



Gözden geçirmek

Kentsel Gelişimin İlerlemesi: Akıllı Şehir Yenilikleri ve Sürdürülebilir Çözümlerde Hiperspektral Görüntülemenin Uygulamaları

Arvind Mukundan¹, Riya Karmakar¹, Jumana Jouhar², Muhammed Adil Edavana Valappil² ve Hsiang-Chen Wang^{1,*}

- ¹ Makine Mühendisliği Bölümü, Ulusal Chung Cheng Üniversitesi, 168, Üniversite Yolu, Min Hsiung, Chiayi 62102, Tayvan; d09420003@ccu.edu.tw (AM); karmakarriya345@gmail.com (RK)
- ² Bilgisayar Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Saintgits Mühendislik Fakültesi (Özerk), Kottukulam Hills Pathamuttam, Kottayam 686532, Hindistan; jumana.csb2125@saintgits.org (JJ); maev.csb2125@saintgits.org (MAEV)
- * Yazışma: hcwang@ccu.edu.tw

Önemli Noktalar

Başlıca bulgular nelerdir?

- Hiperspektral görüntüleme (HSI), hava ve su kalitesinin, atık yönetiminin ve enerji sistemlerinin doğru gerçek zamanlı izlenmesi için ayrıntılı spektral veri toplanmasını sağlayarak akıllı şehir uygulamalarını geliştirir.
- HSI'nin nesnelerin interneti, yapay zeka ve makine öğrenimiyle bütünleştirilmesi, sürdürülebilir kentsel gelişim için veri analizi ve karar alma yeteneklerini önemli ölçüde geliştiriyor.

Önemli bulguların etkileri nelerdir?

- HSI odaklı teknolojiler, kamu sağlığını, kaynak verimliliğini ve çevresel sürdürülebilirliği artıran veri odaklı içgörüler sağlayarak kentsel altyapıda devrim yaratabilir.
- Karmaşıklığına ve maliyetine rağmen HSI, gelişmiş izleme ve analiz teknikleri sayesinde daha akıllı ve daha dayanıklı şehirler yaratmak için dönüştürücü bir potansiyel sunuyor.



Akademik Editör: Pierluigi Siano

Alındı: 17 Ocak 2025 Gözden

geçirildi: 4 Mart 2025 Kabul

edildi: 5 Mart 2025

Yayımlandı: 14 Mart 2025

Alıntı:Mukundan, A.; Karmakar, R.; Jouhar, J.; Valappil, MAE; Wang, H.-C. Kentsel Gelişimi Geliştirmek: Hiperspektral Uygulamaları Akıllı Şehir Yeniliklerinde ve Sürdürülebilir Çözümlerde Görüntüleme. *Akıllı Şehirler* **2025**, *8*, 51. <https://doi.org/10.3390/smartcities8020051>

Telif Hakkı:© 2025 yazarlara aittir.

Lisans sahibi MDPI, Basel, İsviçre.

Bu makale, Creative Commons

ve

Attribution (CC BY) lisansının hüküm

ve koşulları altında dağıtılan açık

ns

erişimli bir makedir.

([https://creativecommons.org/](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

licenses/by/4.0/).

Soyut:Akıllı şehirler, verimli kaynak yönetimi, sürdürülebilir kalkınma ve iyileştirilmiş yaşam kalitesi yoluyla kentsel yaşamı daha iyi hale getirmek için gelişmiş teknolojiler kullanan kentsel alanlardır. Hiperspektral görüntüleme (HSI), birden fazla kentsel sektörde iyileştirilmiş gerçek zamanlı izleme ve analiz yetenekleri sunarak akıllı şehirlerde devrim yaratan invaziv olmayan ve tahribatsız bir görüntüleme tekniğidir. Geleneksel görüntüleme teknolojilerinin aksine, HSI daha geniş bir dalga boyu aralığında veri yakalayabilir, daha ayrıntılı spektral bilgi elde edebilir ve buna karşılık daha yüksek tespit ve sınıflandırma doğrulukları elde edebilir. Bu inceleme, hava ve su kalitesi izleme, etkili atık yönetimi, şehir planlama, ulaşım ve enerji yönetimi dahil olmak üzere akıllı şehirlerdeki HSI'nin çeşitli uygulamalarını araştırmaktadır. Bu çalışma ayrıca HSI sensör teknolojilerindeki gelişmeleri, veri işleme tekniklerini, nesnelerin interneti ile entegrasyonu ve yapay zeka ve makine öğrenimini HSI ile çeşitli akıllı şehir uygulamaları için birleştirme gibi ortaya çıkan eğilimleri inceleyerek akıllı şehirlere halk sağlığını ve altyapıyı geliştiren gerçek zamanlı, veri odaklı içgörüler sunmaktadır. HSI karmaşık veriler üretse ve maliyeti yüksek olsa da, bu incelemede tartışıldığı üzere, şehirleri daha akıllı ve daha sürdürülebilir ortamlara dönüştürme potansiyeli çok büyüktür.

Anahtar kelimeler:yapay zeka; çevresel izleme; hiperspektral görüntüleme; nesnelerin interneti; makine öğrenimi; akıllı şehir; sürdürülebilir kalkınma; şehir planlama

1. Giriş

Kentleşme artmaya devam ediyor ve şehir yönetimi ve kaynak tahsisinde sorunlara yol açıyor. Birleşmiş Milletler, dünyadaki kentsel nüfusun yüzdesinin 2018'de %55'ten 2050'ye kadar %68'e çıkacağını tahmin ediyor [1]. Artan kentsel nüfusun neden olduğu mevcut altyapı ve kaynaklar üzerindeki baskıyı azaltmak için şehirler, sürdürülebilir kalkınmayı destekleyen ve sakinlerinin yaşam standartlarını iyileştiren kentsel alanlar olan akıllı şehirlere dönüştürülebilir [2]. Bu şehirler, nesnelerin interneti (IoT), bilgi ve iletişim teknolojisi ve büyük veri gibi en son teknolojileri kullanıyor [3–5].

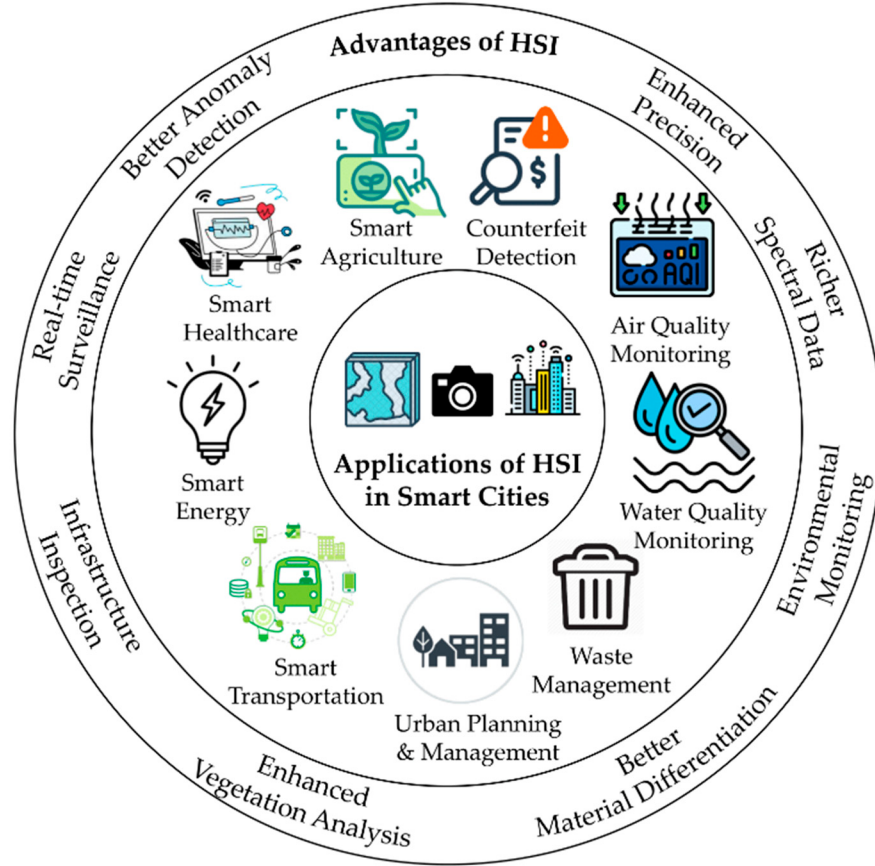
Akıllı çevre, akıllı enerji, akıllı ulaşım, akıllı altyapı, akıllı sağlık hizmeti, akıllı ekonomi, akıllı tarım, akıllı yaşam, akıllı yönetim ve akıllı insanlar gibi unsurlar akıllı bir şehri oluşturur. Kentsel bir çevre, doğal afetler, elektronik atıklar ve iklim değişikliği gibi birçok zorlukla karşı karşıyadır. Yine de akıllı bir şehir, çevresel izleme ve atık ayırma yöntemleriyle bu tür zorluklarla etkili bir şekilde başa çıkabilir. Akıllı enerji, akıllı şebekeler ve akıllı ışık yayan diyot sokak lambaları kullanır [6]. Akıllı ulaşım, esnek ve verimli ulaşım sistemleri anlamına gelir [7]. Akıllı sağlık hizmeti, daha hızlı ve daha doğru tanı ve tedavi ile daha erken ilaç keşfinden oluşur [8]. İleri teknolojinin hastaların cerrahisinde ve uzaktan izlenmesinde yararlı olduğu kanıtlanmıştır. Akıllı bir ekonomi daireseldir ve atığı, kirliliği ve yenilenemeyen kaynakların kullanımını en aza indirir [9]. Teknoloji ilerledikçe şehirler daha akıllı hale geliyor, ancak veri gizliliği ve güvenliğiyle ilgili endişeler gibi yeni zorluklar ortaya çıkıyor [10]. Nüfus arttıkça, kentsel yaşamın artan karmaşıklıklarını ele almak için hiperspektral görüntüleme (HSI) gibi akıllı teknikler uygulanmaktadır.

HSI, daha fazla bilgi sağlayabildiği için genellikle geleneksel RGB görüntüleme tekniğinden daha güçlüdür. RGB görüntüleme yalnızca üç renkli bantlardaki bilgileri yakalayabilir ve bu nedenle geniş bir ışık spektrumunu algılayıp analiz edemez. Buna karşılık, HSI, ultraviyole (UV) bölgesinden (100–400 nm) görünür bölgeye (400–700 nm) yakın kızılötesi (NIR) bölgesine (700–2500 nm) kadar daha geniş bir dalga boyu aralığını yakalayabilir ve birçok spektral bant sağlar [11]. Tek bir uzaysal boyut ve iki spektral boyuttan oluşan hiperküpler HSI'dan elde edilebilir. HSI, her piksel için spektral imzalar adı verilen ayrıntılı spektral bilgiler sağlar [12].

HSI'nin tıp, tarım, gıda kalite kontrolü dahil olmak üzere çok sayıda alanda uygulamaları vardır [13] ve uzaktan algılama [14]. Tıpta doku görüntüleme için yaygın olarak kullanılan noninvaziv bir tanı yöntemidir [15] ve ayrıca cerrahi uygulamaları da vardır. Tümörlerin tespiti ve teşhisinde kullanılabilir [16], kanserler ve retina hastalıkları [17]. HSI ayrıca böcek istilası, mantar enfeksiyonu ve yabancı maddelerin tespiti gibi gıda kalite denetimlerinde de kullanılabilir [18]. Gıda süreçlerini izlemek ve gıda güvenliğini ve kusurlarını değerlendirmek için kullanılabilir [19] ve gıdalardaki mikotoksinlerin hızlı bir şekilde tespit edilmesinde [20] ve tarım arazisi toprağındaki mikroplastikler [21]. HSI, malzeme tanımlama gibi gelişmiş görevleri gerçekleştirmek için kullanılır [22], anormallik tespiti [23] ve hassas çevresel izleme [24]. Diğer uygulamalar arasında nanomalzeme araştırmaları da yer almaktadır [25], cezai soruşturmalar, sanat eseri incelemeleri [26] ve madencilik [27]. HSI, uzaktan algılama, biyomedikal uygulamalar, sahtecilik ve adli analiz ve sahteciliğe karşı mücadele gibi birçok uygulamada derin öğrenme (DL) ile de birleştirilebilir [28].

Akıllı şehirlere özgü uygulamalar arasında gerçek zamanlı çevresel izleme, şehir planlama ve yönetimi, enerji yönetimi, ulaşım ve tıbbi görüntüleme yer alır. Akıllı sensörler ve cihazlara sahip IoT ağları akıllı şehirlerde yaygın olarak kullanılır ve aktarılan büyük miktardaki veri, Şekil'de gösterildiği gibi akıllı ulaşım sistemleri gibi şehir işlevlerini iyileştirmek için yorumlanabilir. Yüksek çözünürlüklü veriler sağlar

HSI ile bir şehrin kaynakları ve altyapısı hakkında detaylı bilgi edinilebilir, daha akıllı bir şehre katkı sağlanabilir.



Şekil 1. Akıllı şehirde HSI uygulamaları.

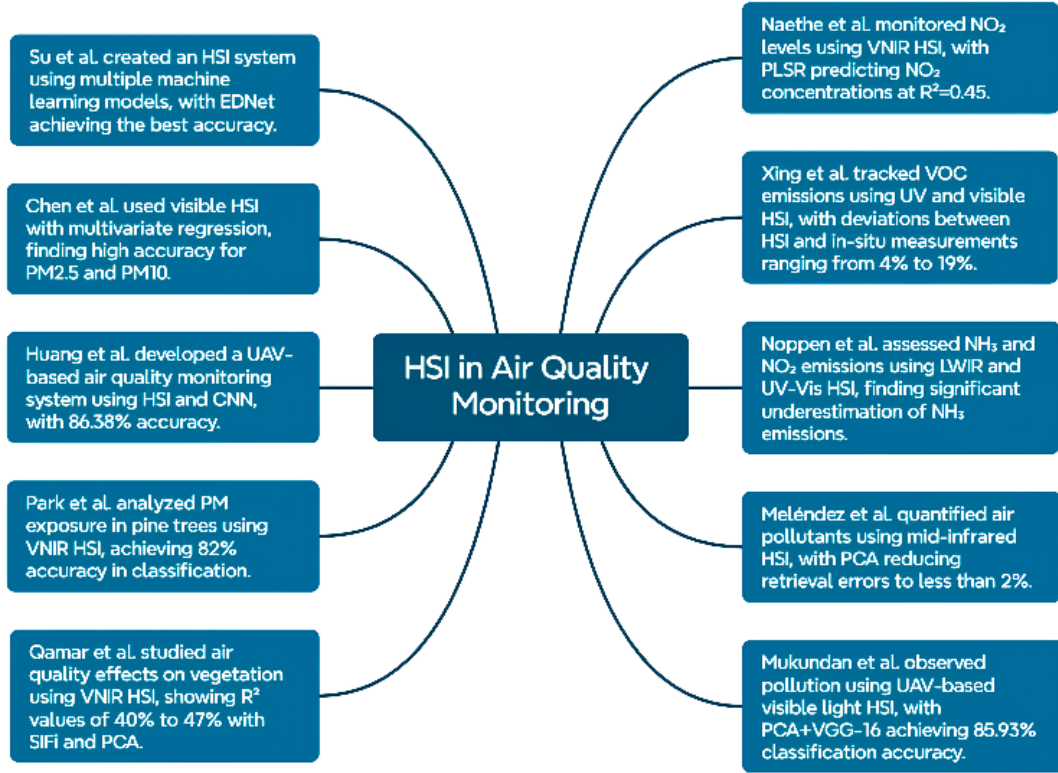
Bu incelemenin amacı akıllı şehirlerin çeşitli yönlerinde HSI'nin rolünü ve etkisini incelemektir. Bu bölüm akıllı şehirleri ve HSI'yi kısaca tanıtmaktadır. Sonraki bölümde, hava kalitesi izleme, su kalitesi izleme, atık yönetimi, şehir planlama ve yönetimi, enerji yönetimi ve ulaşım gibi akıllı şehirlerdeki HSI uygulamaları ayrıntılı olarak incelenmektedir. Sağlık, sahtecilik tespiti ve tarım gibi diğer HSI uygulamaları da tartışılmaktadır. Üçüncü bölümde, sensör teknolojisi, veri işleme ve analizi ve IoT entegrasyonu gibi HSI'deki son gelişmeler incelenmektedir. Son bölümde, akıllı şehirlerde HSI'nin ortaya çıkan eğilimleri, sınırlamaları ve gelecekteki kapsamı tanımlanmaktadır.

2. Akıllı Şehirlerde HSI Uygulamaları

2.1. Hava Kalitesi İzleme

Hava kirliliği, özellikle azot dioksit (NO_3) gibi kirlleticilerin yoğun olduğu kentsel alanlarda küresel bir tehdit oluşturmaktadır.²⁾, ince partikül madde ($\text{PM}_{2.5}$), uçucu organik bileşikler (VOC'ler) ve amonyak (NH_3), endüstriyel faaliyetler ve araç emisyonları nedeniyle yaygındır. $\text{PM}_{2.5}$ ciddi kardiyovasküler ve solunum sorunlarına yol açabilir. Küresel hastalık yükü çalışması $\text{PM}_{2.5}$ 'i ilişkilendirdi.⁵2015 yılında tahmini 4,2 milyon ölüme maruz kalma, onu dünya çapında ölüm oranı açısından beşinci en yüksek risk faktörü haline getirdi [29]. 2019'da, HAYIR₂kentsel alanlarda maruz kalmanın dünya çapında yaklaşık 549.715 ölümlle ilişkili olduğu tespit edildi [30]. Bu tür hastalıkları ve ölümleri önlemek için hava kirliliği seviyeleri hava kalitesi izleme sistemleri kullanılarak sürekli olarak izlenmelidir. HSI, spektral verileri yakalayıp kirleticileri hassas bir şekilde tespit edebilir.

Şekilde gösterildiği gibi, birden fazla dalga boyu ve hava kirleticilerinin doğru bir şekilde izlenmesi, kentsel planlamaya ve sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunur².



Şekil 2. Hava kalitesinin izlenmesinde HSI kullanımına ilişkin çalışmaların özeti [31–40].

Naethe ve diğerleri NO₂'yu araştırdı. Görünür ve yakın kızılötesi (VNIR) kullanarak kirliliğin 550-680 nm aralığında olduğunu tespit etmek [31]. Spektral verilerin değerlendirilmesinde gözetimsiz sınıflandırma, kısmi en küçük kareler regresyonu (PLSR) ve karar ağacı kullanıldı. Aşağı doğru akan ışım spektrumlarının temel bileşenleriyle birleştirilen karar ağacı, güvenilir NO₂ ürettiler geri alma işlemleri sırasında, PLSR modeli NO₂'yu etkili bir şekilde ayırt etti. Konsantrasyon aralıkları. Modelleri NO₂'yu tahmin etti. R² değeri 0,45 olan konsantrasyonlar. R² değeri ve 14.22'lik bir ortalama karekök hatası (RMSE) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, HSI'nin NO izlemedeki potansiyelini vurgulamaktadır. Kentsel ortamlardaki trafiğe bağlı emisyonlar. Xing ve diğerleri, 300-560 nm aralığındaki dalga boylarına ve 0,6 nm spektral çözünürlüğe sahip UV ve vizüel HSI'yi endüstriyel kaynaklardan gelen VOC emisyonlarını, özellikle formaldehit (HCHO) emisyonlarını izlemek için kullandılar [32]. VOC difüzyonu, rüzgarla çalışan bir taşıma/difüzyon modeli aracılığıyla değerlendirildi ve çalışmada HSI ile yerinde ölçümler arasında %4 ile %19 arasında değişen sapmalar kaydedildi. Tespit edilen en yüksek HCHO konsantrasyonu 120,44 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 12.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, petrokimyasal aktivitelerden kaynaklanan VOC kirliliğini tespit etmede HSI'nin etkinliğini azaltarak. Noppen ve diğerleri, 800-1350 nm aralığında uzun dalgalı kızılötesi (LWIR) HSI kullandı ve NH₃'yi izlemek için UV-Vis HSI'ye ve HAYIR₂ endüstriyel kaynaklardan kaynaklanan emisyonlar [33]. Kızılötesi ölçümlerden elde edilen yüksek çözünürlüklü verileri analiz etmek için kesitsel akı ve entegre kütle geliştirme teknikleri kullanıldı. NH₃ emisyonlarının önemli ölçüde düşük tahmin edildiği, ölçülen oranların yöntemle ilgili olarak 1600 ton/yıl ile 13.000 ton/yıl arasında değiştiği bulundu. Bu önceki çalışma, kirlilik kontrol stratejisi için doğru emisyon ölçümlerinin önemini vurguladı ve HSI'nin güvenilir hava kalitesi verileri sağlamadaki değerini gösterdi.

