



Design of intelligent garment with sensor fusion for rescue teams

Engin Eşme^{1*}, Bekir Karlık²

¹Department of Computer Programming, Kulu Vocational High School, Selçuk University, Konya, 42770, Turkey

²Department of Electrical Engineering and Information Technology, Metropolitan University of Tirana, 1000, Albania

Highlights:

- Intelligent garment design for rescue teams
- Hazardous gas classification using machine learning methods
- Remote sensing and monitoring of sensor fusions

Keywords:

- Wearable sensors
- Pattern recognition
- Remote sensing
- Gas sensing

Graphical/Tabular Abstract

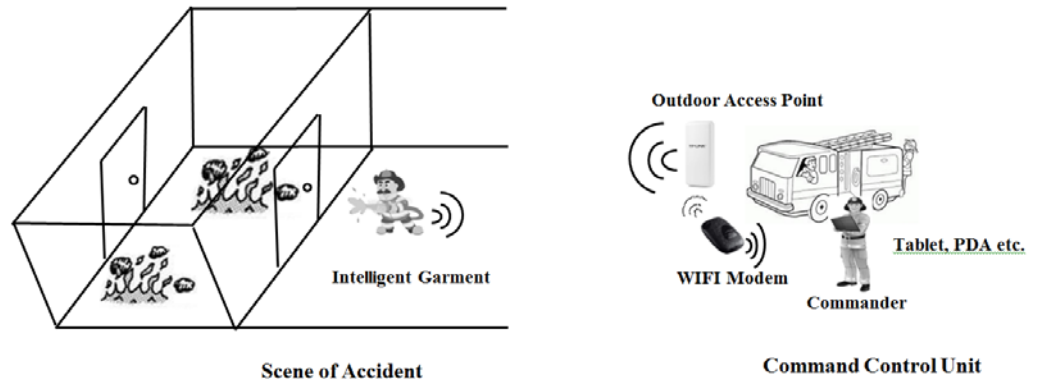


Figure A. Coordination between smart garment and command control unit at disaster site

Purpose: The purpose of the study is to obtain immobility, temperature, oxygen concentration and hazardous gas data in the physical environment of firefighters and to design a smart clothing that could provide transferring of these data to the command control unit.

Theory and Methods:

The basic design approach in the project is to use embedded system architecture. Sensors, data acquisition, pattern recognition, real time embedded systems, portability and wireless communication are the main technologies used for the realization of the project. The system consists of 2 electrochemical gas sensors, 2 metal oxide semiconductor sensors, a temperature sensor, a motion sensor, and a wireless communicating microcontroller platform.

Results:

In this study, the intelligent system has been enabled remote monitoring of the hazardous gases around the disaster area, the concentration of oxygen level in the environment, the ambient temperature and the mobility of the rescue team members. Five classes have been created in the classification process by taking into consideration the fresh air and possible mixtures of gases. As a result of comparative experimental studies of three different methods, the highest classification success achieved using the k-NN method was %95.84.

Conclusion:

The garment, which will be used in the disaster area during the planning of the discovery and intervention, ensures that the rescue operation is effective and reliable. As an innovation in the garment, chemical gas sensors and artificial intelligence techniques can be used together to determine which class of hazardous gas belongs. Determining the type of the hazardous gases gains an advantage over traditional methods and the disadvantage of handling equipment is eliminated since the system have been designed as wearable technology. In addition, thanks to the ability of instant communication with the command and control center, the condition of the fireman would be informed immediately and thus making subjective decisions are prevented. It is used in dumps, mines, wells, garbage dumps, chemical wastes, etc.

Article Info:

Research Article
Received: 24.11.17
Accepted: 25.05.18

DOI:

10.17341/gazimmfd.460513

Acknowledgement:

Technical support was obtained from Metropolitan Municipality Fire Department of Konya. It was supported by the Scientific Research Projects Unit of Selçuk University with project number 14101010.

Correspondence:

Author: Engin Eşme
e-mail: eesme@selcuk.edu.tr
phone: +90 506 633 5384



Güvenlik takibi için sensör füzyonlu akıllı giysi tasarımı

Engin Eşme^{1*}, Bekir Karlık²

¹Bilgisayar Programcılığı Bölümü, Selçuk Üniversitesi Kulu Meslek Yüksekokulu, Konya, 42770, Türkiye

²Elektrik Mühendisliği ve Bilgi Teknolojileri Bölümü, Tirana Metropolitan Üniversitesi, Rruga Sotir Kolea, Arnavutluk

ÖNEÇIKANLAR

- Kurtarma ekipleri için akıllı kıyafet tasarımı
- Makine öğrenmesi yöntemleri ile tehlikeli gaz sınıflama
- Sensör füzyonlarını uzaktan algılama ve görüntüleme

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 24.11.2017

Kabul: 25.05.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.460513

Anahtar Kelimeler:

Giyilebilir sensörler,
örüntü tanıma,
uzaktan algılama,
gaz algılama

ÖZET

Giyilebilir teknolojiler, buldukları ortama ait önemli verileri eş zamanlı olarak elde etme, uzağa ileme ve görüntüleme gibi işleri yerine getirirler. Arama kurtarma süreçlerine uygun olarak geliştirilecek akıllı giysiler, personelin can güvenliğini artırabilir ve müdahalenin daha etkin olmasını sağlayabilir. Bu çalışmada, kaza yerinin çevresinde bulunan hayati tehlike arz eden gazlar, ortamın oksijen miktarı, sıcaklığı ve kurtarma personelinin hareketsizlik hali bilgilerinin elde edilerek uzaktan izlenebilmesi için akıllı bir sistem tasarlanmıştır. Geliştirilen bu sistem ile arama kurtarma ekip amiri kaza yerine ait bilgilere dayalı olarak tehlike analizini daha detaylı bir şekilde yapabilmektedir. Sistem 2 elektrokimyasal gaz sensörü, 2 metal oksit yarıiletken gaz sensörü, bir sıcaklık sensörü, bir hareket sensörü ve kablosuz haberleşen bir mikrodenetleyici platformundan meydana gelmektedir. Bu geliştirilmiş prototipin geleneksel yöntemlerden başlıca farkı, olay yerinde karşılaşılan gazın yanıcı patlayıcı, kimyasal sıvı buhar veya boğucu gruba ait olduğu bir makine öğrenme algoritması ile tespit edilmesidir. Sınıflama sürecinde gazların muhtemel karışımları ve temiz hava durumu da dikkate alınarak beş adet sınıf oluşturulmuştur. Üç farklı yöntemin karşılaştırmalı deneysel çalışmaları sonucunda, k-NN yöntemi kullanılarak %94,25 sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. Tasarlanan akıllı giysi, afet bölgesinin keşif sürecini, müdahalenin planlanmasını ve gerçekleştirilmesini daha verimli ve güvenilir hale getirmek için kullanılabilir.

Design of intelligent garment with sensor fusion for rescue teams

HIGHLIGHTS

- Intelligent garment design for rescue teams
- Hazardous gas classification using machine learning methods
- Remote sensing and monitoring of sensor fusions

Article Info

Research Article

Received: 24.11.2017

Accepted: 25.05.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.460513

Keywords:

Wearable sensors,
pattern recognition,
remote sensing,
gas sensing

ABSTRACT

Wearable technologies fulfill tasks such as acquiring important data, transmitting and displaying. Smart garments will be developed in order to increase the safety of personnel and make intervention more effective. In this study, an intelligent system has been designed for remote monitoring of the hazardous gases around the disaster area, the concentration of oxygen level in the environment, the ambient temperature and the mobility of the rescue team members. The search and rescue team leader can do the hazard analysis in more detail based on the accidental information using the developed system. The system consists of 2 electrochemical gas sensors, 2 metal oxide semiconductor sensors, a temperature sensor, a motion sensor, and a wireless communicating microcontroller platform. The main difference of this developed prototype from conventional methods is to determine by a machine learning algorithm in which the gas encountered at the incident site belongs to the flammable-explosive, chemical liquid vapor or stifling group. Five classes have been created in the classification process by taking into consideration the fresh air and possible mixtures of gases. As a result of comparative experimental studies of three different methods, 94.25% classification accuracy was obtained by k-NN using method. The proposed smart garment can be used to explore disaster area for planning and intervention processes, and to make the operation more efficient and reliable.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: eesme@selcuk.edu.tr, bkarlik@umt.edu.al / Tel: +90 332 641 4159

