir kütüphane imzasının tüm görüntü verilerinde imza benzerlik yöntemi ile aranması,

❖ kenevir kütüphane imzasının belirli bantlar için imza benzerlik yöntemi ile aranması,

25

❖ kenevir kütüphane imzasının türev imzaları için imza benzerlik yöntemi ile aranması,

❖ küçük nesnelere elenmesini sağlamak amacıyla, uzamsal bölütleme yapıp seçilen pikselin bulunduğu bölütteki toplam piksel sayısına bakıldığı, bölüt piksel sayısı analizinin gerçekleştirilmesi,

30

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

❖ bu aşamaya kadar elenememiş olan yanlış alarmları elemek ve tarladaki sınır piksellerini elemek amacıyla, görüntü verilerindeki

en güvenilir kenevir imzalarını seçmede kullanılan pencere tabanlı güven aralığı analizinin gerçekleştirilmesi,

- ❖ güven aralığı analizi sonucunda güvenilir etiketini alan her bir piksel için istatistiksel tabanlı yöntemler kullanılarak görüntüdeki hedef olan alanların bulunması,
- ❖ elde edilen sonuç haritalarının eşiklenerek görüntüdeki kenevir alanlarının tespit edilmesi,
- ❖ elde edilen skorlanmış tespit sonuç haritasındaki tek ve çok küçük piksel gruplarını elemek ve anlamlı ve büyük piksel gruplarını elde etmek için tespit sonuç haritasına bağlı piksel grubu analizi ve morfolojik işlemlerin uygulanması

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**; pencere tabanlı güven aralığı analizinde; görüntüye kütüphane imzasını kullanarak imza benzerlik yöntemini uygulayan, görüntü yüksekliğine bağlı olarak daha önceden belirlenen eşik değerine göre en yüksek skorlu ilk N pikseli alan, eşiklenen benzerlik sonucuna göre belirlenen pencerenin gezdirilebileceği bir binary (ikili) harita oluşturan, en yüksek skorlu pikselden başlayarak her bir pikselin konumu merkezde olacak şekilde pikselin etrafından bir kare çizen, çizilen karenin içi ikili haritada yoğun miktarda eşiklenmiş piksel içeriyorsa o pikseli güvenilir piksel olarak kabul eden kontrol birimi içermesidir.

4. İstem 1'e uygun bahsedilen sistem olup, **özelliği**; hedef tespit algoritması olarak uzaktan algılama alanında hedef tespitine yönelik kullanılan ve işaret tespit ve kestirim teorisine dayanan Genelleştirilmiş Olabilirlik Test Oranı (GLRT) istatistiksel tespit yöntemini kullanan kontrol birimi içermesidir.

5. İstem 1'e uygun bahsedilen sistem olup, **özelliği**; imza benzerlik yöntemi olarak referans spektrum ile test spektrum arasındaki açının hesaplanması esasına dayanan Spektral Açık Eşleyicisi (SAM) algoritmasını kullanan kontrol birimi içermesidir.

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

- ❖ hiperspektral kamera kullanılarak, kenevir 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, hiperspektral görüntü verilerindeki gürültülerin azaltılması ve veri kalitesinin artırılması amacıyla verilerdeki atmosferik bantların atılması,
- ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, görüntü verilerine ait piksel imzaları ile referans kütüphane kenevir imzaları arasındaki genlik farkının giderilmesi amacıyla görüntü verilerine spektral normalizasyon işleminin uygulanması,
- ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, boyut azaltarak hedef tespit algoritmalarına olumlu katkı sağlamak amacıyla yüksek bant sayısına sahip görüntü verilerinin bant sayılarının düşürülmesi,
- ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, kenevir imzası için spektral kütüphanenin oluşturulması,
- ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, kenevir kütüphane imzasının tüm görüntü verilerinde imza benzerlik yöntemi ile aranması,
- ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, kenevir kütüphane imzasının belirli bantlar için imza benzerlik yöntemi ile aranması,
- ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, kenevir kütüphane imzasının türev imzaları için imza benzerlik yöntemi ile aranması,
- ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, küçük nesnelere elenmesini sağlamak amacıyla, uzamsal bölütleme yapıp seçilen pikselin bulunduğu

bölütteki toplam piksel sayısına bakıldığı, bölüt piksel sayısı analizinin gerçekleştirilmesi,