Meléndez et al. 1850-6667 cm⁻¹ aralığında orta kızılötesi HSI kullandı ve 1 cm⁻¹ hava kirleticilerini ölçmek için spektral çözünürlük [34]. Gaz emilimini ve emisyonunu hesaplamak için HITRAN veritabanıyla birlikte radyometrik bir model kullanıldı ve temel bir bileşik

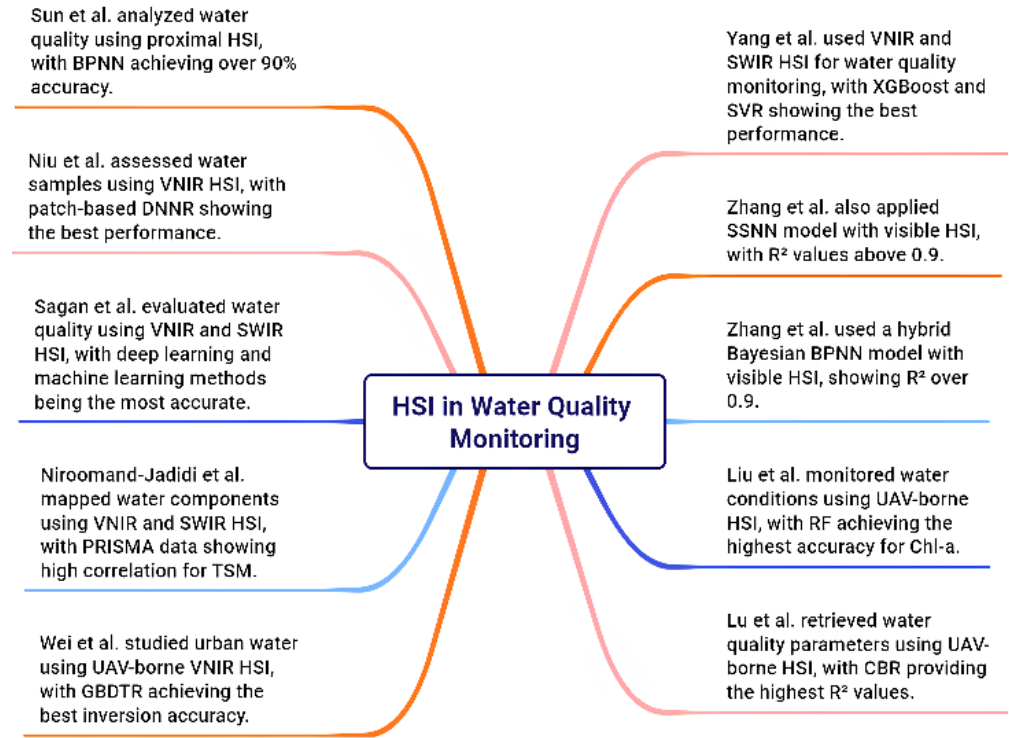
Gürültü ve boyut azaltma için bileşen analizi (PCA) gerçekleştirildi. Geri alma hataları %2'nin altındaydı ve bu, HSI'nin kirlitici kantifikasyonunda yüksek hassasiyetini gösteriyordu. Mukundan ve diğerleri, 1 nm spektral çözünürlükle 380-780 nm aralığındaki dalga boylarını kullanarak hava kirliliğini izlemek için insansız hava aracı (İHA) tabanlı bir görünür ışık HSI sistemi geliştirdiler [35]. 3D evrişimli sinir ağı (CNN) ve VGG-16 modeliyle birleştirilmiş PCA gibi DL teknikleri, %85,93'lük bir doğrulukla hava kirliticilerini sınıflandırmak için kullanıldı. Bu nedenle, İHA tabanlı HSI sistemleri, akıllı şehir ortamları için önemli olan gerçek zamanlı, büyük ölçekli hava kalitesi verilerini toplamak için uygundur. Qamar ve diğerleri, 0,4 ile 1000 μm arasında dalga boylarına sahip yer tabanlı VNIR HSI kullanarak hava kalitesinin bitki örtüsünü nasıl etkilediğini araştırdı. μm ve $1\mu\text{m}$ ve 0,75 nm'lik bir spektral çözünürlük [36]. Gözetimsiz- Görüntülerdeki bitki örtüsü piksellerini tanımlayan kümeleme anlamına gelir ve PCA ayrıştırmasıyla birlikte güneş kaynaklı floresan (SIF) göstergeleri kullanıldı. R2değerlerinin %40 ve %47 olduğu ve dolayısıyla kirli ortamlarda SIF değerleri ile bitki örtüsü sağlığı arasında güçlü korelasyonlar gözlemlendiği, hava kirliliğinin kentsel bitki örtüsünü nasıl olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir.

Park ve diğerleri, VNIR HSI kullanarak çam ağaçlarındaki partikül madde (PM_{hisp}exposure)'u inceledi ve çam iğnelerinin PM emisyonlarına maruz kalmasını temsil eden 14 spektral bant seçti [37]. Kappa katsayısı 0,61'di ve sınıflandırma doğruluğu %82'ydi; bu da HSI'nin yoğun nüfuslu kentsel alanlarda partikül kirliliğine karşı biyolojik tepkileri tespit edebileceğini gösteriyordu. Huang ve diğerleri, hava kalitesi endeksini belirlemek için CNN ile bir İHA tabanlı HSI sistemi geliştirdiler ve %86,38'lik bir doğruluk elde ettiler; bu da İHA tabanlı HSI sistemlerinin sürekli ve otonom hava kalitesi izleme için ölçeklenebilirliğini gösteriyordu; böyle bir özellik kentsel hava kalitesinin sürdürülebilir yönetimi için çok önemlidir [38]. Chen ve diğerleri, kaba PM'yi (PM) izlemek için 1 nm spektral çözünürlüğe sahip 380-780 nm aralığındaki görünür ışık HSI'sini kullandılar. 10) ve Başbakan2.5konsantrasyonlar [39]. Çok değişkenli regresyon analizi ve Beer-Lambert yasası uygulanarak, görünür ışık bandının PM konsantrasyonu ölçümünde NIR ve uzak kızılötesi bantlara kıyasla daha yüksek doğruluk sağladığı bulundu. PM için sönüm katsayısı2.50,005135 idi ve PM için 100,001837 idi ve sırasıyla 0,9789 ve 0,9738 korelasyon katsayıları ile HSI'nin PM'yi tespit etmedeki yüksek hassasiyetini vurguladı. Su ve diğerleri, EDNet, EnvNet, AlexNet, DenseNet ve rastgele orman (RF) gibi makine öğrenimi (ML) modellerini kullanarak 400 nm ile 1000 nm arasında görüntü yakalayabilen bir HSI sistemi geliştirdiler, bunlar arasında EDNet en iyi doğruluğu sergiledi [40]. Dolayısıyla HSI, ölçeklenebilir, akıllı hava kalitesi izleme, daha temiz havayı teşvik etme ve küçük yerleşim yerlerinde halk sağlığını iyileştirme amacıyla ML ile entegre edilebilir.

2.2. Su Kalitesi İzleme

Su kirliliği, ciddi sağlık riskleri ve çevresel bozulmaya yol açabileceğinden küresel bir sorundur. Birleşmiş Milletler'in Dünya Su Geliştirme Raporu'na (WWDR) göre, her yıl 829.000 kişi güvenli olmayan içme suyu ve yetersiz sanitasyon nedeniyle ölüyor [41]. Bu nedenle, su kirliliğini azaltmak ve su kaynaklı hastalıkları önlemek için su kalitesi izleme gereklidir. Akıllı şehirlerde anlık su kalitesi izleme için HSI kullanımı, Şekil'de gösterildiği gibi su güvenliğini ve sürdürülebilirliğini sağlamaya yardımcı olabilecek değerli veriler sağlar.3. Sun ve diğerleri, 1 nm spektral çözünürlüğe ve 400-1000 nm dalga boylarına sahip proksimal his ve RF regresyonu (RFR), Gauss proses regresyonu (GPR) ve geri yayımlı sinir ağları (BPNN'ler) gibi ML yöntemlerini kullanarak kimyasal oksijen talebini (COD), toplam nitrojeni (TN) ve toplam fosforu (TP) izlediler; BPNN, TN için %80'in üzerinde, TP ve COD için ise %90'ın üzerinde doğruluk elde etti [42]. Niu ve diğerleri, 1 cm spektral çözünürlüğe ve 2 m mekansal çözünürlüğe sahip VNhisHSI'yi, PLSR, destek vektör regresyonu (SVR) ve yama ve piksel tabanlı derin sinir ağı regresyonu (DNNR) ile birlikte kullandılar [43]. Belirleme tahmin katsayıları (Rp2) idi

0,6'dan büyük ve kalıntı tahmin sapmaları (RPD'ler) 1,6'nın üzerindeydi ve yama tabanlı DNNR en iyi performansı gösterdi.



Şekil 3. Su kalitesi izlemede HSI kullanımına ilişkin çalışmaların özeti [42–51].

Sagan ve diğerleri, suyun analizi için spektral endeksler, biyo-optik simülasyonlar, SVR, PLSR ve derin sinir ağları (DNN'ler) gibi ML yöntemleri ve bulut bilişim yöntemlerini kullanmışlardır; ML yöntemleri en doğru olanıdır [44]. 350 nm ile 2500 nm aralığındaki farklı dalga boylarında 3,5, 7 ve 10 nm spektral çözünürlüklerde VNIR ve kısa dalga boylu kızılötesi (hisR) HSI kullanıldı. Yakınsal veri seti mezokozm verileri ve Saint Louis Üniversitesi (SLU) verilerini içerirken, uydu veri seti su kalitesi verileri ve Sentinel-2 ve Landsat 8 sanal takımyıldızından uydu görüntüleri içeriyordu. Tahmin edilen parametreler çözünmüş oksijen (DO), mavi-yeşil alg fikosiyenin (BGA-PC) ve klorofil-a'yı (Chl-a) içeriyordu. DL ve ML gibi deneysel yöntemler en iyi performansı gösterdi. Niroomand-Jadidi ve diğerleri 400-2500 nm dalga boylarında ve 30 m'lik bir mekansal çözünürlükte VNIR his SWIR HSI kullandılar *Öncü İperspettrale della Missione Applicativa* (PRISMA) uydusu su içindeki bileşenlerin haritalanması için [45]. Tutarlılık analizinden sonra, su rengi simülatöründeki (WASI) radyatif transfer modeli ters çevrildi. PRISMA verileri Sentinel-2 görüntülemeye karşılaştırıldığında, 442 nm ve 492 nm kısa dalga boylu bantlarında PRISMA tabanlı yansımanın aşırı tahmin edilmesine rağmen toplam askıda madde (TSM) için $R > 0,83$ 'lük yüksek bir korelasyon bulundu. Wei ve diğerleri, 400-1000 nm aralığındaki dalga boylarına ve 0,185 m çözünürlüğe sahip UAVhisrne VNIR HSI kullandı [46]. Çok katmanlı algılayıcı regresyonu (MLPR), SVR, RFR, çekirdek sırt regresyonu (KRR), sıradan en küçük kareler regresyonu (OLSR) ve gradyan artırma karar ağacı regresyonu (GBDTR) kullanılan ML teknikleriydi ve GBDTR ve RFR iyi doğruluklar gösterdi. GBDTR en iyi ters çevirme doğruluğunu elde etti ve ayarlanmış R^2 değerler test verileri için 0,974 ve eğitim verileri için 0,978 idi. Buna göre, su kirliliğini azaltmak için akıllı şehir su kalitesi izleme için İHA kaynaklı HSI'nin potansiyeli gösterilmiştir.

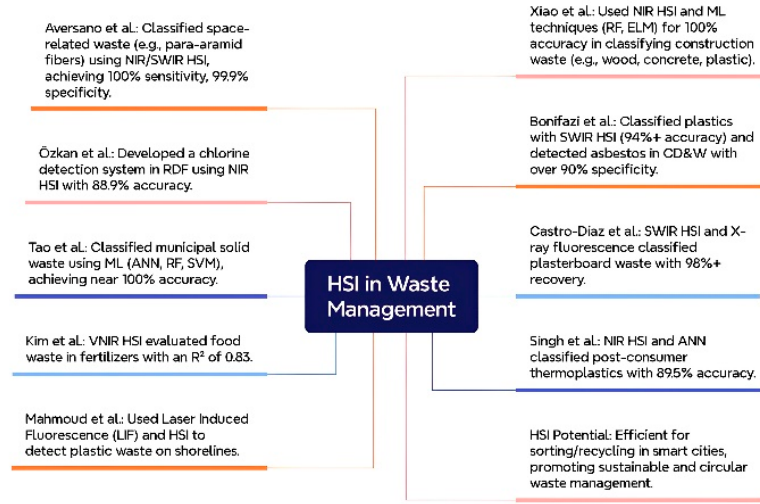
Lu ve diğerleri, 350 nm ile 2500 nm arasındaki dalga boylarına, 6,0 nm'lik bir spektral çözünürlüğe ve 0,173 m/piksellik bir mekansal çözünürlüğe sahip İHA kaynaklı HSI'yi kullanarak su kalitesi parametrelerini elde ettiler [47]. Kullanılan ML yöntemleri arasında Adaboost regresyonu (ABR), catboost regresyonu (CBR), gradyan artırma regresyon ağacı (GBRT), aşırı gradyan artırma regresyonu (XGBR), RF, aşırı rastgele ağaçlar (ERT), MLPR, destek vektör makinesi (SVM) ve elastik ağ (EN) yer almaktadır. CBR modeli R ile en iyi performansı göstermiştir; zaskıda katı maddeler (SS) için 0,94 ve klorofil-a (Chl-a) için 0,96 değerleri. RF ve GBR modellerinin tahmin performansı CBR ve EN'den daha düşüktü, MLPR ise zayıf performans gösterdi. Ağaç tabanlı modeller, geleneksel MLhisdel'lerden daha yüksek tahmin doğrulukları elde etti ve HSI ve ağaç tabanlı modellerin kentsel ortamlarda su kalitesini tahmin etmede nasıl yararlı olabileceğini kanıtladı. Liu ve diğerleri, akusto-optik ayarlanabilir filtreye (AOTF) dayalı bir İHA kaynaklı HSI sistemi geliştirdiler ve parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) - en küçük kareler SVM (LSSVM), BPNN ve RF gibi ML yöntemlerini kullandılar [48]. RF, eğitim örnekleri için 0,84'lük bir belirleme katsayısı ve 3,19'luk bir RMSE ile Chl-a konsantrasyonlarını tahmin etmede en yüksek doğruluğu gösterdi. µg/L ve ortalama mutlak yüzde hatası (MAPE) 5,46'dır.

Zhang ve diğerleri, su kalitesi parametrelerini almak için bir BPNN özellik çıkarıcısı ve DNN içeren benzersiz bir hibrit Bayes BPNN modeli oluşturdular [49]. Görünür hiperspektral veriler 325 nm ile 1075 nm arasında dalga boylarına, 0,2 cm spektral çözünürlüğe ve 0,2 m'lik bir mekansal çözünürlüğe sahipti; bu, yeniden örneklemeden sonra 0,4 m oldu. Modelin bir belirleme katsayısı vardı R^2 0,9'un üzerinde, geleneksel yöntemlerle elde edilebilen 0,6-0,8'den daha fazlaydı. MAPE, azot için %4'ten COD için %10'a kadar değişiyordu. Zhang ve diğerleri, suyun kalitesini izlemek için çoklu yapay sinir ağlarının (SSNN) kendi kendine uyarlanan bir seçimini kullandı [50]. 404,0 nm ile 894,3 nm arasındaki görünür HSI dalga boyları ve 40 cm'lik bir mekansal çözünürlük, 79 yerden ölçülen veri eğitim örneğini ve 30 test örneğini analiz etmek için kullanıldı. R2otomatik seçilen modellerin değerleri genellikle 0,9'un üzerindeydi ve test veri kümesinin MAPE'si %10'un altındaydı; bu nedenle, tahmin eden model verilere iyi uyuyordu. R2doğrusal regresyon denkleminin sağladığı değerler 0,98'in üzerindeydi ve SSNN modeli en iyi performansı gösterdi. Son olarak, Yhis ve diğerleri 350 nm ile 2500 nm arasındaki dalga boylarına sahip VNIR ve SWIR HSI'yi, 30 m'lik bir mekansal çözünürlüğü ve VNIR'da 10 nm ve SWIR'da 20 nm'lik bir spektral çözünürlüğü kullandılar [51]. SVR, PLSR, k -en yakın komşular (k -NN) ve aşırı gradyan artırma (XGBoost) modelleri kullanıldı. Elde edilen MAPE, DO için %24,28, permanganat indeksi (CODMn) için %18,44 ve TP için %37,04 idi. Bu çalışmalarda HSI'nin kullanımı, su durgunluk parametrelerinin anlık ve yüksek hassasiyetli izlenmesi için potansiyelini göstermektedir. HSI'yi ML teknikleriyle entegre ederek, akıllı şehirler sürdürülebilir kalkınmayı sağlayabilir ve kentsel sağlık sonuçlarını iyileştirebilir.

2.3. Atık Yönetimi

Dünya Bankası, küresel belediye katı atık (MSW) üretim oranının yıllık 2 milyar tondan 2050 yılına kadar yılda 3 milyar tonun üzerine çıkacağını öngörmektedir [52]. Üretilen atık miktarı hızla artmakta ve bu da çevre kirliliğine ve sağlık risklerine neden olmaktadır. Akıllı şehirlerin atık ayırma ve geri dönüştürme konusunda yardımcı olması için HSI'ye ihtiyacı vardır, bu da HSI'yi Şekil'de gösterildiği gibi kirliliği azaltma, değerli kaynakları koruma ve dairesel ekonomileri teşvik etme konusunda güçlü bir araç haline getirir.4. Aversano ve diğerleri, para-aramid elyaf, meta-aramid elyaf, çok katmanlı, polieterimid ve genleşmiş polipropilen gibi uzayla ilgili katı atık malzemelerini sınıflandırmak için HSI'yi kullandılar [53]. NIR ve SWIR HSI, PCA ve kısmi en küçük kareler ayırıcı analizi (PLSDA) kullanıldı. SWIR HSI kullanılarak çok katmanlı için %100 duyarlılık ve %99,9'a kadar özgüllük elde edildi. HSI, yararlı atıkları kirleticilerden ayırarak dairesel ve sürdürülebilir atık yönetimini teşvik edebilir. Xiao ve diğerleri, inşaat atıklarının sınıflandırılmasında NIR HSI kullandı, örneğin

ahşap, plastik, beton, kauçuk, tuğla ve siyah tuğlalar [54]RF ve aşırı öğrenme makinesi gibi ML tekniklerinin kullanımı %100 sınıflandırma doğruluğu sağlayarak HSI'nin inşaat atığı yönetim süreçlerini daha verimli hale getirebileceğini göstermiştir.



Şekil 4. Atık yönetiminde HSI kullanımına ilişkin çalışmaların özeti [53–62].

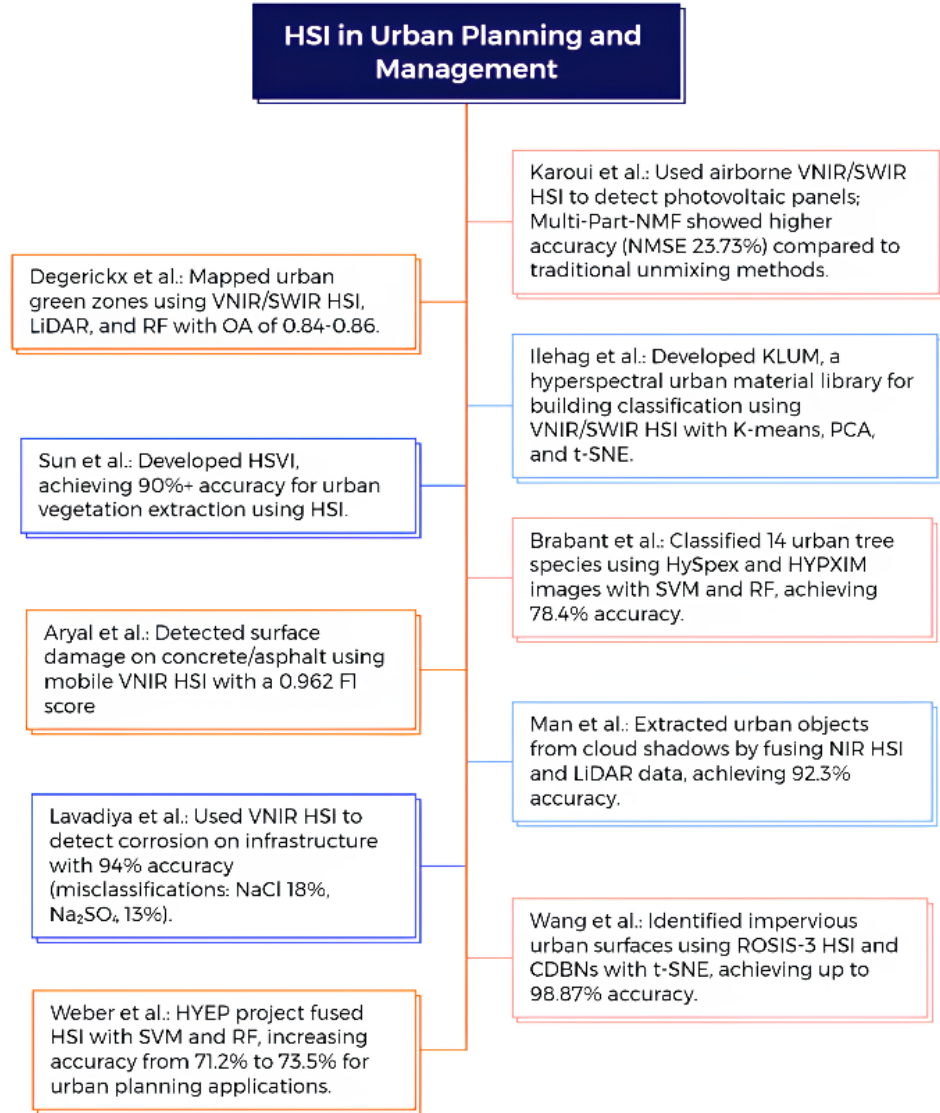
Özkan ve diğerleri, atık kaynaklı yakıtlardaki klor içeriğini tespit etmek için erken uyarı sistemi geliştirmek amacıyla DL ile HSI'yi kullandılar [55]. 900-1700 nm'lik NIR HSI'yi içeren bu sistem, klor seviyesini %88,9 doğrulukla belirleyerek daha güvenli ve daha verimli RDF işlemeyi destekledi. Bonifazi ve diğerleri, 1000-2500 nm'lik hiyerarşik PLSDA ve itmeli süpürge SWIR HSI kullanarak plastik atıkları 6,3 nm'lik bir spektral çözünürlük ve 625 nm'lik bir mekansal çözünürlükle sınıflandırdı. µm/piksel [56]. Düşük yoğunluklu polietilenin dışında, sınıflandırılacak diğer yedi plastik türü %94'ün üzerinde doğruluk elde etti. Başka bir çalışmada, Bonifazi ve diğerleri 1000-2500 nm SWIR HSI ve 150 çözünürlük kullandı. İnşaat ve yıkım atıklarında asbest tespiti için m/piksel [57]. PLSDA modeli asbesti diğer malzemelerden farklılıklarla ve çoğu zaman %90'ın üzerinde özgüllük ve duyarlılık değerleriyle ayırt edebildi ve bu da HSI'nin tehlikeli atık tanımlamasındaki potansiyelini açıkça ortaya koydu.

