



ƏTRAF MÜHİTİN MONİTORİNGİNDƏ SÜNİ İNTELLEKTİN ROLU

Lalə MƏMMƏDLİ

Azərbaycan Həmkarlar İttifaqları Konfederasiyası, Bakı, Azərbaycan

 : 0009-0001-3892-9259

 <https://doi.org/10.30546/12000021.2025.1.0012>

Xülasə. Süni intellektin (Sİ) və maşın öyrənməsinin (MÖ) inkişafı ətraf mühitin monitorinqi sahəsində yeni mərhələnin başlanğıcını təmin etmişdir. Son illərdə böyük həcmli məlumatların toplanması, emalı və analizi prosesində Sİ texnologiyalarının rolu əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır. Peyk müşahidələri, İnternet əşyaları (IoT) cihazları, bioakustik sensorlar və digər rəqəmsal platformalardan əldə edilən real vaxt məlumatları Sİ alqoritmləri vasitəsilə emal olunur və ətraf mühitdə baş verən dəyişikliklərin daha dəqiq proqnozlaşdırılmasına imkan yaradır. Hava keyfiyyətinin idarə edilməsi, meşə yanğınlarının vaxtında aşkarlanması, su ehtiyatlarının monitorinqi, torpaq degradasiyası, biomüxtəlifliyin qorunması və ekosistemlərin dayanıqlı idarə edilməsi kimi sahələrdə Sİ-nin tətbiqləri xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Eyni zamanda, Sİ və MÖ modellərinin tətbiqi prosesində müəyyən məhdudiyyətlər də mövcuddur. Modelin şəffaflığı, alqoritmik qərəz, məlumatların etibarlılığı və yüksək enerji istehlakı bu texnologiyaların daha geniş miqyasda istifadəsinə maneə yaradan əsas problemlər kimi qiymətləndirilir. Buna baxmayaraq, davamlı inkişaf məqsədlərinə nail olmaq, iqlim dəyişikliyi ilə mübarizə aparmaq və ekoloji risklərin qarşısını almaq üçün Sİ texnologiyalarının ətraf mühit monitorinqinə inteqrasiyası mühüm strateji əhəmiyyət kəsb edir.

Açar sözlər: Süni intellekt, maşın öyrənməsi, uzaqdan zondlama, bioakustika, GEE, “yaşıl Sİ”

Giriş

Antropogen təsirlərin ətraf mühitə təsir miqyası son onilliklərdə əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır ki, bu da daha çevik, sürətli və yüksək həcmdə məlumatların idarə edilməsinə olan ehtiyacı kəskin şəkildə artırmışdır. Ekoloji dəyişikliklərin dəqiq qiymətləndirilməsi üçün süni intellekt (Sİ) və maşın öyrənməsi (MÖ) texnologiyalarının tətbiqi bu gün aktualıq kəsb edən əsas elmi istiqamətlərdən birinə çevrilmişdir. Bu texnologiyalar vasitəsilə peyk görüntüləri, uzaqdan zondlama məlumatları, kompüter görmə sistemləri və İnternet əşyaları (IoT) qurğularından əldə edilən çoxölçülü məlumatların koordinasiya şəkildə analizi mümkün olur. Sİ alqoritmləri ətraf mühitdə baş verən dəyişikliklərin aşkarlanması, təsnifləşdirilməsi və proqnozlaşdırılması üçün ənənəvi statistik üsullara nisbətən daha üstün nəticələr təqdim edir.

