Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 24(2), 205-213, 2018

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

İnverter klima akıllı etkileşim sistem tasarımı

Inverter air conditioner intelligent system design

Murat TAŞKIRAN[1], Nihan KAHRAMAN[2], Halime USTA YOĞUN[3]*

[1,2]Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
mrttskrn@yildiz.edu.tr, nicoskun@yildiz.edu.tr
[3]ARÇELİK-LG Klima Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi, Kocaeli, Türkiye.
halime.usta@arcelik-lg.com

Geliş Tarihi/Received: 14.10.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 30.01.2017
doi: 10.5505/pajes.2017.21957
* Yazışılan yazar/Corresponding author
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bilgisayarların gündelik hayatın bir parçası olmasıyla birlikte insan-bilgisayar etkileşimi önem kazanmaya başlamıştır. Geleneksel insan bilgisayar arayüzleri olan klavye, fare gibi aygıtlar yaygın olarak kullanılmasına rağmen kullanıcı ile bilgisayar arasındaki bilgi ve komut akışını sınırlamaktadır. Son dönemlerde jestler sadece çevre ve insanlar arası iletişimde değil, insan-makina iletişimde de önemli bir role sahip olmaya başlamıştır. Jestlerin ne anlama geldiği ve nasıl bir bilgi taşıdığı alanındaki çalışmalar gün geçtikçe insan-makina arayüzü (iletişimi) çalışmalarında daha fazla yer almaya başlamıştır. Bu çalışmada amaç elektronik cihazlardan biri olan inverter klimaların kontrolünü kullanıcı ile makina arasında direkt bir etkileşim sağlayarak, kullanıcının daha kolay ve aracıdan bağımsız olarak inverter klima ile haberleşmesini sağlamaktır. Önerilen sistemde el jestinin tanınması amacı ile öncelikle kameradan görüntüler alınmış ve bu görüntülere literatürde bulunan görüntü ön-işleme teknikleri ve filtreleri kullanılarak, görüntünün netleştirilmesi ve gürültülerin temizlenmesi sağlanmıştır. Ön-işleme işlemi sonucunda elde edilen görüntülerde ten rengi tespiti ve Yönlü Gradyanlar Histogramı (YGH) algoritmaları kullanılarak el jestinin konumu belirlenmiştir. Daha sonra görüntü işleme algoritmalarından elde edilen konum bilgileri yapay sinir ağına giriş olarak verilerek el jestinin hareketi anlamlı hale getirilmiş ve inverter klimada %92 başarı ile sıcaklık ve fan ayarları kontrolü sağlayan bir algoritma geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: İnverter klima, Akıllı sistem tasarımı, Morfolojik işlemler, Yönlü gradyanlar histogramı, Çok katmanlı algılayıcılar, k–en yakın komşuluk

Abstract

As the computers are becoming a part of people's daily lives, human-computer interaction has started to gain more importance. Even though the traditional human computer interfaces like the keyboards and mouses are used frequently, they are making the information and command flow limited. Recently, gestures are not only gaining a more important role in the environment-human relations but also in human-machine interactions as well. The studies on the meaning of the gestures and what kind of information they carry are increasing their places in researches on human-machine interface communication. The aim in this study is to provide an easy and user independent human -machine interface system in air conditioners. In the proposed system, in order to recognize hand gestures, first image preprocessing techniques and noise filters have been applied to images taken from camera. These processes provide clarification of image. After preprocessing, Histogram of Oriented Gradients (HOG) algorithm is used along with the skin color detection made via image processing techniques applied in order to the recognition of hand gestures. After then, the hand gestures have made meaningful as the obtained images are given as inputs to artificial neuron network and an algorithm, which ensures fan and temperature settings with 92% success level in inverter air conditioners, is developed

Keywords: Inverter air conditioner, Intelligent system design, Morphologic process, Histogram of oriented gradients, Multi-Layer perceptron, k-nearest neighborhood

1 Giriş

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte insan-makine arasındaki etkileşimin sağlanmasında birçok yenilik olmuştur. Özellikle görüntü işleme konusunda yapılan yeni çalışmalarla birlikte daha sezgisel bir yol olan jestler ile bilgisayarla fiziksel bir bağ kurulmadan (bir kablo veya geleneksel bir arayüz), belli bir uzaklıktan iletişim mümkün hale gelmiştir. Bu işlem jest tanıma ile mümkün olmuştur ve jest tanımanın uygulama alanları çok geniştir.

Literatürde yapılan araştırmalar incelendiği zaman el jestleriyle oluşturulan insan-makine etkileşim sistemlerinin yanısıra diğer biyometrik özellikler olan parmak izi tanıma [1], yüz tanıma [2], iris tanıma [3] kullanılarak da oluşturulan insan-makine etkileşim sistemleri olduğuda gözlenmiştir. Bunun nedeni ise diğer biyometrik özelliklerin öznitelik çıkarımı konusunda el jestlerine göre çok daha kolay elde edilebilmesidir. Bu durum el jestleri ile insan-makine etkileşim sistemlerinin biraz daha arka planda kalmasına neden olmuştur.

Literatürde el jestleri ile yapılan insan-makine etkileşim sistemleri örnek olarak 2011 yılında Ankit Chaudhary JL. Raheja, Karen Das, Sonia Raheja [4] tarafından yapılan farklı el jestlerinin tanımlanması ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. 2014 yılında Eshed Ohn-Bar ve Mohan Manubhai [5] Trivedi tarafından yapılmış olan otomotiv arayüzlerinin kontrolünün gerçek zamanlı el jestleriyle kontrolü ile ilgili bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bir diğer çalışma ise Aralık 2014 tarihinde H. Renuka ve B. Goutam [6] tarafından bilgisayar kontrol panellerinin kontrolü için el jestleri tanıma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yukarıda bahsedilen ve literatürde bulunan diğer çalışmalar [7],[8] incelendiği zaman genel olarak gerçek zamanlı el jestlerinin kullanılması yerine parmak sayılarından faydalanılarak kontrol sağlamak amacıyla yapılan çalışmalar olduğu gözlenmiştir. El jestlerinin tespiti ile ilgili literatürde yaygın olarak kullanılan algoritmalardan biri de Haar Cascade algoritmasıdır. Bu algoritma ile yapılan gerçek zamanlı el jesti çalışmalarında çeşitli algoritmalar önerilmiştir. Bunlara örnek olarak Haar Cascade algoritması ve AdaBoost öğrenme algoritması ile gerçekleştirilen çalışmalar [9],[10], arka plan çıkarımı ve Haar dönüşümü yapılarak video takibi

gerçekleştirilen çalışmalar [11],[12] verilebilmektedir. Bu çalışmanın öncü çalışması olarak el yeri jestinin tespitinde Haar Cascade algoritması kullanılarak özellik çıkarımı gerçekleştiren ve gerçek zamanlı olarak çalışan bir donanımın gerçekleştirildiği çalışma yapılmıştır [13].