Tao ve diğerleri, 3 nm çözünürlüğe sahip 900-1700 nm HSI'nin belediye katı atıklarını sınıflandırabileceğini bildirdi [58]. Yapay sinir ağı (YSA), RF ve SVM gibi ML modelleri, 80 organik ve 40 inorganik atık numunesinde kullanıldı ve bunlar için neredeyse %100'lük bir sınıflandırma doğruluğu elde edildi. Castro-Díaz ve diğerleri, yenileme için alçıpan atıklarını sınıflandırmak amacıyla 930 nm ile 2500 nm arasında değişen SWIR HSI ve X-ışını floresansı kullandı ve %98'in üzerinde alçıpan geri kazanımı elde etti [59]. Bu işlem, önemli bir yapı malzemesi olan alçının geri dönüşümü için özellikle faydalıdır. Kim ve arkadaşları, organik gübrelerdeki gıda atığı bileşenlerini değerlendirmek için LSSVM ve PLS ile 400–1000 nm'lik VNIR HSI'yi kullanarak, öngörülen ve gerçek değerler arasında 0,83'lük bir belirleme katsayısı elde ettiler ve böylece HSI'nin organik atık işlemedeki rolünü gösterdiler [60].

Singh ve diğerleri, plastik geri dönüşümü için tüketici sonrası termoplastikleri sınıflandırmak amacıyla 900–1700 nm'lik NIR HSI'yi kullandılar [61]. Bilinmeyen plastik atık akışının hiperspektral görüntülerini %89,5 doğrulukla sınıflandırmak için ileri beslemeli bir ANN kullanıldı. Bu nedenle, HSI akıllı şehir atık yönetim sistemlerinde plastik geri dönüşümünü iyileştirmek için değerli bir yaklaşımdır. Mahmoud ve diğerleri kıyı şeritlerindeki plastik atıkları tespit etmek için lazerle indüklenen floresan (LIF) ve HSI kullandı [62]. Simüle edilmiş bir plaj ortamında düşük yoğunluklu polietilen plastik için, plastikler için 450 nm'de ve ahşap için 750 nm'de belirgin floresan sinyalleri gözlemlendi. Böylece, HSI'nin çevresel atık izleme konusundaki çok yönlülüğü sergilendi. Kentsel alanlar büyümeye ve atık üretimi artmaya devam ettikçe, HSI atıkları daha etkili bir şekilde ayırmak ve geri dönüştürmek için entegre edilebilir ve akıllı şehirlerde daha sürdürülebilir ve dairesel atık yönetimi uygulamaları elde edilebilir.

2.4. Şehir Planlama ve Yönetimi

HSI, Şekil 2'de gösterildiği gibi altyapı izleme için kritik öneme sahip kentsel malzemelerin hassas bir şekilde sınıflandırılmasına olanak tanıyarak, çeşitli dalga boylarında farklı alanlar hakkında kapsamlı veriler sağlayabildiğinden akıllı şehirlerde kentsel planlama ve yönetim için kullanışlıdır.5. Karoui ve diğerleri gerçek havadan hiperspektral verilerden fotovoltaiik (PV) panellerin alanlarını tespit etti ve tahmin etti [63]. Hyspex hiperspektral kameralar, 400-1000 nm dalga boyu içindeki VNIR aralığında, 3,7 nm spektral çözünürlük ve 0,84 m mekansal çözünürlükte ve 1000-2500 nm dalga boyu içindeki SWIR aralığında, 6 nm spektral çözünürlük ve 1,6 m mekansal çözünürlükte veri toplamak için kullanıldı. Multipart-NMF ve grd-part-NMF gibi kısmi doğrusal negatif olmayan matris faktörizasyonuna (NMF) dayalı karıştırmama teknikleri, grd-NMF, multi-NMF ve tek sınıf sınıflandırmasına dayalı yaklaşım gibi geleneksel NMF karıştırmama tekniklerini geride bıraktı. Multipart-NMF, güneş panelleri için %23,73'lük ortalama normalize edilmiş ortalama kare hatasına (NMSE) sahipken, literatürde multi-NMF'nin ortalama %98,64'lük bir NMSE'si vardı. grd-part-NMF için NMSE, literatürün grd-NMF ortalama NMSE'si olan %103,03 ile karşılaştırıldığında %84,0 idi. |CC| kriteri için, multipart-NMF'nin ortalaması literatür multipart-NMF için 0,49'a kıyasla 0,98 iken, grd-part-NMF'nin ortalaması 0,47 yerine 0,74 idi.



Şekil 5. Kentsel planlama ve yönetimde HSI kullanımına ilişkin çalışmaların özeti [63–72].

İlehağ ve diğerleri, yapı malzemeleri içeren Karlsruhe Kentsel Malzemeler Kütüphanesi'ni (KLUM) kurdu [64]. FieldSpec, 350 nm ile 2500 nm arasında değişen dalga boylarına, 1,4 nm spektral örnekleme ve VNIR aralığında 3 nm spektral çözünürlüğe ve 1,1 nm spektral örnekleme ve SWIR1 ve SWIR2 aralıklarında 8 nm spektral çözünürlüğe sahiptir. Çatı, cephe ve zemin örnekleri de dahil olmak üzere toplam 181 malzeme örneği, 12 kentsel malzeme sınıfına ve 33 alt sınıfa ayrıldı. Bunlar arasında en büyük üç malzeme sınıfı 48 örnekle seramik, 38 örnekle beton ve 16 örnekle granittir. *k*-ortalamalar, PCA ve t-dağıtımli stokastik komşu yerleştirme (t-SNE) kullanılan tekniklerdi. KLUM, kentsel planlama ve bakım için kentsel malzemelerin tanımlanmasına ve sınıflandırılmasına yardımcı olur. Brabant ve diğerleri, kentsel ağaç çeşitlerini sınıflandırmak için hiperspektral yöntemleri karşılaştırdı [65]. 2 m çözünürlüğe sahip HySpex görüntüleri ve 4 m çözünürlüğe sahip prototip HYPXIM görüntüleri, SVM ve RF kullanıldığında 14 ağaç türünü tanımda yüksek doğruluk sağladı. 10 m'de havadan alınan bir Hypsrex görüntüsünden çok bantlı bir Sentinel-2 görüntüsü simüle edildi ve 4 m ve 8 m'de HYPXIM adı verilen prototip uzaydan alınan hiperspektral görüntüler üretildi. Minimum gürültü oranı (MNF) ile azaltılan HYPXIM 4 m ve HySpex 2 m, 14 tür üzerinde yaklaşık %78,4'lük en iyi sınıflandırma doğruluğunu ve SVM ile 0,7'lik bir kappa uyum indeksi sağladı.

Man ve diğerleri, havadan ışık algılama ve mesafe ölçümü (LiDAR) nokta bulutu verilerini ve 4,8 nm spektral çözünürlüğe ve 2,5 m mekansal çözünürlüğe sahip NIR HSI verilerini birleştirerek bulut gölgelerinden kentsel nesneleri çıkardı [66]. SVM ile doğruluk %87,30 iken, birleşik SVM ve nesne tabanlı sınıflandırıcıların karar birleştirme doğruluğu %92,30 idi. Wang ve diğerleri, 0,43 ila 1000 piksel aralığındaki görünürden kısa dalga Yansıtıcı Optik Sistem Görüntüleme Spektrometresi-3 hiperspektral görüntülerinden çıkarılan özellikleri kullanarak geçirimsiz kentsel yüzeyleri tanımlamak için çok özellikli bir çıkarma modeli (MFEM) kullandılar. μm ila $0,86\mu\text{m}$ 1,3 m'lik mekansal çözünürlüğe sahip m [67]. Spektral ve mekansal özellik çıkarımı, modelde t-SNE ile evrişimli derin inanç ağlarını (CDBN'ler) entegre ederek elde edildi. MFEM, şehir merkezi sahnesinde %96,16 ve üniversite sahnesinde %98,87'lik yüksek bir genel doğruluğa (OA) sahipti. Yani, OA ilkinde %8,75 ve ikincisinde %3,83 oranında iyileşti.

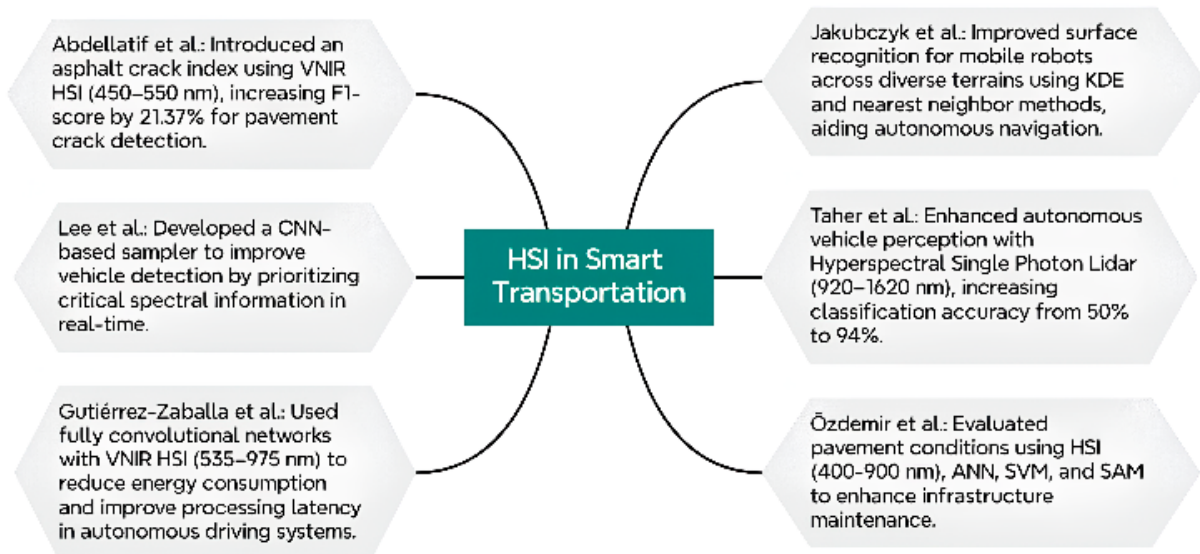
Degerickx ve diğerleri, işlevsel kentsel yeşil tiplerini haritalamak için yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama verilerini kullandılar [68]. 4 m'lik mekansal çözünürlüğe sahip 2 m VNIR ve SWIR hiperspektral görüntüleri kullandılar, bu çözünürlük yeniden örneklemeden sonra 8 m oldu. Aktif havadan LiDAR uzaktan algılama teknolojisi ve 0,5 m multispektral optik görüntüleme ve RF kullanıldı. En değerli veri seti havadan LiDAR'dı, ancak en ayrıntılı sınıfları haritalamak için hiperspektral verilerle birleştirme gerekiyordu. İlk haritaların OA'sı ayrıntılı ve temel bitki örtüsü sınıfları için sırasıyla 0,84 ve 0,86 idi. Bir Sentinel-2 multispektral veri seti 10 m çözünürlükte simüle edildi. Sun ve arkadaşları yeni bir hiperspektral bitki örtüsü indeksi (HSVI) oluşturdular ve bir veri seti için 380-1050 nm spektral aralık ve piksel başına 1 m çözünürlük ve diğer iki veri seti için 393-1012 nm spektral aralık ve piksel başına 0,25 m çözünürlük kullanan HSI kullandılar [69]. Bitki örtüsü çıkarmada %90'dan fazla doğrulukla HSVI, geleneksel bitki örtüsü endekslerini geride bırakarak onu kentsel yeşil alanların izlenmesinde güvenilir bir araç haline getirdi. Aryal ve diğerleri, malzeme yüzeyindeki hasarı tespit etmek için 450-950 nm dalga boyuna ve 8 nm spektral çözünürlüğe sahip mobil VNIR HSI'nin kullanımını inceledi [70]. 68 hiperspektral görüntü örneği ve bunlara eşlik eden gri seviyeli görüntüler arasında 43'ü beton yüzeyler ve 25'i asfalt yüzeylerdi. Boyutsallık azaltımı olan hiperspektral pikseller 8 farklı yüzey nesnesini tanımladı ve daha yüksek mekansal çözünürlüğe sahip gri değerli görüntüleri geride bıraktı. Bu arada, çok sınıflı SVM (MSVM) gibi ML teknikleri yüzey kusurlarını doğru bir şekilde buldu. Kırık tespiti için F1 puanı 0,962 idi.

Lavadiya ve diğerleri, altyapı yüzeylerindeki korozyonun nedenlerini belirlemek için korozyon tespitinde görsel belirsizliği ortadan kaldırmak amacıyla 397-1004 nm dalga boyuna sahip VNIR HSI kullandılar [71]. Eğitim veri seti 35.000 veri noktasından oluşurken, test veri seti

15.000 veri noktası içeriyordu. SVM, %94 doğruluk elde etmek için kullanıldı, ancak NaCl korozyonunda %18 ve Na'da %13 yanlış sınıflandırma meydana geldi. BU YÜZDEN korozyon. Weber ve diğerleri, çevresel kentsel planlama (HYEP) projesi için hiperspektral görüntülemenin bir parçası olarak kentsel alan çalışmalarının multispektral ve hiperspektral verilerini kullandılar [72]. Bir veri seti 2012 Umbra deneyi sırasında toplanan yer ve hava verilerini içerirken, diğeri 2015 denemesi sırasında toplanan verilerden oluşuyordu. HSI, 400-2500 nm dalga boyu ve 0,4-4 çözünürlükle VNIR ve SWIR aralığındaydı.µm. Sadece HSI kullanımı sadece %71,2 doğruluk sağladı ve bu nedenle %73,5 doğruluk elde etmek için SVM, RF ve NMF ile birleştirildi. Sadece MS VHR görüntüsü için doğruluk %69,2 idi ve birleştirmeden sonra %73,5'e yükseldi. En iyi sınıflandırma yöntemi SVM idi, ardından MNF ile RF geldi. Yukarıda belirtilen çalışmalar, HSI'nin kentsel koşullar ve bileşenler hakkında kapsamlı veriler sunarak daha akıllı şehirlerde kentsel planlama ve yönetimin çeşitli unsurlarına nasıl yardımcı olduğunu göstermektedir.

2.5. Akıllı Ulaşım

HSI, akıllı şehirlerde ulaşımın nasıl çalıştığını iyileştirme yeteneğine sahiptir. Geniş bir dalga boyu aralığında ayrıntılı bilgi toplayarak HSI, otonom araçların gezinmesine yardımcı olmaktan, yol koşullarını değerlendirmeye ve nesneleri tespit etmeye kadar her alanda kullanılır ve Şekil'de gösterildiği gibi şehirleri daha güvenli ve daha verimli hale getirir. 2022'de ABD'de yollarda yaklaşık 290 milyon araç vardı ve tahmini olarak bireylerin %40'ı her gün işe gidip gelmek için en az 1 saat harcıyordu [73]. Kentsel alanlar genişledikçe, trafik artar ve onun gibi teknolojiler yol güvenliğini iyileştirmek, trafik akışını yönetmek ve yol altyapısını korumak için kullanılır. HSI, otonom araç navigasyonu, kaldırım durumu değerlendirmesi ve nesne algılama gibi alanlardaki sayısız uygulaması nedeniyle akıllı şehirlerdeki akıllı ulaşım da önemlidir. Jakubczyk ve diğerleri, asfalt, orman yolları ve çimen gibi farklı arazi tiplerinde çeşitli ışık ve hava koşulları altında veri toplayan mobil robot navigasyonu için HSI'yi kullandılar [74]. Çalışma, çekirdek yoğunluk tahmini (KDE) ve değiştirilmiş en yakın komşu yöntemi ile denetlenen öğrenmeyi kullanarak yüzey tanımayı başarıyla iyileştirdi. Daha akıllı ve daha güvenli ulaşım sistemleri kurmak için otonom araçlar için izin verilen hızların belirlenmesine ve yol planlamasının iyileştirilmesine katkıda bulundu.



Şekil 6. Akıllı ulaşım da HSI kullanımına ilişkin çalışmaların tarihçesi [74–79].

Taher ve diğerleri, otonom araç algısını iyileştirmek için hiperspektral tek foton LiDAR kullanmanın mümkün olup olmadığını araştırdı. Kuru asfalt ve karla kaplı yüzeyler dahil olmak üzere 10 farklı yol ortamı sınıfında toplam 300 örnek kullanıldı [75]. RF ve t-SNE için sınıflandırma doğruluğu, spektral kanal sayısı 2'den 30'a çıktıkça %50'den %94'e çıktı. Çalışma 920-1620 nm dalga boyunda gerçekleşti. Bu yaklaşım, çeşitli çevre koşulları altında otonom sistemlerin güvenilirliğini artırmak için ayrıntılı spektral bilgilerin önemini vurgular. Özdemir ve arkadaşları, çeşitli toprak türleri, kaldırım taşları ve asfalt türlerinden veri toplayarak kaldırım koşullarını değerlendirmek için HSI kullandılar [76]. ANN, SVM, spektral açı eşleyici (SAM) ve yığılmış oto kodlayıcılar (SAE'ler) kullanılan tekniklerdi. SAM'li ANN, %1,2 ile %21 arasında değişen iyileştirmelerle sonuçlandı. Veriler, 400–900 nm rhise içinde pist boyunca 5 cm ve çapraz pist yönünde 1 cm'lik bir mekansal çözünürlükle toplandı. Bu nedenle, HSI akıllı şehirlerde yol altyapısını korumak için ayrıntılı kaldırım analizinde kullanılabilir.

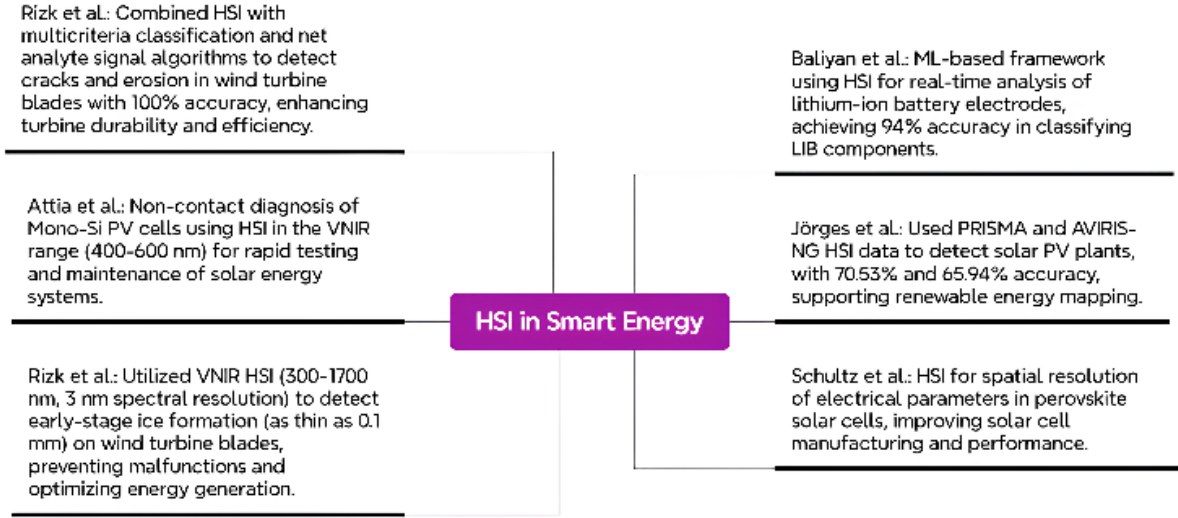
Abdellatif ve diğerleri, 450-550 nm VNIR aralığında HSI kullanarak kaldırım çatlağı tespiti için yeni bir asfalt çatlak indeksi sundular [77]. Endeks, F1 skorunda %21,37'lik bir artışla çatlakları tespit etmede önemli bir gelişme sağladı ve zamanında onarımı mümkün kılarak, ulaşım ağlarının güvenliğini ve verimliliğini artırarak otomatik yol bakım sistemlerine katkıda bulunma potansiyeli gösterdi. Lee ve diğerleri, araç tespitini iyileştirmek için HSI kullanan, kendi kendini denetleyen bir düşmanca öğrenme tekniğiyle eğitilen hafif bir CNN tabanlı kanal örnekleme cihazı geliştirdi [78]. En kritik spektral bilgilere öncelik veren tek kanallı görüntüler üretilerek nesne algılama doğruluğu artırıldı, belirli dalga boylarının algılama performansı üzerindeki etkisine ilişkin içgörüler sağlandı ve gerçek zamanlı veri işlemeye dayanan akıllı ulaşım sistemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunuldu.

Gutiérrez-Zaballa ve diğerleri, otonom sürüşte çip üstü HSI segmentasyonu için tam evrişimli ağları (FCN'leri) inceledi [79]. HSI-Drive 1.1 veri setini kullanarak, çalışmalarında alan programlanabilir kapı dizisi (FPGA)-programlanabilir çip üstü sistem (PSoC) ve grafik işleme birimi (GPU)-SoC mimarileri karşılaştırıldı ve FPGA-PSoC'nin daha iyi enerji tüketimi ve işleme gecikmesi elde ettiği gösterildi. Bu prosedür, 535 nm ile 975 nm arasındaki VNIR aralığında, azaltılmış bir çözünürlükle gerçekleştirildi. 409×25 . Böylece HSI, daha duyarlı ve enerji açısından verimli otonom sürüş sistemleri için yolu açar. HSI'yi akıllı ulaşımın çeşitli yönlerine entegre etmek, ulaşım sistemlerini daha akıllı, daha güvenli ve daha verimli hale getirebilir. HSI'nin çeşitli dalga boyları ve koşullar boyunca kapsamlı spektral veri sağlama yeteneği, otonom araçların işlevselliğini artırır ve yol altyapısının bakımını destekleyerek şehirleri daha akıllı ve daha yaşanabilir hale getirir.