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

❖ kontrol birimi vasıtasıyla, bu aşamaya kadar elenememiş olan yanlış alarmları elemek elemek ve tarladaki sınır piksellerini elemek amacıyla, görüntü verilerindeki en güvenilir kenevir imzalarını seçmede kullanılan pencere tabanlı güven aralığı analizinin gerçekleştirilmesi,

❖ kontrol birimi vasıtasıyla, güven aralığı analizi sonucunda güvenilir etiketini alan her bir piksel için istatistiksel tabanlı yöntemler kullanılarak görüntüdeki hedef olan alanların bulunması,

❖ kontrol birimi vasıtasıyla, elde edilen sonuç haritalarının eşiklenerek görüntüdeki kenevir alanlarının tespit edilmesi,

❖ kontrol birimi vasıtasıyla, elde edilen skorlanmış tespit sonuç haritasındaki tek ve çok küçük piksel gruplarını elemek ve anlamlı ve büyük piksel gruplarını elde etmek için tespit sonuç haritasına bağlı piksel grubu analizi ve morfolojik işlemlerin uygulanması

işlem adımlarını içermesidir.

7. İstem 6'ya 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.

8. İstem 6'ya uygun bahsedilen yöntem (100) olup, **özelliği**; pencere tabanlı güven aralığı analizinde; kontrol birimi vasıtasıyla, görüntüye kütüphane imzası kullanılarak imza benzerlik yönteminin uygulanması, görüntü yüksekliğine bağlı olarak daha önceden belirlenen eşik değerine göre en yüksek skorlu ilk N pikselin alınması, eşiklenen benzerlik sonucuna göre belirlenen pencerenin

gezdirebileceği bir binary (ikili) haritanın oluşturulması, en yüksek skorlu pikselden başlanarak her bir pikselin konumu merkezde olacak şekilde pikselin etrafından bir kare çizilmesi, çizilen karenin içi ikili haritada yoğun miktarda eşiklenmiş piksel içeriyorsa o pikselin güvenilir piksel olarak kabul edilmesidir.

- 5 **9.** İstem 6'ya uygun bahsedilen yöntem (100) olup, **özelliği;** kontrol birimi vasıtasıyla, hedef tespit algoritması olarak uzaktan algılama alanında hedef tespitine yönelik kullanılan ve işaret tespit ve kestirim teorisine dayanan Genelleştirilmiş Olabilirlik Test Oranı (GLRT) istatistiksel tespit yönteminin kullanılmasıdır.
- 10 **10.** İstem 6'ya uygun bahsedilen yöntem (100) olup, **özelliği;** kontrol birimi vasıtasıyla, imza benzerlik yöntemi olarak referans spektrum ile test spektrum arasındaki açının hesaplanması esasına dayanan Spektral Açık Eşleyicisi (SAM) algoritmasının kullanılmasıdır.

TARİFNAME

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

Teknik Alan

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

Tekniğin Bilinen Durumu

- 10 Kenevir 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 Literatürde bu konuda sınırlı sayıda çalışma olduğu bilinmektedir. Hiperspektral kameralar ile hava görüntülerinden kenevir tespiti yapabilen literatürde benzer bir yöntem veya sistem bulunmamaktadır. Literatürde yer alan makalelerde bahsedilen yöntemlerin başarımları oldukça sınırlı ve düşüktür.

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.

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

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

Buluşun Amacı

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

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

5 Buluşun diğer bir amacı, kenevir 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.

10 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 yönteme ait akış diyagramıdır.

15 **Parça Referanslarının Açıklaması**

100. Tespit yöntemi

Buluşun Detaylı Açıklaması

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

25 Buluş özellikle kenevir bitkisinin havadan hızlı ve etkin bir şekilde tespitini sağlamaktadır. Bu yöntem (100) ayrıca diğer bitkilerin de havadan tespitinde kullanılabilir. Kenevir 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 kenevir benzeri narkotik bitkilerin tespitini gerçekleştiren bir tespit sistemi olup,

- ❖ kenevir 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

5

çermektedir.