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tüm doğal afetlere, büyük kazalara ve terör olaylarına müdahale mutlaka hızlı bir şekilde yapılmalıdır. Zira, müdahalede gecikme daha büyük maddi ve manevi kayıplara neden olmaktadır. Yangın tehlikesinin daha iyi anlaşılması ile tehlike algısı ve risk değerlendirme yetisinde gelişme sağlanarak korunma tedbirlerine verilen önem artırılmaktadır. Bu bağlamda, arama kurtarma ekiplerinin olay yerine ait bilgileri ve karşı karşıya kalacağı riskleri önceden bilmesi müdahalenin etkin olabilmesi açısından gereklidir. Acil müdahale kurumlarının başında itfaiye gelir ve özellikle yangın olaylarında hızlı ve etkin bir şekilde çalışmak zorundadır. Yanma esnasında yanan maddenin cinsine göre sıcaklık yükselmesi, ısıma, zehirli gazların açığa çıkması gibi çeşitli fiziksel ve kimyasal etkiler gözlenir. Ticarileşmiş yangın detektörlerinin çalışma prensipleri bu fiziksel ve kimyasal etkileri ölçmeye dayanır. Örneğin kimyasal gaz sensörleri açığa çıkan gazın kimyasal özelliğine göre tepki verir. Sıcaklık yükselmesine termal detektörler duyarlıdır. Duman içindeki partikül yoğunluğu iyon veya optik detektörler ile algılanabilir. Yayılan ışınım miktarı ise kızılötesi detektörler ile ölçülebilmektedir. Birçok yangında yanma çok yavaş ve hatta alevsiz başlamaktadır. Haliyle mevcut yangın detektörleri kullanılarak yangının başladığının anlaşılması ve açığa çıkan zehirli gazların algılanması zordur [1]. Günümüzde çeşitli ticari ürünler üretilmiş olmasına rağmen tehlikeli gazların algılanmasındaki problemler tümüyle çözülebilmemiş değildir [2]. Sensör cevap süresinin uzun olması, düşük hassasiyet, düşük seçicilik, çapraz hassasiyet, uzun süreli kullanımlarda oluşan kayma, aşındırıcı maddelerden etkilenme, sürtünmeye ve harekete karşı duyarlılık, çevresel faktörlerin oluşturduğu gürültüler ve ölçme hataları, fiziksel boyutların yeterli kadar minyatürleştirilememesi, yüksek enerji tüketimi, üretim zorlukları ve maliyetler sensör tipine göre değişen baş edilmesi gereken önemli sorunlardır [3, 4]. Yangına müdahale sürecinde yangının sıçrayabileceği yakın çevrede bulunabilecek gazların neler olduğunu anlamak için daha gelişmiş ve daha yetenekli algılayıcılara ihtiyaç vardır [5]. Bu nedenle tehlikeli gazların algılanması için hem farklı sensör teknolojileri hem de gaz tanıma amaçlı sistemler üzerine çalışmalar sürdürülmektedir. Bu çalışmaların bir kısmı sensörlerin hassasiyet, seçicilik, tepki süresi gibi fiziksel karakteristiklerini iyileştirmeye yönelik araştırmalardan oluşur. Gaz sensör tiplerinin ve sensörlerde kullanılan algılayıcı materyallere göre performans karşılaştırmalarının bir literatür özeti Liu ve ark.'ları tarafından sunulmuştur [4]. Bir kısım araştırma ise gazları daha iyi ayrıştırabilecek öznelikleri belirleyebilen istatistik ve makine öğrenmesi yöntemlerini incelemektedir. Örneğin, Shang ve ark. kokuların moleküler özellikleri ile memelilerin koku soğanındaki sinirsel cevaplarının örüntüsünü ilişkilendirmişlerdir [6]. Temel bileşenler analizi, kümeleme analizi, t-dağıtık olasılıklı yakınlık gömmesi metodları örüntünün karakteristik değişkenlerini seçmek ve koku verisini daha küçük boyuta indirgemek için kullanılmıştır. Araştırmalarında birkaç farklı yapay sinir ağı modeli ile veri

setinin yüksek doğrulukla sınıflanabildiğini göstermişlerdir. Uçar ve Özalp, gaz verisi elde etmek için MOS sensörlerinden oluşan bir elektronik burun tasarlamışlardır [7]. Örneklenen gaz verileri 5 bölümde incelenerek her bölümden ortalama, entropi ve varyans olmak üzere 3'er öznelik elde edilmiştir. Çalışmada koku sınıflama için önerilen aşırı öğrenme makineleri bilinen diğer sınıflayıcılar ile karşılaştırılmıştır. Bir diğer kısım araştırmalar ise gaz verileri için sınıflama algoritmalarını iyileştirmeye yönelik metodları kapsar. Örneğin Peng ve ark. parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile aşırı öğrenme makinelerinin kernel fonksiyon parametrelerini optimize ederek elektronik burun performansını iyileştirmişlerdir [8]. Jia ve ark. veri azaltmak için lineer diskriminant analizi yöntemini kullanmışlardır ve gaz verilerini sınıflamak için kernel entropi bileşen analizi yöntemini önermişlerdir [9].

Kurtarma sürecinde verimliliğin yükseltilmesi amacı ile olay yerine ait sıcaklık, oksijen konsantrasyonu, tehlikeli gazların varlığı, kurtarma personelinin hareketsizlik ve konum bilgisi gibi bilgilerin elde edilmesi ve bu bilgilerin kontrol merkezlerine aktarılmasını sağlayacak modern ve portatif cihazlara ihtiyaç duyulmaktadır. Endüstrinin çeşitli uygulamalarında bile hareket halinde birtakım verilerin elde edilmesi ve uzak sistemlere iletilmesi gerekir. Hareketliliği kısıtladığı için elde teçhizat taşımak bir dezavantajdır. Kurtarma ekipleri için el cihazından ziyade robot veya kıyafet ile bütünleştirilmiş teçhizatlar daha işlevseldir. Bu gereksinimlerden ötürü elektronik, bilgisayar, mekanik ve malzeme gibi birçok disiplinin bir araya gelmesi neticesinde giyilebilir teknolojiler ortaya çıkmıştır. Giyilebilir teknolojiler fiziksel işaretleri algılayan sensörleri, sensör verilerini işleyen ileri teknoloji elektronik elemanları ve bir amaca yönelik aktüatörleri tekstil ürünleri ile birleştiren sistemlerdir [10, 11].

Giyilebilir teknolojiler acil durumlara müdahale eden kurtarma ekiplerinin can güvenliğini ve müdahale sürecinin etkinliğini artırmada önemli rol oynamaktadır. ProeTEX bu konuda Avrupa Birliği tarafından finanse edilen çok uluslu araştırma projelerinden biridir [12]. Proje bir iç giysi, bir dış giysi ve bir çift bot olmak üzere üç alt kısımdan oluşur [13]. İç giysi, kardiyopulmoner parametreleri ve vücut sıcaklığı ölçen tekstil sensörler ile elektronik donanımı barındıran esnek bir banttan oluşur. Cilt ile temas halinde olan sensörler ile iletişim esnek iletken iplikler sayesinde sağlanır. Dış giysi, çevre ısısını algılayan sıcaklık sensörü, yakındaki gazları algılayan bir gaz sensörü, GPS konum sensörü, hareket halindeki aktiviteleri algılayan iki adet akselerometre sensörü ve tüm bu sensörlerin elektronik devrelerini içerir. Bot havadan ağır olan karbondioksit gazını algılayan bir gaz sensörü ve kullanıcının yere basıp basmadığını takip etmek üzere bir sensör içerir. Radu ve ark. tarafından tasarlanan botun gaz algılama modülü botun içine yerleştirilmiş CO₂ sensörü ve Zigbee modemden oluşur [14]. 100ppm üzerindeki CO₂ konsantrasyonlarını yüksek doğrulukla algılamaktadır. Bu projede toplanan tüm veriler kıyafete entegre edilmiş WiFi kablosuz iletişim yöntemi ile

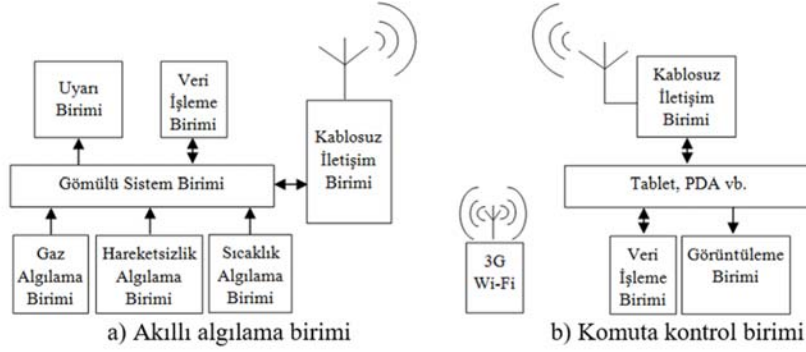
görüntüleme merkezine iletilmektedir. Michahelles ve arkadaşları çığ altında kalan kazazedeleri kurtarma amaçlı bir akıllı elbise geliştirmiştir [15]. Kazazedelerin, göğüs bölgesine yerleştirilmiş bir ECG ve ayak parmağına yerleştirilmiş bir oksimetre bulunur. Böylece kandaki hemoglobin seviyesi, kalp ritmi ve solunum aktivitesi ölçülerek kazazedeler arasında aciliyet hesaplaması yapılabilmektedir. Ek olarak hareketsizlik durumunu ve konum bilgilerini de içeren veri paketini sürekli olarak yayımlamaktadır. WiFi ile 50cm karla kaplı bir alandan 80m mesafeye kadar iletişim sağlanabilmiştir. Bu veriler kurtarma ekipleri tarafından avuç içi bilgisayardan izlenebilmektedir. Yangın söndürme ekibinin güvenliğini artırmayı amaçlayan bir başka proje ise TDC Mobil ve Sistemik Yazılım Mühendisliği tarafından Danimarka'da geliştirilen IP Firefighter isimli projedir [16]. Geliştirilen kıyafette tehlikeli gazları, oksijen tüpü seviyesini, kalp ritmini, vücut sıcaklığını ve konumu algılayan sensörler ve bir mikrodenetleyici kullanılmıştır [17]. Sistem ekipte kimler var, konumları nedir, ne kadar süredir kurtarma operasyonunda yer almıştır ve sağlık durumları gibi verileri elde ederek takım liderinin kullandığı bir mobil aygıtta WiFi iletişim ile gönderir. Eğer bir itfaiyeci zorlu bir durum ile karşılaşırsa sistem otomatik bir alarm sinyali üretmektedir. Ydreams firması tarafından yürütülen I-Garment Smart Suit isimli proje ise giysi, sensör ve veri toplama altyapısı, telekomünikasyon, ve yazılım olmak üzere dört temel kısımdan oluşur [18]. Uydu bağlantısı üzerinden sivil savunma birimi idare merkezi ile iletişim kurularak itfaiyecinin vücut sıcaklığı, vücut pozisyonu (yatay/dikey), kalp ritmi ve konum bilgilerinin iletilmesi amaçlanmıştır. Projede GSM bağlantılarının yoğunluğundan kaynaklanan iletişim problemlerini çözmek için uydu bağlantısı kullanılmıştır. Proje Avrupa Uzay Ajansı tarafından uydu iletişimi açısından desteklenmektedir ancak henüz ticarileştirilmemiştir [19]. Viking ve Ohmatex firmaları ortak bir çalışma ile yangın söndürme ekipleri için üzerinde termal sensör teknolojisi bulunan bir akıllı kıyafet üretmişlerdir [20]. Kıyafet sol omuz ve sırt bölümlerinde bulunan LED gösterge ile dış ortam ve elbisenin içindeki sıcaklık durumuna göre kullanıcı ve etrafındakileri bilgilendirmektedir. Elbisenin iç sıcaklığı 50°C ve dış sıcaklığı 250°C dereceye ulaştığında LED yavaşça yanıp sönmektedir. İç sıcaklık 68°C ve dış sıcaklık 350°C dereceye ulaştığında ise LED hızlı bir şekilde yanıp sönmektedir [21]. Bu çalışmanın amacı arama kurtarma ekiplerinin içinde buldukları ortama ait sıcaklık, oksijen konsantrasyonu, tehlikeli gaz tipi verilerinin ve ekip üyesinin hareketsizlik halinin elde edilerek tüm bu bilgilerin komuta kontrol merkezine eş zamanlı aktarılmasını sağlayacak akıllı bir giysi tasarımıdır. Projedeki temel tasarım yaklaşımı, taşınabilirliğin şart olduğu gömülü sistem mimarisini kullanmaktır. Projenin gerçekleştirilmesinde kullanılan teknolojilerin başlıcaları algılayıcılar, veri toplama, örüntü tanıma, gerçek zamanlı gömülü sistemler, kablosuz iletişim teknolojileridir. Bu projede bir örüntü tanıma yöntemi ile eş zamanlı olarak tehlikeli gazın tipinin tespit edilmesi geleneksel yöntemlere göre yenilik sağlamaktadır. Sistem giyilebilir teknoloji olarak tasarlandığı için teçhizat taşıma

