



Bilgisayarlı Görme Esaslı Değişken Oranlı Bir Alev Makinası İçin Görüntü Alma Sisteminin Optimizasyonu

Ferhat KURTULMUŞ^{1*}, Kadir Tayfun SEFİL², Kübra KARGACI³, Selçuk ARSLAN⁴

Öz: Bu çalışmanın amacı, yabancı ot kontrolü için kullanılan bir alev makinesi prototipine entegre edilecek görüntü işleme esaslı, yapay aydınlatmalı bir görüntü alma sistemi geliştirmektir. Ayrıca, düşük maliyetli bir gömülü devre ve kamera (Raspberry Pi 3) kullanan görüntü işleme sisteminin yapay aydınlatmalı görüntü alma odacığının gerekli işletme parametrelerini belirlemek hedeflenmiştir. Görüntü işleme algoritmalarının geliştirilmesi ve sayısal analiz aşamalarında OpenCV açık kaynak kodlu görüntü işleme kütüphanesi ve Python programlama dili kullanılmıştır. Sistem geliştirme aşamalarında geliç (*SorghumhalepenseL.*), pıtrak (*Xanthiumstrumarium L.*), tarla sarmaşığı (*Convolvulusarvensis L.*) ve köygöçüren (*Cirsiumarvensis*) otlarının bulunduğu bir arazi koşulunda yabancı otların görüntüleri alınmıştır. Dış ortama açık ve yapay aydınlatma sistemiyle alınan görüntülerin histogramları karşılaştırılmıştır. Yabancı ot piksel dağılımları incelenerek ikilileştirme için uygun eşik değerleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, geliştirilen algoritma 20 fps'ye yakın hızlarda hareketli görüntüler üzerinde çalıştırılarak anlık yabancı ot oranlarının belirlenebileceği bulunmuştur. Geliştirilen sistem kullanılarak test görüntülerinde yabancı ot piksel oranı %98'lik bir başarı ile hesaplanabilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Değişken düzeyli uygulama, görüntü işleme, hassas tarım, yabancı ot alevleme).

* **Sorumlu yazar/Corresponding Author:** ¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bursa ferhatk@uludag.edu.tr **OrcID:** 0000-0002-7862-6906

² Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa ktsefil@hotmail.com **OrcID:** 0000-0002-3129-086X

³ Kurtsan Tarım, Selahaddin Eyyubi Mahallesi, 1596. Sk. No:3, 34517 Esenyurt/İstanbul kargaci.kubra@gmail.com **OrcID:** 0000-0003-3382-3428

⁴ Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bursa sarslan@uludag.edu.tr **OrcID:** 0000-0003-4636-1234

Optimization of Image Acquisition System using Computer Vision for a Variable Rate Flame Weeder

Abstract: The objective of this study was to develop an image acquisition system, based on artificial lighting and image processing, which could be integrated with a prototype weed flaming machine used for weed control. Additionally, it was aimed to determine the operational parameters of the image acquisition chamber of the artificially illuminated image processing system using a low cost embedded circuit and a camera (Raspberry Pi 3). OpenCV image processing library and Python programming language were used in the development stages of image processing algorithms and numerical analysis. During the system development steps, images of weeds were taken in a field condition with a mixture of various weed species, including *Sorghum halepense* L., *Xanthium strumarium* L., *Convolvulus arvensis* L., and *Cirsium arvense*. The histograms of the images obtained in the daylight and under the artificially led chamber were compared. The pixel distributions of weeds were studied and the appropriate threshold values were found for binarization. As a conclusion, it was found that, using the system developed, real-time weed rates could be determined by working on live images at about an image acquisition speed of 20 pfs. Using the system developed, it was possible to obtain 98% success in determining the weed pixel percentages using the test images.

Keywords: Image analysis, precision agriculture, variable rate application, weed flaming.

Giriş

Arazi içi uzamsal değişkenliklerle mücadele etmek üzere hassas tarımda değişken düzenli uygulamaların büyük bir yeri vardır. Bu uygulamalar genel olarak harita ve duyurga esaslı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Çoğu zaman çiftçiler için oldukça pahalı görülen konumlama sistemlerine ihtiyaç duymayan duyurga esaslı değişken düzeyli uygulama sistemlerinin geliştirilmesi hassas tarım teknolojilerinin daha kullanılabilir hale gelebilmesi bakımından önem taşımaktadır. Tarımsal üretimde yabancı ot mücadelesi büyük bir maliyet ve işgücü yükü getirmektedir. Özellikle organik tarım uygulamalarının ilaç kullanımını sınırlaması alevleme gibi alternatif çözümlerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Değişken düzeyli alevleme uygulamasında yabancı ot üzerine uygulanacak alevin şiddetinin tespit edilen ot yoğunluğuna göre ayarlanabilmesi yakıt maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilir, toprak ekosisteminin alevden daha az zarar görmesi sağlanabilir. Arazide sıralar arasındaki yabancı ot yoğunluğu görüntü işleme teknikleriyle belirlenebilir. Bilgisayarlı görme teknikleri ile yabancı ot mücadelesi üzerine yapılan çalışmalar bilgisayar sistemlerinin gelişme süreciyle paralel bir gelişim göstermiştir. Kültür bitkisi ile yan yana yetişen yabancı otun üretim sahasında algılanması yer veya hava fotoğrafları aracılığı ile yapılabilmektedir. Erken dönemde Guyer ve ark. (1986) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada yabancı ot toprak üzerinde algılanmaya çalışılmıştır. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen çalışmanın ana amacı yabancı