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

- 10 ❖ hiperspektral kamera kullanılarak, kenevir 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,
- 15 ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, hiperspektral görüntü verilerindeki gürültülerin azaltılması ve veri kalitesinin artırılması amacıyla verilerdeki atmosferik bantların atılması,
- ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, görüntü verilerine ait piksel imzaları ile referans kütüphane kenevir imzaları arasındaki genlik farkının giderilmesi amacıyla
- 20 görüntü verilerine spektral normalizasyon işleminin uygulanması,
- ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, boyut azaltarak hedef tespit algoritmalarına olumlu katkı sağlamak amacıyla yüksek bant sayısına sahip görüntü verilerinin bant sayılarının düşürülmesi,
- ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, kenevir imzası için spektral kütüphanenin
- 25 oluşturulması,
- ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, kenevir kütüphane imzasının tüm görüntü verilerinde imza benzerlik yöntemi ile aranması,
- ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, kenevir kütüphane imzasının belirli bantlar için imza benzerlik yöntemi ile aranması,
- 30 ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, kenevir kütüphane imzasının türev imzaları için imza benzerlik yöntemi ile aranması,

- ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, küçük nesnelere elenmesini sağlamak amacıyla, uzamsal bölütleme yapılarak seçilen pikselin bulunduğu bölütteki toplam piksel sayısına bakıldığı, bölüt piksel sayısı analizinin gerçekleştirilmesi,
 - 5 ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, görüntü verilerinde bulunan tarlaların sınırlarının ve taşma miktarının tespiti için üç bant kullanılarak uzamsal bölütlemenin yapılması,
 - ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, bu aşamaya kadar elenememiş olan yanlış alarmları elemek ve tarladaki sınır piksellerini elemek amacıyla, görüntü verilerindeki en güvenilir kenevir imzalarını seçmede kullanılan pencere tabanlı 10 güven aralığı analizinin gerçekleştirilmesi,
 - ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, güven aralığı analizi sonucunda güvenilir etiketini alan her bir piksel için istatistiksel tabanlı yöntemler kullanılarak görüntüdeki hedef olan alanların bulunması,
 - ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, elde edilen sonuç haritalarının eşiklenerek görüntüdeki 15 kenevir alanlarının tespit edilmesi,
 - ❖ kontrol birimi vasıtasıyla, elde edilen skorlanmış tespit sonuç haritasındaki tek ve çok küçük piksel gruplarını elemek ve anlamlı ve büyük piksel gruplarını elde etmek için tespit sonuç haritasına bağlı piksel grubu analizi ve morfolojik işlemlerin uygulanması
- 20 işlem adımlarını içermektedir (Şekil 1).

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) kenevir bitkisi tespiti üzerinde uygulanmıştır.

- 25 Hiperspektral kamera vasıtasıyla elde edilen veriler kontrol birimine kayıt edilmektedir. Kontrol birimi kayıt edilen görüntü verileri ve metaverileri kullanarak kenevir 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.

Atmosferik Gazların Etkin Olduğu Spektral Bantların Atılması

Hiperspektral görüntülerde atmosferik etkilerden (atmosferde bulunan gazlardan) ötürü bazı spektral bantlarda gürültüler veya bantların değerlerinde düşüşler meydana gelmektedir. Bu gürültülerin varlığı görüntü üzerinde sırasıyla gerçekleştirilecek bölütleme, sınıflandırma, spektral ayrıştırma gibi hedef tespiti işlemlerinde performans düşümüne sebep olabilmektedir. Bu yüzden hiperspektral verilerdeki gürültüleri azaltmak ve atmosferik bantları atmak veri kalitesini arttırmada önem arz etmektedir. Hiperspektral verilerdeki en kritik gürültü, yansıtıcı spektral bant bölgelerinde atmosferdeki oksijen, karbondioksit, nitrojen, su buharı vbe bunun gibi maddelerin varlığından kaynaklanmaktadır. Bu düşük sinyal oranına sahip ve materyal ile ilgili herhangi bir bilgi taşımayan bu spektral bantlar, görüntü analiz işlemlerinden önce atılmalıdır. Bitki hedef tespit çalışmalarında 760nm ile 780nm aralığı atmosferik bant olduğu ve herhangi bilgi taşımadığı için çekilen hiperspektral görüntülerden atılmıştır. Atılması gereken hiperspektral bant aralıkları ortam şartlarına (örneğin havada toz farklı bir gaz bulunması) ve kullanılan kameralara göre değişkenlik gösterebilir.

