

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI**

*Əlyazması hüququnda*

**ARTIRILMIŞ REALLIQ ƏSASINDA OYUN  
PLATFORMALARINDA DƏRİN ÖYRƏNMƏ  
TEXNOLOGİYALARININ TƏTBİQİ**

**İxtisas:** 1203.01 – Kompüter elmləri  
**Elm sahəsi:** Texnika elmləri  
**İddiaçı:** **Anar Azər oğlu Məmmədli**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi  
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

**AVTOREFERATI**

**Bakı-2026**

Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin “Ümumi və tətbiqi riyaziyyat” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

**Elmi rəhbərlər:**

Əməkdar elm xadimi, riyaziyyat üzrə  
elmlər doktoru, professor  
**Araz Rafiq oğlu Əliyev**

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru  
**Elviz Ənvər oğlu İsmayılov**

**Rəsmi opponetlər:**

Texnika elmləri doktoru, professor  
**Aqil Həmid oğlu Hüseynov**

AMEA-nın müxbir üzvü,  
texnika elmləri doktoru  
**Ramiz Məhəmməd oğlu Alıquliyev**

Texnika elmləri namizədi, dosent  
**Ramiz Balasirin oğlu Ələkbərov**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.48 Dissertasiya Şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

AMEA-nın müxbir üzvü,  
texnika elmləri doktoru, professor  
**Rafiq Əziz oğlu Əliyev**

Dissertasiya şurasının  
elmi katibi:

Texnika üzrə elmlər doktoru, dosent  
**Akif Vəli oğlu Əlizadə**

Elmi seminarın sədri:

Əməkdar elm xadimi,  
texnika üzrə elmlər doktoru, professor  
**Lətafət Abbas qızı Qardaşova**

“AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI  
ELM VƏ TƏHSİL NAZİRLİYİ  
AZƏRBAYCAN DÖVLƏT NEFT  
VƏ SƏNAYE UNİVERSİTETİ”  
PUBLİK HÜQUQİ ŞƏXSİ  
**ELMİ -KATİB**

dos. Hiyət  
Hiyət



## İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

**Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.** Oyunlar tarix boyu yalnız əyləncə məqsədilə deyil, həm də insanların idrak bacarıqlarını inkişaf etdirmək, strateji düşünmək və problemləri həll etmək üçün istifadə olunmuşdur. Oyun əsaslı öyrənmə modeli insanın təcrübədən öyrənmə bacarığını inkişaf etdirir və təhsil prosesini daha cəlbedici edir<sup>1</sup>. Müxtəlif tədqiqatlar göstərir ki, oyunlaşdırılmış öyrənmə metodları motivasiya, yaddaş və məntiqi düşünmə qabiliyyətlərini artırır. Oyunlar həm riyaziyyat, kimya və məntiq kimi texniki fənlərdə, həm də dil öyrənmə, tarix və sosial elmlər kimi humanitar sahələrdə effektiv öyrənmə vasitəsi kimi çıxış edir. Xüsusilə interaktiv və müstəqil öyrənmə metodlarının inkişaf etdiyi müasir dövrdə oyunlar fərqli yaş qrupları üçün çoxfunksiyalı öyrənmə platformasına çevrilmişdir.

Süni İntellekt (Sİ) və Artırılmış Reallıq (AR) texnologiyalarının oyun dizaynına tətbiqi, oyun sənayesində əsas inqilabi dəyişikliklərdən biri kimi qəbul olunur<sup>2</sup>. Müasir oyunlar daha fərdiləşdirilmiş, interaktiv və immersiv (oyunçu ətrafında 3d mühitin yaradılması) təcrübələr təqdim etmək üçün Sİ və AR-dan geniş istifadə edir. Sİ oyunların daha ağıllı və çevik olmasını təmin edir. Həmçinin oyun məlumat mənbələrinin Sİ ilə avtomatlaşdırılması, Bot personajların intellektual davranış modelləri ilə mürəkkəbləşdirilməsi, oyunçuların qərarlarına uyğun adaptiv dəyişikliklər edilməsi və real vaxtda oyun dinamikasının tənzimlənməsi oyunların keyfiyyətini xeyli artırır. AR texnologiyası oyunçuların real dünya ilə virtual mühit arasında qarşılıqlı əlaqə qurmasını təmin edərək, oyunları daha immersiv hala gətirir. AR

---

<sup>1</sup> Barab, S. Situationally embodied curriculum: Relating formalisms and contexts / S. Barab, S. Zuiker, S. Warren [et al.] // Science Education, –Hoboken: – 2007. 91 (5), – p. 750–782

<sup>2</sup> Mitsea, E., Drigas, A., Skianis, C. A systematic review of Serious Games in the era of Artificial Intelligence, Immersive Technologies, the Metaverse, and Neurotechnologies: transformation through Meta-Skills training // – Basel: Electronics, – 2025. 14 (4), – p. 649.

