

UOT 002

KOMPÜTER GÖRMƏ VƏ DƏRİN ÖYRƏNMƏ TEXNOLOGİYALARININ TƏTBİQİ PROBLEMLƏRİ VƏ PERSPEKTİVLƏRİ

^{1,8}Aidə Mübariz qızı Mustafayeva, ^{2,8}Günəl Səfər qızı Baxşiyeva,
^{3,8}Validə Aydın qızı Nuriyeva, ^{4,8}Şəbnəm Sadıq qızı Nəsirova,
^{5,8}Nərmin Kamil qızı Əhmədova, ^{6,8}Səadət Rəfayıl qızı Aslanova
^{7,8}Leyla Vüqar qızı İsmayılzadə

¹texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent

¹aida.mustafayeva@mdu.edu.az

²gunel.baxshiyeva@mdu.edu.az

³valida.nuriyeva@mdu.edu.az

⁴shabnam.nasirova@mdu.edu.az

⁵narmin.ahmadova@mdu.edu.az

⁶saadat.aslanova@mdu.edu.az

⁷leyla.ismayilzada@mdu.edu.az

⁸Mingəçevir Dövlət Universiteti

Xülasə: Məqalə kompüter görmə və dərin öyrənmə texnologiyalarının süni intellekt sistemlərində tətbiqini, problemlərini və perspektivlərini araşdırır. Tədqiqat vizual məlumatların avtomatlaşdırılmış emalı, obyekt tanıma və adaptiv qərar qəbuletmə sahələrində texnologiyaların istifadəsini əhatə edir, səhiyyə, nəqliyyat, kənd təsərrüfatı, təhlükəsizlik və sənaye kimi sahələrdə innovativ tətbiqləri təhlil edir. 2012–2025-ci illər ərzində AlexNet, ResNet, BERT, CLIP, DALL-E, ChatGPT və Diffusion modelləri kompüter görməsi və dərin öyrənmədə texnoloji inqilab yaradaraq multimodal və izah edilə bilən süni intellekt sistemlərinin inkişafını təmin etmişdir. Azərbaycanda 2020-ci ildən etibarən ali təhsil proqramları, pilot layihələr və Milli Süni İntellekt Strategiyası sahənin inkişafını dəstəkləmişdir. Lakin etiketlənmiş verilənlərin məhdudluğu, yüksək hesablama resursu tələbi, modelin izah edilə bilməməsi və etik-hüquqi çətinliklər hələ də aktualdır. Nəticələr göstərir ki, kompüter görmə və dərin öyrənmə texnologiyaları həm texnoloji, həm sosial-iqtisadi, həm də etik baxımdan transformativ əhəmiyyətə malikdir.

Açar sözlər: süni intellekt, vizual məlumatların emalı, model optimallaşdırılması, etiketlənmiş verilənlər, hesablama resursları, izah edilə bilən süni intellekt, etik və hüquqi məsələlər

Giriş

Kompüter görmə (Computer Vision) və dərin öyrənmə (Deep Learning) müasir süni intellekt sistemlərinin əsas istiqamətlərindən olub, vizual informasiyanın avtomatik təhlili, obyekt tanınması, hərəkətlərin izlənməsi və adaptiv qərar qəbuletməni mümkün edir. Bu texnologiyalar səhiyyə, kənd təsərrüfatı, nəqliyyat, təhlükəsizlik və sənaye kimi strateji sahələrdə tətbiq edilərək proseslərin avtomatlaşdırılmasını və qərarların dəqiqliyinin artırılmasını təmin edir. 2012-ci ildən başlayaraq AlexNet modeli ilə dərin öyrənmədə əhəmiyyətli nailiyyətlər əldə olunmuş, 2014-cü ildə GAN-lar, 2015–2016-cı illərdə ResNet və Transformer arxitekturaları təqdim edilmişdir. AlphaGo-nun insan çempionunu məğlub etməsi, sürücüsüz avtomobil sistemlərinin inkişafı və multimodal modellərin yaranması sahədə texnoloji inqilabı təmsil edir.

Azərbaycan Respublikasında süni intellekt (Sİ) texnologiyalarının inkişafı 2020-ci ildən etibarən sistemli şəkildə gücləndirilmiş və ölkənin rəqəmsal transformasiyası kontekstində prioritet sahələrdən biri kimi müəyyən edilmişdir.

2020-ci ildə Azərbaycanın aparıcı universitetlərində süni intellekt kurslarının tədrisinə başlanılması ölkədə bu sahədə kadr potensialının formalaşdırılması üçün əsas addım oldu. Məsələn, bir çox aparıcı ali təhsil müəssisələrində dərin öyrənmə, neyron şəbəkələr və maşın öyrənməsi üzrə

tədris proqramları yaradıldı. Bu, gələcək mütəxəssislərin peşəkar səviyyədə yetişdirilməsinə, eyni zamanda tədqiqat və innovasiya fəaliyyətlərinin genişlənməsinə zəmin yaratdı.

2021-ci ildə İnnovasiya və Rəqəmsal İnkişaf Agentliyi (İRİA) süni intellekt sahəsində müxtəlif təşəbbüslər həyata keçirməyə başladı. İRİA-nın dəstəyi ilə ölkədə startap ekosistemi inkişaf etdirildi, Sİ texnologiyalarının tətbiqi ilə bağlı pilot layihələr dəstəkləndi. Məsələn, səhiyyə və logistika sektorlarında süni intellektin tətbiqini təşviq edən proqramlar reallaşdırıldı ki, bu da yerli bizneslərin rəqabət qabiliyyətinin artırılmasına şərait yaratdı.

2023-cü ildə aqrar sektorda pilotsuz uçuş aparatları (dronlar) üzrə pilot layihələr icra edildi. Bu layihələr kənd təsərrüfatında məhsuldarlığın artırılması, zərərvericilərin aşkarlanması və torpaq monitorinqi sahəsində süni intellektin real tətbiq nümunələrini göstərdi. Məsələn, pilot zonalarda dronlar vasitəsilə taxıl sahələrinin vəziyyəti analiz edilərək, optimal suvarma və gübrələmə strategiyaları müəyyənləşdirildi.