ot piksellerinin arka planda bulunan toprak görüntüsünden ayrılmasıydı. Yakın kızıl ötesi toprak yansımada özelliği ile bitkinin ayırt edilmesinde umut verici bulgular rapor edilmiştir. Lee ve ark. (1999), domates yetiştiriciliğinde değişken oranlı yabancı ot ilacı uygulaması üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada yabancı otun algılanması amacıyla görüntü işleme yöntemlerinden yararlanılmıştır. Yabancı ot ile kültür bitkisinin ayırt edilmesinde renk ve şekil özelliklerinden yararlanılmıştır. Geliştirilen sistem, sıra üzeri seyir halindeyken yabancı otun saptandığı kısımlara karşılık gelen ilaçlama memelerini kontrol eden valfleri konuma özel kontrol edebilmektedir. Çalışmada yabancı otun algılanmasında çeşitli koşullar için %90'lar seviyesinde başarı oranları rapor edilmiştir. Tahıl arazilerinde yabancı ot, ürün ve toprağın toprak yakın yüzey görüntülerinden ayırt edilebilmesi amacıyla Perez ve ark. (2000) tarafından bazı görüntü işleme algoritmaları geliştirilmiştir. Gerçek tarla koşullarındaki görüntülerle gerçekleştirilen çalışmada renk ve şekil analizleriyle ürün, yabancı ot ve toprağın ayırt edilmesi amacıyla geliştirilen algoritmaların saptama bulguları uzman gözü tarafından belirlenen değerlerle karşılaştırılmıştır. Çalışmada şekil analizinin dahil edildiği algoritmalar için yabancı otun %85'lik bir doğrulukla saptanabildiği bildirilmiştir. Burgos-Artizzu ve ark. (2011), mısır tarlalarında yabancı ot öbeklerini gerçek zamanlı görüntüler kullanarak saptamak üzere bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Geliştirilen sistem iki farklı algılama sisteminden oluşturulmuştur. Bu sistemlerden bir tanesi daha hızlı ve hatalara yatkın olup, daha yavaş çalışan diğer sistem bir alt sistem olarak bu sistemin hatalarını düzeltmektedir. Renk esaslı ikilileştirme ve ağılamaya dayalı sistem traktör üzerine monte edilerek çalıştırılmış ve 7 km/h ilerleme hızında %85'lik saptama başarıları rapor edilmiştir. Tellaèche ve ark. (2011) tahıl tarlalarında özel bir yabancı otun görüntü işleme yöntemleriyle saptanarak değişken oranlı yabancı ot mücadelesinde kullanımı için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Geliştirilen yöntemde algılama sistemi iki aşamalı olarak oluşturulmuştur. İlk aşamada bitki sıraları sayısal görüntü üzerinde renk esaslı ikilileştirme ile hesaplanmış daha sonra hesaplanan öznitelikler ve destek vektör makinesi ile yabancı otun algılanması için bir model ortaya konulmuştur. Araştırmacılar algılama başarısı olarak %55 ile %80'ler arasında başarı değerleri rapor etmişlerdir. Kiani ve Jafari (2012) otomatik yabancı ot mücadelesi için makine görme ve öğrenme yöntemlerini kullanarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada bitki sıralarını ve yabancı otları tanımlamak için renk esaslı eşikleme sonrası elde edilen ikili görüntü üzerinde çeşitli şekil analizleri gerçekleştirilmiştir. Hesaplanan şekilsel öznitelikleriyle yapay sinir ağları ve diskriminant analizi gibi makine öğrenme modelleri eğitilmiştir. Araştırmacılar algılama başarısı için %95'ler düzeyinde başarı oranı rapor etmişlerdir. Paikere ve ark. (2016) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada yabancı ot saptanmasında kullanılmak üzere bir görüntü işleme algoritması geliştirmişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında özellikle belirli bir yabancı otun saptanması üzerinde yoğunlaşmak yerine karşılaşılabilecek olası durumlardan birisi olan geniş yapraklı ve dar yapraklı bitkilerin birbirinden renk ve kenar gibi görüntü özellikleri üzerinde durmuşlardır. Renk ve kenar bitki öznitelikleri sayısallaştırılarak bu öznitelikler üzerinde eşik değerleri tanımlanmış ve bitkiler arasındaki ayırım gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yabancı otun saptanma başarısı için sayısal bir performans göstergesi rapor edilmemiştir. Malemath ve Hugar (2016), yabancı ot ilacının otomatik uygulanmasına yönelik olarak görüntü işleme teknolojilerine dayalı bir sistem geliştirmişlerdir. Çalışmada hem sıra arası hem sıra üzeri yabancı ot saptama denenmiştir. Gerçek zamanlı ve 25 fps hızda kayıt edilen görüntüler bir dizi algoritmayla renk ve kenar

özelliklerine göre işlenerek yabancı otun algılanması sağlanmıştır. Algılama sonrası bir mikroişlemciyle ilaçlama makinasının kontrol edilmesiyle otomatikleştirilmiş bir sistem ortaya konulmuştur. Demir ve ark. (2016) farklı yabancı otların renk özelliklerini görüntü işleme teknikleriyle belirlemek üzere bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada çerezlik kabak bitkisinde gözlenebilen yabancı otlar araştırılmıştır. Görüntü alma işlemi dijital kamera ile yapılmıştır. Yabancı otların R, G ve B renk uzaylarına ek olarak kromasite indekslerindeki değişimleri rapor edilmiştir.