Tədqiqatlar göstərir ki, süni intellekt (Sİ) və maşın öyrənməsi (MÖ) texnologiyalarının ekoloji monitorinqdə istifadəsi yalnız məlumatların emal sürətini artırmaqla qalmır, həm də nəticələrin dəqiqliyini və etibarlılığını əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırır. Bu texnologiyalar müxtəlif ekoloji indikatorların real zamanlı qiymətləndirilməsində mühüm rol oynayır. Məsələn, meşə yanğınlarının erkən aşkarlanması, su ehtiyatlarının optimallaşdırılmış idarə edilməsi, torpaq degradasiyasının və eroziyanın qiymətləndirilməsi, biomüxtəlifliyin monitorinqi və iqlim dəyişikliklərinin dinamik modelləşdirilməsi kimi sahələrdə Sİ və MÖ modelləri sürətli və dəqiq qərar qəbul etməyə imkan verir [1, s. 1–2].

Müasir tədqiqatlar göstərir ki, nəzarətli və nəzarətsiz öyrənmə metodları, Random Forest, SVM, dərin CNN modelləri (məsələn, UNet, ResUNet) peyk və sensor məlumatlarının emalı üçün geniş tətbiq olunur. Bu yanaşmalar landşaft dəyişiklikləri, vegetasiya indeksi (NDVI, EVI) və ekosistem strukturlarının qiymətləndirilməsi kimi məsələlərdə yüksək dəqiqlik və operativlik təmin edir. Həmçinin, məlumatların çoxmənbəli olması (Sentinel-1/2, Landsat, dron sensorları və bioakustik sahə məlumatları) Google Earth Engine (GEE) kimi platformalar vasitəsilə geniş miqyaslı, təkrar istehsal edilə bilən təhlillərə imkan verir [1, s. 4].

Elmi ədəbiyyatın təhlili göstərir ki, 2010-cu ildən etibarən bu sahədə aparılan tədqiqatların sayı kəskin artmışdır və əsas elmi töhfələr Çin, ABŞ və Hindistanın aparıcı tədqiqat mərkəzləri tərəfindən təqdim olunur [1, s.3]. Bu tendensiya süni intellekt və maşın öyrənməsinin ekoloji monitorinq sahəsində global maraq və elmi prioritet kimi artan əhəmiyyətini göstərir.

Bundan əlavə, Sİ və MÖ texnologiyaları yalnız məlumatın emal sürətini artırmaqla kifayətlənmir, həm də proqnozların etibarlılığını və resursların səmərəli idarə edilməsini təmin edir. Məsələn, meşə yanğınlarının erkən aşkarlanması üçün UNet və ResUNet modelləri yüksək IoU və F1-score ilə dəqiqlik göstərir, bu da yanğınların idarə olunması, zədələnmiş torpaq sahələrinin bərpa və ekosistemlərin qorunması üçün kritik qərar dəstəyi yaradır. Bu baxımdan, Sİ və MÖ-nin tətbiqi yalnız ekoloji tədqiqatlarda deyil, həm də resurs idarəçiliyi, risk qiymətləndirilməsi və dayanıqlı inkişaf strategiyalarının hazırlanması baxımından strateji əhəmiyyət daşıyır [1, s. 5]. Bu inkişaf tendensiyası göstərir ki, Sİ və MÖ əsaslı metodologiyaların ekoloji monitorinq sistemlərinə integrasiyası gələcəkdə iqlim dəyişikliyi ilə mübarizədə, ekoloji təhlükəsizliyin təmin edilməsində və dayanıqlı inkişaf strategiyalarının hazırlanmasında mühüm elmi-praktik baza formalaşdıracaq.

Əsas hissə

Süni intellektin ətraf mühitin monitorinqində tətbiqi kontekstində nəzarətli və nəzarətsiz öyrənmə yanaşmalarının əhəmiyyəti xüsusi olaraq vurğulanır. Bu metodologiyalar arasında Random Forest kimi statistik modellər, xüsusilə də ekoloji dəyişikliklərin proqnozlaşdırılması və ətraf mühitdə baş verən proseslərin modelləşdirilməsi üçün geniş istifadə olunur. Random Forest algoritmi böyük həcmli və çoxölçülü məlumatların emalında yüksək dəqiqlik təmin edir, eyni zamanda səs-küyə qarşı davamlılığı və məlumat itkisini minimuma endirmə qabiliyyəti ilə seçilir.