İnverter Klima sistemleri üzerine çalışan firmalardan başlıcaları olan Daikin, Toshiba, Samsung, Bosch, Alarko Carrier, Panasonic, Mitsubishi markalarının ürettikleri ürünler incelenmiştir. Bu incelemelerde oluşturulması hedeflenen ürüne benzer bir ürün bulunmamakla beraber Panasonic markalı ürünlerin bazı modellerde Econavi sistemi bulunmaktadır. Bu sistem ile klimanın iç ünitesinde bulunan PIR sensörlerini kullanarak ortamdaki insanın konumuna bağlı olarak klimanın akış yönü belirlenir ve ortamda insan varlığı tespit edilmediği durumda ise enerji tasarrufu sağlanır [14]. Özellikle klimanın elle kontrolü hedeflendiğinde, PIR sensörle el hareketlerinin algılanması mümkün olmadığından problemin çözümü için yenilikçi, farklı bir teknolojinin kullanılması gerekliliği doğmuştur. Bu nedenle diğer ürünlerde kullanılan algılayıcılardan farklı olarak; teknoloji kullanımında ulusal tabanda öncülük sağlanması hedefi ile kamera ve görüntü işleme teknolojisinin kullanıldığı yenilikçi bir ürün tasarımı hedeflenmiştir.

Bu çalışmada önerilen algoritma, el jesti tanındıktan sonra gerçek zamanlı sistemde el jestinin takip edilmesi ve el jestinin koordinat bilgilerinden ve yapay sinir ağı algoritmalarından da yararlanarak inverter klimanın sıcaklık ve fan ayarlarının kontrolünün sağlanmasıdır. Bu amaçla seçilen yöntem, el jestlerinin gerçek zamanlı bir sistemden elde edildikten sonra bu görüntülere gerekli morfolojik işlemlerin uygulanması, görüntünün arka planının temizlenmesi, genellikle el jestlerinin tanınmasından yaşanılan sorunlardan olan arka planın temizlenmesi ve özniteliklerinin çıkarılması gibi problemlere çözüm getirmek amacıyla Yönlü Gradyanların Histogramı (YGH) [15] algoritmalarının kullanılmasıdır.

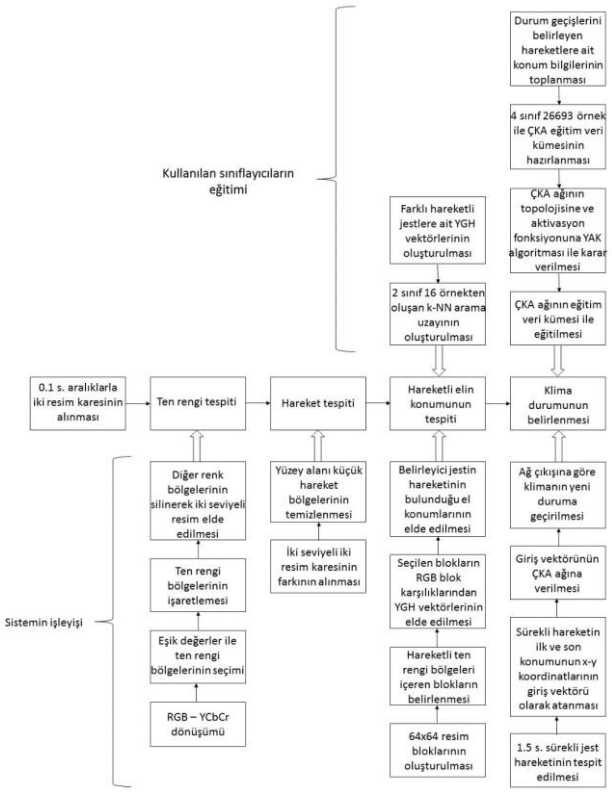
El jestlerinin tespiti ve tanınması ile ilgili oluşturulan algoritma ile gerçek zamanlı sistemlerde karşılaşılan arka planın temizlenmesi ve sadece ten rengi tespitinin yapılması sonucunda ten rengine benzer cisimlerinde algılanması sorunu [16] ortadan kaldırılmıştır. Geliştirilen algoritma ile kurulan sistem için karşılaşılabilecek bir diğer önemli problem ise sistemin gerçek zamanlı olarak ve sürekli olarak çalışacak olması nedeniyle günlük hayatta insanların iletişim kurmak için kullandığı jestlerinde makine tarafından algılanmasıdır. Sistem tarafından günlük hayatta insanların iletişimi sırasında kullanılan el jestlerinin algılanması problemi YGH algoritması kullanılarak sadece bir el jestinin algılanması sağlanmış ve kullanıcıya kolaylık sağlanmıştır. Ayrıca inverter klimanın sıcaklık ve fan kontrolünün yapay sinir ağı algoritması ile yapılması sayesinde el hareketlerinin anlamlanmasının adaptif hale getirilmesi sağlanmıştır.

2 Önerilen algoritma

İnverter Klima Akıllı Etkileşim Sistem Tasarımı için önerilen algoritma temel olarak iki aşamadan oluşmaktadır;

- Görüntü işleme ve el jestinin elde edilmesi,
- El jestinin koordinatlarının yapay sinir ağlarında giriş olarak kullanılması ile klimanın kontrolünün sağlanması.

İnverter klima akıllı etkileşim sistem tasarımı için önerilen algoritmanın blok diyagramı Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü üzere ilk kısımda 100 ms aralıklarla kameradan görüntüler alınmıştır. Bu görüntülerde görüntü ön-işleme teknikleri kullanılarak görüntüdeki gürültüler ve bulanıklıklar ortadan kaldırılmıştır ve elde edilen yeni görüntüde ten rengi tespiti gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için RGB (Red-Green-Blue) uzayından YCbCr (y-parlaklık, Cb-mavi renk, Cr-kırmızı renk) uzayına dönüşüm sağlanmış ve literetürde kullanılan eşik değerleri kullanılarak [17] resimdeki ten rengine uygun bölgeler tespit edilmiştir. Bu işlemde amaç hem el jestlerinin tespitini kolaylaştırmak hem de sistem gerçek zamanlı olması nedeniyle YGH algoritmasının daha kısıtlı alanda arama yapmasını sağlayarak sistemin işlem hızını arttırmaktır. Daha sonra hareket tespiti gerçekleştirerek resimdeki ten rengine benzer bölgelerin resimden ayıklanması sağlanmıştır. Bu işlemden sonra el jestinin tespiti için Yönlü Gradyanların Histogramı (YGH) algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmada kullanılmak amacıyla içerisinde istenilen el jestinin resimlerinin bulunduğu pozitif örnekler ve istenilen el jestinin bulunmadığı negatif örnekler toplanmıştır. Bu örnekler YGH algoritmasında elde edilen satır vektörlerin istenilen el jestine ait olup olmadığının kontrolü işleminde kullanılacak olan sınıfılandırma algoritması olan k-en yakın komşuluk uzayının (kNN) oluşturulmasında kullanılmıştır. Daha sonra elde edilen el jestlerinin konumları sayısal değerler olarak kaydedilmiş ve çok katmanlı algılayıcıların (ÇKA) eğitiminde kullanılarak ÇKA'nın son ağırlıkları tespit edilmiş ve bu ağırlıklarla sistemin karar verme mekanizması oluşturulmuştur.



