

Araştırma Makalesi

Akıllı otopark sistemlerinde kullanılan araç tanıma teknolojileri üzerine bir inceleme

Bora Doğaroğlu^{1,2*}, S. Pelin Çalışkanelli¹

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye

² İnşaat Mühendisliği Bölümü, mühendislik Fakültesi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, Türkiye

*Sorumlu Yazar: boradogaroglu@iyte.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1098978

Özet: Günümüz şehir planlama ve yönetimi için trafik talebindeki artışın paralelinde otopark talebindeki artış acil çözüm bekleyen sorunlar arasında yer almaktadır. Özellikle otopark talebinin yüksek olduğu şehir merkezlerinde yeterli alan bulunmaması otopark altyapı tesislerinin inşasına olanak tanımamaktadır. Soruna yaygın çözüm olarak kullanılan yöntem mevcut kapasitenin etkin kullanımı ve talep yönetimidir. Akıllı ulaşım sistemleri özellikle Akıllı Otopark Sistemleri (AOS) özelinde düşünüldüğünde kapasitenin uygun kullanımı ve talep yönetimi için en güncel yöntem olarak tercih edilmektedir. AOS'un etkin uygulanabilmesi de etkin araç tanıma ve detektör teknolojilerine bağlıdır. Bu çalışmada AOS'un verimliliği için etken olan araç tanıma detektör sistemleri kategorize edilerek tanıtılmış ayrıca yaygın kullanılan detektör teknolojilerinin avantajları ve dezavantajları dikkate alınarak kıyaslamaları yapılmıştır. Sunulan sınıflandırmalar ile AOS tasarımı yapılırken kullanılacak etkin teknoloji seçimi konusunda yardımcı olmak amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı ulaşım sistemi, akıllı otopark sistemi, araç detektörleri, araç tanıma sistemleri, otopark detektör teknolojileri

An Investigation on vehicle detection technologies used in smart parking systems

Abstract: Today for the city planning and management, the increase in the demand for parking in parallel with the traffic demand increase is among the problems waiting for an urgent solution. Especially in city centers where parking demand is high, the lack of sufficient space does not allow the construction of parking infrastructure facilities. The method widely used as a solution to the problem is the effective use of existing capacity and demand management. Intelligent transportation systems are preferred as the most up-to-date method for the appropriate use of capacity and demand management, especially when considering Intelligent Parking Systems (IPS). Effective implementation of IPS also depends on effective vehicle recognition and detector technologies. In this study, vehicle recognition detector systems, which are effective for the efficiency of IPS, were categorized and introduced, and comparisons were made by considering the advantages and disadvantages of commonly used detector technologies. With the presented classifications, it is aimed to assist in the selection of effective technology to be used while designing the IPS.

Keywords: Intelligent transportation system, Smart parking system, Vehicle detectors, Vehicle recognition systems, Parking detector technologies

* Corresponding author.

E-mail address: boradogaroglu@iyte.edu.tr

ORCID: ¹0000-0002-0920-6676, ²0000-0002-0530-3276

Received 05.04.2022; accepted 05.09.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Hızla artan araç sahipliği ve park yeri ihtiyacının karşılanabilmesi için, otoparkların doğru planlanması ve yönetilmesinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle gelişmiş ülkelerde talep artışını karşılamak için otopark yönlendirme ve bilgilendirme sistemleri otopark yönetimi amacıyla etkin olarak kullanılmaktadır. Kullanılan AOS uygulamaları sayesinde otoparkların dolulukları hakkında anlık veriler toplanabilmekte, toplanan veriler farklı bilgilendirme teknolojileri yardımı ile sürücüleri uygun otoparklara yönlendirmek için kullanılabilir (Dogaroglu, 2019; Dogaroglu vd.,2021; Dogaroglu ve Caliskanelli, 2020). Bu uygulamalar sayesinde otopark kapasitelerinin azami düzeyde kullanımı mümkün olmaktadır.

Otopark yönetiminde ve araç yönlendirme sistemlerinde, otoparkların doluluk oranlarının anlık olarak belirlenmesi, AOS'un etkin çalışabilmesi için çok önemlidir (Dogaroglu vd.,2021; Dogaroglu ve Caliskanelli, 2020). Doğru ve anlık olarak doluluk bilgi akışının sağlanabilmesi için çeşitli araç tespit ekipmanları kullanılmaktadır. Bu ekipmanlar uygulama yapılacak otoparkın yerleşim planı, park tipi ve ayrılan bütçe gibi birçok kriterleri dikkate alarak seçilmektedir. Araç tanıma ekipmanları otoparkların sadece giriş ve çıkışlarına yerleştirilebileceği gibi her park yerine ayrı ayrı da yerleştirilerek doluluk tespiti yapabilirler. Araç tanıma ekipmanları ile elde edilen doluluk verileri bilgisayarlar ile işlenerek çeşitli yöntemler ile sürücülere aktarılırlar (Al-Kharusi ve Al-Bahadly, 2014; Shobhit Shanker ve Mahmud, 2005; Yan vd.,2009). Araç tanıma ekipmanları iki farklı tipte uygulanmaktadır:

1. Dahili (intrusive) Araç Tanıma Sistemleri
2. Harici (non-intrusive) Araç Tanıma Sistemleri

Dahili sistemlerde, araç tanıma ekipmanları yol yüzeyinde açılan deliklerin içine yerleştirilirken harici sistemlerde yol yüzeyine ya da tavana monte edilebilen ekipmanlar ile araç tanıma yapılabilmektedir. Dahili sistemler anlık olarak tek araç tanınması yapabilirken harici sistemler birden çok araç tanınması yapabilmektedir (Idris vd.,2009; Wang Longfei vd.,2009; X. Zhang ve Wan, 2010)

1.1. Dahili (Intrusive) araç tanıma sistemleri

Dahili araç tanıma sistemleri, yol yüzeyinde veya otopark girişlerinde kırım yapılarak açılan boşlukların içerisine araç tanıma ekipmanlarının monte edilmesi ile uygulanmaktadır. Bu uygulama ile yol kaplamasında oluşan hasar kaplama ömrünü azaltmakta ayrıca montaj sırasında araç trafiğinin durdurulmasına sebep olabilmektedir. Bunun yanı sıra yol yüzeyine monte edilen ekipmanların trafik yüküne maruz kalacak olması sebebi ile her zaman hasar görme riski bulunmaktadır (Dogaroglu, 2019).

Dahili araç tanıma sistemlerine örnek olarak:

- İndüksiyon sarmalı sensörleri,
- Magnetometreler,
- Manyetik dirençli sensörler,
- Pnömatik tüplü sensörler ve
- Piezoelektrik sensörler gösterilebilir (Chinrungrueng vd.,2007; Dogaroglu, 2019; Lenz ve Edelstein, 2006; Mimbela ve Klein, 2000; Mouskos, Boile, ve Parker, 2007).

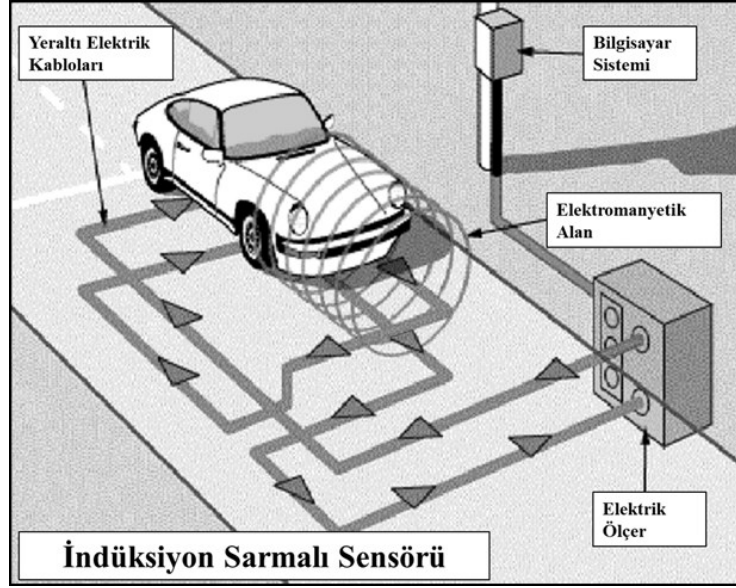
Yukarıda verilen dahili araç tanıma teknoloji hakkında bilgiler ve otoparklar araç tespiti için avantaj/dezavantajları takip eden bölümde sırası ile belirtilmiştir.

1.1.1. İndüksiyon sarmalı sensörü (İSS)

Bir İSS, üzerinden araç geçişi sebebi ile endüktansta oluşan azalmayı ölçen endüktif bir eleman ve bir elektronik üniteden oluşur. İSS sensörleri esas olarak hareket halindeki araçlar için tasarlanmıştır ve trafik akışını izlemek için kullanılır. Ancak, uygun şekilde monte edilirse park yerlerinin doluluk durumunu da tespit edebilir. İSS'ler zemine kurulur ve daha çok dış mekanlarda kullanılır (Winter ve Goel, 2021).

İSS normalde yol kaplamalarına dairesel veya dikdörtgen şekilde kurulur (Kotb ve diğerleri, 2017). Şekil 1'de gösterildiği üzere, içerisinden elektrik akımı geçen ve elektromanyetik alan oluşturan birkaç

tel halkadan oluşurlar. Bu elektromanyetik alan endüktansı, sensör üzeri araç varlığında ve/veya üzerinden araç geçişinde 10-50 kHz arasında bir frekans oluşturur. Oluşan bu frekans, aslında elektronik ünitenin daha yüksek olan endüktans frekansında bir azalmaya neden olur ve bu da kontrol ünitesine aracın geçişini veya mevcudiyetini belirten bir impuls gönderir (Al-Turjman, 2018; Al-Turjman ve Malekloo, 2019; Kotb vd.,2017; Revathi ve Dhulipala, 2012).



Şekil 1. İndüksiyon sarmalı sensörü (G.C vd.,2014).

