Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 24, Sayı 1, 2019 ARAŞTIRMA

DOI: 10.17482/uumfd.329723

SATRANÇ OYUNU İÇİN BİLGİSAYARLA GÖRME TABANLI HAMLE ALGILAMA VE YORUMLAMA SİSTEMİ

Can KORAY [*]
Emre SÜMER [**]

Alınma: 19.07.2017 ; düzeltme: 22.03.2019 ; kabul: 26.03.2019

Öz: Bu çalışmada, satranç oyununda yapılan hamlelerin gerçek zamanlı olarak tespit edilmesi ve yorumlanmasına olanak veren bilgisayarla görme tabanlı bir izleme sistem geliştirilmiştir. Bu sistem ile satranç müsabakalarındaki hakemlerin karar verme süreçlerinin desteklenmesi planlanmaktadır. Sistemin mekanik bölümü için satranç tahtasını tepeden gören bir izleme düzeneği geliştirilmiş olup bu düzenekte bir RGB web kamerası ve bir dizüstü bilgisayar yer almaktadır. Sistemin yazılım bölümü ise herhangi bir üçüncü parti satranç motoru kullanılmadan sadece Matlab programlama ortamında geliştirilmiştir. Önerilen sistem, hamle algılama ve hamle yorumlama işlevlerini ayrı ayrı yerine getirmektedir. Hamle algılama bölümünde kamera aracılığıyla elde edilen anlık görüntüler sırasıyla işlenerek hamle tespiti yapılmış, satranç taşlarının konum ve renk bilgisi belirlenmiştir. Bu aşamada ayrıca, satranç tahtasının geometrik olarak düzeltilmesi ve görüntü kırpma gibi ön işlemler de yer almaktadır. Hamle yorumlama bölümünde ise, hamle sırasının ve geçerliliğinin belirlenmesi, geçersiz bir hamle yapılması halinde ilgili uyarı mesajlarının verilmesi sağlanmıştır. Ayrıca, oyundan elde edilen verilerin iki boyutlu olarak görselleştirilmesi ve hamle kayıtlarının saklanması da sağlanmıştır. Geliştirilen sistem, her biri 100'er özdeş hamleden oluşan ancak farklı ışık koşullarında oynanan üç oyun senaryosu ile test edilmiştir. Elde edilen hamle algılama ve yorumlama başarıları her bir oyun için sırasıyla %96, %98 ve %95 olarak hesaplanmıştır. Sistemin yüksek doğrulukla çalışması için bazı kısıtlar mevcut olup bunlar; satranç taşlarının renklerinin birbirlerine çok yakın olmaması, oyun esnasında ortam ışığının sabit kalması ve kamera açısının ve konumunun sabit tutulması, olarak sıralanabilir.

Anahtar Kelimeler: Satranç Oyunu, Gerçek-Zamanlı, Bilgisayarla Görme, Hamle Algılama, Hamle Yorumlama

A Computer Vision Based Move Detection and Interpretation System for Chess Game

Abstract: In this study, a real time computer vision based tracking system that enables to detect and interpret moves in a chess game is developed. With this system, it has planned to support the decision making processes of referees in chess matches. For the mechanical part of the system, a setup is established, which is positioned over the chess board and includes a RGB web camera and a laptop computer. For the software part, all the implementations are carried out with Matlab programming environment without using any third party chess engine. The proposed system performs move detection and interpretation processes individually. In move detection part, snapshots taken by the camera are processed one by one. For each snapshot, color and position of each chess piece are identified. This stage also enables the preprocessing steps such as geometric rectification of chess board and image cropping. In move interpretation part, move turns and the validation of the moves are identified. Illegal moves are notified by the system. Besides, the results are visualized in a 2D environment and logged. The system

[*] Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bağlıca Kampüsü, 06790, ANKARA
[**] Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bağlıca Kampüsü, 06790, ANKARA
İletişim Yazarı: Emre SÜMER (esumer@baskent.edu.tr)

was tested with three game scenarios where each game is composed of 100 identical moves but played under different illumination conditions. The accuracies of move detection and interpretation are computed to be 96%, 98% and 95% for each scenario, respectively. There are some limitations for the system to work with high accuracy; the colors of the chess pieces are not very close to each other, the ambient light remains constant during the game and the camera angle and position are kept constant.

Keywords: Chess Game, Real-Time, Computer Vision, Move Detection, Move Interpretation

1. GİRİŞ

Bilgisayarla görme, insanın görme ve akıl yürütme yeteneklerini taklit ederek üç boyutlu dünya ile ilgili sahne yorumlama, fiziksel özellik çıkarma, model oluşturma gibi konuları kapsayan disiplinler arası bir araştırma alanıdır. Nesne tespiti (object detection), nesne tanıma (object recognition), sahne geri-çatımı (scene reconstruction), izleme (tracking), görüntü işleme (image processing) gibi konular bilgisayarla görmenin alt dalları arasında yer alır. Bilgisayarla görme teknikleri ile elde edilen veriler ile sayısal sistemlerin rasyonel kararlar verebilmesi sağlanabilmektedir. Bu tip sistemlerde kameradan veya algılayıcıdan gelen veri işlenerek daha önceden belirlenmiş kurallar çerçevesinde bir takım yorumlar veya çıkarsamalar yapılabilmektedir.

Bilgisayarla görme sistemleri işledikleri veri kümelerine bağlı olarak izleme ve takip problemlerinde sıkça kullanılmaktadır. Literatürdeki birçok çalışmada hakem, gözetmen gibi robot görme sistemlere rastlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında da satranç müsabakalarındaki hakemlerin karar verme sürecine destek olmayı amaçlayan bir sistem ortaya konulmuştur. Geliştirilen sistem; düşük maliyetli, insan müdahalesini büyük ölçüde ortadan kaldıran ve yüksek doğrulukta sonuç üretebilen bir yapıda tasarlanmıştır. Ayrıca, geliştirilen yazılım sayesinde oyun hamlelerinin kaydedilmesi, görselleştirilmesi ve uzaktaki kişilerce de takip edilebilir hale getirilmesi sağlanmıştır.

2. İLGİLİ LİTERATÜR

2.1. Satranç Oyunu

Satranç, tarihi çok eski zamanlara dayanan, iki oyuncu arasında oynanan bir zekâ oyunudur. Oyun, 8x8 boyutlarında toplam 64 kareden oluşan bir alan üzerinde 32 adet taş ile oynanır. Satranç tahtası karelerinin yarısı koyu (siyah), diğer yarısı açık (beyaz) renklerden oluşur. Oyun başladığında 16 siyah ve 16 beyaz taş bulunmaktadır. Bu taşlar; her bir oyuncu için 1 adet şah, 1 adet vezir, 2 adet kale, 2 adet fil, 2 at ve 8 tane piyondan meydana gelir. Oyuncular arasında bir oyuncu beyaz ve diğer oyuncu siyah taşları oynayacak şekilde renk seçimi yapılır ve oyuna beyaz taşları seçen oyuncu başlar. Her oyuncunun bir seferde bir hamle yapmasıyla oyun gelişir. Oyunun amacı karşı tarafın şahını ele geçirmektir. Bir başka deyişle, şahın bulunduğu karenin tehdit altına alınması ve bu tehdidi engelleyecek karşı hamlenin olanaksız hale gelmesi durumudur (Satranç Dünyası, 2017).

Her taşın farklı bir hareket kabiliyeti bulunmaktadır. Bu hareketler aşağıda özetlenmiştir:

- *Piyon:* Bir kare ileri gidebilir. Yalnızca ilk defa hareket ettiğinde iki kare ilerleyebilir. İleri doğru giderken sol ya da sağ çaprazındaki taşları ele geçirebilir. Piyon, geçerken alma (en passant) adı verilen özel bir hamle de yapabilir. Bu durum, hiç hamle yapmamış olan piyonun iki kare öne çıkarak rakip piyon ile yan yana gelmesi sonucu rakip piyon tarafından ele geçirilmesidir.
- *At:* "L" harfine benzer şekilde yukarı, aşağı, sağa ve sola doğru hareket edebilir. At, gittiği konumdaki rakip taşı ele geçirebilir. Diğer taşlardan farklı olarak başka bir taşın üzerinden atlayarak hareket edebilir.
- *Kale:* Yukarı, aşağı, sağa ve sola istenilen kare sayısı kadar hareket edebilir. Gittiği konumdaki rakip taşı ele geçirebilir.