Şekil 1: İnverter klima akıllı etkileşim sistem tasarımı için önerilen algoritmanın blok diyagramı.

2.1 Görüntü işleme algoritmaları ile el jestinin elde edilmesi

İnverter Klimanın el hareketleriyle kontrolünün sağlanması amacı ile oluşturulacak olan sistemde ilk olarak görüntünün

elde edilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Gerçek zamanlı bir sistem oluşturulması nedeniyle görüntüler kameranın sürekli şekilde çalıştırılmasıyla elde edilmiştir. Kameradan 100 ms aralıklarla görüntüler alınmış ve bu görüntüler üzerinden işlemler gerçekleştirilmiştir. Kullanılacak sistemde maliyetin ve işlem hızının önemli olması nedeniyle çözünürlük 320 x 240 piksel olarak belirlenmiştir. Görüntülerin bu şekilde alınması hem sistemin maliyetinde hemde işlem hızında kazanç sağlamıştır.

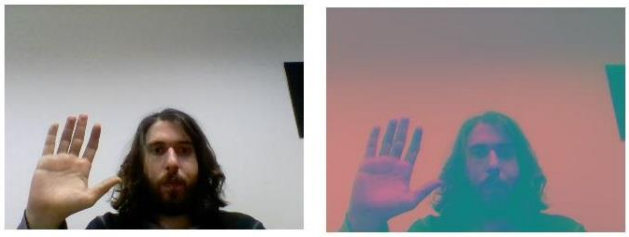
Elde edilen görüntünün bilgisayar tarafından işlenebilmesi amacıyla resim RGB uzayında elde edilmiştir. Görüntüdeki kişinin teninin bulunabilmesi için öncelikle görüntüye morfolojik işlemler uygulanmış ve görüntüden bulanıklıklar ve gürültüler temizlenmiştir. Elde edilen görüntü RGB formatından YCbCr formatına çevrilmiştir. Bu çevrim işleminde Y değeri parlaklık için kullanılmıştır. Cb ve Cr değerleri ten rengi için belirlenmiş olan eşik değerleri kullanılarak ten rengi olan bölgelerin belirlenme işleminde kullanılmıştır. YCbCr değerinin matematiksel modeli Denklem (1), (2) ve (3)'te verilmiştir. Örnek bir görüntünün RGB-YCbCr dönüşümü Şekil 2'de görüldüğü gibidir [17].

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (1)$$

$$Cb = B - Y \quad (2)$$

$$Cr = R - Y \quad (3)$$

Ten rengi olan bölgelerin belirlenmesi için kullanılan eşik değerleri deneysel olarak $70 \leq Cb \leq 130$ ve $134 \leq Cr \leq 173$ olarak belirlenmiştir. Bu değerlerle yapılan işlem sonucu ten rengi tespiti yapılmış görüntü Şekil 3'te görülmektedir.



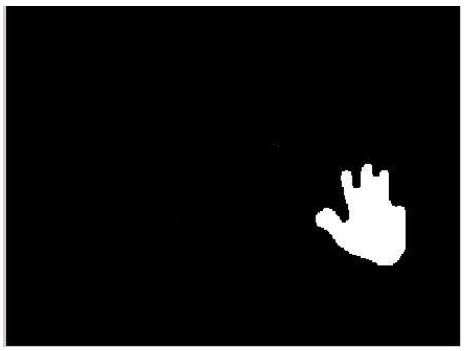
Şekil 2: Örnek bir görüntünün RGB-YCbCr dönüşümü.



Şekil 3: Örnek görüntünün ten rengi tespiti yapılmış hali.

Ten rengi tespit işlemi tamamlandıktan sonra resmin arka planının temizlenmesi ve yüz gibi bu çalışmada ihtiyaç duyulmayan ten rengi bölgelerinin temizlenmesi amacı ile hareket tespiti işlemi gerçekleştirilmiştir.

Hareket tespiti kısmında, el jesti hareketleri dışında kalan, ten rengine sahip bölgelerdeki ufak değişimlerin (yüzdeki kaymalardan kaynaklanabilecek) algılanmaması amacı ile resimde 8x8'lik pencereler gezdirilerek, 64 pikselden daha küçük olan ve ten rengi tespit edilmiş olan kısımların son resimden temizlenmesi sağlanmıştır. Böylelikle el jestinin büyük bir doğruluk oranında elde edilmesi sağlanmıştır. Hareket tespiti işleminden sonra elde edilen görüntü Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: Hareket tespiti işleminden sonra elde edilen görüntü.

Hareketli el jestinin konumunun tespitinin yapılması işlemi iki aşamadan oluşmaktadır;

- k- en yakın komşuluk uzayının oluşturulması,
- YGH özellik vektörlerinin çıkarılması.

2.1.1 k–en yakın komşuluk uzayının oluşturulması

k-en Yakın Komşu yöntemi, sınıflandırma problemini çözen eğitimli öğrenme algoritmalarından biridir. Bu algoritmada; sınıflandırma yapılacak verilerin öğrenme kümesindeki normal davranış verilerine benzerlikleri hesaplanarak; en yakın olduğu düşünülen k verinin ortalamasıyla, belirlenen eşik değere göre sınıfların belirlenmesi işlemi gerçekleştirilir. Önemli olan, her bir sınıfın özelliklerinin önceden net bir şekilde belirlenmiş olmasıdır. Yöntemin performansını k-en yakın komşu sayısı, eşik değer, benzerlik ölçümü ve öğrenme kümesindeki normal davranışların yeterli sayıda olması parametreleri değiştirmektedir [18]. Bu çalışmada k değeri 5 olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu k değeri el jestinin belirlenmesinde en yüksek başarımın elde edilmesi gözönünde bulundurularak belirlenmiştir.

k-en Yakın Komşuluk algoritmasında özellik vektörünün hangi sınıfa ait olduğuna önceden oluşturulmuş olan uzaydaki özellik vektörlerine olan Öklid uzaklığının hesaplanması ile karar verilir. Kullanılan özellik vektörünün uzaydaki hangi vektöre Öklid uzaklığı olarak yakın olduğu tespit edilir ve bu özellik vektörü o özellik vektörünün olduğu sınıfa atanır.

Bu çalışmada k-en yakın komşuluk algoritması el jestinin konumunun tespiti aşamasında elde edilen YGH özellik vektörlerinin hangi el jestine ait olduğunun belirlenmesinde kullanılmıştır. Bunun için öncelikle kullanılmak istenen el jestinin resimlerinden 8 adet pozitif ve 8 adet negatif veri toplanmıştır. Burada pozitif verilerde istenilen el görüntüleri yer alırken, negatif verilerde istenilmeyen el jestleri veya insan vücudunda bulunan ve ten rengi tespitinde elde edilebilecek diğer bölgeler yer almaktadır. Toplanan veriler öncelikle 64x64 lük boyutlarda olacak şekilde tekrar boyutlandırılmışlardır. 64x64'lük boyutta olan bu 16 resmin YGH özellik vektörleri çıkarılmış ve bu özellik vektörleriyle k-en yakın komşuluk uzayı oluşturulmuştur. Elde edilen k-en yakın komşuluk uzayı daha sonra resimlerden elde edilecek YGH özellik vektörlerinin hangi sınıftan olduğuna karar vermek amacıyla kullanılmıştır.