İSS'ler, giren ve çıkan araç sayısını sayarak boş park yerlerinin mevcudiyetini tespit etmek için otopark giriş ve çıkışında yaygın olarak kullanılırlar. Bu detektörlerin kurulumu ve bakımı pahalıdır ve genellikle kapalı otoparklarda toplam boş park yerlerinin sayısını bulmak için kullanılırlar. Ancak, park yerinin doluluk durumu, yani park şerit çizgileri içinde araç olup olmadığı İSS kullanılarak tespit edilemez (Paidi vd.,2018; Sarangi vd.,2019).

İSS'ler, farklı çevre koşullarında iyi performans gösterdikleri için genellikle oldukça güvenilir olarak kabul edilirler. İSS'lerin olumsuz özelliği olarak çabuk aşınmaları ve düzenli olarak onarım ve bakım gerektirmeleri söylenebilir. Genel olarak, performansları çevresel koşullardan etkilenmediği için İSS'ler doğru ve güvenilirlerdir. Bununla birlikte, çabuk yıprandıkları ve düzenli onarım ve bakım gerektirdiği için kurulum ve bakımları pahalıdır (Winter ve Goel, 2021) Ayrıca, uygulamasında yolun yeniden kaplanmasını gerektirmesi, daha doğru ölçüm için birden çok detektöre ihtiyaç duyulması, trafik yüküne ve sıcaklık değişimlerine karşı yüksek hassasiyetli olmaları ve bakım/onarım zamanında trafik kesintisine sebep vermesi İSSs'nin dezavantajları olarak gösterilebilir (Al-Turjman, 2018; Al-Turjman ve Malekloo, 2019).

1.1.2. Magnetometreler

Manyetometreler, İSS'ler ile benzer prensiple çalışmaktadır. Karayolu taşıtları gibi metalik nesnelere sensörlerin üzerinden geçmesi ile oluşan manyetik alanındaki değişiklikleri algırlar. Manyetik bozulmanın nedeni, manyetik alanın havanın aksine demir içerikli metallere kolayca akabilmesidir (Arab ve Nadeem, 2017). Tek eksenli ve çift/üç eksenli olmak üzere iki tip manyetometre vardır. Taşıtların varlığı tespitinde iki/üç eksenli manyetometrenin kullanılması detektörün tespit doğruluğunu yükseltir. Bununla birlikte, her iki tip manyetometre de tespit açısından güvenilirdir ve istenmeyen hava koşullarına dayanıklıdır (Al-Turjman ve Malekloo, 2019). Şekil 2'de bir magnetometre uygulama örneği gösterilmiştir.



Şekil 2. Otopark girişinde magnetometre ile araç sayım uygulaması (Banner, 2019).

Manyetometrelerin araç varlık tespiti yapabilmesi için algılanması istenen araca yakın olmaları gerekir. Bu nedenle sensörler kaplama yüzeyinin hemen altına yerleştirilirler. evre etkilerine karşı duyarlı olmamaları sebebi ile hem açık hem de kapalı otoparklar için uygundur. Gerçek zamanlı park doluluk bilgilerini algılamak için birkaç yıllık pil ömrüne sahip kablosuz sensörleri mevcuttur. Park yerlerinin doluluk durumunu bilmek için sensörler şeritler arası her bir park alanı içerisinde kaplamanın altına yerleştirilmelidir. Ancak, bu sensörleri büyük ölçekte kurmak ve bakımını yapmak pahalıdır (Paidi vd.,2018). Bu arada, şerit kapanması ve zemin kaplamasında kazı olması gibi sebeplerden oluşan tespit hataları ile bazı durumlarda hareketsiz araçların tespit edilememesi bu sensörlerdeki eksiklikler olarak kabul edilmektedir (Al-Turjman, 2018; Al-Turjman ve Malekloo, 2019).

1.1.3. Manyeto dirençli sensörler (MDS)

MDS'ler, sisteme dışardan etkiyen bir manyetik alanın sistem alıcısında neden olduğu direnç değişikliğini kullanarak tespit yapmaktadır (Lenz ve Edelstein, 2006). MDS prensibi çok basittir. Bir manyetik alan uygulamasında, manyetik alanın temas ettiği bir akım iletkenin i direncinde değişiklik meydana gelir. Dirençteki değişiklikler manyetik alan çizgilerinin yönüne bağlıdır. MDS, çoğunlukla otoparklarda araç tespiti için kullanılır (Fahim vd.,2021; Suryady vd.,2014). MDS'ler, sabit bir akım uygulanarak kolayca enerji yüklenebildiğinden düşük maliyetli uygulamalar için tercih edilmektedir (Lenz ve Edelstein, 2006).

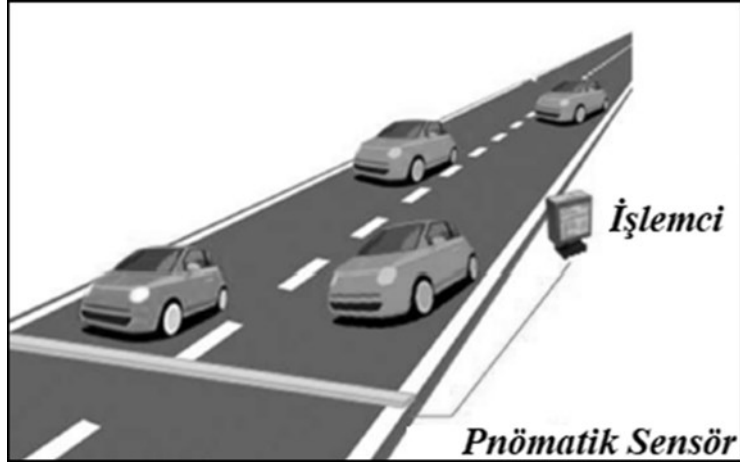
Otopark uygulamalarında MDS'ler, aracın varlığını algılamak için park şeritleri arası alanın ortasına yerleştirilen sensör ağından oluşur. Detektörler tespit ettikleri verileri kablosuz ağ aracılığıyla iletir. Bu veriler, şeritler arası park alanının doluluk oranının belirlenmesi için sunucuda işlenir. Veri tabanı bu verileri saklar ve sürücüler park alanının doluluk durumu hakkında bilgilendirmek için ekranlı tabelalarda sunar (Elaouad vd.,2015).

Yol kenarı otoparkların doluluk durumunun algılanması için uygulanabilecek detektör sistemlerine en iyi aday yakınından geçen ferromanyetik nesnelere algılayabilen Anizotropik Manyeto Dirençli (AMD) sensörlerdir. Diğer sensörlerle karşılaştırıldığında, her bir park yerinin ortasına yerleştirilen manyetik sensörler oldukça küçük, hassas ve çevresel bozucu etkilere (yağmur, sis, rüzgar gibi) karşı daha az duyarlıdır. Ayrıca bu tür detektörler, basit kurulum ve kolay bakım avantajına sahiptir. Bu nedenle, yol kenarı park algılamaya Manyeto Dirençli sensörlerin uygulanması daha olumlu sonuç vermektedir (Zhu ve Yu, 2015).

1.1.4. Pnömatik tüplü sensörler (PTS)

PTS'ye adını veren ve sistemi oluşturan pnömatik basınç tüpünün bir ucunda hava basınç sensörü bulunurken diğer ucu hava kaçağını önlemek için kapalıdır. Dairesel borulardan oluşan ve çapı 1,3mm olan tüpün üzerinden geçen araç tüpü sıkıştırır ve içindeki hava gerilimini yükseltir (Al-Turjman ve Malekloo, 2019; Guerrero-Ibáñez vd.,2018; Revathi ve Dhulipala, 2012; Winter ve Goel, 2021). Araç geçişi ile tüp içerisinde oluşan basınç, bir elektrik anahtarını kapatarak bir araç verisi oluşturur ve bu veriler değerlendirilmek üzere bir işlemciye (PC) iletir (Kotb vd.,2017). Bir yazılım kullanılarak elde

edilen veriler ile ağırlık ve aks konfigürasyonundan araç tipi tanımlanabilir. Bu sensörler uygun maliyetli olmasının yanı sıra hızlı ve basit kurulum imkânı sunar. Bununla birlikte, bu tip sensörler, uzun araçların geçişi sırasında (örn. otobüsler ve/veya kamyonlar) hatalı dingil sayımı yapabilir. Bu nedenle, park yeri bilgisi ile ilgili uygulamalarda güvenilirliği kesin değildir (Al-Turjman ve Malekloo, 2019). Şekil 3'te karayoluna bir PTS yerleşimi örneği gösterilmiştir.

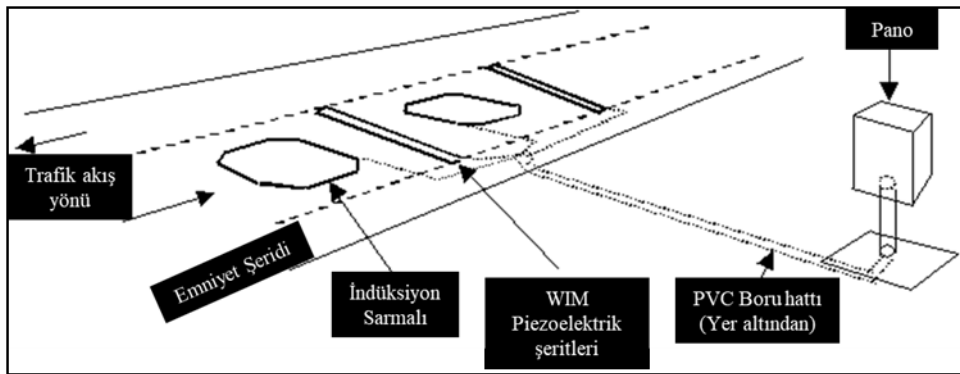


Şekil 3. Pnömatik tüplü sensör (Guerrero-Ibáñez vd.,2018).

Pnömetik tüplü araç tanıma teknolojileri otoparklar için ticari alanda taşıt sayım sistemleri olarak otoparka giren araçların sayısının tespitinde kullanılmaktadır (Wireless Car Counters | View the Range on TPS, 2022).