2024-cü ildə süni intellektin tədris sahəsində tətbiqinin dərinləşdirilməsi məqsədilə yeni milli tədris modulları hazırlandı. Bu modullar yerli kontekstə uyğunlaşdırılmış proqram təminatı və praktiki tapşırıqlardan ibarət olub, tələbələrin Sİ sahəsində praktiki bacarıqlarını artırmaq üçün nəzərdə tutulmuşdur. Belə ki, tələbələr real məlumatlar üzərində modellərin qurulması və optimallaşdırılması üzrə təcrübə qazanırlar.

Nəhayət, 19 mart 2025-ci ildə Azərbaycan Respublikası Prezidentinin sərəncamı ilə Milli Süni İntellekt Strategiyası qəbul olundu. Bu strateji sənəd Sİ texnologiyalarının ölkə üzrə sistemli və məsuliyyətli tətbiqini təmin etmək məqsədilə milli prioritetləri, tədqiqat istiqamətlərini, etik və hüquqi tənzimləmələri özündə əks etdirəcək. Bu işə süni intellektin iqtisadi və sosial inkişafın bütün sahələrində tətbiqini sürətləndirəcək.

Nəticə etibarilə, 2020–2025-ci illər arasında Azərbaycanın süni intellekt sahəsində lokal inkişafı həm təhsil, həm innovasiya, həm də praktik tətbiqlər istiqamətində çoxşaxəli və sistemli xarakter daşıyır. Universitetlərdə tədris proqramlarının yaradılması, dövlət dəstəyi ilə pilot layihələrin icrası və milli strategiyanın formalaşdırılması ölkənin rəqəmsal gələcəyinin təminatçısı kimi əhəmiyyət kəsb edir. Bu inkişaf Azərbaycanın regionda süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi üzrə aparıcı mövqeyə yüksəlməsinə zəmin yaradır.

Ədəbiyyat icmalı və tədqiqatların təhlili

Azərbaycan Respublikasının sosial-iqtisadi inkişafına dair rəsmi sənədlər, xüsusilə “Azərbaycan 2030: Sosial-İqtisadi İnkişafa dair Milli Prioritetlər” və “2022–2026-cı illər üçün Sosial-İqtisadi İnkişaf Strategiyası” [1], ölkənin rəqəmsal transformasiya strategiyasını və süni intellekt (Sİ) texnologiyalarının tətbiqində milli prioritetləri müəyyənləşdirir. Bu sənədlərdə süni intellektin iqtisadiyyatın müxtəlif sahələrində, o cümlədən kənd təsərrüfatı, sənaye, səhiyyə və təhsil sektorlarında tətbiqi, elmi-tədqiqat və innovasiya potensialının artırılması kimi əsas hədəflər qeyd edilir. Daha spesifik olaraq, “Azərbaycan Respublikasının 2025–2028-ci illər üçün Süni İntellekt Strategiyası” [2] ölkədə Sİ-nin inkişafına dair vahid yol xəritəsini təsdiqləyərək, milli süni intellekt ekosisteminin qurulması üçün infrastrukturun, təlim resurslarının və etik normativ bazanın gücləndirilməsinin vacibliyini qeyd edir. Bu sənəd dərin öyrənmə və kompüter görmə texnologiyalarının həm elmi tədqiqatlarda, həm də praktik tətbiq sahələrində inkişafı üçün strateji əhəmiyyət daşıyır. [4]-də süni intellekt və neyron şəbəkələrin tətbiqinə dair fundamental və tətbiqi araşdırmalar aparılmışdır. Tədqiqat işi mexatron qurğuların məlumat emalının funksional modellərinin yaradılması, mobil robotların riyazi modellərinin işlənilməsi [5], həmçinin mexatronika sahəsində innovativ yanaşmaların tətbiqi [8, 10] ilə fərqlənir. Bu tədqiqatlar süni intellekt texnologiyalarının müxtəlif sahələrdə – xüsusilə avtomatlaşdırılmış idarəetmə və vizual təhlil sistemlərində – tətbiqi üçün nəzəri əsasların möhkəmləndirilməsinə xidmət edir. Bundan əlavə, kənd təsərrüfatında istifadə edilən mobil platformaların istifadəçi təcrübəsi (UX) analizi [11] ölkədə vizual təhlil və süni intellekt texnologiyalarının sosial və praktik aspektlərinin araşdırılması istiqamətində mühüm addımdır. Bu işlər göstərir ki, Azərbaycan elmi mühiti süni intellektin tətbiqi və dərin öyrənmə modellərinin lokal tələblərə uyğunlaşdırılması istiqamətində fəal şəkildə inkişaf edir.

Beynəlxalq səviyyədə aparılmış araşdırmalar kompüter görməsi və dərin öyrənmənin qabaqcıl modellərini və onların tətbiq sahələrini əhatə edir. [12]-də SGooTY modeli ilə GoogLeNet-Tiny və YOLOv5-CBAM modellərinin sintezinə əsaslanan sadə və effektiv tanıma sistemləri təklif olunmuşdur. Bu yanaşma, az resurslu mühitlərdə yüksək dəqiqliklə simvol və mətn tanınması üçün əlverişli modellərin yaradılmasına istiqamətlənib. Bu, da mürəkkəb obrazların tanınmasında istifadə oluna biləcək yeni texnoloji imkanların yaranmasına səbəb olur. Digər tərəfdən, çoxlu obyektin izlənməsi sahəsində qraf diqqət şəbəkələrinə (Graph Attention Networks – GAT) əsaslanan metodlar inkişaf etdirilərək, real vaxt rejimində obyektin izlənməsi və kontekstual təhlilini araşdırmışlar. Bu texnologiyalar, xüsusilə video əsaslı vizual nəzarət və analiz sistemləri üçün əhəmiyyətlidir və ölkəmizdə şəhər və təhlükəsizlik sahələrində tətbiq potensialı daşıyır.