- *Fil:* Çapraz olarak istenilen kare sayısı kadar hareket edebilir. Gittiği konumdaki rakip taşı ele geçirebilir. Bir oyuncunun sahip olduğu iki filin biri sadece beyaz, diğeri ise sadece siyah kareler üzerinde hareket edebilir.
- *Vezir:* Hem kale gibi yukarı, aşağı, sağa ve sola, hem de fil gibi çapraz olarak istenilen kare sayısı kadar hareket edebilmektedir. Gittiği konumdaki rakip taşı ele geçirebilir.
- *Şah:* Her yöne sadece bir kare ilerleyerek hareket edebilir. Gittiği konumdaki rakip taşı ele geçirebilir. Şah, kendisine tehdit oluşturabilecek rakip taşların hareket alanlarına giremez (Satranç Dünyası, 2017).

2.2. Benzer Çalışmalar

Satranç tahtasında yer alan karelerin köşe noktalarının tespit edilmesi, hamle tespiti ve takip sistemleri için önemli bir ön işlem adımıdır. Bu konu ile ilgili; Cour ve diğ. (2002) örüntü eşleştirme tabanlı, Han ve DeSouza (2007) ise Hough dönüşümü ile elde edilen çizgilerin kesişimlerinin alınmasına dayalı yöntemler önermişlerdir. Bir diğer çalışmada, histogram eşitleme ve Harris köşe operatörü tabanlı bir yöntem kullanılmıştır (Douskos ve diğ. (2007)). Öte yandan, Zhao ve diğ. (2008) geliştirilmiş Hough dönüşümüne dayalı bir yöntem ile, Neufeld ve Hall (2010) ise Canny kenar tespiti ve Hough dönüşü tabanlı bir yöntem kullanarak satranç tahtasına ait özniteliklerin çıkarılmasını sağlamışlardır. Bennet ve Lasenby (2014) ise aynı amaç için 'Chess-board Extraction by Substraction and Summation (ChESS)' isimli bir öznitelik algılayıcı geliştirmişlerdir.

Tahta ve taş tespitinin yapılmasına yönelik önemli çalışmalara da literatürde rastlanmıştır. Bu çalışmalardan birinde satranç tahtasının tespiti için parlaklık değerlerinin dikey izdüşümüne dayalı bir yaklaşım önerilmiş olup taş tespiti için de arka plan çıkarımını temel alan bir yöntem geliştirilmiştir (Illeperuma (2011)). Öte yandan, Piškorec ve diğ. (2011) tarafından yapılan bir başka çalışmada tepeden bakan birinci kameradan taş konumlarının tespitini, çaprazdan bakan ikinci kameradan taş özelliklerinin tespitini sağlayan çift kameralı bir sistem önerilmiştir. Taş ve tahtanın sınıflandırılmasında da Destek Vektör Makinesi (SVM) sınıflandırıcı kullanılmıştır. Son olarak, Khater ve diğ. (2012) tarafından taş özelliklerinin tespiti için 'signature' öznitelikleri ve Temel Bileşenler Analizi'ni (PCA) temel alan bir yaklaşım önerilmiştir.

Satranç hamlelerini tespit etmek, satranç oynayan bir otonom sisteminin ön adımı olarak görülebilir. Bu konu ile ilgili Sokic ve Ahic-Djokic (2008), görüntü çerçevelerinin farklarına dayalı bir yaklaşımla hamle tespitini gerçekleştirmiştir. Ayrıca, uzaktan kontrol edilen bir robotla satranç oynayabilmek için, proje-tabanlı öğrenme sistemine dayalı bir bilgisayarla görü sistemi önermişlerdir. Benzer bir çalışmada Ataş ve diğ. (2014); ana kontrolcü, resim işleme, makine öğrenme, oyun motoru ve robot kolu için hareket motoru gibi çeşitli modüllerden oluşan ve satranç oynayan bir robotik kol sistemi geliştirmişlerdir. Çalışmalarında taşları tanımlamak için Yapay Sinir Ağları (YSA) tabanlı bir yapay öğrenme modülü kullanmışlardır.

Öte yandan, satranç karşılaşmalarında oyuncu olarak yer alabilecek yapay zekâ kullanan robotlar üzerinde çalışmalara da literatürde rastlanmaktadır. Bu çalışmalardan birinde Kaur ve diğ. (2010) satranç oynayabilen ve yapay zekâya sahip bir robot geliştirmişlerdir. Bu sistemde satranç tahtasının elde edilmesi için kenar tespiti ve piksel saptaması yapılmıştır. Ayrıca, hamle sırasında elde edilen görüntülerin farkları alınarak hamle tespiti yapılmıştır. Banerjee ve diğ. (2011) tarafından yapılan bir diğer çalışmada gerçek zamanlı olarak satranç oynayabilen bir robot geliştirilmiştir. Bu çalışmada satranç tahtasının karelerini bulabilmek için Shi-Tomasi köşe tespit algoritması, karelerin doluluğunu belirlemek için de Canny kenar tespit yönetimi kullanılmıştır. Diğer bir robotik sistem olan 'Gambit' insanlara karşı fiziksel bir satranç tahtası üzerinde oyun oynayabilmektedir. Matuszek ve diğ. (2011) tarafından geliştirilen bu sistem görüntüden derinlik bilgisi çıkararak gerçek-zamanlı hamle tespiti yapabilmektedir. Ayrıca, Gambit satranç taşlarını tanımayı öğrenebilmekte ve bu sayede bir satranç oyununa herhangi bir zamanda katılabilmektedir. Sajo ve diğ. (2011) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada

Turk-2 adında bir insansı robot geliştirilmiştir. Bu robot rakipleriyle satranç oynarken rakiplerini görüp duyarak onlarla konuşabilmekte ve bir ekran vasıtasıyla hislerini gösterebilmektedir. Angelkov ve diğ. (2015) ise geliştirdiği robot sistemindeki taşların hamlelerini tespit edip yorumlayabilen Canny kenar tespiti tabanlı bir hareket tespit algoritması önermiştir.

Literatürde yer alan tüm bu çalışmaların bilgisayarla görü tabanlı satranç oynama sistemleri hakkında farklı bakış açıları ortaya koyduğu yadsınamaz bir gerçektir. Ancak bu çalışma kapsamında önerilen, bir satranç müsabakasını takip ederek hakem rolünü üstlenebilecek veya sistemin ürettiği geri beslemeler ile hakeme destek olabilecek yardımcı bir sistemin tasarlanmasıdır. Bu yönüyle, önerilen çalışmanın kullanım amacı olarak yenilikçi bir yöne sahip olduğu düşünülmektedir.

3. SİSTEM DÜZENEĞİ VE MATERYAL

Önerilen sistem için oyunun gerçek zamanlı takibine yönelik bir düzenek hazırlanmıştır (Şekil 1). Bu düzenekte 720p çözünürlüklü bir web kamerası olan Logitech c310 modeli tercih edilmiştir. Kameranın otomatik odaklanma özelliği bulunmamakta olup hamle tespiti için kamera ayarlarından sadece pozlandırma modu (exposure mode) otomatik moddan elle ayarlanabilir moda alınmıştır. Kamera, satranç tahtasını tepeden görecek bir açıda konumlandırılmıştır. Uzun ve esnek bir yapıda olan ve kamerayı tutan kolun ağırlık noktası dengeli olacak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca kamerayı tutan kol oyuncuların görüş açısının dışında kalacak şekilde tasarlanmıştır.



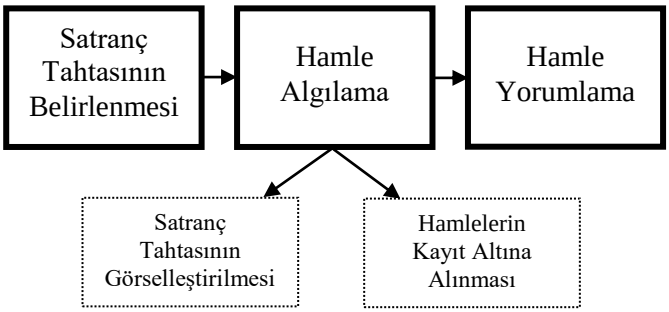
Şekil 1:
Tasarlanan oyun izleme düzeneği

Düzenekte kullanılan satranç tahtası ve taşlar Dünya Satranç Federasyonu'nun (FIDE) belirlemiş olduğu renk ve boyut kuralları dikkate alınarak seçilmiştir (FIDE Handbook, 2017). Bu bağlamda, satranç tahtası üzerinde bulunan karelerin renkleri, oyun taşlarının renklerinden farklı olacak şekilde seçilmiştir.