1.1.5. Piezoelektrik sensörler (PS)

Piezoelektrik sensörlerin çalışma prensibi, aracın sensör üzerinden geçişi sırasında oluşturduğu basınç veya titreşimin neden olduğu mekanik gerilimi algılamaya dayalıdır. Bu basınç veya titreşim, aracın ağırlığıyla orantılı olarak voltaj farkı oluşturan bir elektrik yüküne dönüştürülür (Şekil 4). Böylece ölçülen voltaj, algılanan aracın ağırlık ve aks konfigürasyonu açısından sınıflandırılmasında kullanılabilir. Bu tür sensörler genellikle yüksek basınç ve sıcaklık seviyelerine duyarlıdır. Doğrulukları büyük ölçüde kullanılan malzemenin tipine (seramik veya kristal) ve kesilme şekline bağlıdır. Daha doğru ölçümler için bu sensörlerin birkaçı aynı anda kullanılmalıdır (Al-Turjman ve Malekloo, 2019; Idris vd.,2009; Kotb vd.,2017).



Şekil 4. Piezoelektrik sensörler (Federal Highway Administration, 2022).

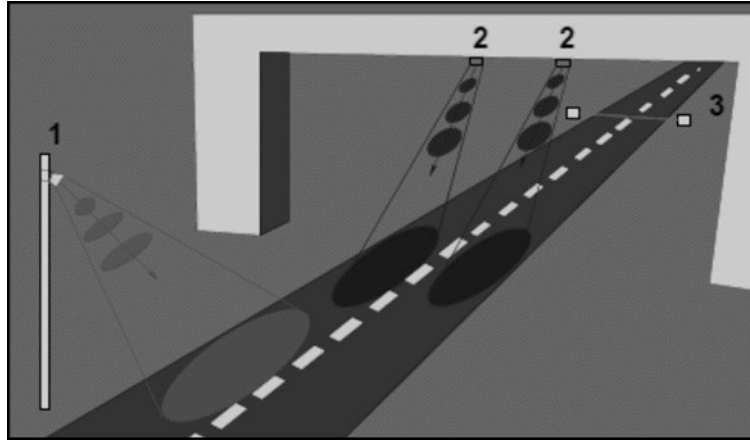
Literatürde AOS için PS kullanımına ait birçok çalışma mevcuttur. Örneğin Nagakalyan ve ark. alışmalarında park şeridi girişine bir piezoelektrik malzeme monte edilmiştir. Kurulan sistemin amacı, aracın sisteme girişini tespit etmektir. Böylece park doluluk tespiti yapan PS sistemi geliştirmişlerdir (Nagakalyan ve Raghukumar, 2014). Jain ve ark. bir AOS için PS kullanarak elektrik üretebilen tasarım

geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri tasarımda otoparkın doluluğunu kızılötesi sensörlerle tespit ederken aynı zamanda park yerine yerleştirilen PS ile de manyetik alandaki dönüşümü kullanarak doluluk bilgisi veren led ışıkları için elektrik üretmeyi amaçlamışlardır (Jain ve Shambavi, 2021). Başka bir AOS tasarımında Lee ve ark. akıllı telefon ve tablet PC kullanıcılarının çeşitli uygulamalar aracılığıyla erişebileceği, mevcut park yerlerini Sosyal Ağ Hizmeti (SAH) kullanıcılarına bildiren bir sistem geliştirmeyi ve uygulamayı amaçlamıştır. Sistem, bir park bölgesinin girişinin her iki tarafına monte edilen ve trafik akış yönünü tespit eden bir dizi hız tümseğine gömülü piezoelektrik sensörün yanı sıra bir Pasif Kızılötesi Sensörden (PKS) oluşmaktadır. PS ve PKS birlikte işletilerek otomobilleri, yayalar gibi diğer hareketli nesnelere ayırt edebilen bir bütünleşik sensör sistemi tasarlamışlardır. Bu bütünleşik sensör sistemi, yüksek doğrulukta sinyal sayımı yaparak otomobillerin giriş ve çıkışını takip eder. Sinyaller filtrelenme ve modüle edilme sürecinden geçtikten sonra, bölgedeki mevcut park yeri sayısını Wi-Fi aracılığıyla bir internet sunucusuna oradan da bir SAH uygulamasına gönderir. Daha sonra kullanıcılar akıllı telefonlarına veya tablet PC'lerine yüklenen SAH uygulaması aracılığıyla park bilgilerine erişebilirler (Lee vd.,2013).

1.2. Harici (Non-Intrusive) araç tanıma teknolojileri

Harici (non-intrusive) Araç Tanıma Sistemleri (HATS) araç tespiti yapılacak bölgeye kolaylıkla kurulabilen, uygulama esnasında yol yüzeyine tahribat gerektirmeyen sistemlerdir. Dahili araç tanıma sistemlerinden farklı olarak HATS'ler, montajı sırasında yapıya zarar vermez ve trafik akışının durmasına neden olmaz (Dogaroglu, 2019; Kastrinaki vd.,2003; Mimbela ve Klein, 2000).

Çoğu HATS, Şekil 5'te gösterildiği gibi, çeşitli lokasyonlara yerleştirilebilen, hava koşullarına dayanıklı bir koruyucu içine monte edilmiş küçük elektronik ünitelerden oluşan ve uygulama ve görsel olarak birbirine benzerlik gösteren ekipmanlardan oluşur (Dogaroglu, 2019; Guerrero-Ibáñez vd.,2018; Tom V Mathew, 2014).



Şekil 5. HATS teknoloji yapılandırılmaları (Tom V Mathew, 2014).

Şekil 5'te görülen HATS uygulamalarının ilk tipi yol kenarındaki direklere monte edilen sistemlerdir. Detektör, direğe monte edilen ünitenin ilerisinde veya gerisinde eğik bir alanda araç tespiti yapar. Bu tip HATS'lerde, yüksek araçların alçak araçları perdelemesi veya izlenen alan dışındaki araçların da tespit edilmesine neden olan gereğinden fazla görüş açısı genişliği nedeni ile oluşan kör nokta sorunları mevcuttur (Dogaroglu, 2019; Guerrero-Ibáñez vd.,2018; Idris vd.,2009; Tom V Mathew, 2014).

Şekil 5'te görülen ikinci tip HATS detektörleri, köprü altlarına monte edilmektedir. Araç tespit alanı doğrudan ünitenin hemen altında, hafif eğimli olarak ilerisinde veya gerisindedir. Şekil 5'te görülen üçüncü tip HATS detektörleri, yolun eni boyunca bir ışın yayarak araç tespiti yapan yol kenarına monte edilmiş ekipmanlardan oluşur. Bu tip detektörler, yan yana maskeleyme yöntemi ile araç tespiti yaptıkları için sadece tek şeritli, tek yönlü akışlar için uygundur (Dogaroglu, 2019; Idris vd.,2009; Tom V Mathew, 2014).

Yaygın olarak kullanılan 6 adet HATS teknolojisinden bahsetmek mümkündür. Bunlar:

- Video görüntü işlemcisi,
- Pasif veya aktif kızılötesi detektörler,
- Mikrodalga radar detektörleri,
- Ultrasonik detektörler,
- Akustik detektörler ve
- Radyo Frekanslı Tanımlama (RFID) Sistemleri'dir.

Çalışmanın bundan sonraki kısmında bu 6 adet HATS hakkında bilgiler verilmiş ve otoparklar araç tespiti için avantaj/dezavantajları belirtilmiştir.

1.2.1. Video görüntü işlemcisi (VGİ)

Kameralı detektör sistemleri, park yeri şeritlerinin kullanılabilirliğini algılayan sistemlerdir. Sistemde kullanılan kameralar, park yeri şerilerinin arasının boş veya rezerve olup olmadığını kontrol etmek için sürekli olarak park bölgesinin görüntüsünü kayıt altında tutar (SR, 2015). Sistem kameraları, tüm park alanının net bir şekilde görülebileceği tavana veya yüksekte bir noktaya sabitlenir (Sarangi vd.,2019). Chen ve Hsu yaptıkları çalışmada, kameralı sistem ile park şeritlerinin doluluğunun veya uygunluğunun daha doğru tespit edilebileceğini belirtmiştir (Chen ve Hsu, 2017).

Park yeri kameraları tarafından çekilen görüntüler, araçları tespit etmek ve park yerinin doluluk durumunu belirlemek için kullanılmaktadır. VGİ sistemi genellikle, bir dizi geçmiş görüntü kaydını kullanarak geliştirilen makine öğrenme model ile birlikte araçları ve park yerlerini gerçek zamanlı olarak algılamak için yerleştirilmiş kamera görüntülerini analiz ederek oluşturulan bir sistemdir. Kameranın görüş alanı sabitse, park yerlerinin doluluğunu belirlemek önemli lde basitleşir. Sabit bir kamera ile park yerlerini tanımlamak için ön işleme aşamasında elde edilen bir görüntü manuel olarak bölümlere ayrılabilir ve ayrılan bölümler, kamera görüş açısını değişmediği sürece tüm görüntüler için geçerli olacaktır. Bölümlere ayırma yönteminin amacı, araç algılama işlemine daha basit bir görüntü sınıflandırma işlemine indirgemektir. Geliştirilen model, park şeritleri arasındaki alana karşılık gelen her bir alt görüntüye uygulanır ve şeritler arası alan "araç" veya "boş" olmak üzere iki kategoriden birinde sınıflandırılır. En gelişmiş derin öğrenme yöntemlerini ve evrişimli sinir ağlarını kullanarak alt görüntülerin sınıflandırılmasında %99'a varan doğruluğa ulaşılabilir (Acharya vd.,2018; Valipour vd.,2016). Kamera kullanarak kaydedilen park yeri görüntü işlenmesi işi, büyük bant genişliklerinin sürekli aktarımını gerektirdiğinden ideal değildir. Bu nedenle, otoparkın sürekli izlenebilmesini kolaylaştırmak için bir videonun düzenli aralıklarla ve resim karesi hızlarında görüntülere bölünmesi gerekir (Enriquez vd.,2017)