texnologiyası həm rəqəmsal, həm də fiziki oyunlardakı məhdudluqları aradan qaldıraraq genişləndirilmiş media məlumatları ilə daha interaktiv bir sistem təqdim edir. Bu texnologiya oyunçuların fiziki məkan daxilində virtual obyektlərlə qarşılıqlı əlaqəyə yaratmasına imkan yaradır, oyun süjetini real dünya elementləri ilə zənginləşdirir və oyun təcrübəsini daha canlı və reallığa uyğun edir<sup>3</sup>. AR əsaslı oyun mexanizmləri oyunçulara ətraf mühiti oyun dünyasının bir hissəsinə çevirməyə imkan verərək onların əylənmə və öyrənmə prosesinə daha dərinlən cəlb olunmasını təmin edir. Xüsusilə mobil cihazlar və ya AR eynəkləri ilə inteqrasiya edilərək bu texnologiya oyunçulara real vaxtda dəyişən mühitlər, fərdiləşdirilmiş oyun tapşırıqları və real dünya ilə birləşdirilmiş virtual hadisələr təqdim edərək, oyun sənayesində yeni bir dövr açır.

Bu yanaşmanın tətbiqi yalnız əyləncə ilə məhdudlaşmır, həm də ciddi oyunlar və tədris məqsədli oyunlarda geniş tətbiq olunur. Xüsusən də Sİ-nin oyunçuların öyrənmə sürətinə uyğunlaşan, zəif və güclü tərəflərini təhlil edərək fərdi inkişaf planları təklif edən xüsusiyyətləri təhsil sahəsində yeni imkanlar yaradır. AR isə oyunçunun real dünya obyektləri ilə qarşılıqlı əlaqəsini təmin edərək, simulyasiya əsaslı tədris mühitlərinin yaradılmasına kömək edir. Tibbi və ya tədris proqramları, sürücülük simulyasiyaları və təhlükəsizlik təlimləri bu yanaşmanın ən uğurlu tətbiq sahələrindən hesab olunur<sup>4</sup>. Oyun sənayesində Sİ və AR texnologiyalarının tətbiqi, bir çox sahələrdə istifadə edilmiş və praktikada əhəmiyyətini göstərmişdir. Müasir Sİ əsaslı sistemlər oyunçunun jest və mimikalarını, hərəkət trayektoriyalarını, nəzarətçi/klaviatura/toxunuş hadisələrini, qərarvermə vaxtlarını, baxış istiqamətini, davranış ardıcılıqlarını, komanda-daxili qarşılıqlı əlaqələri və digər telemetriya məlumatlarını

---

<sup>3</sup> Martin, J., Bohuslava, J., Igor, H. Augmented reality in education 4.0 // International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, – Lviv: – 11-14 September, – 2018. 1, – p. 231–236.

<sup>4</sup> Wu, H.K. Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education / H.K. Wu, S.W.Y. Lee, H.Y. Chang [et al.] // Computers & Education, – Oxford: – 2013. 62, – p. 41–49.

toplayıb təhlil edərək oyun içi reaksiyaları dinamik şəkildə uyğunlaşdırır və nəticədə daha real, situsiyaya uyğun və yüksək dərəcədə fərdiləşdirilmiş təcrübə təmin edir. Beləliklə, yeni məzmunların avtomatik generasiyası və ya təsnifatına imkan yaradır. Eləcə də oyundaxili obyektlərin əlaqəliliyi və oyunçu interaksiyalarından çıxarılan nümunələr bu mərhələlərdə əsas mənbələrdir. Bu yanaşmalar simulyasiya tipli, 2D və ya 3D öyrədici oyun platformalarında daha çox istifadə edilmiş və uğurlu nəticələr əldə edilmişdir. Qeyd olunan aspektlər oyun dizaynında Sİ və AR tətbiqinin aktuallığını artırır və bu sahədə tədqiqatların genişləndirilməsinə ehtiyac yaradır. Aviaşirkətlər pilotların, kosmik agentliklər kosmonavtların təlimlərini gerçəkləşdirmək üçün spesifik simulyasiya platformaları yaratmış və Sİ ilə zənginləşdirmişdir. Həmçinin mobil, komputer və digər cihazları əhatə edən öyrədici oyun platformaları da verilənlərin analizi, məzmun generasiyası və avtomatik təsnifatını gerçəkləşdirmək üçün belə yanaşmalardan istifadə edirlər.