Dış arazi ortam koşullarında maruz kalınan meteorolojik ve zamansal değişkenliklerden mümkün olduğunca bağımsız olarak alınan görüntülerin birbirine benzer koşullarda işlenebilmesi için görüntülerin yapay bir görüntü alma odacığında kaydedilmesi gereklidir. Bu çalışmada görüntü işleme esaslı sıra arası değişken düzeyli alev makinasının bir ünitesi için yapay aydınlatmalı görüntü alma sisteminin tasarımını yapmak, ve daha spesifik olarak, düşük maliyetli bir gömülü devre ve kamera kullanan görüntü işleme sisteminin yapay aydınlatmalı görüntü alma odacığının gerekli özelliklerini belirlemek amaçlanmıştır. Ayrıca renk esaslı yabancı ot segmentasyonu algoritmasının başarısını belirlemek amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

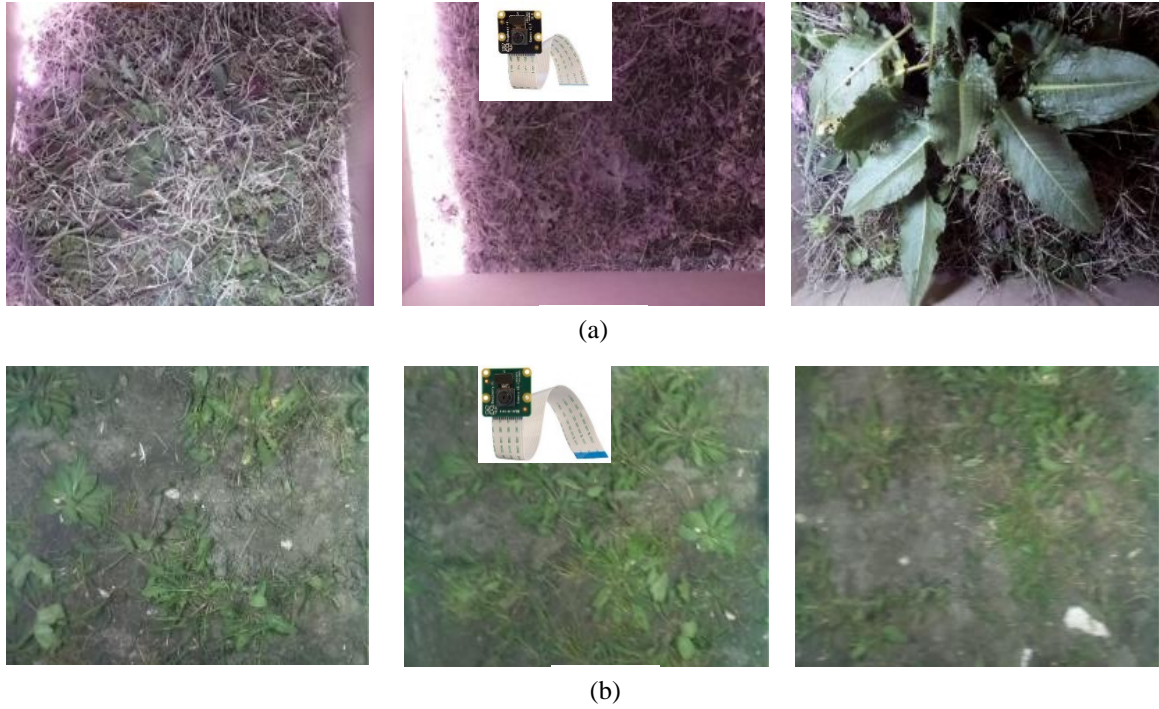
Traktör önüne bağlanabilen bir yapay aydınlatma kafesi 30x30'lik kare demir profiller ile oluşturulmuş ve dışı ışık geçirmeyen bir kaplama malzemesi ile kaplanmıştır (Şekil 1). Araştırmada, geliştirilen görüntü işleme algoritması düşük maliyetli bir donanım olan Raspberry Pi geliştirme kartı üzerinde çalıştırılmıştır. Raspberry Pi kamerası ile gerçekleştirilen ön çalışmalarda kameranın yerden 500 mm yüksekliğindeki konumunda 520x670 mm ölçülerindeki bir çerçeveyi görebildiği tespit edilmiştir. Kamera kutusunun yer ile sürtünmesini engellemek amacıyla 130 mm'lik kısmı saçak şeklinde yapılması planlanmıştır. Ayrıca traktör hareket halindeyken yer ile sürekli temas halinde olan saçakların ilerleme yönünün tersine doğru kamera görüntü alanına girmesini önlemek amacıyla kafes ilerleme yönüne doğru 180 mm kadar uzatılmıştır. Böylelikle ana ölçüleri 520x670x370 (saçak ölçüsü hariç) olan bir kafes Şekil 1'deki gibi imal edilerek ışık geçirmeyen branda malzemesiyle kaplanmıştır. İmal edilen kafesin üst orta konumuna gömülü devre sistemi ve kamera monte edilmiştir. Yapay aydınlatma için iki adet 24 W 1500 Lumenled lambalar (Rutter, SP-050, Çin), kamera merkezinin iki tarafına 250 mm'lik mesafelere sabitlenmiştir. Gömülü devre, kamera ve lambaların traktörden elektrik alacak şekilde adaptörlerle gerekli bağlantıları yapılmıştır. Çizelge 1'de kullanılan donanıma ait teknik özellikler görülmektedir. Şekil 2'de ise tüm sistemin traktör önüne bağlantı şekli görülmektedir.