dezavantajı ortadan kalkmaktadır. Ayrıca komuta kontrol merkezi ile anlık iletişim söz konusu olduğundan görev başındaki personelin içinde bulunduğu durumdan anında haberdar olunabilmektedir ve dolayısıyla öznel kararlar vermesi önlenebilmektedir.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Geliştirilen prototip, akıllı algılama birimi ve komuta kontrol birimi olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Akıllı algılama birimi elektronik donanım ve yazılımdan oluşan akıllı giysidir. İçerdiği gaz algılayıcıları ile hava örneğinde parlayıcı-patlayıcı, kimyasal sıvı buharı, boğucu ve bu gazların muhtemel karışımlarının varlığını bir makine öğrenmesi algoritması ile tespit etmektedir. Ek olarak ortam sıcaklığı, ortamdaki oksijen miktarı ve kurtarma personelinin hareketsizlik durumuna ait verileri kablosuz iletişimle komuta kontrol birimine iletmektedir. Tehlike durumunda kurtarma personeline sesli ve ışıklı uyarı vermektedir. Gaz tipi belirlemek için hava örneği kıyafetin ön-orta tarafında açılan bir kanaldan alınmaktadır. Elektronik devreler kıyafetin iç astarına yerleştirilmiştir. Uyarı ışıkları kıyafetin kol bölgesindedir. Sensörler, sürücü devreleri, mikrodenetleyici ve Wi-Fi modemden oluşan tüm elektronik donanım 300mA akım çekmektedir. Kullanılan 5000mA/h batarya ile 10 saatin üzerinde çalışma süresine sahiptir. Komuta kontrol birimi kurtarma sürecini yöneten arama kurtarma ekip amiri tarafından kullanılan birimdir. Komuta kontrol birimi bir 3G modem, kapsama alanını genişleten dış ortam erişim noktası ve android tabanlı bir mobil aygıttan oluşmaktadır. Mobil aygıtta gaz sensör verilerini, ortam sıcaklığını ve hareketsizlik durumunu görüntüleyen yazılım çalışmaktadır. Kablosuz iletişim için 802.11 WLAN standartlarında çalışan ağ cihazı kullanılmıştır. Şekil 1'de tasarıma ait bir şema ve Şekil 2'de prototipin fotoğrafı görülmektedir.

Şekil 3a'da, akıllı algılama biriminde çalışan yazılımın genel yapısını özetleyen bir akış şeması görülmektedir. Sistem öncelikle bir kontrol işlemi ile sistemde bulunan donanımları denetler. Kablosuz yerel ağa bağlantı yapılır. Mikrodenetleyicinin portlarını okuyarak sensör değerlerini alır. Sensörden okunan değerler üzerinde ön işleme yapılır. Ön işleme, hareketli ortalamalar yöntemi ile sensör sinyalinde oluşabilecek gürültülerin filtrelenmesi ve sinyalin 0-1 aralığına ölçeklenerek yazılımda kullanılan biçimine dönüştürülmesi işlemlerinden oluşur. Hareket sensörünün değeri bir önceki okumadaki değeri ile karşılaştırılarak bayılma durumu takip edilir. Tüm kısımlar için önceden belirlenen sınır değerlere göre tehlike şartlarının oluşup oluşmadığı tespit edilir. Eğer problem varsa uyarı mesajı üretilir. Kesikli çizgi ile gösterilmiş sınıflayıcı akıllı algılama birimi tarafında da çalıştırılabilir fakat bu prototipte donanım olarak daha güçlü olduğu için kontrol birimi tarafı tercih edilmiştir. Süreç içerisinde kontrol merkezinden veri talebi gelmektedir. Tüm sensörlerden elde edilen veriler istemciye kodlanarak gönderilir. Eş zamanlı olarak veriler depolama birimine sistemli bir şekilde yazılır.



Şekil 1. Tasarlanan sisteme ait şema (Block diagram of the designed system (a) Intelligent sensing unit (b) Command control unit)

Şekil 3b’de ise, komuta kontrol biriminde çalışan yazılımın genel yapısını özetleyen bir akış şeması ve Şekil 5’de geliştirilen kullanıcı arayüzü görülmektedir. Mobil aygıt kablosuz ağa bağlandıktan sonra kullanıcı, listele seçeneğine tıklayarak kablosuz ağda aktif olan akıllı kıyafetlerin listesine ulaşır. Kullanıcı, listeden bağlantı kurmak istediği ekip üyesini seçer ve veri toplama anahtarına basarak akıllı giysiden veri transferini başlatır. Alınan veri paketinin kodu çözülür. Ekrandaki göstergeler güncellenir. Bir makine öğrenmesi algoritması kullanılarak ortamdaki gazın tipi belirlenir. Eş zamanlı olarak veriler depolama birimine sistemli bir şekilde yazılır. Herhangi bir anda bir akıllı giysi ile iletişim sonlandırılarak kablosuz ağdaki başka bir akıllı giysi ile bağlantı yapılabilir. “Bağlantı kuruldu”, “Veriler alınıyor” ve “Bağlantı koptu” gibi mesajlar ile kullanıcıya geri bildirimler verilir.



Şekil 2. Geliştirilen prototip. 1) Giysi 2) Telsiz 3) Kulak içi kulaklık 4) Astar içine yerleştirilmiş elektronik donanım 5) Kıyafetin ön orta bölümüne açılmış hava kanalı ve gaz sensörleri 6) LED gösterge 7) 3G WiFi Modem ve dış ortam erişim noktası 8) Gaz sensörleri 9) Sensör devreleri 10) Mikrodenetleyici 11) Buzzer 12) İvmeölçer (The developed prototype (1) Garment (2) The radio (3) In-ear headphones (4) Electronic equipment installed in the undercoat (5) the fund on the front-center side of the garment and gas sensors (6) LED display (7) 3G WiFi Modem and outdoor access point (8) Sensors (9) Sensor circuits (10) Microcontroller (11) Buzzer (12) Accelerometer)

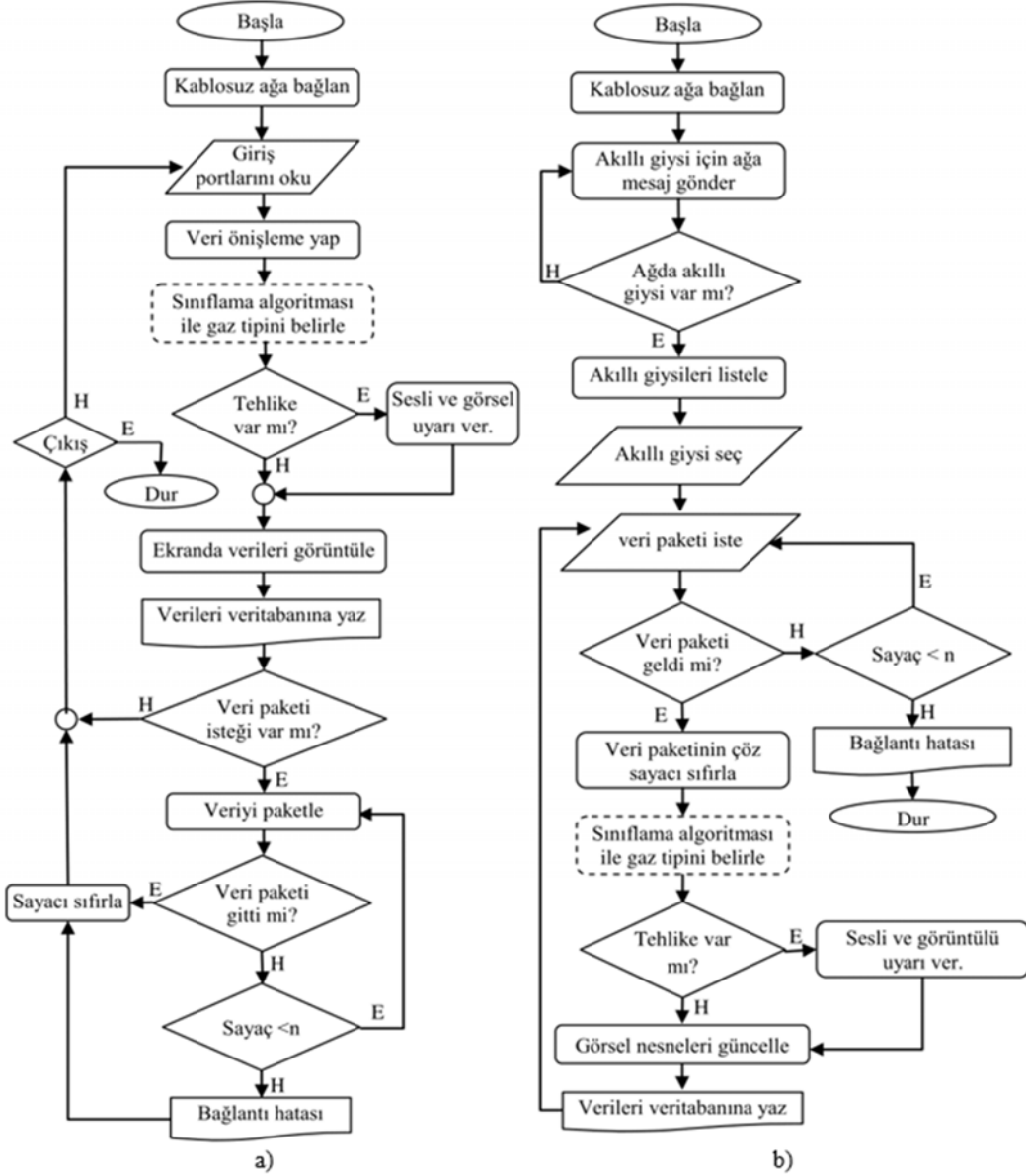
Geliştirilen prototipte veri toplama, işleme ve iletme işlemleri için Arduino platformunun Yun modeli kullanılmıştır. Yun kartı sahip olduğu Wi-Fi modülü ile bir kablosuz ağa bağlanabilir. Kablosuz sensör ağları kurmak için uygun bir aygıttır.