2.6. Akıllı Enerji

Akıllı enerji sistemleri, özellikle %100 yenilenebilir enerjiye doğru ilerlerken akıllı şehirlerin başarısı için önemlidir. 2018'de küresel yenilenebilir enerji üretimi 2017'ye göre %6,1 artışla 376 TWh'ye ulaştı ve güneş ve rüzgar enerjisi sırasıyla %28 ve %11 oranında büyüdü [80]. HSI, Şekil 2'de gösterildiği gibi kentsel alanlarda yenilenebilir enerjinin entegrasyonunu destekleyerek güneş ve rüzgar enerjisi altyapısının bakımına yardımcı olabilir.7. Baliyan ve diğerleri, lityum iyon pil (LIB) elektrotlarının hiperspektral Raman veri kümelerini otonom olarak analiz etmek için gelişmiş bir ML tabanlı analitik çerçeve geliştirdiler [81]. Sinir ağı ve PCA ve NMF gibi tekniklerin bir kombinasyonunun (kendini organize eden ve alternatif regresyon tanılama (NMF-SO-ARD) ile birlikte kullanılmasıyla, karbon ve LiMO gibi LIB bileşenlerinin spektral imzalarının sınıflandırılmasında %94'ün üzerinde bir doğruluk elde edildi.2, burada M = Ni, Mn, Co. HSI ile ML kullanılarak gerçek zamanlı analizler yapılabilir

Minimum insan müdahalesiyle elde edilen bu sayede enerji depolama sistemleri daha güvenilir ve verimli hale geliyor.



Şekil 7. Akıllı enerjide HSI kullanımına ilişkin çalışmaların özeti [81–86].

Jörge ve diğerleri, güneş enerjisi alanında HSI'yi, özellikle uzaydan taşınan PRISMA ve Havadan Görünür Kızılötesi Görüntüleme Spektrometresi - Yeni Nesil (AVIRIS-NG) verilerini, 5,3 m çözünürlüğe sahip PV enerji santrallerini tespit etmek için kullandılar [82]. Normalize edilmiş hiperspektral indeks (nHI), normalize edilmiş spektral profil indeksi (NSPI) ve güneş PV kurulumlarını sınıflandırmak için gelişmiş VNIR ve SWIR indeksleri gibi spektral indeksler kullanıldı. 30 m çözünürlükte 400-2505 nm VNIR ve SWIR aralığını kapsayan PRISMA verileri %70,53 kullanıcı doğruluğu ve %88,06 üretici doğruluğu sağladı. Bu arada, 5,3 m çözünürlüğe sahip AVIRIS-NG verileri ilki için %65,94 doğruluk ve ikincisi için %82,77 doğruluk sağladı. Bu nedenle, HSI kentsel alanlarda yenilenebilir enerji haritalama ve izlemede kullanılabilir ve akıllı şehirlerde güneş enerjisi entegrasyonunun optimizasyonuna katkıda bulunabilir. Schultz ve diğerleri. Güneş enerjisi alanında hiperspektral fotoluminesans (PL) görüntülemeyi kullanarak lazer desenli perovskit güneş hücrelerindeki elektriksel parametreleri mekansal olarak çözümleyerek, güneş hücrelerindeki elektriksel bağlantıları optimize etmek için gerekli olan yarı-Fermi seviye bölünmesi ve şönt direnci gibi kritik metriklerin hızlı ve invaziv olmayan bir şekilde belirlenmesini sağladı [83]. Nanosaniye ve pikosaniye lazer darbeleri, minimum malzeme değişikliğiyle hücreleri birbirine bağlayarak HSI'nin akıllı şehirlerde güneş enerjisi sistemlerinin üretimini ve performansını iyileştirebileceğini kanıtladı.

Attia ve diğerleri güneş enerjisinin farklı bir yönünü kullanarak keşfettiler- Mono-Si PV hücrelerinin anında test edilmesi ve temas gerektirmeyen tanısı için kümeleme (k-mc) ve HSI anlamına gelir [84]. 400 nm ile 600 nm arasındaki VNIR aralığındaki hiperspektral veriler, 450 nm'de tepe dalga boyu ile hücrelerin çalışan ve çalışmayan bölgeleri arasında ayırım yapmak için kullanıldı. Bu invaziv olmayan teknik, PV hücre performansını değerlendirmek ve iyileştirmek için hızlı ve doğru bir yol sunarak akıllı şehirlerde güneş enerjisi sistemlerinin daha iyi bakımını ve yönetimini kolaylaştırıyor. Rizk ve diğerleri, rüzgar türbini kanatlarındaki buzun erken tespiti için rüzgar enerjisi alanında HSI'yi kullandılar [85]. 340 nm ile 1700 nm arasında bir dalga boyuna sahip 3 nm spektral çözünürlüğe sahip VNIR HSI kullanıldı ve bu, türbin arızalarını önlemek ve rüzgar enerjisi üretimini optimize etmek için kritik olan 0,1 mm kadar ince buz oluşumunun tespitine olanak sağladı. Rizk ve diğerleri ayrıca, rüzgar türbini kanatlarındaki çatlaklar ve erozyon gibi kusurların tespitini iyileştirmek için çok kriterli sınıflandırma ve net analit sinyal algoritmalarıyla birleştirilmiş HSI'yi kullandı ve yalnızca 55 bant kullanarak %100 tespit doğruluğuna ulaştı ve HSI'nin rüzgar türbininin dayanıklılığı ve operasyonel verimliliği için gerekli olduğunu gösterdi.

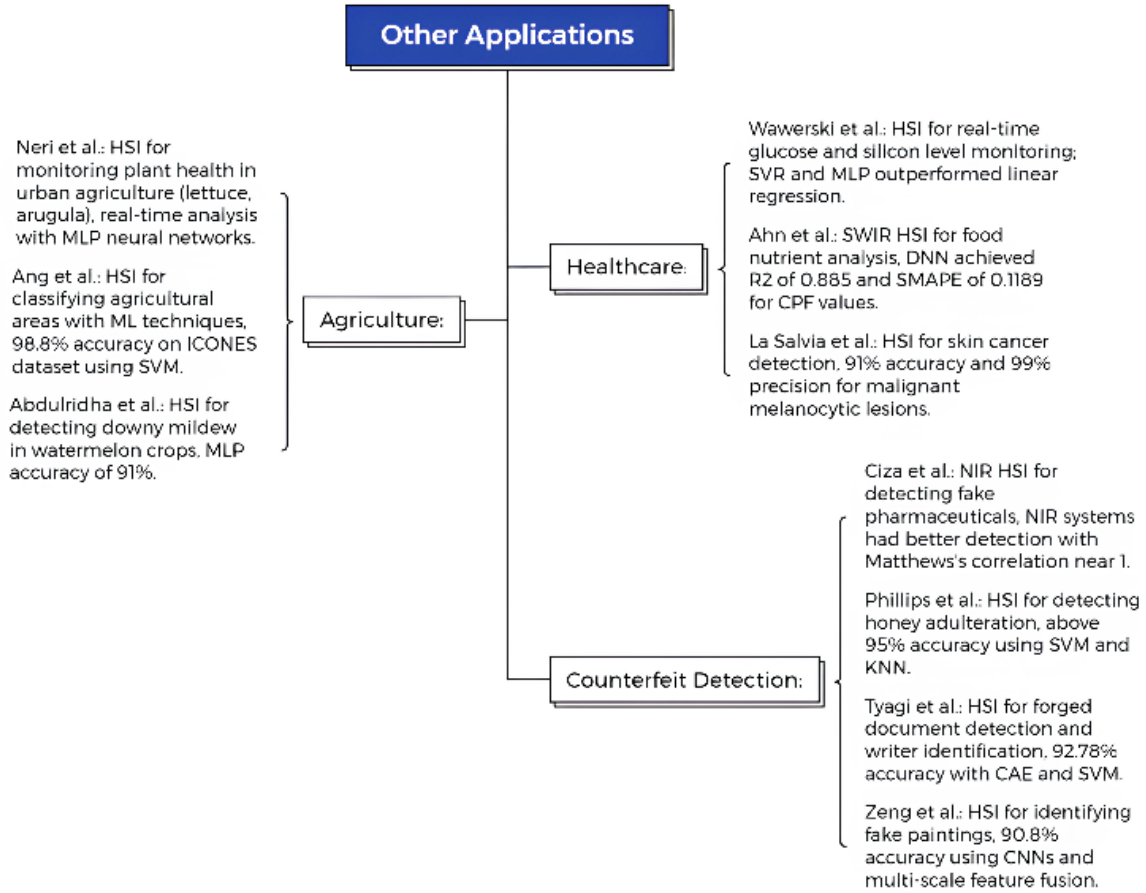
Akıllı enerji altyapısında rüzgar türbinleri [86]. HSI, gelişmiş analitik tekniklerle birleştirildiğinde, akıllı şehirlerde pillerden güneş ve rüzgar enerjisine kadar çeşitli enerji sistemlerinin izlenmesini, optimizasyonunu ve bakımını ilerletmiş, daha sürdürülebilir ve dayanıklı kentsel ortamlar yaratmıştır.

2.7. Diğerleri

HSI, Şekil 2'de gösterildiği gibi akıllı sağlık hizmeti, akıllı tarım ve sahtecilik tespiti gibi diğer alanlarda da akıllı şehirlere katkıda bulunur.8Sağlık hizmetlerinde HSI, tanı doğruluğunu artırır ve hasta bakımı için hayati önem taşıyan sürekli invaziv olmayan izleme olanağı sağlar. 2019'da dünya çapında 143,6 milyar ABD doları olarak tahmin edilen akıllı sağlık hizmetleri pazarı, HSI gibi yeniliklerin bunu mümkün kılması nedeniyle her yıl %16 oranında artmaya devam ediyor [87]. HSI ayrıca ürün sağlığını ve toprağı gözlemlemek ve akıllı tarımda kaynak kullanımını optimize etmek için kullanılır. Sahteciliğin tespiti için HSI, sahteciliğin tespitinin ayrıntılı bir analizini sağlar. Bu gelişmeler akıllı şehirlerin sakinlerinin güvenliğine ve refahına katkıda bulunur. Wawerski ve diğerleri, diyabet gibi durumların yönetiminde gerekli olan glikoz ve silikon seviyelerini izlemek için 900-2500 nm spektral aralığında SWIR HSI kullandılar [88]. Veri seti 94.730 glikoz örneği ve 47.375 silikon örneği içeriyordu. Doğrusal regresyon, silikon için yaklaşık %5 ve glikoz için %10'un üzerinde bir değerlendirme hatası gösterdi. SVR ve çok katmanlı algılayıcı (MLP), doğrusal regresyondan daha iyi performans göstererek HSI'nin akıllı şehirlerdeki gerçek zamanlı sağlık izleme sistemlerinde nasıl kullanılabileceğini gösterdi. Ahn ve diğerleri, beş gıda kategorisinden gıda besin bileşimini tahmin etmek için 887-1722 nm'lik SWIR HSI kullandı [89]. DNN, karbonhidratlar, proteinler ve yağlar (CPF) değerleri için yüksek doğruluklar sağladı ve ortalama bir R^2 0,885 ve simetrik ortalama mutlak yüzde hatası (SMAPE) 0,1189. HSI kullanan bir besin analizi, diyabet ve obezite gibi çeşitli durumlar nedeniyle gıda alımı ve kilo değişiklikleri konusunda endişe duyanlar için faydalıdır. La Salvia ve diğerleri, cilt kanserini tespit etmek için tıbbi görüntülemeye HSI kullandı [90]. 61 denekten alınan 76 hiperspektral cilt lezyonu görüntüsünü 450-950 nm spektral aralığında VNIR HSI kullanarak analiz ettiler. Bir görüntü dönüştürücü (ViT) mimarisi benimsendi. Malign melanositik lezyonlar için %91 doğruluk ve %99 hassasiyet elde edildi, bu da HSI'nin tıbbi teşhislerde kullanımını ve dolayısıyla HSI'nin akıllı sağlık hizmetlerine katkıda bulunduğunu göstermektedir.

HSI, akıllı şehirlerde akıllı tarımda temel bir teknolojidir ve hassas çiftçilik ve verimli kaynak yönetimini mümkün kılar. Neri ve diğerleri, marul ve roka bitkilerinde bitki sağlığını izlemek için gerçek zamanlı yapay zeka (AI) destekli bir itme-süpürge hiperspektral sistemi geliştirdiler [91]. UV-VIS-NIR spektrumunda 300-1000 nm dalga boyunda, 0,16 cm/px mekansal çözünürlükte çalıştırıldı. Bu sistem, yansıma spektrumlarını analiz etmek için bir MLP sinir ağı kullandı. Akıllı şehirler gibi kentsel ortamlarda tarımsal ihtiyaçlara derhal yanıt verme yeteneğini geliştirmek için 50 fps'de 720 yer pozisyonunda sürekli analiz yapılmasına olanak sağladı. Ang ve diğerleri, doğrusal ayırıcı analiz (LDA), SVM gibi gelişmiş ML tekniklerini kullanarak tarımsal alanları sınıflandırmak için AVIRIS Indian pines veri setini ve ICONES hiperspektral uydu görüntüsü veri setini kullandı. k -NN ve topluluk ağaçları [92]. 20 m mekansal çözünürlük ve 0,2 spektral aralıkta SVM ve HSI kullanılarak AVIRIS veri kümesinde %77,8'lik bir doğruluk elde edildi. μ m ila 2,4 μ m. SVM, 365-2497 nm spektral aralığında ICONES veri kümesinde %98,8 ve topluluk ağacı %94,4 elde etti. Bu tür hassas sınıflandırma, akıllı şehir planlaması ve sürdürülebilirlik için çok önemli olan büyük ölçekli uzaktan algılama verilerinden ürün türlerini ve sağlığını doğru bir şekilde belirleyerek akıllı tarımsal yönetimi destekler. Abdulridha ve diğerleri, hem tezgah üstü sistemleri hem de bir hava İHA'sı kullanarak karpuz ürünlerindeki tüylü küf şiddeti aşamalarını belirlemek ve sınıflandırmak için 380-1000 nm VNIR aralığında HSI kullandılar [93]. Çalışmalarında MLP ve karar ağacını kullandılar ve en iyi doğruluk %91 oldu.

Hastalık şiddeti DS yüksek olduğunda MLP. Hastalık evresi farklılaştırması için belirlenen temel dalga boyları 531 nm ve 700–900 nm idi ve bu, ürün hastalıklarını erken tespit ederek ve kentsel tarımsal üretkenliği iyileştirerek hastalık tespitini geliştirmede HSI ve spektral bitki örtüsü endekslerinin (VI) kullanımını göstermektedir.



Şekil 8. HSI'nin diğer alanlarda (tarım, sağlık ve sahtecilik tespiti) kullanımına ilişkin çalışmaların özeti [88–97].

Akıllı bir şehirdeki sakinleri ve işletmeleri korumak için akıllı bütünlük kapsamında sahtecilik tespiti yapılabilir. HSI kullanılarak ilaç ürünleri, gıda ürünleri, belgeler ve sanat eserlerinin sahteciliği tespit edilebilir. Ciza ve diğerleri, tablet veya kapsül formlarında ibuprofen, parasetamol ve artemeter-lumefantrine gibi sahte ilaç ürünlerini tespit etmede el tipi NIR ve Raman spektrofotometrelerini karşılaştırdı [94]. Hiyerarşik kümeleme algoritmaları, sınıf analojisinin veri odaklı yumuşak bağımsız modellemesi ve isabet kalitesi endeksi kullanılarak, NIR sistemlerinin daha iyi tespit yetenekleri sergilediği ve Matthews korelasyon katsayılarının neredeyse bir olduğu bulundu. Phillips ve arkadaşları, özellikle yüksek taşıyıcı seviyelerinde, ML teknikleri kullanarak, %95'in üzerinde bir doğrulukla, mənuka ve yonca balı örneklerinde taşıyıcı tespit etti. *k*-NN ve SVM, 400–1000 nm NIR HSI ve 520 mekansal çözünürlük ile $\times 696$ [95]. En yüksek yanlış sınıflandırma sayısı, daha düşük sahtecilik konsantrasyonları için meydana geldi. Tyagi ve diğerleri, sahte belgeleri tespit etmek ve yazarları belirlemek için HSI ve gözetimsiz DL kullandı [96]. Batı Avustralya Üniversitesi'nin writingink hiperspektral görüntü veri seti, mavi ve siyah mürekkepler arasında ayırım yapmak için kullanıldı. Özellik çıkarma için bir evrimsel oto kodlayıcı (CAE) ve sınıflandırma için SVM kullanılarak, yazar tanımlamasında %92,78'lik bir doğruluk elde edildi. Zeng ve diğerleri, üç çift resmin gerçek mi yoksa sahte mi olduğunu kontrol etmek için çok ölçekli uzaysal-spektral özellik füzyonu ve CNN'ler kullandı [97]. 780, 850 ve 930 nm'lik yüksek çözünürlüklü VNIR hiperspektral görüntüleri

kullanıldı, özellik çıkarma için dairesel yerel ikili desen (LBP) ve PCA benimsendi. Test veri seti, mevcut en iyi performans gösteren 3D-CNN'den %3,5'lik bir iyileştirme olan %90,8'lik bir doğruluk sağladı. Dolayısıyla, akıllı şehirlerde HSI kullanımı, özgünlüğü garanti eder, dolandırıcılığı önler, halk sağlığını ve güvenliğini korur ve finansal, yasal ve kültürel kurumların güvenilirliğini sağlar.

3. Teknolojik Gelişmeler

3.1. Sensör Teknolojisi

Çok spektral görüntüleme (MSI), termal görüntüleme ve LiDAR gibi geleneksel yöntemler çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılmıştır. Çok spektral sensörler spektral çözünürlükleriyle sınırlı olabilir, ancak arazi örtüsü sınıflandırması gibi uygulamalar için geniş spektral bantlarda veri yakalama yeteneğine sahiptirler [98] ve bitki örtüsünün izlenmesi [99], spektral çözünürlükleriyle sınırlı olsa da. Termal sensörler kentsel ısı emisyonlarını izler ve ısı adalarını belirlemeye yardımcı olur [100], ancak benzer termal radyasyona sahip malzemeleri ayırt etmekte zorlanırlar. LiDAR, kentsel haritalama için önemli olan yüksek çözünürlüklü 3B haritalama sunar [101] ve altyapı analizi [102]. LiDAR, mekansal haritalama için etkilidir ancak spektral ayrıntıdan yoksundur ve bu nedenle bazen diğer sensörlerle entegrasyon gerektirir. Geleneksel sensörler, daha gelişmiş sensörler için sahneyi hazırlar ve HSI önemli bir yeniliği işaret eder.

Çoklu spektral sensörlerin aksine, HSI yüzlerce bitişik spektral bantta veri yakalayarak hassas malzeme tanımlamasına olanak tanır. HSI, kirliliği tespiti gibi görevlerde faydalıdır [103], bitki örtüsünün tanımlanması [104] ve yapı malzemesinin bozulmasının izlenmesi [105]. İnce spektral farkları yakalama yeteneği, önceki sensör sınırlamalarını aşar. HSI sensörlerinin üç ana türü vardır: itme süpürgesi, çırpma süpürgesi ve anlık görüntü. İtme süpürgesi sensörleri satır satır görüntü yakalar ve mekansal ve hiperspektral veriler elde edebilir [106]. Çırpma teli sensörleri piksel piksel tarama yapar ve düzgün bir kapsama alanı sunar, ancak zamansal aydınlatma değişikliklerinden etkilenebilirler [107]. Anlık görüntü sensörleri tüm görüntüleri bir kerede yakalar ve taşınabilir, ancak hiperspektral verilerde sınırlamalar gösterme eğilimindedirler [108]. Kullanılacak sensör, kullanılacağı özel uygulamaya bağlıdır.

Ticari olarak temin edilebilen HSI sensörlerinin akıllı şehirlerde çeşitli uygulamaları vardır. Bu bölümde belirtilen spektrometreler daha önce incelenen çalışmalarda kullanılmıştır. Bu bölümde verilen ilgili spektral aralıkları ve çözünürlükleri yalnızca olası örneklerdir çünkü bu özellikler aynı tip spektrometreler için bile farklı şekilde özelleştirilebilir. Popüler spektrometreler arasında ASD Inc. (Falls Church, VA, ABD) tarafından üretilen ASD FieldSpec 3 yer alır; bu, çevresel izleme için uygun bir saha taşınabilir spektrometresidir. Bu sensör, 350 nm ile 1000 nm arasındaki VNIR aralığında 1 nm ve 1000 ile 2500 nm arasındaki SWIR bölgesinde 8 nm çözünürlükle yüksek çözünürlüklü veriler sağlar. Avantes AvaSpec-ULS2048L, 200-1100 nm'lik geniş bir spektral aralığa sahipken, çözünürlüğü 0,06 nm ile 20 nm arasında değişmektedir. Hava kalitesi izleme ve diğer çevresel çalışmalar için oldukça uygundur. Telops FIRST-MW Hypercam Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektrometresi, 1850-6667 cm⁻¹ spektral aralığındaki orta kızılötesi bölgesinde çalışır-11 cm spektral çözünürlüğe sahip-1 Akıllı şehirlerde kirlilik tespiti gibi uygulamalar için.