Önerilen sistemin işlem adımlarının gerçekleştiriminde MATLAB programlama ortamı kullanılmıştır. Bazı hazır fonksiyonlar, MATLAB bünyesindeki 'Image Acquisition', 'Image Processing' ve 'Computer Vision System' araç kutularından kullanılmıştır. Sistem, 2.20Ghz frekanslı Intel Core i7-2670QM işlemcisine ve 8 GB belleğe sahip bir dizüstü bilgisayarda geliştirilerek gerçek-zamanlı olarak test edilmiştir.

4. YÖNTEM

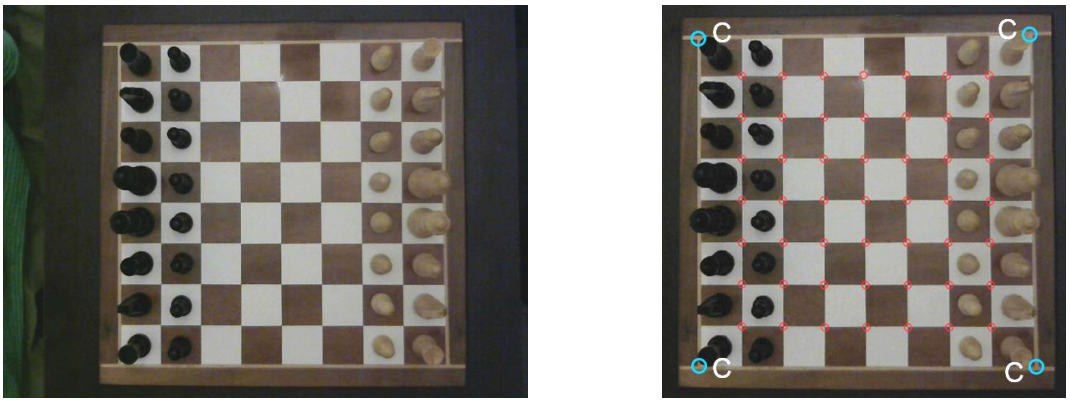
Önerilen sistemin adımlarını gösteren iş akış şeması Şekil-2'de verilmiştir. Buna göre; ilk adım olarak satranç tahtası belirlenir. Bu adımda satranç tahtası üzerindeki karelerin dış çerçeveleri tespit edilir. Bu işlemi takiben elde edilen tahta görüntüsü geometrik olarak düzeltilerek perspektif bozulmalar giderilir. Ayrıca, tahtanın konumu her zaman açık renk taşlar aşağıda ve koyu renk taşlar yukarıda olacak şekilde ayarlanır. İş akışının ikinci adımında boş ve dolu karelerin renk değerleri analiz edilerek oyuncuların yaptığı hamleler algılanır. Bu adım sonucunda sistem iki farklı çıktı üretmektedir. Bunlardan ilki satranç tahtasının anlık durumunun iki boyutlu görüntüsü, diğer ise yapılan hamlelerin cebirsel notasyondaki listesidir. Üçüncü ve son adım, tespit edilen hamlelerin geçerliliğinin kontrol edildiği yorumlama bölümüdür.



Şekil 2:
Önerilen sistemin iş akış şeması

4.1. Satranç Tahtasının Belirlenmesi

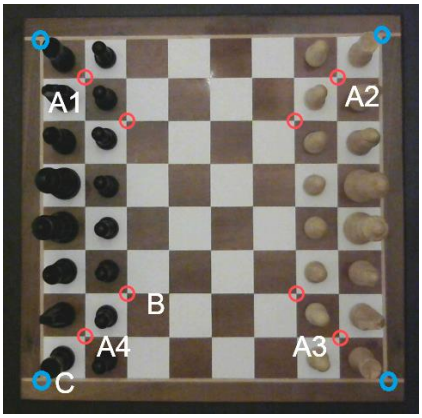
Sistem düzeneğine bağlı kameradan alınan anlık görüntüden satranç tahtasını tespit edebilmek için öncelikle satranç tahtasının her bir karesinin köşe noktaları tespit edilmiştir. Bu işlem için 'Matlab – Computer Vision System' araç kutusunun 'detectCheckerboardPoints' isimli fonksiyonundan faydalanılmıştır. Bu fonksiyon görüntünün ikinci türevini alarak açık ve koyu renk karelerden oluşan ve en küçüğü 4x4 olan dama tahtası örüntüsünü tespit edebilmektedir (MathWorks Support, 2017). Kameradan alınan örnek bir anlık görüntü ve tespit edilen köşe noktaları (kırmızı yuvarlaklar) Şekil 3(b)'de verilmiştir.



a. *b.*

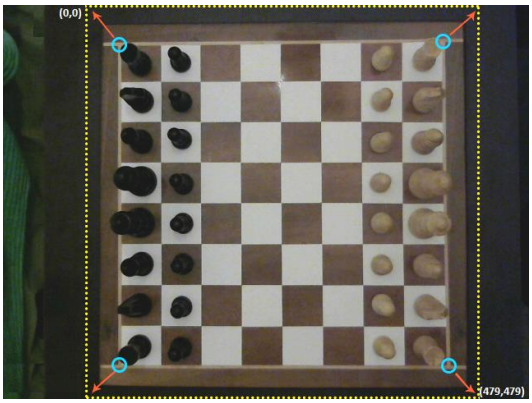
Şekil 3:
a. *Kamera düzeneğinden alınan örnek bir anlık görüntü* ***b.*** *Tespit edilen köşe noktaları*

Daha sonra, elde edilen bu noktalarla satranç tahtasının dış çerçevesini belirleyen köşe noktalarına (mavi yuvarlaklar ile gösterilen **C** noktalarına) ulaşılmıştır. **C** noktalarının bulunmasında daha önceden tespit edilen **A** ve **B** noktalarından faydalanılmıştır (Şekil 4). Buna göre, öncelikle ekran görüntüsünün sol alt piksel koordinatına en yakın köşe noktası **A4** noktası olarak etiketlenmiştir. Daha sonra, **A4** noktasına en yakın diyagonal nokta **B** noktası olarak etiketlenmiştir. **B** noktasının **A4** noktası üzerinden yansıması alınarak **C** noktasına ulaşılmıştır. Diğer üç köşede yer alan **C** noktalarının belirlenmesinde de **A1**, **A2** ve **A3** noktaları kullanılarak benzer bir mantık ortaya koyulmuştur.

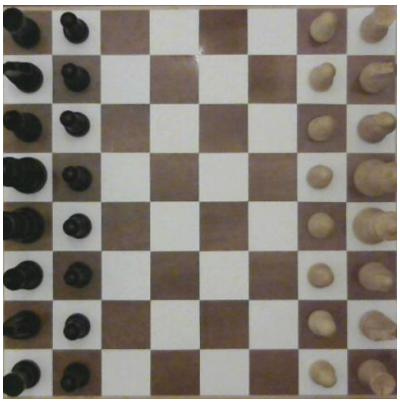


Şekil 4:
Satranç tahtasının dış çerçevesinin belirlenmesi

Bir sonraki işlem adımında **C** noktaları kullanılarak satranç tahtasına geometrik doğrultma (geometric rectification) işlemi uygulanmıştır. Bunun için, elde edilen **C** noktaları 480x480 piksel boyutlu bir düzlemin köşe noktalarına denk gelecek biçimde örtüştürülmüştür. Yapılan testler sonucunda seçilen düzlem boyutunun geometrik dönüşüm hatalarını en düşük düzeyde tuttuğu gözlenmiştir. Doğrultma işlemi için 'Matlab – Image Processing' araç kutusunun 'imwarp' isimli fonksiyonundan faydalanılmıştır. Bu fonksiyon girdi parametresi olarak verilen kontrol noktalarını (C noktaları ve seçilen düzlemin köşe noktaları) almakta ve belirtilen dönüşüm tipine göre geometrik dönüşümü gerçekleştirmektedir. Şekil 5(a)'da gerçekleştirilen doğrultma işlemi, Şekil 5(b)'de ise doğrultma işlemi bitiminde uygulanan kırpma işleminin sonucunda ortaya çıkan satranç tahtası verilmiştir. Uygulanan doğrultma işlemi sayesinde anlık görüntüde hafif çapraz olarak duran satranç tahtası düzeltilerek bundan sonraki işlemler için hazır hale getirilmiştir.