2.1. Gaz Algılama Birimi (Gas Detection Unit)

Kaza ortamında tehlikeye sebep olan gazlar bu çalışmada, parlayıcı-patlayıcı, kimyasal sıvı buharı, boğucu ve bunların karışımları olmak üzere dört grupta ele alınmıştır. Temiz hava durumu da göz önüne alınırsa beş sınıf oluşmaktadır. Kaza yerinde karşılaşılabilecek bu tehlikeli gazlar Çinli üretici Winsen Elektronik firmasının kataloğundaki MC, MP, MQ ve ME serisi farklı teknolojilere sahip gaz sensörleri ile ölçülmüştür. Deneylerde hem sensörlerin hassas olduğu hedef gaza verdiği tepki hem de çapraz hassasiyet özelliğinden dolayı diğer gazlara verdiği tepkiler dikkate alınmıştır. Denemeler sonucunda hedeflenen sınıflama için elverişli veriler üreten MP3, MQ2, ME2CO, ME2O2 sensörlerinden oluşan sensör dizisi tercih edilmiştir. MP3 alkol ve türevlerine karşı, MQ2 parlayıcı-patlayıcı gazlara karşı, ME2CO karbon monoksitine karşı ve ME2O2 oksijene karşı yüksek hassasiyet gösterir. MP ve MQ serisi sensörler metal oksit yarı iletken teknolojisine göre [22] ve ME2CO, ME2O2 ise elektrokimyasal sensör teknolojisine göre çalışan sensörlerdir [23]. Son haliyle gaz algılama birimi 4 adet sensörden ve sensörlerin besleme ve yükselteç devrelerinden oluşmaktadır. Gaz sensörlerinin çıkışları yükselteç devresinde 0-5V aralığında ölçeklenmiştir. Konya İtfaiye Dairesi’nin ihtiyaçları doğrultusunda belirlenen tehlikeli gazlar ve kullanılan sensörlere bağlı olarak algılanan gazların sınır değerleri Tablo 1’de listelenmiştir.

2.2. Gaz Tipi Belirleme Birimi (Gas Type Determination Unit)

Gaz tipi belirleme birimi, sınıflayıcı ve çoğunluk hesaplaması olmak üzere iki adımda gerçekleşir. Sınıflayıcı algılanan gazın ait olduğu grubu belirleyen bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Deneysel çalışmada Naive Bayes (NB), k -En Yakın Komşu (k -NN) ve Aşırı Öğrenme Makineleri (ELM) olmak üzere üç adet sınıflayıcı, performansı etkileyen parametrelerinin farklı değerleri de göz önünde bulundurularak test edilmiştir. Çoğunluk



Şekil 3. a) Akıllı algılama birimi b) Komuta kontrol birimi (a) Intelligent sensing unit b) Command control unit)

Tablo 1. Tehlikeli gazlar ve sınırlar (Hazardous gases and detectable limits)

Gazın adı	Algılanabilen konsantrasyon sınırları
Hidrokarbonlar	200ppm-10000ppm (Bütan, Metan, LPG, Doğal gaz)
Kimyasal sıvı buharları	10ppm-2000ppm (Alkol, Etanol, Aseton, Asetat)
Karbon monoksit	0ppm-1000ppm
Oksijen	0-25Vol

hesaplaması ise sınıflayıcı tahminindeki hataları azaltmak için uygulanan bir filtreleme yöntemidir.

2.2.1. *k*-En yakın komşu algoritması (*k*-Nearest neighbour algorithm)

k-en yakın komşu algoritması 1951 yılında Fix ve Hodges tarafından duyurulan örnek tabanlı bir sınıflama

algoritmasıdır [24]. *k*-NN, özellikle daha az sayıda sınıf için değerlerinden daha basit ama etkili bir makine öğrenme algoritmasıdır. Örnek tabanlı sınıflandırma yöntemleri eğitim kümesindeki sınıfı bilinen örüntüleri kullanarak yeni örüntünün sınıfını tahmin etmeye dayanır. *k*-NN yeni örüntü ile eğitim kümesindeki örüntülerin benzerliğini araştırır. Öncelikle bütün örüntüler *n* boyutlu uzayda bir noktaya karşılık düşürülür. Benzerlik, sınıfı tahmin edilmek istenen

örüntü ile eğitim kümesindeki örüntülerin öznelik vektörleri arasındaki uzaklıkları hesaplanarak bulunur. Yeni örneğin sınıf etiketi veri setindeki en yakın k adet komşudan çoğunlukta olanının sınıfına eşittir.

$$dist_i = \|X^u - X_i^j\| \quad (1)$$

Sınıfı bilinmeyen örüntünün öznelik vektörü X^u ile eğitim kümesindeki tüm örüntülerin öznelik vektörleri X_i^j arasındaki mesafe $dist_i$ Eş. 1'deki gibi hesaplanır. n boyutlu uzayda $x_i = (x_1, x_2 \dots x_n)$ ve $y_i = (y_1, y_2 \dots y_n)$ gözlemleri arasındaki doğrusal uzaklığı hesaplamak için en yaygın kullanılan metrikler Eş. 2-Eş. 7 de listelenmiştir. [25, 26]:

Manhattan Mesafesi: Gözlemlerin mutlak uzaklıklarının toplamı hesaplanır.

$$\sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (2)$$

Euclidean (Öklid) Mesafesi: Dik üçgendeki Pisagor teoreminin uygulamasıdır.

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (3)$$

Chebyshev Mesafesi: Gözlemlerin arasındaki en uzak boyuttaki uzaklıktır.

$$\max_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (4)$$

Minkowski Mesafesi: Gözlemlerin mutlak uzaklıklarının p . kuvvetlerinin toplamının p . dereceden kökü alınarak hesaplanır.

$$\sqrt[p]{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p} \quad (5)$$

Mahalanobis Mesafesi: Gözlemlerin davranışlarını dikkate alarak kovaryansı (C) hesaplamaya dahil eder.

$$(x_i - y_i)C^{-1}(x_i - y_i)^T \quad (6)$$

Kosinüs Mesafesi: Gözlemlerin birbiriyle olan ilişkisi kosinüs fonksiyonu ile açıklanır.

$$1 - \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2}} \quad (7)$$

k -NN, özellikle daha az sayıda sınıf için diğerlerinden daha basit ama etkili bir makine öğrenme yöntemidir [27].

2.2.2. Aşırı Öğrenme Makineleri (Extreme Learning Machines)

Aşırı Öğrenme Makineleri, Huang ve arkadaşları tarafından tek gizli katmana sahip ileri beslemeli yapay sinir ağlarının eğitmesi için önerilmiştir [28]. Diğer eğitime yöntemlerinden farklı olarak girdi katmanı ile gizli katman arasındaki ağırlıklar sabit tutulurken çıktı katmanı ile gizli katman arasındaki ağırlıklar tek bir adımda analitik olarak

hesaplanır. ELM son derece hızlı bir eğitim metodu olmasıyla birlikte yüksek genelleme performansına sahiptir. Gizli katmanda \tilde{N} adet nöron ve aktivasyon fonksiyonu $g(x)$ olan ileri beslemeli bir yapay sinir ağı Eş. 8 ile gösterilir.

$$O_j = \sum_{i=1}^{\tilde{N}} \beta_i g_i(x_j) = \sum_{i=1}^{\tilde{N}} \beta_i g_i(w_i \cdot x_j + b_i), j = 1..N \quad (8)$$

N adet gözlem (x_i, t_i) için, giriş vektörü $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}]^T \in R^n$ ve hedef sınıflar $t_i = [t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{im}]^T \in R^m$, i . gizli düğüm ile giriş düğümleri arasındaki ağırlık vektörü $w_i = [w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in}]^T$, i . gizli düğüm ile çıkış düğümleri arasındaki ağırlık vektörü $\beta_i = [\beta_{i1}, \beta_{i2}, \dots, \beta_{im}]^T$, b_i gizli katmanın bias düğümü ve O hesaplanan sınıf değeridir. Eş. 8 aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$H\beta = T \quad (9)$$

$$H = (w_1, \dots, w_{\tilde{N}}, b_1, \dots, b_{\tilde{N}}, x_1, \dots, x_N) = \begin{bmatrix} g(w_1 \cdot x_1 + b_1) & \dots & g(w_{\tilde{N}} \cdot x_1 + b_{\tilde{N}}) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ g(w_1 \cdot x_N + b_1) & \dots & g(w_{\tilde{N}} \cdot x_N + b_{\tilde{N}}) \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_1^T \\ \vdots \\ \beta_{\tilde{N}}^T \end{bmatrix} \text{ ve } T = \begin{bmatrix} t_1^T \\ \vdots \\ t_N^T \end{bmatrix} \quad (11)$$

Burada H gizli katmanın çıkış matrisidir. İleri beslemeli ağları eğitmek için β_i^T and w_i^T vektörleri gradyan tabanlı öğrenme algoritmaları ile yinelemeli olarak hesaplanır. ELM metodunda ise genelleştirilmiş ters Moore Penrose matrisi kullanılır.

$$\hat{\beta} = H^+ T \quad (12)$$

Burada, H^+ ise genelleştirilmiş ters Moore Penrose matrisi ve $\hat{\beta}$ yaklaşık çıkış ağırlıkları vektörüdür.