1000-1700 nm NIR aralığında çalışan bir ImSpector N17E spektrografi ile Specim NIR hiperspektral kamerası, atık sınıflandırma ve malzeme ayırmada kullanılabilir. Specim, 1000 nm ile 2500 nm arasındaki SWIR aralığında 6,3 nm spektral çözünürlükle çalışan ve normalde endüstriyel atık yönetiminde kullanılan SISUChem XL iş istasyonunu sağlar. Texas Instruments TIDA 00554 spektrometresi, hassas dalga boylarını seçmede dijital mikro ayna cihazı (DMD) teknolojisini kullanır

atık analizi ve çevresel izleme dahil olmak üzere yüksek hızlı dinamik uygulamalarda üstün performansa olanak tanır. 900 nm ile 1700 nm arasındaki NIR aralığında çalışır. Norsk Elektro Optikk tarafından geliştirilen HySpex SWIR-384 sensörü, 930–2500 nm SWIR aralığına sahiptir ve yeni nesil yüksek çözünürlüklü itmeli süpürge taramasıyla çalışır. Bu nedenle akıllı ulaşım ve altyapı izleme için oldukça uygundur.

PRISMA, İtalyan Uzay Ajansı tarafından geliştirilen bir uydu sensörüdür. 400–2500 nm aralığında yüksek spektral çözünürlüğe sahiptir. VNIR'nin 66 bandı, SWIR'nin ise 171 bandı vardır ve her ikisi de ± 9 nm. PRISMA uydu sensörü verileri büyük ölçekli kentsel planlama ve çevre çalışmaları için kritik öneme sahiptir. Headwall VNIR Hyperspec kamerasının akıllı ulaşım sistemlerinde yararlı olduğu kanıtlanmıştır, çünkü yaklaşık 408 bantla 400 nm ile 1000 nm arasındaki VNIR aralığında çalışır. Bu nedenle trafik ve altyapı gözlemi için iyidir. Surface Optics'in hiperspektral kamerası SOC710, 5 nm spektral çözünürlük ve 128 spektral kanalla 400 nm ile 1000 nm arasındaki bir spektral aralık için temsil sergiler. Çevresel değerlendirmelerde ve akıllı enerjide yararlı olabilir.

Gaiasky mini2-VN, 360 bantta 393–1012 nm spektral aralığa sahip İHA'ya monte edilmiş bir hiperspektral görüntüleyicidir. Çevresel izleme ve arazi örtüsü sınıflandırmasıyla ilgili çeşitli uygulamalar için tasarlanmıştır. Zemin özelliklerinin hassas bir şekilde tanımlanması için yüksek çözünürlüklü veriler sunar.

Son gelişmeler, İHA'larda konuşlandırılmak üzere hiperspektral sensörlerin minyatürleştirilmesine odaklanmıştır [109] ve kara araçları. Bu sensörler uygun maliyetli olacak, entegre edilmesi daha kolay olacak ve daha iyi dayanıklılık ve menzil sergileyecek, böylece kapsamlı kentsel izleme için zorlu ortamlarda kullanılabilecekler. Aynı zamanda, yine de yüksek spektral çözünürlüğe sahip olacaklar. HSI'nin MSI, LiDAR ve termal görüntüleme gibi teknolojilerle çoklu sensör veri füzyonu, daha bütünsel bir kentsel görünüm sağlayabilir [110]. Benzer şekilde, multispektral, HSI, LiDAR ve sentetik açıklıklı radar (SAR) verileri birbirini tamamlayan ayrıntılı bilgiler içerir ve veri birleştirme, daha iyi çözünürlükte görüntüler elde etmeye yardımcı olarak akıllı şehirlerde kentsel izleme işleminin genel verimliliğini ve etkinliğini artırabilir [111].

3.2. Veri İşleme ve Analizi

HSI akıllı şehir uygulamaları için kritik öneme sahiptir. Ancak, mevcut hiperspektral verilerin büyük miktarı nedeniyle önemli miktarda hesaplama kaynağı gereklidir. Karıştırma dayalı algoritmalar gibi verimli veri sıkıştırma yöntemleri, özellikle sınırlı güç ve depolama alanına sahip küçük uydularda, veri aktarımı sırasında bant genişliği sınırlamalarını yönetmek için kullanılmıştır. Ancak, bu hesaplama açısından zorlu sıkıştırma süreçleri sıklıkla FPGA'lar ve GPU'lar gibi donanım hızlandırıcılarına güvenmek zorundadır [112]. Kentsel manzaraları gerçek zamanlı olarak izlemek ve analiz etmek için kullanılabilirler ve akıllı şehir yönetimi için zamanında ve doğru veri teslimi sağlarlar. FPGA-bulut ve GPU-bulut platformları gibi paralel ve dağıtılmış bilgi işlem yöntemlerini destekleyen platformlar, dinamik kentsel ortamlardaki olağandışı olayları belirlemek için önemli olan hiperspektral görüntülerde anormallik tespitini iyileştirir [113].

Anomali tespiti için yerleşik bilgi işleme, özellikle HW-LbL-FAD dedektörü gibi yeniden yapılandırılabilir cihazlara yerleştirilen donanım dostu algoritmalarla önemli ilerlemeler kaydetti ve daha az maliyetli ve enerji tasarruflu FPGA'lar kullanılabilir. Bu gelişme, ortaya çıktıkça kentsel zorluklara yanıt vermek için gerçek zamanlı performansın gerekli olduğu akıllı şehir uygulamaları için kritik öneme sahiptir [114]. FPGA tabanlı sistemlerde hızlı prototipleme, akıllı şehirler için önemli olan gerçek zamanlı HSI uygulamaları için MSVM algoritmalarının kullanımını mümkün kılmıştır [115]. HSI-PP gibi açık kaynaklı hiperspektral görüntü işleme yazılımları, görüntü işlemeyi, özellik çıkarmayı,

ve yüksek verimlilik kapasitesine sahip uygun bir veri mekanizmasına modelleme, böylece büyük ölçekli çevresel verilerin hassas ve hızlı bir şekilde işlenebilmesi [116].

PCA ve MNF gibi boyutsallık ve gürültü azaltma teknikleri, temel spektral bilgileri korurken hiperspektral verileri yönetilebilir kılmak için çok önemlidir [117]. Bu durum akıllı şehirlerde kritik öneme sahiptir, çünkü planlamacılar ve çevre yöneticilerinin altyapı geliştirme ve çevre koruma konusunda uygun kararlar alabilmelerini sağlayacak kesin verilere ihtiyaçları vardır. CNN'ler gibi ML ve DL algoritmaları [118], SVM'ler ve RF, etkili kentsel yönetim için gerekli arazi örtüsü türlerinin ve materyallerinin sınıflandırma doğruluğunu iyileştirir [119]. HSI'yi büyük veri analitiği, yapay zeka ile entegre etmek [120] ve ML teknikleri, geniş veri kümelerinin işlenmesi ve yorumlanmasına, veri odaklı kararların alınmasına ve akıllı şehirlerde kaynakların kullanım verimliliğinin artırılmasına yardımcı olacaktır [121].

HSI, kodlama ve kod çözme için oto kodlayıcılarla birlikte kullanılabilir ve akıllı şehirlerde tahmin modellerinde ve karar alma süreçlerinde doğruluğu garantilemek için büyük veri kümelerinde daha önce gizlenmiş olan kalıpları ortaya çıkarabilir [122]. Her türlü uygulama için yararlı olmasına rağmen, bulut tabanlı analizin kirlilik takibi veya afet etkisi değerlendirmesi gibi büyük ölçekli kentsel izleme görevlerinde oldukça değerli olduğu kanıtlanmıştır [123]. Hiperspektral sensörler tarafından üretilen büyük miktardaki veriler, güçlü depolama ve işleme çerçeveleri gerektirir. Yerel ayırıcı model ve küresel entegrasyon (LDMGI) algoritması ve büyük veri dalı tanımı gibi gelişmiş büyük veri teknikleri, spektral özellikleri hiyerarşik olarak çıkarabilir ve sınıflandırabilir ve akıllı şehir veritabanlarındaki sorguların doğruluğunu iyileştirebilir [124]. Ayrıca, büyük hiperspektral veri analitiği için yeni hesaplama çerçeveleri, yüksek boyutlu ve çok kaynaklı verilerdeki zorlukları ele alarak, akıllı şehirlerin karmaşık ve çok yönlü veri ortamları için kritik olan bir şekilde ölçeklenebilirliği ve verimliliği artırır [125].

3.3. IoT Entegrasyonu

HSI, IoT ağlarına dahil edilebilir ve yapay zeka ile birlikte veri iletimi ve bulut tabanlı işleme için kullanılabilir, böylece gerçek zamanlı veri toplama ve analizi daha basit ve daha verimli hale getirilebilir ve akıllı şehirlerde karar alma süreci iyileştirilebilir [126]. IoT-HSI sistemleri, hava ve su kalitesi gibi çevresel faktörleri kontrol altında tutmak için gereklidir çünkü bunlar halk sağlığıyla yakından ilişkilidir. Hava kalitesi izlemede, HSI sensörleriyle donatılmış İHA'lar son derece doğru hava kirlilik verileri yakalayabilir. IoT-HSI sistemleri, su kütlelerini kirleticiler, bulanıklık ve diğer su kalitesi parametreleri açısından izlemek için kullanılabilir. IoT ağları, verilerin analiz için merkezi veri tabanlarına hızla aktarılmasını sağlayarak yetkililerin kirlilik sorunlarını derhal ele almasını sağlar. Bu tür sistemler ayrıca atık malzemeleri spektral imzalarına göre sınıflandırarak atık ayırma ve geri dönüşümünü otomatikleştirebilir ve farklı atık toplama noktalarından toplanan veriler analiz için merkezi bir merkeze gönderilir, bu da şehirlerin toplama rotalarını optimize etmesine ve nihayetinde maliyetleri düşürmesine olanak tanır.

Bu IoT odaklı sistemler, arazi örtüsü sınıflandırması gibi büyük ölçekli görevleri ele almak için uydu teknolojisinde de kullanılmaktadır [127]. Şehirler ayrıca gerçek zamanlı kentsel planlama için HSI ile uç bilişimi kullanabilir. Maksimum-minimum mesafe yerleştirme ve gözetimsiz sınıflandırma çerçeveleri gibi gelişmiş yöntemler, doğruluğu artırmak için kullanılabilir [128]. Uyarlamalı sözde etiket özelliği öğrenimi (APFL) gibi yarı-gözetimli öğrenme modelleri, sözde etiketler oluşturarak ve sınıflar arası varyansı azaltarak sınıflandırmayı daha da iyileştirir [129]. Özellikle toplu yapılar üzerine inşa edilen DL modelleri IoT-HSI sistemlerine entegre edildiğinde, daha küçük veri kümelerini daha etkili bir şekilde işleyebilirler [130]. HSI ve IoT'yi entegre ederek, HSI, örneğin kentsel bir arka planda bulunan belirli bir materyali tanımlamada HSI karıştırma işleminin uygulanması gibi, belirli materyalleri daha iyi tanımlayabilecek ve sınıflandırabilecektir, örneğin bitki örtüsü [131]. Doğrusal olmayanlar da dahil olmak üzere bu gelişmiş teknikler

otokoder ağlarıyla karıştırılmadan, özellikle dronlar kullanıldığında akıllı çiftçilikte uygulanmıştır [132].

IoT-HSI sistemleri, yollar, demiryolları ve güneş panelleri gibi altyapıları izleyebilir ve arıza durumunda bakım seansları planlamak için gerçek zamanlı veriler elde edebilir. Akıllı sağlık hizmetlerinde hastaneler, hastaların gerçek zamanlı izlenmesine olanak tanıdığı için IoT-HSI teknolojilerinden faydalanabilir. IoT-HSI sistemleri, gıda güvenliği ve haşere yönetimi için tahıl depolamasını izlemeye yardımcı olur [133]. Ayrıca güvenlik yönetmeliklerine uymak için meyve ve sebzelerdeki pestisit kalıntılarını da tespit ederler [134]. Yapay Zeka ve Nesnelerin İnterneti, akıllı tarımda bitki hastalıklarını tespit etmek için HSI ile birlikte kullanılabilir [135]. IoT-HSI sistemleri, çiftçilerin sulama, gübreleme ve haşere kontrolü konusunda daha iyi kararlar almasına, verimi artırmaya ve kimyasal kullanımını azaltmasına yardımcı olabilir [136].

IoT-HSI sistemleri, ürün gerçekliğini sağlamak ve tüketici haklarını korumak için gerekli olan sahtecilik tespitinde kullanılabilir. Hiperspektral uzaktan algılamada güvenli bulut destekli nesne tanıma, akıllı şehirlerdeki kaynak kısıtlı cihazların karmaşık görevleri verimli bir şekilde gerçekleştirmesini sağlar [137]. IoT ve HSI teknolojilerinin birleştirilmesi, birden fazla uygulamada verimli gerçek zamanlı izleme, kaynak yönetimi ve karar alma olanağı sağlar. IoT ağlarının ölçeği arttıkça ve HSI sistemleri daha erişilebilir hale geldikçe, bu tür sistemler daha akıllı ve sürdürülebilir kentsel gelişim modlarına doğru gelişecektir.

4. Gelecek Beklentileri

4.1. Ortaya Çıkan Trendler

Akıllı şehirler için HSI'daki ortaya çıkan trendler arasında AI, ML, bulut bilişim, uç bilişim ve IoT gibi gelişmiş teknolojilerin entegre edilmesi yer alıyor. Bunlar daha verimli veri analizi ve daha iyi gerçek zamanlı kararlar alınmasını sağlıyor. AI ve ML, hiperspektral sensörler tarafından üretilen devasa karmaşık veri kümelerini işlemek için kullanılabilir [138]. Şehirler genişledikçe ve çeşitli veri akışlarını yönetmek için daha sofistike araçlara ihtiyaç duyuldukça, hiperspektral veri analizini otomatikleştirmek ve çevresel değişiklikleri tahmin etmek, kentsel planlamayı kolaylaştırmak ve kamu güvenliği önlemlerini iyileştirmek için AI ve ML modelleri gereklidir. ML ve DL, tıbbi teşhis gibi HSI uygulamalarında giderek daha fazla kullanılmaktadır [139,140]. HSI sistemleri tarafından üretilen büyük miktardaki verilerin depolanması ve işlenmesi için bulut bilişim gereklidir; bu sayede gerçek zamanlı veri erişimi sağlanmakta ve büyük ölçekli AI modeli dağıtımına olanak tanınmaktadır [141].

IoT-HSI sistemleri, gerçek zamanlı çevresel izlemedeki kullanımları nedeniyle büyüyen bir eğilimi temsil ediyor. Hiperspektral sensörlere sahip IoT cihazları, şehirlerin hızlı ayarlamalar yapmasını sağlayan faktörler hakkında sürekli veri topluyor. IoT'yi entegre etmek akıllı ulaşımı, hastalık teşhisini ve enerji verimliliğini iyileştirmeye yardımcı olabilir [142]. İnsansız hava araçları ve uydular gibi uzaktan algılama teknolojileri, kentsel manzaraları ve altyapı sağlığını değerlendirmek için HSI ile giderek daha fazla kullanılıyor. DL modelleri, son derece ayrıntılı uzaktan algılama HSI verilerini işleme ve kirlilik gibi bir şehirdeki sorunları ele almada yaygın olarak kullanılıyor [143]. Edge computing, hiperspektral verilerin yerel olarak işlenmesine olanak tanıyan, tıkanıklığı azaltmak için gerçek zamanlı ayarlamalar sağlayan ve kamu güvenliği ve ulaşım gibi temel hizmetlerin herhangi bir gecikme olmadan özerk bir şekilde çalışmasını sağlayan merkezi olmayan bir yaklaşımdır. Bu ortaya çıkan trendler daha verimli ve sürdürülebilir bir akıllı şehre katkıda bulunur.

Şu anda daha geleneksel alanlarda kullanılmasına rağmen, HSI nano ve mikromalzemeler, biyolojik görüntüleme ve biyolojik algılama gibi alanlarda ortaya çıkmaktadır. Değeri, ortama özgü optik özellikleri ortaya çıkarma, yapı-özellik ilişkilerinin ve nano-biyo etkileşimlerinin yorumlanmasını iyileştirme becerisinde yatmaktadır. HSI'nin yüksek spektral çözünürlüğü ayrıca yüksek verimli biyolojik görüntüleme için gerekli olan optik çökmeyi de destekler [144].

4.2. Akıllı Şehirlerde Yapay Zeka Destekli HSI'nin Gerçek Zamanlı İşleme ve Etik ve Politika Uygulama Zorlukları

ML ve DL, akıllı şehirler bağlamında sınıflandırmayı, özellik çıkarmayı ve anormallik tespitini artırarak HSI uygulamalarını önemli ölçüde ilerletmiştir. SVM ve k -NN, etiketli örneklerin kıtlığıyla yüksek boyutlu spektral verileri yönetmedeki yeterlilikleri nedeniyle hiperspektral veri kategorizasyonunda yaygın olarak kullanılır. Bununla birlikte, kapsamlı veri kümelerini yönetirken özellik çıkarma ve ölçeklenebilirlikle ilgili sıklıkla zorluklarla karşılaşılır. Tersine, CNN gibi DL teknikleri, mekansal ve spektral özellikleri otonom olarak edinerek HSI analizini dönüştürdü ve gelişmiş doğruluk ve genellemeye yol açtı. Son zamanlarda, kısıtlı etiketli veri kümeleriyle ilişkili sorunları ele alan üretken düşmanca ağlar (GAN'lar) spektral veri artırma için araştırılırken, dönüştürücü tabanlı tasarımlar gelişmiş bağlamsal öğrenme sağlayarak karmaşık kentsel ortamlarda üstün performansı kolaylaştırır. Avantajlarına rağmen, DL modelleri gerçek zamanlı akıllı şehir uygulamalarında her zaman pratik olmayabilecek önemli hesaplama kaynakları ve kapsamlı eğitim veri kümeleri gerektirir. Gelecekteki araştırmalar, doğruluk ve hesaplama verimliliği arasında bir denge sağlamak için AI algoritmalarını iyileştirmeye odaklanmalı ve kentsel sistemlerde AI odaklı HSI'nin daha geniş bir şekilde uygulanmasını kolaylaştırmalıdır. HSI'nin uç bilişim ve IoT ile birleştirilmesi, kirlilik izleme, trafik kontrolü ve altyapı değerlendirmesi gibi gerçek zamanlı akıllı şehir uygulamaları için önemli fırsatlar sunar. Bununla birlikte, HSI'nin hesaplama gereksinimleri, uç bilişim ve IoT ayarlarında gerçek zamanlı işleme için önemli engeller oluşturur. Geleneksel görüntülemeyle karşılaştırıldığında, HSI verileri piksel başına yüzlerce spektral bantı kapsar ve bu da artan depolama, iletim ve işleme giderlerine neden olur. Geleneksel bulut tabanlı işleme modelleri gecikmeye neden olabilir ve bu da onları zamana duyarlı uygulamalar için uygunsuz hale getirir. Araştırmacılar, budanmış CNN mimarisi ve doğruluğu korurken model karmaşıklığını azaltan bilgi damıtma yaklaşımları dahil olmak üzere uç dağıtımı için hedeflenen hafif DL modelleri oluşturuyor. Dahası, nöromorfik bilişim ve FPGA tabanlı hızlandırıcılardaki ilerleme, hiperspektral verilerin doğrudan uç cihazlarda daha enerji verimli işlenmesini kolaylaştırıyor. Yapay zeka destekli çip üstü bilişimi kullanarak, kentsel izleme sistemleri merkezi sunuculardan bağımsız olarak gerçek zamanlı anormallik tespiti ve öngörücü analizler gerçekleştirebilir. Gelecekteki çabalar, akıllı şehirlerde hızlandırılmış ve daha ölçeklenebilir HSI uygulamaları sağlamak için donanım-yazılım ortak optimizasyonunu iyileştirmeye odaklanmalıdır. AI destekli HSI, kentsel planlama, çevresel izleme ve güvenlik için dönüştürücü bir potansiyel sunsa da, uygulanması önemli etik ve politika zorlukları doğurur. Önemli bir endişe, veri gizliliğidir, çünkü hiperspektral sensörler malzemelerin, insan faaliyetlerinin ve kentsel ortamların karmaşık spektral imzalarını edinebilir ve bu da potansiyel olarak istemeden gözetleme ve gizlilik ihlallerine yol açabilir. Dahası, AI destekli HSI analizindeki algoritmik önyargı, özellikle sağlık izleme, kirlilik değerlendirmesi ve altyapı planlama gibi alanlarda titizlikle yönetilmezse dezavantajlı toplulukları olumsuz etkileyebilir. HSI'nin akıllı şehir altyapılarına entegrasyonunda şeffaf AI karar alma, veri anonimleştirme ve etik AI yönetimini garanti altına almak için düzenleyici çerçeveler geliştirilmelidir. Dahası, çevre politikaları, sürdürülebilirlik girişimleri için etkinliklerini artırırken ekolojik rahatsızlığı azaltmak için havadan ve uzaydan taşınan HSI sensörlerinin akıllıca uygulanmasını yönlendirmelidir. Politikacıları, mühendisleri ve şehir planlamacılarını disiplinler arası diyaloglara dahil etmek, inovasyonu ve etik hesap verebilirliği vurgulayan AI destekli HSI uygulamaları oluşturmak için önemli olacaktır.