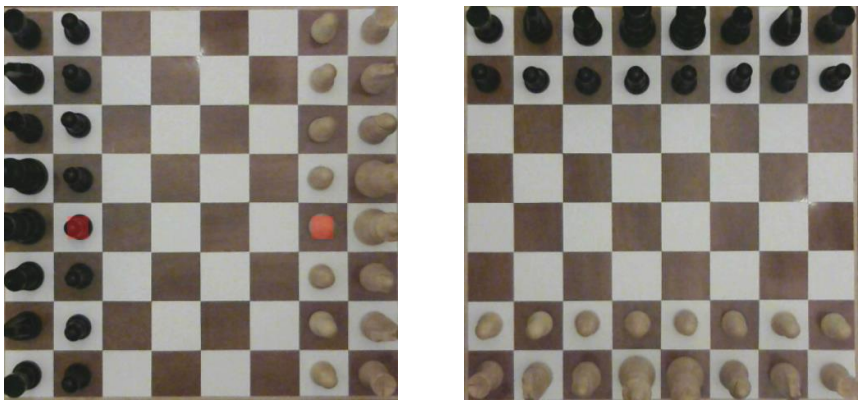
a.



b.

Şekil 5:
a. *Geometrik doğrultma işlemi* ***b.*** *Kırpma işlemi sonrası satranç tahtasının görünümü*

Satranç tahtasının belirlenmesi adımının son işleminde tahtanın konumu açık renk taşlar aşağıda ve koyu renk taşlar yukarıda olacak biçimde ayarlanmaktadır. Bu işlemin otomatik olarak yapılmasıyla bundan sonra yapılacak işlemler için her seferinde taşların başlangıç pozisyonunun kontrol edilmesine gerek kalmayacaktır. Bunun için öncelikle, elde edilen satranç tahtası görüntüsü düşey ve yatayda 7 eşit parçaya bölünmüştür. Bölünmeyle birlikte ortaya çıkan 64 parçanın (8x8 kare) her biri satranç tahtasının üzerinde bulunan her bir kareye denk gelmektedir. Böylelikle her bir kare hakkında bilgi edinilmesi olanaklı hale gelmektedir. Bu noktadan hareketle iki tarafta bulunan şahlarının önündeki piyonların içinde bulunduğu karelerin merkezinden 23x23 piksellik birer ilgi bölgesi oluşturulmuştur. Oluşturulan ilgi bölgelerinin boyutu karelerin dışına taşmayacak ve renk bilgisini kapsayacak şekilde hesaplanmıştır. İlgi bölgelerinden alınan renk değerlerinin ortalaması karşılaştırılarak açık renk ve koyu renk taşların tarafları belirlenmiştir. Açık renk taşların sağ tarafta yer alması haline satranç tahtası 90^0 saat yönünde, sol tarafta yer alması haline ise 90^0 saat yönünün ters istikametinde döndürülmektedir. Seçilen piyonların üzerinde oluşturulan ilgi bölgeleri (kırmızı kareler) ve yeniden konumlandırılmış satranç tahtasının görünümü Şekil 6'da verilmektedir.

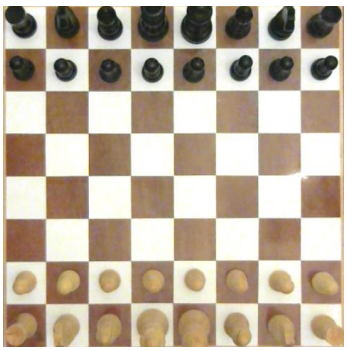


a. *b.*

Şekil 6:
a. *Belirlenen ilgi bölgeleri* ***b.*** *Yeniden konumlandırma sonrası satranç tahtasının görünümü*

4.2. Hamle Algılama

Hamle algılama adımına geçmeden önce kamera görüntüsünden alınan anlık görüntülerin solgunluğu giderilerek renk kalitesi yükseltilmiştir. Bunun için RGB (Red-Green-Blue) renk uzayındaki görüntüler HSI (Hue-Saturation-Intensity) renk uzayına dönüştürülerek doygunluk (saturation) bileşeninin değeri %50 oranında artırılmıştır. Bu işlem sonrasında iyileştirilmiş satranç tahtasının görünümü Şekil 7'deki hale gelmiştir.



Şekil 7:
Görüntü iyileştirme işlemi sonrası elde edilen satranç tahtası görüntüsü

Gerçekleştirilen iyileştirme adımını takiben taşların ve karelerin ortalama renk bilgileri elde edilmiştir. Bu bağlamda:

- Açık renk taşlar için; açık renk taşların üzerinde bulunduğu toplam 16 karenin,
- Koyu renk taşlar için; koyu renk taşların üzerinde bulunduğu toplam 16 karenin,
- Açık renkli kareler için; satranç tahtasının ortasında bulunan, taşların bulunmadığı toplam 16 açık renkli karenin,
- Koyu renkli kareler için; satranç tahtasının ortasında bulunan, taşların bulunmadığı toplam 16 koyu renkli karenin,

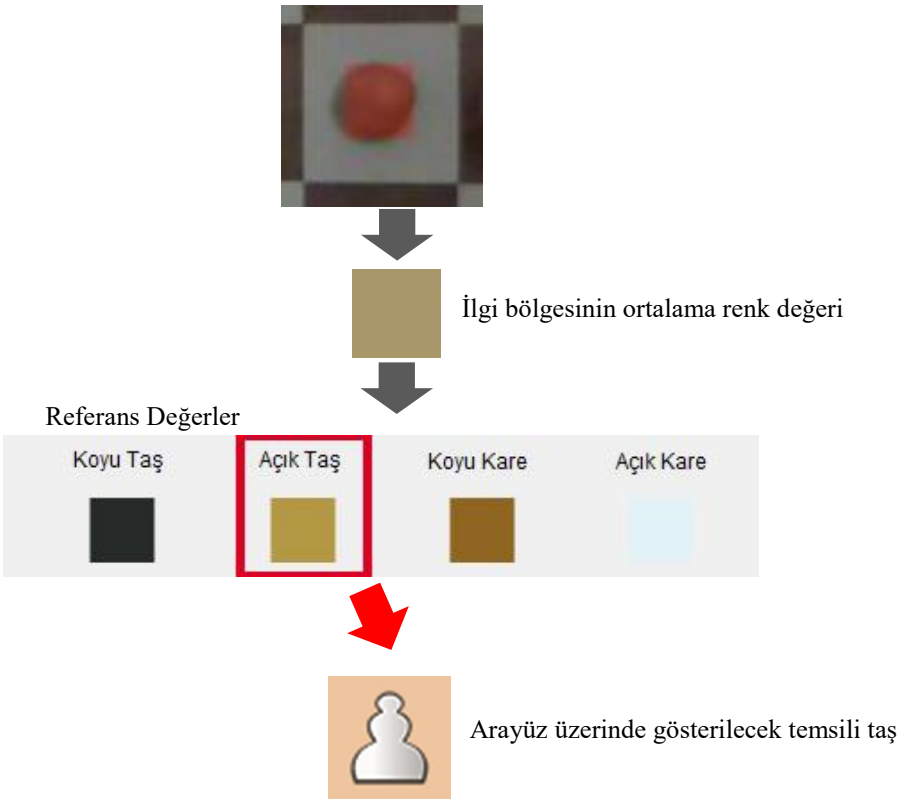
merkezine konumlandırılmış 23x23 piksellik ilgi bölgelerinden alınan renk değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Bu renk değerleri taş belirleme işleminde kullanılmak üzere CIE Lab formatında saklanmıştır. Oyunun başında bir defaya mahsus alınan bu ortalama renk değerleri, 'referans renk değerleri' olarak kabul edilip daha sonraki işlemlerde satranç tahtasının durumunu analiz etmek için kullanılmıştır.

Satranç tahtası üzerinde bulunan taşların renk ve konumlarının belirlenebilmesi için ilk önce oyuncunun hamle yapmış olduğunun saptanması gerekmektedir. Bu durum, referans görüntü ile kameradan alınan anlık görüntünün karşılaştırılmasıyla ortaya çıkarılmıştır. Satranç oyunu kamera tarafından görüntülenmeye başlandığı anda kameradan alınan ilk anlık görüntü ilk referans görüntüsü olarak kaydedilmektedir. Her geçerli hamleden sonra elde edilen anlık kamera görüntüsü yeni referans görüntüsü olacak şekilde eskisinin üzerine kaydedilerek güncellenmektedir. Referans görüntüsü elde edildikten sonra hamle tespiti için referans görüntüsü ile anlık kamera görüntüsünün renk bilgileri karşılaştırılmaktadır. İki görüntü çerçevesi arasındaki renk farklılığını sayısal olarak tespit edebilmek için farkların mutlak değeri hesaplanmıştır. Fark matrisinin verdiği değerlerin ortalaması alınarak iki görüntü arasındaki fark tamsayı cinsinden hesaplanmıştır. Oyuncunun eli anlık görüntünün içerisindeyken, iki görüntünün renk değerlerinin farkı oldukça büyük olmaktadır. Diğer durumda ise oluşan fark oldukça küçüktür. Bu ayrımı sağlıklı bir biçimde yapabilmek için bir eşik değeri (t) belirlenmiştir. Yapılan testlere göre $t=7$ değerinin en uygun değer olduğu anlaşılmıştır. Bu değer ve üzerindeki ortalama farklar oyuncunun hamle yaptığını göstermektedir. Eşik değerinin altındaki değerler ise hamlenin bittiği anlamına gelmektedir. Hamlenin bitiminde kameradan alınan anlık görüntü, taşların renk ve konumlarının belirlenmesinde kullanılacak görüntü çerçevesi olarak belirlenmiştir.