2.2.3. Naive Bayes Sınıflayıcı (Naive Bayes Classifier)

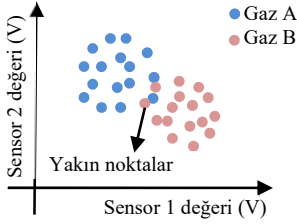
Belirli bir sınıf için özelliklerin bağımsız olduğunu varsayarak öğrenen Naive Bayes sınıflandırıcı, eğitim kümesindeki sınıfı bilinen örüntüler üzerinde yapılan olasılık işlemlerine göre yeni örüntünün sınıflara olan üyelik olasılığını hesaplar [29]. Naive Bayes teoremine göre yeni bir X örneğinin sınıfı Eş. 13 ile hesaplanır.

$$c(X) = \arg \max_{c \in C} P(c) \prod_{i=1}^n P(x_i | c) \quad (13)$$

n boyutlu uzayda $X = (x_1, x_2 \dots x_n)$ gözlemleri eğitim setini oluşturur. C sınıf değişkenlerini temsil etmek üzere c sınıf değişkenlerinin değerini gösterir. Olasılık modelinin kesin doğasına bağlı olarak, Naive Bayes sınıflandırıcıları denetimli öğrenme ortamında çok verimli bir şekilde eğitebilir. Ancak gözlemlerde yüksek korelasyon söz konusu ise kötü performans gösterir.

2.2.4. Çoğunluk Hesaplaması (Majority Calculation)

Gaz tipi belirlenirken herhangi bir anda alakasız bir sınıf etiketinin üretilmesi sınıflama sürecinde karşılaşılan bir problemdir. Bu hata çevresel bir gürültü oluşması halinde, sensörlerin gaz ile ilk karşılaştığı veya hava ile temizlendiği esnasındaki geçiş evrelerinde veya sensörlerin minimum ve maksimum algılama sınır değerlerine yaklaştığında anlık olarak ortaya çıkmaktadır. Ek olarak Şekil 4'deki grafikte gösterildiği üzere farklı gazların farklı konsantrasyonlarının sensörlerde benzer etkiyi oluşturması sonucu bazı gazları temsil eden öznitelik değerleri birbirine çok yaklaşır ve hatta kesişir. Gazların homojen dağılım gösterdiği bilindiğine göre bir ortamda arka arkaya ölçülen n adet örnek Gaz A olup n+1 ve n+2'inci örnekler Gaz B ölçülmüşse ve sonrasında Gaz A verisi elde edilmeye devam ediliyorsa n+1 ve n+2. sonuçlar hatalıdır. Bu sorun ortamdaki gaz değişim eğiliminin hangi yönde olduğu dikkate alınarak çözülebilir. Özetle, gelen her yeni sorgu vektörü için elde edilen sınıf etiketi sonucu n elemanlı bir vektörde tutularak, son n adet örnek içerisinde çoğunlukta olan sınıf nihai sınıf etiketi olarak kabul edilmiştir ve çoğunluk hesaplaması olarak adlandırılmıştır.



Şekil 4. Gaz verilerinin dağılımı (Distribution of gas data)

2.3. Hareket Algılama Birimi (Motion Detection Unit)

İtfaiye erinin müdahale sürecinde hareketsiz kalma, bayılma, durumunun bilinmesi de hayati önem taşımaktadır. Eğitim, kuvvet ve esneklik sensörleri incelenmiş fakat bahsedilen hareketsizlik durumunun tespiti için ivmeölçer kullanılması en uygun çözüm olarak tercih edilmiştir. Prototipte MEMS teknoloji ile üretilmiş üç eksen jiroskop, üç eksen ivmeölçer, pusula ve yükseklik sensörleri barındıran Pololu-AltIMU10 sensör ünitesi kullanılmıştır. Serbestlik derecesi 10'dur. Jiroskop açısal dengenin korunması ilkesine göre çalışan açısal hız ölçebilen bir cihazdır. Jiroskop sensörler çok hassas olmasına rağmen kayma fazladır. İvmeölçer ise üç ekseninde statik ve dinamik ivmelenmeyi ölçebilmektedir. İvmeölçerler kuvvete karşı çok hassas oldukları için ufak titreşimlerde gürültülü sonuçlara sebep olurlar ancak kayma önemsizdir. Eylemsizlik ölçüm ünitesi (Inertial Measurement Unit - IMU), jiroskop ve ivmeölçer sensörlerinin bir arada kullanımı ile üç boyutlu uzayda hız ve dönme açısını ölçmek için kullanılır.

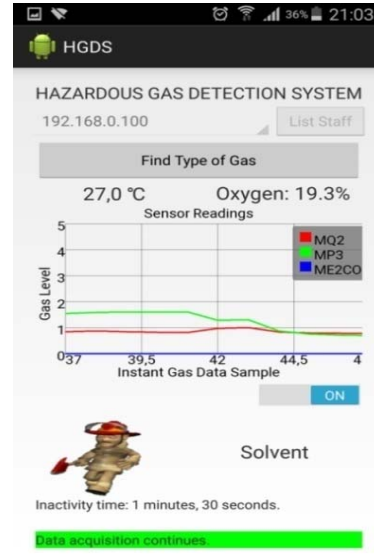
2.4. Sıcaklık Algılama Birimi (Temperature Sensing Unit)

Ortam sıcaklığının takip edilmesi açısından hem de tehlikeli gaz varsa parlama tehlikesi açısından sıcaklığın bilinmesi önemlidir. Prototipte sıcaklık ölçümü için bir analog çıkışa

sahip üç bacaklı LM35 entegresi kullanılmıştır. Entegre -55 ile 150°C arasındaki sıcaklıkları ölçebilmektedir. Bu sensörün çıkışında her 1°C sıcaklık değişimi için 10mV'luk değişim gözlenir.

2.5. Veri Görüntüleme ve Saklama Birimi (Data Display and Storage Unit)

Akıllı giysinin topladığı verileri görüntülemek ve kayıt altına almak için komuta kontrol birimi tarafında Android tabanlı mobil bir cihaz kullanılmıştır. Tasarlanan kullanıcı arayüzü Şekil 5'de görülmektedir. Kullanıcı "List Staff" butonu ile sisteme bağlı olan kurtarma erlerinin listesine ulaşabilmektedir. Seçilen ekip üyesine bağlantı test edilir ve bir onay mesajı durum satırında görülür. Kullanıcı sürgü anahtarı sürükleyerek veri almaya başlar. Gelen gaz sensörü verileri çizgi grafikte görüntülenirken, hareketsizlik durumu da animasyonlu bir şekilde gösterilir. Bunun yanında ortam sıcaklığı ve atmosferdeki yüzdesi cinsinden oksijen miktarı da arayüzden takip edilebilir. Kullanıcı istediği bir anda "gaz tipini bul" butonu ile k-NN algoritmasını çalıştırarak gaz tipini öğrenebilir. Eş zamanlı olarak tüm veriler daha sonra incelenmek üzere bellekte kayıt altına alınır.



Şekil 5. Kullanıcı arayüzü (User interface)

2.6. Kablosuz İletişim Birimi (Wireless Communication Unit)

Akıllı algılama birimi ve komuta kontrol birimi arasında iletişim Wi-Fi arayüzü ile sağlanmaktadır. Prototipte bir TP-Link-3G M5350 Wi-Fi modem kullanılmıştır. Modem en fazla 10 kullanıcıya kadar kablosuz bağlantı sağlayabilmektedir. 2000mAh batarya ile 5-10 saat arasında çalışma süresine sahiptir. Ayrıca 3G desteği ile GSM şebekesi üzerinden internete bağlanabilmektedir. Bu özelliğinden dolayı internet üzerinde herhangi bir uç noktadan olay yeri takip edilebilir. Kablosuz kapsama alanını genişletmek için TP-Link-WA7210N dış ortam erişim noktası kullanılmıştır. 500mW kablosuz transmisyon gücü ve 12dBi dual-polarize yüksek kazançlı anten ile 5km'nin üzerinde kapsama alanını genişletebilmektedir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Akıllı kıyafet tehlikeli gazın tipini, ortam sıcaklığını, kullanıcının hareket durumunu ve ortamın oksijen seviyesini ölçmektedir. Yani veri toplama işlemi akıllı kıyafet ile yapılmaktadır. Toplanan verileri değerlendirme ise donanım olarak daha güçlü olan komuta kontrol biriminde yapılmaktadır. Komuta kontrol birimi, ortam sıcaklığı tehlikeli sınırlar içerisinde mi? Kullanıcı ne kadar süredir hareketsiz? Ortamdaki oksijen miktarı nedir? Tehlikeli gaz var mı ve tipi nedir? sorularına yanıt vermektedir. Sistem temel olarak veri toplama, kablosuz yöntemlerle iletilme ve görüntüleme görevini görür. Gazın tipini belirleme önceden bir öğrenme kümesinin oluşturulması, sensör dizisi ile kaçak gazın ölçülmesi, sınıflama algoritmasının çalıştırılması ve muhtemel hatalı sınıflamaların düzeltilmesi aşamalarından oluşur. Deneysel çalışmada boğucu olarak karbon monoksit; parlayıcı-patlayıcı olarak bütan, LPG; kimyasal sıvı buharı olarak etanol, aseton, asetat kullanılmıştır. Ayrıca kaza ortamında gazların karışımı ile karşılaşma ihtimalinden dolayı karışık sınıfı eklenmiştir. Temiz hava ile birlikte toplam beş adet sınıf oluşmaktadır. Sınıf etiketleri: Temiz hava, boğucu, parlayıcı-patlayıcı, kimyasal sıvı buharı, karışık olarak tanımlanmıştır.