Sİ və informasiya texnologiyalarının təhsildə tətbiqi interaktiv və fərdiləşdirilmiş öyrənmə imkanlarını genişləndirərək tələbələrin yeni bilikləri daha səmərəli mənimsəməsinə şərait yaradır. Sİ əsaslı sistemlər tədris prosesində müxtəlif sahələrdə istifadə olunur:

- **İntellektual tədris sistemləri:** Sİ ilə idarə olunan adaptiv tədris sistemləri şagirdlərin bilik səviyyəsinə uyğun olaraq dərs materiallarını fərdiləşdirir və onların zəif tərəflərini inkişaf etdirməyə kömək edir.
- **Təhsil agentləri və virtual dərs otaqları:** Sİ dəstəyi olan virtual agentlər, virtual reallıq, AR texnologiyaları ilə dəstəklənən virtual mühitlər tələbələrin dərslərə daha aktiv şəkildə qoşulmasına şərait yaradır.
- **Verilənlərin analitikası və proqnozlaşdırması:** Sİ şagirdlərin akademik göstəricilərini analiz edərək onların gələcək performansını proqnozlaşdırır və fərdi öyrənmə planlarını formalaşdırır.

- **Oyunlaşdırma və interaktiv mühitlər:** Tədris prosesində oyun elementlərindən istifadə edilməsi şagirdlərin motivasiyasını artırır və öyrənmə prosesini daha maraqlı edir.

Bu yanaşmalar Sİ-nin tədris prosesində effektiv istifadəsinin mümkünlüyünü göstərir və gələcəkdə informasiya texnologiyalarının daha geniş tətbiq olunması üçün əsas yaradır. Təhsildə Sİ əsaslı texnologiyalar, xüsusilə də Sİ texnikalarının istifadə olunduğu ciddi rəqəmsal oyunlar şagirdlərin öyrənmə imkanlarını genişləndirərək onlara daha interaktiv və fərdi öyrənmə təcrübəsi təqdim edir, həm də öyrənmə prosesini əyləncəli edir. Dissertasiya işində Azərbaycan və ingilis dillərindəki oyun və oyunlaşdırılmış platforma materiallarının təsnifatı üçün sistemin qurulma prinsipləri işlənmiş, strukturlaşdırılmış məlumat bazası yaradılmış və platformalardan toplanan verilənlər əsasında artırılmış rəqəmsal mühit formalaşdırılmışdır. Həmçinin müxtəlif Dərin Öyrənmə (DÖ, Deep Learning) üsullarının oyun elementlərinin təsnifatında effektivliyi araşdırılmışdır.

**Tədqiqatın obyektı və predmeti.** Tədqiqatın obyektı tədris məqsədilə istifadə olunan ciddi rəqəmsal oyunlar, bu oyunlarda mətn informasiyasının emalı və təsnifatı, predmeti isə Təbii Dil Emalı (TDE) və izah edilə bilən süni intellekt üsullarının bu mühitlərdə tətbiqidir.

**Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri.** Dissertasiya işinin məqsədi oyun dizaynında dərin öyrənmə və artırılmış reallığın tətbiqinin səmərəliliyini araşdırmaq və bu texnologiyaların oyun təcrübəsini necə təkmilləşdirdiyini təhlil etmək üçün tədris məqsədilə istifadə olunan söz oyununun modelləşdirilməsi və dərin öyrənmə üsullarının tətbiqi ilə bu oyunun keyfiyyətinin artırılmasından ibarətdir.

Qoyulan məqsədə nail olmaq üçün dissertasiya işində aşağıdakı məsələlərin həlli müəyyən edilmişdir:

- Sİ tətbiqi ilə oyun dizaynı imkanlarının araşdırılması;
- Tədris və əyləncə məqsədilə istifadə olunan “Yasaq” söz oyununun Azərbaycan dilində hazırlanması;
- “Yasaq” oyununda verilənlərin avtomatik yenilənməsi üçün TDE üsullarının tətbiqi;

- Azərbaycan dilində sözlərin təsnifatına DÖ üsullarının tətbiqi;
- Azərbaycan dilində sözlərin oxşarlıqlarının təyin olunması üçün müxtəlif söz yerləşdirilməsi üsullarının tətbiqinin müqayisəli təhlili;

- DÖ kimi “qara qutu” üsullarının izah oluna bilməsi üçün ontologiya sxeminin istifadə olunması;

- Söz oyununa AR vasitəsilə yeni funksiyaların əlavə edilməsi.

**Tədqiqat üsulları.** Dissertasiyada qarşıya qoyulmuş məsələləri həll etmək üçün TDE, söz oyunu informasiya mənbəyi, ciddi rəqəmsal oyunların hazırlanma texnologiyası, Sİ, DÖ modelləri və artırılmış reallıqdan istifadə edilmişdir.

### **Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar.**

- Sİ, TDE texnologiyalarının tətbiqi ilə ciddi rəqəmsal oyun dizaynının təkmilləşdirilməsi imkanlarının tədqiqi və tətbiqi;
- Təsnifat yönümlü qərar-qəbuletmədə Naive Bayes, konvolyusiyalı neyron şəbəkəsi (ing. Convolutional Neural Network), BERT (ing. Bidirectional Encoder Representations from Transformers) kimi maşın öyrənmə metodlarının müqayisəli təhlili və çoxdilləşdirici platformaya inteqrasiyası;
- Öyrədicə söz oyununda izah edilə bilən süni intellekt yanaşmasının işlənilməsi və tətbiqi;
- AR texnologiyası və DÖ modelləri ilə inteqrasiya olunmuş interaktiv ciddi oyun platformasının qurulması.