Taşların renk ve konumlarının belirlenmesi için satranç tahtasının her bir karesindeki ilgili bölgelerinin renk değerleri ile referans renk değerleri karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma, renk değerleri insan algısına en yakın olan CIE Lab uzayında yapılmıştır. Her bir kareden alınan ortalama renk değerleri Şekil 8'de görülen dört referans değer ile karşılaştırılıp bir ΔE değeri hesaplanmıştır.

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (1)$$

(L_1^*, a_1^*, b_1^*) ve (L_2^*, a_2^*, b_2^*) CIE Lab uzayında iki farklı renk olup ΔE = 0'a en yakın çıkan ilgi bölgesi, o referans değerinin temsil etmiş olduğu kare veya taş olarak belirlenmektedir.



Şekil 8:
Hamle algılamanın temsili gösterimi

Bu işlem satranç tahtası üzerindeki 64 kare için tekrarlanarak tüm satranç taşlarının son durumları belirlenmektedir. Ayrıca tüm hamle girişimlerine ait değişimler tasarlanan bir sistem arayüzü ve satranç tahtası arayüzü üzerinde gösterilmek üzere kayıt altına alınmaktadır. İlgili arayüzlere Bölüm 4.4'de yer verilmiştir.

4.3. Hamle Yorumlama

Hamle yorumlama adımında satranç tahtası üzerindeki renk değişiminin bir hamle olup olmadığı; eğer hamle ise, geçerli bir hamle olup olmadığı belirlenmektedir. Oyunun başlangıcında satranç taşlarının konumları ve tipleri, sistem tarafından son geçerli hamleye ait taşların konum ve tip bilgileri olarak kaydedilmiştir. Buna göre, hamle tespiti yapıldıktan sonra belirlenen taşlar ile son geçerli hamleye ait taşların konumları karşılaştırılmıştır. Hamle yorumlama adımının anlatımında kullanılacak bazı kavramlar aşağıda verilmiştir. Buna göre:

- Dolan Kare: Önceden üzerinde taş olmayan karenin taş ile dolması,
- Boşalan Kare: Önceden üzerinde taş olan karenin boşalması,
- Değişen Kare: Önceden üzerinde taş olan karenin renginin değişmesi, olarak kabul edilmiştir.

Taşların önceki ve sonraki bilgileri bilindiğine göre; dolan, boşalan ve değişen kare sayılarına rahatlıkla ulaşılabilmektedir. Karşılaştırma verilerine göre 5 farklı yorumlama durumu ortaya çıkabilmektedir:

1. Dolan, boşalan veya değişen herhangi bir kare yok ise; bu durumda oyunda hiçbir değişikliğin olmadığı ve bir hamle yapılmadığı sonucuna varılmaktadır.
2. Dolan veya değişen karelerden birinde ve boşalan bir karede değişiklik olduysa; bu bir hamledir ve bu hamlenin geçerliliği daha sonra kontrol edilecektir.

3. Dolan ve boşalan kare sayısında ikişer değişiklik olduysa; bu oyuncunun "rok" özel hamlesini yapmış olabileceği anlamına gelmektedir. Rok hamlesinin geçerliliği daha sonra kontrol edilecektir.
4. Boşalan iki kare ve dolan bir kare varsa; bu oyuncunun 'geçerken alma (en passant)' özel hamlesini yapmış olabileceği anlamına gelmektedir. Geçerken alma işleminin geçerliliği daha sonra kontrol edilecektir.
5. Yukarıda belirtilen ilk 4 koşulun dışındaki tüm durumlarda karşılaştırma sonucu bir hamle değildir.

Durum - 1:

Satranç tahtası üzerinde meydana gelen renk değişiminin bir hamle olmadığı ve dışarıdan kaynaklanan başka bir etkileşim olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu durum bir geçersiz hamledir ve uygulama "*Bu bir geçersiz hamledir. Taşlarda herhangi bir değişiklik bulunmamaktadır*." şeklinde bir uyarı mesajı vermektedir.

Durum - 2:

Karşılaştırmadan çıkan sonuç bir hamleyse bunun geçerliliği kontrol edilmektedir. Öncelikle boşalan karede mutlaka taş olması gerekmektedir. Eğer boşalan karede bir taş bulunmuyorsa bu geçersiz bir hamledir. Eğer bir taş var ise, oynanan taş hamle sırası kendisinde olan renkteki taş olması gerekmektedir. Aksi takdirde bu durum bir geçersiz hamledir ve uygulama "*Bu bir geçersiz hamledir. Yanlış oyuncu oynadı*." şeklinde bir uyarı mesajı vermektedir. Yapılan tüm bu işlemlerden sonra hamle geçerliyse, yapılan hamlenin taşın tipine uygun olup olmadığı kontrol edilmektedir. Satranç taşları Bölüm 2.1'de belirtilen kurallardan farklı olarak hareket ederlerse yapılan hamle geçersiz bir hamle olmaktadır. Bu durumda uygulama "*Bu bir geçersiz hamledir. Taş yanlış hareket etti.*" şeklide bir uyarı mesajı vermektedir.

Tüm taşlar için;

- Hareket edeceği konumda yolunun üzerinde herhangi bir taş bulunmaması gerekmektedir. Aksi takdirde bu bir geçersiz hamledir. Uygulama "*Bu bir geçersiz hamledir. Hareket yolu üzerinde bir taş bulunmaktadır.*" şeklinde bir uyarı mesajı verecektir. (Bu durum at için geçerli değildir.)
- Oynayan oyuncunun rengi ile oynanan taşın renginin aynı olması gerekmektedir. Aksi takdirde bu bir geçersiz hamle olacaktır ve uygulama "*Bu bir geçersiz hamledir. Yanlış renkteki taş oynanamaz.*" şeklinde bir uyarı mesajı verecektir.
- Ele geçirilen taşın renginin oynanan taşın renginden farklı olması gerekmektedir. Aksi takdirde bu bir geçersiz hamle olacaktır ve uygulama "*Bu bir geçersiz hamledir. Aynı renkteki taşlar ele geçirilemez*." şeklinde bir uyarı mesajı verecektir.

Vezir, kale ve fil gibi birden fazla yöne gidebilen ve gittikleri yönde istenilen kare sayısı kadar hareket edebilen taşların hareketlerini kontrol edebilmek için bir algoritma geliştirilmiştir. Önerilen algoritma taşın tipine göre hareket edebileceği tüm yönleri kontrol etmek yerine, yalnızca hamlenin hareket ettiği yönü kontrol etmektedir. Bunun için taşın hareket etmeden önce bulunduğu karenin taşın hareketini tamamlamış olduğu kareye göre gidiş yönü hesaplanmaktadır. Daha sonra taşın hesaplanan hareket yönüne en yakın hareket edebileceği yön kontrol edilmektedir. Algoritmanın sözde kod biçiminde ifadesi aşağıdaki gibidir:

0 Prosedürü Başlat: **GeçerliHamleMi**
1 Oynanan taşın tipine göre gidebileceği yönleri hesapla
2 Oynanan taşın ilk ve son konumlarına göre gittiği yönü hesapla
3 Gittiği yön ve gidebileceği yönlere göre gidebileceği en yakın yönü hesapla
4 Döngüyü Başlat
  5 En yakın yöne doğru bir kare ilerle ve son konumu geçici konum olarak ata
  6 Eğer geçici konum satranç tahtasından taşmış ise
    7 Yapılan hamleyi geçersiz hamle olarak ata

```
        8  Döngüden Çık
    9  Değilse Eğer geçici konum son konum ise
        10  Eğer son konum üzerinde bir taş yok ise
            11  Yapılan hamleyi geçerli hamle olarak ata
        12  Değilse
            13  Eğer oynanan taşın rengi son konumdaki taşın rengi ile aynı ise
                14  Yapılan hamleyi geçersiz hamle olarak ata
            15  Değilse
                16  Yapılan hamleyi geçerli hamle olarak ata
            17  Eğeri Bitir
        18  Eğeri Bitir
    19  Değilse Eğer geçici konum üzerinde bir taş var ise
        20  Yapılan hamleyi geçersiz hamle olarak ata
        21  Döngüden Çık
    22  Eğeri Bitir
23  Döngüyü Bitir
24  Hamle geçerliliğini döndür
25  Prosedürü Bitir: GeçerliHamleMi
```

