

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYARLA GÖRÜ TABANLI
SATRANÇ OYUNU İZLEME SİSTEMİ**

CAN KORAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

2016

**BİLGİSAYARLA GÖRÜ TABANLI
SATRANÇ OYUNU İZLEME SİSTEMİ**

**A COMPUTER VISION SYSTEM
FOR CHESS GAME TRACKING**

CAN KORAY

Başkent Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
BİLGİSAYAR Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2016

“Bilgisayarla Görü Tabanlı Satranç Oyunu İzleme Sistemi” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından, 09/02/2016 tarihinde, **BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Fikret ARI

Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. Emre SÜMER

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet DİKMEN

ONAY

../02/2016

Prof. Dr. Emin AKATA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU**

Tarih: 22/02/2016

Öğrencinin Adı, Soyadı : Can KORAY
Öğrencinin Numarası : 21220054
Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
Programı : BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
Danışmanın Adı, Soyadı : Emre SÜMER
Tez Başlığı : BİLGİSAYARLA GÖRÜ TABANLI SATRANÇ OYUNU İZLEME SİSTEMİ

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 64 sayfalık kısmına ilişkin, 22/02/2016 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 8'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

"Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını" inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası

Onay

24/02/2016

Yrd. Doç. Emre SÜMER

TEŐEKKÜR

Bu çalıőmanın tım aőamalarında büyük bir özveri ve içtenlikle çalıőmaya katkılarını sunan ve çalıőmanın sonuca ulaőabilmesinde yol gösterici olan sayın danışmanım Yrd. Doç. Dr. Emre Sümer'e,

Tezin yazım kısmında desteklerinden dolayı sayın Ezgi Toraman'a,

Tüm bu süreçte bana destekleriyle eőlik eden ve her adımda yanımda olan aileme teőekkürlerimi sunarım.

ÖZ

BİLGİSAYARLA GÖRÜ TABANLI SATRANÇ OYUNU İZLEME SİSTEMİ

Can Koray

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışmada satranç müsabakalarındaki hakemlerin karar verme sürecine destek olabilecek, müsabaka boyunca yapılan hamleleri tespit edebilen ve tespit ettiği hamleleri yorumlayabilen gerçek-zamanlı bir bilgisayarla görü sistemi önerilmiştir. Önerilen sistem için oyun sırasında taşların hareketlerinin okunması amacıyla bir düzenek hazırlanmıştır. Kurulan düzende, satranç tahtası üzerinde konumlandırılmış bir RGB web kamerası ve bir dizüstü bilgisayar kullanılmıştır. Sistemin tüm işlem adımları, sayısal hesaplama için MATLAB programlama ortamında gerçekleştirilmiştir. Uygulamada herhangi bir satranç motoru kullanılmamıştır. Bilgisayarla görü sistemi hamle algılama ve hamle yorumlama olmak üzere iki farklı bölümde ele alınıp incelenmiş ve test edilmiştir.

Hamle algılama bölümünde kamera aracılığıyla elde edilen anlık görüntüler tek tek işlenerek hamle tespiti yapılmış ve satranç taşlarının konum ve renk bilgisi belirlenmiştir. Bu süreçte satranç tahtasının geometrik doğrultmasının yapılması ve elde edilen görüntülerin iyileştirilmesi gibi birtakım ön işlemler uygulanmıştır. Hamle yorumlama bölümünde ise, satranç tahtası üzerinde meydana gelen renk değişimlerinin oyuncunun yapmış olduğu bir hamle olup olmadığı belirlenmiştir. Eğer oyuncu tarafından bir hamle yapılmışsa, yapılan hamlenin geçerli bir hamle olup olmadığı değerlendirilip gerekli uyarı mesajları kullanıcıya iletilmiştir. Satranç oyunundan elde edilen verilerin yeniden yapılandırılıp 2-B olarak görselleştirilmesi ve hamle kayıtları önerilen sistemin sunduğu çıktılardır. Farklı ışık koşulları altında yapılan testlerde önerilen sistemin hem hamle algılama hem de hamle yorumlama açısından başarılı sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Bilgisayarla Görü, Satranç Oyunu, Gerçek-zamanlı Hamle Tespiti, İzleme, Yapay Zeka.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Emre Sümer, Başkent Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü.

ABSTRACT

A COMPUTER VISION SYSTEM FOR CHESS GAME TRACKING

Can Koray

Başkent University Institute of Science and Engineering

Computer Engineering Department

In this study, a real time computer vision system that can detect and analyse moves in a chess game to support referees' decision making processes is proposed. A setup is established for suggested system to detect moves during a chess game. In this setup, there is laptop computer and a RGB web camera, which is positioned over the chess board. All of the steps in the process are programmed in MATLAB computing environment. The proposed computer vision system is not using any third party chess engine, and it is handled and tested in two parts; (i) move detection and (ii) move interpretation.

In move detection part, snapshots taken by web camera are processed one by one. For each snapshot, color and position of each chess piece are computed. In the preprocessing stage, outside border of chess board is calculated and the image is geometrically adjusted and enhanced. In move interpretation part, color changes over the chess board are analyzed and the system decides whether these changes are interpreted as a move by player or not. If it is a move by a player, this move is validated whether it is a legal move or not. Results are obtained and user is notified accordingly. Besides, the results are visualized in a 2D environment and logged by the proposed system. Tests show that the system is evaluated to be successful in both move detection and interpretation under different illumination conditions.

KEYWORDS: Computer Vision, Chess Game, Real-Time Move Detection, Tracking, Artificial Intelligence.

Advisor: Asst. Prof. Dr. Emre Sümer, Başkent University, Computer Engineering Department.

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
1 GİRİŞ	1
1.1 Problem Tanımı, Amaç ve Motivasyon	1
1.2 Benzer Çalışmalar	3
1.3 Yazılım ve Donanım Gereksinimleri	6
1.4 Tez Planı	7
2 YÖNTEM VE GELİŞTİRİLEN ARAYÜZ	9
2.1 Genel Akış	9
2.2 Satranç Oyunu Kuralları	10
2.3 Hamle Algılama	14
2.3.1 Satranç tahtasının tespiti	14
2.3.2 Geometrik doğrultma	17
2.3.3 Satranç tahtasının pozisyonunun ayarlanması	19
2.3.4 Kamera parametrelerinin ayarlanması	21
2.3.5 Görüntü iyileştirme ve referans renk değerlerinin belirlenmesi	23
2.3.6 Taşların belirlenmesi	25
2.4 Hamle Yorumlama	27
2.5 Kullanıcı Arayüzleri	32
2.5.1 Sistem arayüzü	32
2.5.2 Satranç arayüzü	33
3 SİSTEM TESTLERİ VE BULGULAR	35
3.1 Sistem Testlerinin Gerçekleştirilmesi	35
3.2 Hamle Algılama Başarısının Ölçülmesi	35
3.3 Hamle Yorumlama Başarısının Ölçülmesi	42
3.4 Kısıtlar ve Tartışma	46
4 SONUÇLAR	48
KAYNAKLAR LİSTESİ	50

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	(a) Berlin Açık Üniversitesi'nin MadelInGermany isimli Yapay Zeka Laboratuvarı tarafından tasarlanan aracı (b) Google sürücüsüz aracının analiz ettiği bir şehir içi yol görüntüsü.....	2
Şekil 1.2	Tasarlanan izleme düzeneği	7
Şekil 2.1	Genel akış	10
Şekil 2.2	(a) Piyon oynanış tarzı (b) Geçerken Alma özel hamlesi.....	11
Şekil 2.3	At oynanış tarzı	12
Şekil 2.4	Kale oynanış tarzı.....	12
Şekil 2.5	Fil oynanış tarzı	13
Şekil 2.6	Vezir oynanış tarzı.....	13
Şekil 2.7	Şah oynanış tarzı	14
Şekil 2.8	Kameradan alınan anlık görüntü	15
Şekil 2.9	(a) Satranç tahtasının üzerindeki köşe noktaları (b) Dış çerçeveyi bulmak için kullanılan noktalar	15
Şekil 2.10	Orijinal görüntü ve köşe noktaları	16
Şekil 2.11	Satranç tahtasına uygulanan geometrik doğrultma işlemi	17
Şekil 2.12	Geometrik olarak düzeltilmiş satranç tahtası görüntüsü.....	19
Şekil 2.13	Şah taşları üzerindeki ilgi bölgeleri.....	20
Şekil 2.14	Satranç taşlarının renk durumlarına göre konumlanmış hali	21
Şekil 2.15	İdeal pozlandırma seviyesiyle elde edilen satranç tahtası görüntüsü	23
Şekil 2.16	Görüntü iyileştirme işlemi sonrası elde edilen satranç tahtası görüntüsü	24
Şekil 2.17	Hamle algılamamanın temsili gösterimi	26
Şekil 2.18	Sistem arayüzü.....	33
Şekil 2.19	Satranç arayüzü	34
Şekil 3.1	Piyonun durumu	37
Şekil 3.2	Işık yansımaları	38
Şekil 3.3	Şahın durumu.....	38
Şekil 3.4	Gölge durumu	39
Şekil 3.5	Filin durumu	40
Şekil 3.6	Işık yansımaları	41

Şekil 3.7	Gölge durumu	41
Şekil 3.8	Hareket yolu üzerinde taş olma durumu	43
Şekil 3.9	Atın yanlış hareketi	43
Şekil 3.10	Piyonun hareketi	44
Şekil 3.11	Piyonun hareketi	44
Şekil 3.12	Filin hareketi	45

ÇİZELGELER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 Satranç hamleleri	36
Çizelge 3.2 Satranç taşları hamle sayısı	36
Çizelge 3.3 Sistemin hamle algılama ve yorumlama başarısı	45

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

IBM	International Business Machines
LIDAR	Light Detection and Ranging / Laser Imaging Detection and Ranging
RADAR	Radio Detecting and Ranging
PCA	Principal Component Analysis
SVM	Support Vector Machine
ChESS	Chess-board Extraction by Substraction and Summation
YSA	Yapay Sinir Ağları
AAAI	Association for the Advancement of Artificial Intelligence
FIDE	Fédération Internationale des Échecs
GB	Gigabyte
GHz	Giga Hertz
px	Piksel
2-B	2 boyutlu
RGB	Red Green Blue
Lab	Luminance and the color channels (a and b)
GUIDE	Graphical User Interface Design Environment

1. GİRİŞ

1.1 Problem Tanımı, Amaç ve Motivasyon

İnsan hayatını daha kolay ve düzenli hale getiren akıllı sistemler, gündelik hayatta aktif olarak yer almaktadır. Bu anlamda günümüzde insansız bilgisayar sistemlerine yönelik çalışmalar ivme kazanmıştır. İnsansız sistemler dahilinde bilgisayarların rasyonel sonuçlar verebilmesi için çalışmalar yürütülmektedir.

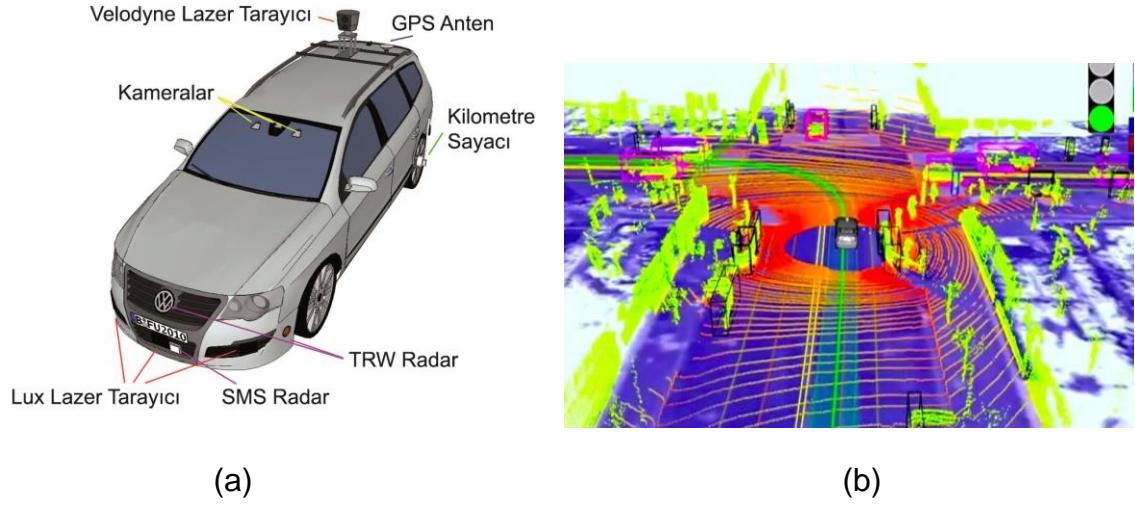
Makinelerin insansız olarak çalışabilmesi üzerine Alan Turing 1935-36 yılları arasında semboller ile ifade edilmiş matematiksel komutları okuyabilen ve uygulayabilen bir makine düşüncesini ortaya koymuştur. Bu düşünceye göre bilgisayarlar bir program vasıtasıyla tanımlanmış herhangi bir işi yapabilecek yetiye sahip olabileceklerdir [1]. Bu düşünceden 20 yıl sonra 1955 yıllarında IBM bilgi araştırma departmanı önderi Nathaniel Rochester, Dartmouth Koleji'nde Profesör asistanı olan John McCarthy, Claude Shannon ve Marvin Minsky bir araya gelerek yapay zeka üzerine bir çalıştay organize etmişlerdir. Zekanın bir yönü olan öğrenmenin veya zekanın diğer yönlerinin makineler tarafından taklit edilebilmesi üzerine yapılan çalışmalar McCarthy tarafından "Yapay Zeka üzerine Yaz Araştırmaları Projesi (Summer Research Project on Artificial Intelligence)" olarak adlandırılmıştır [2].

Yapay zeka genellikle zekasal davranış diye adlandırılan sayısal anlama ile ilişkilendirilen bilim ve mühendisliğin bir dalıdır. Bu yapı içerisinde rasyonel düşünme yapay zekayı oluşturan temel yapıdır [3].

Günümüzde yapay zeka; bilgisayar oyunları, araçlar, ürün kalite testleri, güvenlik sistemleri, matematiksel teoremler gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu alanlara veri sağlamak için kullanılan yapay zekanın alt alanlarından birisi de bilgisayarla görü sistemleridir. Bilgisayarla görü, görüntü işleme yöntemlerini kullanan bir sistemdir.

Günümüzde bilgisayarla görü sistemlerine örnek olarak insansız araç çalışmaları dikkat çekmektedir. Berlin Açık Üniversitesi'nin yapay zeka Laboratuvarı tarafından geliştirilen yazılımın kullanıldığı Şekil 1.1 (a)'da görülen MadeInGermany, AutoNOMOs ekibi tarafından son teknoloji LIDAR/RADAR algılayıcılar ve

kameralar kullanılarak geliştirilmiştir. Araç robotik bir sistemle çevresindekileri algılayarak sürücüsüz olarak kendisini sürebilmektedir [4]. Şekil 1.1 (b)'de de Stanford Üniversitesi Profesörü Sebastian Thrun tarafından yönetilen Google firmasının üzerinde çalıştığı robotik Toyota Prius modelinin analiz ettiği görüntüye yer verilmiştir [5].



Şekil 1.1. (a) Berlin Açık Üniversitesi'nin MadelnGermany isimli Yapay Zeka Laboratuvarı tarafından tasarlanan aracı (b) Google sürücüsüz aracının analiz ettiği bir şehir içi yol görüntüsü

Bilgisayarla görü; objelerin formu, yapısı ve konumu gibi veriler elde edilebilmektedir. Elde edilen bu veriler ile tanımlanmış komutlar çerçevesinde sayısal sistemlerin rasyonel kararlar verebilmesi sağlanabilmektedir. Bilgisayarla görü kameradan alınan görüntüyü işleyerek robota bilgi aktarmakta ve robot elde edilen görüntülerden belirlenen kurallara göre bir sonuç ortaya koyabilmektedir. Bu sistem dahilinde uygulama işleyişi bir algılayıcı yardımıyla görüntülerin elde edilerek işlenmesi, yorumlanması ve geri dönüş vermesi sürecine göre ilerlemektedir.

Bilgisayarla görü sistemleri işledikleri veriler sayesinde hakem, gözetmen gibi denetleyicilere destek olabilmektedir. Bu çalışma kapsamında da satranç müsabakalarındaki hakemlerin karar verme sürecine destek olmayı amaçlayan bir bilgisayarla görü sistemi ortaya konulmuştur. Bunu yaparken oyuncuları rahatsız etmeyecek, düşük maliyetli ve insan gücü ihtiyacını azaltacak bir sistem

önerilmiştir. Ayrıca gerçekleştirilen arayüzlerle oyunu gerçek zamanlı olarak başka insanların uzaktan takip edebilmeleri de sağlanabilmektedir.