4.3. Sınırlamalar ve Gelecekteki Kapsam

HSI, IoT ağlarına dahil edilebilir ve akıcı veri iletimi için yapay zeka ile birlikte kullanılabilir; HSI, karmaşık veri toplama ve işleme teknikleri gerektiren yüksek boyutlu veriler içeren büyük veri kümeleri üretme eğilimindedir [145]. Büyük miktarda depolama ve yüksek hızlı işleme yetenekleri gereklidir. PCA ve varyasyonları boyut azaltma için kullanılabilirken, MNF gürültü azaltma için kullanılabilir [146]. Karmaşık hiperspektral verileri yorumlamak gelişmiş algoritmalar gerektirir, ancak mevcut AI ve ML modelleri henüz yüksek boyutlu HSI verileri için optimize edilmemiştir ve bu da kirlilik tespiti gibi uygulamalarda yanlışlıklara yol açabilir. HSI'yi mevcut kentsel sistemlerle entegre etmek, donanım, yazılım ve veri yönetimi arayüzlerinde önemli yükseltmelere ihtiyaç duyulması nedeniyle zorlu olmaya devam etmektedir ve bu da geleneksel akıllı şehir platformlarıyla birlikte çalışabilirliği engellemektedir.

Hiperspektral sensörler pahalı olma eğilimindedir ve UAV HSI operasyonlarında kısa pil dayanıklılığı gibi çeşitli zorluklara yol açar [147]. Çevresel faktörler HSI'nin kullanımını daha da karmaşık hale getirir çünkü hiperspektral sensörler bulut örtüsü, yağmur ve sis gibi hava koşullarına duyarlıdır ve bu da görüşü azaltabilir ve dolayısıyla veri kalitesini ve güvenilirliğini etkileyebilir. Kentsel alanlardaki değişken aydınlatma ve gölgeler de spektral çözünürlüğü bozabilir. Bu zorlukların üstesinden gelmek, akıllı bir şehrin tamamında daha fazla teknolojik ilerleme gerektirecektir. Karma piksel sorunu, donanım kısıtlamaları nedeniyle kentsel arazi kullanımının yorumlanması için uzaktan algılama görüntülerinde yaygındır. Alt piksel haritalama (SPM), gözlem ölçeğini artırarak ve arazi örtüsü haritalamasında daha rafine bir mekansal çözünürlük elde ederek bu sorunu ele almak için kullanılan yaygın bir yöntemdir. Uydu tabanlı HSI, büyük ölçekli kentsel izlemeye yaygın olarak kullanılır, ancak kısıtlı mekansal çözünürlüğü, zemin nesnelerini güvenilir bir şekilde ayırt etme kapasitesini azaltan karma pikseller ve spektral dalgalanma gibi engeller oluşturur. Bu kısıtlamalar, kentsel kategorizasyon görevlerini karmaşıklaştıran spektrum karışımına neden olur. Spektral karıştırma modelleri, DL tabanlı alt piksel kategorizasyonu ve veri birleştirme algoritmaları gibi son gelişmeler, mekansal çözünürlüğü iyileştirerek bu zorlukları ele almaktadır. Uydu, hava ve İHA tabanlı hiperspektral görüntülemeyi birleştiren hibrit metodolojiler, kentsel ölçekli izlemeyi geliştirmek için etkili yöntemler olarak ortaya çıkmaktadır. He ve diğerleri, mekansal bağlam özelliklerinin temsilini geliştirmek için düşük çözünürlüklü anlamsal görüntüleri kullanan bir anlamsal bilgi modülasyonlu (SIM) derin alt piksel eşleme ağı (SIMNet) önermiştir. Bulguları, önerilen SIMNet'in, kolayca erişilebilen düşük çözünürlüklü uzaktan algılama görüntülerini kullanarak yüksek çözünürlüklü kentsel arazi kullanımı haritalaması için etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir [148].

Şehirler giderek daha fazla birbirine bağlandıkça, HSI akıllı şehirlerin çeşitli yönlerinde, örneğin altyapının, çevre koşullarının ve kaynak kullanımının gerçek zamanlı izlenmesinde daha da önemli hale geliyor. Yüksek maliyet ve özel ekipmana duyulan ihtiyaç, HSI'nin daha geniş uygulamasını sınırlandırıyor. Buna göre, taşınabilir, düşük maliyetli ve minyatürleştirilmiş hiperspektral edinim cihazlarının geliştirilmesi araştırılıyor ve daha fazla esneklikle çevre kalitesinin izlenmesine yardımcı olabilir [149]. Bu nedenle, HSI'daki gelecekteki ilerlemeler, çeşitli ölçeklerde konuşlandırılabilen şehir çapındaki ağlara entegre edilmiş daha küçük ve daha uygun fiyatlı sistemlerin geliştirilmesini içerir. Mikroişlemcilerdeki ve özel ML çekirdeklerindeki iyileştirmeler, daha hızlı veri analizi ve uygun fiyatlı dedektörlere yol açacaktır. Bu ilerlemeler, HSI'nin mobil platformlarda ve daha küçük ölçekli operasyonlarda kullanımını kolaylaştıracaktır [150]. Ayrıca, transfer öğrenme ve grafik tabanlı evrimsel ağlar gibi teknikler, yüksek boyutlu veri yönlendirmelerinin işlenmesini geliştirebilir [151]. Yapay zeka ve makine öğrenmesindeki ilerlemelerle birlikte HSI, altyapı arızalarını ve çevresel tehlikeleri tahmin etmek de dahil olmak üzere şehir yönetimini iyileştirebilecek tahmini modeller için veri sağlayabilir ve şehir operasyonlarını optimize etmek ve güvenliği artırmak için otonom karar almaya olanak tanır.

HSI teknolojileri, spektral çözünürlük, sinyal-gürültü oranı (SNR), coğrafi kapsam ve hesaplamada farklı uzlaşmalar sunarak önemli ölçüde ilerlemiştir

verimlilik. Geleneksel push-broom ve whisk-broom sensörleri, yüksek spektrum çözünürlükleri ve olağanüstü SNR'leri nedeniyle yaygın olarak kullanılır. Push-broom sensörleri aynı anda tam bir piksel hattı toplayarak gelişmiş mekansal ve spektral doğruluk sağlarken, whisk-broom sensörleri piksel piksel tarayarak dikkat çekici spektral saflık elde eder ancak daha yavaş veri edinme oranlarına sahiptir. Ancak her ikisi de mekanik tarama gerektirir ve bu da dinamik kentsel ortamlarda taşınabilirliklerini ve gerçek zamanlı kullanılabilirliklerini sınırlar. Snapshot HSI sensörleri, tek bir pozlamada tüm ortamı yakalayarak tarama gerekliliğini ortadan kaldırır ve gerçek zamanlı işlemeyi kolaylaştırır ve bunları akıllı şehirlerde İHA tabanlı ve elde taşınabilir uygulamalar için ideal hale getirir. Metamalzeme tabanlı HSI sensörleri, yüksek spektral doğruluğu korurken spektral seçiciliği artırmak ve sensör boyutunu önemli ölçüde azaltmak için tasarlanmış nanoyapılardan yararlanan umut verici bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Maliyet, sensör seçiminde bir diğer önemli faktördür. Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi'nin Hyperion'u ve Avrupa Uzay Ajansı'nın Sentinel-2'si tarafından temsil edilen geleneksel havadan ve uydudan hiperspektral görüntüleme sistemleri, üstün spektral çözünürlükleri ve geniş mekansal kapsamları nedeniyle milyonlarca dolara varan maliyetlere neden olabilir. Tersine, Specim IQ ve Cubert ULTRIS gibi İHA'lara veya taşınabilir cihazlara dahil edilen daha küçük anlık görüntü sensörleri, genellikle 10.000 ila 50.000 ABD Doları arasında fiyatlandırılan önemli ölçüde daha ekonomiktir. En son sensörler, yerleşik gerçek zamanlı işleme sağlayarak harici bilgi işlem kaynaklarına olan bağımlılığı azaltır ve gerçek zamanlı kirlilik izleme, trafik kontrolü ve altyapı değerlendirmesi gibi akıllı şehir uygulamalarında kullanımını iyileştirir.

HSI ayrıca gelecekteki akıllı şehirlerdeki yeni teknolojilerle entegre olarak trafik yönetimi, afetlere hazırlık ve altyapı bakımı gibi alanları geliştirecektir. HSI'nin tıbbi görüntüleme gibi birçok alanda kullanımı zaten mevcuttur ancak gelecekte teknolojiye ilerlemelerle daha da fazla uygulama için kullanılacaktır. Kentsel tasarım ve planlama için HSI, kentsel malzemeler, ışık, ısı ve kirlleticiler arasındaki etkileşimlerin görselleştirilmesine ve modellenmesine yardımcı olarak planlamacıların yaşanabilirliği artıran ve enerji tüketimini azaltan şehirler tasarlamasına yardımcı olabilir. Küresel olarak HSI, şehirleri paylaşılan hiperspektral verilerle birbirine bağlayarak kentsel zorluklara koordineli bir yanıt sağlayabilir. Bu nedenle HSI'nin önemli faydaları vardır ve akıllı şehirleri daha verimli hale getirebilir.

HSI, MSI, LiDAR ve geleneksel optik sensörler dahil olmak üzere kentsel izlemede yaygın olarak kullanılan diğer uzaktan algılama teknolojilerine kıyasla belirgin avantajlar sunar. Üç görünür bantta (RGB) görüntü yakalayan geleneksel optik sensörlerin aksine, MSI bu yeteneği genellikle 4 ila 20 arasında değişen sınırlı sayıda ayrı spektral bantlara genişletir. MSI, RGB görüntülemeye göre daha iyi spektral ayrımcılık sağlasa da, yüzlerce bitişik bantı yakalayan ve ayrıntılı malzeme tanımlamasına olanak tanıyan HSI'nin ince spektral çözünürlüğünden yoksundur. 3B yapısal haritalama ve yükseklik modellemede mükemmel olan LiDAR ile karşılaştırıldığında, HSI malzeme farklılaştırmasına, kirlilik algılamaya ve bitki örtüsü sağlığı değerlendirmesine olanak tanıyan daha zengin spektral bilgiler sağlar. Ancak, LiDAR hassas topografik ve yapısal veriler üretmede HSI'yi geride bırakarak onu kentsel planlama ve altyapı değerlendirmesi gibi uygulamalar için daha uygun hale getirir. Son gelişmeler, HSI ve LiDAR verilerini kentsel izlemeyi geliştirmek için entegre ederek, mekansal hassasiyeti spektral derinlikle birleştirir. HSI'nin temel sınırlamalarından biri, özellikle hızlı karar almanın önemli olduğu akıllı şehirlerde gerçek zamanlı uygulamalar için zorluklar oluşturabilen yüksek hesaplama talebi ve veri depolama gereksinimleridir. Buna karşılık, multispektral ve LiDAR teknolojileri daha düşük veri karmaşıklığı ve daha hızlı işleme sunar. Ancak, yapay zeka destekli işleme, uç bilişim ve veri birleştirme tekniklerindeki gelişmelerle HSI'nin gerçek zamanlı uygulanabilirliği sürekli olarak iyileşerek onu çevresel izleme, arazi kullanım sınıflandırması ve kentsel sürdürülebilirlik girişimleri için vazgeçilmez bir araç haline getirmektedir.

5. Sonuçlar

HSI, akıllı şehirlerin ilerlemesi için sınırsız olanaklar sunar. Çevresel izleme, şehir planlama, enerji, ulaşım ve sağlık hizmetleri gibi çeşitli alanlardaki uygulamaları, kentsel ortamların karmaşık ihtiyaçlarını karşılama konusundaki çok yönlülüğünü ve kapasitesini vurgular. Sensör teknolojisindeki teknolojik gelişmeler, veri işleme ve analizi ve IoT sistemleriyle entegrasyon, HSI'nin gerçek zamanlı, eyleme geçirilebilir içgörüler sağlama potansiyelini daha da artırır. AI, ML, DL, bulut bilişim, uç bilişim ve IoT'nin HSI ile entegrasyonu gibi ortaya çıkan trendler, HSI'yi her zamankinden daha güçlü hale getirebilir. Şehirler daha akıllı hale geldikçe, HSI'nin sürdürülebilirliği, güvenliği ve verimliliği artırmadaki rolü giderek daha belirgin hale geliyor. Yüksek maliyetler ve veri karmaşıklığı gibi mevcut sınırlamalara rağmen, ortaya çıkan trendler alanda daha geniş bir benimseme ve inovasyona işaret ediyor ve gelecekteki araştırma ve geliştirme muhtemelen bu zorlukların üstesinden gelmeye ve şehirleri daha akıllı hale getirmek için HSI uygulamalarının kapsamını genişletmeye odaklanacaktır. Sonuç olarak, HSI'yi akıllı şehir çerçevelerine entegre etmek, kesinlikle daha akıllı, duyarlı ve sürdürülebilir kentsel sistemler yaratacak ve şehirlerin ihtiyaçlarını karşılamalarına ve küresel zorlukları ele almalarına yardımcı olacaktır. Gelecekteki araştırmalar, HSI'nin verimliliğini artırmak için AI odaklı uç bilişimini dahil ederek gerçek zamanlı veri işleme sorunlarını ele almalıdır. Ayrıca, İHA uygulamaları için sensör küçültmedeki ilerleme, hareketliliği ve maliyet verimliliğini artırmak için çok önemlidir. Spektrum analizi için DL modellerinin gelişmiş araştırması, sınıflandırma hassasiyetini artıracaktır. Sonuç olarak, LiDAR ve termal görüntüleme kullanan çok modlu sensör füzyonunun entegrasyonu, HSI'nin işlevlerini artırabilir ve onu akıllı şehir uygulamaları ve kentsel gözetim için daha verimli hale getirebilir.

Yazar Katkıları:Kavramsallaştırma, H.-CW ve AM; veri düzenleme, MAEV, JJ ve AM; biçimsel analiz, JJ, RK ve AM; fon edinimi, AM ve H.-CW; araştırma, JJ, RK ve AM; metodoloji, JJ, H.-CW ve AM; proje yönetimi, AM ve H.-CW; kaynaklar, H.-CW ve AM; yazılım, MAEV, JJ ve AM; denetim, RK ve H.-CW; doğrulama, JJ ve RK; yazma - orijinal taslak, MAEV, JJ, RK ve AM; yazma - inceleme ve düzenleme, JJ, RK, AM ve H.-CW Tüm yazarlar, makalenin yayınlanmış versiyonunu okumuş ve kabul etmiştir.

Finansman:Bu araştırma, Çin Cumhuriyeti Ulusal Bilim ve Teknoloji Konseyi'nin NSTC 113-2221-E-194-011-MY3, 113-2634-F-194-001 hibesi ve Güney Tayvan Bilim Parkı'nın Ortaya Çıkan Teknoloji Uygulama Projesi'nin 113CM-1-02 hibesi kapsamında desteklenmiştir.

Veri Kullanılabilirliği Beyanı:Uygulanamaz.

Çıkar Çatışmaları:Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Referanslar

1. Jiang, S.; Zhang, Z.; Ren, H.; Wei, G.; Xu, M.; Liu, B. 2001-2019 yılları arasında Afrika'daki kentsel arazi genişlemesinin ve nüfus artışının mekansal-zamansal özellikleri: Nüfus yoğunluğu verilerinden elde edilen kanıtlar. *ISPRS Uluslararası Dergisi Geo-Inf.* **2021**, *10*, 584. [ÇaprazRef]
2. Ismagilova, E.; Hughes, L.; Dwivedi, YK; Raman, KR Akıllı şehirler: Araştırmadaki gelişmeler—Bir bilgi sistemleri perspektifi. *Uluslararası J. Inf. Yönetim* **2019**, *47*, 88–100. [ÇaprazRef]
3. Khan, UT; Zia, MF Akıllı şehir teknolojileri, temel bileşenler ve yönleri. 2021 Uluslararası Yenilikçi Bilgi İşlem Konferansı (ICIC) Bildirilerinde, Lahor, Pakistan, 9-10 Kasım 2021.
4. Kiritat, A.; Krejcar, O.; Kertesz, A.; Tasgetiren, MF Akıllı şehir konseptlerinin gelecekteki eğilimleri ve mevcut durumu: Bir araştırma. *IEEE Erişimi* **2020**, *8*, 86448–86467. [ÇaprazRef]
5. Rani, S.; Mishra, RK; Usman, M.; Kataria, A.; Kumar, P.; Bhambri, P. Akıllı şehir ortamının sürdürülebilir gelişimi için ileri teknolojilerin birleştirilmesi: Bir inceleme. *IEEE Erişimi* **2021**, *9*, 150060–150087. [ÇaprazRef]
6. Strielkowski, W.; Veinbender, T.; Tvaronavičienė, M.; Lace, N. Akıllı şehirlerin ekonomik verimliliği ve enerji güvenliği. *Ekon. Res. Ekon. Istraživanja* **2020**, *33*, 788–803. [ÇaprazRef]
7. Porru, S.; Misso, FE; Pani, FE; Repetto, C. Akıllı mobilite ve toplu taşıma: Kırsal ve kentsel alanlarda fırsatlar ve zorluklar. *J. Trafik Transp. Müh. (İngilizce Ed.)* **2020**, *7*, 88–97. [ÇaprazRef]

8. Minopoulos, GM; Notlar, VA; Stergiou, CL; Stergiou, KD; Plageras, AP; Koidou, Milletvekili; Psannis, KE Akıllı bir sağlık sistemi için gelişen teknolojilerin ve gelişmiş ağların kullanılması. *Uygulamalı Bilimler*2022, 12, 5859. [ÇaprazRef]
9. Van Fan, Y.; Lee, CT; Lim, JS; Klemeš, JJ; Le, PTK Akıllı, dayanıklı ve sürdürülebilir dairesel ekonomiye yönelik disiplinler arası yaklaşımlar. *J. Clean. Prod.*2019,232, 1482–1491. [ÇaprazRef]
10. Kasar, S.; Kshirsagar, M. Akıllı şehirlerdeki açık zorluklar: Gizlilik ve güvenlik. *Akıllı Şehir Gelişimi için Güvenlik ve Gizlilik Uygulamaları*, Springer: Berlin/Heidelberg, Almanya, 2021; s. 25–36.
11. Ortega, S.; Fabelo, H.; Iakovidis, DK; Koulaouzidis, A.; Callico, GM Gastroenterolojide hiperspektral/multispektral görüntüleme kullanımı. Karanlığa biraz farklı ışık tutmak. *J. Klin. Tıp.*2019,8, 36. [ÇaprazRef]
12. Halicek, M.; Fabelo, H.; Ortega, S.; Callico, GM; Fei, B. Hiperspektral görüntüleme teknikleri ile in vivo ve ex vivo doku analizi: Kanserin görünmeyen özelliklerinin ortaya çıkarılması. *Kanserler*2019, 11, 756. [ÇaprazRef]
13. Xu, H.; Ren, J.; Lin, J.; Mao, S.; Xu, Z.; Chen, Z.; Zhao, J.; Wu, Y.; Xu, N.; Wang, P. Yüksek kaliteli verilerin gıda alanlarındaki görünür/yakın-kızılötesi hiperspektral görüntüleme ve geliştirme yönünün değerlendirme sonuçlarına etkisi: Bir inceleme. *J. Gıda Ölçüm Karakteristiği* 2023, 17, 2988–3004. [ÇaprazRef]
14. Özdemir, A.; Polat, K. Hiperspektral görüntüleme için derin öğrenme uygulamaları: Sistemik bir inceleme. *J. Inst. Elektron. Bilgisayar.*2020, 2, 39–56. [ÇaprazRef]
15. Yoon, J. Klinik uygulamalar için hiperspektral görüntüleme. *Biyoçip J.*2022, 16, 1–12. [ÇaprazRef]
16. Zhang, Y.; Wu, X.; He, L.; Meng, C.; Du, S.; Bao, J.; Zheng, Y. Katı tümörlerin tespiti ve tanısında hiperspektral görüntüleme uygulamaları. *Çeviri Kanser Res.*2020,9, 1265. [ÇaprazRef]
17. Fei, B. Tıbbi uygulamalarda hiperspektral görüntüleme. *Veri İşleme Bilimi Tekn.*2019,32, 523–565.
18. Aviara, NA; Liberty, JT; Olatunbosun, OS; Shoyombo, HA; Oyeniyi, SK Toplu depolama sırasında gıda tahılı kalite denetimi, değerlendirmesi ve kontrolünde hiperspektral görüntülemenin potansiyel uygulaması. *J. Tarım. Gıda Res.*2022,8, 100288. [ÇaprazRef]
19. Ma, J.; Sun, D.-W.; Pu, H.; Cheng, J.-H.; Wei, Q. Gıda endüstrisinde hiperspektral görüntüleme için gelişmiş teknikler: İlkeler ve son uygulamalar. *Annu. Rev. Gıda Bilimi ve Teknolojisi*2019, 10, 197–220. [ÇaprazRef]
20. Xing, F.; Yao, H.; Liu, Y.; Dai, X.; Brown, RL; Bhatnagar, D. Gıda ürünlerindeki mikotoksinlerin ve mikotoksijenik mantarların hızlı tespiti için hiperspektral görüntülemenin son gelişmeleri ve uygulamaları. *Eleştiri. Rev. Gıda Bilimi. Nutr.*2019,59, 173–180. [ÇaprazRef]
21. Ai, W.; Liu, S.; Liao, H.; Du, J.; Cai, Y.; Liao, C.; Shi, H.; Lin, Y.; Junaid, M.; Yue, X.; ve diğerleri. Tarım arazisi toprağındaki mikroplastiklerin hızlı tanımlanmasında hiperspektral görüntüleme teknolojisinin uygulanması. *Bilim. Toplam Çevre.*2022,807, 151030. [ÇaprazRef]
22. Gasser, C.; González-Cabrera, M.; Ayora-Cañada, MJ; Domínguez-Vidal, A.; Lendl, B. Uzaktan malzeme tanımlaması için uzaktan Raman spektroskopisinde haritalama ve doğrudan hiperspektral görüntülemenin karşılaştırılması. *J. Raman Spektrometresi.*2019,50, 1034–1043. [ÇaprazRef]
23. Hu, X.; Xie, C.; Fan, Z.; Duan, Q.; Zhang, D.; Jiang, L.; Wei, X.; Hong, D.; Li, G.; Zeng, X.; ve diğerleri. Derin öğrenme kullanılarak hiperspektral anomali tespiti: Bir inceleme. *Uzaktan Algılama*2022, 14, 1973. [ÇaprazRef]
24. Stuart, MB; Davies, M.; Hobbs, MJ; Pering, TD; McGonigle, AJS; Willmott, JR Düşük maliyetli bileşenler kullanılarak yüksek çözünürlüklü hiperspektral görüntüleme: Çevresel izleme senaryolarında uygulama. *Sensörler*2022,22, 4652. [ÇaprazRef]
25. Dong, X.; Jakobi, M.; Wang, S.; Köhler, MH; Zhang, X.; Koch, AW Nanoölçekli malzeme araştırmaları için hiperspektral görüntüleme üzerine bir inceleme. *Uygulama Spektroskopik Rev.*2019,54, 285–305. [ÇaprazRef]
26. Cucci, C.; Casini, A. Sanat eserlerinin incelenmesi için hiperspektral görüntüleme. *Veri İşleme Bilimi Tekn.*2019,32, 583–604.
27. Krupnik, D.; Khan, S. Çeşitli ölçeklerdeki madencilik uygulamaları için yakın mesafeli, yer tabanlı hiperspektral görüntüleme: İnceleme ve vaka çalışmaları. *Dünya-Bilim. Rev.*2019,198, 102952. [ÇaprazRef]
28. Signoroni, A.; Savardi, M.; Baronio, A.; Benini, S. Derin öğrenme hiperspektral görüntü analiziyle buluşuyor: Disiplinler arası bir inceleme. *J. Görüntüleme*2019,5, 52. [ÇaprazRef]
29. Chen, J.; Hoek, G. PM'ye uzun süreli maruz kalma ve tüm nedenlere bağlı ve nedene özgü ölüm oranı: Sistemik bir inceleme ve meta-analiz. *Çevre. Uluslararası*2020, 143, 105974. [ÇaprazRef]
30. Song, J.; Wang, Y.; Zhang, Q.; Qin, W.; Pan, R.; Yi, W.; Xu, Z.; Cheng, J.; Su, H. NO'ya atfedilebilir erken ölüm2Şehirlerde maruz kalma ve inşa edilmiş çevrenin rolü: Küresel bir analiz. *Bilim. Toplam Çevre.*2023,866, 161395. [ÇaprazRef]
31. Naethe, P.; Delaney, M.; Julitta, T. NO'nun DeğişimlerinKoronavirüs salgını sırasında izleme amaçlı VIS-NIR alan spektrometresi ile tespit edilen kentsel havadaki kirlilik: Almanya'da bir vaka çalışması. *Bilim. Toplam Çevre.*2020, 748, 141286. [ÇaprazRef]
32. Xing, C.; Liu, C.; Lin, J.; Tan, W.; Liu, T. VOC hiperspektral görüntüleme: Endüstrilerden kaynaklanan emisyonların ve buna bağlı sağlık risklerinin değerlendirilmesine yönelik yeni bir bakış açısı. *J. Hazard.Mater.*2024,461, 132573. [ÇaprazRef]
33. Noppen, L.; Clarisse, L.; Tack, F.; Ruhtz, T.; Merlaud, A.; Van Damme, M.; Van Roozendaal, M.; Schuettemeyer, D.; uyumlu, P. Hiperspektral kızılötesi görüntüleme kullanılarak endüstriyel amonyak emisyonlarının kısıtlanması. *Uzaktan Algılama Çevre*2023,291, 113559. [ÇaprazRef]
34. Meléndez, J.; Guarnizo, G. Orta kızılötesi hiperspektral görüntüleme ve temel bileşen analizi ile hava kirleticilerinin hızlı kantifikasyonu. *Sensörler*2021,21, 2092. [ÇaprazRef]