Kameralar genellikle tavana veya yükseğe kurulur ve hem kapalı hem de açık otoparklarda kullanılabilir. Kameralar nispeten ucuz olduğundan ve bir kamera birden fazla park yerini izleyebildiğinden görüntü tabanlı park doluluk tespiti düşük maliyetle yüksek doğruluk sağlar. Ancak, pasif sensörler olarak kameralar ortam ışığına veya ayrı bir ışık kaynağına gereksinim duyar. Diğer bir önemli sınırlama ise, optimum performansı elde etmek için kurulumdan önce elde edilen görüntüler ile bir makine öğrenme modelinin oluşturulması gerektiğinden, VGİ sistemlerinin tipik bir tak ve alıştır uygulaması olmamasıdır. Ayrıca, evresel koşullara dayanıklılığı artırmak için makine öğrenimi modeli, çeşitli aydınlatma ve hava koşullarında (r. yağmur, kar, sis ve düşük ışık) yakalanan görüntüler üzerinden oluşturulmalıdır. Bu sistemler, perdeleme, gölgeleme, görsel bozulma ve yıldırım etkisi gibi dış sınır etkenlerine karşı zafiyet göstermektedir. Bu sınırlamanın üstesinden gelmek için, yapılan çalışmalarda (de Almeida vd.,2015), belirli bir otopark ortamında çekilen görüntülerden oluşan genel veri kümesi üzerinden oluşturulmuş PKLot gibi bir makine öğrenme modelinin transfer öğrenme (transfer learning) ile uygulanabilirliğini araştırmıştır. Acharya ve ark., bu yaklaşımın olduğa iyi performans gösterdiğini, ancak elde edilen %97'lik doğruluğun, aynı özelliğe sahip otopark görüntüleri üzerinde oluşturulmuş bir modelden biraz daha düşük olduğunu (%99) göstermiştir (Acharya vd.,2018).

Görüntü tabanlı park doluluk tespiti, aydınlatmaya ve kötü hava koşullarına duyarlılığı nedeniyle orta düzey güvenilirlikle yüksek algılama imkanı sağlar. Kameraların kurulumu ve bakımı nispeten

ucuzdur. Ayrıca, birçok durumda önceden var olan güvenlik kamerası ağları, otopark doluluk tespiti için kullanılabilir (Sarangi vd.,2019; Winter ve Goel, 2021).

1.2.2. Pasif veya aktif kızılötesi detektörler

Kızılötesi sensörler, kızılötesi ışınımı yayar ve nesne yüzeyinden yansıtılarak geri dönen ışınımı ölçer. Kızılötesi mesafe tayini geri dönen ışınım yoğunluğuna veya ışınım süresine bağlıdır. Yoğunluğa dayalı kızılötesi sensörleri nesne yüzeyinin yansıtıcılığına karşı hassastır ve bu nedenle daha az güvenilirdir. Diğer taraftan ışınım süresine dayalı kızılötesi sensörler kızılötesi lazer ışınımı yayar ve geri dönen ışınımının gidiş-dönüş süresini ölçerek bir mesafe ölçüsüne dönüştürür. Park halindeki bir aracın tespiti, ışınım süresine bağlı olarak ölçülen gidiş dönüş mesafesinin park yerinde araç bulunmadığında ölçülen mesafeyle karşılaştırılması ile yapılır.

Kızılötesi mesafe sensörleri yükseğe veya zemine monte edilebilir. Ancak, genellikle ortam ışığından etkilenmeye eğilimlidirler ve bu nedenle kapalı otoparklar için daha uygundur. Işınım süresi ile ölçüm yapan kızılötesi sensörleri ortam ışığına daha az duyarlıdır, ancak gün ışığı, dış mekânda yükseğe monte edilmiş bir kızılötesi sensörün performansını yine de olumsuz etkileyecektir. Yağmur ve kar gibi çevresel koşullar ve yaprak veya insani atıklar tarafından oluşacak engellenmeler de özellikle zemine monte edilmiş sensörler için kızılötesi mesafe tayin performansını etkiler.

Genel olarak, kızılötesi sensörleri, orta derecede doğru ancak çevresel koşullara duyarlılıkları nedeniyle daha az güvenilir olarak kabul edilir. Ayrıca nispeten pahalıdır, orta düzeyde güç tüketimine sahiptirler ve düzenli bakım gerektirirler (Winter ve Goel, 2021).

Kızıl ötesi sensörleri algılama şekillerine göre aktif ve pasif olmak üzere iki sınıfta incelenebilirler:

Aktif kızılötesi sensör (AKS): Bu sensörler kızılötesi enerji yayar ve yansıyan enerji miktarına göre herhangi bir nesne veya aracı tespit eder (Mouskos, Boile, Parker, vd.,2007; Shaheen, 2005). Kızılötesi radyasyonun dalga boyu 0,75 ila 1000 µm arasındadır. AKS'ler park yerindeki araç varlığını tespit etmek için kullanılır (Sarangi vd.,2019). Yağmur veya kar gibi çevresel değişikliklere karşı hassastır. Tüm park yerlerine yerleştirilmeleri gerektiğinden yüksek yatırım ve bakım maliyeti vardır. Sensörlerin tüm park yerlerine yerleştirilmesi, park doluluk durumunun elde edilmesi için gereklidir. AKS'ler genellikle yükseğe yerleştirilir ve kapalı otoparklar için uygundur. Çevresel değişikliklere duyarlı oldukları için açık otoparklar için uygun değildir (Al-Turjman ve Malekloo, 2019; Paidi vd.,2018).

Pasif kızılötesi sensör (PKS): Pasif kızılötesi sensörler, bir nesne ile çevresindeki ortam arasındaki sıcaklık farkını algılayarak çalışır (Song vd.,2008). Belirli bir hızda kızılötesi dalgaları yayan aktif kızılötesi sensörlerinin aksine, pasif sensörler, araç ve/veya yol tarafından yayılan termal enerji biçimindeki sıcaklık farkını ölçerek park yerinin boşluğunu tespit eder. Bu nedenle PKS, araç yalnızca sensörün algılama bölgesinin yakınında olduğunda tetiklenir. Diğer sensör tiplerinden farklı olarak PKSlerin zemine veya duvara sabitlenmesine veya montajı için delik açılmasına gerek yoktur. Ancak bu sensörler otoparkta tavana monte edilir (Al-Turjman ve Malekloo, 2019; Someswar vd.,2017). PKS çok hassas bir detektördür ve kar, yağmur gibi kötü ortam koşullarında doğru tespit yapamaz (Paidi vd.,2018). Tavana monte edilen PKS için en uygun uygulama alanı kapalı otoparklardır (Sarangi vd.,2019).

1.2.3. Mikrodalga radar detektörleri (MRD)

MRD bir anten yardımıyla 1-50 GHz arasındaki frekansları ileten ve genellikle araçtan yansıyan frekanstan araçları algılayabilen bir detektör teknolojisidir. Yaygın olarak kullanılan iki tip mikrodalga radar bulunmaktadır; Doppler Mikrodalga Dedektörleri (DMD) ve Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalgalar (FMSD) ((Al-Turjman, 2018; Al-Turjman ve Malekloo, 2019). MRD mikrodalga ışını iletir ve yansıyan sinyale göre hareketli hedefin hızını tahmin eder. Ancak, sabit nesnelere algılayamaz. Bu kısıtlamayı ortadan kaldırmak amacı ile hem hareketli hem de duran araçları tespit etmek için çift mikrodalgalı DMD kullanılabilir (Bao vd.,2016; Paidi vd.,2018). DMD'de, araç ve sensör birbirine yakın olduğunda, sensör daha düşük bir frekans algılar. Araç ve sensör birbirlerinden uzaklaştıklarında, sensörün yakaladığı frekans daha da artar. Araç hareketi olmazsa Doppler kayması yaşanmaz ve sabit bir frekans aralığı iletilir. Bu durumda sensör, araca olan mesafeyi ölçebilir ve aynı zamanda bu bir araç varlığını tespit eder (Al-Turjman ve Malekloo, 2019).

MRD'nin kızılötesi ve ultrasonik dalgalara göre ana avantajı, düşük frekanslı radyo dalgalarının (1.5 ila 2 cm dalga boyuna karşılık gelen) havadaki küçük parçacıklardan etkilenmemesidir. Bu nedenle MRD rüzgar, yağmur, sis, nem ve hatta hafif kar gibi farklı hava koşullarında çalışabilir. Bu, MRD'yi hem kapalı hem de açık otoparklarda park doluluk tespiti için güvenilir bir sensör yapar. Yeraltına ve yer yüzeyine kurulumları daha yaygın olmasına rağmen, MRD'ler yükseğe de kurulabilirler (Winter ve Goel, 2021).

MRD, park doluluk tespitinde yüksek doğruluk ve yüksek güvenilirlik sağlar. Ancak, kızılötesi sensörlere kıyasla park doluluk durumunu optimum tespit etmek için her park yerine yerleştirilmeleri gerektiğinden daha pahalıdır ve daha fazla güç tüketirler. Bu nedenle radar sensörlerinin kurulum ve bakım maliyetleri nispeten yüksektir (Winter ve Goel, 2021).