1.2 Benzer Çalışmalar

Literatürde satranç hamlelerini tespit etmeye yönelik farklı çalışmalar bulunmaktadır. Daha çok kamera kalibrasyonu için kullanılan köşe tespit yöntemleri satranç oyunu takip etme sistemleri için sıkça rastlanan yöntemler arasındadır. Bennet ve Lasenby deformasyona uğramış bir satranç tahtasının tespit edilmesi üzerinde çalışmışlardır [6]. Satranç tahtasının karelerinin köşe noktalarını tespit edebilmek için 'Chess-board Extraction by Substraction and Summation (ChESS)' adında ön bilgiye ihtiyaç duymayan, ayrıca gürültüye, düşük ışık koşullarına ve düşük zıtlık oranına dirençli bir özellik algılayıcı (feature detector) geliştirmişlerdir [7]. Han ve DeSouza köşe tespit konusunda yaptıkları çalışmada satranç tahtası deseni kullanan bir özellik algılayıcı ile bulunan noktalara Hough dönüşüm işlemi uygulamışlardır. Geliştirdikleri algoritma ile dönüşümden elde edilen tüm çizgilerin kesişimleri incelenerek satranç tahtasının karelerinin köşe noktalarını bulmuşlardır [8]. Çalışmalarında kamera kalibrasyonu yapmak için benzer bir yöntem kullanan Douskos, Kalisperakis ve Karras farklı ışık ortamlarında alınan satranç tahtası desenlerine ait görüntüleri ön bilgi olarak kullanmışlardır. Köşelerin çıkarımı için histogram eşitlemesi yapılmış gri tonlamalı görüntülere alt-piksel hassasiyetinde Harris köşe operatörü uygulamışlardır [9]. Cour vd. satranç tahtasının köşelerini tespit edebilmek için desen-eşleştirme yöntemini kullanmışlardır. Elde edilen karelerin içerik analizini yapmak için "toplam" tanımlayıcı, ışık farklılıklarını gidermek içinse "fark" tanımlayıcı kullanmışlardır [10]. Zhao vd. çalışmalarında taşları bulabilmek için geliştirilmiş Hough dönüşümü kullanmışlardır [11]. Bir diğer çalışmada ise satranç tahtasını tespit etmek için gereken homografi dönüşüm matrisini oluşturabilmek amacıyla satranç tahtasının köşeleri elde edildikten sonra Hough dönüşümü kullanılmıştır [12]. Benzer bir çalışmada Hough dönüşümü kullanılmadan önce Canny kenar tespit yöntemi ile kenar çizgileri bulunmuştur [13].

Tahta ve taş tespitinin yapılmasında daha belirgin sonuçlar elde etmek için çeşitli düzenlemeler yapılmıştır. Illeperuma, Piškorec vd. satranç tahtasını tespit etmek için üzerinde taş bulunmayan boş bir satranç tahtası kullanmışlardır [14,15]. Farklı

çalışmalarda da satranç tahtasının kare ve taşlarının daha rahat tespit edilebilmesi için tahtanın renkleri taşlardan belirgin şekilde farklı seçilmiştir [15, 16]. Victor Wang ve Richard Green'in çalışmasında bunu sağlamak için kamera "yüksek renk yoğunluğu yakalayacak şekilde" (capture high color intensity) ayarlanmıştır. Bu sayede taşların renkleri siyah ve beyaz kalırken, satranç tahtasının açık ve koyu kahverengi olan kareleri açık ve koyu turuncu olacak şekilde değişmiştir. Elde edilen renklerin doygunluk oranları oldukça yüksektir [17]. Bazı çalışmalarda tepeden bakankameralar ile taşların özelliklerini tespit edebilmek için taşlara birbirlerinden farklı olacak şekilde özel tasarımlar yapılmıştır [16,18]. Tepeden bakan kameraların özellik algılaması zayıf olduğu için özel tasarımlar yapılarak algılamanın kuvvetlendirilmesi amaçlanmıştır. Literatürde bulunan çoğu çalışmanın aksine Tam vd. alışmalarında zeri taşlarla dolu olan satranç tahtasının karelerini tespit edebilmek için kamerayı tepeden kullanmak yerine daha düşük açıdan (45 derecelik açı ile) kullanmışlardır [19].

İlerleyen zamanlarda özellik algılamada karşılaşılan zayıflıkların giderilmesi için ikinci bir kameranın dahil edildiği çalışmalara da literatürde rastlanmaktadır. Piskorec, satranç oyununun yeniden yapılandırılması için bir bilgisayarla görü sistemi kullanmıştır. Bu sistemde satranç oyununu yeniden yapılandırmak için iki kameradan alınan sıralı video görüntüleri kullanılmıştır. Tepeden bakan kamera (1. kamera) satranç taşlarının konumlarını belirlerken, çaprazdan bakan kamera (2. kamera) ise taşların özelliklerini belirlemiştir. Taşları ve satranç tahtasını sınıflandırabilmek için SVM (Support Vector Machine) sınıflandırıcısı kullanılmıştır [15].

Khater çalışmasında satranç taşlarının özelliklerini tespit edebilmek için 'signature' özellik algılayıcı kullanmıştır. Elde edilen özelliklerin taş tespiti için yeterli olmadığı durumlarda PCA (Principal Component Analysis) kullanılmıştır [20].

Satranç hamlelerini tespit etmek, satranç oynayan bir robot sisteminin n adımı olarak görülebilir. Sokic ve Ahic-Djokic, uzaktan kontrol edilen bir robotla satranç oynayabilmek için, proje-tabanlı öğrenme sistemine dayalı bir bilgisayarla görü sistemi önermişlerdir. Önerilen algoritma, hamleden önceki, sonraki ve hamle sırasında kaydedilen görüntüleri karşılaştırarak aralarındaki farkları bulmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre Sokic ve Ahic-Djokic satranç oyununda yapılan

hamleleri tespit edebilmektedir [21]. Benzer bir çalışmada da Ataş vd., ana kontrolcü, resim işleme, makine öğrenme, oyun motoru ve robot kolu için hareket motoru gibi çeşitli modüllerden oluşan satranç oynayan bir robotik kol sistemi geliştirmişlerdir. Çalışmalarında taşları tanımlamak için Yapay Sinir Ağları (YSA) tabanlı yapay öğrenme modülü kullanmışlardır [18].

Öte yandan, satranç karşılaşmalarında oyuncu olarak yer alabilecek yapay zeka kullanan robotlar üzerinde çalışmalara da literatürde rastlanmaktadır. Kaur vd., satranç oynayabilen ve yapay zekaya sahip bir robot geliştirmişlerdir. Bu sistemde satranç tahtasının elde edilmesi için kenar tespiti ve piksel saptaması yapılmıştır. Bu çalışmada da Sokic ve Ahic-Djokic'in çalışmasında olduğu gibi hamle sırasında elde edilen görüntülerin farkları alınarak hamle tespiti yapılmıştır [22]. Angelkov ise çalışmasında geliştirdiği robot sisteminin taşların hamlelerini tespit ederek yorumlayabilmesi için Canny kenar-tespit tabanlı bir hareket tespit algoritması kullanmıştır [23].

Banerjee vd. tarafından yapılan 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 kullanmışlardır [24]. Literatürde yer alan bazı çalışmalarda da kullanıcının sürece dahil edildiği durumlar göze çarpmaktadır. Örneğin, Gonçaves satranç tahtasının köşe noktalarını, kullanıcının görüntüye tıklamasıyla belirleyebilmektedir [25]. Urting ve Berbers'in yapmış olduğu çalışmada da MarineBlue adlı düşük bütçeli robotlarının satranç tahtasını tespit edebilmek için belli bir boyutta satranç tahtası kullanılması gerekmektedir [26]. Diğer bir robotik sistem olan 'Gambit' insanlara karşı her türlü ortamda fiziksel bir satranç tahtası üzerinde oyun oynayabilmektedir. Matuszek vd. Tarafından geliştirilen bu sistem gerçek-zamanlı olarak hamle tespiti, konum ve tahtanın durumunu takip edebilmektedir. Bunları yapabilmek için derinlik bilgisi kullanılmıştır. Gambit satranç taşlarını tanımayı öğrenebilmekte ve bu sayede bir satranç oyununa herhangi bir zamanda katılabilmektedir [27]. Gambit gibi satranç oynayan robot üzerine yapılan çalışmaların bazıları AAAI (Association for the Advancement of Artificial Intelligence) gibi uygulayıcıları yapay zeka

araştırmalarına teşvik eden ve toplumsal algıyı bu alanda yükseltmeyi amaçlayan yarışmalarda da yer almıştır [27, 28, 29, 30].

İnsan-bilgisayar etkileşimi dahilinde satranç oynama sistemleri üzerine çeşitli çalışmalar da yapılmaktadır. Bunlardan biri de Sajo vd. tarafından geliştirilen Turk-2 adında bir insansı robottur. Bu robot rakipleriyle satranç oynarken rakiplerini görüp duyarak onlarla konuşabilmekte ve bir ekran vasıtasıyla hislerini gösterebilmektedir [31].

Literatürde yer alan tüm bu çalışmaların farklı bakış açıları ortaya koyarak bilgisayarla görü alanına değerli katkılar verdiği yadsınamaz bir gerçektir. Bu tez çalışması kapsamında önerilen, bir satranç müsabakasını takip ederek hakem rolünü üstlenebilecek veya verilen geri dönüşlerle hakeme destek olabilecek bir sisteme literatürde rastlanmamıştır. Bu bağlamda, önerilen çalışmanın kullanım amacı olarak yenilikçi bir yöne sahip olduğu söylenebilir.

1.3 Yazılım ve Donanım Gereksinimleri

Satranç oyunu için önerilen sistemde oyun sırasında taşların hareketlerinin okunması amacıyla bir düzenek hazırlanmıştır. Bu düzenekte izleme için orta düzey bir web kamerası olan Logitech c310 kullanılmıştır. 5 megapiksel znrlğe sahip olan kamera 720p yüksek znrlkte kayıt yapabilmektedir. Kameranın otomatik odaklanma özelliği bulunmamaktadır. Hamle tespit etme işlemi için kamera ayarlarından yalnızca pozlandırma modu otomatik moddan elle ayarlanabilir moda alınmıştır. Bunun dışında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Kamera, satranç tahtasının ortasından tepeden görüntü alabilecek şekilde konumlandırılmıştır (şekil 1.2). Uzun ve esnek bir yapıda olan kamerayı tutan kolun ağırlık noktası dengeli olacak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca kamerayı tutan kol oyuncuların görüş açısının dışında kalacak şekilde tasarlanmıştır.

Düzenekte kullanılan satranç tahtası ve taşlar Dünya Satranç Federasyonu'nun (FIDE) belirlemiş olduğu renk ve boyut kuralları dikkate alınarak seçilmiştir [32]. Buna bağlı olarak satranç tahtası üzerinde bulunan karelerin renkleri, oyun taşlarının renklerinden farklı olacak şekilde seçilmiştir. Buna göre renk seçimleri řu şekildedir:

- Taşlar için: siyah ve açık kahverengi
- Kareler için: beyaz ve koyu kahverengi



Şekil 1.2 Tasarlanan izleme düzeneği

Önerilen sistemin işlem adımlarının gerçekleştirilmesinde MATLAB programının 'Image Acquisition', 'Image Processing' ve 'Computer Vision System' araç kutularından faydalanılmıştır. Sistem, 2.20Ghz hızında Intel Core i7-2670QM işlemcisine ve 8 GB belleğe sahip bir dizüstü bilgisayarda geliştirilerek gerçek-zamanlı olarak test edilmiştir.

1.4 Tez Planı

Tez üç ana bölümden oluşmaktadır. Tezin ilk bölümü problemin tanımı, motivasyonu ve amaçlar (Bölüm 1.1) ile başlamaktadır. Devamında benzer çalışmalar (Bölüm 1.2) ele alınmıştır. İlk bölümün sonunda yazılım ve donanım gereksinimlerinden (Bölüm 1.3) bahsedilmiştir.

İkinci bölümde genel olarak önerilen sistem için sunulan yöntemden ve geliştirilen arayüzlerden bahsedilmiştir. Yöntemin alt bölümlerine geçmeden önce yöntemin genel akışına yer verilmiştir (Bölüm 2.1). Bölüm 2.2’de satranç oyununun kurallarından bahsedilmiştir. Bir sonraki bölümde ise hamle algılamanın adımları ele alınmıştır. İlk adımı olan tahta tespitinin nasıl yapıldığından bahsedilmiştir (Bölüm 2.3.1). Daha sonra bulunan tahtanın geometrik olarak düzeltilmesi ele alınmıştır (Bölüm 2.3.2). Bölüm 2.3.3’te düzeltilmiş satranç tahtasının görüntüsünü elde ettikten sonra satranç tahtası üzerindeki açık taşlar aşağıda kalacak şekilde satranç tahtasının yeniden konumlandırılmasından bahsedilmiştir. Kameradan alınan görüntülerin kararlı ve verimli olabilmesi için yapılan kameranın pozlandırma ayarları Bölüm 2.3.4’te ele alınmıştır. Taşların ve satranç tahtasının karelerinin ortalama renk bilgileri alınmadan önce yapılan ön işleme adımından ve referans renklerin belirlenmesinden Bölüm 2.2.5’te bahsedilmiştir. Bölüm 2.3.6’da hamle algılamanın son adımı olan taşların belirlenmesine yer verilmiştir. Hamle algılamadan sonra hamle yorumlama ile ilgili işlemler ele alınmıştır (Bölüm 2.4). İkinci bölümün son başlığında ise geliştirilen kullanıcı arayüzleri anlatılmıştır (Bölüm 2.5).

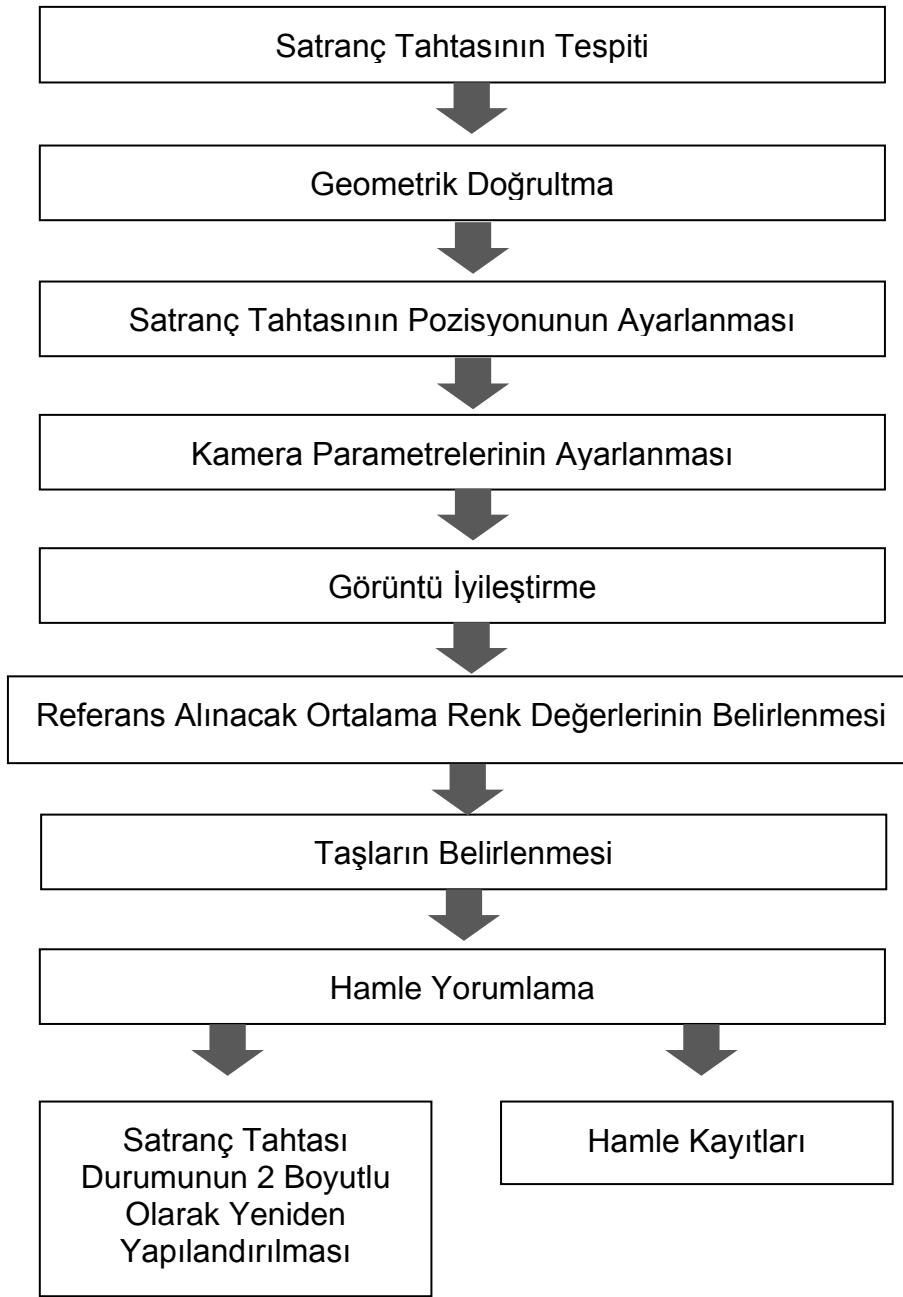
Tezin üçüncü bölümünde sistemin test edilmesine ve elde edilen bulgulara değinilmiştir. İlk olarak gerçekleştirilen testlerin ortam, süre ve kişi bilgilerine yer verilmiştir (Bölüm 3.1). Bölüm 3.2’de yapılan testlerdeki hamle algılama başarı ölçümlerinden bahsedilmiştir. Bölüm 3.3’te ise hamle yorumlama başarı ölçümlerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümün son kısmında sistemin kısıtlarına ve tartışmalara yer verilmiştir (Bölüm 3.4).