RP3 kartı ile iki farklı kamera kullanabilme olanağı mevcuttur. Bunlar, Raspberry Pi standart ve Raspberry Pi NOIR kameralarıdır. Yapılan ön çalışmalarda Raspberry Pi NOIR kamera ile yakalanan görüntülerin saçaklardan az da olsa sızan ışık yüzünden çeşitli ve rastgele ışık ve renk dağılımlarına neden olduğu saptanmıştır. Şekil 3'te NOIR ve standart kameralar ile yakalanan çeşitli aydınlatma koşullarındaki görüntüler görülmektedir. Şekilde ilk sırada yer alan NOIR kamera görüntülerinde aydınlanma ve renk dağılımının düzensizliğine karşın, ikinci sırada yer alan standart kamera görüntülerinin tekdüze karakteristiği görülmektedir. Yapılan birçok ön çalışma ve araştırma sonucunda Raspberry Pi NOIR kameranın çalışmada hedeflenen tek düze görüntü elde edilebilmesini sağlayamayacağı sonucuna varılarak standart Raspberry Pi kamerası kullanılmasına karar verilmiştir.

Çalışmada görüntü işleme algoritmalarının geliştirilmesi ve sayısal analiz aşamalarında OpenCV açık kaynak kodlu görüntü işleme kütüphanesi ve Python programlama dili kullanılmıştır. Eğitim görüntülerinde yabancı ot piksellerinin örneklenmesinde ise GIMP açık kaynaklı görüntü manipülasyon yazılımından yararlanılmıştır. Araştırma sorusu: Geliştirilen yapay aydınlatma sistemi göz ile tekdüze ışık ve renk karakteristiği sağladığı görülmesine rağmen elde edilen görüntülerin tek düzeliği sayısal olarak ortaya konulabilir mi? Bu araştırma sorusunun cevabı için yapay aydınlatmalı ve dış ortama açık olarak elde edilen görüntülerin histogramları arasındaki korelasyon ilişkileri incelenmiştir. Bir görüntünün histogramı, görüntü gri seviyelerinin frekans dağılımıdır. Karşılaştırma amacıyla imal edilen yapay aydınlatmalı kamera kutusu ile dış ortama açık olarak elde edilen 10'ar adet görüntülerin grup içi histogram karşılaştırmaları Eşitlik 1 ile hesaplanmıştır.

$$d(H_1, H_2) = \frac{\sum_I (H_1(I) - \bar{H}_1)(H_2(I) - \bar{H}_2)}{\sqrt{\sum_I (H_1(I) - \bar{H}_1)^2 \sum_I (H_2(I) - \bar{H}_2)^2}} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de H_1 ve H_2 farklı iki görüntünün histogramı, $d(H_1, H_2)$ ise iki histogram arasındaki 0 ile 1 arasındaki korelasyon ilişkisidir. Bu korelasyon ilişkisinin hesaplanmasında OpenCV bilgisayarlı görme kütüphanesinin "compareHist" fonksiyonu kullanılmıştır. Bu yöntemle bir görüntü grubundaki görüntü histogramlarının tekdüzeliğini araştırmak amacıyla araştırılan görüntülerin tüm ikili eşlemeleri arasındaki histogramların korelasyon karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca bu eşleşmelerin tümü için ortalama ve varyasyon katsayıları hesaplanmıştır (Öz ve Kuşçu, 2018). OpenCV kütüphanesi geçerli davranış olarak görüntüleri BGR (mavi, yeşil ve kırmızı) renk uzayında kodlamaktadır. Elde edilen görüntülerin histogramları HSV renk uzayına dönüştürülerek hesaplanmıştır. Bunun sebebi HSV renk uzayında aydınlanmanın (V) renkten bağımsız tek bir bileşen olarak temsil edilebilmesidir.