Sınıflama uzayı oluşturulurken kullanılan örneklerden bazıları Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5: İstenilen (üst sıra) ve anlamsız (alt sıra) el jestine ait örnekler.

2.1.2 Yönlü gradyanların histogramı (YGH)

Bilgisayarla görme alanında son yıllarda Yönlü Gradyanların Histogramı (YGH) algoritması karmaşık içerikli görüntülerde nesne tanıma işlevini yüksek başarım ile gerçekleştirebilen bir algoritma olarak kullanılmaktadır [19]-[21].

Yönlü Gradyanların Histogramı (YGH) algoritması, gradyan temelli bir öznitelik çıkarım metodudur. Son yıllarda imgedeki piksellerin yönelim (θ) ve büyüklük (m) değerlerinin karakteristiği olarak da adlandırılabilecek olan YGH yönteminin kullanımı birçok alanda oldukça ilgi görmektedir. Bu yöntemin temel amacı, imgeyi bir grup yerel histogramlar olarak tanımlamaktır. Bu histogramlar, imgenin yerel bir bölgesindeki gradyanların yönelimlerinin sayısını içermektedir [15]. Bu çalışmada el jestinin tespitinde HOG algoritmasının kullanılmasının nedeni YGH algoritmasının piksellerin yönelimine ve büyüklüklerine bağlı bir algoritma olmasıdır. YGH algoritmasının bu özelliği sayesinde istenilen el jesti olarak seçilen avuç içi açık ve beş parmak ayrık şeklindeki el jestinin hem büyüklük olarak hem de yönelim olarak diğer jestlerden farkının daha rahat ayırt edilebilir olması sağlanmıştır. Bu da hem el jestinin tespitinde hem de istenilen el jestinin kalan el jestlerinden farkının ayırt edilmesinde büyük avantaj sağlamıştır.

YGH betimleyicilerin gerçeklenmesindeki işlem basamakları şu şekilde sıralanmaktadır;

- Görüntünün gradyanının alınması,
- Belirlenen konumlar için yönelim histogramlarının hesaplanması,
- Oluşturulan konum grupları içindeki histogramların normalize edilmesi.

Uygulamalarda arzu edilen yön değerlerinin işaretsiz olmaları nedeniyle 0 dereceden küçük olan gradyan yönelimleri 180° ile toplanır. Buna göre elde edilen yeni görüntünün işaretsiz gradyan yönelimleri Denklem (4) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\overline{\theta}(x,y) = \begin{cases} \theta(x,y) + \pi & \text{eğer } \theta < (x,y) < 0 \\ \theta(x,y) & \text{değilse} \end{cases} \quad (4)$$

Gradyan yönelimi hesaplandıktan sonra, gradyan imgesi [u x v] piksel boyutundaki hücrelere bölünür ve her bir hücrenin yönelim histogramını oluşturmak için yönelim açıları θ (x, y) gradyan büyüklüğü (m) oranında s farklı açı aralığına bölünür. Yönelim histogramı 00-1800 aralığına eşit bölünerek oluşturulur. YGH algoritmasında kullanılan gradyan değerlerinin hesaplanmasında Denklem (5), (6) ve (7);

$$g_x = i(x+1,y) - i(x-1,y) \quad (5)$$

$$g_y = i(x,y+1) - i(x,y-1) \quad (6)$$

$$m(x,y) = \sqrt{g_x(x,y)^2 + g_y(x,y)^2} \quad (7)$$

Açıların hesaplanmasında Denklem (8) kullanılmıştır.

$$\theta(x,y) = \tan^{-1}\frac{g_y(x,y)}{g_x(x,y)} \quad (8)$$

Bu çalışmada YGH algoritması k-en yakın komşuluk uzayının oluşturulmasında ve resimdeki hareketli el jestinin konumunun tespitinde olmak üzere iki aşamada kullanılmıştır.

İlk aşamada anlamlı ve anlamsız olmak üzere 16 adet el jesti görüntüsünün YGH özellik vektörleri elde edilerek k–en yakın komşuluk uzayı oluşturulmuştur.

İkinci aşamada ise gerçek zamanlı elde edilen resimlerin üzerinde 16 piksellik aralıklarla 64x64'lük pencereler gezdirilerek YGH özellik vektörleri elde edilmiştir ve istenen el jestinin konumu Şekil 6'daki gibi bulunmuştur. Konumları bilinen el jestlerinin anlamlandırılabilmesi amacı ile konum bilgilerindeki değişiklikler çok katmanlı ağ yapısının girişi olarak kullanılmıştır.



Şekil 6: İstenilen el jestinin konumunun tespit edilmesi.

Şekil 6'da görüldüğü üzere sadece daha önceden karar verilmiş olan el jesti tanınmakta ve kalan el jestleri sistem tarafından tanınmamaktadır. Bunun nedeni oluşturulmaya çalışılan sistem gerçek zamanlı olarak kullanılacağı ve sürekli olarak çalışacağı için günlük hayatta kullanıcının diğer şahıslarla iletişimi sırasında kullanacağı her el jestinde sistemde değişikliğe neden olmamasını sağlamaya çalışmaktır. Bu sistemden seçilen el jesti avuç içi açık ve beş parmak ayrık şeklindeyken oluşan el jestidir.

2.2 Klima durumunun belirlenmesi

El jestinin tanınması ve takip edilmesi işlemi gerçekleştirildikten sonra bu hareketlerin anlamlandırılması ve klimanın sıcaklık ve fan ayarlarının kontrol edilmesi amacıyla karar verme mekanizması oluşturulmuştur. Bu mekanizma yapay sinir ağı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karar verme mekanizmasında yapay sinir ağlarının

kullanılmasının nedeni sistemin görüntü işleme ve el jesti tespiti sonucu elde edilebilecek konum değerlerinin sınıflandırması işlemine adaptiflik sağlamaktır. Daha önceden karar verilen el jestleri hareketleri göz önünde bulundurularak 40 kişiden her istenilen el jesti için 5'er örnek olmak üzere 800 adet veri toplanmış ve daha sonra 320x240 piksellik bir resimde el jestinin olabileceği konum değerleri düşünülerek veriler bilgisayarda oluşturulmuştur. Bu iki veri kümesinin toplamında 26.693 adet örnek elde edilerek bu verilerle YSA'nın eğitimi gerçekleştirilmiştir. Bu eğitim sonucunda elde edilen ağırlıklar YSA'nın son halinin oluşturulmasında kullanılmıştır.

