



**Makale / Research Paper**

**Yeraltı Metro Hatlarında Video Analiz Yöntemiyle Olay Algılama Kontrolünün Gerçekleştirilmesi**

**Emre ÇEKEREK<sup>1a</sup>, İsmet KANDİLLİ<sup>2b</sup>, Melih KUNCAN<sup>3c\*</sup>**

<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

<sup>1</sup>İstanbul Büyükşehir Belediyesi – Metro İstanbul A.Ş., İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Kocaeli, Türkiye

<sup>3</sup>Siirt Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Siirt, Türkiye

[melihkuncan@siirt.edu.tr](mailto:melihkuncan@siirt.edu.tr)

**Received/Geliş:** 26.04.2020

**Accepted/Kabul:** 10.06.2020

**Öz:** Son yıllarda güvenlik uygulamaları ile alakalı olarak hem akademik hem de teknolojik çalışmalar oldukça yaygın olarak üstünde durulan konulardan birisi haline gelmiştir. Güvenlik uygulamaları için genellikle kameradan alınan görüntülerin analiz edildiği birçok farklı çalışma mevcuttur. Hatta son zamanlardaki salgın vb. hastalıkların teşhisine yardımcı olabilmek adına kamera görüntüleri kullanılarak insanların herhangi bir hastalığa sahip olma ihtimali konusunda da kullanım alanında yeni uygulamalara öncülük ettiği görülmektedir. Bu çalışmada, metro hatlarında güvenlik amacıyla kullanılan kameralardan alınan görüntüler ile video analiz çalışmaları yapılarak kullanıcıların güvenli seyahat etmelerine imkan sağlayacak potansiyel bir uygulama çalışması yapılmıştır. Video analiz yönteminde yazılım içerisine yazılan çeşitli algoritmalar ile sisteme belirli senaryolar tanımlanarak olay algılama kontrolü gerçekleştirilmiştir. Hareket algılama, durağan durum tespiti, şüpheli paket tanımlaması, panik-koşuşturma durumları, şüpheli yüz ifadesi ve olağan dışı kalabalık durumları metro hatlarında kullanılan video analiz yöntemlerindedir. Verilen analiz yöntemlerinin genel çalışma prensipleri belirtilmiş ve özellikle sisteme senaryo olarak tanımlanan hareket algılama ile şüpheli yüz tanıma teknolojisi üzerinde durulmuştur. Video analiz yöntemi ile gerçekleşen senaryolar eşzamanlı olarak e-posta göndererek yaşanan olayları sistem üzerinden otomatik olarak ihbar etmesi sağlanmıştır. Yapılan çalışma ile başta kalabalık şehirlerdeki ulaşım araçlarında olay algılama konusunda ve benzer birçok farklı alanda kullanılması potansiyel bir çalışma olduğu düşünülmektedir. Çalışmada belirtilen senaryo ve yaklaşımların, farklı alan ve konular için de yeniden tasarlanarak benzer başarılı çalışmaların devamının gelmesinin muhtemel olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Video Analiz, Metro, Kamera, Hareket Algılama, Yüz Tanıma

**Realization of Event Detection Control on Underground Metro Lines by Video Analysis Method**

**Abstract:** In recent years, both academic and technological studies related to security practices have been one of the most widely mentioned topics. There are many different studies for security applications where images taken from the camera are analyzed. Even the recent epidemic, etc. It can be seen that by using camera images to help diagnose diseases, people are leading new applications in the field of use regarding the possibility of having any disease. In this study, a potential application study was carried out to allow users to travel safely by making video analysis studies with the images taken from the cameras used for security purposes in metro lines. In the video analysis method, specific scenarios were defined to the system with various algorithms written in the software and event detection control was performed. Motion detection, steady state detection, identification of suspicious packages, panic-rush situations, suspicious facial expressions and unusual situations crowded subway in video analysis methods used in line. The general working principles of the given analysis methods are specified and especially motion detection and suspicious facial recognition technology defined as a scenario to the system are emphasized. By sending e-mails to the scenarios realized with the video analysis method, it is

*Bu makaleye atf yapmak için*

Çekerek, E., Kandilli, İ., Kuncan, M., "Yeraltı Metro Hatlarında Video Analiz Yöntemiyle Olay Algılama Kontrolünün Gerçekleştirilmesi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7(3); 1025-1038.

*How to cite this article*

Çekerek, E., Kandilli, İ., Kuncan, "Realization of Event Detection Control on Underground Metro Lines by Video Analysis Method" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2020, 7(3); 1025-1038.

ORCID: <sup>a</sup> 0000-0001-5730-3422, <sup>b</sup> 0000-0002-3470-9646, <sup>c</sup> 0000-0002-9749-0418

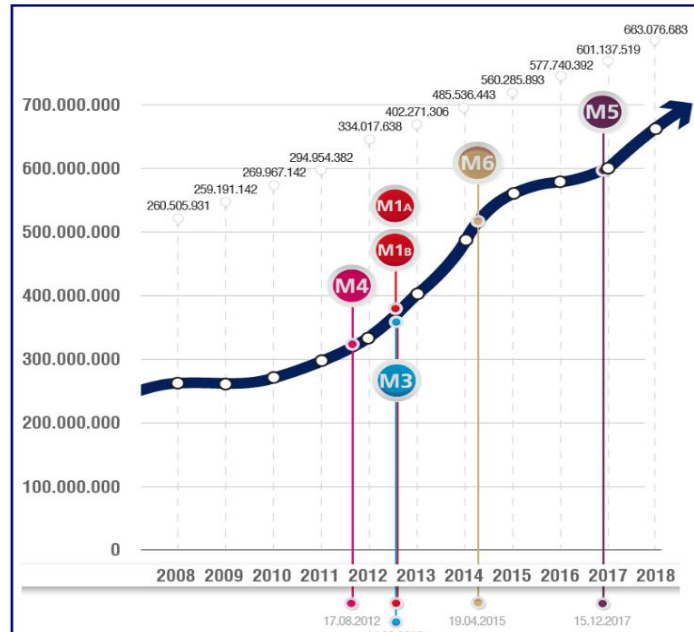
provided to automatically report the incidents on the system. With this study, it is thought that it is a potential study to be used in event detection in transportation vehicles in crowded cities and in many similar areas. It has been determined that the scenarios and approaches specified in the study are redesigned for different areas and topics, and it is likely that similar successful studies will continue.

**Keywords:** Video Analysis, Metro, Camera, Motion Detection, Face Recognition

## 1. Giriş

Günümüzde büyük kentlerde artan nüfus oranı ile birlikte ulaşım büyük bir sorun haline gelmeye başlamıştır. Merkezi ve yerel yönetimler yeni ulaşım çözümleri arayarak insanların toplu taşımayı kullanmaları yönünde yatırımlar yapmaktadırlar. Toplu taşıma ulaşımında otobüs, metrobüs ve minibüsler akla ilk gelen taşıtlardır. Fakat modern şehirlik kültürünü ilke edinen belediyeler daha hızlı, konforlu, verimli, ekonomik ve dakik ulaşım kolaylığı sağlayan raylı sistemlere yönelmektedir. Metro, tramvay, füniküler ve banliyö trenleri raylı sistemlere örnek olarak gösterilmektedir. Son dönemlerde yolcu taşıma kullanımının yaygınlaşmasıyla her geçen gün kullanıcı sayısını da arttırmaktadır. Gelişmiş sinyalizasyon sistemleri (SIL-4) sayesinde kent içinde en güvenilir ulaşım olanağı sunmaktadır [1].

Ülkemizde raylı sistem alanında en gelişmiş şehirlerin başında İstanbul gelmektedir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) bünyesinde 12 hat 154,25 km, Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) bünyesinde 1 hat 76,3 km raylı sistem ulaşımı olmak üzere toplamda 230,55 km uzunluğunda 13 raylı sistem hattına sahiptir. Şekil 1’de gösterildiği üzere İstanbul Büyükşehir Belediyesi iştiraki Metro İstanbul AŞ tarafından işletmesi yapılan raylı sistem hatlarında 2018 yılında günlük yolcu sayısı 2,3 milyona kadar ulaşmış ve bir önceki yıla göre yaklaşık 63 milyon artarak toplamda 663 milyon üzerinde yolcu taşımıştır [2].