Bundan əlavə, dərin öyrənmə yanaşmaları – xüsusən də UNet və ResUNet kimi konvolusion neyron şəbəkə arxitekturaları – uzaqdan zondlama texnologiyalarından əldə edilən məlumatların təhlilində mühüm rol oynayır. Bu modellər yüksək dəqiqlikli şəkil seqmentasiyası, obyektlərin aşkarlanması və landşaft strukturlarının klasifikasiyası proseslərində effektiv tətbiq olunur. Məsələn, peyk görüntülərinin və sensor məlumatlarının təhlili zamanı bu yanaşmalar sayəsində torpaq örtüyünün dəyişməsi, su hövzələrinin daralması, meşə sahələrinin azalması və urbanizasiya göstəricilərinin dəqiq şəkildə monitorinqi mümkün olur.

Ümumiyyətlə, bu texnologiyalar ekosistemlərin dinamikasını daha yaxşı anlamağa, ekoloji təhlükələrin erkən aşkarlanmasına və təbii resursların idarə olunmasında elmi əsaslı qərarların qəbuluna mühüm töhfə verir. Bu səbəbdən süni intellekt yanaşmalarının integrasiyası müasir ətraf mühit monitorinqi tədqiqatlarında getdikcə daha geniş tətbiq tapır və strateji əhəmiyyət daşıyır [2, s. 4]. Müasir ekoloji monitorinq tədqiqatlarında uzaqdan zondlama texnologiyaları və müxtəlif çoxmənbəli məlumat integrasiyası əsas tədqiqat istiqamətlərindən birinə çevrilmişdir. Bu kontekstdə Sentinel-1 və Sentinel-2 peyk missiyaları, Landsat seriyalı peyk sistemləri, dron əsaslı multispektral və hiperspektral sensorlar, həmçinin bioakustik sahə müşahidələri kimi çoxsaylı və müxtəlif məlumat mənbələri geniş şəkildə tətbiq olunur.

Xüsusilə Sentinel-1 peykləri radar sintetik apertur (SAR) texnologiyasına əsaslandığı üçün istənilən hava şəraitində, hətta buludluluğun yüksək olduğu və gecə şəraitində belə, torpaq örtüyü, meşə biomüxtəlifliyi və su resurslarının dəyişikliklərinin dəqiq izlənməsini mümkün edir. Digər tərəfdən, Sentinel-2 və Landsat missiyaları optik multispektral görüntülər təmin edərək torpaq örtüyü dəyişiklikləri, bitki örtüyünün sağlamlığı, su hövzələrinin vəziyyəti və urbanizasiya səviyyəsinin dinamikası haqqında yüksək keyfiyyətli məlumatlar verir.

Bundan əlavə, dron əsaslı sensor sistemləri – xüsusilə multispektral, termal və LiDAR texnologiyaları – kiçik miqyaslı lokal müşahidələrdə daha yüksək məkan və spektral qətnamə əldə etmək üçün istifadə olunur. Eyni zamanda bioakustik sahə məlumatları ekosistemlərin səs əsaslı monitorinqində, xüsusilə quş növlərinin populyasiyasının izlənməsində, biomüxtəliflik qiymətləndirmələrində və invaziv növlərin aşkarlanmasında mühüm rol oynayır. Bu yanaşmalar uzaqdan zondlama məlumatları ilə integrasiya olunduqda, təbii mühitin vəziyyəti barədə daha tam, çoxölçülü və dinamik informasiya əldə etməyə imkan yaradır.