[6]-da tibbi görüntülərin təhlili sahəsində dərin öyrənmə modellərinin döş qəfəsi rentgen təsvirlərinin interpretasiyasında tətbiqi barədə sistemik icmal təqdim edilmişdir. Bu araşdırma dərin neyron şəbəkələrinin yüksək dəqiqliklə görüntü emalı və patologiyaların aşkar edilməsində effektiv olduğunu təsdiqləyir, lakin etik məsələlər və modelin izah edilə bilməsi problemlərini də önə çəkir. Video təsnifat sahəsində isə [7]-də dərin öyrənmə texnologiyalarının metodoloji yeniliklərini və geniş istifadə olunan məlumat bazalarını sistemli şəkildə tədqiq edilmişdir. Bu tədqiqat video əsaslı mürəkkəb nümunələrin tanınması və analizində süni intellektin üstünlüklərini ortaya qoyur.

Azərbaycanın sosial-iqtisadi inkişaf strategiyalarında və süni intellekt üzrə milli strategiyasında [1, 2], eləcə də yerli elmi araşdırmalarda [3-5, 8-11] texnologiyaların tətbiqi və tədqiqi üçün əsaslı baza yaradılmışdır. Bu baza beynəlxalq səviyyədə qəbul edilmiş metod və modellərlə [6, 7, 12] sintez olunaraq ölkəmizdə süni intellekt və dərin öyrənmə sahəsinin inkişaf etdirilməsi üçün strateji istiqamətlər müəyyənləşdirilir. Lakin mövcud tədqiqatların təhlili göstərir ki, ölkəmizdə bu texnologiyaların effektiv tətbiqi üçün verilənlərin zənginləşdirilməsi, hesablama resurslarının artırılması, tədqiqatların çoxsahəliliyi və etik-hüquqi mexanizmlərin təkmilləşdirilməsi kimi mühüm məsələlər hələ də aktualdır.

Ədəbiyyat icmalı süni intellekt və dərin öyrənmə texnologiyalarının Azərbaycanda və beynəlxalq səviyyədə tədqiqi və tətbiqinin geniş perspektivlərini nümayiş etdirir. Kompüter görməsi sahəsində neyron şəbəkələrin mürəkkəb obrazların tanınması, obyektin real vaxt izlənməsi, video təsnifatı və tibbi görüntü analizində istifadə imkanlarını artırır, lakin praktiki tətbiq üçün texniki və institusional çatışmazlıqların aradan qaldırılması tələb olunur.

Kompüter görmə və dərin öyrənmə texnologiyalarının mahiyyəti, yaranma tarixi və işləmə prinsipi

Kompüter görmə texnologiyası — süni intellektin bir sahəsi olaraq — insan görmə sisteminin funksionallığını rəqəmsal mühitdə təqlid etməyə və ətraf aləmdən alınan vizual məlumatların avtomatik olaraq qəbuluna, təhlilinə və interpretasiyasına yönəlmişdir. İnsan görmə sistemi kimi, kompüter görmə də vizual informasiyanı — şəkilləri və videoları — qəbul edir, onları emal edir və mənalandıraraq qərar vermə proseslərinə daxil edir.

Bioloji baxımdan, insanlarda görmə prosesi göz vasitəsilə ətraf mühitdən gələn işıq dalğalarının qəbul olunması ilə başlayır. Bu informasiya daha sonra beyində yerləşən mürəkkəb sinir şəbəkələri tərəfindən analiz edilir və müxtəlif obyektin forması, rəngi, hərəkəti və digər xüsusiyyətləri müəyyənləşdirilir. Bu proses insanın ətraf mühiti dərk etməsi və ona uyğun reaksiya verməsi üçün həyati əhəmiyyət daşıyır [6,7].

Kompüter görmə sistemi isə bu təbii prosesi texnologiya vasitəsilə modelləşdirir. Belə ki, bu sistemlərin ilkin mərhələsində kamera, sensor və digər optik qurğular vasitəsilə vizual məlumatlar (şəkil və ya video şəklində) toplanır. Toplanan məlumatlar rəqəmsal formata çevrilərək kompüterə ötürülür. Növbəti mərhələdə isə bu vizual məlumatlar bir sıra emal proseslərinə məruz qalır:

1. **Görüntünün ön emalı (pre-processing)** – şəkil keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması, səs-küyün (noise) azaldılması, ölçülərin normallaşdırılması və s.

2. **Xüsusiyyətlərin çıxarılması (feature extraction)** – obyektin kənarlarının, konturlarının, teksturalarının və ya spesifik vizual atributların müəyyənləşdirilməsi.

3. Verilənlərin təhlili və interpretasiyası (analysis and interpretation) – şəkillərin və ya obyektlərin identifikasiyası, tanınması və sinifləndirilməsi (klassifikasiya).

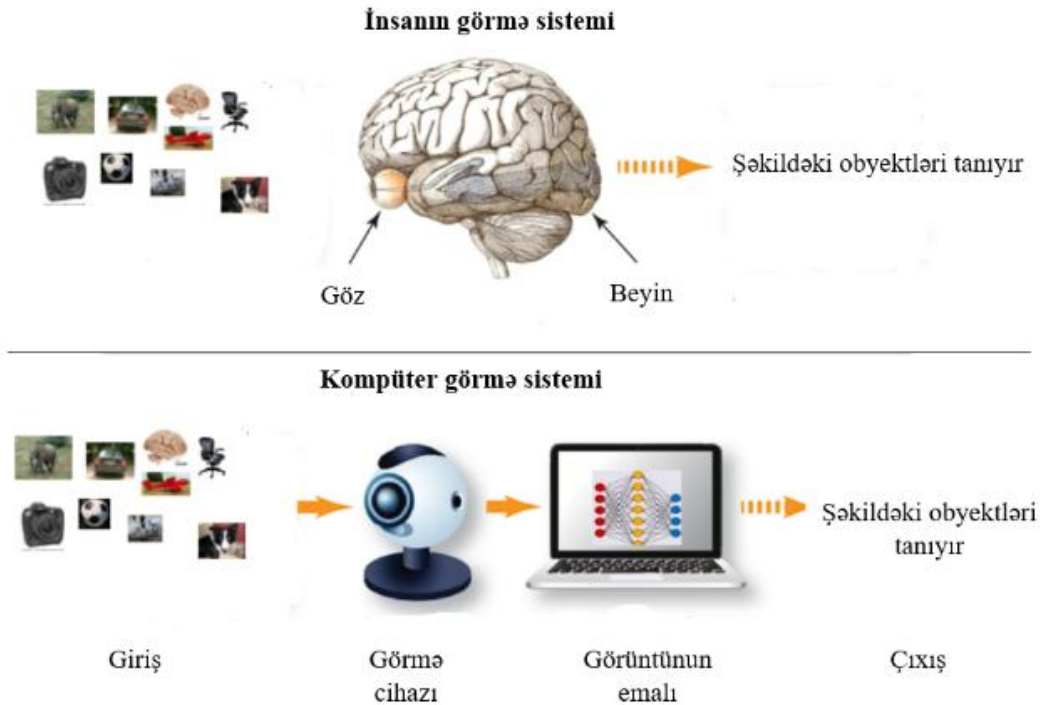
Bu proseslər kompüterlərdə dərin öyrənmə (deep learning) modelləri — xüsusilə konvolyusion neyron şəbəkələr (CNN – Convolutional Neural Networks) — vasitəsilə həyata keçirilir. Dərin öyrənmə texnologiyaları, böyük həcmdə vizual verilənlər üzərində təlim keçərək, insan beynindəki sinir əlaqələrinə bənzər şəkildə məlumatları emal etməyə imkan yaradır.