Şekil 1. İBB bünyesindeki raylı sistemlerde 2008-2018 yılları arasında taşınan toplam yolcu sayısı grafiği

Raylı sistem ulaşımında toplam yolcu taşıma sayısı ile kullanıcılara sunduğu hizmetler birbiriyle bağlantılıdır. Diğer sektörlerde olduğu gibi raylı sistem ulaşımında da artan yolcu sayısı ile beraber bunun getirdiği bazı ek tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bilindiği üzere 21. yüzyılda, metro istasyonları en az havalimanı, okul, hastane ve kamu binaları kadar önemli olmasının yanı sıra bilerek ve isteyerek kamu malına zarar vermek isteyen kişilerce terör saldırısı gibi olaylara karşı

savunmasız durumdadır [3]. Bu yüzden metro hattı işletmesini gerçekleştiren belediyeler yolcuların güvenliğini sağlamak için bazı önlemler almaktadır. Güvenliğin sağlanması için alınmış önemli tedbirlerin başında ise güvenlik sistemleri alt başlığında yer alan Kapalı Devre Televizyon Sistemi gelmektedir (Close Circuit TeleVision – CCTV). CCTV sistemi, kameralar vasıtası ile alınan görüntülerin belirli bir merkeze ya da merkezlere iletiildiği sisteme verilen isimdir. Metro hatları dışında farklı sektörlerde farklı amaçlar içinde kullanılmaktadır. Örneğin; şehir trafiğinin izlenmesi ve yönetilmesi, endüstriyel tesislerde ürün kalite kontrolü, toplu taşıma araçlarında yaşanabilecek hırsızlık gibi kötü niyetli kişilerin tespiti, savunma sanayide roketlerin fırlatılması ve havalimanlarında uçakların yolcu indirip bindirdiği alanların izlenmesi gibi birçok sektörde güvenlik amacıyla faaliyet gösterebilmektedir. CCTV sistemi güvenlik konusunda ihtiyaçları karşılamaından dolayı raylı sistem alanında da sıklıkla tercih edilmektedir. İstasyonlar, yerleşkeler, teknik alan mahalleri ve trafo merkezlerinde yaşanabilecek olayların izlenmesi, turnike kaçak geçiş tespiti, araç trafiği izleme ve yönetme, yolcuların yoğun olduğu bölgelerin tespiti, kaza sonrasında yaya veya araç temasları ile emniyet birimlerine suç unsuru oluşturan durumlarda delil toplamak gibi birçok ihtiyaçları karşılamakta yarar sağlamaktadır [4].

Sistemin tasarımına işletme, güvenlik ve sistem emniyet birimlerinin ihtiyaçları doğrultusunda yön verilmektedir. Hâlihazırda kameralardan sadece canlı veya geri dönük izlemeler yapılmamaktadır. Bunun dışında yolcuların güvenli seyahatlerine neden olabilecek bazı unsurların giderilmesi için kameralardan alınan görüntüler üzerinden çeşitli algoritmalar geliştirilerek video analiz çalışmaları da yapılmaktadır. Analiz işlemleri ile seyahat güvenliği en üst seviyeye ulaşabilmektedir. Raylı sistem ulaşımında kullanılan bazı analiz tespitlerine örnek olarak hareket algılama, durağan durum tespiti, şüpheli paket tanımlaması, panik – koşturma hali, şüpheli yüz ifadesi veya olağan dışı kalabalık gibi olaylar sayılabilmektedir. Profesyonel video analiz yazılımları ile hat genelinde yaşanabilecek bu türdeki olayları otomatik gözlemleyebilecek ve ihbar edebilecek seviyede senaryolar geliştirilmiştir. İşletme biriminin ihtiyacına göre analiz çeşitleri de artırılabilir. Bunlara istasyon girişlerindeki merdiven kameralarından giren ve çıkan kişi sayısının tespiti ile peron merdiven inişlerindeki kameralardan hangi yöne kaç yolcu gittiğinin tespiti eklenilebilmektedir. Kameralar üzerinden alınan sinyaller sayesinde ekrana yansıyan video görüntüsünde yapılan yazılım çalışmalarıyla tespitler gerçekleştirilmektedir.

## 2. Video Analiz İşlemi

Video analiz; suç unsuru oluşturan şüpheli durum veya gerçek zamanlı olayları algılayıp tanımlamak için kameralar üzerinden alınan video görüntülerini sayısal olarak analiz eden sinyal işleme sistemidir [5]. Kısaca yaşanan veya yaşanabilecek olayları mekân ve zamana göre tespit etmek için kullanılan yapay zekâ teknolojisidir. Video analiz işlemi gelişen teknoloji ile birlikte sektörde önemli bir ihtiyaç haline gelmektedir. Çünkü video izleme takibi yapan operatörler, çok sayıda kamerayı teknik olarak kontrol etmeleri mümkün değildir. Mevcutta bir olay olduğunda geriye dönük kayıt incelemesinde delil olarak kullanılması dışında kullanıcılara kolaylık sağlamamaktadır. İstasyon, yerleşke veya teknik alan mahallerinde yaşanabilecek olumsuzlukları önceden bilip müdahale etme şansı olmadığından yolcunun güvenli seyahat etmesine neden olabilecek olaylara karşı pek fazla yararı olmamaktadır. Bu yüzden olay olduğunda kullanıcıya otomatik olarak alarm verebilmesi için kameralardan alınan görüntüleri işleyerek bilgilendirme de bulunması için video analiz çalışmaları önem arz etmektedir. Canlı görüntülerde yapılan yazılım algoritmaları sayesinde kullanıcı gerekli uyarıları alarak olayın yaşandığı yerde veya yakınında bulunan personele haber vererek müdahalede bulunmasına yarar sağlamaktadır. Analizlerini bunun dışında acil durumlarda senaryo olarak da sisteme tanıtıp olay mahalline personel gitmesine gerek kalmadan kamera sistemindeki röle çıkışları sayesinde diğer sistemlere de dâhil edilebilmektedir. Örneğin, kameranın röle çıkışlarına duman dedektörleri tanıtılıp istasyonda çıkabilecek yangın anında kamera içerisinde geliştirilmiş olan algoritmalar ile olayı algılayıp yangın senaryosunu başlatılabilmektedir.

Video analizi işlemleri piksel sayma ile yapılmaktadır. Piksel; bilgisayar, tablet, televizyon ve telefon gibi elektronik cihazların ekran görüntülerinin en küçük birimine verilen isimdir [6]. Ekranda değişen pikseller yazılım programı tarafından yorumlanmaya başlanır. Analiz işlemine öncelikle ekranda bir tane alan çizilerek başlanır. Bu alanda hareket olduğu zaman piksel değişime uğrayacaktır. Bunun üzerine kullanıcı ne kadar değişim olur ise alarm almak istiyorum demeye başlamaktadır. Bu noktadan sonra artık analizler yapılandırılmaya başlanmaktadır. Eğer en düşük piksel değişiminde alarm alınırsa günün sonunda yüksek sayıda alarm listesi çıkabilmektedir. Bu istenilen bir durum değildir. Bunun yerine ekranda istenilen alanı belirleyerek hassasiyet ve boyut değerleri üzerinden ayarlanması gerekmektedir. Nesnelerin en düşük ve en yüksek boyutları kamera yazılımına işlenerek istenilen değerlerin altında veya üstünde olduğunda alarm verilebilmesi ayarlanabilmektedir. Video analizler tak – çalıştır mantığı ile sorunsuz olarak çalışmazlar. Zaman içerisinde ekran üzerinde yapılan çalışmalarla yön bulmaktadır. Analizler kurgulanmaya başladığında ve yapılan işlemler neticesinde karşımıza yeni hatalar çıkmaktadır. Sürekli iyileştirme yoluyla bu hataların hassasiyet ve boyut değerleri üzerinden en aza indirgenmeye çalışılır. Analizlerin standart bir değeri yoktur. Bir kamera 10 metreye bakabilirken, diğer kamera 5 metreye bakabilmektedir. Bunun neticesinde standart bir analiz ile hepsinin kontrolü sağlamak mümkün olmayacaktır. Eğer bunu standartta oturtmaya çalışırsak bu seferde kamerada kullanılan lenslere göre gördüğü açı değişime uğrayacağı için istenilen sonuç elde edilemeyecektir. Bu sebeple analizleri kesinlikle bir kalıba oturtmamız mümkün değildir. Sürekli iyileştirme yoluyla zaman içerisinde istenilen analiz işlemi yapılabilmektedir. Kısaca en basitten başlanılarak ekran üzerinde ince ayarlar yapılandırılarak zaman içinde istenilen sonuçlar sağlanmış olmaktadır.