35. Mukundan, A.; Huang, C.-C.; Men, T.-C.; Lin, F.-C.; Wang, H.-C. Yeni bir anlık hiperspektral görüntüleme tekniği kullanılarak hava kirliliğinin tespiti. *Sensörler* **2022**, *22*, 6231. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Qamar, F.; Sharma, MS; Dobler, G. Yoğun kentsel ortamlarda hava kalitesinin bitki örtüsü sağlığı üzerindeki etkileri: Yer tabanlı hiperspektral görüntüleme yaklaşımı. *Uzaktan Algılama* **2022**, *14*, 3854. [[ÇaprazRef](#)]
37. Park, C.; Yu, J.; Park, B.-J.; Wang, L.; Lee, YG Araç egzoz deneyi ve hiperspektral analiz ile partikül maddeye maruz kalmış çam ağaçlarının görüntülenmesi. *Çevre. Bilim. Kirlilik. Araş.* **2023**, *30*, 2260–2272. [[ÇaprazRef](#)]
38. Huang, C.-H.; Chen, W.-T.; Chang, Y.-C.; Wu, K.-T. Hava Kalitesi İzleme İçin Öz-Uyarlanabilirlik ve Hiperspektral Görüntüleme Özelliğine Sahip Üstün ve Güvenilir Bir Yapay Zeka İHA Sistemi. *IEEE İnternet Nesneleri J.* **2024**, *11*, 32572–32584. [[ÇaprazRef](#)]
39. Chen, C.-W.; Tseng, Y.-S.; Mukundan, A.; Wang, H.-C. Hava kirliliği: Hiperspektral görüntüleme kullanılarak PM2.5 ve PM10 konsantrasyonunun hassas tespiti. *Uygulamalı Bilimler* **2021**, *11*, 4543. [[ÇaprazRef](#)]
40. Su, X.; Liu, X.; Motlagh, NH; Cao, J.; Su, P.; Pellikka, P.; Liu, Y.; Petäjä, T.; Kulmala, M.; Hui, P.; ve ark. 5G edge ile akıllı ve ölçeklenebilir hava kalitesi izleme. *IEEE İnternet Bilgisayar* **2021**, *25*, 35–44. [[ÇaprazRef](#)]
41. Lin, L.; Yang, H.; Xu, X. Su kirliliğinin insan sağlığı ve hastalık çeşitliliği üzerindeki etkileri: Bir inceleme. *Ön. Çevre. Bilim.* **2022**, *10*, 880246. [[ÇaprazRef](#)]
42. Sun, X.; Zhang, Y.; Shi, K.; Zhang, Y.; Li, N.; Wang, W.; Huang, X.; Qin, B. Yakınsal uzaktan algılama teknolojisi kullanılarak su kalitesinin izlenmesi. *Bilim. Toplam Çevre* **2022**, *803*, 149805. [[ÇaprazRef](#)]
43. Niu, C.; Tan, K.; Jia, X.; Wang, X. Havadan hiperspektral görüntüleme kullanılarak optik olarak aktif olmayan iç su kalitesi parametre tahmini için derin öğrenmeye dayalı regresyon. *Çevre. Kirletme* **2021**, *286*, 117534. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
44. Sagan, V.; Peterson, KT; Maimaitijiang, M.; Sidike, P.; Sloan, J.; Greeling, BA; Maalouf, S.; Adams, C. Uzaktan algılama kullanılarak iç su kalitesinin izlenmesi: Spektral endekslerin, biyo-optik simülasyonların, makine öğreniminin ve bulut bilişimin potansiyeli ve sınırlamaları. *Dünya-Bilim. Rev.* **2020**, *205*, 103187. [[ÇaprazRef](#)]
45. Niroumand-Jadidi, M.; Bovolo, F.; Bruzzone, L. PRISMA hiperspektral görüntülerinden su kalitesinin elde edilmesi: Bulanık bir gölde ilk deneyim ve sentinel-2 ile karşılaştırma. *Uzaktan Algılama* **2020**, *12*, 3984. [[ÇaprazRef](#)]
46. Wei, L.; Huang, C.; Wang, Z.; Wang, Z.; Zhou, X.; Cao, L. İHA kaynaklı hiperspektral görüntüleme kullanılarak Nemerow indeksi ve gradyan artırma karar ağacı regresyonuna dayalı kentsel siyah kokulu suyun izlenmesi. *Uzaktan Algılama* **2019**, *11*, 2402. [[ÇaprazRef](#)]
47. Lu, Q.; Si, W.; Wei, L.; Li, Z.; Xia, Z.; Ye, S.; Xia, Y. İHA kaynaklı hiperspektral görüntülerden su kalitesinin alınması: Makine öğrenimi algoritmalarının karşılaştırmalı çalışması. *Uzaktan Algılama* **2021**, *13*, 3928. [[ÇaprazRef](#)]
48. Liu, H.; Yu, T.; Hu, B.; Hou, X.; Zhang, Z.; Liu, X.; Liu, J.; Wang, X.; Zhong, J.; Tan, Z.; ve diğerleri. Su kalitesinin izlenmesi için akusto-optik ayarlanabilir filtreye dayalı İHA kaynaklı hiperspektral görüntüleme uzaktan algılama sistemi. *Uzaktan Algılama* **2021**, *13*, 4069. [[ÇaprazRef](#)]
49. Zhang, Y.; Wu, L.; Ren, H.; Deng, L.; Zhang, P. Hibrit Bayes olasılıklı sinir ağı kullanılarak hiperspektral görüntülerden su kalite parametrelerinin alınması. *Uzaktan Algılama* **2020**, *12*, 1567. [[ÇaprazRef](#)]
50. Zhang, Y.; Wu, L.; Ren, H.; Liu, Y.; Zheng, Y.; Liu, Y.; Dong, J. Çoklu yapay sinir ağlarının yeni bir kendi kendine uyarlanan seçimini kullanarak hiperspektral görüntülerden kentsel nehirlerdeki su kalitesi parametrelerinin haritalanması. *Uzaktan Algılama* **2020**, *12*, 336. [[ÇaprazRef](#)]
51. Yang, Z.; Gong, C.; Ji, T.; Hu, Y.; Li, L. Kentsel su kütlelerinde ZY1-02D hiperspektral görüntülerinden su kalitesinin alınması ve sentinel-2 ile karşılaştırılması. *Uzaktan Algılama* **2022**, *14*, 5029. [[ÇaprazRef](#)]
52. Sharma, HB; Vanapalli, KR; Samal, B.; Cheela, VRS; Dubey, BK; Bhattacharya, J. BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine ulaşmak için katı atık yönetim sisteminde dairesel ekonomi yaklaşımı: COVID sonrası iyileşme için çözümler. *Bilim. Toplam Çevre* **2021**, *800*, 149605. [[ÇaprazRef](#)]
53. Aversano, N.; Bonifazi, G.; D'Adamo, I.; Palmieri, R.; Serranti, S.; Simone, A. Dairesel ve sürdürülebilir uzay: Hiperspektral görüntüleme bulguları. *J. Clean. Prod.* **2024**, *471*, 143386. [[ÇaprazRef](#)]
54. Xiao, W.; Yang, J.; Fang, H.; Zhuang, J.; Ku, Y. NIR hiperspektral sistemi kullanılarak inşaat atıklarının ayrılması için sağlam bir sınıflandırma algoritması. *Atık Yönetim* **2019**, *90*, 1–9. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
55. Özkan, M.; Özkan, K.; Bekgöz, BO; Yorulmaz, Ö.; Günkaya, Z.; Özkan, A.; Banar, M. Atıktan türetilen yakıtlardaki klor için derin öğrenme modeliyle birleştirilmiş hiperspektral görüntüleme ile erken uyarı sisteminin uygulanması. *Atık Yönetim* **2022**, *142*, 111–119. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
56. Bonifazi, G.; Capobianco, G.; Serranti, S. Hiyerarşik modelleme ve değişken seçimle birleştirilmiş itmeli süpürge hiperspektral sensörü ile plastik atıkların hızlı ve etkili sınıflandırılması. *Kaynak. Koru. Geri dönüşür.* **2023**, *197*, 107068. [[ÇaprazRef](#)]
57. Bonifazi, G.; Capobianco, G.; Serranti, S. İnşaat ve yıkım atıklarındaki asbest tanımda hiperspektral görüntüleme ve hiyerarşik PLS-DA uygulaması. *Uygulamalı Bilimler* **2019**, *9*, 4587. [[ÇaprazRef](#)]
58. Tao, J.; Gu, Y.; Hao, X.; Liang, R.; Wang, B.; Cheng, Z.; Yan, B.; Chen, G. Kentsel katı atıkların hızlı karakterizasyonu ve sınıflandırılması için hiperspektral görüntüleme ve makine öğrenimi modellerinin birleşimi. *Kaynak. Koru. Geri dönüşür.* **2023**, *188*, 106731. [[ÇaprazRef](#)]
59. Castro-Díaz, M.; Osmani, M.; Cavalaro, S.; Cacho, BEN.; Uriá, I.; Needham, P.; Thompson, J.; Parker, B.; Lovato, T. Yenileme Alçıpan Atıklarının Hiperspektral Görüntüleme ile Sınıflandırılması. *Uygulamalı Bilimler* **2023**, *13*, 2413. [[ÇaprazRef](#)]
60. Kim, G.; Lee, H.; Cho, B.-K.; Baek, I.; Kim, MS Görünür-yakın kızılötesi hiperspektral görüntüleme kullanılarak organik gübredeki gıda atığı bileşenlerinin kantitatif değerlendirilmesi. *Uygulamalı Bilimler* **2021**, *11*, 8201. [[ÇaprazRef](#)]

61. Singh, MK; Hait, S.; Thakur, A. Yapay sinir ağı kullanılarak plastik geri dönüşümü için tüketici sonrası termoplastiklerin hiperspektral görüntüleme tabanlı sınıflandırılması. *Proses Güvenli. Çevre Koruma*.2023, 179, 593–602. [ÇaprazRef]
62. Mahmoud, A.; El-Sharkawy, YH Lazer kaynaklı floresan ve ilişkili hiperspektral görüntüleme kullanılarak kıyılarda anında plastik atık tespiti. *Opt. Kuantum Elektronik*.2024,56, 780. [ÇaprazRef]
63. Karoui, MS; Benhalouche, FZ; Deville, Y.; Djerriri, K.; Briottet, X.; Houet, T.; Le Bris, A.; Weber, C. Kentsel hiperspektral uzaktan algılama verilerinde fotovoltaiik panellerin tespiti ve alan tahmini için kısmi doğrusal NMF tabanlı karıştırma yöntemleri. *Uzaktan Algılama* 2019, 11, 2164. [ÇaprazRef]
64. Ilehag, R.; Schenk, A.; Huang, Y.; Hinz, S. KLUM: Yapı malzemelerinden oluşan kentsel bir VNIR ve SWIR spektral kütüphanesi. *Uzaktan Algılama*2019, 11, 2149. [ÇaprazRef]
65. Brabant, C.; Alvarez-Vanhard, E.; Laribi, A.; Morin, G.; Nguyen, KT; Thomas, A.; Houet, T. Kentsel ağaç çeşitliliği sınıflandırması için hiperspektral tekniklerin karşılaştırılması. *Uzaktan Algılama*2019, 11, 1269. [ÇaprazRef]
66. Man, Q.; Dong, P. Havadaki LiDAR ve hiperspektral verilerin birleştirilmesi temelinde bulut gölgelerindeki kentsel nesnelerin çıkarılması. *Uzaktan Algılama*2019, 11, 713. [ÇaprazRef]
67. Wang, Y.; Su, H.; Li, M. ROSIS-3 hiperspektral görüntülerinden çıkarılan çoklu özellikleri kullanarak kentsel geçirimsiz yüzeylerin geliştirilmiş bir model tabanlı tespiti. *Uzaktan Algılama*2019, 11, 136. [ÇaprazRef]
68. Degerickx, J.; Hermy, M.; Somers, B. Yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama verilerini kullanarak işlevsel kentsel yeşil alan tiplerinin haritalanması. *Sürdürülebilirlik*2020, 12, 2144. [ÇaprazRef]
69. Sun, G.; Jiao, Z.; Zhang, A.; Li, F.; Fu, H.; Li, Z. Hiperspektral görüntü tabanlı bitki örtüsü indeksi (HSVI): Kentsel ekolojik araştırmalar için yeni bir bitki örtüsü indeksi. *Uluslararası J. Uygulamalı Dünya Gözlemleri Geoinf*2021, 103, 102529. [ÇaprazRef]
70. Aryal, S.; Chen, Z.; Tang, S. Malzeme yüzey hasarının tespiti için mobil hiperspektral görüntüleme. *Bilgisayar Mühendisliği Dergisi*2021, 35, 04020057. [ÇaprazRef]
71. Lavadiya, DN; Sajid, HU; Yellavajjala, RK; Sun, X. Korozyon tespitinde görsel belirsizliğin ortadan kaldırılması ve korozyon kaynaklarının tanımlanması için hiperspektral görüntüleme. *Yapısal Sağlık İzleme*2022, 21, 1678–1693. [ÇaprazRef]
72. Weber, C.; Briottet, X.; Houet, T.; Gadal, S.; Aguejedad, R.; Deville, Y.; Dalla Mura, M.; Mallet, C.; Le Bris, A.; Karoui, MS; ve diğerleri. Hiperspektral görüntüleme ve kentsel alanlar: HYPE projesinin sonuçları. *Rev. Française Photogrammétrie Télédétection*2022, 224, 75–92. [ÇaprazRef]
73. Oladimeji, D.; Gupta, K.; Kose, NA; Gundogan, K.; Ge, L.; Liang, F. Akıllı ulaşım: Teknolojiler ve uygulamalara genel bakış. *Sensörler*2023, 23, 3880. [ÇaprazRef] [PubMed]
74. Jakubczyk, K.; Siemiątkowska, B.; Więckowski, R.; Rapcewicz, J. Mobil robot navigasyonu için hiperspektral görüntüleme. *Sensörler* 2022, 23, 383. [ÇaprazRef]
75. Taher, J.; Hakala, T.; Jaakkola, A.; Hyyti, H.; Kukko, A.; Manninen, P.; Maanpää, J.; Hyypä, J. Sağlam otonom araç algısı için hiperspektral tek foton lidarının fizibilitesi. *Sensörler*2022, 22, 5759. [ÇaprazRef] [PubMed]
76. Özdemir, OB; Soydan, H.; Yardımcı Çetin, Y.; Düzgün, H.Ş. Hiperspektral görüntülerle sinir ağı tabanlı kaldırım durumu değerlendirmesi. *Uzaktan Algılama*2020, 12, 3931. [ÇaprazRef]
77. Abdellatif, M.; Peel, H.; Cohn, AG; Fuentes, R. Yeni bir asfalt çatlak indeksi kullanılarak hiperspektral görüntülerden kaldırım çatlaklarının tespiti. *Uzaktan Algılama*2020, 12, 3084. [ÇaprazRef]
78. Lee, G.; Lee, J.; Baek, J.; Kim, H.; Cho, D. Araç tespiti için hiperspektral görüntülerde kanal örnekleme. *IEEE Geosci. Uzaktan Algılama Lett.* 2021, 19, 5509405. [ÇaprazRef]
79. Gutiérrez-Zaballa, J.; Basterretxea, K.; Echanobe, J.; Martínez, MV; Martinez-Corral, U.; Mata-Carballeira, O.; del Campo, I. Otonom sürüşte sahne anlayışı için tam evrişimli ağlarla çip üzerinde hiperspektral görüntü segmentasyonu. *J. Sistem Mimarlığı*2023, 139, 102878. [ÇaprazRef]
80. Ahmad, T.; Madonski, R.; Zhang, D.; Huang, C.; Mujeib, A. Sürdürülebilir akıllı enerji/akıllı enerji sistemlerinde veri odaklı olasılıklı makine öğrenimi: Akıllı şebeke paradigması bağlamında temel gelişmeler, zorluklar ve gelecekteki araştırma fırsatları. *Yenile. Sürdür. Enerji Rev.*2022, 160, 112128. [ÇaprazRef]
81. Baliyan, A.; Imai, H. Lityum iyon pil elektrotlarının otomatik hiperspektral Raman analizi için makine öğrenimine dayalı analitik çerçeve. *Bilim Temsilcisi*2019, 9, 18241. [ÇaprazRef]
82. Jörges, C.; Vidal, HS; Hank, T.; Bach, H. Uydu ve havadan hiperspektral görüntüleme kullanılarak güneş fotovoltaiik santrallerinin tespiti. *Uzaktan Algılama*2023, 15, 3403. [ÇaprazRef]
83. Schultz, C.; Fenske, M.; Dion-Bertrand, LI; Gélinas, G.; Marcet, S.; Dagar, J.; Bartelt, A.; Schlatmann, R.; Unger, E.; Stegemann, B. Lazer Desenli Perovskit Güneş Hücrelerinin Elektriksel Parametrelerinin Uzamsal Olarak Çözünürlüklü Belirlenmesi İçin Hiperspektral Fotoluminesans Görüntüleme. *Sol. RRL*2023, 7, 2300538. [ÇaprazRef]
84. Attia, EA; Mahmoud, A.; Fedawy, M.; El-Sharkawy, YH K-ortalama kümeleme ve ilişkili hiperspektral görüntüleme kullanılarak fotovoltaiik hücreler için anında test ve temassız tanı. *SN Uygulamalı Bilimler*2023, 5, 207. [ÇaprazRef]
85. Rizk, P.; Younes, R.; Ilincă, A.; Khoder, J. Hiperspektral görüntüleme kullanılarak rüzgar türbini buz tespiti. *Uzaktan Algılama Uygulama Sosyal Çevre* 2022, 26, 100711. [ÇaprazRef]