Beləliklə, kompüter görmə texnologiyası dərin öyrənmə ilə sintez edildikdə, sadəcə şəkil emalından daha çox funksiyaları əhatə edir: üz tanıma, obyekt izləmə, hərəkət analizi, sənaye proseslərinin avtomatlaşdırılması və tibbi görüntülərin diaqnostikası kimi bir çox tətbiq sahəsində yüksək effektivlik nümayiş etdirir (şək. 1).

Kompüter görmə sistemləri, xüsusilə dərin öyrənmə alqoritmləri vasitəsilə, obyektlərin tanınması, təsnifatı və proqnozlaşdırılması kimi mürəkkəb tapşırıqları icra edir. Nəticədə, sistemlər görüntüdəki obyektləri müəyyən edir və onlara uyğun çıxış yaradır.

Dərin öyrənmə (Deep Learning) maşın öyrənməsinin bir alt sahəsi olub, çox qatlı süni neyron şəbəkələrinin qurulması və təlimi yolu ilə mürəkkəb verilənlərdə gizli nümunələri avtomatik şəkildə öyrənmək və modelləşdirmək texnologiyasıdır. Bu yanaşma xüsusilə böyük həcmli məlumatlar əsasında yüksək səviyyəli xüsusiyyətlərin çıxarılması və mürəkkəb tapşırıqların həlli üçün çox effektivdir.

Şəkillərin avtomatik təsnifatı, mətn və nitqin təbii dillə emalı, generativ modellər, tibbi diaqnostika və s. Bu yanaşma insan beyninin öyrənmə mexanizminə bənzər şəkildə işləyir və mürəkkəb vizual tapşırıqları ənənəvi kompüter görmə metodlarından daha yüksək dəqiqliklə həll etməyə imkan verir.



Şək. 1. Kompüter görmə texnologiyaları funksional sxemi

Tarixi baxımdan, kompüter görmə texnologiyalarının inkişafı 1960-cı illərə gedib çıxır. İlk mərhələlərdə görüntü emalı və sadə obyekt tanıma üsullarına fokuslanmışdır. Lakin texnoloji məhdudiyyətlər və hesablama gücünün az olması səbəbindən geniş tətbiqlər aparmaq mümkünsüz idi. Dərin öyrənmənin praktiki tətbiqi isə 2010-cu illərdə hesablama imkanlarının artması və böyük verilənlər bazalarının yaranması ilə sürətləndi. 2012-ci ildə AlexNet modelinin uğuru dərin öyrənmənin gücünü nümayiş etdirərək kompüter görmənin inkişafında yeni mərhələ yaratdı.

Nəticə olaraq, kompüter görmə və dərin öyrənmə texnologiyaları insan görmə sisteminin funksionallığını təqlid edərək, vizual məlumatların avtomatik təhlilini mümkün edir. Bu texnologiyalar müxtəlif sahələrdə, o cümlədən tibbdə diaqnostika, nəqliyyatda sürücüsüz avtomobillərin idarə olunması və sənayedə keyfiyyətin avtomatik yoxlanılması kimi tətbiqlərdə öz əksini tapmışdır. Beləliklə, gələcəkdə bu sahələrdə inkişaf həm texnoloji yenilikləri, həm də sosial-iqtisadi faydaları artıracaqdır.

Kompüter görmə və dərin öyrənmə texnologiyalarının tətbiqi problemlər

Süni intellekt texnologiyalarının sürətli inkişafı, xüsusilə kompüter görməsi (computer vision) və dərin öyrənmə (deep learning) sahələrinin geniş tətbiqi həm nəzəri, həm də praktiki səviyyədə yeni imkanlar yaratmaqla yanaşı, müəyyən elmi-texniki, sosial və etik problemləri də gündəmə gətirmişdir. Bu texnologiyalar vasitəsilə vizual informasiyanın avtomatlaşdırılmış emalı və yüksək dəqiqlikli qərar qəbul etmə sistemlərinin qurulması mümkün olsa da, real dünya şəraitində onların tətbiqi zamanı müxtəlif məhdudluqlar və kontekstual uyğunlaşma problemləri üzə çıxır [2], [3], [6]. Əsas problemlər şəkil 2-də təsvir olunmuşdur. Şəkildən görüldüyü kimi,

1. Etiketlənmiş verilənlərin çatışmazlığı — yüksək keyfiyyətli və geniş verilənlər bazalarının olmaması, yerli və sahəyə uyğun məlumatların azlığı səbəbindən modellərin təlimi və ümumiləşdirməsi məhdudlaşır [4],[7]. Məsələn, Azərbaycanda kənd təsərrüfatı sahəsində istifadə ediləcək kompüter görmə modellərinin hazırlanması zamanı pambıq və taxıl zərərvericilərinin vizual təsvirlərinə dair yerli, yüksək keyfiyyətli və etiketlənmiş görüntü verilənləri tapmaq çətin olur. Mövcud açıq mənbələrdə bu növ spesifik məlumatlar az olduğu üçün modellər xarici mühitə əsaslanaraq öyrədilir və lokal şəraitdə zəif nəticələr verir. Bu isə aqrar monitorinq sistemlərinin effektivliyini azaldır;