Gelişen teknoloji ile birlikte Şekil 2’de görüldüğü üzere yazılımlara artık insan figürleri tanıtılarak yüz tanıma tespitleri gerçekleştirilebilmektedir [7]. Bu işlem her kamera için ayrı ayrı yapılması gerekmektedir. İşleme başlamadan evvel öncelikle kameranın insanı nasıl gördüğü iyice bilinmelidir. Bu tanıma işlemi yapıldıktan sonra kamera artık her değişikliğe tepki vermeyecektir. Buradan itibaren analiz yöntemlerini uygulayabiliriz. Ekranda bir çizgi çekip, çekilen noktadan insan geçtiğinde uyarı ver diyebilmekteyiz. Bunun içinde insan ekranda ne kadarlık alan kaplıyor bunu belirleyerek insanın boyut değerini belirlememiz gereklidir. Işık değişimi gibi diğer etkenlerde böylelikle etkisiz kalacaktır.



**Şekil 2.** Video Analiz Yüz Tanıma Sistemi

Bu öğretim işlemini nasıl yapılmaktadır. Burada öğretim işlemi için farklı bir algoritma yöntemi kullanılmaktadır. Kamerayı bir insan gözü, bilgisayarları da bir bebek gibi düşünelim. Normalde bir bebeğe kedi gösterildiğinde artık o bebek zamanla onu kedi olarak algılamaktadır. Fakat ikinci kez farklı bir tipte kedi gördüğünde bunu hemen kedi olarak bilemeyecektir. Çünkü bebeğin gördüğü ilk kedi daha farklı görünümdeydi. Bizde bu şekilde birden fazla kedi resmini ekleyerek yazılım içinde bir algoritma kurulmasını sağlamaktayız. Yazılım birbirleri arasında bağlantı kurup filtreleme

yaparak sonuca ulaşabilmektedir. Bu işlem her kamera için ayrı ayrı optimize edilmesi gerekmektedir. Aranılan nesnelere farklı açılarda sisteme tanıtılması analiz işlemlerinde önemlidir. Çünkü kamera önünde kimi nesne yan geçerken, kimisi düz geçebilmekte, kimi nesne zayıf, kimisi de şişman olabilmektedir. Bunun gibi ayrı ayrı açılarda sisteme tanıtılması arama işleminde kolaylık sağlamaktadır.

Video analiz işlemleri tüm donanım ve yazılım sistemlerinin yönetilmesi, kontrol edilmesi, izlenilebilmesi ve diğer sistemler ile bağlantı kurularak kullanılması için geliştirilmiş olan haberleşme sistemidir. Bu analiz işlemleri yapısal olarak farklılıklar gösterse de temelde üç tane işlemi yapmaktadır. Bunlar; canlı izleme, geri dönük izleme ve olay algılama kontrolüdür. Bu temel üç özelliğe ek olarak sistemler; olaylardan aksiyon oluşturma, kullanıcı yönetimi, donanım yönetimi ve yapılandırma yönetimini de gerçekleştirebilmektedir.

Yazılım sistemlerinde en çok kullanılan terim Video Yönetim Sistemi'dir (Video Management Systems – VMS). Kamera → Kayıt Cihazı → Ekran bilinen en temel video yönetim sistemidir. Basit şekilde bir sistemde olması gereken 3 özelliği sağlamaktadır. Kullanıcıların ihtiyaçlarına göre donanım üreticileri veya bu donanımları yönetebilecek yazılımları geliştirenler farklı yazılımlar sunabilirler. Genel olarak sektör bu tip sistemlere VMS olarak adlandırmaktadır [8].

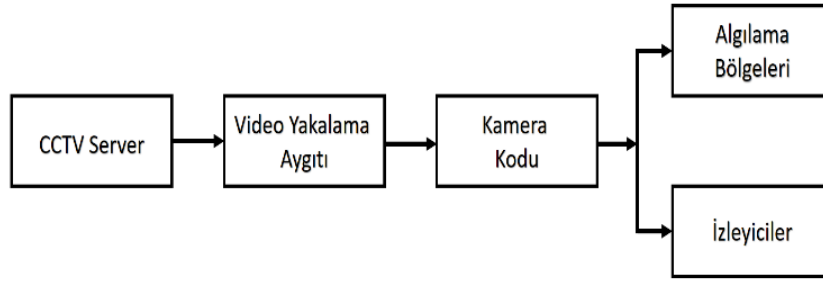
### 3. Yazılım ve Uygulama

Yazılım işlemine başlamadan önce bilinmesi gereken en önemli bilgi yapılacak olan algoritmaların nesnelere dayalı olduğudur. Video analiz işlemi her metro hattında farklılık gösterebilmektedir. Kimi hatlarda kenar tipi analiz yapılırken, kimisinde sunucu üzerinden analiz yapılabilmektedir. Bu uygulamada anlatılacak olan analiz ise sunucu üzerinden gerçekleştirilen video analiz yöntemidir. Yazılıma öncelikle donanım mimarisi ile başlanmaktadır. Donanım mimarisi genişletilerek istenilen arayüz üzerinden senaryolar çoğaltılabilmektedir. Yazılım olarak Axxon firmasının geliştirmiş olduğu Axxon Intellect Enterprise yazılımı kullanılmıştır. Tek ortamda çoklu video analiz seçeneği, IP ağ genişliği ve olay algılama kontrollerini bir araya getiren gelişmiş güvenlik yönetim sistemi olması nedeniyle tercih edilmiştir. Nesne odaklı mimari yapısından dolayı yazılım kullanımı, kurulumu ve yönetim kolaylığı sağlamaktadır [9].

Oluşturulan her nesnenin kendi durumu ve konumu vardır. Bu nesnelere üzerinden yazılım otomatik olarak bağ kurabilmektedir. Yazılım üzerinde kameraya ait ses kartını, giriş ve çıkış ünitelerini de ayrı ayrı tanımlanabilmektedir. Metro hatları dağıtık mimariye sahip oldukları için donanım mimarisinin yapılandırma işlemi kısmında birden fazla sunucu bulunmaktadır. Oluşturulan her nesne kendi sunucusu altında yer alması gerekmektedir. Bu nesnelere bu şekilde bağlı bulunduğu sunucudaki kaynak kodları kullanabilmektedir.