15 Spektral Normalizasyon İşlemi

Veriye ait piksel imzaları ile referans kütüphane kenevir imzaları arasındaki genlik farkının giderilmesi amacıyla vektörel normalizasyon işlemi uygulanmaktadır. Normalizasyon sonrasında spektral imzalar üzerinden hedef tespiti gerçekleştirilmektedir. Hiperspektral görüntü ile dalga boylarına göre yansıma elde edilmektedir. Yansıma spektrumlarında ötelenme ve düzgün dağılmayan ışıklılıktan kaynaklanan hatalar gözlenmektedir. Normalizasyon işlemi ile meydana gelen farklılıkların belirli oranda giderildiği gözlenmektedir. Verideki az ışıklı piksel ile çok ışıklı piksel arasındaki genlik farkının giderilmesi amacıyla vektörel normalizasyon işlemi yapılmaktadır.

$$25 \quad \hat{y} = \frac{y}{\|y\|_1} \quad (\text{Formül 1})$$

Formül 1'de $\|y\|_1$ sembolü L-1 normunu, \hat{y} ise normalize edilmiş spektral imzayı temsil etmektedir. N bantlı bir spektral imzanın L-1 normu Formül 2'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\|y\|_1 = \sum_{r=1}^n |y_r| \quad (\text{Formül 2})$$

Normalizasyon sonrasında spektral imzalar üzerinden hedef tespit işlemi yapılmaktadır. Formül 2'de de görüldüğü gibi normalize edilmemiş imzalar arasındaki genlik farkı normalize işlemi ile giderilmektedir.

L-1 norm yerine L-2 norm da kullanılarak normalizasyon işlemi yapılabilir.

5 Bant Düşürme

Sınıflandırmada yapılan bant sayısındaki artış sahnedeki objelere detaylı bilgiler sunmasına karşı, karmaşık ve yoğun miktarda bilgi içeren veri setlerinin analizi ve işlenmesi problemini ortaya çıkarmaktadır. Teorik olarak sınıflandırma işleminde spektral çözünürlük ve kullanılan bant sayısı arttıkça sınıflandırmaya esas piksellerin birbirinden daha kolay ayırt edilebileceği öngörülmektedir. Ancak pratik deneyimler bu durumun her zaman geçerli olmadığını göstermektedir. Bunun temel nedeni yüksek spektral çözünürlüğe sahip veri setlerinin birbiri ile korelasyonu, gürültülü, tekrarlı ve gereksiz bilgiler içeren bantlara sahip olmasıdır. Boyutsallık problemi ve Hughes fenomeni veri boyutunun artmasıyla ortaya çıkan önemli bir problem olarak bilinmektedir. Boyutsallık probleminin uzaktan algılamada görüntü işleme uygulamalarını önemli derecede etkileyen iki problemi vardır. Birincisi kullanılan bant sayısı arttıkça sınıflandırma probleminin çözümü ve başarımı için daha fazla örnek pikselin kullanımına ve modellenmesine ihtiyaç duyulmasıdır. İkincisi ise sınıflandırmada kullanılacak modelin karmaşık hale gelerek sınıflandırma sonucunda hatalı piksellerin ortaya çıkması ve sınıflandırma doğruluğunun azalmasıdır.

Bu sebeplerden dolayı kenevir tespitinde hiperspektral kameralardan elde edilen 182 bantlık görüntüler bant düşürülmesi sonucunda tercihen 8 banda indirilmektedir. Boyut düşürmenin hedef tespit algoritmalarına olumlu katkıları olduğu gözlenmiştir. Bant sayısının azalmasının kenevir hedefinin diğer bitki türlerinden ayırt edilebilirliğini arttırdığı gözlenmiştir. Hedef tespit algoritmalarının sonuçlarındaki kontrastın daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Ayrıca 182 banttan 8 banda boyut indirgenmesi veri büyüklüğünü ciddi oranda düşürdüğü için algoritmaların koşum hızlarını artırarak daha kısa sürede sonuç elde edilebilmesini sağlamaktadır. Farklı bitkilerin tespiti için hiperspektral veri farklı sayıda bantlara indirgenebilir.