**Elmi yeniliklər.** Dissertasiya işi çərçivəsində elmi yeniliyə malik aşağıdakı əsas nəticələr əldə edilmişdir:

- ✓ Ciddi oyun platformalarında süni intellekt inteqrasiyası və operativ analitik qərar qəbulunu dəstəkləyən konseptual-tətbiqi model işlənmişdir;
- ✓ Azərbaycan dilinin morfoloji xüsusiyyətlərinə uyğunlaşdırılmış, səmərəli tokenləşdirmə və lüğət uyğunlaşdırma mexanizmi təklif edilmişdir;
- ✓ Transformer arxitekturalı BERT modeli Azərbaycan dilinə adaptasiya edilərək rəqəmsal “Yasaq” oyunu verilənlər çoxluğunda tətbiq olunmuş və ənənəvi üsullarla müqayisədə daha yüksək təsnifat dəqiqliyi təmin etmişdir;

- ✓ Strukturlaşdırılmış verilənlərdən istifadə edərək “qara qutu” tipli təsnifat modellərindən alınmış nəticələri yoxlamaq və nəticəni izah edə bilmək üçün izah edilə bilən süni intellekt əsaslı metod işlənmiş və “Yasaq” verilənlər toplusunda tətbiq edilmişdir.

### **İşin nəzəri və praktiki əhəmiyyəti və nəticələrin tətbiqi.**

Tədqiqatın nəzəri əhəmiyyəti oyun dizaynında Sİ, DÖ və AR texnologiyalarının inteqrasiyasına dair yeni yanaşmaların işlənilib hazırlanması ilə bağlıdır. Bu iş çərçivəsində oyun platformalarında TDE və DÖ modellərinin tətbiqi üzrə yeni metodoloji yanaşmalar təklif edilmişdir. Tədqiqat nəticələri süni intellekt əsaslı oyun platformalarının işlənməsi və ciddi oyun mexanikasının inkişafı sahəsində nəzəri biliklərin zənginləşməsinə töhfə verir. Həmçinin, Azərbaycan dili üçün TDE və tokenləşdirmə texnikalarının təkmilləşdirilməsi, çoxdilli oyun sistemlərinin inkişafı və oyun məlumatlarının izah edilə bilən süni intellekt yanaşmaları ilə təhlili Sİ və oyun dizaynı sahəsində mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Tədqiqatın praktiki əhəmiyyəti isə oyun sənayesində Sİ və AR texnologiyalarının tətbiqi ilə bağlı konkret həll yollarının işlənməsi və tətbiqi ilə bağlıdır. İş çərçivəsində əldə edilən nəticələr:

- Ciddi oyunlar və tədris məqsədli oyunlar üçün Sİ və AR texnologiyalarının birgə istifadəsinə əsaslanan yeni modellərin hazırlanmasına;
- Azərbaycan dilini dəstəkləyən oyun platformalarının yaradılması və çoxdilli sistemlərin inkişaf etdirilməsinə;
- DÖ əsaslı təsnifat modellərinin oyun təcrübəsinə inteqrasiyası, izah oluna bilən Sİ texnologiyaları ilə sistemin intellektual səviyyəsinin artırılması və bu modellərin müxtəlif tədris və əyləncə məqsədli tətbiqlərdə istifadəsinə;
- Oyun dizaynında fərdiləşdirilmiş və adaptiv yanaşmaların işlənməsinə, oyunçuların davranışlarını analiz edən və interaktiv şəkildə dəyişən oyun mexanizmlərinin qurulmasına;
- Oyun məlumatlarının avtomatik sinifləndirilməsi və yeni məzmunların generasiyası üçün effektiv alqoritmlərin tətbiqinə yönəlmişdir.

Habelə bu tədqiqatın nəticələri təhsil, psixologiya, dilçilik və oyun sənayesi sahələrində geniş tətbiq potensialına malikdir. Oyunların daha effektiv öyrənmə vasitəsinə çevrilməsi üçün AR və Sİ texnologiyalarının istifadəsi gələcək tədqiqat və innovativ layihələr üçün də əsas yaradır.