#### 3.1. Donanım Mimarisi Oluşturulması

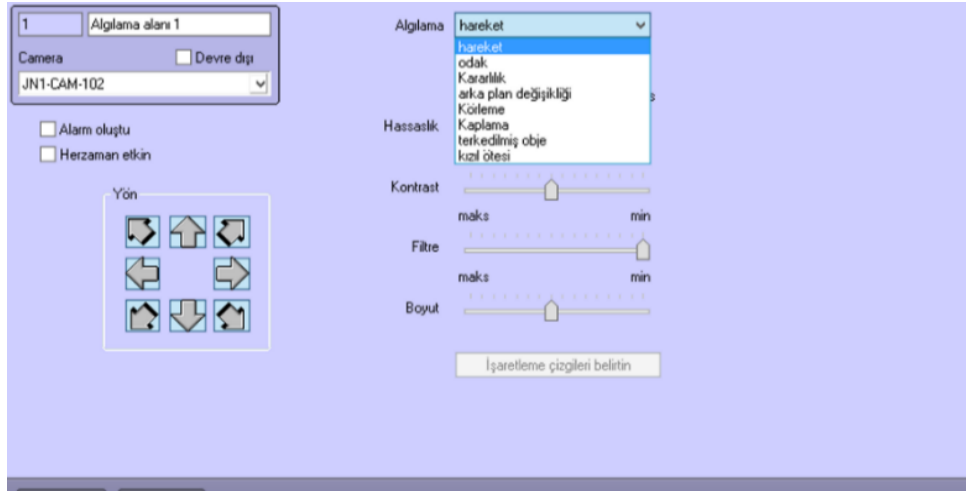
Video analizi yapılacak kamera için öncelikle yazılım arayüzünde en üstte bulunan araç çubuklarından “Donanım” sekmesine gelerek “Local Host (CCTV Server)” nesnesi oluşturulur. Daha sonra “Video Yakalama Aygıtı / Teknik Bölge” altında “Kamera / S01-CAM-201” nesnesi oluşturulur. Kamera nesnesi altında da “Algılama Bölgeleri / (Detection Zone)” ve “İzleyiciler / (Trackers)” nesnelere eklenerek Şekil 3’te görüldüğü üzere donanım mimarisi tasarımı oluşturulur. Kamera nesnesi altına kullanıcı isteklerine göre farklı nesne türleri de eklenilebilmektedir.



Şekil 3. Video Analiz Donanım Mimarisi

### 3.1.1. Algılama Bölgeleri

Kamera nesnesi altında oluşturulduktan sonra her durum analizi için bir algılama bölgesi seçilmektedir. Birden fazla algılama bölgesi tek bir kamera altında eklenerek her biri için ayrı ayrı analiz yöntemi kullanma olanağı vardır. Şekil 4’de gösterildiği gibi hareket tespiti, odaklama, kararlılık, kaplama, kızılötesi, arka plan değişikliği, kör nokta ve terk edilmiş obje algılama bölgeleri bulunmaktadır. Algılama bölgeleri türüne göre hassasiyet, kontrast, filtre ve boyut parametre ayarları değişkenlik göstermektedir. Örneğin kameranın sol tarafında veya sağ tarafında olmak üzere birden fazla yön belirterek hareket tespiti yapılabilmektedir.



Şekil 4. Algılama Bölgesi Ayar Parametreleri

Yapılmış olan analizleri yazılım içerisinde yazılan algoritmalar ile takvime bağlayarak istenilen tarih veya saatte çalışması da sağlanmaktadır. Gündüz belirtilen takvim aralığında istenilen algılama bölgesi çalışırken, gece de başka bir algılama bölgesinin çalışması yapılandırılabilir. Senaryo çeşitliği kullanıcının isteklerine göre çeşitlendirilerek artırılabilir.

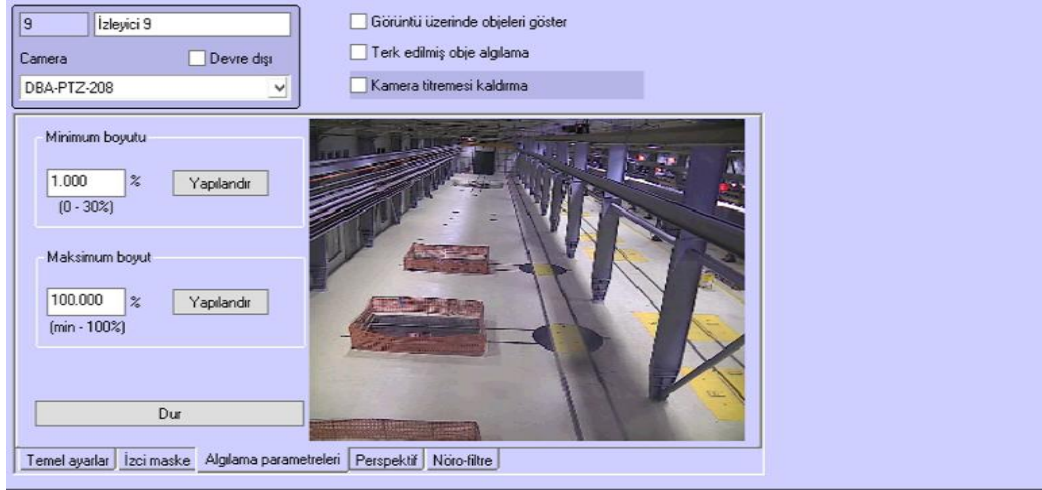
### 3.1.2. İzleyiciler

Nesne takip etme durumlarında kullanılır. Bu zamana kadar yapılan video analizleri hiçbir şekilde Meta Data (veri hakkındaki tüm bilgi) üretmemişti. Meta Datalar arşiv içerisinde nesnelere izini arayıp bularak ilgili bölüme getirme işlemi yapar. İzleyici ile beraber artık Meta Data üretmeye başlanır. Temelde iki tane ayar parametresi bulunmaktadır. Bunlar, hassasiyet ve kayıp bekleme süresidir. Kamera açısına giren nesne belirli bir zaman sonra durup kısa bir süre hareket etmediğinde, kamera takibi ne kadar sürede bırakacak saniye cinsinden belirleme işlemine kayıp bekleme süresi denir. Aslında hareketli olan nesne kısa bir süreliğine durduğunda saniye cinsinden aralık değeri girilerek takip işleminin devamlılığı ayarlanabilmektedir. Böylelikle, ilerleyen zamanda aranacak olan nesnenin bekleme süresi göz ardı edilerek kesintisiz takibi sağlanmaktadır. Sistemde istenilen sayıda nesne arama yapılmasını sınırlanmaktadır. Örneğin 5 tane nesne sayısı



girilir ise 5 tane hareketli nesneyi takip altına alarak 6. nesnenin takibini gerçekleştirmez.

Hareket edilen nesnelere Şekil 5'deki izleme ekranında belirli çerçeve içerisinde takip edilebilmektedir. Bunun dışında terk edilmiş nesnelere de analiz yapılabilmektedir. Sistem ilk olarak bölgenin arka planındaki doku ve renklerini kayıt almaktadır. Bölge içerisinde hareket olduğu zaman kontrasta değişikliği olmaktadır. Hareket anında geçen nesne arkasından bir başka nesne bırakması durumunda belirli bir süre sonra bırakılan nesne arka planı bozuyor ise sistem yazılımı terk edilmiş nesne olduğunu bildirmektedir. Yapılan bu algoritma işlemlerini çeşitlendirerek aynı zamanda arka planda kayıtlı nesnenin hırsızlık gibi durumunda alınmasında kontrast değişikliği olacağı için bunu terk edilmiş nesne olarak algılayarak bilgilendirmede bulunacaktır.



Şekil 5. İzleyici Video İzleme Ekranı

İzleyici nesnesinin parametre ayarları genişletilebilmektedir. İzci Maske, Algılama Parametreleri, Perspektif ve Nöro-Filtre ayarları da yapılmaktadır. İzci maske, ekran görüntüsünde belirlenen alanın içinde veya dışındaki bölgelerin analiz işlemlerinin çalışmadığı ölü bölgelerdir. Farklı alanlarda tek görüntü üzerinden birden fazla maskeleme işlemi de yapılabilmektedir. Algılama bölgelerinde analizini yapmak istediğimiz nesnelere için en küçük ve en büyük boyut ayarlarının gerçekleştirildiği ayarlardır. Perspektifte ise, ekran görüntüsünde resimler normalde 2 boyutludur. Video da yer alan insan nesnesi eğer görüntü de çok uzakta ise ufak görünür, kameraya yaklaştıkça nesne boyutu da büyüyecektir. Bu iki uzak ve yakın arasındaki boyut farkının görüntü analizinde hissedilmemesi için ayarlanması gerekmektedir. Burada bir önceki adımda girilen en düşük ve en yüksek değerler devre dışı kalarak gerçek sayılar üzerinden işlem yapılmaktadır. Ekranda seçilen alan metre cinsinden gerçekte ne kadar boyut olduğu sisteme işlenmektedir.