2. Hesablama resurslarına olan yüksək tələbat — mürəkkəb neyron şəbəkələrin təlimi və tətbiqi böyük hesablama gücü tələb edir ki, bu da həm maliyyə, həm də texniki baxımdan çətinliklər yaradır [3], [12]. Məsələn;

3. Real vaxt rejimində sürət və dəqiqlik arasında balans problemi — tətbiq olunan modellərin həm yüksək sürətdə işləməsi, həm də dəqiqliyin qorunması mühüm çağırışdır [7], [13]. Məsələn, Sürücüsüz avtomobil sistemlərində (məsələn, Tesla və ya Waymo) real vaxtda obyekt tanıma sistemləri həm yüksək dəqiqliklə piyadaları tanımalı, həm də saniyənin min hissəsində reaksiya verməlidir. Lakin bəzi hallarda sistem ya sürətə görə dəqiqliyi qurban verir, ya da əksinə. Bu da təhlükəsizlik riskləri yaradır və real tətbiqi məhdudlaşdırır;

4. Modellərin ümumiləşdirmə qabiliyyətinin məhdudluğu — çoxsaylı dəyişənlər və mürəkkəb kontekstlərdə modellərin performansını azaldır [4, 5, 11]. Məsələn, Bir model xəstəliklərin tibbi görüntülər əsasında diaqnozunu qoymaq üçün öyrədildikdə yalnız konkret xəstəxanadan alınmış görüntülərlə təlim alıbsa, başqa klinikalarda fərqli aparatlarla çəkilmiş görüntülərdə performansını xeyli zəifləyə bilər. Bu, modelin kontekstə uyğun ümumiləşdirə bilmədiyini göstərir və geniş tətbiqini əngəlləyir;

5. Modellərin izah edilə bilməməsi və şəffaf olmaması — “qara qutu” kimi modellərin qərar mexanizmlərinin izahı və şərh edilməsi etik və tətbiqi baxımdan vacib məsələdir [6]. Məsələn, Məhkəmə sistemində istifadə edilən Sİ əsaslı risk qiymətləndirmə proqramları (məsələn, COMPAS) şübhəli insanların təkrar cinayət riski barədə qərar verir, lakin bu qərarların necə formalaşdığı məlum olmur. Bu “qara qutu” yanaşması səbəbindən qərarların obyektivliyi və ədalətliyi şübhə altına düşür və etimadı azaldır;

6. Etik və hüquqi risklərin mövcudluğu — məlumatların məxfiliyi, etik qaydaların və hüquqi normaların formalaşması bu sahədə həll olunması zəruri məsələlərdəndir [2];

7. Sahə üzrə ixtisaslı kadr çatışmazlığı — mütəxəssislərin yetişdirilməsi və beynəlxalq təcrübənin ölkəyə transferi hələ tam təmin edilməyib [1], [3];

8. Milli səviyyədə strukturlaşmış süni intellekt strategiyalarının olmaması — müvafiq infrastruktur və tənzimləyici mexanizmlərin formalaşması gecikir [2].

Bu problemlərin həlli üçün integrativ və çoxsahəli yanaşma tələb olunur:

- Milli səviyyədə yüksək keyfiyyətli, lokal kontekstə uyğun verilənlər bazalarının yaradılması, həmçinin açıq verilənlər siyasətinin təşviqi və sektoral əməkdaşlıq vacibdir. Bu, modellərin yerli şəraitə uyğun təlimi və nəticələrinin artırılmasına imkan verəcək.

- Hesablama gücünün artırılması məqsədilə bulud xidmətləri və yüksək performanslı hesablama infrastrukturalarının inkişaf etdirilməsi, həmçinin modellərin effektivliyinin artırılması istiqamətində optimallaşdırma metodlarının tətbiqi önəmlidir.

- Yüngül və çevik neyron şəbəkələrinin yaradılması, çoxsəviyyəli və adaptiv model yanaşmalarının inkişaf etdirilməsi sürət və dəqiqlik balansını təmin edəcək.

- Transfer öyrənməsi, domen adaptasiyası və federativ öyrənmə kimi metodların tətbiqi ilə modellərin müxtəlif şərait və verilənlərdə daha yaxşı performans göstərməsi mümkün olacaq.

- İzah edilə bilən süni intellekt (XAI) texnologiyalarının tətbiqi, qərar mexanizmlərinin açıqlanması və etik hesabatlılığın təmin olunması etimadın artırılması üçün zəruridir.

- Məlumatların qorunması və etik standartların müəyyənləşdirilməsi üçün müvafiq qanunvericilik və tənzimləyici mexanizmlərin sürətlə hazırlanması tələb olunur.

- İxtisaslaşmış mütəxəssislərin yetişdirilməsi, beynəlxalq təcrübənin ölkəyə transferi və davamlı təlim proqramlarının yaradılması vacibdir.

- Süni intellektin sistemli inkişafı üçün milli səviyyədə strateji planların, infrastrukturun və idarəetmə mexanizmlərinin formalaşdırılması prioritet olmalıdır.

Ümumilikdə, kompüter görmə və dərin öyrənmə sahələrinin effektiv tətbiqi üçün yuxarıda göstərilən problemlərin həlli istiqamətində multidissiplinar yanaşma və davamlı islahatlar aparılmalıdır. Bu, həm texnoloji yeniliklərin tətbiqini sürətləndirəcək, həm də sosial və etik məsuliyyətlərin təmin olunmasına xidmət edəcəkdir.