**İşin aprobasiyası.** Elmi tədqiqatların nəticələri Beynəlxalq və Respublika səviyyəli konfrans və simpoziumlarda məruzə edilmiş və müzakirə olunmuşdur:

- Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100 illik yubileyinə həsr olunmuş gənc tədqiqatçı və doktorantların respublika elmi konfransı (4-5 May 2023, Bakı, Azərbaycan);
- Kibernetika və İnformatika Problemləri üzrə 5-ci Beynəlxalq Konfrans (28-30 Avqust 2023, Bakı, Azərbaycan);
- 16th International Conference on Applications of Fuzzy Systems, Soft Computing and Artificial Intelligence Tools (14-15 Sentyabr 2023, Antalya, Türkiyə);
- İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının tətbiqi üzrə 17-ci IEEE beynəlxalq konfransı (18-20 oktyabr, 2023, Bakı, Azərbaycan);
- Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 101 illiyinə həsr olunmuş gənc tədqiqatçı və doktorantların respublika elmi konfransı (4-5 May, 2024, Bakı, Azərbaycan);
- Biliyə əsaslanan və intellektual informasiya və mühəndislik sistemləri üzrə 28-ci beynəlxalq konfrans (11-13 Sentyabr 2024, Sevilya, İspaniya);
- Süni İntellekt:nəzəriyyədən praktikaya beynəlxalq konfrans ( 19-20 Sentyabr 2024, Naxçıvan, Azərbaycan);
- 3rd International conference on data science and management-2024 (13-14 dekabr 2024, Odişa, Hindistan);
- 6-cı beynəlxalq Boğaziçi elmi araşdırma seminarı (18-19 yanvar 2025, Boğaziçi, Türkiyə);
- Mühəndis problemlərinin həllində idarəetmə və nəzarət məsələsində beynəlxalq konfrans, (13-14 Mart 2025, Bakı, Azərbaycan).

**Çap olunmuş elmi əsərlər.** Dissertasiya mövzusu üzrə 9 elmi iş: 5 məqalə, 4 konfrans materialı çap edilmişdir. Bu elmi işlərdən 4-ü Scopus bazalarında indeksləşən jurnallarda dərc olunmuşdur.

**Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.** Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin Ümumi və Tətbiqi riyaziyyat kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

**Dissertasiyanın həcmi və strukturu.** Dissertasiya giriş, üç fəsil, nəticə, istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı və əlavələrdən ibarətdir. İşin əsas məzmunu 159 səhifə, 18 şəkil və 18 cədvəldən ibarətdir. Ədəbiyyat siyahısında 111 adda mənbə göstərilmişdir. Dissertasiya işinin ümumi və struktur bölmələrinin işarə ilə həcmi aşağıdakı qaydada paylanmışdır: Ümumi–229998 işarə, Giriş–18695 işarə, Birinci fəsil–61771 işarə, İkinci fəsil–69321 işarə, Üçüncü fəsil–78981 işarə, Nəticə – 1207 işarə.

## İŞİN MƏZMUNU

**Girişdə** mövzunun və aparılan tədqiqatların aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqatların məqsədi və istiqamətləri müəyyənləşdirilmiş, tədqiqat obyektı və predmeti, tədqiqat üsulları, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, tədqiqat nəticəsində əldə olunan elmi yeniliklər və praktiki əhəmiyyəti, işin aprobasiyası, dissertasiyanın həcmi və strukturu təqdim edilmişdir.

**Birinci fəsildə** oyun dizaynında intellektual üsulların tətbiqi məsələləri analiz olunmuşdur.

**1.1 paraqrafında** intellektual sistemlərin oyun dizaynına tətbiqi istiqamətindəki məsələ sinifləri tədqiq olunmuş, intellektual sistemlərin oyun daxili elementlərə tətbiqinin ədəbiyyat mənbələrinə və təcrübəyə istinadən müasir vəziyyəti analizi edilmişdir. Ardınca oyunlarda intellektual üsulların tətbiqinin geniş istifadə olunan iki məsələnin təhlili aparılmışdır. Dinamik oyundaxili elementlərin və interaktiv oyun mühitinin yaradılmasındakı problemlərin araşdırılmasına baxılmışdır.

Oyun elementlərinin yaradılması mətn əsaslı oyunların kateqoriyalarının təsnifatında, oyunçunun oyun tərzinə əsasən yeni

dialogların, maneələrin və s. elementlərin yaradılmasında, oyunçuların niyyət təyində geniş istifadə olunur.

**1.2 paraqrafında** bəzi mövcud mətn emalı üsullarının oyunlarda tətbiqinin müqayisəli təhlili aparılmışdır.

Mətn emalı təsnifatı istiqamətində xaricdə xeyli işlər görülmüşdür. Bunların arasında “Taboo” mexanikalı oyunlara və digər oyunlara tətbiq edilmiş yanaşmalar göstərilmişdir.

Təcrübə göstərir ki, TDE məsələsinin riyazi qoyuluşunda ənənəvi üsullardan istifadə müəyyən çətinliklərlə müşayiət olunur<sup>5</sup>. TDE məsələlərinin riyazi qoyuluşu bir sıra çətinliklərlə müşayiət olunur. Dil qeyri-formal və çoxmənalı olduğundan, onu dəqiq riyazi modellərlə ifadə etmək çətinidir. Mətnlər kontekstdən asılı olduğu üçün modellər bu konteksti düzgün dərk etməlidir. Bundan əlavə, dil məlumatları yüksək ölçülüdür və diskret təbiətə malikdir ki, bu da optimallaşdırma və analiz proseslərini mürəkkəbləşdirir. Əlavə olaraq, resursu az olan dillərdə (low-resource languages) korpusların, lüğətlərin və etiketlenmiş məlumatların məhdudluğu bu modellərin öyrədilməsini və tətbiqini daha da çətinləşdirir. Göstərilən problemlərin aradan qaldırılması üçün yeni yanaşmaların işlənməsi, xüsusən də mətn emalı modifikasiyalarının tətbiqi aktualıq kəsb edir.