Buraya kadar yapılan işlemler donanım mimarisi ve nesnelere tanınması ile ilgili olan çalışmalardır. Bunlar arasındaki bağlantıyı yazılım otomatik olarak gerçekleştirilebilmektedir. Buradan sonra yapılması gereken ekranda belirlenen alanda çekilen çizgide nesne geçtiğinde canlı alarm üretmesidir. Bu yapılandırma işlemi İzleyici nesnesi altında oluşturulan "Video Medya Veri Analiz Algılama (VMDA Deduction)" nesnesi ile yapılmaktadır. Bu nesne altında ekran üzerindeki görüntüde tek çizgi veya çoklu çizgi olarak iki adet parametre bulunmaktadır. Tek çizgi parametresinde ekranda bir tane çizgi çekilir ve hangi yönden geçiş olduğunda alarm olacağını sisteme tanıtılabilmektedir. Bu analiz işlemi çift yönlü olarak da yapılır. Aranılacak cismin araba, insan veya herhangi bir nesne olduğunu da ayar parametresinden yapılmaktadır. Çoklu çizgi parametresinde ise video görüntüsünde çizgileri birleştirerek belirli bir bölge oluşturma işleminin yapıldığı yerdir. Bölge içerisindeki alanda oluşacak alarmın hususunun ne olduğunu, alan içerisinde kaç saniyeden sonra nesne bulunur ise alarm vermesi gerektiğini, alana giriş ve çıkış anından nesnenin kaybolmasında hangi alarmları alacağını seçilmektedir.

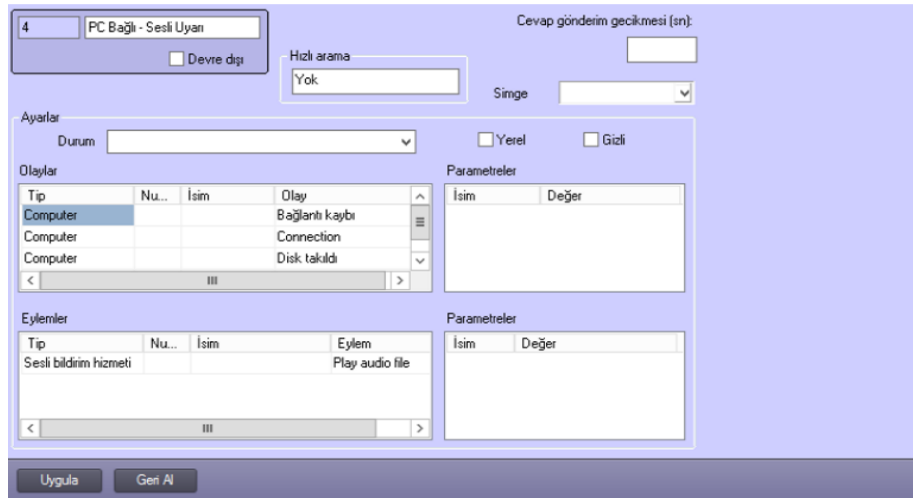
### 3.2. Programlama Mimarisi Oluşturulması

Video analiz işleminde donanım mimarisinin oluşturulması tek başına bir anlam ifade etmemektedir. Donanım olarak sisteme tanıtılan nesnelerin yazılım algoritmasında koşturulabilmesi için programlama mimarisinin oluşturulması gerekmektedir. Programlama mimarisinde istenilen senaryo durumuna göre alternatif pek çok yazılım adımı bulunmaktadır. Bunlardan en çok tercih edileni Makro ve Senaryo yazılım çeşitleridir.

#### 3.2.1. Makrolar

Farklı tip otomasyon yapmak için sistem tepkilerini yapılandırmaya yarayan araçtır. Sistem tepkisi senaryo durumuna göre bir veya birden fazla makro içerebilmektedir. Makrolar 3 tür olarak karşımıza çıkmaktadır.

- Olay Odaklı Makro: Olay olduğunda otomatik veya kullanıcı tarafından çalıştırılır. Tetiklenme geldiği zaman makroda yazılan komutlar hemen yerine getirilir.
- Temel Makrolar: Bir algılama aracıyla tetiklenince gerçekleşen makro türüdür. Her algılama aracı için bir veya birden fazla makro yazılabilmektedir.
- Çevrimsel Makrolar: Yazılan komutlar zaman çizelgesinin dışında olmadığı sürece, kayıt anından sonra hemen çalışır. Tüm komutlar tamamlanınca makro otomatik olarak yeniden başlatılır. Çevrimsel makrolar kullanıcı tarafından başlatılamaz.



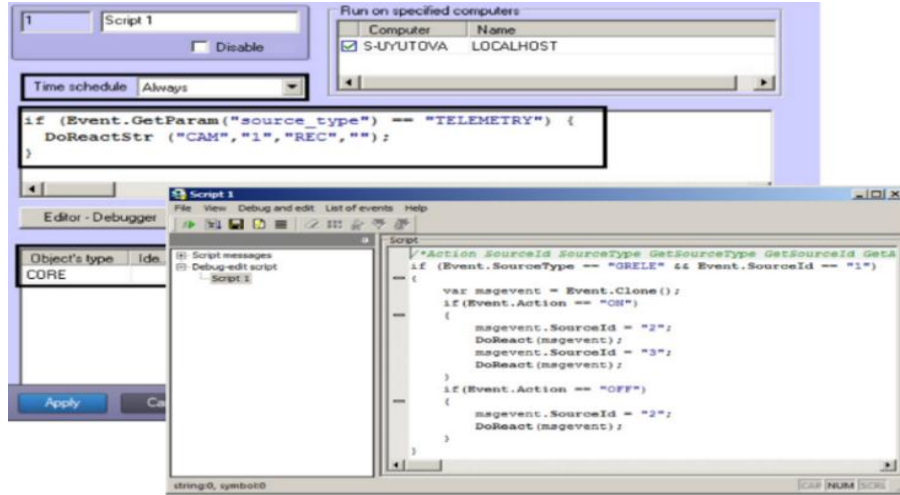
Şekil 6. Makro Yapılandırması

Şekil 6'daki görselden anlaşılacağı üzere makrolarda Olaylar ve Eylemler olarak iki temel değişken parametre üzerinden işlemler gerçekleştirilmektedir. İlk önce bizim ne türde bir olayımız olduğunda ne türde cevap verelim sorusunun karşılığı olan başlangıç olayının belirlenmesi gereklidir. Bu belirleme işlemi olay parametresinde ayarlanmaktadır. Sistemde oluşturulmuş tüm nesneler (Kamera, Yüz Tanıma, İzleyiciler, Algılama Bölgeleri vs.) burada görünmektedir. Ardından yaşanan olayın sonucunda ben bu olaya ne cevap vereyim sorusunun belirlenmesi için eylem parametresi altında işlemlerin sisteme senaryo olarak tanımlanması gerekmektedir. Programda olayın cevabını otomatik olarak ne yapması gerektiğini bu bölümde belirlenmektedir. Örneğin kamerada alarm olduğunda başka bir kamerayı başlatılabilme veya veri tabanının yedeğini al gibi sonuçları genişletebilmekteyiz. Eğer sisteme dâhil bir yangın detektörü var ise bunu olay parametresine tanıtarak alarm geldiğinde almak istenen cevabı aksiyon kısmında girilip kapıları serbest bırak ve aç diyebilmekteyiz.