Tezin son bölümü olan dördüncü bölümde tezin sonuçlarına ve bu tezden yola çıkılarak ileride yapılabilecek çalışmalara yönelik bilgilere yer verilmiştir.

2. YÖNTEM VE GELİŞTİRİLEN ARAYÜZ

2.1 Genel Akış

Önerilen sistemin genel iş akış diyagramı Şekil 2.1’de verilmiştir. Bu iş akışına göre, hamle algılamayı gerçekleştirebilmek için elde edilen görüntüler tanımlama işleminden geçirilmektedir. Tanımlama işlemi için ilk olarak satranç tahtasının üzerindeki karelerin dış çerçevesi bulunmuştur. Bu işlemi takiben elde edilen satranç tahtası görüntüsünün deformasyonunu azaltmak için geometrik doğrultma işlemi uygulanmıştır. Satranç tahtasının görüntüsünün konumu her zaman açık taşlar aşağıda ve koyu taşlar yukarıda olacak şekilde düzenlenmiştir. Sonrasında kameranın pozlandırma parametresi taşlar ve satranç tahtasının kareleri arasındaki renk ayrımını en belirgin düzeyde verecek şekilde ayarlanmıştır. Elde edilen resimlerin ortalama renk bilgileri alınmadan önce ön işleme sokularak resim kalitesi iyileştirilmiştir. Daha sonra satranç tahtası üzerindeki renk değişimlerinden hamle tespiti yapıp taşların konumları belirlenmiştir. Son olarak tespit edilen hamlelerin geçerliliği hamle yorumlama bölümünde kontrol edilmiştir. Sistemin ürettiği çıktılar ise satranç tahtasının 2 boyutlu gösterimi ve hamle kayıtlarıdır.



Şekil 2.1 Genel akış

2.2 Satranç Oyunu Kuralları

Satranç, iki oyuncu arasında oynanan bir zeka oyunudur. Bu oyun satranç tahtası denilen 8'e 8 toplam 64 kareden oluşan bir alan üzerinde 32 adet satranç taşı ile oynanır. Satranç tahtası karelerinin yarısı siyah, yarısı beyaz renklere oluşur. Oyun başlangıcında 16 beyaz ve 16 siyah taş bulunmaktadır. Bu taşlar; 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

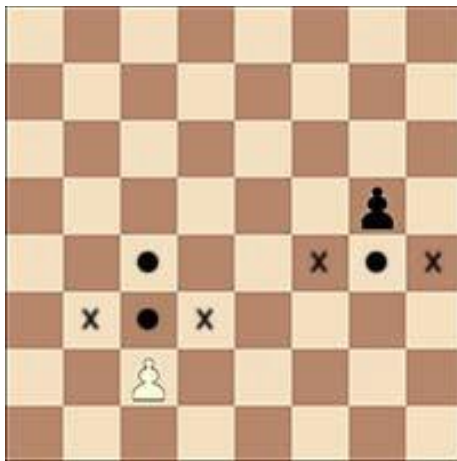
oyuncunun bir seferde bir hamle yapmasıyla oyun gelişir. Oyunun amacı karşı tarafın şahını mat etmektir. Bir başka deyişle rakip şahın bulunduğu karenin tehdit altında olması ve bu tehdidi engelleyecek başka bir kareye geçmek için hamle yapamaması durumudur.

Her taş tipinin farklı bir oynanış tarzı vardır:

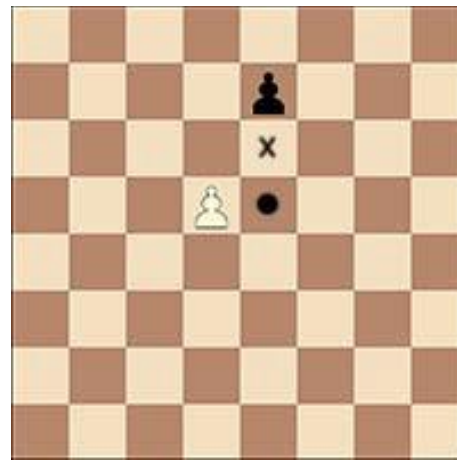
- Piyon 1 kare ileri gidebilmektedir. Yalnızca ilk defa hareket ettiğinde 2 kare ileri gidebilmektedir. Piyon ileri doğru giderken sol ve sağ çaprazındaki taşları ele geçirebilmektedir. Piyonun oynanış şekli Şekil 2.2 (a)'da görülmektedir.

Piyonun özel hamlesi "Geçerken Alma" (En passant):

Hiç hamle yapmamış olan bir piyonun 2 kare öne çıkarak rakip piyon ile yan yana gelmesi sonucu rakip piyon tarafından ele geçirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu hamlede rakip piyon çapraz hamle yaparak diğer piyonun arkasına geçip onu ele geçirebilmektedir. Bu hareket "Geçerken Alma" özel hamlesidir. Ancak bu özel hamle, rakip piyonun yanına ilk hamlesinde 2 kare öne çıkarak gelen diğer piyonun bu hareketinin hemen devamında yapılmak zorundadır. İlerleyen aşamalarda tekrar kullanılamamaktadır. Geçerken Alma özel hamlesi Şekil 2.2 (b)'de görülmektedir.



(a)



(b)

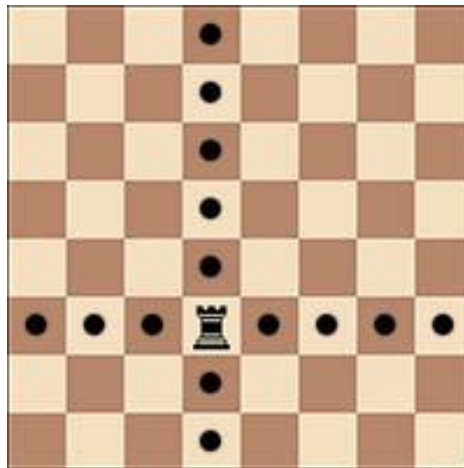
Şekil 2.2 (a) Piyon oynanış tarzı (b) Geçerken Alma özel hamlesi

- At “L” harfine benzer şekilde yukarı, aşağı, sağa ve sola doğru ileri hareket edebilmektedir. At gittiği konumdaki rakip taşı ele geçirebilmektedir. Diğer taşlardan farklı olarak at başka bir taşın üstünden atlayarak hareket edebilmektedir. At'ın oynanış tarzı Şekil 2.3'de görülmektedir.



Şekil 2.3 At oynanış tarzı

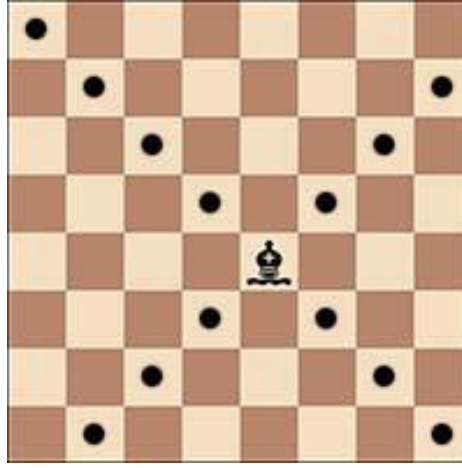
- Kale yukarı, aşağı, sağa ve sola istenilen kare sayısı kadar hareket edebilmektedir. Gittiği konumdaki rakip taşı ele geçirebilmektedir. Fakat bir taşın üstünden atlayarak hareket edememektedir. Kale'nin oynanış tarzı Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2.4 Kale oynanış tarzı

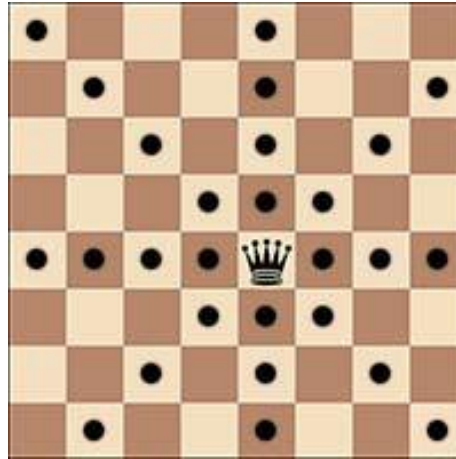
- Fil çapraz olarak istenilen kare sayısı kadar hareket edebilmektedir. Fil gittiği konumdaki rakip taşı ele geçirebilmektedir. Fakat bir taşın üstünden

atlayarak hareket edememektedir. Fil'in oynanış tarzı Şekil 2.5'te görülmektedir.



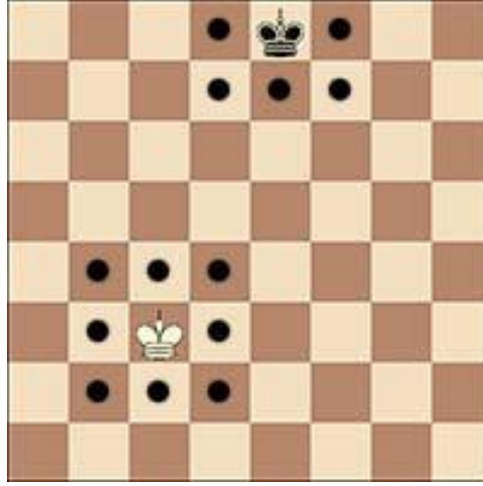
Şekil 2.5 Fil oynanış tarzı

- Vezir hem kale gibi yukarı, aşağı, sağa ve sola, hem de fil gibi çapraz olarak istenilen kare sayısı kadar hareket edebilmektedir. Vezir gittiği konumdaki rakip taşı ele geçirebilmektedir. Fakat bir taşın üstünden atlayarak hareket edememektedir. Vezir'in oynanış tarzı Şekil 2.6'da görülmektedir.



Şekil 2.6 Vezir oynanış tarzı

- Şah her yöne sadece bir kare ilerleyerek hareket edebilmektedir. Şah gittiği konumdaki rakip taşı ele geçirebilmektedir. Şah kendisine tehdit oluşturabilecek rakip taşların hareket alanlarına giremez. Şah'ın oynanış tarzı Şekil 2.7'de görülmektedir.

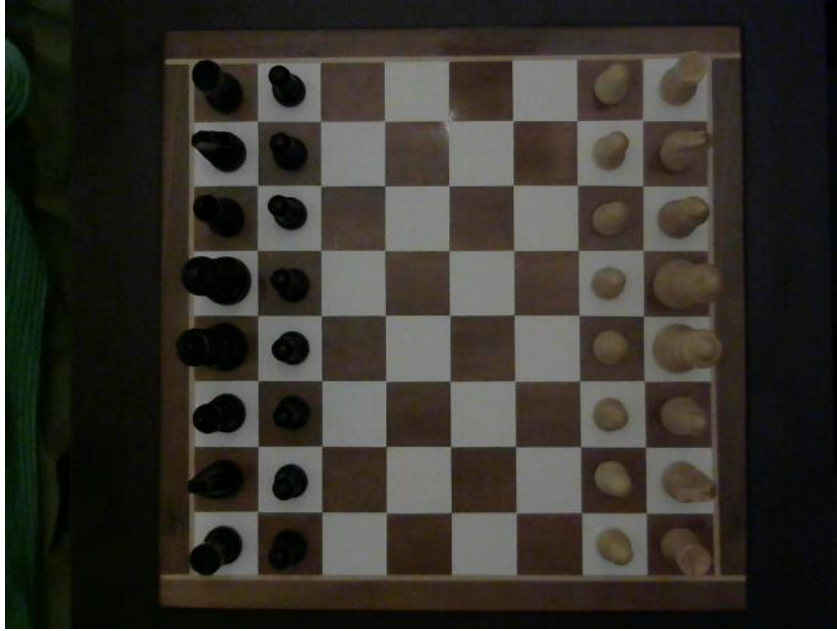


Şekil 2.7 Şah oynanış tarzı

2.3 Hamle Algılama

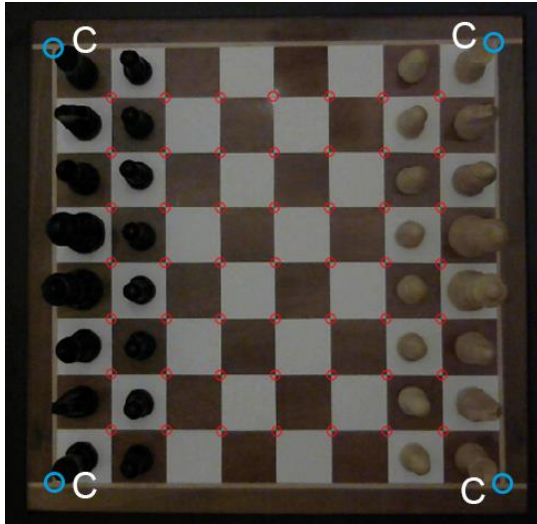
2.3.1 Satranç tahtasının tespiti

Kameradan alınan anlık görüntüden (Şekil 2.8) satranç tahtasını tespit edebilmek için önce satranç tahtasının her bir karesinin köşe noktalarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Satranç tahtasının karelerinin köşe noktalarını bulabilmek için MATLAB'ın 'Computer vision system' araç kutusunun bir fonksiyonu olan 'detectCheckerboardPoints' kullanılmıştır. Bu fonksiyon 2 boyutlu renkli veya gri tonlamalı görüntüden en küçüğü 4'e 4 olan ve açık ve koyu karelerden oluşan dama tahtasını (checkerboard) tespit edebilmektedir. Fonksiyon görüntünün 2. türevini alarak birbirlerine yatay ve çarpaz konumlanan köşe noktalarını tespit etmektedir. Fonksiyon bu dama tahtasının boyutunu ve tespit edilen noktaları çıktı olarak vermektedir [33].

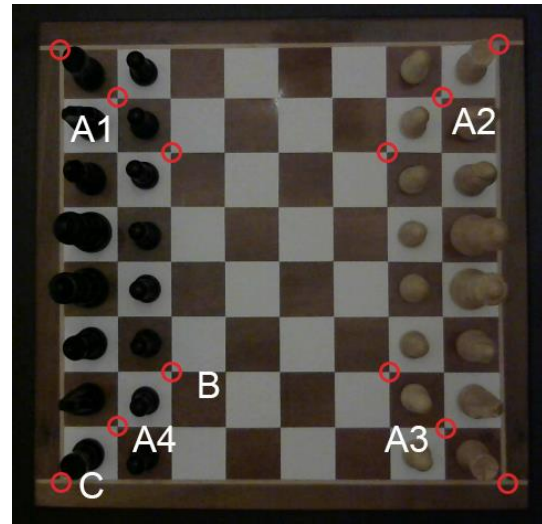


Şekil 2.8 Kameradan alınan anlık görüntü

Tüm karelerin köşe noktaları (Şekil 2.9 (a)'da kırmızı çemberle gösterilen noktalar) detectCheckerboardPoints fonksiyonu ile tespit edilmiştir. Daha sonra elde edilen bu noktalarla satranç tahtasının karelerinin dış çerçevesini belirleyen köşe noktalarına (Şekil 2.9 (a)'da mavi çemberlerle gösterilen C noktaları) ulaşılmaya çalışılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 2.9 (a) Satranç tahtasının üzerindeki köşe noktaları (b) Dış çerçeveyi bulmak için kullanılan noktalar

Elde edilen köşe noktalarından (Şekil 2.9 (a)'da kırmızı çemberlerle gösterilen), satranç tahtasının orijinal görüntüsünün (Şekil 2.10'daki 1,2,3 ve 4 numaralı oklarla gösterilen) köşelerine en yakın olanların bulunması gerekmektedir.