Şekil 3. NOIR (a) ve standart (b) RP3 kamera görüntüleri

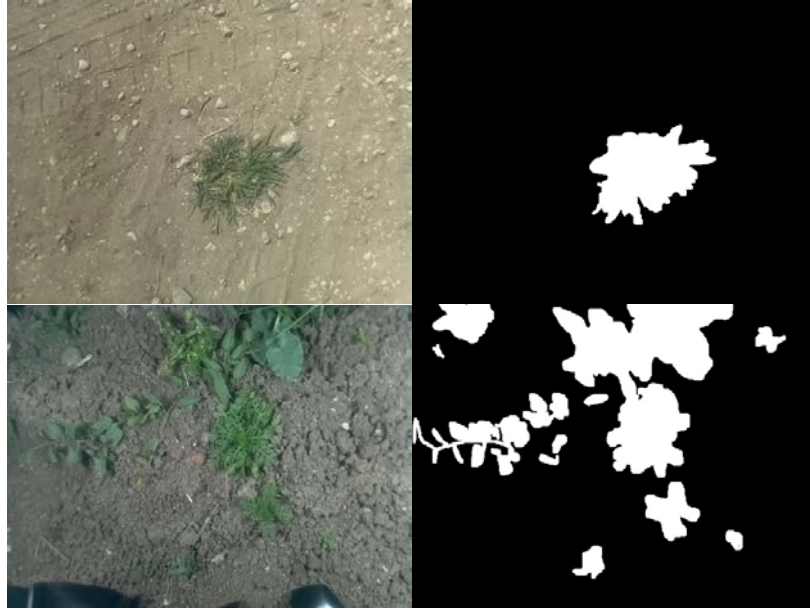
Geliştirilen görüntü işleme sisteminin nihai amacı sıra arasında görüntü karesine giren yeşil ot miktarı oranını olabildiğince yüksek doğrulukta verebilmesidir. Sistemin bu amacı donanımsal kapasitesi oldukça düşük olan RP3 gömülü devresi üzerinde gerçek zamanlı ve mümkün olduğunca hızlı çalışarak gerçekleştirmesi gerektiğinden görüntü işleme algoritması oldukça basit tutulmalıdır. HSV renk uzayı, görüntü işleme uygulamalarında renk esaslı görüntü ikilileştirmesi amacıyla en çok kullanılan renk kodlamasıdır. İkili görüntü iyi bir şekilde elde edilebilirse yabancı ot piksellerinin oranı kolaylıkla hesaplanabilir (Eşitlik 2).

$$Y. Ot Oranı = \frac{\text{ikili görüntü beyaz piksel sayısı}}{\text{görüntü genişliği} \times \text{görüntü yüksekliği}} \quad (2)$$

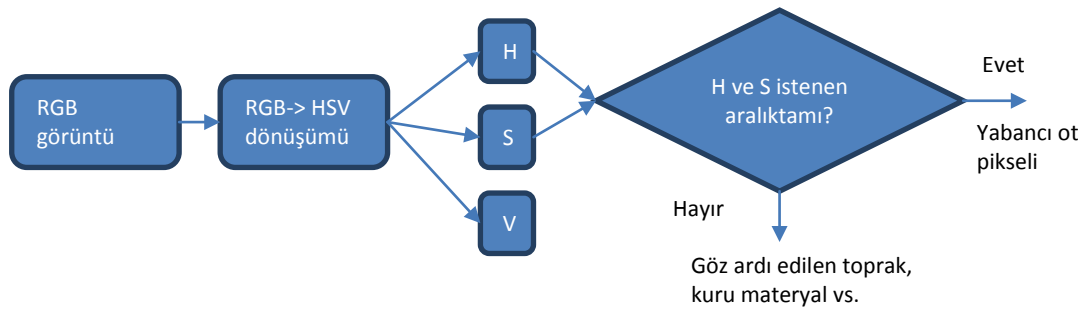
HSV renk kodlamasında H ve S renk bileşenleri aydınlanmadan bağımsız olarak renk bilgisini içermektedirler. H değerleri 0 ile 360 derece arasındaki renk açıları olmakla birlikte kullanılan OpenCV kütüphanesi Hue açısını 8 bit'lik kodlamaya uygun 0-180 derecelik bir aralıkta kodlamaktadır. S kanalı için ise bu aralık 0 ile 255 arasındadır. Aydınlanma bileşeni V ise tek başına aydınlanmayı ifade eder. Böylelikle yapay aydınlatma kullanılmasına rağmen düşük seviyede de olsa oluşabilecek değişken aydınlanma koşullarını elimine etmek amacıyla V göz ardı edilerek H ve S renk bileşenleri üzerinde eşik (threshold) değerleri araştırılmıştır.

Yabancı ot piksellerini temsil eden ikili görüntüyü elde etmede kullanılacak eşik değerleri histogram gözlemlenmesi yöntemi ile tespit edilmiştir. Bu amaçla, eğitim (kalibrasyon) görüntülerinden rasgele olarak H ve

S kanallarından yeşil ot ve arka plan (toprak + kuru ot ve sap gibi diğer tüm unsurlar) pikselleri GIMP yazılı yardımıyla rastgele örnekleştirilmiştir (Şekil 4). Algoritmanın farklı yetiştirme koşullarında çalışabilmesi için çalışmada eğitim ve test görüntüleri 640x480 piksel çözünürlüğünde çoğunlukla geliç (*Sorghum halepense* L.) otunun bulunduğu pıtrak (*Xanthium strumarium* L.), tarla sarmaşığı (*Convolvulus arvensis* L.) ve köygöçüren (*Cirsium arvense*) otlarının karışımlarından oluşan rasgele yabancı ot bölgelerinden elde edilmiştir. Şekil 5'te yabancı ot piksellerinin ayrıştırılmasında kullanılan algoritmanın akış diyagramı görülmektedir.