### 3.2.2. Senaryolar

Makroda gerçekleştirilemeyen durumlarda senaryolar yüzünden program yazılmaktadır. Burada yazılım olarak *Java Script* kullanılmaktadır. Farklı türdeki senaryo türlerini komut satırı penceresinde yazarak video analiz işlemini genişletebilmekteyiz. Yazılım içerisindeki *Debug* penceresinden basit kurallar yazılarak veya veri sayfasından hazır kodlar üzerinden geliştirmeler yapılarak senaryolar oluşturulur. Örneğin Şekil 7’de yer alan kod satırında harita üzerinde gösterilmesi istenen metni makrolar üzerinden gerçekleştirmediğimizden *Script* yazılmıştır.



Şekil 7. Örnek Senaryo Yazılımı

### 3.3. Hareket Algılama Tespiti

Son yıllarda hareket algılama ile ilgili birçok farklı alanda çalışmaların olduğu yapılan literatür taramasında görülmüştür. Hareket algılama çalışmalarında genellikle bilgisayarlı görü ve sensör tabanlı yaklaşımlar kullanılmaktadır [10-14]. Hareket algılama sistemi, yaşam alanımızı veya çalıştığımız kurumu korumanız için geliştirilmiş en önemli analiz yöntemlerinden biridir. Kameralardan alınan görüntüler ile sistem ihtiyacına göre belirlenmiş bölgelere izinsiz giriş olduğunda yazılımda oluşturulmuş makrolar sayesinde kullanıcıya e-posta göndererek uyarı vermesi sağlanmaktadır. Metro hatlarında ortalama 1500 kameranın canlı izlenmesi yapılmaktadır. İzleme takibi yapan operatörler bir süre sonra olayların %90'ını kaçırmaya başlamaktadır. Gözden kaçan her görüntü seyahat eden yolcuların güvenli yolculuk etmesine sorun teşkil edebilmektedir. Bu durumda Şekil 8’de gösterildiği üzere özel bölgeye izinsiz giriş olduğunda operatörü bilgilendirmek amacıyla uyarı veren hareket algılama teknolojisi kullanılarak yolcunun güvenli seyahat etmesine olanak tanınmaktadır.

Hareket algılama işlemini anlayabilmek için öncelikle kameralarının çalışma mantığının bilinmesi gerekmektedir. Kameraların içinde en önde bulunan lense gelen ışığın denetlendiği görüntü algılayıcısı bulunmaktadır. Kamera merceğine çarpan ışık, bu görüntü algılayıcısına çarptığında her bir pikselde ne kadar ışık alıyor ise bunu kayıt altına alır. Kayıt altına alınan bu görüntüler insan gözünün algılayabileceği videolar haline gelir. Yazılım programında hareket algılama sistemi aktif edildiğinde belirli bölgeler seçilir. Belirlenmiş bölgelerden alınan video görüntüleri de sürekli olarak yazılımda karşılaştırma işlemi yapar. Bu karelerde piksel değişimi olursa belirlenen alanda cisim olduğunu anlar ve kullanıcıyı uyarılmaktadır.

Metro hatlarında hareket algılama teknolojisi izinsiz bölgelere giriş/çıkış tespiti dışında sistem ihtiyacına göre farklı alanlarda da kullanılabilir. Örneğin peron bölgelerinde bulunan hareketli kameraların yazılımda belirlenen bölgenin içerisinde hareket olmadığında gereksiz yere

kayıt depolaması yapmamasını sağlatılabilmektedir. Bunun dışında peron, teknik alan mahalleri veya turnike bölgelerinde gece yapılacak her saha çalışmalarında aydınlatmaların sürekli aç-kapa yapmaması yerine kamera röle çıkışlarına tanımlanan aydınlatma grup sinyalleri belirlenen bölgelerde hareket olduğunda aydınlatmayı otomatik aç veya kapat denilebilmektedir. Özet olarak kamerada belirlenen alanda hareket olduğunda ekranda piksel değişimi olacağından bölgenin aydınlatmasını otomatik aç, hareket olmadığında ise bölgenin aydınlatması belli bir süre sonra otomatik kapat denilebilmektedir.



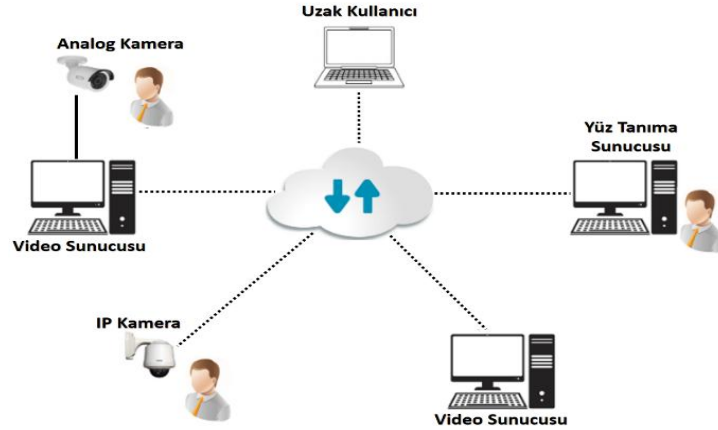
Şekil 8. Hareket Algılama Tespiti

### 3.4. Şüpheli Yüz Tanıma Tespiti

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen hareket algılama sistemi olarak bilgisayarlı gözü uygulaması kullanılmıştır. Yüz tanıma sistemi kamu binaları, havalimanları, alışveriş merkezleri, stadyumlar, kongre salonları ile metro hatları gibi çok sayıda insan dolaşımının olduğu noktalarda uygulanan önemli güvenlik sistemlerinden biridir. Kamera üzerinden alınan video görüntüsünü çerçeve içerisinde noktalar haline alarak kullanıcıya bildirmede bulunur. Tespit edilen kişinin yüzü otomatik algılanır ve daha önce veri tabanında kayıtlı olan yüzler ile eşleştirme yapılarak sonuca ulaşılır. Yüz tanıma sistemi, Axxon Intellect Enterprise yazılımında yapay sinir ağlarının yapısal olarak daha derin ve geniş hali olan Derin Sinir Ağları (Deep Neural Networks – DNN) tarafından desteklenmektedir. DNN, giriş ve çıkış katmanları arasında doğrusal mı, yoksa doğrusal olmayan bir bağlantı mı olduğunu matematiksel yöntemler ile bulan gizli katmanlara sahip yapay bir sinir ağıdır. Bu ağ yapısı, tespit edilen yüzü sayısal bir vektör gösterimine eşlemek için etiketli yüzleri olan büyük bir veri kümesi üzerinde yapılandırır. Ağ bir kez yapılandırıldıktan sonra, daha önce hiç görmediği yüzleri bile karşılaştırabilir. DNN ile yüz tanıma, kamera açısı, ışıklandırma, saç modeli, yüz ifadesi, gözlük veya diğer etmenleri bağımsız olarak en yüksek kalitede tahminler sunarak çözüme ulaştırır [15].

Metro hatları kullanıcılarına sağlamış olduğu hızlı, konforlu, ekonomik ve güvenli ulaşım kolaylığıyla sektörde önemli bir ihtiyacı karşılamaktadır. Günde yaklaşık 2,3 milyon insanın seyahat ettiği bu toplu taşıma ulaşımında çok sayıda yolcu istasyonlara giriş ve çıkış yapmaktadır. Yoğun yolcu dolaşımı nedeniyle emniyet birimleri tarafından aranılan adli sabıkalı kişilerinin tespiti içinde önemli noktalardan biridir. Tespit edilen şüpheli kişiler uyarı olarak operatör ekranına düşer düşmez yetkili birimler ile irtibat kurularak müdahale edilmektedir.