Durum - 3:

Karşılaştırmadan çıkan sonuç rok özel hamlesi ise bunun geçerliliği kontrol edilmektedir. Oyuncunun rengine göre kalelerin ve şahın konum bilgileri bilinmektedir. Buna göre dolan ve boşalan karelerin bilgilerinin kale ve şahın bulunduğu karelere ait olup olmadığı kontrol edilmektedir. Eğer sonuç olumluysa kale ve şahın hiç oynanmamış olup olmadığı kontrol edilmektedir. Eğer kale ve şah hiç oynanmamış ve taşların rengi oyuncunun rengi ile aynı ise bu bir rok hamlesidir ve sistem "*Bu bir geçerli hamledir. Rok hamlesi yapılmıştır.*" veya "*Bu bir geçerli hamledir. Vezir tarafı rok hamlesi yapılmıştır.*" şeklinde bir uyarı mesajı vermektedir. Aksi takdirde bu bir hamle değildir ve uygulama "*Bu bir hamle değildir. Hatalı rok hamle girişimi.*" şeklinde bir uyarı mesajı vermektedir.

Durum - 4:

Karşılaştırmadan çıkan sonuç geçerken alma işlemiyse bunun geçerliliği kontrol edilmektedir. Oynanan taşın oyuncunun rengi ile aynı, ele geçirilen taşın rengi ile farklı olması gerekmektedir. Oynanan ve ele geçirilen taşın piyon olup olmadığı kontrol edilmektedir. Ele geçirilen taşın iki kare öne ve oynanan taşın ele geçirilen taşın arkasındaki kareye gidip gitmediği kontrol edilmektedir. Eğer bu hamle, ele geçirilen piyonun iki kare öne çıkmasından hemen sonraki hamlede yapıldıysa bu bir geçerken alma hamlesidir ve uygulama "*Bu bir geçerli hamledir. Geçerken alma hamlesi yapılmıştır.*" şeklinde bir uyarı mesajı vermektedir. Aksi takdirde bu bir hamle değildir ve uygulama "*Bu bir hamle değildir. Hatalı geçerken alma hamle girişimi.*" şeklinde bir uyarı mesajı vermektedir.

Durum - 5:

Satranç tahtası üzerinde meydana gelen renk değişiminin bir hamle olmadığı ve dışarıdan kaynaklanan başka bir etkileşim olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu durumda bu bir hamle değildir ve uygulama "*Bu bir hamle değil. Birden fazla değişiklik var.*" şeklinde bir uyarı mesajı vermektedir.

Son kontrol olarak oynayan oyuncunun şahının tehdit edilmemesi gerekmektedir. Eğer hamle sonrasında şah tehdit ediliyorsa bu bir geçersiz hamledir. Bu durumda uygulama "*Bu bir geçersiz hamledir. Hamle sonrası şah tehdit edilemez.*" şeklinde bir uyarı mesajı vermektedir.

Tüm bu sürecin sonunda satranç tahtası üzerinde meydana gelen renk değişiminin bir geçerli bir hamle olup olmadığı ortaya çıkmıştır. Geçerli bir hamle değil ise gerekli mesajlar sistem tarafından verilmiştir. Eğer geçerli bir hamleyse, hamle sisteme son geçerli hamle olarak kaydedilmektedir. Bu kayıt işlemi, taşların son konumlarını, tip, renk ve kaç kere oynanmış

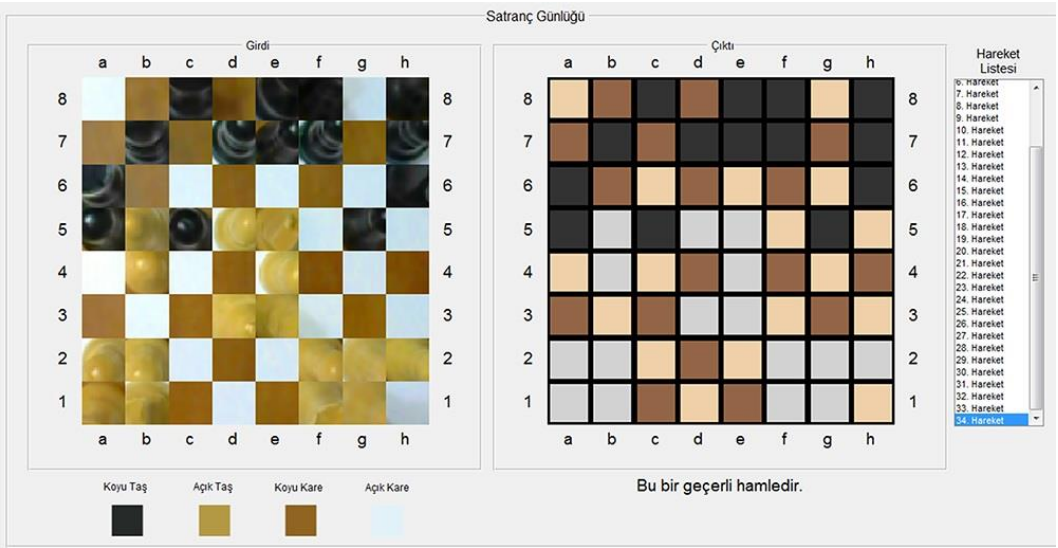
olduğu bilgilerini kapsamaktadır. Ayrıca son hamlenin satranç tahtası görüntüsü referans görüntüsü olarak kaydedilmektedir.

4.4. Kullanıcı Arayüzleri

Geliştirilen sistem iki farklı arayüzden oluşmaktadır. Bütün kullanıcı arayüzleri MATLAB ortamında GUIDE aracı kullanılarak geliştirilmiştir. Oluşturulan arayüzde satranç taşları beyaz ve siyah, satranç kareleri açık ve koyu kahverengi olarak gösterilmiştir.

4.4.1.Sistem Arayüzü

Hamle girişim bilgilerinin temsil edildiği arayüzdür. Sistem arayüzünde girdi ve çıktı bilgilerini görmek için iki ana ekran bulunmaktadır (Şekil 9). Girdi ekranı, satranç tahtasının karelerinin merkezinden alınan ilgi bölgelerinin bir araya getirilmesiyle meydana gelmiştir. Girdi ekranı ayrıca ilgi bölgelerinden alınan renk bilgisi hakkında fikir vermektedir. Çıktı ekranı ise, ilgi bölgelerinden alınan renk bilgilerinin referans renk bilgileri ile karşılaştırılmasından çıkan sonucu ekrana yansıtmaktadır. Bir başka değişle, çıktı ekranı taş belirleme işleminden çıkan sonucu göstermektedir. Satranç tahtasını temsil etmesi ve karelerin kolay okunabilmesi için her iki ekranda da karelerin denk geldiği yatay satırlar rakamlarla, dikey sütunlar ise harflerle gösterilmektedir. Girdi ekranının alt bölümünde ise Şekil 8'de referans olarak alınan taşların ve karelerin ortalama renkleri gösterilmektedir. Çıktı ekranının alt bölümünde ise o hamleye ait bir uyarı mesajı yer almaktadır. Çıktı ekranının sağında bulunan panelde ise hamlelerin hareket listesi bulunmaktadır. Bu listeden istenilen hamle seçilerek, seçilen hamleye ait girdi ve çıktı bilgileri ekrana yansıtılabilmektedir. Tüm oyun boyunca yapılan hamle girişimlerinde meydana gelen durumlar sistem arayüzünde gösterilebilmektedir.



Şekil 9:
Sistem arayüzü

4.4.2.Satranç Tahtası Arayüzü

Geçerli hamle bilgilerinin gösterildiği arayüzdür. Satranç oyununun sanal gösterimi bu ekrandan yapılmaktadır (Şekil 10). Arayüzün sağ tarafında hamle listesinin bulunduğu panel yer almaktadır. Hamleleri belirtmek ve kayıt altına almak için FIDE tarafından standart olarak kabul edilen cebirsel notasyon kullanılmıştır. Bu panelde istenilen hamle seçilerek o hamleye ait taşların konum, tip ve renk bilgisi görülebilmektedir. Bunun yanı sıra hamlenin hangi oyuncuya ait olduğu da gösterilmektedir. Satranç arayüzünde taşların bulunduğu konumlarda o taşın tipine

ait uygun renkte semboller kullanılmıştır. Satranç tahtasını temsil etmesi ve karelerin kolay okunabilmesi için ekrandaki karelerin denk geldiği satırlar rakamlarla, sütunlar ise harflerle gösterilmiştir. Oynayan oyuncunun renk bilgisi, oynayan oyuncunun bulunduğu yere göre ekranın alt ve üst kısmında gösterilmektedir. Kullanıcı farklı hamleler arasında geçiş yaparak hamleler arası kıyaslama yapabilmektedir.