Şekil 2.10 Orijinal görüntü ve köşe noktaları

Bu işlem için satranç tahtasının üzerindeki karelerin her birinin köşe noktalarının orijinal görüntünün köşe noktalarına uzaklığına bakılmıştır. Buna göre:

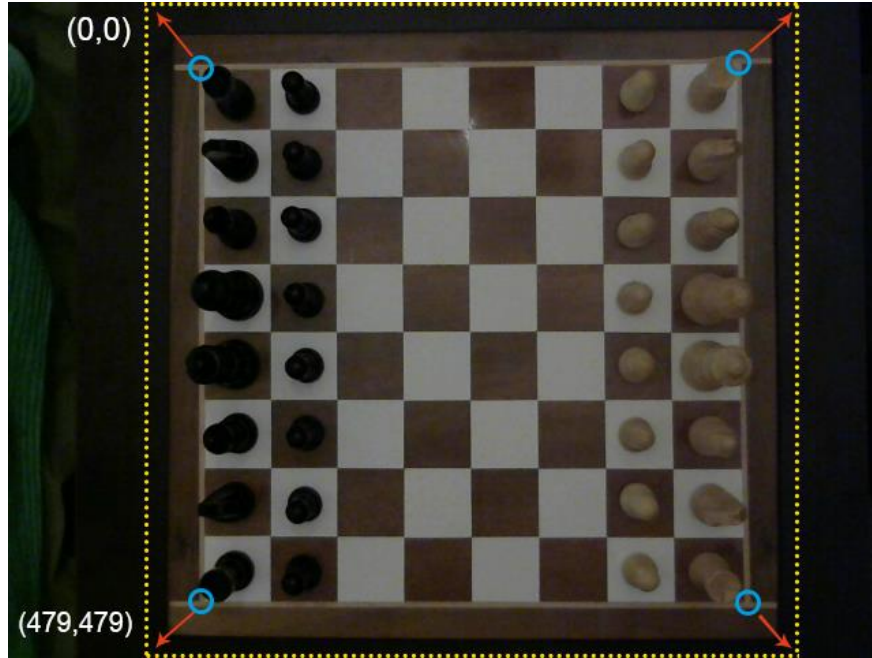
- Sol üst köşe için Şekil 2.10'daki 1. okla gösterilen noktaya en yakın olan köşe noktası A1 (Şekil 2.9 (b)),
- Sağ üst köşe için Şekil 2.10'daki 2. okla gösterilen noktaya en yakın olan köşe noktası A2 (Şekil 2.9 (b)),
- Sağ alt köşe için Şekil 2.10'daki 3. okla gösterilen noktaya en yakın olan köşe noktası A3 (Şekil 2.9 (b)),
- Sol alt köşe için Şekil 2.10'daki 4. okla gösterilen noktaya en yakın olan köşe noktası satranç tahtasının A4 noktası olarak belirlenmiştir (Şekil 2.9 (b)).

Şekil 2.9 (b)'de de gösterildiği gibi B noktası A4 noktasına en yakın olan diyagonal noktadır. B noktasının A4 noktası üzerinden yansıması satranç tahtasının karelerinin dış çerçevesinin köşe noktalarından biri olan C noktasını vermektedir

(Şekil 2.9 (b)). Bu prosedür tüm kalan köşe noktaları için uygulandığında diğer C noktaları da kolaylıkla bulunmaktadır.

2.3.2 Geometrik doğrultma

Geometrik doğrultma satranç tahtasının perspektif bozukluklarını gidermek ve tahtayı arka plandan ayırmak için gerekli bir adımdır. Bölüm 2.3.1’de elde ettiğimiz C noktalarının, 480x480 piksel boyutlu bir düzlemin köşe noktalarına denk gelecek şekilde örtüştürülmesi sonucunda bir çarpıtma işlemi uygulanmıştır. Geometrik dönüşüm sırasında bozulmaların ve veri kaybının asgari düzeyde tutulabilmesi için bu düzlemin boyutları yapılan denemeler sonucunda 480x480 piksel olarak belirlenmiştir. Şekil 2.11’de gerçekleştirilen doğrultma işlemi görülmekte olup satranç tahtasının köşe noktaları (mavi çemberler) oluşturulan düzlemin köşe noktaları ile örtüştürülmüştür.



Şekil 2.11 Satranç tahtasına uygulanan geometrik doğrultma işlemi

Bu işlem için MATLAB’ın ‘Image Processing’ araç kutusunda bulunan ‘imwarp’ fonksiyonundan yararlanılmıştır. Bu fonksiyon resimlere geometrik dönüşümler uygulamak için kullanılmaktadır. Fonksiyonun kullanımı $B = \text{imwarp}(A, \text{tform}, \text{Name}, \text{Value})$ şeklinde olup girdi parametreleri:

A: Satranç tahtasının bulunduğu kameradan alınan anlık görüntü,

tform: fitgeotrans fonksiyonundan bulunan (2-B) geometrik dönüşüm nesnesi,

Name: 'OutputView' olarak verilen, değerin boyutunun ve konumunun dünya koordinat sisteminde belirten argüman ismi,

Value: Boyutu [480,480] olarak verilen 2-B konumsal referans nesnesi (imref2d),
olarak açıklanabilir.

'tform'u bulmak için MATLAB'ta bulunan 'fitgeotrans' fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyon girdi parametresi olarak verilen kontrol noktalarını (movingPoints ve fixedPoints) almakta ve belirtilen dönüşüm tipine göre bunları kullanarak geometrik dönüşümü bulmaktadır. 'fitgeotrans' fonksiyonun genel yapısı ve girdi parametreleri aşağıda verilmiştir:

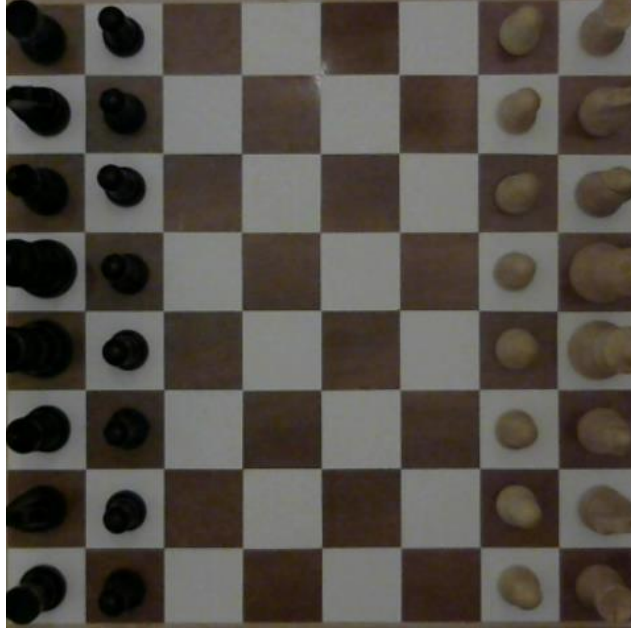
```
tform = fitgeotrans(movingPoints, fixedPoints, transformationType)
```

movingPoints: C noktalarının X ve Y koordinatları,

fixedPoints: 480x480 piksellik düzlemin köşe noktalarının X ve Y koordinatları,

transformationType: 'Projection' olarak verilen dönüşüm tipini ifade etmektedir.

Uygulanan doğrultma sayesinde anlık görüntüde çapraz olarak duran satranç tahtası düzeltilerek bundan sonraki işlemler için uygun bir zemin hazırlanmıştır. Son olarak, elde edilen satranç tahtası görüntüsü dikey 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 parça, üzerine denk gelen kare hakkında bilgi vermektedir. Bu işlem oyun başlamadan önce sadece bir kereliğine uygulandığı için oyun sırasında satranç tahtası veya kamera pozisyonu oynatılmamalıdır. Geometrik olarak doğrultulmuş satranç tahtası Şekil 2.12'de gösterilmiştir.

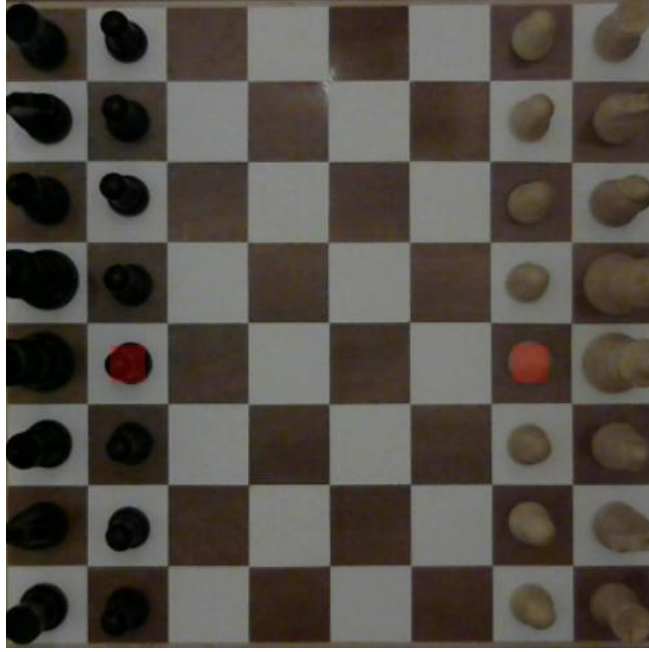


Şekil 2.12 Geometrik olarak düzeltilmiş satranç tahtası görüntüsü

2.3.3 Satranç tahtasının pozisyonunun ayarlanması

Geometrik doğrultma işleminden elde edilen satranç tahtası görüntüsünün konumunun, her zaman açık taşlar aşağıda ve koyu taşlar yukarıda olacak şekilde tekrar ayarlanması gerekmektedir. Böylelikle bundan sonra yapılacak işlemler için her seferinde taşların başlangıç pozisyonunun kontrol edilmesine gerek kalmayacaktır.

Düzenekteki kamera pozisyonu iki oyuncu arasında satranç tahtasına dik olacak şekilde konumlandırılmıştır. Kamera pozisyonunun bilinmesi sayesinde satranç tahtası üzerindeki taşların kameranın solunda ve sağında konumlanmış olacağı bilinmektedir. İki tarafta bulunan şah taşlarının içinde bulunduğu karelerin merkezinden 23x23 piksellik bir ilgi bölgesi oluşturulmuştur. Oluşturulan ilgi bölgesinin renk değerlerinin ortalaması alınmıştır. Alınan ortalama değerlerin karşılaştırılmasından da ortaya çıkan sonuç açık taşların görüntünün alt tarafında mı yoksa üst tarafında mı olacağı bilgisini vermektedir. Oluşturulan ilgi bölgesinin boyutu taşın kendi sınırları içinde, bulunduğu kareye taşmayacak şekilde, yalnızca taşların renk bilgisini alabilmesi için, 23x23 olarak belirlenmiştir. Şah taşları için kesilen ilgi bölgeleri Şekil 2.13'te kırmızı renk ile gösterilmektedir.



Şekil 2.13 Şah taşları üzerindeki ilgi bölgeleri

Şahların bulunduğu karelerden alınan ilgi bölgelerine ait ortalama renk bilgilerine ulaşmak için MATLAB'ın 'mean2' fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyonun uygulandığı ilgi bölgesine ait piksel matrisinin değerlerinin ortalaması alınarak tek bir piksel değerine dönüştürülmektedir. Böylelikle her iki şahın bulunduğu kareden alınan ilgi alanlarına ait ortalama renk değerleri bu fonksiyon ile bulunmuştur.

Ortalama renk değeri diğerinden daha fazla beyaza yakın olan taraf beyaz taşı oluşturmaktadır. Beyaz taşların kameraya göre bulunduğu taraf belirlendikten sonra beyaz taşların satranç tahtasının görüntüsünün alt tarafında konumlanması için yeni bir geometrik dönüşüm nesnesi (tform) hesaplanarak tahta ilgili yönde döndürülmüştür (bölüm 2.3.2'de uygulanmıştır). İşlem sonunda açık taşlar alt tarafta yer alırken koyu taşlar üst tarafta yer alacak şekilde konumlanmıştır (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 Satranç taşlarının renk durumlarına göre konumlanmış hali

2.3.4 Kamera parametrelerinin ayarlanması

Kamera ayarlarında bulunan 'pozlandırma seviyesi' (exposure level), kameradan alınan anlık görüntülerin ne kadar aydınlık veya karanlık olacağına karar veren değişkendir [34]. Pozlandırma seviyesinin kamera tarafından otomatik veya kullanıcı tarafından manuel olarak ayarlanacağını ise 'pozlandırma modu' belirlemektedir. Pozlandırma modu kameranın ilk açılışında standart olarak 'otomatik mod'da gelmektedir. Fakat otomatik modda alınan görüntülerde istenmeyen ışık bozukluklarıyla karşılaşılabilir. Ayrıca kamera bu modda gerçek-zamanlı olarak pozlandırma seviyesini otomatik olarak değiştirmektedir. Özellikle bir oyuncu hamle yaparken oyuncunun elinin görüntüye girmesi veya başka bir kişinin gölgesinin satranç tahtası üzerine düşmesi, kameranın otomatik olarak pozlandırma seviyesini değiştirmesine neden olmaktadır. Bu durumda taş belirleme işlemini olumsuz yönde etkilemektedir. Taş belirleme işleminin başarılı olabilmesi için oyun başında belirlenen pozlandırma seviyesinin oyun bitene kadar değişmemesi gerekmektedir. Ayrıca taş belirleme işlemi için en ideal pozlandırma seviyesi açık renkli taşların açık renkli karelerle olan ve koyu renkli taşların koyu renkli karelerle olan renk farklılıklarının en fazla olduğu durumdur. Bu yüzden taş belirleme işlemi için en ideal pozlandırma seviyesinin belirleneceği bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın sözde kod biçiminde ifadesi aşağıdaki gibidir:

0 Prosedürü Başlat: **İdealPozlandırmaSeviyesiniBul**

1 Her bir Pozlandırma Seviyesi İçin

2 Koyu taş, koyu kare, açık taş ve açık karenin ortalama rengini hesapla.

3 Koyu taş ile koyu kare arasındaki renk uzaklığını hesapla

4 Açık taş ile açık kare arasındaki renk uzaklığını hesapla

5 Renk uzaklıklarının ortalamasını hesapla

6 Eğer pozlandırma seviyesi, ilk pozlandırma seviyesi ise

7 Ortalamayı en büyük ortalama olarak ata

8 Pozlandırma seviyesini ideal pozlandırma seviyesi olarak ata

9 Değilse

10 Eğer ortalama en büyük ortalamadan büyük ise

11 Ortalamayı en büyük ortalama olarak ata

12 Pozlandırma seviyesini ideal pozlandırma seviyesi olarak ata

13 Eğeri Bitir

14 Eğeri Bitir

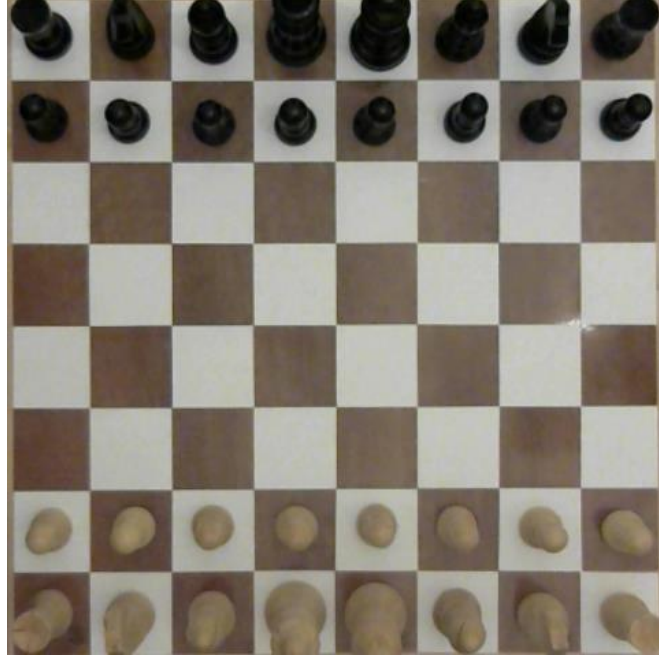
15 Döngüyü Bitir

16 İdeal pozlandırma seviyesini döndür

17 Prosedürü Bitir: **İdealPozlandırmaSeviyesiniBul**

Geliştirilen algoritma tarafından hesaplanan ideal pozlandırma seviyesi kameranın yeni pozlandırma seviyesi olacak şekilde belirlenmiştir. Hesaplanan pozlandırma seviyesi -6 (en karanlık) ile -2 (en aydınlık) aralığında olacak şekilde, aralıktaki her tamsayı değeri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Her oyun için hesaplanan pozlandırma seviyesi test bölümünde verilmiştir. Bu işlem oyun başlamadan önce