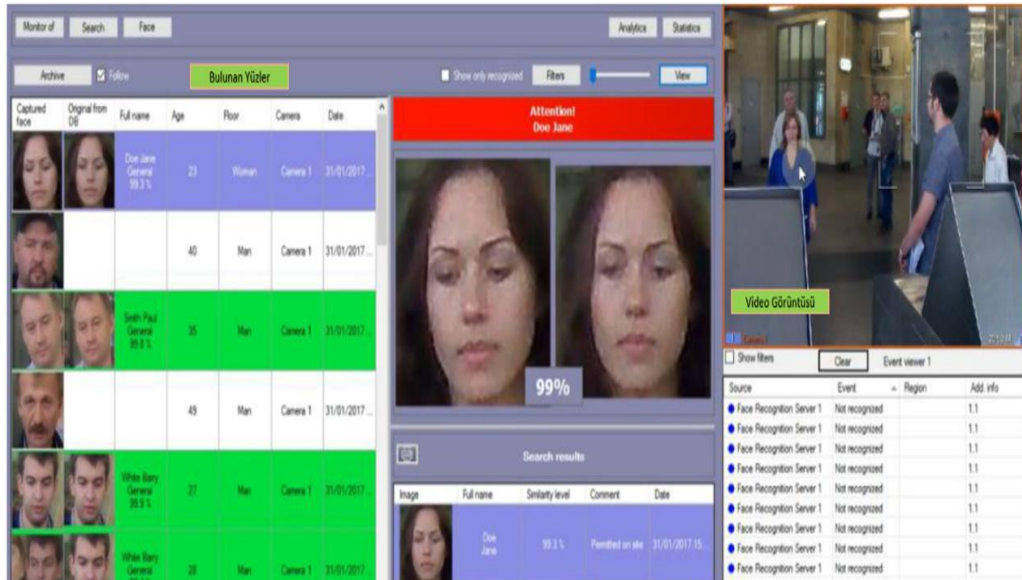
Yüz tanıma sisteminin tasarımı için iki adet önemli parametre bulunmaktadır. Bunlar; Yüz Tanıma Modülü ve Yüz Arama Modülü'dür. Yüz tanıma modülünde, istasyonlarda bulunan kameralardan alınan görüntüler üzerinden tespit edilmiş şüpheli yüzü veri tabanında saklı tutulan görüntüler ile otomatik olarak karşılaştırır. Bu görüntüler "*Cognitec SDK – 8.8*" yazılımında veri tabanında saklı tutulan binlerce görüntünün tanımlanan algoritmalar ile hızlı arama yapılması sağlar [16-18]. Yüz arama modülünde ise *Cognitec* ve *VeriLook* yazılımlarının desteklediği kameraların yakaladığı tüm yüz ifadeleri bir veri tabanını oluşturur. Aranmak istenen yüz çerçeve içerisinde belirtilerek sisteme bu modül üzerinden yüklenir. Tarama işlemi bittikten sonra sonuçları benzerliğe göre sıralanmış olarak liste halinde gösterir. Bu modül ile kameralar üzerinden tespit edilen tüm yüzlerin istatistiksel verileri de elde edilmektedir. Şekil 9'da yüz tanıma sisteminin tasarım mimarisi gösterilmektedir.



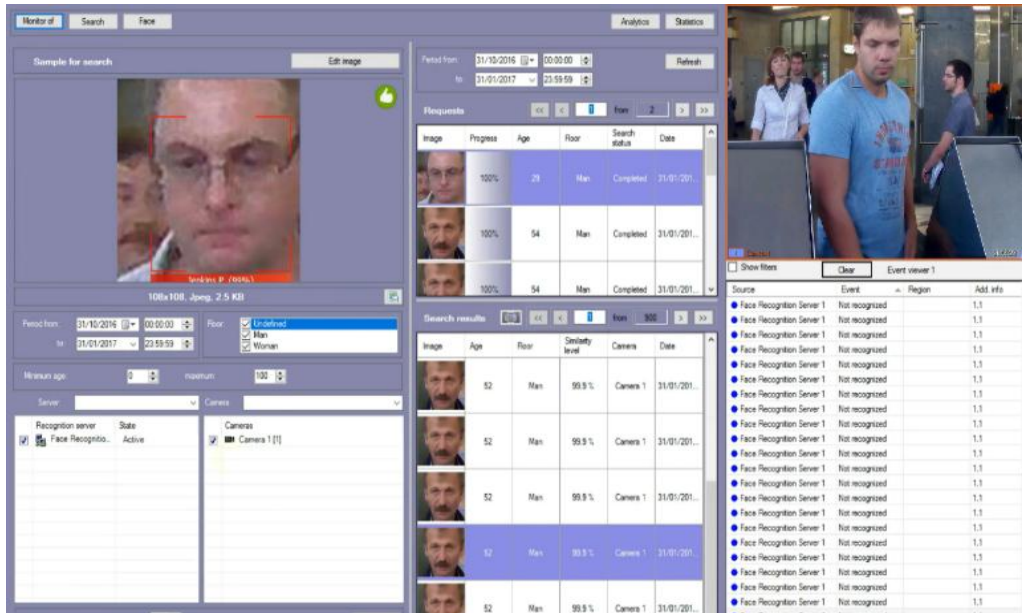
Şekil 9. Yüz Tanıma Sistem Şeması

Yüz tanıma sistemi tasarım aşamaları:

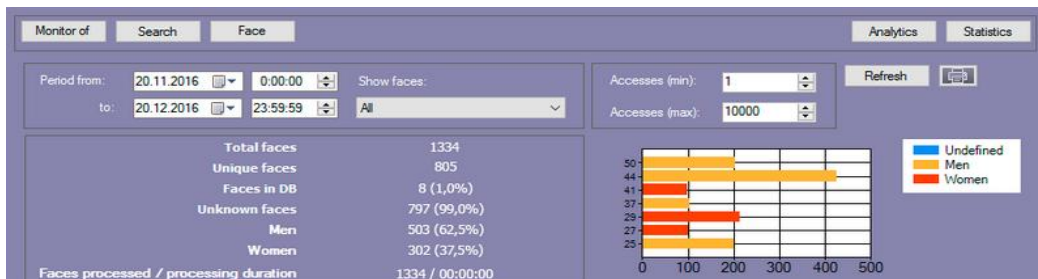
1. Axxon Intellect Enterprise yazılım arayüzünde en üstte bulunan araç çubuklarından "Arayüz" sekmesine gelerek "Ekran (Display)" nesnesi oluşturulur. Ardından ekran nesnesi altında "Yüz Tanıma ve Arama (Face Recognition and Search)" nesnesi oluşturularak yüz tanıma tespitine başlanır.
2. Yazılım arayüzünde tarama yapılması istenen alana kamera yerleştirilir. Ardından kamera IP bloğu sisteme tanımlanır ve Şekil 10'da görsel üzerinden (1) numaralı bölgedeki video görüntüsünün yazılım üzerinde yayın akışı sağlanır. (2) numaralı bölgede kamera açısına giren tüm yüzler sistemde eğer kayıtlı ise isim dâhil olmak üzere yaş, cinsiyet, kamera türü ve tarih gibi parametrik değerler üzerinden yazılımda görüntülenmektedir. Emniyet birimleri tarafından alınan veriler üzerinden sisteme şüpheli yüz ifadesi olarak tanımlanan yüzler (3) numaralı bölgede çıkararak kullanıcıya uyarı vermesi ve gerekli yerlere e-posta gönderilmesi sağlanmaktadır.
3. Kameranın Biyometrik olarak veri okuyabilmesi için iki göz arasındaki mesafeyi ve iki göz bebeğini görmesi gerekmektedir. Aksi takdirde yüz tanıma tespiti yapılamamaktadır. Öncelikle aranılacak olan nesnenin Şekil 11'da gösterildiği üzere sistem veri tabanına yüz ifadesinin kayıtlı olması gereklidir. Veri tabanında kayıtlı olan nesne kamera açısına girer girmez tanıma işlemi gerçekleşerek yazılım ekranında uyarı olarak karşımıza çıkacaktır.