Yapay sinir ağının eğitimi tamamlandıktan sonra görüntü işleme işlemleri ile birleştirilmiş ve sistem tamamlamıştır. Sistem öncelikle el jesti hareketinin ilk 1.5 saniyesini takip etmekte ve hareketin ilk ve son durumdaki x ve y koordinatlarını yapay sinir ağına giriş olarak vermeleri ve burada el jestinin hareketinin anlamlandırılması sonucunda klimada bulunan sıcaklık ve fan ayarları son durumuna getirilmektedir. El jestinin hareketinin türüne göre sıcaklık ya da fandan hangisinin kontrol edileceğine karar verilmektedir. El jestinin sağdan sola doğru hareketi sonucunda sıcaklıkta azalma, soldan sağa doğru hareketinde ise sıcaklıkta artma olacak şekilde sistem tasarlanmıştır. El jestinin aşağıdan yukarıya doğru hareketinde ise fan derecesi artmakta, yukarıdan aşağıya doğru hareketinde ise fan derecesi azaltılmaktadır.

Sistemde yapılan tasarım ile sadece uygun el jestlerinin algılanması sağlanmıştır. Bu sayede her el jestinin kontrol sistemine müdahale etme riski ortadan kaldırılmış ve gerçek zamanlı kullanıma uygun bir sistem tasarlanmıştır.

İnverter klima akıllı etkileşim sisteminde kullanılacak olan yapay sinir ağı tasarımı ile ilgili olarak çok katmanlı algılayıcılarda çalışma yapılmıştır. Daha önce problem için uygun olduğu belirlenen 4 girişli ve 2 çıkışlı çok katmanlı yapay sinir ağı elde edilmiştir. Elde edilen yapay sinir ağının eğitilmesi amacıyla veri setinin oluşturulması gerçekleştirilmiştir.

Görüntü işleme işlemleri tamamlandıktan sonra, yapay sinir ağının eğitimi için gerekli veriler toplanmıştır. Veri seti oluşturulurken el jestlerinin hareket başlangıcındaki koordinatları ve hareket tamamlandığı andaki koordinatlarından faydalanılmıştır. Bu işlem için hareketlerin anlamlandırılması işlemi aşağıdaki koşullar göz önünde bulundurulmuştur;

- Görüntüde belirlenen el jestinin soldan sağa doğru hareketi sıcaklığın artırılması olarak anlamlandırılmıştır ve çıkış değeri olarak [0,0] atanmıştır,
- Görüntüde belirlenen el jestinin sağdan sola doğru hareketi sıcaklığın azaltılması olarak anlamlandırılmıştır ve çıkış değeri olarak [0,1] atanmıştır,
- Görüntüde belirlenen el jestinin aşağıdan yukarıya doğru hareketi fanın artırılması olarak anlamlandırılmıştır ve çıkış değeri olarak [1,0] atanmıştır,
- Görüntüde belirlenen el jestinin yukarıdan aşağıya doğru hareketi fanın azaltılması olarak anlamlandırılmıştır ve çıkış değeri olarak [1,1] atanmıştır.

Yukarıda belirlenen bu dört sınıftan en az 6000'er örnek alınarak toplam 26.693 örneğin, %80'i eğitim amacı ile %20'si test amacıyla kullanılmıştır. Çok katmanlı algılayıcı öğrenme parametreleri rastgele belirlenecek şekilde çalıştırılmış ve %89 civarı ortalama başarı elde edilmiştir. Çok katmanlı algılayıcının başarısını arttırmak amacı için ağın öğrenme parametreleri ile ilgili olarak optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Son yıllarda sezgisel optimizasyon algoritmaları birçok farklı alandaki mühendislik problemlerinde [22]-[28] yüksek başarılar sergilemişlerdir. Yapay sinir ağlarının dezavantajları arasında sayılan ağ yapısının (gizli katmandaki nöron sayısı) ve öğrenme parametrelerinin belirli bir kurala bağlı olarak belirlenememesinden dolayı çok katmanlı algılayıcı yapısının belirlenmesi bir optimizasyon problemi olarak düşünülebilmektedir. [29]'da yapılan çalışmada Yapay Arı Kolonisi (YAK), Genetik Algoritma (GA) ve Benzetimli Tavlama (BT) algoritmaları insan hareketlerinin sınıflanmasında kullanılan iki adet veri setinin çok katmanlı algılayıcı ağ yapısındaki gizli katmandaki nöron sayısına karar verme ve öğrenme parametrelerinin belirlenmesi işlemi için kullanılmıştır. Sonuç olarak YAK algoritmasının insan hareketlerinin sınıflandırılmasında kullanılan yüksek performanslı çok katmanlı ağ yapısının parametrelerinin belirlenmesinde yüksek başarı gösterdiği gözlemlenmiştir. [25]'daki çalışmaya benzer bir şekilde, yapay arı kolonisi algoritması uygulanarak ağın 4 adet parametresi için optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Optimize edilecek parametreler gizli katmandaki nöron sayısı, öğrenme oranı, momentum sabiti ve aktivasyon fonksiyonunun türü olarak seçilmiştir. Bu optimizasyon işlemi için Yapay Arı Kolonisi (YAK) algoritması seçilmiştir.

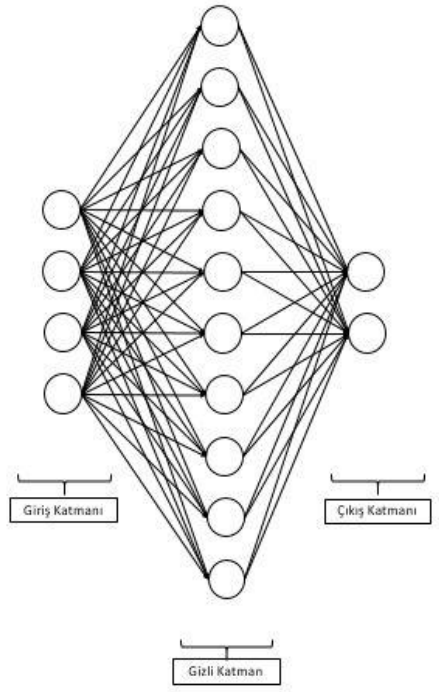
YAK algoritması arı kolonilerinin doğal yaşam davranışlarının modellenmesi ile oluşturulmuştur [30]. Optimize edilecek parametre değer vektörleri olası yiyecek kaynaklarına, uyumluluk değeri ise o kaynağa ait nektar miktarına karşılık düşmektedir. Kolonideki kaşif arıların görevi rastgele yiyecek kaynağı aramak, gözcü arıların görevi işçi arıların koloniye ulaştırdığı nektar miktarı bilgisine göre verimi görece yüksek kaynakların komşuluğunda yeni kaynaklar aramak, işçi arıların görevi ise yiyecek kaynaklarına ait nektar miktarı bilgisini hesaplamaktır.

Optimizasyonun uyumluluk değeri olarak test başarım oranı alınmıştır. Bu işlem gerçekleştirilirken işçi arı sayısı ve gözcü arı sayısı 6 adet seçilmiştir [29]. Bu parametrelerin optimizasyonu sonucunda elde edilen değerlerle ağ yapısının eğitimi gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçların en başarılı olduğu durumlardaki son ağırlıklar kaydedilmiş ve çok katmanlı algılayıcının sistemde kullanılacak olan ileri doğru hesaplama kısmı oluşturulmuştur. Optimizasyon sonucu kullanılmak üzere seçilen parametreler ve bu parametreler ile elde edilen test başarım oranı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: YAK sonucu elde edilen başarım oranı ve öğrenme parametreleri.