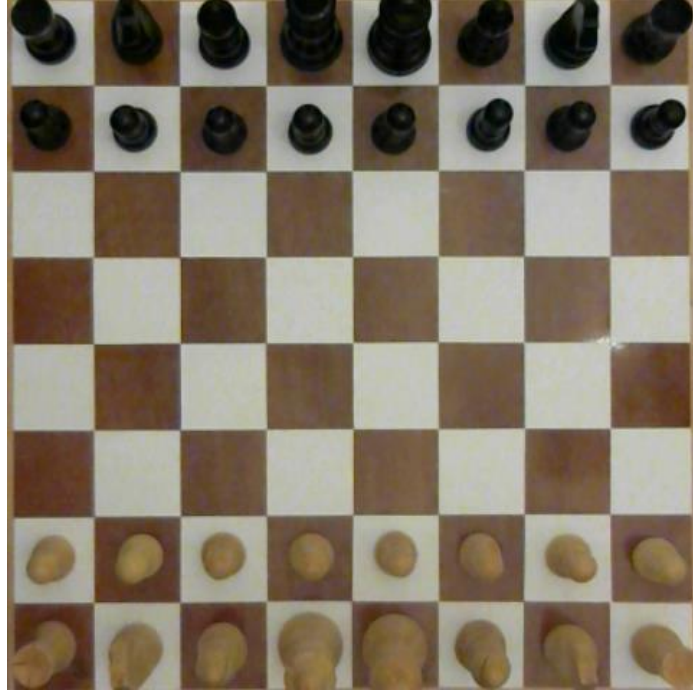
bir defaya mahsus yapılmaktadır. Değiştirilen kameranın pozlandırma seviyesi kamera tarafından otomatik olarak değiştirilmemesi için kameranın pozlandırma modu 'manüel' olarak ayarlanmıştır. Kamera ayarlarının değişiminden sonra alınan kamera görüntü Şekil 2.15'te gösterilmiştir.



Şekil 2.15 İdeal pozlandırma seviyesiyle elde edilen satranç tahtası görüntüsü

2.3.5 Görüntü iyileştirme ve referans renk değerlerinin belirlenmesi

Kamera görüntüsünden alınan anlık görüntülerin solgunluğunu gidererek renk kalitesini artırmak için görüntülerin doygunluk seviyesi ortalama %50 oranında artırılmıştır. Gerçek-zamanlı olarak alınan görüntüleri yapılan iyileştirmelerin performansı etkilememesi için daha fazla işlem uygulanmamıştır. Ön işleme uğramış satranç tahtasının görüntüsü Şekil 2.16'da sunulmuştur.



Şekil 2.16 Görüntü iyileştirme işlemi sonrası elde edilen satranç tahtası görüntüsü

Kamera ayarları yapıp alınan anlık görüntü ön işleme sokulduktan sonra taşların ve karelerin ortalama renk bilgisini elde etme aşamasına geçilmiştir.

Ortalama renk bilgileri;

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

merkezine konumlandırılmış 23x23 piksellik ilgi bölgelerinden alınan renk değerlerinin ortalaması alınarak bulunmuştur. Bulunan ortalama renk değerleri arayüzlerde kullanılmak üzere RGB formatında ve taş belirleme işleminde kullanılmak üzere Lab formatında olmak üzere iki farklı şekilde saklanmaktadır. Oyunun başında bir defaya mahsus alınan bu ortalama renk değerleri, referans

renk değerleri olarak saklanıp daha sonraki işlemlerde satranç tahtasının durumunu açığa çıkarmak için kullanılmıştır.

2.3.6 Taşların belirlenmesi

Satranç tahtası üzerinde bulunan taşların renk ve konumlarının belirlenebilmesi için ilk önce oyuncunun hamle yapmış olduğunun saptanması gerekmektedir. Bu işlem referans görüntüsü ile kameradan alınan anlık görüntünün karşılaştırılmasına dayanmaktadır.

Satranç oyunu kamera tarafından görüntülenmeye başladığı 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 bir önceki görüntü silinmektedir.

Referans görüntüsü elde edildikten sonra hamle tespiti için referans görüntüsü ile anlık kamera görüntüsünün renk bilgileri karşılaştırılmaktadır. İki görüntü arasındaki renk farklılığını sayısal olarak tespit edebilmek için MATLAB'ın 'imabsdiff' fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon girdi olarak karşılaştırılan iki görüntünün renk değerlerini almakta ve çıktı olarak fark matrislerini vermektedir. Referans görüntüsünün ve kameranın anlık görüntüsünün imabsdiff fonksiyonuna girdi olarak verilmesiyle fark matrisi elde edilmiştir. Fark matrisinin verdiği değerlerin ortalaması alınarak iki görüntü arasındaki fark tamsayı cinsinden bulunmaktadır. El anlık görüntünün içerisindeyken, iki görüntünün renk değerlerinin farkı yaklaşık olarak 7 veya üzerinde tespit edilmiştir. Bu nedenle eşik değeri 7 olarak belirlenmiştir. Bu fark, belirlenen eşik değerinin üzerine çıkınca oyuncunun hamle yaptığı varsayılmaktadır. İki görüntü arasında belirlenen renk değişimindeki bu farkın tekrar eşik değerinin altına düşmesi hamlenin bittiği anlamına gelmektedir. Hamlenin bittiğinin öngörüldüğü sırada kameradan alınan anlık görüntü, taşların renk ve konumlarının belirlenmesi için yorumlanmaktadır. Bu anlık görüntüye Bölüm 2.3.5'te bahsedilen görüntü iyileştirme işlemi uygulanmıştır. Bu işlem bütün oyun süresince devam etmekte olup kameradan alınan tüm anlık görüntüler için uygulanmaktadır.

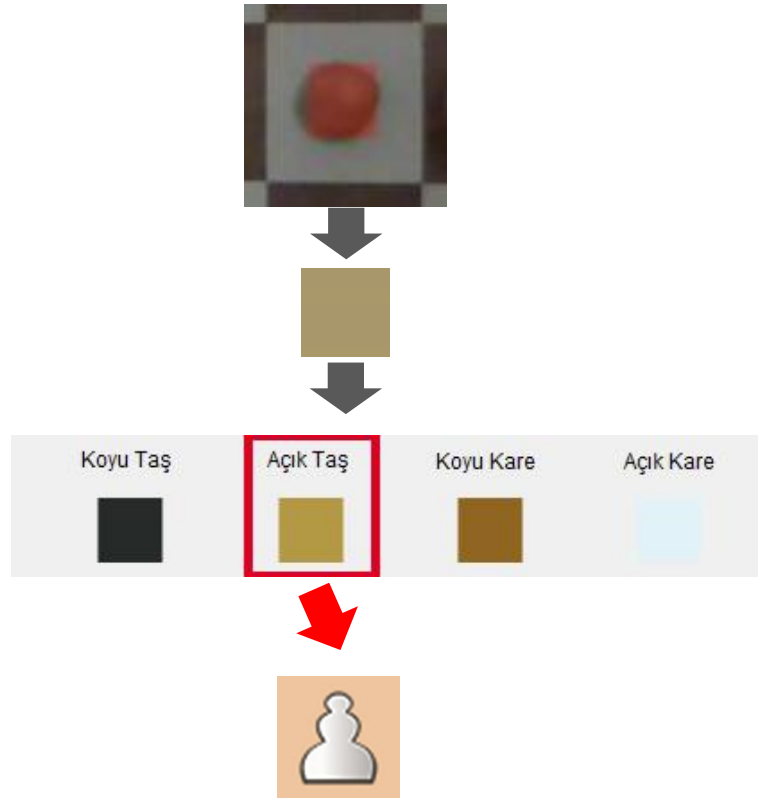
Görüntü satranç tahtasının her bir karesindeki ilgi bölgesinin renk değerleri ile Bölüm 2.3.5'te belirlenen referans renk değerleri karşılaştırılmaktadır. Bu

karşılaştırma, renk değerleri insan algısına daha yakın olduğu için Lab uzayında yapılmıştır [35]. Her bir kareden alınan ortalama renk değeri Bölüm 2.3.5'te ortalama renk bilgileri olarak verilen 4 farklı referans değeriyle karşılaştırılıp ΔE değeri bulunmuştur. ΔE değeri hesaplanırken, referans değeri 0'a en yakın çıkan ilgi alanı, o referans değerinin temsil etmiş olduğu kare veya taştır. Bu işlemin formülü aşağıdaki şekildedir:

(L_1^*, a_1^*, b_1^*) ve (L_2^*, a_2^*, b_2^*) $L^* a^* b^*$ uzayında iki renk olmak üzere,

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

Bu işlem satranç tahtası üzerinde bulunan 64 kare için de uygulanarak tüm satranç taşlarının son durumu belirlenmektedir. Tüm hamle girişimlerine ait değişimler arayüzde gösterilmek üzere kayıt altına alınmaktadır. Hamle algılamanın temsili gösterimi aşağıdaki şekilde sunulmaktadır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 Hamle algılamanın temsili gösterimi

2.4 Hamle Yorumlama

Bu bölümde satranç tahtası üzerindeki renk değişiminin bir hamle olup olmadığının tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Değişim bir hamle ise bu hamlenin geçerli bir hamle olup olmadığı yine aynı bölümde yorumlanmaktadır.

Satranç oyununun başlangıcında satranç taşlarının konumları ve tipleri, sistem tarafından, son geçerli hamleye ait taşların konum ve tip bilgileri olarak kaydedilmiştir. Buna göre, hamle adayı tespiti yapıldıktan sonra belirlenen taşlar ile son geçerli hamleye ait taşların konumları karşılaştırılmıştır.

Hamle yorumlamada;

- Dolan Kare: Önceden üzerinde taş olmayan karenin taş ile dolması,
- Boşalan Kare: Önceden üzerinde taş olan karenin boşalması,
- Değişen Kare: Üzerinde olan taşın renginin değişmesi,

anlamında kullanılacaktır.

Taşların önceki ve sonraki bilgileri bilindiğine göre;

- Kaç tane dolan kare,
- Kaç tane boşalan kare,
- Kaç tane değişen kare olduğu bilgisine ulaşılabilmektedir.

Karşılaştırma verilerine göre 5 çeşit sonuca ulaşılmıştır:

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 yapmış olabileceği anlamına gelmektedir. Rok işleminin geçerliliği daha sonra kontrol edilecektir.
4. Boşalan iki kare ve dolan bir kare varsa; bu oyuncunun 'geçerken alma' hamlesi 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.

1. maddeye göre;

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 uyarı mesajı vermektedir.

2. maddeye göre;

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 uyarı mesajı vermektedir. Yapılan tüm bu işlemlerden sonra hamle geçerliyse, yapılan hamlenin taşın tipine uygun olup olmadığı kontrol edilmektedir. Satranç taşları Bölüm 2.2'de belirtilen kurallardan farklı olarak hareket ederlerse yapılan hamle geçersiz bir hamle olmaktadır. Bu durumda uygulama "Bu bir geçersiz hamledir. Taş yanlış hareket etti." şeklinde 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 rengi aynı olması gerekmektedir. Aksi takdirde bu bir geçersiz hamle olacaktır ve uygulama “Bu bir geçersiz hamledir. Yanlış renkteki taş oynanamaz.” şeklinde 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 alınamaz.” şeklinde 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 Eğer Bitir
 - 18 Eğer Bitir
 - 19 Değilse Eğer geçici konum üzerinde bir taş var ise
 - 20 Yapılan hamleyi geçersiz hamle olarak ata
 - 21 Döngüden Çık
 - 22 Eğer Bitir
 - 23 Döngüyü Bitir
 - 24 Hamle geçerliliğini döndür
 - 25 Prosedürü Bitir: **GeçerliHamleMi**

3. maddeye göre;

Karşılaştırmadan çıkan sonuç rok işlemiyse 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.

4. maddeye göre;

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.

5. maddeye göre;

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.

2.5 Kullanıcı Arayüzleri

Geliştirilen sistem iki farklı arayüzden oluşmaktadır. Bütün kullanıcı arayüzleri MATLAB ortamında GUIDE aracı kullanılarak geliştirilmiştir. Satranç tahtası ve taşlarından bağımsız olarak, oluşturulan arayüzlerde satranç taşları beyaz ve siyah, satranç kareleri açık ve koyu kahverengi olarak gösterilmiştir.

2.5.1 Sistem Arayüzü

Hamle girişim bilgilerinin gösterildiği arayüzdür. Sistem arayüzünde girdi ve çıktı bilgilerini görmek için iki ana ekran bulunmaktadır (Şekil 2.18).

Girdi (Input) ekranı, satranç tahtasının karelerinin merkezinden alınan ilgi bölgelerinin bir araya getirilmesiyle oluşmaktadır. Girdi ekranı bize ilgi bölgelerinden alınan renk bilgisi hakkında fikir vermektedir.

Çıktı (Output) ekranı ise, ilgi bölgelerinden alınan renk bilgilerinin referans renk bilgileri ile karşılaştırılmasından çıkan sonucu ekrana yansıtmaktadır. Diğer bir deyişle 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 harflerle gösterilmektedir.

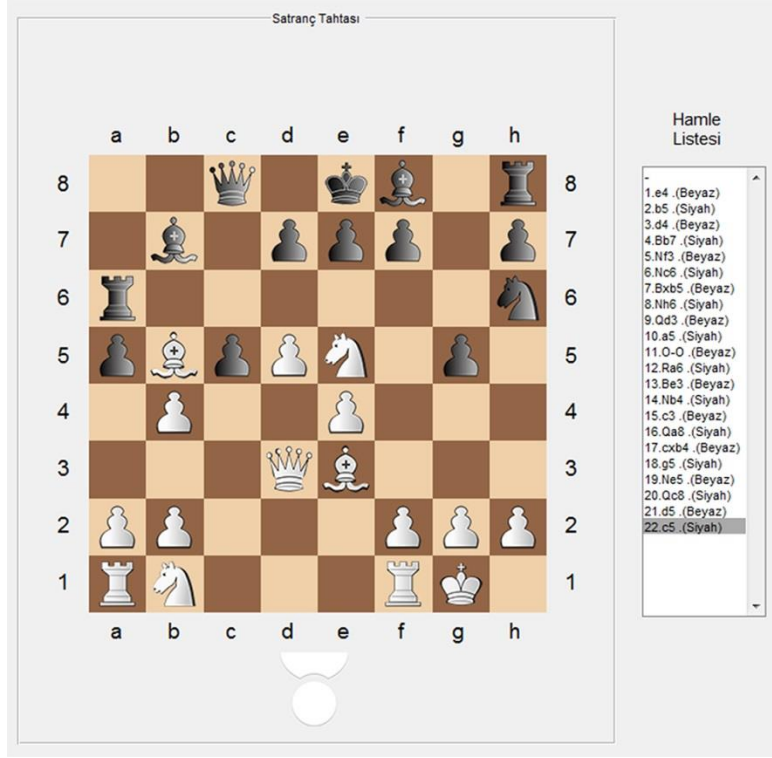
Girdi ekranının alt bölümünde ise Bölüm 2.3.5'te referans olarak alınan taşların ve karelerin ortalama renkleri gösterilmektedir. Çıktı ekranının alt bölümünde ise o hamleye ait uyarı mesajı yer almaktadır. Çıktı ekranının yanında bulunan panelde ise hamlelerin listesi bulunmaktadır. Bu listeden istenilen hamle seçilerek, seçilen hamleye ait girdi ve çıktı bilgileri ekrana yansıtılabilmektedir. Tüm oyun boyunca yapılan hamle girişimlerinde meydana gelen durumlar sistem arayüzünde gösterilebilmektedir. Böylece farklı hamleler arasında bir kıyaslama yapabilmektedir.