**1.3 paraqrafında** baxılan oyun dizaynında AR texnologiyasının tətbiqi, olan məhdudiyyətlərin aradan qaldırılması və daha da immersiv hala gətirilməsi təhlil olunmuşdur. Sİ və AR metodlarının birlikdə istifadəsi oyun platformalarını yeni xüsusiyyətlərlə zənginləşdirərək immersiv təcrübə və interaktiv mühit yaradır<sup>6</sup>. Belə ki, bu halda platformanın iş prosesində müəyyən məhdudiyyətlər

---

<sup>5</sup> Mammadli, A.A., Zeynalabdinov, M.E. Integrating word embeddings into textual serious games: techniques and outcomes // Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 101 illiyinə həsr olunmuş gənc tədqiqatçı və doktorantların respublika elmi konfransı – 4-5 May, –2024 – Bakı, Azərbaycan, –p.52-55

<sup>6</sup> Mammadli, A.A., Sadikhova, G.N., Akbarov, N.Kh. Using image detection technologies in AR based gamification platforms // Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100 illik yubileyinə həsr olunmuş gənc tədqiqatçı və doktorantların respublika elmi konfransının materialları, –Bakı: ASOIU,– 4-5 May,– 2023, – p. 351–356

aradan qaldırılır, yüksək keyfiyyətli idarəetməyə tez nail olunur, eyni zamanda oyun platformasının səmərəliliyi də yüksəlir. Bu məhdudiyyətlər həm fiziki oyunlar həm də rəqəmsal oyunların xüsusiyyətləri ola bilər. AR fiziki və ya rəqəmsal platformalardakı müəyyən ölçü məhdudiyyətlərini aradan qaldıraraq oyunçunun ətraf mühiti istifadə edərək artırılmış elementlərlə interaktivlik və əməkdaşlıq imkanlarını artırır<sup>7</sup>.

**İkinci fəsildə** izah oluna bilən süni intellekt və oyunlarda mətn emalının tətbiqləri üçün istifadə olunan metodologiyalar təhlil olunmuşdur.

**2.1 paragrafında** müxtəlif söz yerləşdirilməsi metodlarının təhlili və layihə çərçivəsində niyə məhz BERT söz yerləşdirilməsinin seçildiyi izah olunur. Tədqiqat zamanı aşağıdakı söz yerləşdirilmə metodları yoxlanılmışdır: Word2Vec (CBOW və Skip-gram), GloVe, FastText, BERT. Bu metodlar müqayisə edildikdə aşkar olunmuşdur ki:

- Word2Vec və GloVe statik söz yerləşdirilmələr yaradır, yəni hər bir söz üçün cəmi bir vektor verir və sözün cümlə kontekstindən asılı olan fərqli mənalarını ayıra bilmir.
- FastText nadir sözlərə və yeni söz formalarına qarşı dayanıqlıdır, lakin yenə də kontekstual fərqlilikləri yaxşı əks etdirmir.
- BERT isə kontekstual söz yerləşdirilmə yaradır: sözün cümlə içindəki roluna görə vektoru dəyişir.

BERT modelinin əsas məqsədi sözləri hər iki istiqamətdə kontekst nəzərə alaraq kodlaşdırmaqdır. Ənənəvi Word2Vec, GloVe bir söz üçün sabit vektor verirdisə, BERT kontekstə görə dinamik vektorlar çıxarır. Məsələn: "bank" sözü "çayın bankı" və "maliyyə bankı"

---

<sup>7</sup> Mammadli, A.A., Sadikhova, G.N., Akbarov, N.Kh. Using image detection technologies in AR based gamification platforms // Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100 illik yubileyinə həsr olunmuş gənc tədqiqatçı və doktorantların respublika elmi konfransının materialları, –Baku: ASOIU,– 4-5 May,– 2023, – p. 351–356

cümlələrində fərqli vektorlarla təmsil olunur. Ciddi oyunlarda və mətn emalı sistemlərində sözün məna dəyişikliyi düzgün başa düşmək çox önəmlidir. BERT sözlərin yerləşdirmə modeli aşağıdakı mərhələlərdən təşkil olunub:

**Mərhələ 1.** Mətn tokenləşdirilərək (ing. tokenization) lüğət yaradılır. Məqsəd mətni ən optimal şəkildə alt-tokenlərə bölməkdir ki, bütün sözləri həmçinin nadir və yeni sözləri idarə etmək mümkün olsun. [CLS] (cümlə başlanğıcı), ardınca sözlər və [SEP] (cümlə sonu) tokenləri əlavə edilir. Burada [CLS] və [SEP] xüsusi tokenlərdir. Hər bir tokenə bir sıra nömrəsi verilir;

**Mərhələ 2.** Hər söz üç müxtəlif söz yerləşdirilmə vektoru ilə təmsil olunur:

- *Token yerləşdirilmə* (ing. Token embedding): Hər token ID-ni ədədi vektora çevirir. Hər token ID token yerləşdirilmə matrisindən qarşılıq gələn vektorla əvəz edilir. Təlim zamanı Masked Language Modeling və digər tapşırıqlarla təlim olunub öyrədilir.
- *Mövqe yerləşdirilmə* (ing. Position embedding): Sözün cümlə içindəki mövqeyinin kodlaşdırılması. Transformer arxitekturasındakı self-attention mexanizmi istifadə olunur. Self-attention sözlərin ardıcılığını təbii şəkildə bilmir. Buna görə də, hər tokenin hansı mövqedə yerləşdiyini modelə bildirmək üçün əlavə vektorlar mövqe yerləşdirilməsi istifadə edilir. Başqa sözlə: "play" sözünün cümlənin əvvəlində, ortasında və ya sonunda olması fərqli vektorla təmsil olunur. Bu da modelə söz sırasını və kontekst ardıcılığını anlamağa kömək edir.
- *Segment yerləşdirilmə* (ing. Segment embedding): İki cümlə arasında fərqləri göstərmək üçün istifadə olunur. Girişdə iki cümlə olarsa:
  - o Birinci cümlə tokenlərinə Segment A (ID 0) yerləşdirilməsi.

- İkinci cümlə tokenlərinə Seqment B (ID 1) yerləşdirilməsi verilir.

Əgər bir cümlədirsə, bütün tokenlər seqment A olaraq işarələnir;

Bu üç yerləşdirilmə vektoru toplanaraq Transformer Encoder qatına verilir.

**Mərhələ 3.** Yekun söz yerləşdirilməsi vektorlarının stabilləşdirilməsi və öyrənmənin asanlaşdırılması üçün Normallaşdırılma Qatı (ing. Layer Normalization) istifadə olunur. Hər element üçün standart normalizasiya bu düsturla hesablanır:

$$\hat{x}_i = \frac{x_i - \mu}{\sqrt{\sigma^2 + \varepsilon}}$$

- $\varepsilon$  – çox kiçik bir sabitdir
- $\sigma^2$  – dispersiya
- $\mu$  – orta qiymət

Nəticədə normal paylanmış vektor alınır. Modelə bir az elastiklik vermək üçün iki öyrənilən parametr tətbiq olunur:

$$y_i = \gamma \hat{x}_i + \beta$$

- $\gamma$  – Hər elementi çoxaltmaq və ya kiçiltmək üçün;
- $\beta$  – Hər elementi sağa və ya sola sürüşdürmək üçün;

Bu  $\gamma$  və  $\beta$  parametrləri təlim zamanı öyrənilir və modelə əlavə mürəkkəbliyə verir. Nəticədə hər token yerləşdirilməsi öz daxilində normallaşdırılır, qatların çıxışları daha sabit olur, qradiyentlər partlamır və daha tez yığılma(konvergeniya) əldə edilir.

BERT söz yerləşdirilməsi kontekstualdır, yəni eyni söz fərqli cümlələrdə fərqli vektorlarla təmsil edilir. Bu fərq mətnin dərin mənasını və kontekstual əlaqələri daha dəqiq anlamağa imkan verir.

**2.2 paraqrafında** Sİ istifadəsi vasitəsilə oyun daxili elementlərin avtomatik klassifikasiyasına baxılmışdır. Oyun daxili elementlər vizual obyektlər, sözlər və ya oyun daxilində istifadə edilə bilən hər hansı bir obyekt ola bilər. Sİ və TDE istifadə edərək mətni

semantik məna, struktur və kontekst baxımından təhlil edib müəyyən kateqoriyalara bölməkdir. Bu, xüsusilə təlimat oyunları, platformalar və ciddi oyunların hazırlanmasında vacib rol oynayır. Əlavə olaraq, oyun daxili vizual obyektlərin (şəkillərin) təsnifatı məsələsinə də toxunulmuşdur<sup>8</sup>. Bu prosesdə şəkillərin xüsusiyyətlərinin çıxarılması, emal olunması və uyğun kateqoriyalara bölünməsi nəzərdən keçirilmişdir ki<sup>9</sup>, bu da mətnlə yanaşı multimodal məlumatların analizi üçün vacibdir. Mətn təsnifatı üçün müxtəlif metodlar təhlil olunub: ənənəvi maşın öyrənmə alqoritmləri, dərin öyrənmə modelləri və Transformer əsaslı yanaşmalar. Mətn təsnifatını avtomatlaşdırmaq üçün mətn əvvəlcə ədədi vektorlara çevrilir, daha sonra təsnifat alqoritmlərinə ötürülür. Mətn təsnifatı yalnız kateqoriyalaşdırma deyil, həm də məzmunun dərin başa düşülməsi və fərdiləşdirilməsi üçün istifadə olunur.