30 Spektral Kütüphane Oluşumu

Yapılan analizler sonucunda kenevir bitkisinin yaşam döngüsü genç kenevir, yeşil kenevir ve kuru kenevir olmak üzere 3 farklı döneme ayrılmıştır. Kenevir bitkisi ekim tarihinden itibaren ilk 3 aylık dönemi genç kenevir olarak adlandırılmıştır. Bu ilk 3 ayda kenevirin boyu genellikle 75cm'den küçük olduğu gözlenmiştir. İlk 3 aydan sonra kenevir bitkisi yeterli olgunluğa ulaşmış olup 5 aya kadar olan dönemi yeşil kenevir olarak adlandırılmıştır. Bu dönemde kenevirin boyunun en az 75cm olduğu gözlenmiştir. 5 aydan sonra kenevir kurumaya başladığı için bu dönem kuru kenevir olarak adlandırılmıştır. Kenevir imza kütüphanesi oluşturulurken de bu dönemler referans alınarak oluşturulmuştur. Kenevir kütüphanesi 50m'den çekilmiş görüntülerden genç döneme ait 1 imza, yeşil döneme ait 2 imza olmak üzere 3 farklı imza toplanarak oluşturulmuştur. Farklı bitkilerin yaşam döngüleri farklı sayıda dönemlere bölünüp benzer işlemler yapılarak tespitleri mümkün olacaktır.

Tüm Görüntü için İmza Benzerlik Yöntemleri Uygulanması

On işleme aşamalarından sonra kütüphane imzaları görüntüde imza benzerlik yöntemleri ile aranmaktadır. İmza benzerlik yöntemi olarak da tercihen Spektral Açık Eşleyicisi (SAM) algoritması kullanılmaktadır. Spektral Açık Eşleyicisi (SAM) hiperspektral görüntülerin sınıflandırılmasında en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu yöntem, referans spektrum ile test spektrum arasındaki açının hesaplanması esasına dayanır. Referans spektrumumuz ile bilinmeyen spektrum arasındaki açı Formül 3'te yer alan denklem kullanılarak hesaplanır. x test pikselin spektrumunu, y ise daha önceden bildiğimiz referans spektrumu temsil etmektedir. Hesaplanan açı ne kadar küçük ise test spektrumu referans imzasına o kadar benziyor anlamına gelir. SAM algoritma sonucu daha önceden belirlenen eşik değeri ile karşılaştırılarak sınıflandırma işlemi yapılmaktadır.

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{\langle x, y \rangle}{|x| |y|}\right) \quad (\text{Formül 3})$$

SAM algoritması sonucunun en düşük skorlu ilk N pikseli alınmaktadır. Yüksek skorlu her bir pikselin kenevir olup olmadığı şu ölçütler ile karşılaştırılmaktadır.

- Pikselin SAM sonucu önceden belirlenmiş eşik değerinden yüksek mi?
- Belirli Bantlar için İmza Benzerlik Yöntemlerinin Uygulanması: Eğer yüksek ise piksel imzasının 3. ve 7. bant aralığının SAM sonucu önceden belirlenmiş eşik değerinden yüksek mi?

- Türev İmzaları için İmza Benzerlik Yöntemlerinin Uygulanması: Eğer yüksek ise piksel imzasının türevi ile kütüphane imzasının türevi arasındaki SAM sonucu önceden belirlenen eşik değerinden yüksek mi?
- Bölüt Piksel Sayısı Analizi: Eğer yüksek ise pikselin ait olduğu uzamsal bölüt yeterli büyüklükte mi? (Buna bölütteki toplam piksel sayısını önceden belirlenen ve yüksekliğe bağlı olarak değişen eşik değeriyle karşılaştırılarak karar verilmektedir)

Yukarıdaki ölçütlere uyan pikselde, daha sonra pencere tabanlı güven aralığı analizi yapılmaktadır.

- 10 SAM algoritması yerine imzalar arasında benzerlik ölçebilen farklı yöntemler kullanılarak da bitki tespiti yapılabilecektir.