Parametre	Değer
Test başarımı	%96.6
Gizli nöron sayısı	10
Öğrenme oranı	0.41
Momentum sabiti	0.62
Aktivasyon fonksiyonu	sigmoid

YAK algoritması ile yapılan optimizasyon sonucunda elde edilen parametreler ile 4 giriş nöronu, 10 gizli nöron ve 2 çıkış nöronu ile 3 katmanlı çok katmanlı algılayıcı mimarisi oluşturulmuştur. Oluşturulan bu mimaride 4 adet giriş nöronu, el jestinin ilk ve son durumdaki konumlarının x ve y eksenindeki değerleri, çıkış katmanında bulunan iki adet nöron ise daha önceden anlamlandırılan fan ve sıcaklık ayarlarının ikili sistemdeki karşılıklarını ifade etmektedir. Oluşturulan mimari Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7: Oluşturulan çok katmanlı algılayıcı mimarisi.

Daha önceden elde edilen verilerden her hareketi temsilen en az 6000'er örnekten 26693 adet örnek toplanmış ve bunların %80'i eğitim verisi ve %20'si test verisi olmak üzere test verilerine çapraz doğrulama işlemi gerçekleştirilerek ağ 10 defa çalıştırılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda, her iterasyon adımı sonunda elde edilen sonuçlar Tablo 2'de, giriş ve gizli katman arasındaki son ağırlıklar Tablo 3'te, gizli ve çıkış katmanı arasındaki son ağırlıklar ise Tablo 4'te gösterilmektedir.

Elde edilen ağırlık değerleri kullanılarak çok katmanlı ağ mimarisi son haline getirilmiştir ve elde edilen ağ yapısı el jestlerinin hareketlerinin tanımlandırılması işleminde kullanılmıştır.

Tablo 2: Çok katmanlı ağ mimarisi başarı oranı sonuçları.

İterasyon	Başarı Oranı (%)
1	95.87
2	95.86
3	95.9
4	95.99
5	95.97
6	96.24
7	95.87
8	95.96
9	96.24
10	96.6
Ortalama	96.05

Tablo 3: Çok katmanlı ağ mimarisi son giriş ağırlıkları.

Giriş N. 1	Giriş N. 2	Giriş N. 3	Giriş N. 4	Bias Girişi
1.128	48.865	2.408	-49.054	-5.882
0.638	-7.676	14.241	8.149	-8.929
3.408	3.095	-50.163	-2.080	0.774
18.952	-17.819	-25.196	16.749	1.229
-3.797	-6.143	-6.671	-1.250	-0.176
18.963	12.157	-1.243	-12.767	-10.733
-63.133	-2.853	63.320	2.594	-5.461
0.627	-44.883	2.268	45.302	-5.567
48.452	3.952	-49.257	-3.957	-2.586
-56.854	-3.557	2.026	4.514	0.846

Tablo 4: Çok katmanlı ağ mimarisi son çıkış ağırlıkları.

Çıkış N. 1	Çıkış N. 2
27.928	5.207
-5.273	-14.868
0.827	-7.361
2.068	-6.218
-4.313	2.925
-4.701	12.850
-21.213	-6.761
30.895	-3.706
-20.248	10.593
-2.360	7.491
27.928	5.207

3 Sonuçlar

Bu çalışmada İnverter Klima Akıllı Etkileşim Sistem Tasarımı için literatürde sıklıkla kullanılmayan algoritmaların birleştirilerek yeni bir algoritma önerilmiştir. Bu algoritma iki temel aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar istenilen el jestinin tespit edilmesi ve tespit edilen el jestinin konumları ile klima sisteminin sıcaklık ve fan ayarlarının kontrol edilmesidir.

Literatürde el jestinin tespiti konusunda kullanılan algoritmalardan biri ten rengi tespitinin yapılması ve el jestinin belirlenmesidir [31]-[33]. Fakat el jestinin sadece ten rengi ile tespit edilmesi vücudun diğer bölümlerinin el jestiyle karıştırılması ya da ortamda ten rengine yakın renklerdeki objelerin de bulunabilmesi ve bunların el jestinin belirlenmesinde sorunlara neden olmasından dolayı tek başına başarılı bir algoritma değildir. Bu çalışmada kameradan alınan görüntüler üzerinde 64x64'lük pencereler gezdirilerek bu pencerelerden elde edilen YGH vektörleri ile el jesti tespiti yapılmaktadır. Çalışmada kullanılan ten rengi tespitinin amacı, bu pencerenin bütün resimde değil, öncelikli olarak sadece ten rengi tespiti yapılan bölgelerde YGH vektörü hesaplaması yaptırarak sistemin işlem hızını düşürmektir. Ten rengi tespiti yapılan bölgelerde, YGH algoritması ile el jesti tespit edilmemesi durumunda, ikincil olarak bütün resimde YGH vektörleri aranmakta ve el jesti tespit edilmektedir. Bu durumda ten rengi tespitinde bulunan çevreye bağımlı olma dezavantajı ortadan kalkmaktadır.

Literatürde el jesti tespiti için kullanılan bir diğer algoritma ise Haar Cascade algoritmasıdır [34]-[36]. Bu çalışmalarda el jesti konumunun bulunması için %90 ile %95 arası başarım elde edildiği görülmektedir. Yapılan öncü çalışmada da el jestinin tespiti için Haar Cascade algoritması kullanılmıştır [13]. Fakat, bu çalışmada Haar Cascade algoritmasının eğitimi için çok sayıda pozitif ve negatif resim (yaklaşık 8500 adet) gerekmesi ve eğitim işleminin çok uzun sürmesi, ayrıca Haar Cascade

algoritmasının eğitimi sonucunda elde edilen xml dosyasında elde edilen özelliklerin ne olduğunun bilinmemesi nedeniyle bu algoritmanın el jesti tespitinde sadece alternatif bir yöntem olarak kullanılmasına karar verilmiştir.

Yukarıda bahsedilen çalışmaların dışında el jestinin tespitinde YGH yöntemi kullanan çalışmalar da bulunmaktadır [37],[38]. Bu çalışmalarda ortak olarak farklı el jestlerinin tanımlanması işlemi gerçekleştirilmiştir. [37] No.lu çalışmada %91.42 oranında el jesti tespiti gerçekleştirilmiştir.