Şekil 10:
Satranç tahtası arayüzü

5. SİSTEM TESTLERİ VE DENEYSEL SONUÇLAR

Oyun sırasında hamle algılama ve hamle yorumlama durumları analiz edilmiştir. Hamle algılamada, satranç tahtası üzerindeki renk değişimlerinin sistem tarafından tespitinin doğru olarak yapılıp yapılmadığı; hamle yorumlamada ise, algılanan hamlelerin oynanan taş tarafından yapılıp yapılamayacağı test edilmiştir. Bu bağlamda geliştirilen sistem, her biri 100'er özdeş hamleden oluşan ancak farklı ışık koşullarında oynanan üç oyun senaryosu ile test edilmiştir. Her bir oyun için yapılan hamlelerin listesi Tablo 1'de verilmiştir. Hamle listesinde yer alan bazı hamlelerin açıklamasını yapmak gerekirse; Rb3 Rb1++, kalenin b3 karesinden b1 karesine geçiş yaparak karşı oyuncuyu mat ettiği anlamına gelmektedir. Qe3 Qxg5+ hamlesinde ise vezirin e3 karesinden g5 karesine gelerek şah tehdidi oluşturduğu söylenebilir.

Tablo 1. Test oyunlarında yapılan hamle listesi

1. e2 e4	2. b7 b5	3. d2 d4	4. Bc3 Bb7	5. Ng1 Ng3	6. Ke8 Ke6
7. Nb8 Nc6	8. Bf1 Bxb5	9. Ng8 Nh6	10. Qd1 Qe3	11. Qd1 Qd3	12. a7 a5
13. O-O	14. Bf8 Bd6	15. Ra8 Ra6	16. Bc1 Be2	17. Bc1 Be3	18. Nc6 Nb4
19. c2 c3	20. Ra6 Rc4	21. d7 d6	22. Qd8 Qa8	23. c3 cxb4	24. g7 g5
25. Nf3 Nh3	26. Nf3 Ne5	27. Qa8 Qc8	28. d4 d5	29. c7 c5	30. d5 dxc6e.p.

31. Bf8 Bg7	32. Nb1 Nc3	33. O-O	34. Ra1 Rc1	35. Kg8 Kh8	36. Rc1 Rf3
37. Rc1 Rc2	38. d7 d6	39. b2 a3	40. b2 b3	41. Nh6 Ng4	42. Qd3 Qc5
43. Qd3 Qd5	44. Ng4 Ng3	45. Ng4 Nxe3	46. Rc2 Re2	47. Bg7 Bxe5	48. Kg1 Kh1
49. Kh8 Kf6	50. Kh8 Kg8	51. Qd5 Qd3	52. Ra6 Rb6	53. Nc3 Nd4	54. Nc3 Na4
55. Bc5 Bxe4	56. Be5 Bf4	57. Bb5 Bxc6	58. Bb5 Bc4	59. Rb6 Rxb4	60. Na4 Nb5
61. Na4 Nc5	62. Kg8 Kg7	63. Bc4 Bd4	64. Bc4 Bb5	65. Qc8 Qxc6	66. f2 fxe3
67. Bf4 Bxe3	68. Qd3 Qb2	69. Qd3 Qxe3	70. Bb7 Bxc6	71. Rf8 Re8	72. Qe3 Qxg5+
73. Kg7 Kh8	74. g2 f3	75. Bb5 Bc4	76. Re8 Re6	77. Re8 Rg8	78. Qg5 Qxg8+
79. Kh8 Kxg8	80. Re2 Rc3	81. Bc4 Bb5	82. Qc6 Qxd6	83. Qc6 Qxb5	84. e4 e5
85. f7 f5	86. Rf1 Rd3	87. Rf1 Rd1	88. h7 h5	89. Nc5 Nf4	90. Re2 Rd3
91. Re2 Rc2	92. h5 g6	93. Rb4 Rxb3	94. Nc5 Ne3	95. Rd1 Rd3	96. Rb3 Rc4
97. d5 d6	98. e5 d6	99. e5 e6	100. Rb3 Rb1++		

Testler gün ışığı, beyaz ışık ve sarı ışık kaynakları altında gerçekleştirilmiştir. Sistemin oyunu takip etmesini engelleyecek, satranç tahtası üzerine yansıma veya gölge düşmesi gibi durumların gerçekleşmemesine özen gösterilmiştir. Oynanan oyunlarda satranç tahtası ve taşlarda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Oyunlarda herhangi bir süre sınırı uygulanmamıştır. Birçok ön testten sonra, 3 ana oyun oynanmıştır. Tek oyunda hem hamle algılama başarısı hem de yorumlama başarısı aynı anda ölçülmüştür.

5.1 Hamle Algılama ve Yorumlama Başarılarının Ölçülmesi

Satranç tahtası üzerindeki renk değişimlerinin her bir karedeki renk değerleri hamle öncesi ve sonrası için karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sırasında karelerin üzerinde taş bulunup bulunmadığı, bulunuyor ise taşın rengi, bulunmuyor ise satranç karesinin rengi belirlenmiştir. Tablo 1'de verilen 100 hamleden 70'i doğru, 30'u ise hamle algılama başarısının daha objektif olarak ölçülebilmesi için bilinçli olarak yanlış oynanmıştır. Oynanan oyunlar ve hamle algılama başarıları şu şekilde özetlenebilir:

Oyun-1: Bu oyun sarı ışık kaynağı altında oynanmıştır. Yapılan 100 hamleden 96'sı doğru olarak tespit edilmiştir. Yanlış tespite neden olan durumlar; taşların ilgi bölgelerinin dışına taşması, ışık yansıması sonucu koyu renk ile açık rengin birbirine karışması, bir taşın gölgesinin boş bir kareye düşmesi olarak tespit edilmiştir.

Oyun-2: Bu oyun beyaz ışık kaynağı altında oynanmıştır. Yapılan 100 hamleden 98'i doğru olarak tespit edilmiştir. Yanlış tespite neden olan durumların gölge düşme problemlerine bağlı olduğu tespit edilmiştir.

Oyun-3: Bu oyun gün ışığında oynanmıştır. Yapılan 100 hamleden 95'i doğru olarak tespit edilmiştir. Yanlış tespite neden olan durumlar; gün ışığının yansıması sonucu açık ve koyu renklerin birbirine karışması ve bir taşın gölgesinin başka bir taş üzerine düşmesi olarak tespit edilmiştir.

Sistemin hamle algılama başarısı Tablo 2'de özetlenmiştir. 3 oyunda toplam 300 hamle yapılmış olup bu hamlelerin 289 tanesi başarılı bir biçimde algılanmıştır. Ayrıca sistemin algılayamadığı hamlelerin numaraları da verilmiştir.

Tablo 2. Sistemin Hamle Algılama Başarısı

	Doğru Tespit	Yanlış Tespit	Algılanamayan Hamleler	Başarı Yüzdesi
Oyun-1	96	4	1, 17, 36, 39	%96
Oyun-2	98	2	8, 58	%98
Oyun-3	95	5	26, 44, 48, 53, 58	%95
Toplam	**289**	**11**		**%96,3**

Satranç tahtası üzerindeki renk değişimlerinin bir hamle olduğu algılandıktan sonra yapılan hamlenin geçerli hamle olup olmadığı, oynanan taşın o hamleyi yapıp yapamayacağına yönelik testler yapılmıştır. Bölüm 4.3'de anlatılan durumlar dikkate alınarak sistemin yorumlama başarısı ölçülmüştür. Buna göre, hamle algılamanın başarısız olduğu tüm durumlarda yorumlama işlemi de başarısız olmuştur. Buna karşılık, hamle algılamanın başarılı olarak yapıldığı tüm durumlarda hamle yorumlama da başarılı olmuştur. Bu bağlamda, hamle yorumlama başarısının da %96,3 olarak elde edildiği görülmüştür. Özellikle, her bir oyunda bilinçli olarak yanlış oynanan; piyon için 5, vezir için 4, fil için 6, kale için 7, at için 6 ve şah için 2 hamlenin tamamının sistem tarafından doğru bir biçimde yorumlandığı görülmüştür.