Məlumatların belə geniş spektrdə əldə edilməsi, onların miqyaslı, dəqiq və təkrar istehsal edilə bilən analitik işlənməsi üçün xüsusi hesablama platformalarına ehtiyac yaradır. Bu kontekstdə Google Earth Engine (GEE) müasir ekoloji tədqiqatlarda ən çox istifadə olunan bulud

əsaslı platformalardan biridir. GEE kodu əsaslı skriptləşdirmə, böyük həcmli peyk məlumatlarının real vaxt rejimində işlənməsi, multitemporal analizlər və statistik modelləşdirmə kimi geniş funksional imkanlar təqdim edir.

GEE platforması vasitəsilə milyonlarla kvadrat kilometr ərazini əhatə edən çoxzamanlı görüntü seriyalarının analizi aparıla bilər ki, bu da torpaq istifadəsi dəyişikliklərinin modelləşdirilməsi, meşə yanğınlarının təsir zonalarının müəyyənəşdirilməsi, su resurslarının dinamikası, urbanizasiya göstəricilərinin monitorinqi və ekoloji təhlükələrin erkən aşkarlanması üçün olduqca əlverişlidir. Bundan əlavə, GEE-nin açıq mənbə əsaslı məlumat integrasiyası, Sentinel, Landsat, MODIS və digər peyk seriyalarından gələn məlumatların paralel analizini mümkün edir ki, bu da tədqiqatların miqyaslı, sürətli və təkrar istehsal edilə bilən şəkildə aparılmasına şərait yaradır [1, s. 4; 3].

Süni intellekt (Sİ) əsaslı modellər ekoloji monitorinq və hava keyfiyyəti idarəetməsində mühüm rol oynayır. Xüsusilə, bu modellər sensor şəbəkələrindən əldə olunan məlumatların tamamlanması, kalibrənməsi və Hava Keyfiyyəti İndeksinin (AQI) yüksək dəqiqliklə proqnozlaşdırılması istiqamətində geniş şəkildə tətbiq edilir [2, s. 5]. Müasir ekoloji müşahidə sistemlərində yerləşdirilən sabit və mobil hava keyfiyyəti sensorları tez-tez fərqli həssaslığa, ölçmə dəqiqliyinə və məlumat ötürmə sürətinə malik olur. Bu səbəbdən, Sİ modelləri həm məlumat integrasiyası, həm də səhv düzəlişi mərhələlərində ənənəvi statistik metodlarla müqayisədə daha üstün nəticələr təqdim edir.

Sİ-nin tətbiqi, xüsusilə çoxmənbəli sensor şəbəkələrində məlumat keyfiyyətinin optimallaşdırılmasına imkan verir. Məsələn, hava keyfiyyəti monitorinqi məqsədilə istifadə olunan PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, SO₂, O₂ və CO konsentrasiyalarını ölçən aşağı xərcli sensor şəbəkələri tez-tez etalon stansiyalara nisbətən daha çox xəətəyə meyllidir. Random Forest, Gradient Boosting, Support Vector Machines (SVM) və Kriging kimi Sİ modelləri bu sensor məlumatlarını referensiya stansiyalarının nəticələri ilə müqayisə edərək kalibrəlayır və ölçmə xəətələrini azaldır. Bunun nəticəsində, yüksək dəqiqlikli və etibarlı AQI proqnozları əldə olunur.

Bundan başqa, Sİ modelləri fiziki və meteoroloji parametrləri də integrasiya etməklə, hava sirkulyasiyası, rütubət, temperatur, külək sürəti və geocoğrafi dəyişənlər kimi faktorları nəzərə alır. Bu yanaşma hava çirkliliyinin məkan və zaman üzrə dinamikasını daha dəqiq modelləşdirməyə imkan verir. Ənənəvi statistik yanaşmalar əsasən xətti əlaqələrə əsaslandığı halda, Sİ modelləri mürəkkəb qeyri-xətti nümunələri aşkar edə bilər, bu da AQI proqnozlarının dəqiqliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

Sİ-nin tətbiqi ilə real vaxt rejimində monitorinq və proqnozlaşdırma da mümkün olur. Məsələn, dərin öyrənmə modelləri, xüsusilə Konvolyusion Neyron Şəbəkələri (CNN) və LSTM əsaslı zaman sırası modelləri, böyük həcmli sensor və peyk məlumatlarını eyni anda emal edə bilər. Bu isə hava keyfiyyətinin qısa və orta müddətli proqnozları üçün son dərəcə faydalıdır. Nəticədə, ekoloji idarəetmə qurumları potensial təhlükəli vəziyyətlər barədə əvvəlcədən xəbərdarlıqlar verə bilər, bu da əhəlinin sağlamlığının qorunmasına mühüm töhfə verir.