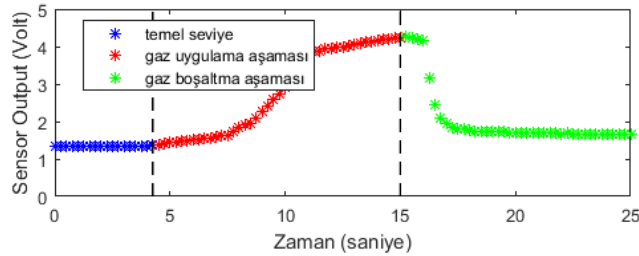
3.1. Gaz Tipi Belirlemek İçin Veri Setlerinin Oluşturulması (Creation of Data Sets to Determine the Gas Type)

Gaz algılama MQ2, MP3, ME2CO ve ME2O2 olmak üzere 4 adet gaz sensörü ile yapılır. Sensörler farklı karakteristiklere sahip olduğu için herhangi bir anda algılanan gaza karşılık her biri farklı bir çıkış sinyali üretir. Dolayısıyla algılanan gazın zaman içerisinde değişen konsantrasyonuna karşılık sensör cevapları algılanan gazın öznelik vektörlerini oluşturur. Sonuç olarak veri setindeki her bir gazın öznelikleri 4 boyutludur. Eğitim seti 3 adımda oluşturulmuştur. Tehlikeden önceki durumu simüle etmek üzere başlangıçta test odasında hava vardır. Sensör dizisi test odasının içerisine yerleştirilir. Sensörlerin temiz havada, kararlı bir çıkış ürettiği temel seviyeye gelmesi birinci adımı

oluşturur. Bir gazın sabit konsantrasyonuna karşılık sensör dizisi de sabit bir örüntü üretmektedir. Ancak tehlike anında olay yerinde bulunan tehlikeli gazın sabit bir konsantrasyonu söz konusu olmadığı için belirli konsantrasyonlarda örnekleme yapmanın da anlamı yoktur. Eğitim seti oluşturulurken amaçlanan hedef gazın farklı konsantrasyonlarına karşılık sensör dizisinden örüntüler elde etmektir. Bu sebeple ikinci adımda örneklenecek gazların konsantrasyonu sensörlerin minimum ve maksimum algılama sınırları arasında artırılarak örneklendirilmiştir. Gazın artan konsantrasyonu ile orantılı olarak sensörlerden gelen sinyalin şiddeti de değişmektedir dolayısıyla sensör dizisinden elde edilen örüntü şekli de değişim gösterir. Gaz konsantrasyonu bir sensörün algılayabileceği maksimum seviyeye geldiğinde sensörün çıkış eğrisinin eğimi de sıfıra yaklaşmaktadır. Son aşamada gaz boşaltılarak sensörler başlangıç durumuna döner. Şekil 6 veri setlerinin oluşturulmasına ait adımları özetlemektedir. Örnek grafikte karbonmonoksit gazı ME2CO sensörü ile 250ms aralıklarla örneklendirilmiştir.

Eğitim seti her bir sınıfı temsil edecek şekilde CO, Bütan, Etanol gazları ve CO-Bütan, CO-Etanol, Bütan-Etanol gaz karışımlarından oluşturulmuştur. Gaz verileri tüm deneylerde 10 bit ADC ile 250ms aralıklarla elde edilmiştir. Gaz ölçümü sonucunda tekrar eden örüntüler eğitim setinden atılarak veri azaltma işlemi uygulanmıştır. Son olarak eğitim seti 0-1 aralığında ölçeklenmiştir. Elde edilen eğitim seti toplam 4 özellik ve 718 örnektir. Eğitim setini oluşturan gaz örneklerinin sınıf etiketlerine göre dağılımı Tablo 2’de ve gaz konsantrasyonu-örnek grafiği Şekil 7’de görülmektedir.

Şekil 7’deki grafikte MQ2 sensör cevabı incelendiğinde kimyasal sıvı buharı ve karbon monoksit için yüksek seviyede bir çıkış ürettiği görülmektedir. Ancak parlayıcı-patlayıcı gazlara karşı MP3 ve ME2CO sensörlerinin duyarlılığı düşüktür. Alkol sensörü olarak bilinen MP3 sensörü ise alkol türevleri içeren kimyasal sıvıların buharlarına karşı yüksek bir hassasiyet gösterir. Karbon monoksite karşı düşük bir hassasiyete sahiptir. ME2CO sensörü karbon monoksite karşı yüksek duyarlıdır ve alkol



Şekil 6. Veri seti oluşturma adımları (Data set creation steps)

Tablo 2. Eğitim setini oluşturan gazların sınıf etiketlerine göre dağılımı
(Classification of gas forming the training set according to class labels)

Sınıf Etiketleri	Temiz Hava	Boğucu	Parlayıcı - Patlayıcı	Kimyasal Sıvı Buharı	Karışım	Toplam
Örnek Sayısı	97	128	134	160	199	718

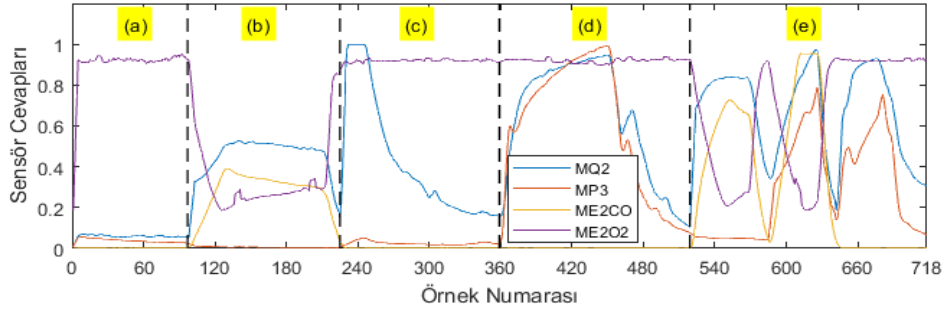
türevlerine karşı düşük duyarlıdır. ME2O2 sensörü de oksijene karşı duyarlıdır ve diğer gazlara karşı düşük duyarlıdır. Özetle gaz sensörleri hedef gaza karşı yüksek hassasiyet gösterirken başka gazlar için de bir cevap üretmektedir. Bu durum çapraz hassasiyet olarak bilinmektedir. Dolayısıyla sensör seviyesinde gerçekte hedef gazın düşük bir konsantrasyonu mu yoksa başka bir gazın varlığı mı söz konusu belirlemek mümkün değildir. Geliştirilen prototip her gaz örneği için tüm sensörlerin her birinin cevabını dikkate alarak bir sınıflama sonucu üretebilmektedir. Böylece gaz tipini sınıflayabilmek için çapraz hassasiyet gerekli öznelik vektörlerini elde etmemizi sağlar. Kullanılan sensör sayısı sınıflanabilen gaz tipi çeşidi ile doğru orantılıdır. Test seti oluşturulurken eğitim setinde bulunmayan aynı sınıftan yeni gazlar da eklenmiştir. Boğucu gaz grubunda karbon monoksit gazı, parlayıcı-patlayıcı grubunda bütan, LPG gazları, kimyasal sıvı buharı grubunda etil alkol, aseton, asetat buharları ve bu gazların çeşitli karışımları ile test seti hazırlanmıştır. Test seti 4 özellik ve toplam 7909 örnek içerir. Tablo 3’de test

setinde kullanılan her bir gazın örnek sayıları görülmektedir. Test örneklerine ait grafik Şekil 9’da görülmektedir.

3.2. Sınıflama Sonuçları (Classification Results)

3.2.1. Sınıflayıcılardan elde edilen sonuçlar (The results obtained from the classifiers)

Deneysel çalışmada k -NN, ELM ve Naive Bayes olmak üzere üç adet sınıflayıcı karşılaştırılmıştır. k -NN sınıflayıcının başarısı metrik uzaklık ve komşu sayısı olmak üzere iki adet parametreden etkilenir. Bu sebeple 6 farklı metrik uzaklık, komşu sayısı k 'nın 1, 3, 5, 7, 9 değerleri için incelenmiştir. k -NN sınıflayıcının sınıflama sonuçları Tablo 4’de verilmiştir. Düğüm sayısı, aktivasyon fonksiyonu ve ağırlıklar ELM sınıflayıcının performansını etkileyen parametrelerdir. ELM ağı, farklı düğüm sayıları ile Eşik (Hard Limit-Hardlim), Sigmoid ve Radyal Temelli Fonksiyon (Radial Basis Function - Radbas) olmak üzere 3 adet aktivasyon fonksiyonu kullanılarak 30 tekrar olmak



Şekil 7. Eğitim setini oluşturan örneklerin grafiği a) Temiz hava b) Boğucu gaz c) Parlayıcı-patlayıcı d) kimyasal sıvı buharı e) karışım. Yatay eksen örnek numarasını dikey eksen 0-1 aralığına ölçeklenmiş konsantrasyonu gösterir. (Graph of the gas samples used in the training set (a) Fresh air (b) Suffocating (c) Explosive (d) Chemical vapor (e) Mixture. Horizontal axis shows sample number. Vertical axis indicates the concentration level normalized to the range of 0-1)

Tablo 3. Test aşamasında kullanılan gazların örnek sayıları (Example numbers of gases used in the test phase)

	Boğucu		Parlayıcı -Patlayıcı		Kimyasal Sıvı Buharı			Karışım			Toplam	
	CO	Bütan	LPG	Etanol	Aseton	Asetat	Bütan & CO	Bütan & Etanol	Etanol & CO	Bütan & CO & Etanol		
Temiz Hava	533	970	448	501	1248	796	1364	530	608	450	461	7909

Tablo 4. k -NN Sınıflama başarı sonuçları (%) (k -NN Classification accuracy results)

k	Manhattan	Euclidean	Minkowski	Chebychev	Mahalanobis	Cosine
1	88,36	88,18	88,18	86,76	90,23	83,60
3	93,56	94,03	94,03	93,72	91,91	90,86
5	93,77	93,87	93,87	93,98	92,07	89,99
7	93,68	93,53	93,53	93,74	91,87	89,29
9	93,40	93,22	93,22	93,11	91,30	88,51
Ortalama	92,55	92,57	92,57	92,26	91,48	88,45

üzere eğitilmiştir. ELM sınıflayıcı sonuçları Tablo 5’de gösterilmiştir. Son olarak Naive Bayes sınıflayıcı ile de sınıflama yapılmış ancak diğer iki yöntemle göre daha düşük %84.73 sınıflama başarısı gözlenmiştir. Kullanılan tüm sınıflayıcıların en iyi performanslı ortalama başarıları Şekil 8’de gösterilmektedir.