5.2 Kısıtlar ve Tartışma

Bu çalışma dâhilinde satranç tahtasına tepeden bakan bir kamera düzeneği kullanılmıştır. Bu nedenle, satranç taşları bir öznitelik çıkarımı yöntemiyle tespit edilememiş, karelerin her birinin ortalama değerleri karşılaştırılarak taş belirleme işlemi yapılmıştır. Bu doğrultuda, satranç tahtasının kareleri ile oynanan taşların renklerinin birbirine çok yakın olmaması gerekmektedir. Ayrıca, hamle algılamada kullanılan referans renk değerleri her oyunun başında bir defaya mahsus belirlenmektedir. Bu nedenle, oyun süresince satranç tahtası üzerinde kalıcı bir ışık değişikliğinin olmaması gerekmektedir. Satranç tahtasının tespiti oyun başında yalnızca bir defa yapılmakta ve oyun boyunca bu bilgi kullanılmaktadır. Bu nedenle, oyun sırasında kameranın ya da satranç tahtasının konumunun ya da açısının değişmemesi gerekmektedir.

Sistem farklı ışık koşulları altında başarılı bir biçimde çalışmasına rağmen güçlü gölgeler yaratan ışık ortamlarında satranç tahtasının belirlenmesinde güçlükler ortaya çıkabilmektedir. Bu durum genellikle tek ve noktasal ışık kaynağı kullanılan ortamlarda gözlenmektedir. Bu tip ortamlarda özellikle uzun boylu taşların gölgeleri diğer kare veya taşların üzerine düşerek tanımlama hatalarına neden olmaktadır.

Satranç tahtasının karelerinin ortalama renk bilgisi alınırken tek bir noktadan almak yerine karenin merkezinden, boyutu önceden belirlenen bir ilgi alanı kullanılmıştır. Bu sayede ortalama renk bilgisi alınırken gürültü ve gölge gibi olumsuz etkenlerin asgari düzeye indirgenmesi sağlanmıştır.

Önerilen sistem, satranç tahtasının üzerinde taşlar yer alırken satranç tahtasını tespit edebilmektedir. Satranç tahtasının dışında kalan zeminde değişik renkte arka planlar kullanılmasında herhangi bir sakınca bulunmamaktadır. Ayrıca, anlık görüntülere uygulanan görüntü iyileştirmeleri taşlar ve kareler arasındaki renk ayrımlarını güçlendirmektedir. Yapılan testler sonucunda sistemin gerçek-zamanlı hamle tespiti ve yorumlaması konusunda yeterli olduğu görülmüştür.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada satranç hamlelerini gerçek zamanlı olarak algılayıp yorumlayabilen bir sistem önerilmiştir. Bu sistem ile satranç karşılaşmalarının uzaktan takip edilmesinin olanaklı hale geleceği düşünülmektedir. Ayrıca, hamle tespiti ve yorumlamasının hakem karar verme sürecinde destekleyici bir unsur olacağına inanılmaktadır.

Farklı ışık koşullarında yapılan testlerde gerek hamle algılama gerekse hamle yorumlama başarısının oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Buna göre, sarı ışık kaynağında oynanan test oyununda %96, beyaz ışık ve doğal ışık kaynaklarında oynanan oyunlarda ise sırasıyla %98 ve %95'lik başarım oranları elde edilmiştir. Genel olarak, hamle algılama başarısı %96,3 olarak ölçülmüştür. Ayrıca, hamle yorumlama sonuçlarına göre her bir oyunda oynanan 30 geçersiz hamlenin tamamının başarıyla tespit edildiği saptanmıştır. Sistemin yapay ışık kaynaklarında doğal ışığa göre bir miktar daha başarılı olduğu gözlenmiştir.

Satranç hamleleri aşama aşama kaydedilmekte olup kaydedilen sonuçlar sayısal ortamda görsel olarak takip edilebilmektedir. Satranç karelerinin ilgi bölgelerinden alınan görüntüler, bu görüntülerden elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların satranç tahtasının durumunu yeniden görselleştirmesi, sistemin kayıt aşamasını oluşturmaktadır. Bu aşamalar sistem arayüzü ve satranç tahtası arayüzü aracılığı ile takip edilebilmektedir. Ayrıca, hamlelerin geçerli olup olmadığı ve bunun nedenleri sistem tarafından metinsel olarak verilmektedir.

Gelecek çalışmalarda sistemin daha güvenilir ve yüksek doğrulukta çalışabilmesi açısından mevcut durumda var olan taş rengi, ortam ışığı ve kamera pozisyonu ile ilgili kısıtların ortadan kaldırılmasına yönelik yeni yaklaşımların geliştirilmesi düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Angelkov, D., Koceska, N. ve Koceski, S. (2015) Automated chess playing with a robot manipulator, *International Journal of Engineering Issues*, 2, 45-51.

2. Ataş, M., Doğan, Y. ve Ataş, İ. (2014) Satranç oynayan robot kolu, *IEEE 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference*, Trabzon, doi:10.1109/SIU.2014.6830443.

3. Banerjee, N., Saha, D., Singh, A. ve Sanyal, G. (2011) A simple autonomous robotic manipulator for playing chess against any opponent in real time, *Proceedings of the International Conference on Computational Vision and Robotics*, Bhubaneswar.

4. Bennet, S. ve Lasenby, J. (2014) Chess – Quick and robust detection of chess-board features, *Computer Vision and Image Understanding*, 118, 197-210, doi:10.1016/j.cviu.2013.10.008.

5. Cour, T., Lauranson, R. ve Vachette, M. (2002) Autonomous chessplaying robot, *Ecole Polytechnique*, (July 2002).

6. Douskos, V., Kalisperakis, I. ve Karras, G. (2007) Automatic calibration of digital cameras using planar chess-board patterns, *Proceedings of the 8th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques*, ETH Zurich, I, 132-140.

7. FIDE Handbook, (2017). Standards of Chess Equipment and FIDE Tournaments. Erişim Adresi: https://www.fide.com/fide/handbook.html (Erişim Tarihi: 28.04.2017).

8. Han, K.M. ve Desouza, G.N. (2007) A feature detection algorithm for autonomous camera calibration, *Proceedings of the 2007 IFAC International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*, Angers, 286-291.

9. Illeperuma, G.D. (2011) Using image processing techniques to automate chess game recording, *Proceedings of the Technical Sessions*, 27, 76-83.

10. Kaur, G., Yadav, A. ve Anand, V. (2010) Design and implementation of artificially intelligent microcontroller based chess opponent, *Proceedings of the World Congress on Engineering, London*.

11. Khater, I.M, Ghorab, A.S. ve Aljarrah, I.A. (2012) Chessboard recognition system using signature, principal component analysis and color information, *Second International*

Conference on Digital Information Processing and Communications, Klaipeda City, 141-145, doi:10.1109/ICDIPC.2012.6257285.

12. MathWorks Support, (2017). detectCheckerboardPoints. Erişim Adresi: https://www.mathworks.com/help/vision/ref/detectcheckerboardpoints.html (Erişim Tarihi: 03.05.2017).

13. Matuszek, C., Mayton, B., Aimi, R., Deisenroth, P.D., Bo, L., Chu, R., Kung, M., Legrand, L., Smith, J.R. ve Fox, D. (2011) Gambit: A robust chess-playing robotic system. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Shanghai, 4291–4297, doi:10.1109/ICRA.2011.5980528.

14. Neufeld, J. ve Hall T.S. (2010) Probabilistic location of a populated chessboard using computer vision, circuits and systems, *53rd IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems*, Seattle, 616-619, doi:10.1109/MWSCAS.2010.5548901.

15. Piškorec, M., Antulov-Fantulin, N., Ćurić, J., Dragoljević, O., Ivanac, V. ve Karlović, L. (2011) Computer vision system for the chess game reconstruction, *Proceedings of the 34th International Convention MIPRO*, Opatija, 23-27.

16. Sajo, L., Ruttkay, Z. ve Fazekasa, A. (2011) Turk-2, A multi-modal chess player, *International Journal of Human-Computer Studies*, 69(7-8), 483-495.

17. Satranç Dünyası, (2017). FIDE Satranç Kuralları. Erişim Adresi: http://www.satranc.net/satranc-kurallari (Erişim Tarihi: 04.04.2017).

18. Sokic, E. ve Ahic-Djokic, M. (2008) Simple computer vision system for chess playing robot manipulator as a project-based learning example, *IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology*, Sarajevo, 75-79, doi:10.1109/ISSPIT.2008.4775676.

19. Zhao, S., Chen, C., Liu, C. ve Liu M. (2008) Algorithm of location of chessrobot system based on computer vision, *Chinese Control and Decision Conference*, Yantai, Shandong, doi:10.1109/CCDC.2008.4598325.