Şekil 10. Yüz Tanıma İşlem Aşamaları



Şekil 11. Şüpheli Yüzün Veri Tabanına Kayıt Edilmesi



Şekil 12. Yüz Tanıma Tespiti İstatiksel Veriler

4. Yüz tanıma tespitinde kameraların açısına giren tüm yüzler için istatiksel verileri edinme olanağımız vardır. Örneğin Şekil 12’de gösterildiği gibi kamera açısına giren tüm yüzlerin sayısı, kadın veya erkek sayısı, bunlara ait yaş ortalaması gibi birçok verinin takibi istatiksel olarak incelenebilmektedir.

#### 4. Sonuçlar

Günümüzde dünya genelinde başta büyük şehirlerde olmak üzere artan nüfus oranı ile birlikte ulaşımın en büyük sorunların başında geldiği görülmektedir. Büyük ekonomilere sahip şehirler, fazla nüfusa sahip şehirler veya turizmin daha fazla geliştiği şehirler başta olmak üzere ulaşım problemi üzerinde durulan en güncel konulardan birisi haline gelmiş ve bu sorun artarak devam etmektedir. Merkezi ve yerel yönetimler yeni ulaşım çözümleri arayarak insanların toplu taşımayı kullanmaları yönünde yatırımlar yapmakta ve alternatif çözümler için çalışmalarına hızla devam etmektedirler. Toplu taşıma ulaşımında otobüs, metrobüs ve minibüsler akla ilk gelen taşıtlar olarak dikkat çekmektedir. Fakat modern şehircilik kültüründe daha hızlı, daha konforlu, daha verimli, daha ekonomik ve daha dakik ulaşım kolaylığı sağlayan raylı sistemlere ilgi giderek artmaktadır. Metro, tramvay, füniküler ve banliyö trenleri raylı sistemlere örnek olarak gösterilmektedir. Son dönemlerde yolcu taşıma kullanımının yaygınlaşmasıyla her geçen gün kullanıcı sayısını da arttırmaktadır.

Bu çalışmada metro hatlarında seyahat eden vatandaşların, seyahat süreleri boyunca güvenli yolculuk etmeleri için yapılmış olan video analiz yöntemleri belirtilmiştir. Metro hatları toplu taşıma ulaşımını kullananlar için önemli merkezlerden birisi haline gelmiştir. Burada yaşanabilecek olumsuz olaylarda çok sayıda insanın etkilenmesine yol açabileceği bilinmektedir. Video analiz yöntemiyle hareket algılama ve şüpheli yüz tanıma tespit işlemleri gerçekleştirilerek hem insanların güvenli seyahat etmelerine olanak tanınmış hem de emniyet birimleri tarafından aranan adli suçluların bulunmasına yardımcı olunması hedeflenmiştir. Hareket algılama teknolojisi, izinsiz bölgelere giriş-çıkış tespiti dışında da farklı amaçlar için kullanıldığı gözlemlenmiştir. Şüpheli yüz tanıma işlemleri ile kameralardan alınan görüntülerin sistemde kayıtlı veri tabanı taranarak şüpheli kişilerin tespiti gerçekleştirilmektedir. Bu video analiz tasarımlarıyla metro hattını kullanan vatandaşların güven seviyelerinin yükseltildiği ve hatta yaşanması muhtemel olumsuz olaylara karşı alınan tedbirlerin hangi seviyede olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışma ile başta nüfus yoğunluğunun fazla olduğu şehirlerdeki ulaşım araçlarında olay algılama konusunda ve benzer birçok farklı alanda kullanılma potansiyeli yüksek bir çalışma olduğu düşünülmektedir. Çalışmada belirtilen senaryo ve yaklaşımların, farklı alan ve konular için de yeniden tasarlanarak benzer başarılı çalışmaların devamının gelmesinin muhtemel olduğu belirlenmiştir.

#### Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan verilerin kullanımı ve destekleri için İstanbul Büyükşehir Belediyesi – Metro İstanbul A.Ş. teşekkür ederiz.

#### Kaynaklar

- [1]. Demirci, İ. E., “Raylı Sistemlerde Yüksek Yolcu Kapasitesi İçin Sinyalizasyon Sistemlerinin Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 120s. 2014.
- [2]. <https://www.metro.istanbul/haber/detay/2018-yilinda-yolcu-rekoru>, (Erişim Tarihi: 01.11.2019).
- [3]. Bahçıvan, E., “Raylı Sistemlerde Otomasyon Seviyeleri ve Sürücülü Metro Hatlarında Hatada Emniyetli Hat İhlal Sistemi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 107s. 2018.
- [4]. Ijjina, E. P., & Sharma, S. K. (2019, July). Accident detection from dashboard camera video. In 2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT) (pp. 1-4). IEEE.



- [5]. Karel Teknoloji, “Video Analiz Nedir? Uygulamaları ve Analiz Türleri” <https://www.karel.com.tr/blog/video-analiz-nedir-uygulamalar-ve-analiz-turleri> (Erişim Tarihi: 05.11.2019).
- [6]. Cavedon, L., Foschini, L., & Vigna, G. (2011, August). Getting the Face Behind the Squares: Reconstructing Pixelized Video Streams. In WOOT (pp. 37-45).
- [7]. Axxon Soft (2019), “Dünya Çapında 50 Ofis 2,5 Milyonun Üzerinde Lisanslı Video Kanalı 100+ Ülkede Satış 5.800’ün Üzerinde Sertifikalı İş Ortağı” (Erişim Tarihi: 11.11.2019).
- [8]. Netser Grup, <https://www.netser.com.tr/tr/blog/video-yonetim-yazilimi-ve-onemli-vms-ozellikleri-nelerdir> (Erişim Tarihi: 07.11.2019).
- [9]. Axxon Intellect Enterprise, Entegre Güvenlik Çözümleri Yüz Tanıma ve Arama İşlemleri, [https://www.axxonsoft.com/integrated\\_security\\_solutions/face\\_recognition/](https://www.axxonsoft.com/integrated_security_solutions/face_recognition/), (Erişim Tarihi: 07.11.2019).
- [10]. Öz, K., & Görgünoğlu, S. (2016). Video Gözetim Sistemlerinde Anomali Tespiti Üzerine Bir Derleme. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 3(3).
- [11]. Karakoç, Y., Öztürk, S., & Kuncan, M. Hareket Eden Renkli Nesnelerin Takibinin PID ile Gerçekleştirilmesi. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK-2012, 11-13 Ekim 2012, Niğde, Türkiye.
- [12]. Kuncan, F., Kaya, Y., & Kuncan, M. (2019). New approaches based on local binary patterns for gender identification from sensor signals. *J Fac Eng Archit Gazi Univ*, 34(4), 2173-2185.
- [13]. Kuncan, F., Kaya, Y., & Kuncan, M. (2019). A Novel Approach for Activity Recognition with Down-Sampling 1D Local Binary Pattern. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 19(1).
- [14]. Kuncan, F. “Giyilebilir Sensör İşaretlerinden Hareket Tanıma İçin Yeni Yaklaşımlar”, Doktora Tezi, Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 2019.
- [15]. Okan Ayrancı 2019, “Derin Sinir Ağları” <https://teknosfer.net/derin-sinir-aglari-nedir/1700/> (Erişim Tarihi: 29.11.2019).
- [16]. Seo, S., Lee, H., Kim, Y., & Son, W. (2016, February). Video Motion Analysis for Landscape Image Abstraction. In 2016 International Conference on Platform Technology and Service (PlatCon) (pp. 1-4). IEEE.
- [17]. Kandemir, C. M., Adar, N., “Video Dizilerinde Hareket Tanıma”, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt:24, Sayı:2, 2011.
- [18]. Babu, R. V., Makur, A., Object-based surveillance video compression using foreground motion compensation, In 2006 9th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision IEEE, December 2006, pp. 1-6.
- [19]. Tosun, O., Senol, R., Observation plant growth with determination leaf area by using image processing methods, *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, 2016, 3(1), pp. 154-166.