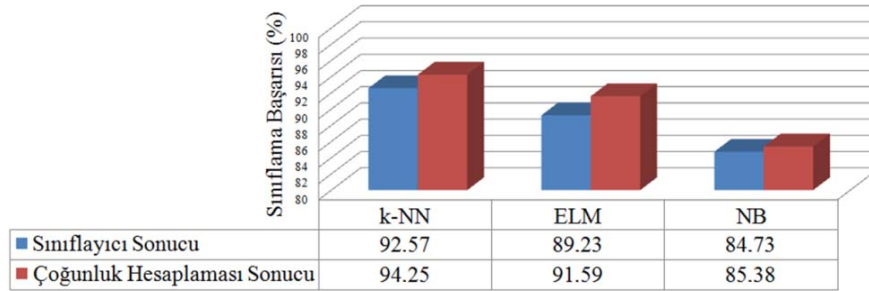
3.2.2. Çoğunluk hesaplaması sonuçları
(Majority calculation results)

Geliştirilen prototipte anlık sınıflama hatalarını elemek için son 15 saniye süreç içinde yapılan sınıflama sonuçları dikkate alınmıştır. Sınıflayıcı tahminleri üzerinde çalıştırılan çoğunluk hesaplaması gaz tipi belirlemede %2 oranında hatalı sonuçları azaltmıştır. Şekil 8’de tüm sınıflayıcıların en iyi performanslı parametrelerinin ortalama başarıları ve sınıflayıcı çıkışlarına uygulanan çoğunluk hesaplaması sonuçlarının ortalaması özetlenmiştir. Grafikte gösterilen sonuçlar en iyi performansın elde edildiği k-NN için Öklid mesafesi, ELM için eşik fonksiyonu sonuçlarının ortalamasına aittir. Şekil 8’e göre en başarılı sınıflama sonucu k-NN ve çoğunluk hesaplaması kombinasyonundan elde edilmiştir. k’nın 3 değeri için k-NN ve çoğunluk

hesaplaması kombinasyonu sınıflama başarısı %95.84 ve hatalı sınıflanan toplam örnek sayısı 329’dur. Şekil 9’da k=3 için sınıflama sonuçları ile ilgili ayrıntılı bir grafik görülmektedir. Grafiğin birinci kısmında test odasına yüklenen ve boşaltılan gazların değişen konsantrasyonlarına karşılık gelen sensör cevapları görülmektedir. İkinci kısımda gaz örneklerinin olması gereken gerçek sınıf etiketleri görülmektedir. Üçüncü kısımda k-NN sınıflayıcının ürettiği sınıf etiketleri görülmektedir. Dördüncü kısımda ise gaz örneklerinin çoğunluk hesabı sonucunda elde edilen nihai sınıf etiketleri görülmektedir. Gaz seviyesinin sensör algılama sınırının maksimumuna yakın olduğu durumlar karışık sınıfın sınırları içerisine de girmektedir. Aynı şekilde gaz konsantrasyon seviyesinin sensör algılama sınırının minimumuna yakın olduğu durumlar temiz hava sınıfı ile kesişebilmektedir. Sınıflama sonuçları eğitim seti oluşturulurken belirlenen sınıf etiketlerinin sınır değerlerinden etkilenmektedir. Şekil 9’da üçüncü grafikte çoğunluk hesaplamasının düzelttiği hatalı sınıflamanın bir kısmı kırmızı işaretlenmiştir. Tablo 6’de test setindeki her gaz için doğru ve yanlış sınıflanan örneklerin oranları ve sınıflama sonuçlarına ait bir karışıklık matrisi Tablo 7’de görülmektedir.

Tablo 5. ELM Sınıflama başarı sonuçları (%) (ELM Classification accuracy results)

Hardlim		Sigmoid		Radbas	
Düğüm Sayısı	Sınıflama Sonuçları	Düğüm Sayısı	Sınıflama Sonuçları	Düğüm Sayısı	Sınıflama Sonuçları
200	88,84	10	80,51	10	80,50
220	89,28	20	78,23	20	81,04
240	89,12	30	82,66	30	83,00
260	89,50	40	81,24	40	84,27
280	90,32	50	79,37	50	80,74
300	88,31	60	77,75	60	79,73
Ortalama	89,23		79,96		81,55



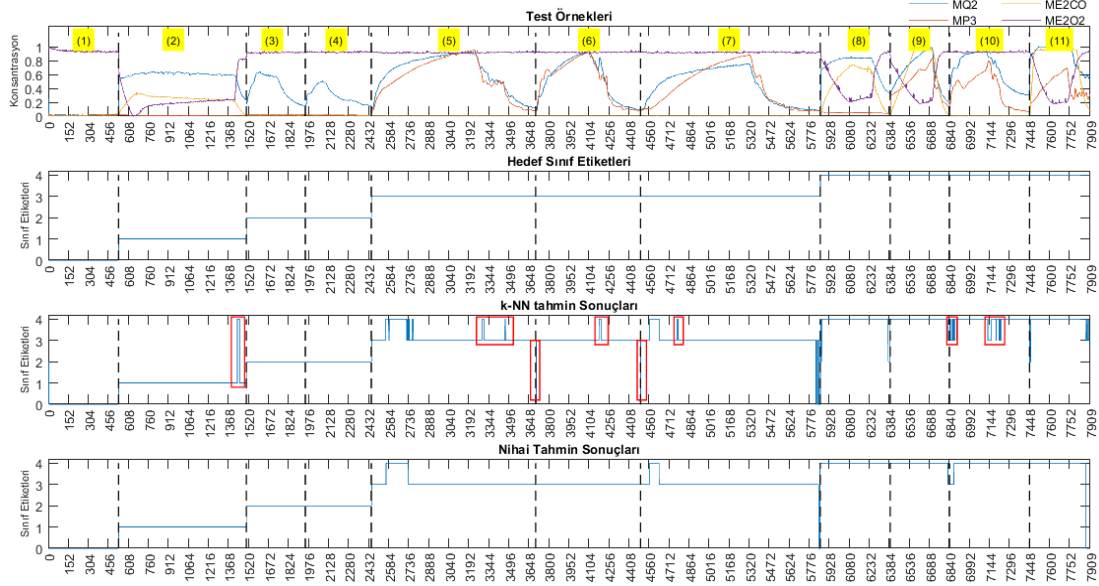
Şekil 8. Sınıflayıcıların ortalama başarılarının karşılaştırılması (%) (Comparison of average performances of classifiers)

Tablo 6. Her gaz için sınıflama oranları (%) (Classification rates for each gas)

	Boğucu	Parlayıcı	Patlayıcı	Kimyasal Sıvı	Buharı	Karışım				Toplam	
Temiz Hava	CO	Bütan	LPG	Etanol	Aseton	Asetat	Bütan & CO	Bütan & Etanol	Etanol & CO	Bütan & CO	
Doğru sınıflama oranı	100	100	100	86,54	100	93,91	100	92,43	100	93,06	95,84
Yanlış sınıflama oranı	0	0	0	13,46	0	6,09	0	7,57	0	6,94	4,16

Tablo 7. Karışıklık matrisi (Confusion matrix)

Tahmin Edilen Değerler		Temiz Hava	Boğucu	Parlayıcı Patlayıcı	Kimyasal Sıvı Buharı	Karışım
Gerçek Değerler	Temiz Hava	533	0	0	0	0
	Boğucu	0	970	0	0	0
	Parlayıcı Patlayıcı	0	0	949	0	0
	Kimyasal Sıvı Buharı	10	0	2	3157	239
	Karışım	32	0	0	46	1971



Şekil 9. Test aşamasında kullanılan gazlar: 1. Temiz hava 2. CO, 3. Bütan 4. Lpg, 5. Etanol 6. Aseton 7. Asetat 8. CO-Bütan 9. CO-Etanol 10. Bütan-Etanol 11. CO-Bütan-Etanol. Birinci grafiğin dikey eksen 0-1 aralığına ölçeklenmiş konsantrasyon seviyesini diğer grafiklerde dikey eksen sınıf etiketlerini gösterir. Grafiklerin yatay eksen örnek numarasını gösterir.

(Gases used in the test phase: 1. Fresh air 2.CO 3. Butane 4. Lpg 5. Ethanol 6. Acetone 7. Acetate 8. CO-Butane 9. CO-Ethanol 10 Butane-Ethanol 11. CO-Butane-Ethanol. The vertical axis of the first graph represents the concentration level normalized to the range 0-1 and the vertical axis of the other graphs represents class labels, the horizontal axis of the instance number.)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada geliştirilen prototip akıllı giysinin başlıca özelliği, gaz sensörlerinden aldığı hava örneğinde temiz hava, parlayıcı-patlayıcı, kimyasal sıvı buharı, boğucu ve karışım olmak üzere beş gruptan tehlikeli gazın varlığını, varsa hangi grupta olduğunu en yakın komşu algoritması yöntemi ile tespit etmesidir. Ayrıca, ortam sıcaklığı, ortamdaki oksijen miktarı ve kurtarma personelinin hareketsizlik durumuna ait verileri kablosuz yöntemle akıllı mobil cihaza ileten, tehlike durumunda kurtarma personeline sesli ve görsel uyarı veren elektronik donanım ve yazılım özelliklerine de sahiptir. Bu özellikleri sayesinde afet bölgesinde keşif ve müdahalenin planlanması aşamasında kullanılacak olan bu giysi kurtarma operasyonunun etkin ve güvenilir olmasını sağlar.