Önerilen algoritma ile inverter klima için akıllı etkileşim sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sistemde öncelikle ten rengi tespiti ve YGH algoritması kullanılarak el jesti tespitinin başarım yüzdesi kontrol edilmiştir. Öncü çalışmada [13] kullanılan 5500 adet pozitif resmin veri seti olarak kullanılması ile yapılan testte, istenilen el jestleri yaklaşık %94 oranında başarımla bulunmuştur. Sistemin ikinci kısmı olan karar verme mekanizması olan çok katmanlı ağ yapısının da el jestinin konumunu doğru anlamlandırması işleminin kontrolü için, oluşturulan 26.693 örneklik veri seti ile test işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonucunda çok katmanlı algılayıcıların öğrenme parametrelerinin optimizasyon işleminin gerçekleştirilmesi sayesinde ağ yapısı ortalama %96.05 oranda el jestlerini doğru anlamlandırmıştır. Sistem el jestlerinin konumunun belirlenmesi kısmı ve el jestlerinin konumlarının anlamlandırılması kısmı birleştirilerek tamamlanmıştır. Elde edilen sistem 10 ayrı kullanıcı tarafından farklı el jestlerini kullanmak koşuluyla 10'ar defa kullanılmış ve bu testler sonucunda 100 örneğin 92 tanesinde el jestini bulmuş ve el jestinin hareketini doğru anlamlandırmıştır. Sistemin test başarımı %92 olarak belirlenmiştir. Sistemin başarımını hesaplamak için yapılan testlerle ilgili örnek resimler Ek-A kısmında, Şekil 8, 9, 10 ve 11'de verilmiştir.

Bu çalışma ile ilgili olarak öngörülen çalışmalar ise öncü çalışmada [13] gerçekleştirildiği üzere sistemin donanımsal hale getirilmesi ve arka planda birden çok kullanıcı bulunduğu zaman sistemin başarı oranındaki değişimlerin takip edilmesidir.

4 Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Cumhuriyeti Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından San-Tez 0817.STZ.2014. No.lu projesi ile desteklenmiştir. Bu çalışma da bize yardımcı olan ARÇELİK-LG Klima Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketine Teşekkür ederiz.

5 Kaynaklar

[1] Preetham S, Sanath S, Sreevatsa GS, Sumanth M, Varun PM, Kumar DNK. "Smart console for vehicles". *Texas Instruments India Educators' Conference (TIIEC)*, Bangalore, India, 4-6 April 2013.

[2] Ju J, Han D, Kim J, Lee I, Cha J, Kim J. "A new control owner switching system for multiple TV viewers via face recognition". *IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, Las Vegas, NV, USA, 9-12 January 2015.

[3] Thavalengal S, Bigioi P, Corcoran, P. "Evaluation of combined visible/NIR camera for iris authentication on smartphones". *IEEE Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, Boston, MA, USA, 7-12 June 2015.

[4] Chaudhar A, Raheja JL, Das K, Raheja S. "Intelligent approaches to interact with machines using hand gesture recognition in natural way: a survey". *International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSES)*, 2(1), 122-133, 2011.

[5] Ohn-Bar E, Trivedi MM. "Hand gesture recognition in real time for automotive interfaces: A multimodal vision-based approach and evaluations". *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(6), 2368-2377, 2014.

[6] Renuka H, Goutam, B. "Hand gesture recognition system to control soft front panels". *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 3(12), 5-10, 2014.

[7] Lee D, Park Y. "Vision-based remote control sytem by motion detection and open finger counting". *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 55(4), 2308-2313, 2009.

[8] Zhou R, Yuan J, Zhang Z. "Robust hand gesture recognition based on finger-earth mover's distance with a commodity depth camera". *Proceedings of the 19th ACM international conference on Multimedia MM*, Scottsdale, Arizona, USA, 28 November-1 December 2011.

[9] Nasrollahi K, Moeslund TB, Rashidi M. "Haar-like rectangular features for biometric recognition". *International Conference on Biometrics*, Madrid, Spain, 4-7 June 2013.

[10] Gurav MR, Kadbe PK. "Real time finger tracking and contour detection for gesture recognition using OpenCV". *International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC)*, Pune, India, 28-30 May 2015.

[11] Swetha A, Sheeba MS. "Moving object tracking ın video scenes on embedded linux and beagleboard-Xm". *International Journal of VLSI and Embedded Systems-I*, 5, 764-768, 2014.

[12] Vignesh S, Saravanan P. "Real time hand gesture recognition for human machine communication using ARM cortex A-8". *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)*, 16(2), 43-48, 2014.

[13] Acay E, Kahraman N, Taşkıran M, Kıyan T, Usta Yoğun H. "Hardware application of human-machine ınterface in smart air conditioners using hand tracking". *58th International Symposium ELMAR*, Zadar, Croatia, 12-14 September 2016.

[14] Panasonic, Aircon "Panasonic Aircon Isıtma ve Soğutma Çözümleri". http://www.aircon.panasonic.eu/CZ_cs/happening/585/ (06.07.2016).

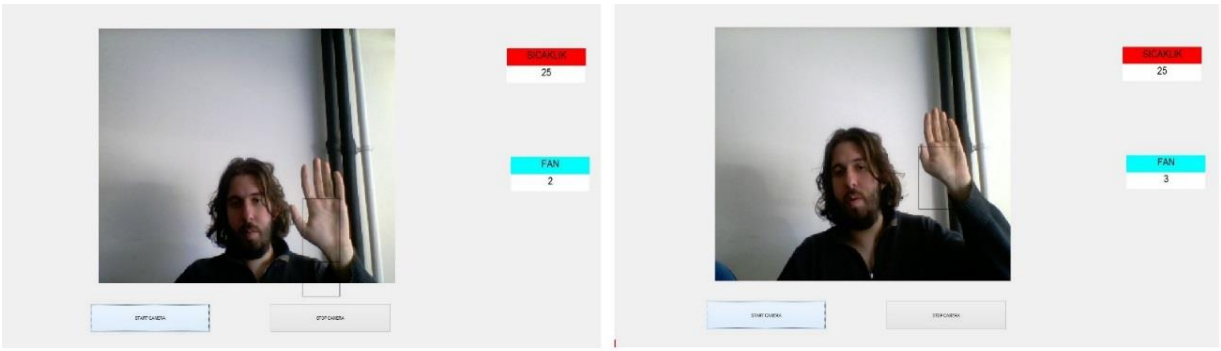
[15] Karakaya F, Altun H, Çavuşlu. MA. "Gerçek zamanlı nesne tanıma uygulamaları için HOG algoritmasının FPGA tabanlı gömülü sistem uyarlaması". *IEEE 17th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Antalya, Turkey, 9-11 April 2009.

[16] Tevetoğlu H O, Kahraman N. "Design of a human-machine interface control system for home air conditions". *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Malatya, Turkey, 16-19 May 2015.

[17] Özcan T. Hareketli Nesnelerde Yüz Tespitine Yönelik Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, Türkiye, 2010.