Uzamsal Bölütleme

- 15 Uzamsal bölütleme algoritması ile üç bant kullanılarak görüntüdeki sınır bilgileri çıkarılmaktadır. Bölütleme sonucunda hesaplanan her bir bölütteki piksel sayıları küçük nesnelerin elenmesinde kullanılmaktadır. Her bir bölütteki piksel sayısı yüksekliğe bağlı minimum piksel eşik değeriyle karşılaştırılmaktadır. Piksel sayısı eşik değerinin altında olan bölütler elenerek yanlış alarm gelme ihtimali olan ağaç benzeri yapıların elenmesinde kullanılmaktadır.

- 20 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.

- 25 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.
- 30

Ozetle, 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 yardımıyla bir etikete atanmaktadır. Bu etiketlendirme uzamsal olarak elde edilen tüm parçalar üzerinde yerel komşuluk bilgisi kullanılarak uygulanmakta ve bölütleme gerçekleştirilmektedir.

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

Pencere Tabanlı Güven Aralığı Analizi

Pencere tabanlı güven aralığı analizi görüntüdeki en güvenilir kenevir imzalarını seçmede kullanılmaktadır. Bu analiz sonucunda yukarıda değinilen 4 ölçüt ile elenemeyen yanlış alarmların elenmesi sağlanabilmektedir. Ayrıca bu yöntem ile tarladaki sınır piksellerini elemek mümkün hale gelmektedir. Öncelikle belirlenen pencerenin gezdirilebileceği bir binary (ikili) harita oluşturulur. Bu haritayı oluşturmak için görüntüye kütüphane imzasını kullanarak imza benzerlik yöntemleri uygulanır. Burada imza benzerlik yöntemi olarak SAM algoritması kullanılmıştır. Elde edilen SAM sonucu en düşük değerden en yüksek değere göre sıralanır. Ardından yüksekliğe bağlı olarak daha önceden belirlenen eşik değerine göre en yüksek skorlu ilk N piksel alınır. Bu eşik değeri görüntü yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir. Eşiklenen SAM sonucunda ikili harita elde edilmektedir. Elde edilen bu harita pencere gezdirmede kullanılacaktır. Daha sonra en yüksek skorlu pikselden başlayarak her bir pikselin konumu merkezde olacak şekilde pikselin etrafından bir kare çizilir. Çizilen karenin içi yoğun miktarda eşiklenmiş piksel içeriyorsa (ikili haritada) o piksel güvenilir piksel olarak kabul edilmektedir. Piksel eğer bir tarlanın içerisindeyse karenin içerisinde yoğunluk beklenmektedir. Fakat piksel hedef olmayıp küçük bir alanın içerisindeyse (ağaç vs.) karenin içerisinde yoğunluk değil az bir kısmının dolu olması beklenmektedir. Bu özellikte olan pikseller güvenilir piksel olarak kabul edilmemektedir.

İstatiksel Tabanlı Yöntemler ile Hedef Tespiti

Pencere tabanlı güven aralığı analizi ile seçilen güvenilir kenevir piksel imzaları daha sonra hedef tespit algoritmaları kullanılarak görüntüde aranmaktadır. Uzaktan algılama alanında hedef tespitine yönelik kullanılan, işaret tespit ve kestirim teorisine dayanan çeşitli istatistiksel tabanlı tespit algoritmaları mevcuttur. Yani hedef tespit algoritması olarak Adaptive Cosine Estimator (ACE), Genelleştirilmiş Olabilirlik Test Oranı (GLRT) gibi istatistiksel tespit yöntemleri kullanılabilir. Geliştirilen algoritmada tercihen GLRT yöntemi hedef tespitinde kullanılmıştır. Genelleştirilmiş Olabilirlik Oran Testi (GLRT) algoritmaları yaygın olarak kullanılan istatistiksel tespit algoritmalarındandır.