1.2.4. Ultrasonik detektörler

Ultrasonik sensörler, bir nesneye olan mesafeyi ölçmek için ses dalgalarını kullanan aktif sensörlerdir. Ultrasonik bir sensör, ultra yüksek frekanslı (25 ile 50 KHz) ses dalgaları yayar ve bir nesnenin yüzeyinden yansıyan ses dalgasını algılar (Al-Turjman ve Malekloo, 2019; Guerrero-Ibáñez vd.,2018; Paidi vd.,2018; Winter ve Goel, 2021). Gidiş-dönüş süresi ölçülür ve ses dalgasının sabit hızlı olduğu varsayılarak nesneye olan mesafe hesaplanır. Ultrasonik bir sensör, sesin yansıyan yüzey ile olan mesafesini ölçerek bir aracın varlığını tespit edebilir. Basit bir algılama algoritması, araç varken ölçülen mesafeyi park yeri boşken ölçülen bir referans mesafeyle karşılaştırır. Ölçülen mesafe ile referans mesafe arasındaki mutlak fark yeterli bir süre için mesafe sınırından büyükse park edilmiş bir araç algılanır (Winter ve Goel, 2021). Benzer şekilde, aracın hızı ve belirli bir mesafedeki araç sayısı gibi diğer faydalı bilgileri de elde edilebilir (Al-Turjman ve Malekloo, 2019; Kianpisheh vd.,2012).

Ultrasonik sensörler genellikle her bir park şeridi arasında tavana yerleştirilir ve montajı çok kolaydır (Idris vd.,2009; Sarangi vd.,2019). Rüzgâr, yağmur, kar ve sis gibi çevresel koşullar ultrasonik mesafe ölçümlerini etkileyebileceğinden kapalı otoparklar için daha uygundur. Ses hızı ayrıca nem ve hava sıcaklığına göre değişir ve bu da yanlış mesafe ölçümlerine neden olabilir. Pnömatik cihazlarda kullanılan basınçlı havanın çıkardığı ses gibi yüksek frekanslı gürültü oluşturabilecek sesler ve ses dalgalarının birden fazla yüzeyden yansıdığı çok yönlü ses efektleri ultrasonik sensörlerin performansını etkileyebilir. Daha düşük frekanslı ses dalgaları (20 KHz'in altında) kullanan akustik sensörler, ortam gürültüsüne karşı daha hassastır ve bu nedenle park yeri doluluk tespiti için daha az tercih edilmektedir. Şekil 6'da temsili bir uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 6. Ultrasonik sensörler (Kianpisheh vd.,2012).

Ultrasonik sensörlerin algılama doğruluğu ve güvenilirliği, özellikle kapalı ortamlarda kurulan sensörler için genellikle yüksek kabul edilir. Düşük maliyetle temin edilebilir, ancak birden fazla sensörün kurulumu ve bakımı ve bunları bir şebekeye bağlamak uzun vadede maliyetlidir. Otopark doluluk bilgilerini toplamak için kablosuz ultrasonik sensörler de kullanılmaktadır. ZigBee protokolü

veya diğer benzer ağlar gibi kablosuz sensör ağları kullanılarak ağ bağlantısı yapılmaktadır (Paidi vd.,2018). Ayrıca orta düzeyde bir güç tüketimine sahiptirler ve düzenli bakım gerektirirler (Winter ve Goel, 2021). Mathur ve ark. yaptıkları çalışmada araç kullanırken park yeri doluluk bilgilerini toplayan araçlardan oluşan bir mobil sistem olan ParkNet'in tasarımını, uygulamasını ve değerlendirmesini sunmuşlardır. Her ParkNet aracı, park yeri doluluğunu belirlemek için bir GPS alıcısı ve yolcu tarafına bakan bir ultrasonik telemetre ile donatılmıştır. 2 ay boyunca toplanan 500 mil yol kenarı park verisine dayanarak, park yeri sayımlarının %95 doğru olduğunu ve doluluk haritalarının %90'ın üzerinde doğruluk sağlayabildiğini belirtmişlerdir (Mathur vd.,2010).

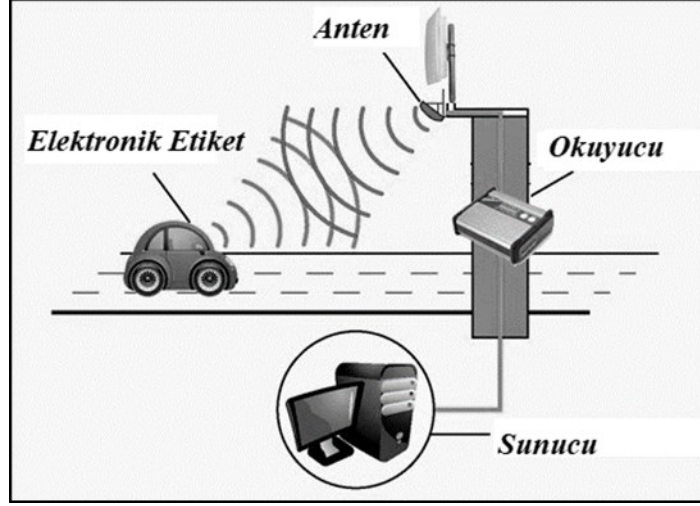
1.2.5. Akustik detektörler

Akustik sensörler, kapsama alanından geçen veya yaklaşan bir araç tarafından üretilen ses enerjisindeki artışı algılamak için kullanılan bir dizi mikrofondan oluşur (Guerrero-Ibáñez vd.,2018). Bir bilgisayar, araç geçişi esnasında mikrofon vasıtası ile tespit edilen ses seviyelerindeki değişimi analiz eder (Kotb vd.,2017). Bir akustik sensör, sesi oluşturan ses kaynağının veya sesi yansıtan reflektörün mesafesini ve yönünü belirlemek için belirli frekanslardaki sesi veya titreşimi algılar. Bu tip lokalizasyon tekniği pasif akustik lokasyon tekniği olarak bilinir (Armingol vd.,2018; Na vd.,2009). AOS'da, park yeri boşluğunu tespit etmek ve gözetleme amacıyla Akustik sensör kullanılır (Fahim vd.,2021).

Kumar ve Ark. yaptıkları çalışmada bir otoparkta akustik sensör sistemini incelemişlerdir. Park şeridi içerisindeki ses değişimlerini ölçerek araç varlığının tespitini incelemişlerdir. İlk aşamada, park çizgileri içerisinde araç olmadığı için ses sensörünün desibel değerleri düşüktür. şeritler arasına bir araç girdiğinde ses değerleri değişir ve bu da park şeritleri arasında bir araç olduğunu göstermektedir. Akistik sensör tarafından tespit edilen ses temel olarak araç motoru tarafından üretilir (Kumar vd.,2007). Bir başka çalışmada Na ve ark., akustik sensör-ağ tabanlı bir otopark güvenlik sisteminin tasarımını, uygulamasını ve değerlendirmesini sunmuşlardır. Kurulan sistem, araç alarmları veya kaza sesleri gibi akustik olayların yerini tespit etmek için düşük maliyetli mikrofonlarla donatılmış sensör ağlarını kullanır. Akustik olayı yeri belirlendiğinde, güvenlik kamerası sistemi, kamera yönünü olaya doğru hareket ettirir ve tahmini konumu düzeltilir. Sistemin performansını doğrulamak için bir otoparkta kapsamlı deneyler yapmışlardır. Deneysel sonuçlar, sistemin otoparklardaki olayları tespiti için makul doğruluk ve performans sağladığı iddia edilmiştir (Na vd.,2009).

1.2.6. Radyo frekans tanımlama (RFID) sistemleri

Radyo frekans tanımlamasının kısaltması olan RFID (Radio Frequency Identification), radyo dalgalarını kullanarak küçük veri paketlerini ileten bir teknolojidir. Bu teknolojiye, bir RFID alıcısını ve RFID etiketini kapsayan bir radyo aktarım şekli kullanılır (Fahim vd.,2021). Otopark doluluk tespiti için araca RFID etiketi takılır ve araçla ilgili marka, model ve ruhsat bilgileri gibi bilgiler bu etiketin hafızasında depolanır. Araç, park yerine monte edilmiş bir okuyucunun menzili içine girdiğinde, okuyucu etiketi algılar, içinde depolanan verileri okur, aracı tanımlar ve park yerine park edip etmediğini belirler (Winter ve Goel, 2021). şekil 7'de RFID sistemine ait bir uygulama mimarisi gösterilmiştir.



şekil 7. RFID otopark sistemi (AsiaRFID, 2017).

RFID okuyucular hem kapalı hem de açık otoparklara kurulabilir. RFID okuyucuları için yüksek kurulum yaygın bir uygulama şeklidir. Otopark doluluk tespitinde RFID teknolojisinin en önemli dezavantajı, otoparkı kullanacak tüm araçlara RFID etiketlerinin takılmasını gerektirmesidir. Tüm araçlara etiket takma işlemi pahalıdır ve uygulanması lojistik açıdan karmaşıktır. AOS için RFID sensörlerinin lehine bir avantaj oluşturabilecek durum olarak, bazı şehirlerde birçok aracın halihazırda park doluluk tespiti için kullanılacak elektronik geçiş ücreti toplama sistemi dahilinde RFID etiketlerine sahip olması gösterilebilir (Winter ve Goel, 2021).

RFID sensörleri, doğru ve güvenilir park doluluk bilgisi sağlayabilir. RFID etiketleri, düşük güç tüketimine ve 3 ila 5 yıllık nispeten uzun bir pil ömrüne sahiptir (Winter ve Goel, 2021). RFID teknolojisi, araç ve kullanıcı tanımlaması için AOS’de çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Atta vd.,2020; Fahim vd.,2021; Karbab vd.,2015). RFID sistemini de kapsayan hibrit sistemlerin sadece RFID’in kullanıldığı sistemlere göre daha fazla güvenilirliğe sahip olduğu tespit edilmiştir (Al-Turjman ve Malekloo, 2019; Karbab vd.,2015).

Literatürde yapılan araştırmalarda(Pala ve Inanc, 2007; Thorat vd.,2017), RFID sensörü ile otopark giriş ve çıkış noktalarında araçları durdurmadan algılama yapan sistemler incelenmiştir. Otoparka araç girişi anında sistem aracın kayıtlı veya kayıtsız olup olmadığını kontrol eder ve kayıtlı ise aracın park etmesine girmesine izin verir. Otoparktan ayrılma esnasında sistem aracın otoparka giriş saatini kontrol eder, toplam park süresini tespit eder ve park ücretini hesaplar.