Bu çalışma, Konya Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığı ile yapılan görüşmeler doğrultusunda, arama kurtarma sürecindeki ihtiyaçlar dikkate alınarak geliştirilmiştir. Arama kurtarma ekipleri için hangi tür tehlikeli gazın ortamda olduğu, ortamın oksijen seviyesi ve sıcaklığı önemlidir. Bu tasarım kurtarma ekibinin patlayıcı bir gaz varsa uygun koruyucu kıyafet kullanarak, yeterli oksijen varsa gaz maskesi kullanarak, oksijen yetersizse tüplü solunum cihazı kullanarak olay yerine girmesinde yol gösterici olmaktadır. Geleneksel gaz detektörleri herhangi bir gazı algıladığı zaman sesli uyarı vermeye başlar. Daha gelişmiş uygulamalarda ise uzaktaki bir noktaya bilgi mesajı gönderir. Bir gazın analizi ise ancak numune alınarak laboratuvar ortamında gaz kromatografisi cihazları ile yapılabilmektedir. Gaz kromatografisi cihazlarının fiziksel boyutları elde taşınmaya uygun değildir. Bir kimyasal gaz

sensörünün çıkışı ise gazın cinsi, konsantrasyonu, gazdaki katkı maddeleri, ortamın nemi ve sıcaklıktan etkilenmektedir. Bu sebeple herhangi bir teknikte kaza yerinde, hava ile karışmış kaçak gazın konsantrasyonunu ölçmek mümkün değildir. Ancak bu çalışmada sensör dizisinde tek tip yerine 4 adet farklı tipte ve farklı gazlara duyarlı sensörlerin kullanılması veriyi temsil eden değişkenlerin bağımsız olmasını sağlamıştır ve böylece algılama aralığında, hedef gazların tüm sensörler ile aynı anda örneklenmesi seçiciliği arttırmıştır. Sonuç olarak kimyasal gaz sensörleri ve makine öğrenmesi teknikleri bir arada kullanılarak tehlikeli gazın hangi gaz grubuna ait olduğu belirlenebilmiştir. Tehlikeli gazın hangi tip olduğunu bilmek kurtarma sürecinde güvenliği arttırmaktadır. Bilinen geleneksel yöntemlerin göze çarpan dezavantajları; yangın alarm sistemlerindeki yanlış alarm sayısının fazlalığı, tehlikeli gaz olmasına rağmen yetersiz korunma tedbirlerinden dolayı kurtarma ekiplerinin zarar görmesi, patlama riski olmamasına rağmen gereksiz tedbir alınırken oluşan gecikmelerin yaralılar açısından hayati önem taşımaktadır. Geliştirilen prototipin diğer yöntemlere göre pahalı olmayan ve hızlı çalışan bir sistem olması, eş zamanlı olarak gaz tipini belirleyebilmesi, geniş bir kullanım alanı olması öne çıkan önemli özellikleridir. Bu çalışmada itfaiye biriminin önerdiği tehlikeli gazların tipi ortalama %95 doğrulukla tespit edilebilmiştir. Oksijen seviyesi, ortam sıcaklığı ve personelin hareketsizlik durumu uzaktan eş zamanlı izlenebilmektedir. Sensör teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte sensörlerin fiziksel boyutlarının küçülmesi, hassasiyetlerinin iyileşmesi ve kullanılan sensör sayısının artırılması ile tanınan gaz çeşitliliği ve sınıflama başarısı da artırılabilir.

Bu çalışma pratik uygulama alanları olarak, göçüklerde, madenlerde, kuyularda, çöplüklerde, kimyasal atık bulunan yerlerde ve yangın mahallinde vb. kullanılabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 14101010 proje numarası ile desteklenmiştir. Ayrıca, Konya Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığı tarafından teknik destek alınmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Grosshandler, W. ve Jackson M., Acoustical Emission of Structural-Materials Exposed to Open Flames, *Fire Safety Journal*, 22 (3), 209-228, 1994.
- Festag, S., False alarm ratio of fire detection and fire alarm systems in Germany – A meta analysis, *Fire Safety Journal*, 79, 119-126, 2016.
- Dey, A., Semiconductor metal oxide gas sensors, A review, *Materials Science and Engineering B-Advanced Functional Solid-State Materials*, 229, 206-217, 2018.
- Liu X., Cheng S., Liu H., Hu S., Zhang D., Ning H., A Survey on Gas Sensing Technology, *Sensors*, 12 (7), 9635-9665, 2012.
- Gutmacher, D., Hofer U., ve Wollenstein J., Gas sensor technologies for fire detection, *Sensors and Actuators B-Chemical*, 175, 40-45, 2012.
- Shang L., Liu C., Tomiura Y., Hayashi K., Odorant clustering based on molecular parameter-feature extraction and imaging analysis of olfactory bulb odor maps, *Sensors and Actuators B-Chemical*, 255, 508-518, 2018.
- Ucar, A. ve Ozalp R., Efficient android electronic nose design for recognition and perception of fruit odors using Kernel Extreme Learning Machines, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 166, 69-80, 2017.
- Peng C., Yan J., Duan S., Wang L., Jia P., Zhang S., Enhancing Electronic Nose Performance Based on a Novel QPSO-KELM Model, *Sensors (Bassel)*, 16 (4), 1-15, 2016.
- Jia X., Meng Q., Jing Y., Qi P., Zeng M., Ma S., A New Method Combining KECA-LDA With ELM for Classification of Chinese Liquors Using Electronic Nose, *IEEE Sensors Journal*, 16 (22), 8010-8017, 2016.
- Malmivaara, M., The emergence of wearable computing, *Smart Clothes and Wearable Technology*, Editör: J. McCann and D. Bryson, Woodhead Publishing, Cambridge, UK, 3-24, 2009.
- Dener, M., A Secure Monitoring System Design for Wireless Sensor Networks, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29 (4), 745-754, 2014.
- Community Research and Development Information Service (CORDIS), Proetex. https://cordis.europa.eu/project/rcn/80729_en.html. Yayın tarihi Ocak 31, 2010. Erişim tarihi Nisan 16, 2018.
- Magenes G., Curone D., Caldani L., Secco E.L., Fire Fighters and Rescuers Monitoring through Wearable Sensors: the ProeTEX Project, 2010 Annual International Conference of the Ieee Engineering in Medicine and Biology Society (Embc), Buenos Aires-Arjantin, 3594-3597, 31 Ağustos-4 Eylül, 2010.
- Radu T., Fay C., Lau K.T., Waite R., Diamond D., Wearable sensing application-carbon dioxide monitoring for emergency personal using wearable sensors, *World Academy Sci. Eng. Technol.*, 3 (10), 1794-1797, 2009.
- Michahelles F., Matter P., Schmidt A., Schiele B., Applying wearable sensors to avalanche rescue, *Computers & Graphics*, 27 (6), 839-847, 2003.
- IP Firefighter, Systematic Software Engineering A/S, Whitepaper, 2003.
- Angermann, M., Khider M., Robertson P., Towards operational systems for continuous navigation of rescue teams, 2008 IEEE/Ion Position, Location and Navigation Symposium, Monterey-Kanada, 153-158, 6-8 Mayıs, 2008.
- European Space Agency, iGarment Project, <https://artes.esa.int/projects/i-garment>. Yayın tarihi Ekim 30, 2008 Erişim tarihi Nisan 16, 2018.

19. Cork C.R., Dias T., Acti T., Ratnayaka A., Anastasopoulos I. E. M., Piper A., The next generation of electronic textiles, 1st International Conference on Digital Technologies for the Textile Industries, Manchester-UK, 5-6 Eylül, 2013.
20. Ohmatex, Viking Life Saving Equipment, <https://www.ohmatex.dk/project/viking-life-saving-equipment/>. Erişim tarihi Nisan 16, 2018.
21. Hertleer, C., Odhiambo S., ve Van Langenhove L., 12 - Protective clothing for firefighters and rescue workers A2, Smart Textiles for Protection, Woodhead Publishing, Cambridge,UK, 338-363, 2013.
22. Supab, C., Niyom H., ve Ekasiddh W., Metal-Oxide Nanowires for Gas Sensors, Nanowires - Recent Advances,Intech Open, 2012.
23. Mortimer, R.J. ve Beech A., AC impedance characteristics of solid-state planar electrochemical carbon monoxide sensors with Nafion (R) as solid polymer electrolyte, *Electrochimica Acta*, 47 (20), 3383-3387, 2002.
24. Fix, E. ve Hodges J.L. Jr, Discriminatory analysis-nonparametric discrimination, consistency properties, DTIC Document, 1951.
25. Perner, P. ve Imiya A., Machine learning and data mining in pattern recognition, Springer, Verlag Berlin Heidelberg , 2011.
26. Krig, S., Computer Vision Metrics: Survey, Taxonomy, and Analysis, Apress, 2014.
27. Karlık, B. ve Hayta Ş.B., Comparison machine learning algorithms for recognition of epileptic seizures in EEG, 2nd International Work-Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, Granada-İspanya, 7-9 Nisan, 2014.
28. Huang, G.B., Zhu Q.Y., ve Siew C.K., Extreme learning machine: A new learning scheme of feedforward neural networks, 2004 Ieee International Joint Conference on Neural Networks, Budapeşte-Macaristan, 985-990, 25-29 Temmuz, 2004.
29. Karlık, B., Hepatitis Disease Diagnosis Using Back Propagation and the Naïve Bayes Classifiers, *Journal of Science and Technology*, 1, 49-62, 2011.