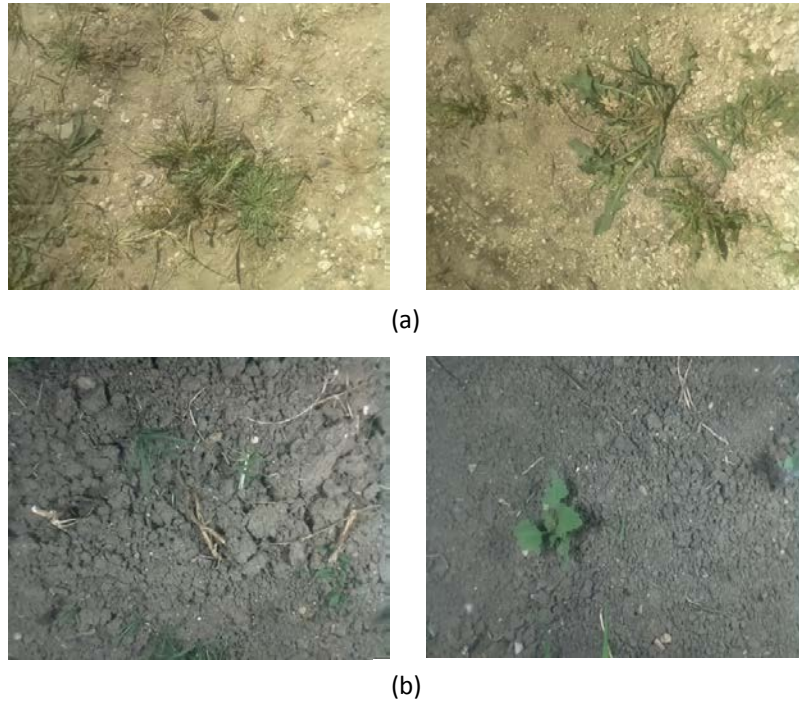
Şekil 4. El ile markalanan yabancı ot pikselleri



Şekil 5. Yabancı ot piksellerinin ayrıştırılmasında kullanılan algoritma

Şekil 6'da geliştirilen yapay aydınlatma kafesiyle ve dış ortama açık koşullarda alınmış görüntüleri ait örnekler görülmektedir. Çizelge 2 ve 3'de sırasıyla dış ortama açık ve yapay aydınlatma koşullarında alınan görüntülerin histogram karşılaştırma bulguları görülmektedir. Bu veriler kafesli ve kafesiz koşullarda alınan görüntülerin grup içi histogramlarının her bir ikili için karşılaştırmalarını korelasyon matrisleriyle göstermektedir. Korelasyon matrislerinde yer alan her bir sayısal değer iki görüntü eşleşmesi arasındaki

histogram benzerliğini 0 ile 1 arasında ifade etmektedir. Korelasyon matrisinin diagonal verileri 1'e eşittir ve görüntü histogramının kendisi ile olan mükemmel korelasyonunu göstermektedir. Dış ortama açık olarak kaydedilen görüntülerin histogramkorelasyonları 0.02 ile 0.93 arasında oldukça değişken bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Yapay aydınlatmalı görüntülerin histogramkorelasyonlarının ise 0.70 ile 0.98 arasında (ortalama 0.89, varyasyon katsayısı 0.082) daha az değişken bir karakteristikte dağıldığı saptanmıştır. Çizelgelerde görülen histogram karşılaştırma sonuçlarına göre, yapay aydınlatmalı görüntüleme grup içi histogramların korelasyonları diğer gruba göre oldukça yüksek bulunmuştur.



Şekil 6. Dış ortama açık (a) ve yapay aydınlatma (b) koşullarında alınmış görüntülere ait örnekler

Çizelge 2. Dış ortama açık görüntülerin histogram karşılaştırma bulguları.

G. No:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.0000	0.9310	0.3778	0.5100	0.2878	0.5163	0.3783	0.4742	0.0789	0.0756
2	0.9310	1.0000	0.4582	0.5731	0.3008	0.6195	0.4317	0.5154	0.0333	0.0367
3	0.3778	0.4582	1.0000	0.8888	0.9337	0.9244	0.9391	0.9742	0.0630	0.0771
4	0.5100	0.5731	0.8888	1.0000	0.8321	0.9472	0.9048	0.8918	0.0115	0.0231
5	0.2878	0.3008	0.9337	0.8321	1.0000	0.8389	0.9173	0.9580	0.0356	0.0472
6	0.5163	0.6195	0.9244	0.9472	0.8389	1.0000	0.9322	0.9138	0.0097	0.0213
7	0.3783	0.4317	0.9391	0.9048	0.9173	0.9322	1.0000	0.9388	0.0207	0.0326
8	0.4742	0.5154	0.9742	0.8918	0.9580	0.9138	0.9388	1.0000	0.0457	0.0566
9	0.0789	0.0333	0.0630	0.0115	0.0356	0.0097	0.0207	0.0457	1.0000	0.9542
10	0.0756	0.0367	0.0771	0.0231	0.0472	0.0213	0.0326	0.0566	0.9542	1.0000

Ortalama: 0.4829

Varyasyon katsayısı: 0.795989

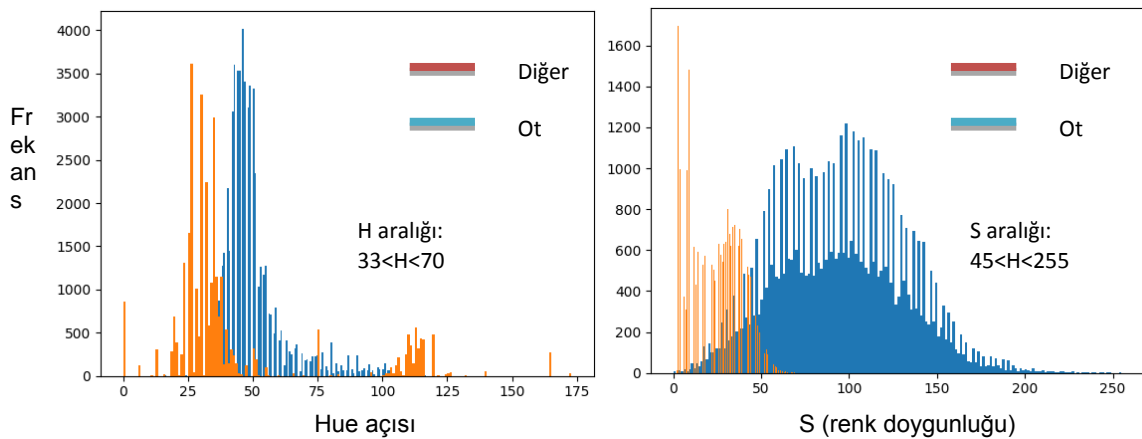
Çizelge 3. Yapay aydınlatmalı görüntülerin histogram karşılaştırma bulguları.