RFID sistemlerinde menzil sınırlaması nedeniyle okuyucu ile etiket arasındaki mesafeler son derece önemlidir (Pala ve Inanc, 2007). Ayrıca, park yerlerindeki araçlara ve okuyuculara RFID etiketlerinin takılması karmaşık ve pahalıdır. Bununla birlikte, AOS çözümleri için RFID sensörlerinin bakım maliyeti hem araçlardaki etiketler hem de park yerlerindeki okuyucular için bakım ihtiyaçları nedeniyle nispeten yüksektir (Winter ve Goel, 2021).

2. AOS araç tanıma sistemlerinin avantajları ve dezavantajları

AOS’da kullanılan sistem ve araç tanıma teknolojilerinin uygulama koşullarına bağlı olarak avantajları ve dezavantajları Tablo 1’de verilmiştir. Uygulanacak sistem ve araç tanıma teknolojilerinin etkinliği ve verimliliği için, avantaj ve dezavantajları dikkate alınarak kullanım amaç ve şartlarına uygun seçim yapılması ve tasarlanması önemlidir.

Tablo 1. Sensör teknolojilerinin topladığı veri türleri, avantajları ve dezavantajları

Uygulama şekli	Sensör teknolojisi	Uygulama alanı	Avantaj	Dezavantaj
	İndüksiyon sarmalı sensörleri	Kapalı Otopark	Güvenilir veri, hava şartlarına dayanıklı, çevre şartlarından etkilenmez	Trafik yüküne ve sıcaklık değişimlerine hassasiyet, çabuk yıpranma, pahalı kurulum ve bakım, kaplamaya zarar verme
	Magnetometreler	Açık ve Kapalı Otopark	Güvenilir, istenmeyen hava koşullarına dayanıklı, kablosuz bağlantı ile pil gücüyle çalışabilme, mekanik dayanıklılık, düşük maliyet	Araç tanıma için yakın olma gerekliliği, kurulum, kaplamaya zarar verme
Dahili (intrusive)	Manyetik dirençli sensörler	Açık, Kapalı ve Yol kenarı Otoparkları	Çevresel etkilere ve hava koşullarına dayanıklı, basit kurulum, kolay bakım, düşük maliyet	Pozisyona ve oryantasyona duyarlılık, kaplamaya zarar verme
	Pnömatik tüplü sensörler	Kapalı Otopark	Düşük maliyetli çözüm, hızlı ve kolay kurulum, kolay bakım	Güvenilirlik sorunu, sadece giren-çıkan araç sayımı, sıcaklık hassasiyeti, Vandalizm, kaplamaya zarar verme
	Piezoelektrik sensörler	Kapalı Otopark	Elektrik üretimi	Güvenilirlik sorunu, basınç ve sıcaklığa duyarlı, kaplamaya zarar verme

Tablo 1. (Devamı) Sensör teknolojilerinin topladığı veri türleri, avantajları ve dezavantajları

Uygulama şekli	Sensör teknolojisi	Uygulama alanı	Avantaj	Dezavantaj
Harici (non-intrusive)	Video görüntü işlemcisi	Açık, Kapalı ve Yol kenarı Otoparkları	Güvenilir, bölgeye algılama yapabilme kabiliyeti, mevcut ekipmanı kullanabilme, algılama bölgelerine kolay ekleme ve değiştirme imkânı	4 En iyi performans için kaplamanın 15 metre yukarısına montaj gereksinimi, aydınlatma gereksinimine dayalı sistem performansını, çevresel etkilere hassas
	Pasif veya aktif kızılötesi detektörler	Kapalı Otopark	Birden çok park yeri (park şeritleri arası) tespiti yapılabilir.	Hava koşullarına hassasiyet, kurulum ve bakım maliyeti, güç tüketimi
	Mikrodalga radar detektörleri	Açık ve Kapalı Otopark	Hava koşullarına dayanıklılık, güvenilirlik	Yüksek kurulum ve bakım maliyeti
	Ultrasonik detektörler	Kapalı Otopark	Kolay montaj, esneklik	Hava koşullarına ve çevresel etkilere karşı hassasiyet, bakım maliyeti
	Akustik detektörler	Kapalı Otopark	Pasif sensör (dış etkileri dinleyen)	Hava koşullarına hassasiyet
	Radyo Frekanslı Tanımlama (RFID)	Açık ve Kapalı Otopark	Güvenilirlik, mevcut ekipmanı kullanabilme	Tüm araçlara etiket uygulaması, ilk kurulum maliyeti

3. Tartışma

Tablo 2’de verilen literatürde de görüldüğü gibi AOS’da farklı sensörlerin kullanım oranlarına bakıldığında kameralı sistemlerin en çok kullanılan araç tanıma sistemi olduğu görülebilir. Sensör teknolojilerinin kullanım deneyimlerine göre avantajlarına ve dezavantajlarına bakıldığında kamera ağının kurulum maliyeti yüksek olmasına rağmen, geniş bir denetim alanı sağlayabilir ve belirli bir alanda gereken sensör sayısını azaltabilir. Sonuç olarak, kamera sistemleri sayesinde diğer araç algılama sensörlerinin (kızılötesi sensörler, ultrasonik sensörler vb.) gerekliliği neredeyse sıfıra inmektedir. Kameralı sistemler ayrıca, genel güvenliği artıran güvenlik kontrol sistemleri ve plaka tespit imkanı da sağlamaktadır (Fahim vd.,2021; Paidi vd.,2018).

Kamerallı sistemlerden sonra Ultrasonik ve RFID sensörler, ikinci en çok kullanılan sensörlerdir. Ultrasonik sensörler, esas olarak gerçek zamanlı otopark doluluk durumu verisi için araç tespitinde kullanılır. Ancak bu tür bir sensör çevresel değişikliklere hassastır. Bu nedenle bu tip sensörler kapalı otoparklar için daha uygundur. RFID sensörü, sık kullanılan bir diğer sensördür. RFID sensörü gerçek zamanlı araç doluluk durum bilgisini tam olarak sağlayamasa da otopark ücreti için otomatik ödeme, araç güvenliği ve kimlik doğrulaması gibi olanakları sağlayabilmektedir (Fahim vd.,2021; Paidi vd.,2018).

Geri kalan diğer sensörlerin çoğu, maliyet/performans dengesi veya daha yüksek kurulum ve bakım maliyeti nedeniyle daha az oranda kullanılmaktadır. Uygulama açısından bakıldığında kızılötesi sensörlerinin kullanımda üçüncü sırada gelmektedir. Kızılötesi sensörler düşük maliyetli olmasına rağmen tespit yetenekleri çevresel değişikliklere karşı hassastır ve kapalı otopark tesisleri için uygundur (Fahim vd.,2021; Paidi vd.,2018).

Tablo 2. Sensör teknolojileri üzerine literatür araştırması

Sistem sınıfı	Sensör	Literatür
Dahili (intrusive) Araç Tanıma Sistemleri	İndüksiyon sarmalı sensörleri	(Amato vd.,2016, 2017; Baroffio vd.,2015; Luque-Vega vd.,2020; Masmoudi vd.,2014; Mukadam ve Logeswaran, 2020; Singh ve Divya Jyothi, 2013; Thangam vd.,2018)
	Magnetometreler	(Fúra vd.,2016; Vuk ve Andročec, 2022; Zhang vd.,2018)
	Manyetik dirençli sensörler	(Shi vd.,2017; Suryady vd.,2014)
	Pnömatik tüplü sensörler	(Martin vd.,2003)
Harici (non-intrusive) Araç Tanıma Sistemleri	Piezoelektrik sensörler	(Okia, 2020; Thakur vd.,2021; Yan vd.,2008)
	Video görüntü işlemcisi	(Abdulkader vd.,2018; Bura vd.,2018; Geng ve Cassandras, 2012; Grodi vd.,2016; Joon ve Jaidev, 2022; Karbab vd.,2015; Khanna ve Anand, 2016; Loong vd.,2019; Luque-Vega vd.,2020; ManjushaPatil, 2013; Mohandes vd.,2019; Prasetyo vd.,2021; Sahfutri vd.,2018; SR, 2015; Sudhakar vd.,2021; Suhr ve Jung, 2013; Vera-Gómez vd.,2016; Zadeh ve Cruz, 2016)
	Pasif veya aktif kızılötesi detektörler	(Chippalkatti vd.,2018; Gandhi ve Rao, 2016; Luque-Vega vd.,2020; Mukadam ve Logeswaran, 2020; Vera-Gómez vd.,2016; Yang vd.,2012; Yee ve Rahayu, 2014)
	Mikrodalga radar detektörleri	(Bao vd.,2016)
	Ultrasonik detektörler	(Bagenda ve Parulian, 2018; Degerman vd.,2007; Jeon ve Seo, 2019; Jeong vd.,2010; Kepuska ve Alshamsi, 2016; Kianpishah vd.,2012; Park vd.,2008; Sahfutri vd.,2018; Shao vd.,2018)
	Akustik detektörler	(Hilmani vd.,2018; Karbab vd.,2015)
	Radyo Frekanslı Tanımlama (RFID)	(Anusooya vd.,2017; Aye vd.,2019; Giri ve Mhetre, 2018; Mazlan vd.,2018; Pala ve Inanc, 2007; Saeliw vd.,2019; Shimi vd.,2020; Thorat vd.,2017; Zhou ve Li, 2016)