Tədqiqatlar göstərir ki, Sİ modelləri həm performans, həm də operativlik baxımından ənənəvi yanaşmalardan daha effektivdir. Məsələn, Random Forest və XGBoost modelləri ilə

aparılmış müqayisəli analizlərdə Sİ əsaslı proqnozların dəqiqliyi 15–25% daha yüksək, məlumat emalı sürəti isə ənənəvi metodlardan təxminən 3 dəfə daha sürətli olmuşdur [2, s. 5]. Bu, xüsusilə urbanizasiya proseslərinin sürətləndiyi, sənaye fəaliyyəti və nəqliyyat axınlarının hava keyfiyyətinə təsirinin artdığı regionlarda əhəmiyyət kəsb edir.

Peyk görüntüləri əsasında vegetasiya indeksi (NDVI, EVI və s.) və ekosistem dəyişkənliklərinin təhlili müasir ekoloji monitorinq tədqiqatlarında süni intellekt (Sİ) modellərinin tətbiqi ilə getdikcə daha geniş vüsət alır. Ənənəvi statistik yanaşmalarla müqayisədə Sİ əsaslı metodologiyalar məkan-zaman dəqiqliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır və landşaft dəyişikliklərinin daha operativ, sürətli və etibarlı şəkildə qiymətləndirilməsinə imkan verir [1, s. 5].

Bu yanaşmalarda istifadə olunan peyk məlumatları, xüsusilə Sentinel-1/2, Landsat-8/9 və yüksək ayırdetməli dron görüntüləri, vegetasiya dinamikasının və ekosistem strukturlarının qiymətləndirilməsi üçün geniş tətbiq olunur. Sİ modelləri bu məlumatları emal edərək, torpaq örtüyü, su resursları, biomüxtəliflik göstəriciləri və bitki örtüyünün dəyişmə templəri kimi mühüm parametrləri yüksək dəqiqliklə hesablamağa imkan yaradır.

Xüsusilə, “Uni-temporal Sentinel-2” görüntüləri əsasında aparılan tədqiqatlar göstərir ki, UNet, ResUNet və digər dərin öyrənmə əsaslı segmentasiya modelləri meşə yanğınlarının monitorinqində və yanmış sahələrin dəqiq sərhədlərinin müəyyənəşdirilməsində yüksək effektivlik nümayiş etdirir. Al-Dabbagh və Ilyas (2023) tərəfindən aparılan araşdırmada bu modellər F1-score = 98.8% və IoU = 97.4% kimi yüksək göstəricilərə nail olmuşdur ki, bu da onların etibarlılığını və hesablama performansını bir daha təsdiqləyir. Nəticədə, bu yanaşmalar meşə yanğınlarının erkən aşkarlanması, zədələnmiş ekosistemlərin bərpa və təbii resursların idarə olunması üçün mühüm qərar dəstək sistemləri kimi istifadə olunur [4].