2.18 Sistem arayüzü

2.5.2 Satranç Arayüzü

Geçerli hamle bilgilerinin gösterildiği arayüzdür. Satranç oyununun sanal gösterimi bu ekrandan yapılmaktadır. Arayüzün sağ tarafında hamlelerin bulunduğu panel yer almaktadır. Hamleleri belirtmek ve kayıt altına almak için FIDE tarafından standart olarak kabul edilen cebirsel notasyon kullanılmaktadır [36]. Bu panelde istenilen hamle seçilerek o hamleye ait taşların konum, tip ve renk bilgisi bulunmaktadır. Bunun yanı sıra hamlenin hangi renk oyuncuya ait olduğu da gösterilmektedir. Satranç arayüzünde taşların bulunduğu konumlarda o taşın tipine ait uygun renkte semboller kullanılmaktadır. Satranç tahtasını temsil etmesi ve karelerin kolay okunabilmesi için ekrandaki karelerin denk geldiği yatay satırlar rakamlarla, dikey sütunlar harflerle gösterilmektedir. Oynayan oyuncunun renk bilgisi, oynayan oyuncunun bulunduğu yere göre ekranın alt ve üst kısmında gösterilmektedir (Şekil 2.19). Kullanıcı farklı hamleler arasında geçiş yaparak hamleler arası kıyaslama yapabilmektedir.



2.19 Satranç arayüzü

3. SİSTEM TESTLERİ VE BULGULAR

Oyun sırasında sistem tarafından 2 ana durumun analizi yapılmaktadır. İlk olarak, satranç tahtası üzerindeki renk değişiminin sistem tarafından doğru algılanıp algılanmadığı; ikinci olarak da, algılanan hamlenin oynanan taş tarafından yapılamayacağı test edilmektedir. Bu bağlamda aşağıdaki ölçümler yapılmıştır:

3.1 Sistem Testlerinin Gerçekleştirilmesi

Testler gün ışığı ve beyaz ve sarı yapay ışık kaynakları altında test edilmiştir. 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.

3.2 Hamle Algılama Başarısının Ölçülmesi

Satranç tahtası üzerindeki renk değişimlerinin, hamle öncesi ve sonrasında, her bir karedeki renk değerleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sırasında karelerin üzerinde taş bulunup bulunmadığı, bulunuyor ise bu taşın hangi renge ait olduğu, bulunmuyor ise hangi renge ait olduğu belirlenmiştir.

Oynanan oyunlarda birbirinden farklı olması amacıyla yapay sarı ışık, yapay beyaz ışık ve gün ışığı kullanılmıştır.

Her bir oyun için 100 hamle yapılmıştır. Her oyunda aynı hamleler, aynı sıra ile test edilmiştir. Çizelge 3.1'de her 3 test oyununda oynanan tüm hamleler sırasıyla listelenmiştir. Hamle algılama başarısının ölçülebilmesi için bazı hamleler bilinçli olarak yanlış oynanmıştır. Çizelge 3.2'de ise test oyunundaki hamlelerin hangi taşlar tarafından yapıldığını ve bu hamlelerin doğruluğunu gösteren dağılım verilmiştir.

Çizelge 3.1 Satranç hamleleri

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++

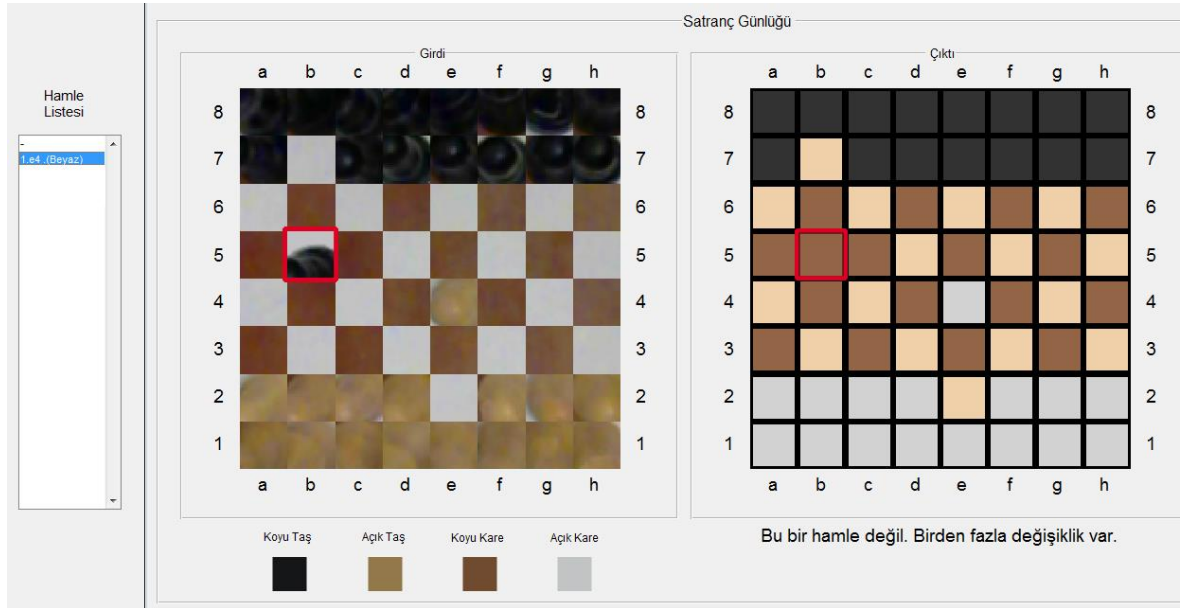
Çizelge 3.2 Satranç taşları hamle sayısı

	Doğru Hamle	Yanlış Hamle
Piyon	17	4
Vezir	10	4
Fil	11	6
Kale	13	7
At	10	6
Şah	6	2
Rok	2	-
En Passant	1	1
Toplam	100 hamle yapılmıştır.	

1. oyun:

Oyun yapay ışık kaynağında oynanmıştır. Sarı ışık kullanılmıştır. Oyunda algoritmanın belirlediği pozlandırma değeri -5'tir.

1. hamleden sonra iki kare ileri giden piyon, gittiği karenin alt kenarına yakın olacak şekilde konumlandırıldığı için kamera tarafından doğru algılanmamıştır. Siyah taşın beyaz kare üzerinde belirlenen ilgi alanının dışına taşması sonucu iki değer (açık renk kare ile koyu renk taş) ortalaması koyu kare olacak şekilde algılanmıştır. Bu nedenle sistem tarafından siyah taş olarak değil, koyu kare olarak tanımlanmıştır. Oluşan bu durum Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1 Piyonun durumu

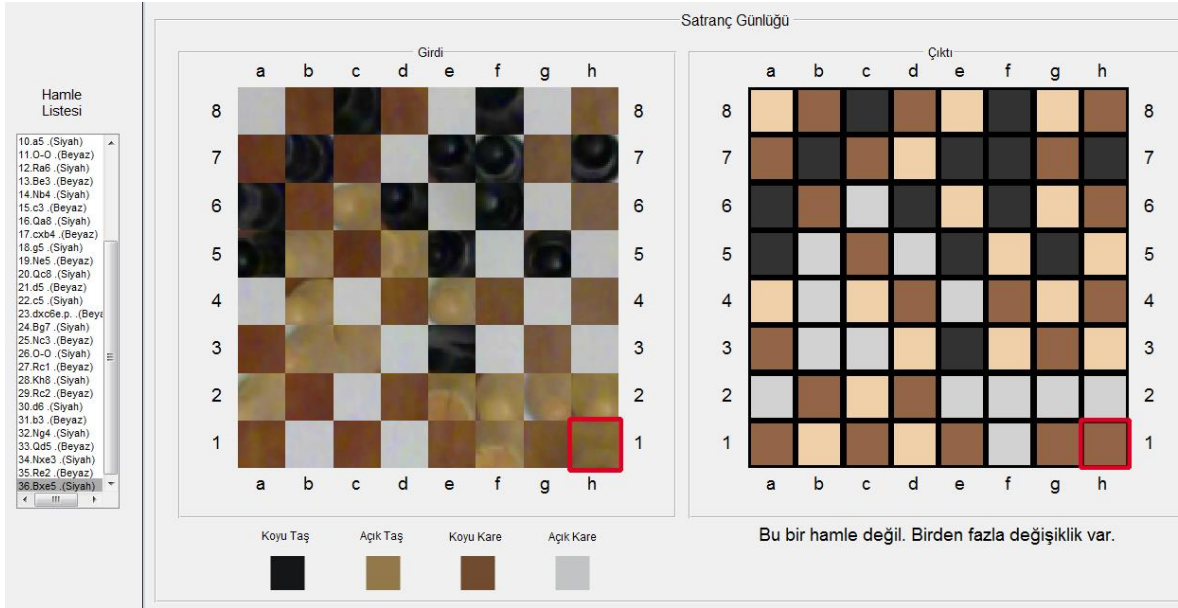
17. hamleden sonra ışık yansımalarından dolayı koyu kare açık taş olarak algılanmıştır. Oluşan bu durum Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2 Işık yansımaları

Bu durum 39. hamlede de benzer şekilde gerçekleşerek yansımadan dolayı koyu kare açık taş olarak algılanmıştır.

36. hamleden sonra şahın gölgesi ilgi alanında kaldığı için açık renk taş koyu kare olarak algılanmıştır. Oluşan bu durum Şekil 3.3'de görülmektedir.



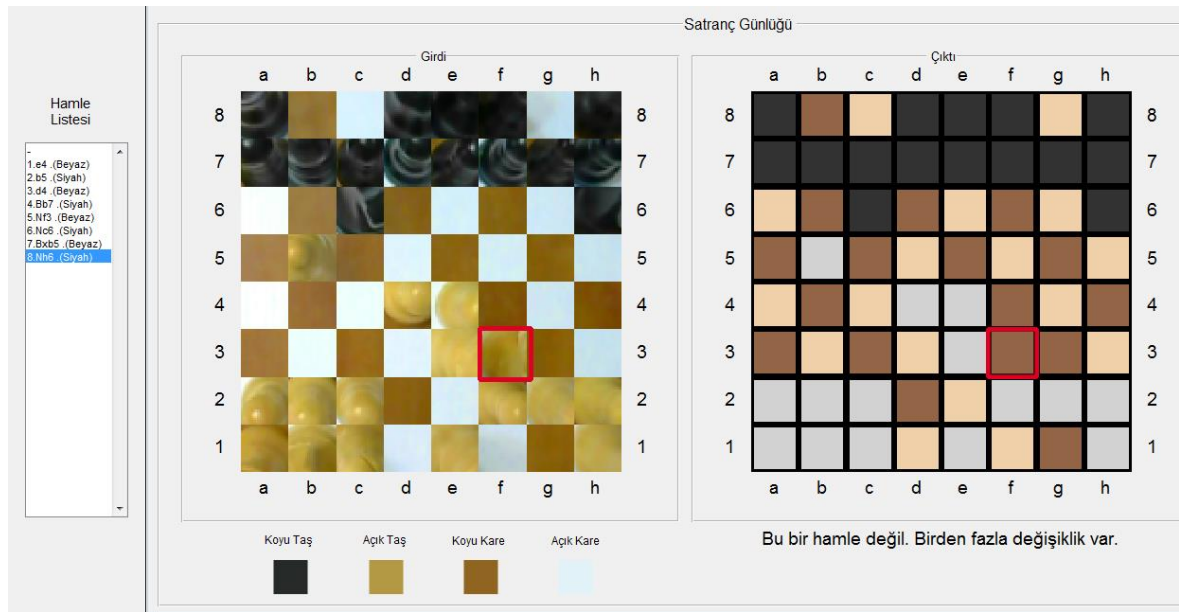
Şekil 3.3 Şahın durumu

Bu oyunda toplam 100 hamle yapılmış, bu hamlelerden 4 tanesinde hata tespit edilmiştir. Bu oyun için hamle algılama başarı oranının yaklaşık %96 olduğu söylenebilir.

2. oyun:

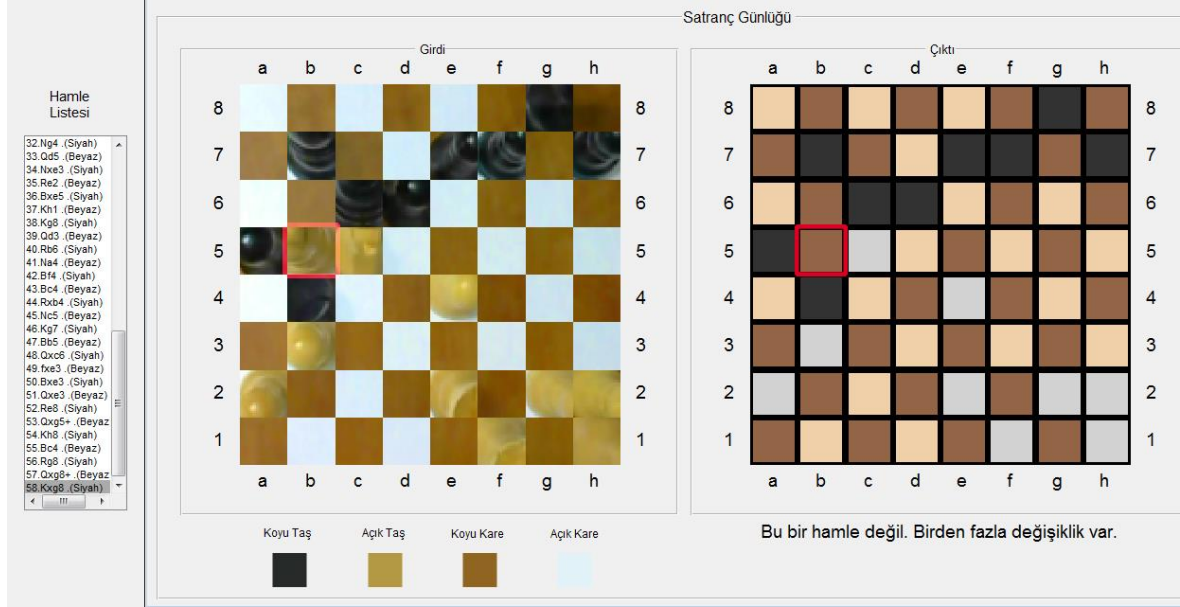
Oyun yapay ışık kaynağında oynanmıştır. Beyaz ışık kullanılmıştır. Oyunda algoritmanın belirlediği pozlandırma değeri -6'dır.

8. hamleden sonra, yanlış hamle denemesinde, vezir atın yanına gittikten sonra atın üzerine düşen vezirin gölgesinden dolayı açık renk taş koyu kare olarak algılanmıştır. Oluşan bu durum Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.4 Gölge durumu

58. hamleden sonra açık fil üzerine düşen gölgeden dolayı koyu kare olarak algılanmıştır. Oluşan bu durum Şekil 3.5'te görülmektedir.



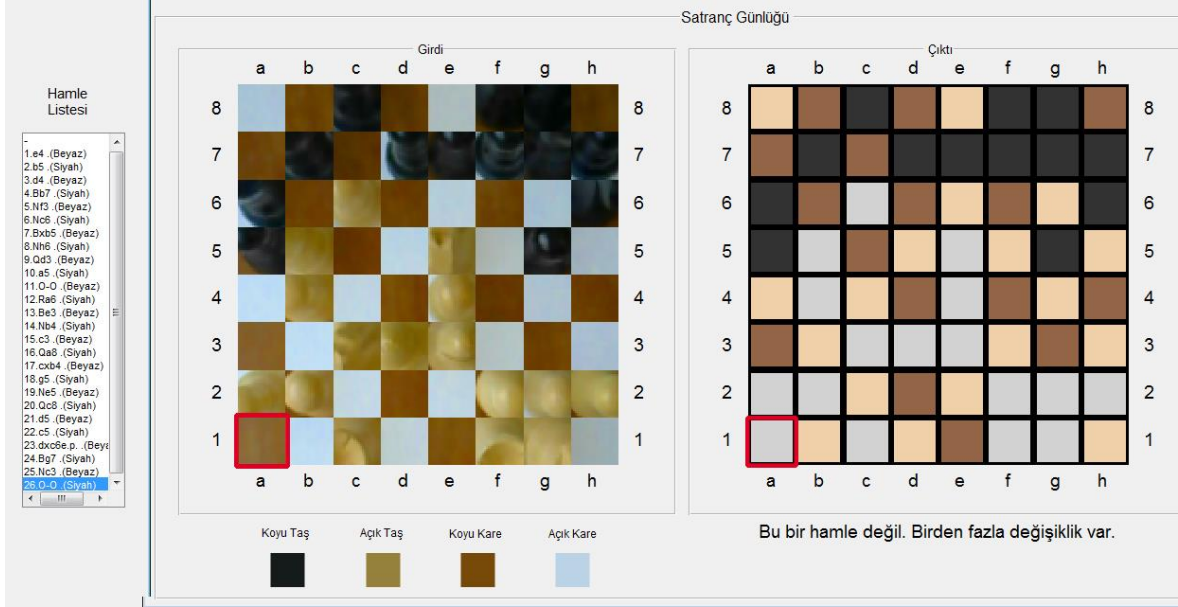
Şekil 3.5 Filin durumu

Bu oyunda toplam 100 hamle yapılmış, bu hamlelerden 2 tanesinde hata tespit edilmiştir. Bu oyun için hamle algılama başarı oranının yaklaşık %98 olduğu söylenebilir.