İki tane hipotez bulunmaktadır: Sadece gürültü H_0 hedefin ana huzmede olduğu yan huzmede karıştırıcının olmadığı durum H_0 , karıştırıcının yan huzmede olduğu hedefin ana huzmede olmadığı durum H_1 . Söz konusu hipotezler Formül 4 ve Formül 5'te gösterilmiştir.

$$H_0 : \text{gürültü (Hedef yok)}, \quad \text{gürültü} \sim N_p(0, \Sigma_0) \quad (\text{Formül 4})$$

$$H_1 : \text{hedef - gürültü (Hedef var)} \sim N_p(a\mathbf{s}, \Sigma_0), \quad a \geq 0 \quad (\text{Formül 5})$$

Bu denklemde $N_p(0, \Sigma_0)$ ana ve yardımcı kanaldaki alıcı gürültülerini sırasıyla göstermektedir. Burada, $N_p(0, \Sigma_0)$ ortalaması sıfır ve varyansı olan dairesel simetrik karmaşık Gauss rasgele değişkeni göstermektedir.

H_0 ve H_1 hipotezlerini ayırabilmek amacıyla olabilirlik oran testi (LRT) Formül 6'daki gibi yazılabilir:

$$\Lambda(\hat{\mathbf{x}}, \hat{\mathbf{s}}) = \frac{f_{\mathbf{x}}(\mathbf{x}; H_1)}{f_{\mathbf{x}}(\mathbf{x}; H_0)} \frac{\eta_{H_1}}{\eta_{H_0}} \quad (\text{Formül 6})$$

Burada H_i hipotezi altında \mathbf{X} 'in olasılık yoğunluk fonksiyonu Formül 7'de gösterilen şekilde oluşmaktadır:

$$f_{\mathbf{x}}(\mathbf{x}; H_i) = \frac{1}{\pi^2 |\mathbf{C}_i|} \exp(-\mathbf{X}^H \mathbf{C}_i^{-1} \mathbf{X}), \quad i = \{0, 1\} \quad (\text{Formül 7})$$

\mathbf{C}_i matrisi aşağıdaki Formül 8 ile hesaplanmaktadır:

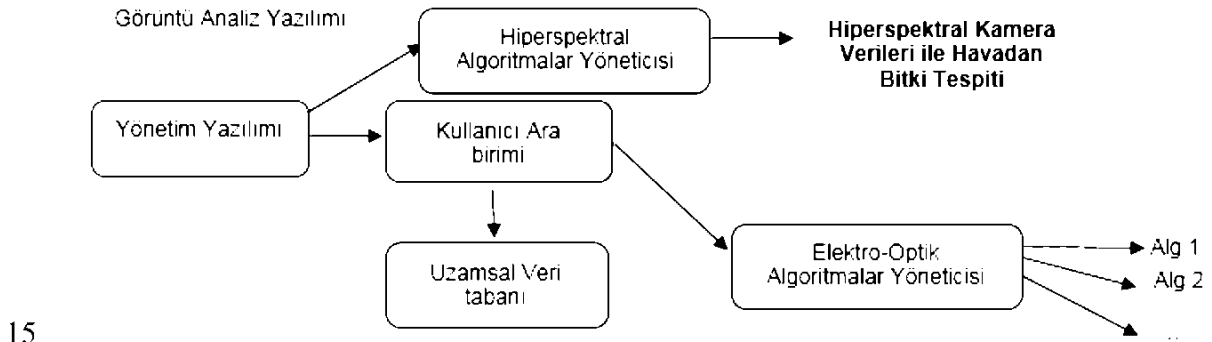
$$\mathbf{C}_i = E[\mathbf{X}\mathbf{X}^H; H_i], \quad i = \{0, 1\} \quad (\text{Formül 8})$$

Daha sonra her bir güvenilir kenevir pikseli için elde edilen GLRT sonucu eşiklenerek görüntüdeki kenevir alanları tespit edilmektedir. Bu tespit edilen alanlar birleştirilerek olası kenevir sonuç haritası oluşturulduktan sonra son işleme kısmına geçilmektedir.