4. Sonuç

Çalışmada AOS'un önemli bileşeni olan araç tanıma teknolojileri tanıtılmış ve bu teknolojilerin uygulama avantajları ve dezavantajları vurgulanmıştır. Araç tanıma teknolojileri sınıflandırılırken uygulama kolaylıklarına göre dahili ve harici sistemler olarak ikiye ayrılmıştır. Tanıtılan teknolojiler maliyet, uygulama kolaylığı ve farklı şartlarda araç tanıma yetenekleri açısından kıyaslanmıştır. Buna göre, kameralı sistemlerin diğer teknolojilere göre daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Kameralı sistemleri, avantajları bakımından Ultrasonik ve RFID sistemlerin takip ettiği belirtilmiştir. Üçüncü sırada ise kızılötesi sistemlerin tercih edildiği tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra her bir teknolojinin uygulama avantajları ve dezavantajları düşünülerek hangi şartlarda uygulanabilecekleri belirtilmiş olup sistem uygulayıcılarına detektör teknolojisi seçimi sırasında kılavuz olarak yararlanılabilecek bir kaynak sunulmuştur. Çalışma daha sonra yapılabilecek AOS çalışmalarında, araç tanıma teknolojisi seçimi ve buna bağlı olarak sistem performansının ölçülmesi gibi çalışmalara öncülük edebilmeyi amaçlamaktadır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Çalışma herhangi bir destek almamıştır. Teşekkür edilecek bir kurum veya kişi bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Abdulkader, O., Bamhdi, A. M., Thayanathan, V., Jambi, K., & Alrasheedi, M.** (2018). A novel and secure smart parking management system (SPMS) based on integration of WSN, RFID, and IoT. *2018 15th Learning and Technology Conference (L&T)*, 102–106.
- Acharya, D., Yan, W., & Khoshelham, K.** (2018). Real-time image-based parking occupancy detection using deep learning. *Research@ Locate*, 4, 33–40.
- Al-Kharusi, H., & Al-Bahadly, I.** (2014). Intelligent parking management system based on image processing. *World Journal of Engineering and Technology*, 02(02), 55–67. <https://doi.org/10.4236/wjet.2014.22006>
- Al-Turjman, F.** (2018). Mobile couriers' selection for the smart-grid in smart-cities' pervasive sensing. *Future Generation Computer Systems*, 82, 327–341.
- Al-Turjman, F., & Malekloo, A.** (2019). Smart parking in IoT-enabled cities: A survey. *Sustainable Cities and Society*, 49, 101608.
- Amato, G., Carrara, F., Falchi, F., Gennaro, C., Meghini, C., & Vairo, C.** (2017). Deep learning for decentralized parking lot occupancy detection. *Expert Systems with Applications*, 72, 327–334.
- Amato, G., Carrara, F., Falchi, F., Gennaro, C., & Vairo, C.** (2016). Car parking occupancy detection using smart camera networks and deep learning. *2016 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC)*, 1212–1217.
- Anusooya, G., Jackson, J. C., Sathyarajasekaran, K., & Kannan, K.** (2017). RFID based smart car parking system. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(17), 6559–6563.
- Arab, M., & Nadeem, T.** (2017). Magnopark-locating on-street parking spaces using magnetometer-based pedestrians' smartphones. *2017 14th Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking (SECON)*, 1–9.
- Armingol, J. M., Alfonso, J., Aliane, N., Clavijo, M., Campos-Cordobés, S., de la Escalera, A., del Ser, J., Fernández, J., García, F., Jiménez, F., & others.** (2018). Environmental perception for intelligent vehicles. *Intelligent Vehicles*, 23–101.

Url-1 <<https://www.asiarfid.com/index.php?route=rfid-journal/how-to-track-vehicles-with-rfid.html>> 22.03.2022

Atta, A., Abbas, S., Khan, M. A., Ahmed, G., & Farooq, U. (2020). An adaptive approach: Smart traffic congestion control system. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 32(9), 1012–1019.

Aye, K. N., Oo, P. Z., & Naing, W. W. (2019). RFID based automatic multistoried car parking system. *Int. J. Sci. Engineer. Applicat.*, 8(7), 172–175.

Bagenda, D. N., & Parulian, C. (2018). Online information of parking area using ultrasonic sensor through wifi data acquisition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 175(1), 12011.

Url-2 <<https://www.bannerengineering.com/tr/tr/company/expert-insights/3-advantages-wireless-magnetometer-vehicle-detection.html>> 05.02.2022

Bao, X., Zhan, Y., Xu, C., Hu, K., Zheng, C., & Wang, Y. (2016). A novel dual microwave Doppler radar based vehicle detection sensor for parking lot occupancy detection. *IEICE Electronics Express*, 13–20161087.

Baroffio, L., Bondi, L., Cesana, M., Redondi, A. E., & Tagliasacchi, M. (2015). A visual sensor network for parking lot occupancy detection in smart cities. *2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 745–750.

Bura, H., Lin, N., Kumar, N., Malekar, S., Nagaraj, S., & Liu, K. (2018). An edge based smart parking solution using camera networks and deep learning. *2018 IEEE International Conference on Cognitive Computing (ICCC)*, 17–24.

Chen, J.-Y., & Hsu, C.-M. (2017). A visual method for the detection of available parking slots. *2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 2980–2985.

Chinrungrueng, J., Sunantachaikul, U., & Triamlumlard, S. (2007). Smart parking: an application of optical wireless sensor network. *SAINT - 2007 International Symposium on Applications and the Internet - Workshops, SAINT-W*, 66. <https://doi.org/10.1109/SAINT-W.2007.98>

Chippalkatti, P., Kadam, G., & Ichake, V. (2018). I-SPARK: IoT based smart parking system. *2018 International Conference On Advances in Communication and Computing Technology (ICACCT)*, 473–477.

de Almeida, P. R. L., Oliveira, L. S., Britto Jr, A. S., Silva Jr, E. J., & Koerich, A. L. (2015). PKLot—A robust dataset for parking lot classification. *Expert Systems with Applications*, 42(11), 4937–4949.

Degerman, P., Pohl, J., & Sethson, M. (2007). *Ultrasonic sensor modeling for automatic parallel parking systems in passenger cars.*

Dogaroglu, B. (2019). *Akilli otopark sistemi uygulamalari üzerine bir inceleme.*

Dogaroglu, B., & Caliskanelli, S. P. (2020). Investigation of car park preference by intelligent system guidance. *Research in Transportation Business & Management*. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100567>

Dogaroglu, B., Caliskanelli, S. P., & Tanyel, S. (2021). Comparison of intelligent parking guidance system and conventional system with regard to capacity utilisation. *Sustainable Cities and Society*, 74, 103152.

Elaouad, S., Benmakhlof, S., Tobaji, N., Dmini, M. A., & Alj, Y. S. (2015). Car parking management system using AMR-sensor technology. *2015 International Conference on Electrical and Information Technologies (ICEIT)*, 414–418.

Enriquez, F., Soria, L. M., Álvarez-García, J. A., Velasco, F., & Déniz, O. (2017). Existing approaches to smart parking: An overview. *International Conference on Smart Cities*, 63–74.

Fahim, A., Hasan, M., & Chowdhury, M. A. (2021). Smart parking systems: comprehensive review based on various aspects. *Heliyon*, 7(5), e07050.

Url-3 <<https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/pubs/vdstits2007/04pt2.cfm>>, 05.12.2021

Fúra, V., Petruca, V., & Platil, A. (2016). Construction of an AMR magnetometer for car detection experiments. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 108(1), 12028.

Gandhi, B. M. K., & Rao, M. K. (2016). A prototype for IoT based car parking management system for smart cities. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(17), 1–6.

G.C, S., Shirabadagi, S., & Hegadi, R. (2014). High Density Traffic Management using Image background subtraction Algorithm. *International Journal of Computer Applications*, 10–15.

Geng, Y., & Cassandras, C. G. (2012). A new “smart parking” system infrastructure and implementation. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 54, 1278–1287.

Giri, S. J., & Mhetre, N. A. (2018). *Smart car parking by using RFID code tracking*.

Grodi, R., Rawat, D. B., & Rios-Gutierrez, F. (2016). Smart parking: Parking occupancy monitoring and visualization system for smart cities. *SoutheastCon 2016*, 1–5.

Guerrero-Ibañez, J., Zeadally, S., & Contreras-Castillo, J. (2018). Sensor technologies for intelligent transportation systems. *Sensors (Switzerland)*, 18(4), 1–24. <https://doi.org/10.3390/s18041212>

Hilmani, A., Maizate, A., & Hassouni, L. (2018). Designing and managing a smart parking system using wireless sensor networks. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 7(2), 24.

Idris, M. Y. I., Leng, Y. Y., Tamil, E. M., Noor, N. M., & Razak, Z. (2009). Car park system: a review of smart parking system and its technology. *Information Technology Journal*, 8(2), 101–113.

Jain, A., & Shambavi, K. (2021). Energy Efficient Smart Parking System Using Piezoelectric Material And Sensors. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 03(05), 3148–3150.

Jeon, S., & Seo, D. (2019). Smart parking system based on an ultrasonic sensor and bluetooth low energy in the internet of things. *J. Syst. Manag. Sci*, 9, 91–110.

Jeong, S. H., Choi, C. G., Oh, J. N., Yoon, P. J., Kim, B. S., Kim, M., & Lee, K. H. (2010). Low cost design of parallel parking assist system based on an ultrasonic sensor. *International Journal of Automotive Technology*, 11(3), 409–416.

Joon, R. K., & Jaidev, S. (2019). *Optimization of Space for Smart Parking using Artificial Intelligence: A Brief Reviews*.

Karbab, E., Djenouri, D., Boulkaboul, S., & Bagula, A. (2015). Car park management with networked wireless sensors and active RFID. *2015 IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT)*, 373–378.

Kastrinaki, V., Zervakis, M., & Kalaitzakis, K. (2003). A survey of video processing techniques for traffic applications. *Image and Vision Computing*, 21(4), 359–381. [https://doi.org/10.1016/S0262-8856\(03\)00004-0](https://doi.org/10.1016/S0262-8856(03)00004-0)

Kepuska, V., & Alshamsi, H. (2016). Smart car parking system. *International Journal of Science and Technology*, 5(8), 390–395.

Khanna, A., & Anand, R. (2016). IoT based smart parking system. *2016 International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA)*, 266–270.

Kianpisheh, A., Mustaffa, N., Limtrairut, P., & Keikhosrokiani, P. (2012). Smart parking system (SPS) architecture using ultrasonic detector. *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, 6(3), 55–58.

Kotb, A. O., Shen, Y., & Huang, Y. (2017). Smart parking guidance, monitoring and reservations: a review. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 9(2), 6–16.