Bundan əlavə, Pedram Ghamisi və həmkarları tərəfindən hazırlanmış “Responsible AI for Earth Observation” adlı tədqiqat, ekoloji monitorinqdə Sİ texnologiyalarının etik və məsuliyyətli tətbiqlərinə xüsusi diqqət ayırır. Bu yanaşmada əsas məqsəd, süni intellekt modellərinin istifadəsinin sosial faydaya yönəldilməsi, məlumat qərəzlərinin azaldılması, geo-məxfilik prinsiplərinə riayət edilməsi, elmi dəqiqlik və təkrar istehsal edilə bilən nəticələr əldə edilməsidir. Tədqiqatda həmçinin açıq məlumat infrastrukturunun inkişafı, şəffaflıq və hesabatlılıq prinsipləri vurğulanır ki, bu da gələcəkdə beynəlxalq səviyyədə ekoloji məlumat mübadiləsinin daha sistemli aparılmasına şərait yaradır [4].

Ümumiyyətlə, bu yanaşmalar göstərir ki, süni intellekt modellərinin uzaqdan zondlama məlumatları ilə integrasiyası, ekosistem dəyişkənliklərinin yüksək dəqiqliklə xəritələşdirilməsi və risk qiymətləndirmə proseslərinin avtomatlaşdırılması üçün güclü elmi əsas yaradır. Bu isə ətraf mühitin davamlı idarə olunması və iqlim dəyişmələrinə adaptasiya strategiyalarının hazırlanması baxımından strateji əhəmiyyət daşıyır.

Müasir ekoloji monitorinq tədqiqatlarında sensor şəbəkələri və müxtəlif regionlardan əldə edilən məlumatların heterogenliyi mühüm bir çağırış olaraq qalır. Fərqli sensor tipləri və müxtəlif coğrafi regionlarda məlumatların keyfiyyətində dəyişkənliklər müşahidə olunur, bu da modellərin doğruluğunu, stabilliyini və etibarlılığını təhlükəyə ata bilər [2, s.3]. Belə heterogenlik, xüsusilə aşağı xərcli sensor şəbəkələri və çoxölçülü peyk məlumatları istifadə

edilən genişmiqyaslı ekoloji tədqiqatlarda ön plana çıxır. Məlumat keyfiyyətindəki dəyişkənliklər, Sİ modellərinin proqnozlarında qərəz və səhv paylanması riskini artırır, buna görə də məlumatların preprosessinqi, normalizasiya və kalibrləmə metodlarının diqqətlə tətbiqi vacib hesab olunur.

Bundan əlavə, dərin öyrənmə əsaslı modellər – xüsusilə CNN, UNet, ResUNet və LSTM arxitekturaları – çox vaxt “qara qutu” kimi xarakterizə olunur. Yəni, bu modellərin qərar vermə prosesinin məntiqi və daxili əlaqələri birbaşa müşahidə edilə bilmir. Bu şəffaflıq problemi Sİ-nin məsuliyyətli tətbiqi baxımından ciddi əhəmiyyət kəsb edir, çünki ekoloji qərar dəstəyi və siyasət tövsiyələrində modellərin nəticələrinin izahı vacibdir. Nəticə olaraq, izaholunan Sİ (XAI) metodlarının tətbiqi tədricən genişlənir; bu yanaşmalar modelin qərar vermə məntiqini izah etməyə, qərəzlərin aradan qaldırılmasına, və məsuliyyətli tətbiq prinsiplərinə riayət edilməsinə imkan verir [4].

Eyni zamanda, hesablama mərkəzlərinin enerji tələbatı və karbon izi məsələləri Sİ tətbiqlərinin ekoloji davamlılığı baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır. Böyük həcmli məlumatların təhlili və dərin öyrənmə modellərinin təlimi yüksək enerji sərfiyyatı tələb edir, bu da iqlim dəyişmələri və ətraf mühitin yükü baxımından əlavə risk yaradır. Bu səbəbdən, “yaşıl Sİ” (Green AI) yanaşmaları prioritet olmalıdır; burada əsas diqqət hesablama səmərəliliyi, model sıxılması, enerji qənaətlili arxitekturaların tətbiqi və bərpaolunan enerji mənbələrindən istifadə kimi prinsiplərə yönəldilir [2, s. 6].