Kompüter görmə və dərin öyrənmə texnologiyalarının tətbiqi perspektivləri

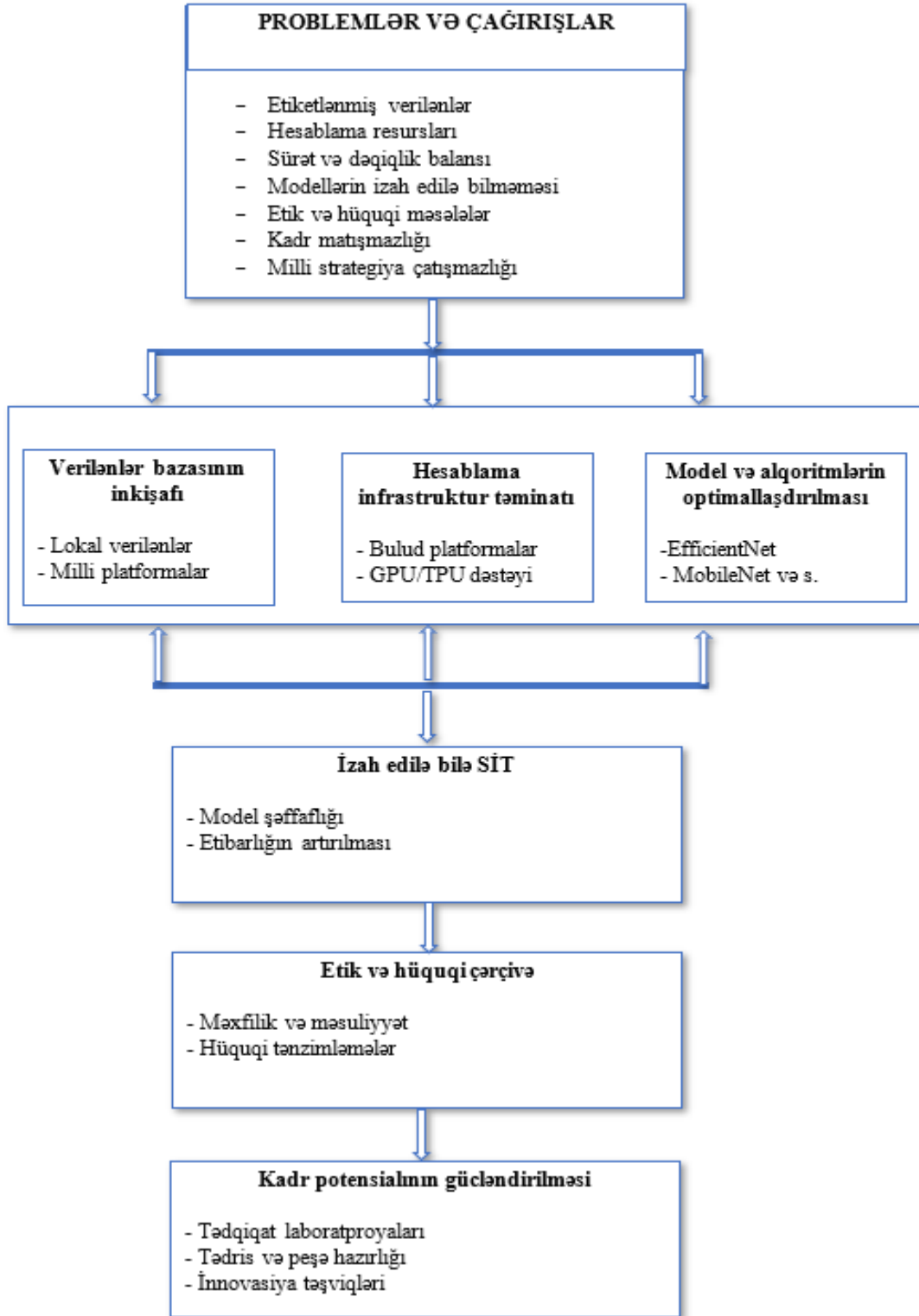
Kompüter görməsi və dərin öyrənmə texnologiyalarının son illərdə qazandığı inkişaf, bu sahənin yaxın və orta perspektivdə geniş miqyasda tətbiqini mümkün və zəruri edir. Elmi və texnoloji cəhətdən bu sahələrin perspektivləri bir neçə əsas istiqamətdə cəmlənir və mövcud problemlərin mərhələli həlli ilə birbaşa bağlıdır.

İlk növbədə, etiketlenmiş verilənlər bazalarının genişləndirilməsi və lokal məlumatların əldə olunması üzrə təşəbbüslərin gücləndirilməsi zəruridir. Bu məqsədlə həm açıq mənbəli təşəbbüslər, həm də dövlət və özəl sektor əməkdaşlığı çərçivəsində aqrar, tibbi, sənaye və nəqliyyat sahələrinə uyğun milli verilənlər platformalarının yaradılması əsas prioritetlərdən biri ola bilər. Bu, modellərin lokal kontekstdə daha dəqiq öyrədilməsini və tətbiqini təmin edəcəkdir.

İkinci mühüm istiqamət hesablama resurslarına və texnologiyalara çıxış imkanlarının artırılması ilə bağlıdır. Bulud əsaslı platformaların istifadəsi, akademik və tədqiqat mərkəzləri üçün GPU/TPU resurslarının güzəştli təqdim edilməsi, həmçinin regional miqyasda süni intellektli superkompüter mərkəzlərinin yaradılması bu sahədə tətbiq imkanlarını əhəmiyyətli dərəcədə genişləndirə bilər. Bununla yanaşı, model arxitekturalarının optimallaşdırılması istiqamətində aparılan tədqiqatlar (EfficientNet, MobileNet, TinyML və s.) real vaxt rejimində tətbiqlər üçün böyük perspektivlər açır. Sürət və dəqiqlik balansını problemi yüngül çəki modellərin hazırlanması və edge computing (kənar hesablama) texnologiyalarının inkişafı ilə qismən aradan qaldırıla bilər.

Əhəmiyyətli perspektivlərdən biri də izah edilə bilən süni intellekt (Explainable AI – XAI) texnologiyalarının inkişafı ilə bağlıdır. Xüsusilə sağlamlıq, təhlükəsizlik və hüquqi sahələrdə model qərarlarının şəffaf və izah edilə bilən formada təqdim edilməsi, istifadəçilərin etimadını artıracaq və bu texnologiyaların daha geniş tətbiqinə zəmin yaradacaqdır.