Bağlı Piksel Grubu Analizi ile Son İşleme

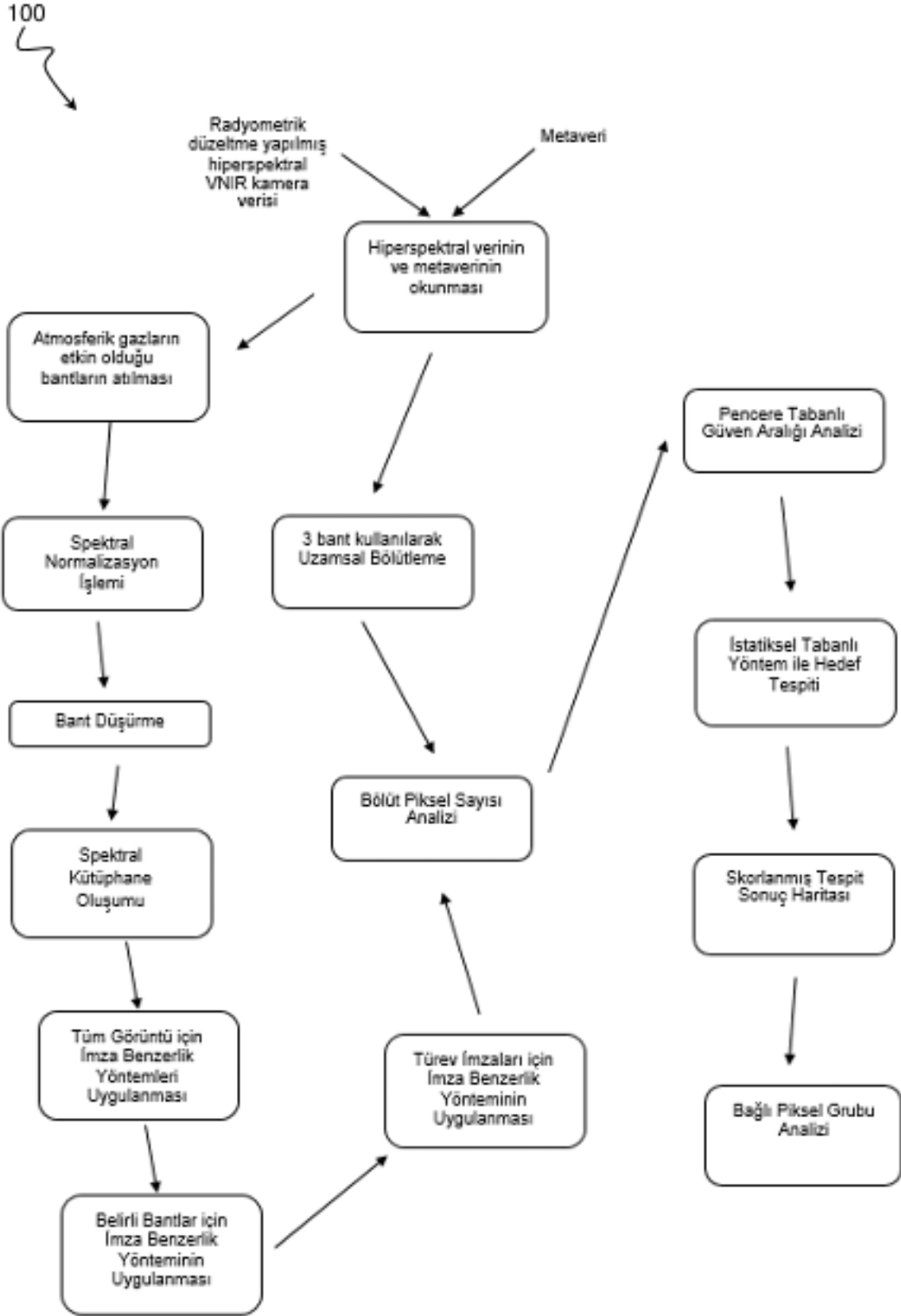
- 5 Elde edilen skorlanmış tespit sonuç haritasına bağlı piksel grubu analizi ve morfolojik işlemler uygulanmaktadır. Bağlı piksel grubu analizi eşiklenmiş istatistiksel tabanlı hedef tespit algoritmanın sonuçlarındaki tek ve çok küçük piksel gruplarını elemeye kullanılmaktadır. Bu aşamadan sonra anlamlı ve büyük piksel grupları kalmaktadır. Daha sonra elde edilen sonuçta bulunan birbirine uzamsal olarak yakın olan piksel
- 10 grupları genişleme hareketleriyle birleştirilmektedir. Bu sayede gerçek tarla bütünlüğü ve sınırları elde edilmektedir.

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 biriminde yer alan görüntü analiz yazılımının şematik gösterimi

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



Şekil 1