3. oyun:

Oyun doğal ışık kaynağında oynanmıştır. Gün ışığı kullanılmıştır. Oyunda algoritmanın belirlediği pozlandırma değeri -6'dır.

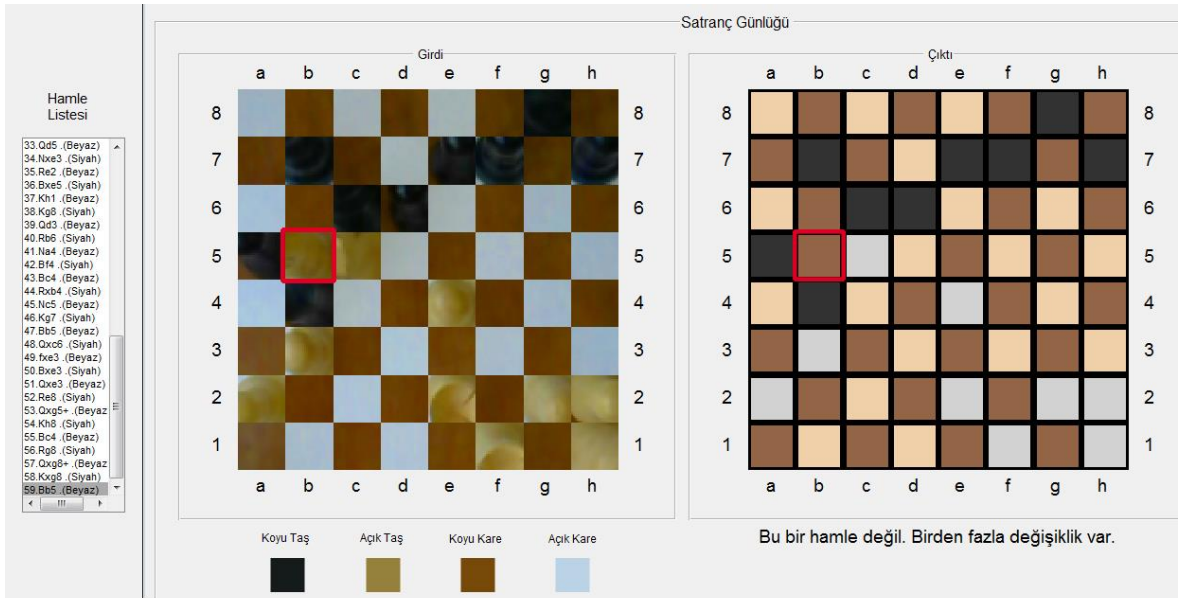
26. hamleden sonra kale 2 kare yana hamle yapınca hamle yaptığı yerde gün ışığının yansımından dolayı koyu kare açık taş olarak algılanmıştır. Oluşan bu durum Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6 Işık yansımaları

Bu durum 44., 48. ve 53. hamlelerde de benzer şekilde gerçekleşerek yansımadan dolayı koyu kare açık taş olarak algılanmıştır.

58. hamleden sonra açık fil üzerine düşen gölgeden dolayı koyu kare olarak algılanmıştır. Oluşan bu durum Şekil 3.7'de görülmektedir.



Şekil 3.7 Gölge durumu

Bu oyunda toplam 100 hamle yapılmış, bu hamlelerden 5 tanesinde hata tespit edilmiştir. Bu oyun için hamle algılama başarı oranının yaklaşık %95 olduğu söylenebilir.

3.3 Hamle Yorumlama Başarısının Ölçülmesi

Satranç tahtası üzerindeki renk değişimlerinin bir hamle olduğu algılandıktan sonra yapılan hamlenin geçerli hamle olup olmadığı, oynanan taşın o hamleyi yapıp yapamayacağı tespit edilmiştir. Yorumlama işlemi geçerli ve geçersiz hamlelerin doğruluğunu ölçmüştür. Oynanan örnek oyunlardan elde edilen bazı bulgular aşağıdaki paragraflarda tartışılmıştır.

1. oyun:

1., 17., 36. ve 39. hamlelerden sonra yapılan hareketler doğru olarak algılanamadığı için sistem tarafından yorumlanamamıştır.

2. oyun:

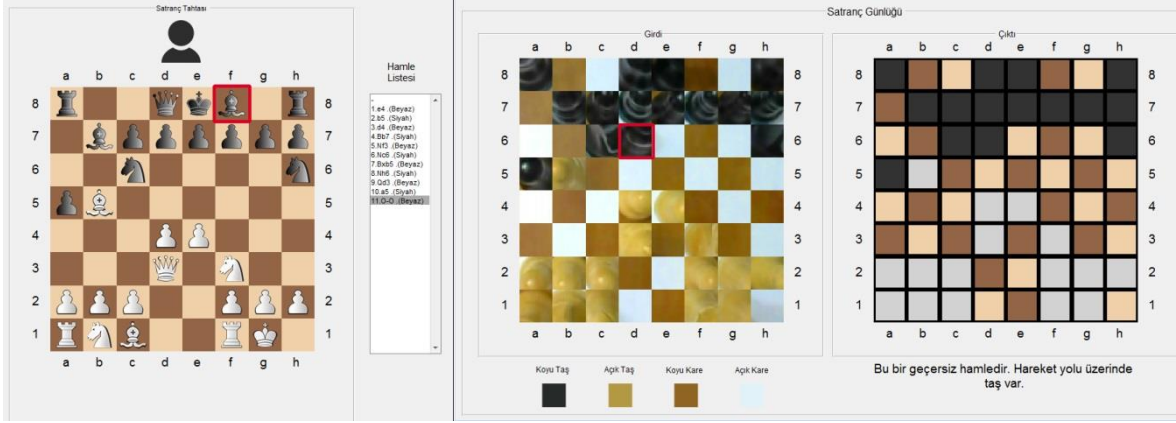
8. ve 58. hamlelerden sonra yapılan hareketler doğru olarak algılanamadığı için sistem tarafından yorumlanamamıştır.

3. oyun:

26., 44., 48., 53. ve 58. hamlelerden sonra yapılan hareketler doğru olarak algılanamadığı için sistem tarafından yorumlanamamıştır.

Tüm oyunlarda;

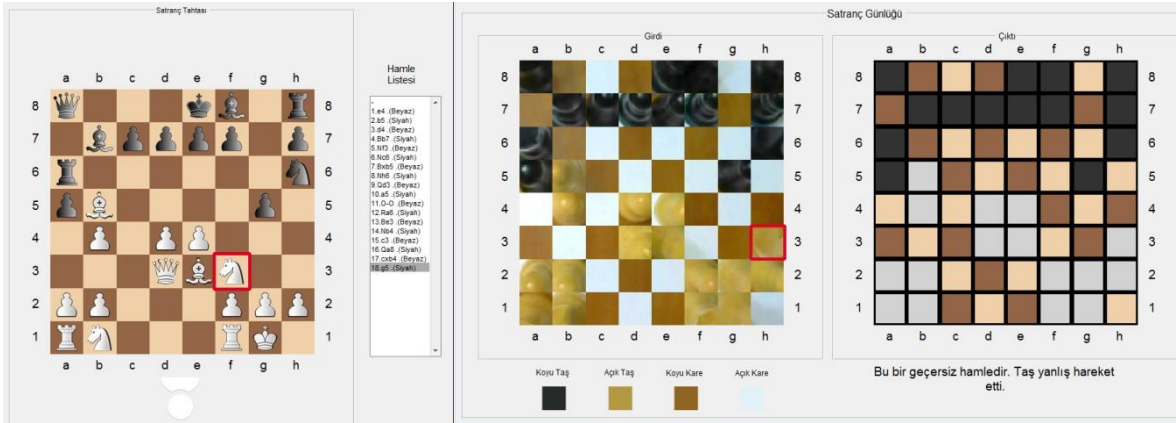
11. hamleden sonra fil hareket yolunun üzerinde taş olmasına rağmen hamle girişiminde bulunmuştur. Bu hamlenin geçersiz olduğu sistem tarafından doğru yorumlanmıştır. Oluşan bu durum Şekil 3.8'de görülmektedir.



Şekil 3.8 Hareket yolu üzerinde taş olma durumu

Bu durum 55. hamlede kalenin hareketinde de benzer şekilde gerçekleşerek yapılan hamlenin geçersiz olduğu sistem tarafından doğru yorumlanmıştır.

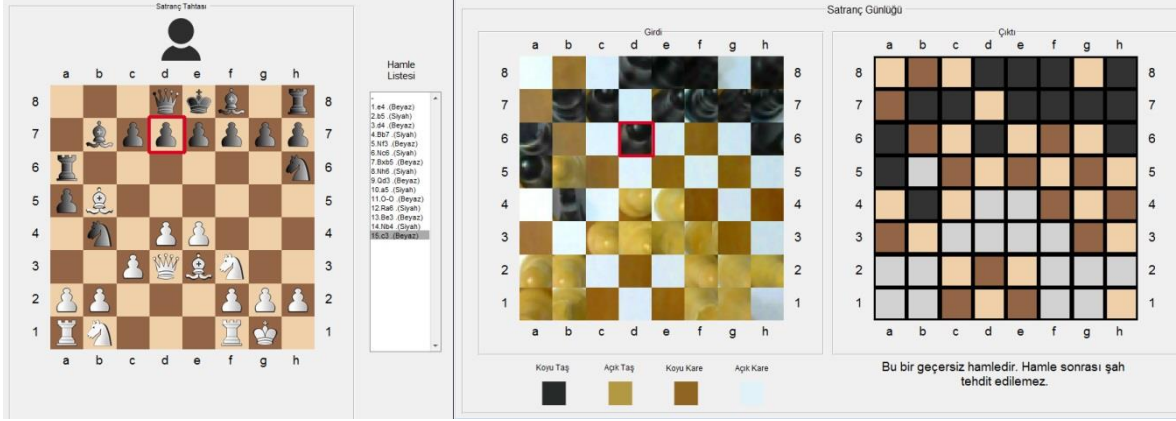
18. hamleden sonra atın hareket kuralının dışında yanlış hareketinin geçersiz olduğu sistem tarafından doğru yorumlanmıştır. Oluşan bu durum Şekil 3.9'da görülmektedir.



Şekil 3.9 Atın yanlış hareketi

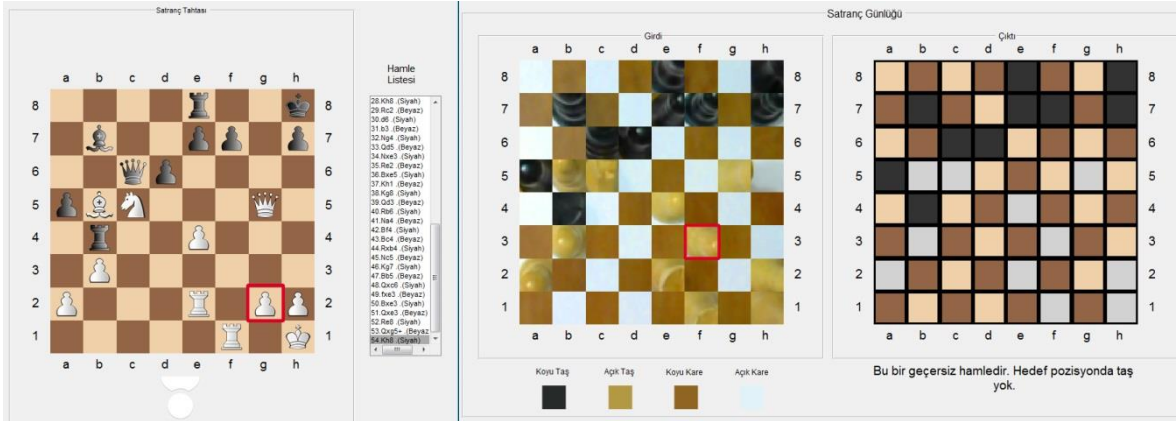
Bu durum 15., 58., 64. ve 67. hamleden sonra kalenin, 33., 40., 44., 64. ve 66. hamleden sonra atın, 32. ve 50. hamleden sonra vezirin, 37. hamleden sonra şahın, 12. ve 46. hamleden sonra filin ve 65. hamleden sonra piyonun hareketinde de benzer şekilde gerçekleşerek yapılan hamlenin geçersiz olduğu sistem tarafından doğru yorumlanmıştır. 41. hamleden sonra filin kuralının dışında hareket ederek taş ele geçirmeye çalışma durumunda da sistem hareketi yanlış hamle olarak kabul etmektedir.

15. hamleden sonra şahın önündeki piyonun 1 kare öne giderek şahı tehdit edilecek konumda bırakması sistem tarafından algılanıp yanlış hamle olarak doğru yorumlanmıştır. Oluşan bu durum Şekil 3.10'da görülmektedir.



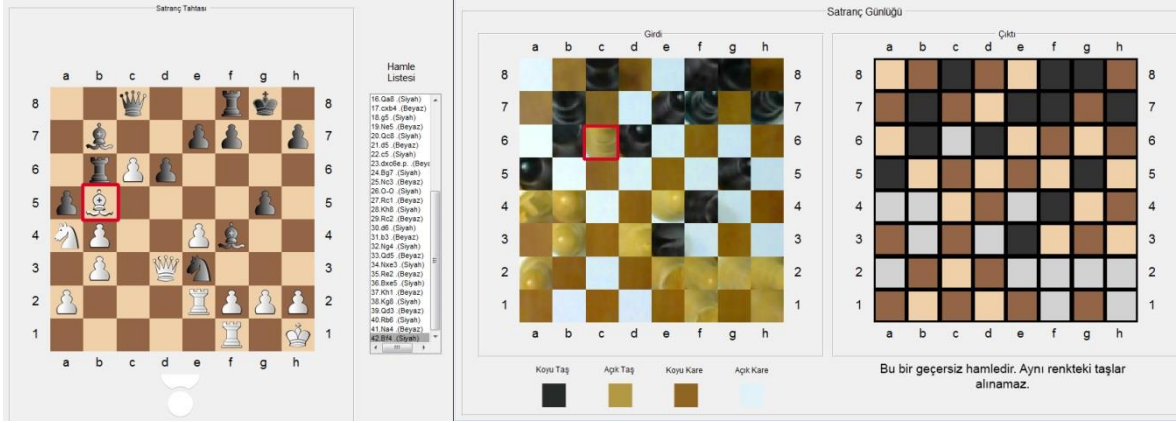
Şekil 3.10 Piyonun hareketi

30. ve 54. hamleden sonra piyon ele geçirme hamlesi yapmıştır. Ancak hedef noktasında taş bulunmadığı için bu hamlenin geçersiz olduğu sistem tarafından doğru yorumlanmıştır. Oluşan bu durum Şekil 3.11'de görülmektedir.



Şekil 3.11 Piyonun hareketi

42. hamleden sonra açık renk filin hedef noktasındaki aynı renk piyonu ele geçirme girişimi sistem tarafından algılanıp yanlış hamle olarak doğru yorumlanmıştır. Oluşan bu durum Şekil 3.12'de görülmektedir.



Şekil 3.12 Filin hareketi

Bu durum 51. hamleden sonra koyu renk vezirin koyu renk fili, 59. hamleden sonra koyu renk vezirin koyu renk piyonu ele geçirme hareketlerinde de benzer şekilde gerçekleşerek yapılan hamlenin geçersiz olduğu sistem tarafından doğru yorumlanmıştır.