Sahənin inkişafı üçün etik və hüquqi çərçivənin formalaşdırılması, süni intellekt texnologiyalarının ədalətli və şəffaf istifadəsini tənzimləyən qanunvericiliyin qəbul edilməsi də müasir çağırışlara cavab verməlidir. Avropa İttifaqının "AI Act" kimi normativ sənədləri bu sahədə nümunəvi yanaşma kimi qəbul oluna bilər.



Şəkl 2. Kompüter görməsi və dərin öyrənmə texnologiyalarının problemləri və həlli yolları

Azərbaycan kontekstində isə bu texnologiyaların perspektiv inkişafı üçün aşağıdakı addımların atılması məqsədəuyğundur:

□ Kompüter görməsi və dərin öyrənmə üzrə ixtisaslaşmış tədqiqat laboratoriyalarının və universitet mərkəzlərinin yaradılması;

□ Dövlət səviyyəsində Süni İntellekt Strategiyasının hazırlanması və bu texnologiyaların iqtisadi transformasiyanın əsas vasitələrindən biri kimi tanınması;

□ Yerli startap və şirkətlərin bu sahədə innovasiyalara yönəlməsi üçün grant və təşviq mexanizmlərinin tətbiqi;

□ Tədris proqramlarında və peşə hazırlığında praktik və layihəyönümlü kontentlərin artırılması.

Nəticə etibarilə, kompüter görməsi və dərin öyrənmə texnologiyalarının elmi və tətbiqi potensialı yüksəkdir və bu sahənin inkişafı yalnız texnoloji deyil, həm də iqtisadi, sosial və etik baxımdan geniş perspektivlər vəd edir. İnnovativ yanaşmalar, multidissiplinar əməkdaşlıq və uzunmüddətli strategiyaların həyata keçirilməsi bu texnologiyaların uğurlu tətbiqini təmin edə bilər.

Nəticə

Kompüter görməsi və dərin öyrənmə texnologiyalarının tətbiqi sahəsindəki inkişaf, xüsusilə avtomatlaşdırılmış qərar qəbul etmə və vizual məlumatların təhlili sahəsində mühüm irəliləyişlər təmin etsə də, bir sıra əsas problemlərlə üzləşir. Bu problemlər texnoloji, etik və sosial səviyyələrdə özünü göstərir. Hesablama resurslarının məhdudluğu, etik və hüquqi məsələlər, modelin ümumiləşdirmə qabiliyyətinin məhdud olması və verilənlərin keyfiyyəti kimi çətinliklər bu texnologiyaların daha geniş şəkildə tətbiqinə maneə yaradır.

Həmçinin, bu texnologiyaların tətbiqində nəzərə alınması gərəkən sosial-etik məsələlər, məsələn, üz tanıma texnologiyalarının qərəzli nəticələri, istifadəçi məlumatlarının qorunması və sistemlərin şəffaflığı kimi məsələlər xüsusilə əhəmiyyətlidir. Azərbaycanda bu texnologiyaların tətbiqi hələ inkişaf etməkdədir, amma onların potensialı böyükdür. Yerli tədqiqat mərkəzlərinin və universitetlərin bu sahəyə daha çox investisiya etməsi, yeni tətbiq sahələrinin araşdırılması və müasir tədqiqatların təşviq edilməsi vacibdir. Əlavə olaraq, yüksək ixtisaslı kadrların yetişdirilməsi və dövlətin bu sahəyə verdiyi dəstəyin artırılması bu texnologiyaların inkişafına təkan verə bilər:

- Texnoloji və infrastruktur dəstəyi.
- Verilənlər bazalarının yaradılması.
- Etik və hüquqi tənzimləmə.
- Kadr potensialının inkişafı.
- Beynəlxalq və lokal səviyyədə sənaye əməkdaşlığı.

Yerli tədqiqat və inkişaf infrastrukturunun gücləndirilməsi, yüksək performanslı hesablama resurslarının mövcudluğunun artırılması texnologiyaların daha geniş şəkildə tətbiqinə şərait yaradacaq. Açıq və strukturlaşdırılmış verilənlər bazalarının yaradılması, həm yerli, həm də qlobal səviyyədə tətbiqlərin səmərəliliyini artıracaq. Kompüter görməsi və dərin öyrənmə sistemlərinin etik şəkildə tətbiqi üçün hüquqi çərçivələrin formalaşdırılması, insan hüquqlarının qorunması və qərəzli nəticələrin qarşısının alınması üçün müvafiq qaydalar hazırlanmalıdır. Bu texnologiyalar üzrə ixtisaslaşmış peşəkarların hazırlanması, həm akademik sahədə, həm də sənaye sahələrində fəaliyyət göstərə bilən kadrların yetişdirilməsi üçün təhsil proqramlarının inkişaf etdirilməsi tövsiyə olunur. Beynəlxalq təcrübə və əməkdaşlıq, yerli tədqiqat mərkəzlərinin və şirkətlərin bu sahədəki inkişafına dəstək ola bilər. Bu məqsədlə beynəlxalq elmi və texnoloji təşkilatlarla əməkdaşlıq daha geniş perspektivlərə yol açacaq.

Nəticə olaraq, kompüter görməsi və dərin öyrənmə texnologiyalarının inkişafı və tətbiqi gələcəkdə həm qlobal, həm də regional miqyasda mühüm yeniliklər və iqtisadi imkanlar yarada bilər. Bu sahədəki irəliləyişlər, müasir texnologiyaların müxtəlif sahələrdə daha effektiv istifadə olunmasını təmin edəcək.

İstifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı

1. "Azərbaycan 2030: sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər". <https://president.az/az/articles/view/50474>
2. "Azərbaycan Respublikasının 2022–2026-cı illərdə sosial-iqtisadi inkişaf Strategiyası"nın təsdiq edilməsi haqqında. <https://e-qanun.az/framework/50013>
3. [Azərbaycan Respublikasının 2025–2028-ci illər üçün süni intellekt Strategiyası](https://president.az/az/articles/view/68364), 19 mart 2025-ci il. <https://president.az/az/articles/view/68364>

4. Mustafayeva A.M. Süni intellekt texnologiyalarının inkişaf perspektivləri. Mingəçevir Dövlət Universitetində “Davamlı inkişaf strategiyası: qlobal trendlər, milli təcrübələr və yeni hədəflər” adlı Beynəlxalq Elmi Konfrans”, 10-11 dekabr 2021. s.47-53. https://www.mdu.edu.az/images/pdf/KONFRANS_2021_1.pdf
5. Mustafayeva A.M., İsrailova E.N. Süni neyron şəbəkələrin tətbiqi ilə mexatron qurğularda informasiya emalının funksional sxeminin yaradılması alqoritmi. Dayanıqlı İnkişaf. MDU, 2021 cild 1, s. 81-877
6. Mustafayeva A.M., Əliyeva Z.Ə., Baxşiyeva G.S., İsmayılzadə L.V., Muradzadə E.A. Mobil robotların funksional sxeminə əsasən riyazi modelin təyini. Dayanıqlı İnkişaf. MDU, cild 2, s.93-99
7. Mustafayeva A.M. Robototexniki komplekslərin layihələndirilməsində innovativ yanaşma. Mingəçevir Dövlət Universitetinin “Yeni dövrdə təhsil və tədqiqat fəaliyyəti: reallıqlar və çağırışlar” mövzusunda II Beynəlxalq elmi-praktiki konfrans. Mingəçevir, 16-17 dekabr 2022, s.587-591
8. Mustafayeva A.M., İsrailova E.N., Əliyev E.M., Xəlilov E.O. Baxşiyeva G.S. Analysis based on UX design of mobile platforms applied in agricultural sectors. [Journal of Modern Technology and Engineering](#). International Eastern Conference on Human-Computer Interaction |IECHCI2022, January 2023, s. 59-64
9. Iqbal H., Khan A., Nepal N., Khan F., Moon Y. Deep Learning Approaches for Chest Radiograph Interpretation: A Systematic Review. *Electronics* 2024, 13, 4688.
10. Mao M. Lee A., Hong M. Deep Learning Innovations in Video Classification: A Survey on Techniques and Dataset Evaluations. *Electronics* 2024, 13, 2732.
11. Mustafayeva, A.M., & Baxşiyeva, G.S. An innovative approach in the study of mechatronic devices. AMEA, İNFORMATİCS and CONTROL PROBLEMS 42 İSSUE 1(2022), May 2022, pp.39-45
12. Mustafayeva A.M. Development prospects of artificial intelligence technologies. "Sustainable development strategy: global trends, International Scientific Conference "National experiences and new goals", December 10-11, 2021. pp.47-53

PROBLEMS AND PROSPECTS OF APPLYING COMPUTER VISION AND DEEP LEARNING TECHNOLOGIES

^{1,2}A.M.Mustafayeva, ²G.S.Bakhshiyeva, ²V.A.Nuriyeva, ²S.S.Nasirova, ²N.K.Ahmadova, ²S.R.Aslanova, ²L.V.Ismailzada

¹Doctor of Philosophy in Technics, Associate Professor
²Mingachevir State University

Abstract: *The article explores the application, challenges, and prospects of computer vision and deep learning technologies in artificial intelligence systems. The study covers the use of these technologies in automated visual data processing, object recognition, and adaptive decision-making, while analyzing their innovative applications in healthcare, transportation, agriculture, security, and industry. Between 2012 and 2025, the emergence of AlexNet, ResNet, BERT, CLIP, DALL-E, ChatGPT, and Diffusion models brought about a technological revolution in computer vision and deep learning, fostering the development of multimodal and explainable AI systems. In Azerbaijan, since 2020, higher education programs, pilot projects, and the National Artificial Intelligence Strategy have supported the growth of the field. However, limitations in labeled datasets, the high demand for computational resources, the lack of model explainability, and ethical-legal challenges remain pressing issues. The findings demonstrate that computer vision and deep learning technologies possess transformative significance from technological, socio-economic, and ethical perspectives.*

Keywords: Artificial intelligence, visual data processing, model optimization, labeled data, computational resources, explainable artificial intelligence, ethical and legal issues

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

^{1,2}А.М.Мустафаева, ²Г.С.Бахшиева, ²В.А.Нуриева, ²Ш.С.Насирова, ²Н.К.Ахмедова,
²С.Р.Асланова, ²Л.В.Исмаилзаде

¹доктор философии по технике, доцент

²Мингячевирский государственный университет

Резюме: В статье рассматриваются применение, проблемы и перспективы технологий компьютерного зрения и глубинного обучения в системах искусственного интеллекта. Исследование охватывает использование этих технологий в автоматизированной обработке визуальной информации, распознавании объектов и адаптивном принятии решений, а также анализирует их инновационные приложения в здравоохранении, транспорте, сельском хозяйстве, безопасности и промышленности. В период с 2012 по 2025 годы появление таких моделей, как AlexNet, ResNet, BERT, CLIP, DALL-E, ChatGPT и Diffusion, стало технологической революцией в области компьютерного зрения и глубинного обучения, обеспечив развитие мультимодальных и объяснимых систем искусственного интеллекта. В Азербайджане с 2020 года развитие данной сферы поддерживается образовательными программами, пилотными проектами и Национальной стратегией по искусственному интеллекту. Однако ограниченность размеченных данных, высокая потребность в вычислительных ресурсах, недостаточная интерпретируемость моделей, а также этические и правовые трудности остаются актуальными проблемами. Результаты исследования показывают, что технологии компьютерного зрения и глубинного обучения обладают трансформирующим значением в технологическом, социально-экономическом и этическом аспектах.

Ключевые слова: искусственный интеллект, обработка визуальных данных, оптимизация моделей, размеченные данные, вычислительные ресурсы, объяснимый искусственный интеллект, этические и правовые вопросы

Elmi redaktor: tex.f.d. M.Əhmədov

Çapa təqdim edən redaktor: tex.f.d., dos. A.Əliyeva

Daxil olub: 24.10.2025

Çapa qəbul edilib: 07.10.2025