Beləliklə, ekoloji monitorinq və genişmiqyaslı ətraf mühit analitikası sahəsində Sİ modellərinin tətbiqi yalnız doğruluq və performans ilə deyil, həm də şəffaflıq, məsuliyyətlik və ekoloji davamlılıq aspektlərini nəzərə alaraq aparılmalıdır. Bu yanaşmalar ekosistemlərin qorunması, resurs idarəçiliyi və iqlim siyasətləri üçün etibarlı və davamlı Sİ tətbiqlərinin hazırlanmasında strateji əhəmiyyət daşıyır.

Süni intellektin (Sİ) tətbiqi ekologiya və ətraf mühit tədqiqatlarında fundamental bir dönüş yaradır. Müasir Sİ metodları, xüsusilə nəzarətli və nəzarətsiz öyrənmə yanaşmaları, dərin öyrənmə modelləri və izaholunan Sİ (XAI) metodları, peyk və sensor məlumatlarının real zamanlı emalına, həmçinin məlumat inteqrasiyasına imkan verir. Bu, hava keyfiyyəti, meşə yanğınları, torpaq örtüyü dəyişiklikləri, ekosistem dinamikası və biomüxtəliflik kimi kritik sahələrdə çevik, dəqiq və etibarlı analizlərin aparılmasını mümkün edir. Məsələn, peyk görüntüləri və dron sensorları vasitəsilə bitki örtüyünün dəyişiklikləri, meşə yanğınlarının sərhədləri və ekosistem strukturundakı dinamik dəyişikliklər yüksək dəqiqliklə monitorinq edilə bilər.

Bununla yanaşı, Sİ tətbiqləri yalnız texniki performansla ölçülmür; onlar həm də etik və məsuliyyətli idarəetmə, məlumat şəffaflığı və enerji davamlılığı baxımından strateji əhəmiyyət daşıyır. Sensor məlumatlarının heterogenliyi, modelin qərar mexanizminin şəffaf olmaması və hesablama mərkəzlərinin yüksək enerji tələbi, Sİ sistemlərinin ekoloji davamlılığını və sosial etibarını təsir edə biləcək mühüm çağırışlardır. Buna görə də, gələcək Sİ tətbiqlərində izaholunan modellərin genişlənməsi, etik yönümlü Sİ sistemlərinin inkişafı və enerji səmərəli arxitekturaların tətbiqi prioritet olaraq qəbul edilməlidir.

Əlavə olaraq, ekoloji monitoringdə yaşıl Sİ yanaşmaları – model sıxılması, hesablama səmərəliliyi və bərpaolunan enerji mənbələrinin istifadəsi – həm karbon izini azaltmaq, həm də sistemlərin davamlılığını təmin etmək baxımından mühüm rol oynayır. Etik və məsuliyyətli Sİ sistemləri isə yalnız texnoloji yenilik yaratmaqla kifayətlənmir, həm də qərəzin aradan qaldırılması, geo-məxfilik və məlumat təhlükəsizliyi, eləcə də elmi dəqiqlik və təkrar istehsal edilə bilən nəticələr təmin etməklə ətraf mühitin qorunmasına və ekoloji siyasətlərin formalaşdırılmasına mühüm töhfə verir.

Beləliklə, süni intellekt ekologiya sahəsində yalnız təhlil və proqnoz funksiyalarını deyil, həm də dayanıqlı idarəetmə, etik qərar dəstəyi və ekoloji davamlılıq baxımından strateji vasitəyə çevrilmişdir. Gələcəkdə Sİ modellərinin daha izaholunan, etik yönümlü və enerji səmərəli şəkildə inkişaf etdirilməsi, ekoloji problemlərin həllində, resursların idarə olunmasında və davamlı inkişaf strategiyalarının həyata keçirilməsində əsas prioritetlərdən biri olacaqdır.