86. Rizk, P.; Younes, R.; Ilinca, A.; Khoder, J. Hiper spektral görüntüleme kullanılarak rüzgar türbini kanatlarındaki kusurların tespiti. *Uzaktan Algılama Uygulama Sosyal Çevre*2021,22, 100522. [ÇaprazRef]
87. Alshehri, F.; Muhammad, G. Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Yapay Zeka Tabanlı Akıllı Sağlık Hizmetlerine İlişkin Kapsamlı Bir Araştırma. *IEEE Erişimi* 2020,9, 3660–3678. [ÇaprazRef]
88. Wawerski, A.; Siemiątkowska, B.; Jóźwik, M.; Fajdek, B.; Partyka, M. Glikoz ve Silisyum Seviyelerinin Hassas Belirlenmesi İçin Makine Öğrenme Yöntemi ve Hiper spektral Görüntüleme. *Sensörler*2024,24, 1306. [ÇaprazRef] [PubMed]
89. Ahn, D.; Choi, J.-Y.; Kim, H.-C.; Cho, J.-S.; Moon, K.-D.; Park, T. Derin sinir ağlarına dayalı hiper spektral sinyallerden gıda besin öğelerinin bileşiminin tahmin edilmesi. *Sensörler*2019,19, 1560. [ÇaprazRef]
90. La Salvia, M.; Torti, E.; Marenzi, E.; Danese, G.; Leporati, F. Hiper spektral görüntüleme yoluyla dikkat tabanlı görme dönüştürücüsü ile cilt kanserinin erken tanısında kenar ve bulut bilişim yaklaşımları. *J. Süper Bilgisayar*.2024,80, 16368–16392. [ÇaprazRef]
91. Neri, İ.; Caponi, S.; Bonacci, F.; Clementi, G.; Cottone, F.; Gammaitoni, L.; Figorilli, S.; Ortenzi, L.; Aisa, S.; Pallottino, F.; ve ark. Hassas Tarım için Gerçek Zamanlı Yapay Zeka Destekli İtmeli Süpürge Hiper spektral Sistemi. *Sensörler*2024,24, 344. [ÇaprazRef]
92. Ang, KL-M.; Seng, JKP Tarımda hiper spektral bilgiyle büyük veri ve makine öğrenimi. *IEEE Erişimi*2021,9, 36699–36718. [ÇaprazRef]
93. Abdulridha, J.; Ampatzidis, Y.; Qureshi, J.; Roberts, P. Hava ve kara uzaktan algılama ve makine öğrenimi kullanılarak karpuzdaki tüylü küf hastalığının şiddet aşamalarının tanımlanması ve sınıflandırılması. *Ön. Bitki Bilimi*.2022,13, 791018. [ÇaprazRef]
94. Ciza, PH; Sacre, P.-Y.; Waffo, C.; Coïc, L.; Avohou, H.; Mbinze, JK; Ngono, R.; Marini, RD; Hubert, P.; Ziemons, E. Sahte ilaç ürünlerinin tespiti için elde taşınabilir NIR ve Raman spektrofotometrelerinin nitel performanslarının karşılaştırılması. *Talanta* 2019,202, 469–478. [ÇaprazRef] [PubMed]
95. Phillips, T.; Abdulla, W. Hiper spektral görüntüleme ve makine öğrenimi kullanan yeni bir bal sahteciliği tespit yaklaşımı. *Avrupa Gıda Yatırım Tekn.*2023,249, 259–272. [ÇaprazRef]
96. Tyagi, P.; Agarwal, K.; Jaiswal, G.; Sharma, A.; Rani, R. Gözetimsiz derin öğrenme yaklaşımıyla sahte belge tespiti ve yazarın tanımlanması. *Multimed. Araçlar Uygulama*2024,83, 18459–18478. [ÇaprazRef]
97. Zeng, Z.; Zhang, P.; Qiu, S.; Li, S.; Liu, X. Çok ölçekli uzaysal-spektral özellik birleştirme ve evrişimli sinir ağına dayalı bir boyama kimlik doğrulama yöntemi. *Bilgisayar. Elektr. Müh.*2024,118, 109315. [ÇaprazRef]
98. He, T.; Wang, S. Derin öğrenme yöntemlerine dayalı çok spektral uzaktan algılama arazi örtüsü sınıflandırması. *J. Süper Bilgisayar*.2021,77, 2829–2843. [ÇaprazRef]
99. De Castro, AI; Shi, Y.; Maja, JM; Peña, JM Bitki örtüsünün izlenmesi için İHA'lar: Genel bakış ve son bilimsel katkılar. *Uzaktan Algılama*2021,13, 2139. [ÇaprazRef]
100. Almeida, CRd; Teodoro, AC; Gonçalves, A. Uzaktan algılama verileri/teknikleri kullanılarak kentsel ısı adası (UHI) çalışması: Sistematik bir inceleme. *Ortamlar*2021,8, 105. [ÇaprazRef]
101. Megahed, Y.; Shaker, A.; Yan, WY Heterojen arazi kullanımına sahip kentsel haritalama için havadan LiDAR nokta bulutları ve hava görüntülerinin birleştirilmesi. *Uzaktan Algılama*2021,13, 814. [ÇaprazRef]
102. Kaartinen, E.; Dunphy, K.; Sadhu, A. LiDAR tabanlı yapısal sağlık izleme: İnşaat altyapı sistemlerindeki uygulamalar. *Sensörler* 2022,22, 4610. [ÇaprazRef]
103. Cai, X.; Wu, L.; Li, Y.; Lei, S.; Xu, J.; Lyu, H.; Li, J.; Wang, H.; Dong, X.; Zhu, Y.; ve diğerleri. Hiper spektral veriler kullanılarak kentsel su kirliliği kaynak türlerinin uzaktan algılama ile tanımlanması. *J. Hazard. Mater.*2023,459, 132080. [ÇaprazRef] [PubMed]
104. Fei, S.; Li, L.; Han, Z.; Chen, Z.; Xiao, Y. Ürün verimini tahmin etmek için yeni özellik seçimi stratejisi ve hiper spektral bitki örtüsü endekslerinin birleştirilmesi. *Bitki Yöntemleri*2022,18, 119. [ÇaprazRef] [PubMed]
105. Kolokoussis, P.; Skamantzari, M.; Tapinaki, S.; Karathanassi, V.; Georgopoulos, A. Ortaçağ duvarcılık mirası binalarında malzeme bozulmasını değerlendirmek için 3B ve hiper spektral veri entegrasyonu. *Uluslararası Fotogrametri Arşivleri. Uzaktan Algılama Bilgis*2021,43, 583–590.
106. Sousa, JJ; Toscano, P.; Matese, A.; Di Gennaro, SF; Berton, A.; Gatti, M.; Poni, S.; Pádua, L.; Hruška, J.; Morais, R.; ve diğerleri. İtmeli süpürge ve anlık görüntü sensörleri kullanılarak İHA tabanlı hiper spektral izleme: Hassas bağcılık uygulamaları için çok merkezli bir değerlendirme. *Sensörler*2022,22, 6574. [ÇaprazRef]
107. Funatomi, T.; Ogawa, T.; Tanaka, K.; Kubo, H.; Caron, G.; Mouaddib, EM; Matsushita, Y.; Mukaigawa, Y. Çırpma teli hiper spektral görüntülemeye zamansal aydınlatma değişimlerini ortadan kaldırmak. *Uluslararası Bilgisayar ve Görselleştirme Dergisi*2022,130, 1310–1324. [ÇaprazRef]
108. Al-Sarayreh, M.; Reis, MM; Yan, WQ; Klette, R. Ette türlerin sınıflandırılması için derin öğrenme ve anlık hiper spektral görüntüleme potansiyeli. *Gıda Kontrolü*2020,117, 107332. [ÇaprazRef]
109. Zhang, H.; Zhang, B.; Wei, Z.; Wang, C.; Huang, Q. İHA kaynaklı hiper spektral görüntüleme sistemi için hafif entegre çözüm. *Uzaktan Algılama*2020,12, 657. [ÇaprazRef]
110. Hartling, S.; Sagan, V.; Maimaitijiang, M. İHA tabanlı çoklu sensör veri birleştirme ve makine öğrenimi kullanılarak kentsel ağaç türlerinin sınıflandırılması. *Coğrafi Bilgi Bilimi Uzaktan Algılama*2021,58, 1250–1275. [ÇaprazRef]
111. Kahraman, S.; Bacher, R. Lidar ve SAR verileriyle hiper spektral veri füzyonunun kapsamlı bir incelemesi. *Yıllık Rev. Kontrol*2021,51, 236–253. [ÇaprazRef]

112. Altamimi, A.; Youssef, BB Uzaktan algılanan hiperspektral görüntülerin donanım hızlandırılmalı sıkıştırılmasına ilişkin sistematik bir inceleme. *Sensörler***2021**,22, 263. [[ÇaprazRef](#)]
113. Du, Q.; Tang, B.; Xie, W.; Li, W. Hiperspektral uzaktan algılama görüntülerinden anomali tespiti için paralel ve dağıtılmış bilgi işlem. *IEEE İşlemleri***2021**,109, 1306–1319. [[ÇaprazRef](#)]
114. Caba, J.; Díaz, M.; Barba, J.; Guerra, R.; Escobar, S.; López, S. Maliyet açısından optimize edilmiş FPGA aygıtlarında düşük güçlü hiperspektral anomali dedektörü uygulaması. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.***2022**,15, 2379–2393. [[ÇaprazRef](#)]
115. Gyaneshwar, D.; Nidamanuri, RR Hiperspektral görüntü sınıflandırması için gerçek zamanlı FPGA hızlandırılmış akış işleme. *Geocarto Uluslararası***2022**,37, 52–69. [[ÇaprazRef](#)]
116. ElManawy, AI; Sun, D.; Abdalla, A.; Zhu, Y.; Cen, H. HSI-PP: Hiperspektral görüntüleme tabanlı bitki fenotiplemesi için esnek ve açık kaynaklı bir yazılım. *Bilgisayar. Elektron. Tarım***2022**,200, 107248. [[ÇaprazRef](#)]
117. Dash, S.; Chakravarty, S.; Giri, NC; Agyekum, EB; AboRas, KM Hiperspektral Görüntüleme için Minimum Gürültü Oranı ve Uzun Kısa Süreli Bellek Modeli. *Uluslararası Bilişim Teknolojileri Dergisi***2024**,17, 16. [[ÇaprazRef](#)]
118. Fan, R.; Feng, R.; Wang, L.; Yan, J.; Zhang, X. Yarı-MCNN: Metre altı HRRS görüntüleri kullanarak kentsel arazi örtüsü sınıflandırması için yarı-gözetimli çoklu-CNN topluluk öğrenme yöntemi. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.***2020**,13, 4973–4987. [[ÇaprazRef](#)]
119. Kuras, A.; Brell, M.; Rizzi, J.; Burud, I. Kentsel arazi örtüsü makine öğrenimi ve sinir ağı tabanlı sınıflandırmaya uygulanan hiperspektral ve lidar verileri: Bir inceleme. *Uzaktan Algılama***2021**,13, 3393. [[ÇaprazRef](#)]
120. Bhat, SA; Huang, N.-F. Hassas tarımda büyük veri ve yapay zeka devrimi: Anket ve zorluklar. *IEEE Erişim***2021**,9, 110209–110222. [[ÇaprazRef](#)]
121. Borol, YD; Thilagham, KT; Nagpal, A.; Harika, A.; Aravinda, K.; Shnawa, AH Tarım için Büyük Veri ve Makine Öğrenimi ile Hiperspektral Bilgi. 2024 4. Teknoloji ve Yönetimde Yenilikçi Uygulamalar Uluslararası Konferansı (ICIPTM) Bildirilerinde, Noida, Hindistan, 21-23 Şubat 2024.
122. Jaiswal, G.; Rani, R.; Mangotra, H.; Sharma, A. Hiperspektral görüntüleme ve otokodlayıcıların entegrasyonu: Faydaları, uygulamaları, hiperparametre ayarı ve zorlukları. *Bilgisayar Bilimleri Rev.***2023**,50, 100584. [[ÇaprazRef](#)]
123. Haut, JM; Moreno-Alvarez, S.; Pastor-Vargas, R.; Perez-Garcia, A.; Paoletti, ME Petrol Sızıntısı Tespiti için Büyük Ölçekli Hiperspektral Görüntülemenin Bulut Tabanlı Analizi. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.***2023**,17, 2461–2474. [[ÇaprazRef](#)]
124. Qi, B. Büyük veri analiz teknolojilerine dayalı hiperspektral görüntü veritabanı sorgusu. *E3S Web Konferansı***2021**,275, 03018. [[ÇaprazRef](#)]
125. Ang, L.-M.; Seng, KP Büyük hiperspektral veriler ve uygulamalar için meta ölçeklenebilir ayrımcı analitik. *Uzman Sistem Uygulaması***2021**, 176, 114777. [[ÇaprazRef](#)]
126. Bindhu, V.; Ranganathan, G. Kümeleme algoritması kullanılarak nesnelerin interneti modelinde hiperspektral görüntü işleme. *J. ISMAC***2021**,3, 163–175.
127. Lv, N.; Han, Z.; Chen, C.; Feng, Y.; Su, T.; Goudos, S.; Wan, S. Uydu Nesnelerin İnterneti Sisteminde Hiperspektral Görüntü Sınıflandırması için Spektral-Uzamsal Özelliklerin Kodlanması. *Uzaktan Algılama***2021**,13, 3561. [[ÇaprazRef](#)]
128. Guo, Y.; Yu, Q.; Gao, Y.; Liu, X.; Li, C. Uydu Nesnelerin İnterneti sisteminde gözetimsiz hiperspektral görüntü sınıflandırması için maksimum-minimum mesafe gömme. *İnternet Şeyler***2023**,22, 100775. [[ÇaprazRef](#)]
129. Chen, H.; Ru, J.; Long, H.; He, J.; Chen, T.; Deng, W. Nesnelerin İnternetinde Hiperspektral Görüntü Sınıflandırması için Yarı-Gözetimli Uyarlamalı Sahte Etiket Özellik Öğrenmesi. *IEEE İnternet Nesneleri J.***2024**,11, 30754–30768. [[ÇaprazRef](#)]
130. Sharma, M.; Biswas, M. Nesnelerin interneti (IoT) ortamında çok katmanlı toplu yapı kullanılarak hiperspektral görüntü sınıflandırması için derin öğrenmeye dayalı akıllı karar destek sistemi. *Kablosuz. Kişisel. İletişim***2022**,126, 2119–2147. [[ÇaprazRef](#)]
131. Elkholy, MM; Mostafa, M.; Ebeid, HM; Tolba, MF Nesnelerin interneti için hiperspektral görüntü ayrıştırmanın uygulanması. *Nesnelerin İnterneti - Uygulamalar ve Gelecek, ITAF 2019 Bildirileri, Kahire, Mısır, 14-15 Ekim 2019*, Springer: Berlin/Heidelberg, Almanya, 2020; s. 249–260.
132. Boursianis, AD; Papadopoulou, MS; Diamantoulakis, P.; Liopa-Tsakalidi, A.; Barouchas, P.; Salahas, G.; Karagiannidis, G.; Wan, S.; Goudos, SK Akıllı tarımda nesnelerin interneti (IoT) ve tarımsal insansız hava araçları (İHA'lar): Kapsamlı bir inceleme. *İnternet Şeyler***2022**,18, 100187. [[ÇaprazRef](#)]
133. Crépon, K.; Cabacos, M.; Bonduelle, F.; Ammari, F.; Faure, M.; Maudemain, S. Depolama ve Elleçleme Operatörlerinde Tahıl Zararlılarının İzlenmesi ve Tespiti İçin Nesnelerin İnterneti (IoT), Yakın Kızılötesi Spektroskopisi (NIRS) ve Hiperspektral Görüntüleme (HSI) Kullanımı. *Tarım***2023**,13, 1355. [[ÇaprazRef](#)]
134. Augustin, A.; Kiliroor, CC Hiperspektral görüntüleme ve derin öğrenme kullanılarak meyve ve sebzelerde IoT tabanlı pestisit tespiti. Uluslararası Bilişsel Hesaplama ve Siber Fiziksel Sistemler Konferansı Bildirileri 2023, Bhimavaram, Hindistan, 4–6 Ağustos 2023; Springer: Berlin/Heidelberg, Almanya, 2023.
135. Orchi, H.; Sadik, M.; Khaldoun, M. Bitki hastalıklarının tespitinde yapay zeka ve nesnelerin internetinin kullanımı üzerine: Çağdaş bir araştırma. *Tarım***2021**,12, 9. [[ÇaprazRef](#)]
136. Kour, VP; Arora, S. Tarımda nesnelerin internetinin son gelişmeleri: Bir araştırma. *IEEE Erişim***2020**,8, 129924–129957. [[ÇaprazRef](#)]

137. Gao, P.; Zhang, H.; Yu, J.; Lin, J.; Wang, X.; Yang, M.; Kong, F. Hiperspektral uzaktan algılama görüntülerinde güvenli bulut destekli nesne tanıma.*IEEE İnternet Nesneleri J.***2020**,*8*, 3287–3299. [[ÇaprazRef](#)]
138. Khonina, SN; Kazanskiy, NL; Oseledets, IV; Nikonorov, AV; Butt, MA Yapay Zeka ve Hiperspektral Görüntüleme Arasındaki Sinerji - Bir İnceleme.*Teknolojiler***2024**,*12*, 163. [[ÇaprazRef](#)]
139. Jaiswal, G.; Sharma, A.; Yadav, SK Derin öğrenme yoluyla modern hiperspektral görüntü uygulamalarına ilişkin kritik içgörüler.*Wiley Interdiscip. Rev. Veri Min. Bilgi Keşfi***2021**,*11*, e1426. [[ÇaprazRef](#)]
140. Khan, U.; Paheding, S.; Elkin, CP; Devabhaktuni, VK Tıbbi hiperspektral görüntü analizi için derin öğrenmedeki eğilimler.*IEEE Erişimi***2021**,*9*, 79534–79548. [[ÇaprazRef](#)]
141. Wu, Z.; Sun, J.; Zhang, Y.; Zhu, Y.; Li, J.; Plaza, A.; Benediktsson, JA; Wei, Z. Bulut bilişim mimarilerinde büyük hiperspektral görüntü sınıflandırmasının zamanlama rehberliğinde otomatik işlenmesi.*IEEE Trans. Cybern.***2020**,*51*, 3588–3601. [[ÇaprazRef](#)]
142. Atitallah, SB; Driss, M.; Boulila, W.; Ben Ghézala, H. Akıllı şehirlerin gelişimini desteklemek için derin öğrenme ve IoT büyük veri analitiğinden yararlanma: İnceleme ve gelecekteki yönler.*Bilgisayar Bilimleri Rev.***2020**,*38*, 100303. [[ÇaprazRef](#)]
143. Osco, LP; Marcato Junior, J.; Marques Ramos, AP; de Castro Jorge, Los Angeles; Fatholahi, SN; de Andrade Silva, J.; Matsubara, ET; Pistori, H.; Nunes Gonçalves, W.; Li, J. İHA uzaktan algılamada derin öğrenmeye ilişkin bir inceleme.*Uluslararası J. Uygulamalı Dünya Gözlemleri Geoinf.***2021**,*102*, 102456. [[ÇaprazRef](#)]
144. Rodrigues, EM; Hemmer, E. Hiperspektral görüntüleme eğilimleri: Çevresel ve sağlık algılamadan yapı-özellik ve nano-biyo etkileşim çalışmalarına.*Anal. Biyoanal. Kimya***2022**,*414*, 4269–4279. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
145. Roberts, J.; Power, A.; Chapman, J.; Chandra, S.; Cozzolino, D. Gıda kimlik doğrulamasında hiperspektral ve kimyasal görüntülemenin avantajları, uygulamaları ve sınırlamaları hakkında kısa bir güncelleme.*Uygulamalı Bilimler***2018**,*8*, 505. [[ÇaprazRef](#)]
146. Ali, UME; Hossain, MA; Islam, MR Hiperspektral görüntü sınıflandırması için PCA tabanlı özellik çıkarma yöntemlerinin analizi. 2019 2. Uluslararası Mühendislik ve Teknolojide Yenilik Konferansı (ICIET) Bildirileri, Dakka, Bangladeş, 23-24 Aralık 2019.
147. Lu, B.; Dao, PD; Liu, J.; He, Y.; Shang, J. Hiperspektral görüntüleme teknolojisindeki son gelişmeler ve tarımdaki uygulamalar. *Uzaktan Algılama***2020**,*12*, 2659. [[ÇaprazRef](#)]
148. He, D.; Shi, Q.; Liu, X.; Zhong, Y.; Zhang, X. Kentsel Arazi Kullanım Haritalaması İçin Anlamsal Bilgi Modüle Edilmiş Ağ Tabanlı Derin Alt Piksel Haritalama.*IEEE Trans. Geosci. Uzaktan Algılama***2021**,*59*, 10628–10646. [[ÇaprazRef](#)]
149. Botero-Valencia, J.; Valencia-Aguirre, J. İç/dış mekan uygulamaları için taşınabilir, düşük maliyetli IoT hiperspektral edinim cihazı. *DonanımX***2021**,*10*, e00216. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
150. Jia, W.; van Ruth, S.; Scollan, N.; Koidis, A. Tedarik zinciri boyunca et kalitesinin değerlendirilmesi için Hiperspektral Görüntüleme (HSI): Güncel ve gelecekteki eğilimler.*Güncel Araştırma Gıda Bilimi***2022**,*5*, 1017–1027. [[ÇaprazRef](#)]
151. Mangalraj, P.; Cho, B.-K. Bitki fenotipleme için güneş kaynaklı floresansı tahmin etmek amacıyla hiperspektral görüntüleme tekniklerindeki son eğilimler ve gelişmeler.*Ekol.Hindistan***2022**,*137*, 108721. [[ÇaprazRef](#)]

Yasal Uyarı/Yayıncının Notu:Tüm yayınlarda yer alan ifadeler, görüşler ve veriler yalnızca bireysel yazar(lar) ve katkıda bulunan(lar)a aittir ve MDPI ve/veya editör(ler)e ait değildir. MDPI ve/veya editör(ler), içerikte atıfta bulunan herhangi bir fikir, yöntem, talimat veya üründen kaynaklanan herhangi bir kişi veya mal yaralanmasından sorumlu değildir.