G. No:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.0000	0.8784	0.7226	0.7475	0.9346	0.9257	0.8735	0.9193	0.8816	0.8869
2	0.8784	1.0000	0.8516	0.8593	0.9691	0.9258	0.9670	0.9839	0.9687	0.9282
3	0.7226	0.8516	1.0000	0.9745	0.8435	0.8137	0.8545	0.8287	0.8472	0.7077
4	0.7475	0.8593	0.9745	1.0000	0.8467	0.7911	0.8480	0.8461	0.8734	0.7212
5	0.9346	0.9691	0.8435	0.8467	1.0000	0.9794	0.9671	0.9700	0.9541	0.9202
6	0.9257	0.9258	0.8137	0.7911	0.9794	1.0000	0.9508	0.9364	0.9074	0.8986
7	0.8735	0.9670	0.8545	0.8480	0.9671	0.9508	1.0000	0.9627	0.9484	0.9325
8	0.9193	0.9839	0.8287	0.8461	0.9700	0.9364	0.9627	1.0000	0.9688	0.9519
9	0.8816	0.9687	0.8472	0.8734	0.9541	0.9074	0.9484	0.9688	1.0000	0.9102
10	0.8869	0.9282	0.7077	0.7212	0.9202	0.8986	0.9325	0.9519	0.9102	1.0000

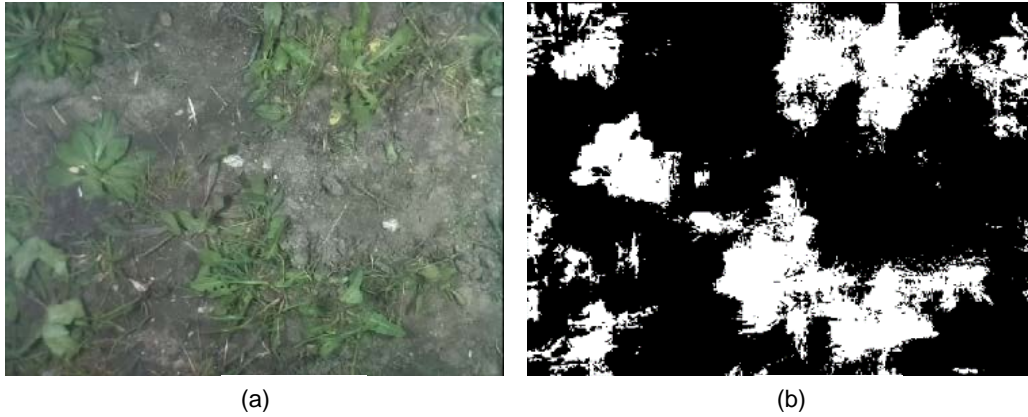
Ortalama: 0.8928

Varyasyon katsayısı: 0.082161

Yabancı ot bölgelerini ayırtmak üzere yapılan histogram analizi bulguları Şekil 7’de verilmiştir. H kanalında turuncu dağılım çizgileri arka plan piksellerini mavi çizgiler ise yeşil ot piksellerini temsil etmektedir. H ve S kanallarındaki histogram dağılımlarında örtüşmeler olmakla birlikte bu iki kanal için eşik değerleri örtüşen dağılımların sınır noktaları olarak saptanabilir. Hue ve S kanallarından rasgele olarak örneklenen yabancı ot ve diğer görüntü piksellerinin histogram uzayındaki dağılımlarına göre eşik değerleri, Hue ve S kanalları için sırasıyla $33 < H < 70$ ve $45 < H < 255$ olarak bulunmuştur. Bu değer aralığında örnek bir test görüntüsü üzerinde yapılan görüntü ikileştirilmesi sonucu Şekil 8’de görülmektedir. Algoritma ayrıca 20 fps’ye yakın hızlarda hareketli görüntüler üzerinde çalıştırılarak sorunsuz bir şekilde anlık yabancı ot oranı değerlerini üretebildiği görülmüştür.



Şekil 7. Rastgele örneklenen iki sınıf için ayrı ayrı histogram dağılımları



Şekil 8. Örnek bir görüntü (a) ve bu görüntünün saptanan eşik değerleri kullanılarak ikili görüntüye dönüştürülmüş (b) formları

Çalışmada yabancı ot pikseli saptama başarısını sayısal olarak ortaya koyabilmek amacıyla 10 adet test görüntüsü üzerinde yeşil ot pikselleri saptama başarıları ölçülmüştür. Saptama başarısı metriği olarak makine öğrenmesi uygulamalarında sıklıkla kullanılan F1-skoru kullanılmıştır (Makhoul ve ark., 1999; Powers, 2011). Burada amaç, gerçekte yeşil olan ot piksellerinin geliştirilen algoritma tarafından hangi başarı seviyesinde saptandığının ortaya konulmasıdır. Bu amaçla test görüntülerindeki tüm ot pikselleri el ile markalanmış ve ortaya çıkan maske ile eşikleme algoritmasının çıktısı olarak ürettiği ikili görüntü arasındaki F1-skoru hesaplanmıştır. Çizelge 4'te algoritmanın test görüntüleri üzerindeki F1-skoru başarıları görülmektedir. Bu bulgulara göre test görüntüleri üzerindeki yabancı ot piksel alanları oldukça yüksek doğruluklarda tespit edilebilmiştir. Yabancı ot piksel alanı saptama için en küçük başarı değeri 0.93 iken, en yüksek F1-skoru değeri %98'dir.