Nəticə

Süni intellekt (Sİ) ətraf mühitin monitoringi sahəsində fundamental transformasiya yaradır. Bu texnologiya peyk və sensor məlumatlarının real zamanlı emalını, məlumat inteqrasiyasını və yüksək dəqiqlikli analitik təhlilləri mümkün edir. Nəticədə, hava keyfiyyəti, meşə yanğınları, su və torpaq resursları, dəniz və sahil zibilləri, torpaq örtüyü dəyişiklikləri və biomüxtəliflik kimi sahələrdə çevik və etibarlı monitoring təmin olunur. Tədqiqatlar göstərir ki, Sİ modelləri ənənəvi statistika və proqnoz metodları ilə müqayisədə həm proqnoz dəqiqliyinə, həm də operativliyə görə üstünlük təşkil edir.

Bununla belə, Sİ-nin tətbiqi yalnız texniki performansla ölçülmür. Metodoloji şəffaflıq, izaholunan modellərin (XAI) tətbiqi, hesablana bilən risk idarəçiliyi, etik prinsiplərin qorunması, geo-məxfilik və məlumat qərəzlərinin azaldılması ekoloji qərar dəstəyi sistemlərinin etibarlılığı üçün vacibdir. Həmçinin, dərin öyrənmə modellərinin yüksək enerji tələbatı və hesablama mərkəzlərinin karbon izi ekoloji davamlılıq baxımından nəzərə alınmalıdır. Bu səbəbdən, yaşıl Sİ konsepsiyasının – model sıxılması, hesablama səmərəliliyi və bərpaolunan enerji mənbələrinin istifadəsi – tətbiqi prioritet olmalıdır.

Gələcək tədqiqatlarda diqqət çoxmənbəli və çoxmiqyaslı məlumatların əsas modellərlə inteqrasiyası, ekosistem dəyişikliklərinin dinamik proqnozları və siyasət çərçivələrinə Sİ nəticələrinin daxil edilməsi istiqamətinə yönəldilməlidir. Bu, yalnız elmi əsaslı qərar qəbulunu təmin etməklə qalmır, həm də dayanıqlı ətraf mühit idarəçiliyi, risklərin azaldılması, və ekoloji siyasətlərin effektivliyinin artırılması baxımından strateji əhəmiyyət daşıyır.

Nəticə etibarlı ilə, Sİ ekologiya sahəsində yalnız məlumatın toplanması və emalı funksiyasını deyil, həm də davamlı idarəetmə, etik qərar dəstəyi və ekoloji davamlılıq perspektivlərini təmin edən əsas texnoloji vasitəyə çevrilmişdir. Bu, iqlim dəyişikliklərinə adaptasiya, biomüxtəlifliyin qorunması və təbii resursların səmərəli idarə olunması baxımından gələcək strategiyaların mərkəzində yer alacaqdır.

Açıqlama bəyanatı

Müəllif(lər) tərəfindən hər hansı potensial marağın toqquşması ilə bağlı məlumat verilməmişdir .

Ədəbiyyat və qeydlər:

- Alotaibi, E., & Nassif, N. Artificial intelligence in environmental monitoring: bibliometric and in-depth analysis. *Discover Sustainability*, 2024, N. 84, pp. 1–5.
- Al-Dabbagh, A. M. & Ilyas, M. Uni-temporal Sentinel-2 imagery for wildfire detection using deep learning semantic segmentation models. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2023, N-14(1).
- Olawade, D. B., Wada, O. Z., Ige, A. O., Egbewole, B. I., Olojo, A., & Oladapo, B. I. Artificial intelligence in environmental monitoring: Advancements, challenges and future directions. *Hygiene and Environmental Health Advances*, 2024, N- 12, pp. 4-7.
- Responsible AI for Earth Observation . ArXiv preprint. Focus on ethical/responsible AI in EO: transparency, bias mitigation, geo-privacy. 2024

Müəllifin əlaqə məlumatı:

E-mail ünvanı: lala_mammadli21@mail.ru