[18] Maleki M, Eroglu K, Aydemir O, Manshoori N, Kayikcioglu T. "A new method for selection optimum k value in k-NN classification algorithm". *21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Haspolat, Turkey, 24-26 April 2013.
[19] Dalal N, Triggs B, "Histograms of oriented gradients for human detection". *International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, San Diego, CA, USA, 20-25 June 2005.
[20] Bay H, Tuytelaars T, Gool LV. "Surf: Speeded up robust features". *Computer Vision and Image Understanding*, 110(3), 346-359, 2006.
[21] Zhu Q, Mei-Chen Y, Kwang-Ting C, Avidan S, "Fast human detection using a cascade of histograms of oriented gradients". *2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition,* New York, NY, USA, 17-22 June 2006.
[22] Güneş F, Demirel F, Mahouti P. "Design of a front–end amplifier for the maximum power delivery and required noise by HBMO with support vector microstrip model". *Radioengineering*, 23(1), 134-143, 2014.
[23] Güneş F, Demirel S, Mahouti P. "A simple and efficient honey bee mating optimization approach to performance characterization of a microwave transistor for the maximum power delivery and required noise". *International Journal of Numerical Modeling Electronics Network, Devices and Fields,* 29(1), 4-20, 2015.
[24] Hoang DC, Yadav P, Kumar R, Panda SK. "Real-Time ımplementation of a harmony search algorithm-based clustering protocol for energy-efficient wireless sensor networks". *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(1), 774-783, 2014.
[25] Anochi JA, Velho C, HF. "Optimization of feedforward neural network by multiple particle collision algorithm". *2014 IEEE Symposium on Foundations of Computational Intelligence (FOCI),* Orlando, FL, USA, 9-12 Dec 2014.
[26] Turky AM, Abdullah S, Sabar NR. "Electromagnetic algorithm for tuning the structure and parameters of neural networks". *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, Beijing, China, 6-11 July 2014.
[27] Ojha VK, Abraham A, Snášel V. "Simultaneous optimization of neural network weights and active nodes using metaheuristics". *14th International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS),* Kuwait, 14-16 December 2014.
[28] Zhu J, Li X. "An effective meta-heuristic for no-wait job shops to minimize makespan". *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 9(1), 189-198, 2012.
[29] Taşkıran M, Çam ZG, Kahraman N. "An efficient metho to optimize multi-layer perceptron for classification of human activities". *2nd International Conference on Computer, Control and Communication Technologies (CCCT'15)*, Antalya, Turkey, 3-4 December 2015.
[30] Pamuk, N."Enerji sistemlerinde yapay arı kolonisi (yak) algoritması kullanarak yük akışı optimizasyonu". *2013 Akdeniz Üniversitesi Akademik Bilişim Konferansı*, Antalya, Türkiye, 23-25 Ocak 2013.
[31] Zhang Q, Chen F, Liu X. "Hand gesture detection and segmentation based on difference background ımage with complex background". *The 2008 International Conference on Embedded Software and Systems (ICESS2008)*, Sichuan, China, 29-31 July 2008.
[32] Bousaaid M, Ayaou T, Afdel T, Estraillier P. "Hand gesture detection and recognition in cyber presence interactive system for E-Iearning". *International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS)*, Marrakech, Morocco, 14-16 April 2014.
[33] Huang Y, Chen Y, Cheng F. "Hand gesture detection and extraction". *IEEE China Summit & International Conference on Signal and Information Processing (ChinaSIP)*, Beijing, China, 6-10 July 2013.
[34] Yushan Y, Sheng B, Yaoyang M, Weiheng Q. "Real-Time gesture recognition system based on camshift algorithm and haar-like feature". *2016 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER),* Chengdu, China, 19-22 June 2016.
[35] Hsieh C, Liou D. "A real time hand gesture recognition system using motion history ımage". *2nd International Conference on Signal Processing Systems (ICSPS)*, Dalian, China, 5-7 July 2010.
[36] Chen Q, Georganas ND, Petriu EM. "Real-time Vision-based hand gesture recognition using haar-like features". *Instrumentation and Measurement Technology Conference- IMTC 2007*, Warsaw, Poland, 1-3 May 2007.
[37] Prasuhn L, Oyamada Y, Mochizuki Y, Ishikawa H. "A Hog-Based hand gesture recognition system on a mobile device". *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Paris, France, 27-30 October 2014.
[38] Zhao Y, Wang W, Wang Y. "A real-time hand gesture recognition method". *International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC)*, Ningbo, China, 9-11 September 2011.

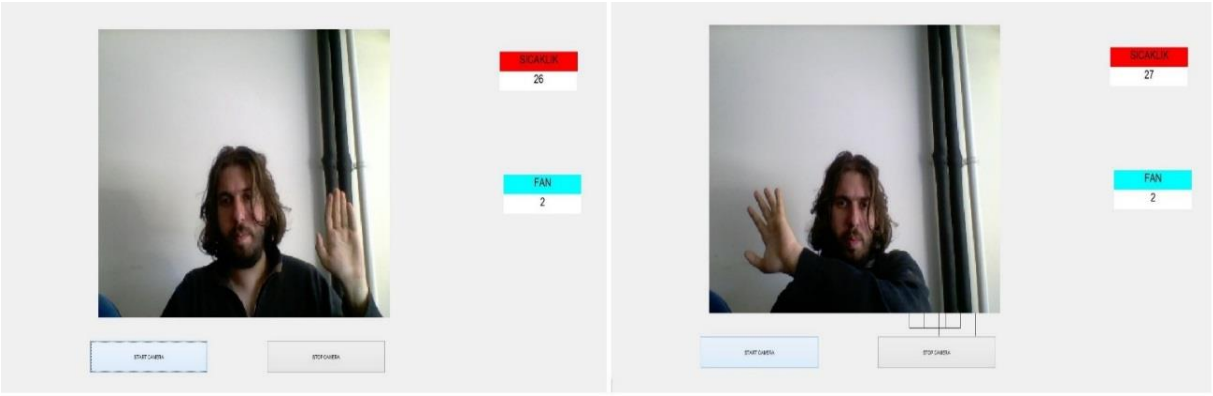
Ek A



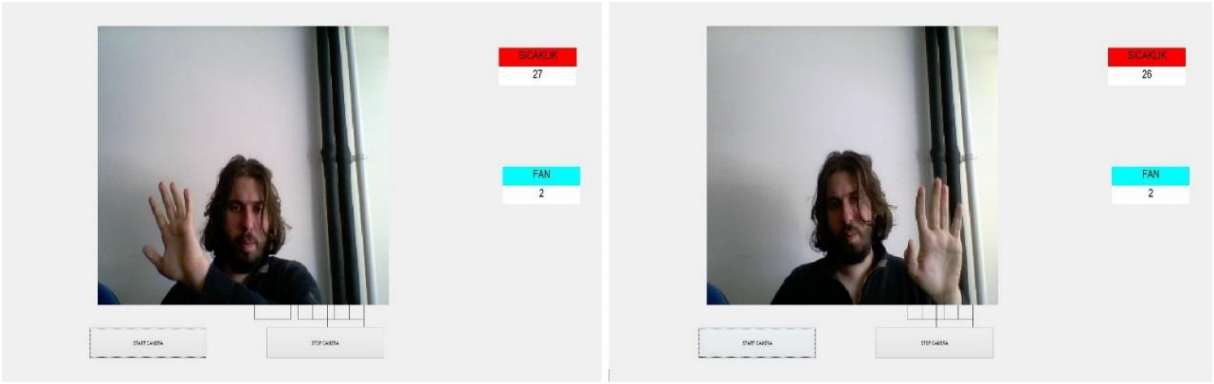
Şekil 8: Fan artırılmasına ait örnek arayüz çıktısı.



Şekil 9: Fan azaltılmasına ait örnek arayüz çıktısı.



Şekil 10: Sıcaklık artırılmasına ait örnek arayüz çıktısı.



Şekil 11: Sıcaklık azaltılmasına ait örnek arayüz çıktısı.