Çizelge 4. F1 başarı skorları

Test görüntüsü no	F1-skoru
1	0.9562
2	0.9901
3	0.9405
4	0.9497
5	0.9317
6	0.9623
7	0.9279
8	0.9827
9	0.9536
10	0.9636
Ortalama	0.9558

Bu çalışma, sıra üzeri yabancı ot yoğunluğunu veya türlerinin belirlenmesi amacı gütmemiştir. Meyve bahçelerinde (ağaç altlarında) ve sıra bitkilerinde sıra aralarındaki yabancı otların algılanması başarılmıştır. Sıra üzeri yabancı ot algılaması için derin öğrenme konularını da içeren farklı tekniklerin kullanılması gereklidir. Bu kapsamda yapılacak çalışmalar, ayrıca düşük maliyetli donanımlar yerine daha sofistike donanım ve yaklaşımları gerektirebilecektir.

Sonuç

Bu araştırma, halen sürmekte olan değişken düzeyli alev makinası prototipi geliştirme projesi kapsamında görüntü işleme esaslı sıra arası yapay aydınlatmalı görüntü alma sisteminin tasarımı ve işletme parametrelerinin ortaya konulması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Histogram karşılaştırma sonuçlarına göre, geliştirilen tek üniteli yapay aydınlatma odacığının homojen koşullarda dış ortamdan etkilenmeden görüntüleri alabildiği sonucuna varılmıştır. Geliştirilen yabancı ot algılama algoritmasının test görüntüleri üzerindeki performans değerlerine göre sistemin görüntüde yeşil yabancı ot piksel alanlarını yüksek başarı oranlarında saptayabildiği bulunmuştur. Böylelikle sıra arası yabancı ot kontrolünde gerekli temel görüntü işleme süreçleri için düşük maliyetli geliştirme kartlarının yeterli olabileceği anlaşılmıştır. Ancak sıra üzerinde yabancı ot ile kültür bitkisinin ayırt edilmesini gerektiren sıra üzeri uygulamalar için derin öğrenme teknolojilerini içeren daha kapsamlı donanım ve algoritmalara gereksinim duyulabilir.

Teşekkür

Bu çalışmayı 1001-1170098 nolu proje kapsamında destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'na teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Burgos-Artizzu, X.P.,Ribeiro, A., Guijarro, M., and Pajares, G. 2011. Real-time image processing for crop/weeddiscrimination in maizefields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75(2): 337-346.
- Demir, B., Çetin, N. Ve Kuş, Z.A. 2016. Görüntü İşleme Tekniği İle Yabancı Ot Renk Özelliklerinin Belirlenmesi. *Alınları Zirai Bilimler Dergisi*, 31(2): 59 –64.
- Guyer, D.E., Miles, G.E., Schreiber, M.M., Mitchell, O.R. and Vanderbilt, V.C. 1986. Machine vision and image processing for plant identification. *Transactions of the ASAE*, 29(6): 1500-1507.
- Kiani, S.,and Jafari, A. 2012. Crop detection and positioning in the field using discriminant analysis and neural networks based on shape features. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14: 755-765.

- Lee, W.S., Slaughter, D.C., and Giles, D.K. 1999. Robotic weed control system for tomatoes. *Precision Agriculture*, 1(1): 95-113.
- Malemath, V.S., and Hugar, S.M. 2016. A new approach for weed detection in agriculture using image processing techniques. *International Journal of Advanced Scientific and Technical Research*, 3(6): 356-359.
- Makhoul, J., Kubala, F., Schwartz, R. And Weischedel, R. 1999. Performance measures for information extraction. *In Proceedings of DARPA broadcast news workshop*, 1: 249-252.
- Öz, M. ve Kuşçu, H. 2018. Bursa ekolojik koşullarında yetiştirilen susamda farklı ekim zamanlarının tohum verimi ve bazı verim bileşenlerine etkileri. *Bursa Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 32(2): 111-121.
- Paikari, A., Ghule, V., Meshram, R., and Raskar, V. B. 2016. Weed detection using image processing. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3(3): 1220-1222.
- Perez, A.J., Lopez, F., Benlloch, J.V., and Christensen, S. 2000. Colour and shape analysis techniques for weed detection in cereal fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 25(3): 197-212.
- Powers, D.M.W. 2011. Evaluation: from precision, recall and f-measure to ROC, informedness, markedness & correlation. *Journal of Machine Learning Technologies*, 2(1): 37-63.
- Tellaache, A., Pajares, G., Burgos-Artizzu, X.P., and Ribeiro, A. 2011. A computer vision approach for weeds identification through Support Vector Machines. *Applied Soft Computing*, 11(1): 908-915.