68. hamleden sonra açık taş piyon 1 kare ilerleyen koyu piyonun arkasına geçerek en passant hareketini yapmıştır. Ancak bu hamlenin geçersiz olduğu sistem tarafından doğru yorumlanmıştır.

3 oyunda da 100'er hamle yapılmış, bu hamleler doğru yorumlanmıştır. Ancak 11 tanesinde hamle doğru algılanmadığı için hamle yorumlama işlemi gerçekleşmemiştir. Bu oyun için hamle yorumlama başarı oranının yaklaşık %96 olduğu söylenebilir.

Çizelge 3.3 Sistemin Hamle Algılama ve Yorumlama Başarısı

	Hamle Algılama			Hamle Yorumlama		
	Doğru Tespit	Yanlış Tespit	Başarı Yüzdesi	Doğru Tespit	Yanlış Tespit	Başarı Yüzdesi
Oyun-1	96	4	%96	96	4	%96
Oyun-2	98	2	%98	98	2	%98
Oyun-3	95	5	%95	95	5	%95
Toplam	289	11	%96	289	11	%96

3.4 Kısıtlar ve Tartışma

Bu çalışmada, satranç tahtasına tepeden bakan bir kamera kullanılmıştır. Bu nedenle taşların bir öznitelik algılama yöntemiyle tanınması tercih edilmemiştir. Bunun yerine elde edilen satranç tahtası görüntülerinden satranç tahtası karelerinin her birinin ortalama renk değerleri karşılaştırılarak tahtadaki karelerinin içeriği belirlenmiştir. Bu nedenle satranç tahtasının kareleri ile oynanan taşların renklerinin birbirine çok yakın olmaması gerekmektedir. Aksi takdirde taşların tespiti zorlaşmaktadır.

Referans renk bilgileri yalnızca oyunun başında alınmaktadır. Hamle tespitinin ve taşların belirlenmesinin düzgün bir şekilde yapılabilmesi için oyun süresince satranç tahtası üzerinde kalıcı bir ışık değişikliğinin olmaması gerekmektedir.

Sistemde taşları tanımlamak için bir özellik algılayıcı kullanılmadığından dolayı piyonların terfi etmesi durumunda piyonun vezire terfi ettiği varsayılmaktadır. Benzer şekilde rok işleminin yapılması durumunda kale ve şahın son konumlarındaki yerleşimlerinin doğru olduğunu varsayılmaktadır.

Sistem ön bilgi olarak satranç taşlarının başlangıç konumlarını kullanmaktadır. Bu nedenle sistemin bir oyunu başından itibaren takip etmesi gerekmektedir. Satranç tahtasının tespiti oyun başında yalnızca bir kere yapılmaktadır. Oyun boyunca sistem tarafından bu bilgi kullanılmaktadır. Bu nedenle oyun sırasında kameranın veya satranç tahtasının konumunun değişmemesi gerekmektedir.

Sistem farklı ışık koşulları altında doğru çalışmasına rağmen güçlü gölgeler yaratan ışık ortamlarında satranç tahtası karelerinin içeriğinin belirlenmesinde istenmeyen durumlar ortaya çıkabilmektedir. Bu durum ortam ışığının az olduğu, genellikle tek ışık kaynağı kullanılan ortamlarda gözlenmektedir. Bu ortamlarda, özellikle uzun boylu taşların gölgeleri diğer kare veya taşın üzerine düşerek tanımlamada yanılsamalara neden olmaktadır. Satranç tahtasının belli bir bölümünün üzerine düşen gölge ve yansımalar satranç tahtası üzerindeki renk dağılımını bozarak tahtanın bu bölümündeki taş ve karelerin tespitini engellemektedir.

Satranç tahtasının karelerinin ortalama renk bilgisi alınırken tek bir noktadan almak yerine karenin merkezinden boyutu önceden belirlenen bir ilgi alanı alınmıştır. Bu sayede ortalama renk bilgileri alınırken gölge veya gürültü alanına denk gelmemesi amaçlanmıştır.

Önerilen sistem tarafından satranç tahtasının üzerinde taşlar yer alırken satranç tahtası tespit edilebilmektedir. Satranç tahtasının altında kalan zeminde değişik renkte arka planlar kullanılmasında sakınca bulunmamaktadır. Ayrıca kameranın pozlandırma modu manüele alınıp, pozlandırma seviyesinin önerilen algoritma ile yeniden hesaplanarak, kameradan alınan anlık görüntülerdeki ışık seviyesinin kararlı hale gelmesi sağlanmıştır. Anlık görüntülere uygulanan görüntü iyileştirmeleri taşlar ve kareler arasındaki renk ayrımlarını güçlendirmektedir. Yapılan testler sonucunda sistem performansının gerçek-zamanlı hamle tespiti konusunda yeterli olduğu görülmüştür.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada satranç hamlelerini gerçek zamanlı olarak tespit eden bir sistem önerilmiştir.

Satranç hamlelerini gerçek zamanlı tespit eden bir sistem satranç karşılaşmalarının uzaktan takip edilebilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir. Öte yandan, hamle tespiti ve yorumlanmasının hakem karar verme sürecinde destekleyici bir unsur olacağına inanılmaktadır.

Sistemin ilk aşaması olan hamle algılama ile renk değerlerinin karşılaştırılması sonucu satranç tahtasının durumu belirlenmektedir. Değişik ışık koşulları altında yapılan testlerde, hamle algılama özelliği başarılı sonuçlar vermiştir. Ayrıca, renk değişimlerinin bir hamle olduğu algılandıktan sonra yapılan hamlenin geçerli bir hamle olup olmadığı sistem tarafından yorumlanmaktadır. Hamle yorumlama sonuçlarına göre yapılan geçerli ve geçersiz hamlelerin birçoğunun doğru yorumlandığı tespit edilmiştir. Sistemin önemli bir özelliği olan hamle yorumlama yalnızca satranç taşlarının pozisyonunu kontrol etmekle kalmayıp; ayrıca taşların tipine göre hareketinin geçerliliğini kontrol etmektedir. Böylece sistem satranç oyununu bilinçli olarak takip edebilmektedir. Yapılan testler sonucunda; sarı ışık kaynağında oynanan test oyununda %96, beyaz ışık ve doğal ışık kaynaklarında oynanan oyunlarda ise sırasıyla %98 ve %95'lik başarı oranları elde edilmiştir. Sistemin yapay ışık kaynaklarında doğal ışığa göre bir miktar daha başarılı çalıştığı söylenebilir.

Hamle algılama sürecinde en önemli etken satranç tahtasının boş ve dolu karelerinin renk farklılıklarının doğru algılanabilmesidir. Renk değerleri hamle algılama aşamasının temeli olduğu için satranç tahtasının karelerinin ve taşlarının birbirinden farklı tonlarında olması doğru algılama için önem arz etmektedir.

Satranç hamleleri aşama aşama kaydedilmekte olup kaydedilen sonuçlar sayısal ortamda görsel olarak takip edilebilmektedir. Kayıt; karelerin ilgi bölgelerinden alınan görüntüler, bu görüntülerden elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların satranç tahtasının durumunu yeniden görselleştirilmesi olmak üzere 3 farklı görsel olarak alınabilmektedir. Hamle geçerli olup olmadığı ve bunun nedeni sistem tarafından metinsel olarak verilebilmektedir.

Hamlelerin yorumlanması sayesinde oyun sırasında herhangi bir taş değişimi olması durumunda sistem taş değişimlerini kabul etmeyerek, eski taşa göre hamle yorumlaya devam etmektedir. Bu sayede sistem taş değişiminden etkilenmeyerek karşılaşmayı takip etmeye devam edecektir.

Sistem test edilirken en önemli olumsuz etkileme ışık kaynağı tarafından gerçekleşmiştir. Taşların gölgelerinin olması ve gölgelerinin uzunlukları diğer kareleri etkileyerek yanlış algılamaya neden olmuştur. Aynı zamanda yapay ışık kaynaklarında doğru açıyla ve doğru yükseklikte ışık kullanılmaması, satranç tahtasında yansımalara ve parlamalara neden olabilmektedir. Bu durum hamle algılama bölümünde renk değerleri dikkate alınırken yanlış hesaplamalar sonucu yanlış hamle algılamalarına neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı ışığın yansıma ve parlama yapmayacak yükseklikten ve gölgeleri uzun ve koyu göstermeyecek açılardan satranç tahtasına düşmesine dikkat edilmelidir. Tek bir açıdan gelen ışık kaynağının bulunduğu ortamlar sistemin oyun takibini olumsuz biçimde etkilemektedir. Gelecek çalışmalarda mevcut sistemin daha güvenilir çalışması açısından gölge ve yansımaların giderilmesi üzerine yaklaşımlar geliştirilmesi düşünülmektedir.

KAYNAKLAR LİSTESİ

- [1] Öztürk, F.E., Biyografi: Alan Turing, Fizik Dünyası Dergisi, fizikdunyasi.ankara.edu.tr/j/pdfs/fozturk-2-12.pdf., 2012. Erişim Tarihi: 10/01/2016
- [2] Nilsson, J., Biographical Memoirs:John McCarthy, National Academy of Science., www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/mccarthy-john.pdf., 2012. Erişim Tarihi: 08/01/2016
- [3] RUSSELL, Stuart J. and NORVING, Peter, Artificial Intelligence: A Modern Approach, Prentice-Hall inc., 1995
- [4] Autonomos labs, MadeInGermany, Erişim Tarihi: 05/12/2015, [Url:<http://autonomos-labs.com/vehicles/made-in-germany/>]
- [5] Açık Bilim, Sürücüsüz Arabalar. Erişim Tarihi: 17/11/2015, [Url:<http://www.acikbilim.com/2012/02/dosyalar/surucusuzarabalar.html>]
- [6] BENNET, Stuart and LASENBY, Joan, Robust Recognition Of Chess-Boards Under Deformation, IEEE Image Processing (ICIP), s.2650-2654, 2013
- [7] BENNET, Stuart and LASENBY, Joan, Chess – Quick and robust detection of chess-board features, Computer Vision and Image Understanding, vol.118, s.197–210, 2014
- [8] HAN, Kyung Min and DESOUZA, Guilherme N., A Feature Detection Algorithm For Autonomous Camera Calibration, in the Proceedings of the 2007 IFAC International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO),s.286-291, 2007
- [9] DOUSKOS, Valsamis, KALISPERAKIS, Ilias and KARRAS, George, Automatic Calibration Of Digital Cameras Using Planar Chess-Board Patterns, 8th Conf. Opt. 3-D Meas. Techn., Wichmann, vol. I, s.132-140, 2007
- [10] COUR, TimothÉE, LAURANSON, Remy and VACHETTE, Matthieu, Autonomous chessplaying robot, Ecole Polytechnique, 2002.
- [11] ZHAO, Shuying, CHEN, Chao, LIU, Chunjiang and LIU Meng, Algorithm of Location of Chessrobot System Based on Computer Vision, Control and Decision Conference, 2008
- [12] DANNER, Cheryl and KAFIFY, Mai, Visual Chess Recognition, web.stanford.edu/class/ee368/Project_Spring_1415/Reports/Danner_Kafify.pdf., Erişim Tarihi: 04/01/2016
- [13] NEUFELD, Jason and HALL Tyson.S., Probabilistic Location of a Populated Chessboard using Computer Vision, Circuits and Systems (MWSCAS), 53rd IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems, s.616-619, 2010
- [14] ILLEPERUMA, Gayan D., Using Image Processing Techniques to Automate Chess Game Recording, Proceedings of the Technical Sessions, vol.27, s.76-83, 2011

- [15] PIŠKOREC, Matija, ANTULOV-FANTULIN, Nino, ĆURIĆ, Jura, DRAGOLJEVIĆ, Ognjen, IVANAC, Vedran, KARLOVIĆ, Luka, Computer vision system for the chess game reconstruction, MIPRO, s.23-27, 2011
- [16] ARDA, Mustafa, KUŞÇU, Hilmi ve ÖZTÜRK, Emir, Obtain Chess Moves With Image Processing, International Scientific Conference, 2013
- [17] WANG, Victor and GREEN, Richard, Chess Move Tracking using Overhead RGB Webcam, International Conference on Image and Vision Computing, 2013
- [18] ATAŞ, Musa, DOĞAN, Yahya ve ATAŞ, İsa, Satranç Oynayan Robot Kolu, IEEE 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference, 2014
- [19] TAM, Kar Y, LAY, Jose A and LEVY, David, Automatic Grid Segmentation Of Populated Chessboard Taken At a Lower Angle View, IEEE in Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA), s.294–299, 2008
- [20] KHATER, Ismail M, GHORAB Ahmed S, ALJARRAH, Inad A, Chessboard Recognition System Using Signature, Principal Component Analysis And Color Information," Digital Information Processing and Communications (ICDIPC), Second International Conference on, s.141-145, 2012.
- [21] SOKIC, Emir and AHIC-DJOKIC, Melita, Simple Computer Vision System for Chess Playing Robot Manipulator as a Project-based Learning Example, IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technolog, s.75-79, 2008
- [22] KAUR, Gurjit, YADAV, Anil and ANAND, Varun, Design and Implementation of Artificially Intelligent Microcontroller Based Chess Opponent, Proceedings of the World Congress on Engineering, Vol I, 2010
- [23] ANGELKOV, Dimitrija, KOČESKA, Natasa and KOČESK, Saso, Automated Chess Playing with a Robot Manipulator, International Journal of Engineering Issues, no. 2, s. 45-51, 2015
- [24] BANERJEE, Nandan , SAHA, Debal, SINGH, Atikant and SANYAL, Gautam, A Simple Autonomous Robotic Manipulator for Playing Chess Against Any Opponent in Real Time, Proceedings of the International Conference on Computational Vision and Robotics, 2011
- [25] GONÇALVES, Jose, LIMA, Jose and LEITAO, Paulo, Chess Robot System: A Multi-Disciplinary Experience In Automation, in 9th Spanish Portuguese Congress On Electrical Engineering, 2005
- [26] URTING, David and BERBERS, Yolande, MarineBlue: A Low –Cost Chess Robot, 2003. [Online]. http://www.researchgate.net/publication/220785821_MarineBlue_A_Low-cost_Chess_Robot/file/50463522e1d99a1e6c.pdf., Erişim Tarihi: 02/01/2016
- [27] MATUSZEK, Cynthia, MAYTON, Brian, AİMİ, Roberto, DEİSENROTH, Peter D, BO, Liefeng, CHU, Robert, KUNG, Mike, LEGRAND, Louis, SMİTH, Joshua R and FOX, Dieter, Gambit: A Robust Chess-playing Robotic System. In Robotics and Automation (ICRA), IEEE International Conference on, s.4291–4297, 2011.

- [28] The Association For The Advancement Of Artificial Intelligence, Erişim Tarihi: 03/01/2016, [Url:www.aaai.org/home.html]
- [29] BURHANS, Debra, SELKOWITZ, Robert, SIKORSKYJ, Jerod and LANIGHAN, Michael, Shallow Blue: A low-cost platform for embodied chess play, IEEE In Proceedings of the 6th Annual IEEE International Conference on Technologies for Practical Robot Applications (TePRA). 2014
- [30] LANIGHAN, Michael, SIKORSKYJ, Jerod, BURHANS, Debra and SELKOWITZ, Robert, Lego Plays Chess: A Low-Cost, Low-Complexity Approach To Intelligent Robotics, Proceedings of the Twenty-Fifth AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-11), s.1876-1877, 2011
- [31] SAJO, Levente, RUTTKAY, Zsofia and FAZEKASA, Attila, Turk-2, A Multi-Modal Chess Player, Int. J. Human-Computer Studies, vol.69, s.483–495, 2011
- [32] FIDE. Handbook, 2015. Standards of Chess Equipment and Tournament Venue.
- [33] MathWorks Support, detectCheckerboardPoints. Erişim Tarihi: 02/01/2016, [Url:www.mathworks.com/help/vision/ref/detectcheckerboardpoints.html]
- [34] A Learning Community for Photographers, Camera Exposure, Erişim Tarihi: 07/01/2016, [Url: <http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/camera-exposure.html>]
- [35] GÖKMEN, Vural, ŐENYUVA, Hamide, DÜLEK, Berkan ve ÇETİN, Enis, Computer Vision Based Analysis of Potato Chips – A Tool for Rapid Detection of Acrylamide Level, International Journal of Food, Mol Nutr Food Res. 2006
- [36] FIDE. Handbook, 2015. Laws Of Chess.