- Kumar, R., Chilamkurti, N. K., & Soh, B.** (2007). A comparative study of different sensors for smart car park management. *The 2007 International Conference on Intelligent Pervasive Computing (IPC 2007)*, 499–502.
- Lee, T. J., Choi, H., & Lee, H.** (2013). Parking status SNS (Social Network Service) notification system. *2013 IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference (LISAT)*, 1–6.
- Lenz, J., & Edelstein, A. S.** (2006). Magnetic sensors and their applications. *IEEE Sensors Journal*, 6(3), 631–649. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2006.874493>
- Loong, D. N. C., Isaak, S., & Yusof, Y.** (2019). Machine vision based smart parking system using Internet of Things. *Telkomnika*, 17(4), 2098–2106.
- Luque-Vega, L. F., Michel-Torres, D. A., Lopez-Neri, E., Carlos-Mancilla, M. A., & González-Jiménez, L. E.** (2020). Iot smart parking system based on the visual-aided smart vehicle presence sensor: SPIN-V. *Sensors*, 20(5), 1476.
- ManjushaPatil, V. N. B.** (2013). Wireless Sensor Network and RFID for Smart Parking System. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Website: Www. Ijetae. Com (ISSN 2250-2459, ISO 9001: 2008 Certified Journal, Volume 3, Issue 4.*
- Martin, P. T., Feng, Y., Wang, X., & others.** (2003). *Detector technology evaluation.*
- Masmoudi, I., Wali, A., Jamoussi, A., & Alimi, A. M.** (2014). Vision based system for vacant parking lot detection: Vpld. *2014 International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP)*, 2, 526–533.
- Mathur, S., Jin, T., Kasturirangan, N., Chandrasekaran, J., Xue, W., Gruteser, M., & Trappe, W.** (2010). Parknet: drive-by sensing of road-side parking statistics. *Proceedings of the 8th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, 123–136.
- Mazlan, M. S., Hamid, I. R. A., & Kamaludin, H.** (2018). Radio Frequency Identification (RFID) Based Car Parking System. *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, 2(4–2), 318–322.
- Mimbela, L. E. Y., & Klein, L. A.** (2000). *Summary of vehicle detection and surveillance technologies used in intelligent transportation systems.* <http://www.fhwa.dot.gov/ohim/tvtw/vdstits.pdf>
- Mohandes, M., Deriche, M., Abuelma'atti, M. T., & Tasadduq, N.** (2019). Preference-based smart parking system in a university campus. *IET Intelligent Transport Systems*, 13(2), 417–423.
- Mouskos, K. C., Boile, M., & Parker, N.** (2007). *Technical solutions to overcrowded park and ride facilities* (U. T. R. Center, N. Jersey. Dept. of Transportation, & U. States. F. H. Administration, Eds.; p. 236). <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/16240>
- Mouskos, K. C., Boile, M., Parker, N., & others.** (2007). *Technical solutions to overcrowded park and ride facilities.*
- Mukadam, Z., & Logeswaran, R.** (2020). A cloud-based smart parking system based on IoT technologies. *Journal of Critical Reviews*, 7(3), 105–109.
- Na, K., Kim, Y., & Cha, H.** (2009). Acoustic sensor network-based parking lot surveillance system. *European Conference on Wireless Sensor Networks*, 247–262.
- Nagakalyan, S., & Raghukumar, B.** (2014). Fabrication of car parking prototype using piezoelectric sensors. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 14(4), 26–30.
- Okia, E.** (2020). *A digital car park monitoring system for locating an empty space in a car park building.*
- Paidi, V., Fleyeh, H., Håkansson, J., & Nyberg, R. G.** (2018). Smart parking sensors, technologies and applications for open parking lots: A review. In *IET Intelligent Transport Systems* (Vol. 12, Issue 8, pp. 735–741). Institution of Engineering and Technology. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2017.0406>
- Pala, Z., & Inanc, N.** (2007). Smart parking applications using RFID technology. *2007 1st Annual RFID Eurasia*, 1–3.

- Park, W.-J., Kim, B.-S., Seo, D.-E., Kim, D.-S., & Lee, K.-H.** (2008). Parking space detection using ultrasonic sensor in parking assistance system. *2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 1039–1044.
- Prasetyo, B. A., Wibowo, A. P. W., & Suhendri, S.** (2021). Optimization Of Image Processing Techniques In Developing Of Smart Parking System. *Journal of Information Technology*, 3(1), 1–4.
- Revathi, G., & Dhulipala, V. R. S.** (2012). Smart parking systems and sensors: A survey. *2012 International Conference on Computing, Communication and Applications*, 1–5.
- Saeliw, A., Hualkasin, W., Puttinaovarat, S., & Khaimook, K.** (2019). *Smart Car Parking Mobile Application based on RFID and IoT*.
- Sahfitri, A., Husni, N. L., Nawawi, M., Lutfi, I., Silvia, A., Prihatini, E., & others.** (2018). Smart parking using wireless sensor network system. *2018 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS)*, 117–122.
- Sarangi, M., Das, S. K., & Babu, K. S.** (2019). Smart parking system: survey on sensors, technologies and applications. *2019 1st International Conference on Advances in Information Technology (ICAIT)*, 250–255.
- Shaheen, S.** (2005). *Smart parking management field test: A bay area rapid transit (bart) district parking demonstration*.
- Shao, Y., Chen, P., & Cao, T.** (2018). A grid projection method based on ultrasonic sensor for parking space detection. *IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 3378–3381.
- Shi, J., Jin, L., Li, J., & Fang, Z.** (2017). A smart parking system based on NB-IoT and third-party payment platform. *2017 17th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)*, 1–5.
- Shimi, A., Dishabi, M. R. E., & Azgomi, M. A.** (2020). *An Intelligent Parking Management System using RFID Technology based on User Preferences*.
- Shobhit Shanker, & Mahmud, S. M.** (2005). An intelligent architecture for metropolitan area parking control and toll collection. *IEEE Proceedings. Intelligent Vehicles Symposium, 2005.*, 723–728. <https://doi.org/10.1109/IVS.2005.1505189>
- Singh, D. N., & Divya Jyothi, U.** (2013). An Intelligent Parking Guidance and Information System with ARM9 Microcontroller. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET)*, 2, 234–239.
- Someswar, G. M., Dayananda, R. B., Anupama, S., Priyadarshini, J., & Shariff, A. A.** (2017). Design & development of an autonomic integrated car parking system. *CompuSoft*, 6(3), 2309.
- Song, B., Choi, H., & Lee, H. S.** (2008). Surveillance tracking system using passive infrared motion sensors in wireless sensor network. *2008 International Conference on Information Networking*, 1–5.
- SR, M. B.** (2015). Automatic smart parking system using Internet of Things (IOT). *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5(12), 629–632.
- Sudhakar, M. V., Reddy, A. V. A., Mounika, K., Kumar, M. V. S., & Bharani, T.** (2021). Development of smart parking management system. *Materials Today: Proceedings*.
- Suhr, J. K., & Jung, H. G.** (2013). Sensor fusion-based vacant parking slot detection and tracking. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(1), 21–36.
- Suryady, Z., Sinniah, G. R., Haseeb, S., Siddique, M. T., & Ezani, M. F. M.** (2014). Rapid development of smart parking system with cloud-based platforms. *The 5th International Conference on Information and Communication Technology for The Muslim World (ICT4M)*, 1–6.
- Thakur, R., Qureshi, M., Sarile, S., Pandit, S., & Tahilani, L.** (2021). Smart Vehicle Monitoring and Control System using Arduino and Speed Gun: A Case Study. In *Computing Technologies and Applications* (pp. 279–300). Chapman and Hall/CRC.

- Thangam, E. C., Mohan, M., Ganesh, J., Sukesh, C. v, & Prof, A.** (2018). Internet of Things (IoT) based smart parking reservation system using raspberry-pi. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(8), 5759–5765.
- Thorat, S. S., Ashwini, M., Kelshikar, A., Londhe, S., & Choudhary, M.** (2017). IoT based smart parking system using rfid. *International Journal of Computer Engineering In Research Trends*, 4(1), 9–12.
- Tom V Mathew.** (2014). *Transportation systems engineering*. Cell Transmission Models, IIT.
- Valipour, S., Siam, M., Stroulia, E., & Jagersand, M.** (2016). Parking-stall vacancy indicator system, based on deep convolutional neural networks. *2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 655–660.
- Vera-Gómez, J. A., Quesada-Arencibia, A., Garc\'ia, C. R., Suárez Moreno, R., & Guerra Hernández, F.** (2016). An intelligent parking management system for urban areas. *Sensors*, 16(6), 931.
- Vuk, D., & Andročec, D.** (2022). Application of Machine Learning Methods on IoT Parking Sensors' Data. *Proceedings of Sixth International Congress on Information and Communication Technology*, 157–164.
- Wang Longfei, Chen Hong, & Li Yang.** (2009). Integrating mobile agent with multi-agent system for intelligent parking negotiation and guidance. *2009 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, 1704–1707. <https://doi.org/10.1109/ICIEA.2009.5138486>
- Winter, S., & Goel, S.** (2021). *Smart parking in fast-growing cities: Challenges and Solutions*. TU Wien Academic Press.
- Url-4** < <https://trafficparking.com.au/vehicle-counting-systems.php> > , 21.0.2022
- Yan, G., Olariu, S., Weigle, M. C., & Abuelela, M.** (2008). SmartParking: A secure and intelligent parking system using NOTICE. *2008 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, 569–574.
- Yan, G., Weigle, M. C., & Olariu, S.** (2009). A novel parking service using wireless networks. *2009 IEEE/INFORMS International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics*, 406–411. <https://doi.org/10.1109/SOLI.2009.5203967>
- Yang, J., Portilla, J., & Riesgo, T.** (2012). Smart parking service based on wireless sensor networks. *IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, 6029–6034.
- Yee, H. C., & Rahayu, Y.** (2014). Monitoring parking space availability via zigbee