İlk öncə Naïve Bayes və Qraf Konvolyusiyalı Şəbəkə (QKŞ) kimi probabilistik və qraf əsaslı modellərdən istifadə olunmuşdur. Bu model sözlər arasında heç bir asılılıq olmadığını, hər bir sözün müstəqil şəkildə təsnifata təsir etdiyini fərz edir. Buna görə də sürətli və resurs baxımından çox yüngül bir yanaşmadır. Kiçik və orta ölçülü bazalarda çox yaxşı işləyir, çünki hesablamaları azdır və çox tez nəticə verir<sup>10</sup>. Lakin sözlər arasındakı semantik və kontekstual əlaqələri nəzərə almadığı üçün uzun və mürəkkəb cümlələrdə zəif performans göstərir. Söz sırasının və kontekstin vacib olduğu tapşırıqlarda Naïve Bayes ciddi məhdudiyətlərlə üzləşir. Qraf Konvolyusiyalı Şəbəkə isə məlumatı qraf strukturu üzərində modelləşdirdiyi üçün sözlər və

---

<sup>8</sup> Mammadli, A.A., Ismayilov, E.A. Combining fuzzy deep learning with HPC to classify images // Lecture Notes in Networks and Systems, Springer, – 2024, 1141, – p. 250–257

<sup>9</sup> Mammadli, A.A., Ismayilov, E.A. Application of fuzzy deep learning to classify images // IEEE Publisher, Application of Information and Communication Technologies, Proceedings, – 2023. – p. 1–5

<sup>10</sup> Mammadli, A.A. Unlocking educational insights: integrating Word2vec embeddings and naive bayes classifier for serious game data analysis and enhancement // Baku: Azerbaijan Journal of High Performance Computing, – 2023. 6 (2), – p. 191–198

anlayışlar arasındakı əlaqələri daha dərindən öyrənməyə imkan verir. Burada düyünlər (sözlər və ya məhfumlar) və onların əlaqələri (semantik, sintaktik və ya konseptual bağlantılar) nəzərə alınır. Bu yanaşma konteksti qorumaqda və mürəkkəb semantik əlaqələri aşkar etməkdə üstünlük göstərir. Lakin QKŞ hesablamada baxımından daha ağırdır və böyük resurs tələb edir. Bununla belə, uzun mətnlərdə və semantik zənginlik tələb edən tapşırıqlarda Naïve Bayes-ə nisbətən daha güclü nəticələr verir<sup>11</sup>.

Konvolyusiyalı neyron şəbəkəsi modelləri əsasən mətnin lokal strukturlarını və ifadələri tutmaq üçün istifadə olunur. Qıvrılmış filterlər mətndəki qısa naxışları aşkar etməyə imkan verir və bu da xüsusilə frazalar və ifadələr kimi lokal əlaqələri yaxşı tanımaqda üstünlük yaradır. KNŞ-lər paralel hesablama üstünlüyünə malikdirlər və sürətli təlim prosesi təmin edirlər. Lakin onların əsas zəif tərəfi odur ki, qlobal konteksti və uzaqdan bir-birinə təsir edən sözləri tam yaxşı anlayıb modelləşdirə bilmirlər. Beləliklə, KNŞ lokal xüsusiyyətlərdə güclü olsa da, mətnin ümumi semantik mənasına tam hakim ola bilmir. Buna görə də fərqli söz yerləşdirilmələrindən istifadə edərək KNŞ modelini işlətmək daha məqsədə uyğundur.

BERT isə Transformer əsaslı yanaşmadır və həm soldan sağa, həm də sağdan sola oxuyaraq hər bir sözün həm əvvəlki, həm də sonrakı kontekstini eyni anda anlayır<sup>12</sup>. BERT-in yerləşdirilmələri kontekstdən asılı olduğu üçün eyni söz müxtəlif cümlələrdə fərqli vektorlarla təmsil edilir. Bu, modelin dərin semantik əlaqələrini anlamaq və mətnin ümumi strukturunu emal etmək üçün istifadə

---

<sup>11</sup> Mammadli, A.A., Ismayilov, E.A. Application of deep learning technologies in serious games // International Conference on Problems of Cybernetics and Informatics, – Baku: – 28-30 August, – 2023, – p. 1–4

<sup>12</sup> Devlin, J. BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding / J. Devlin, M.W. Chang, K. Lee [et al.] // . NAACL HLT: Annual Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, – Minneapolis: –2019. 1, – p. 4171–4186

edilir<sup>13</sup>. Buna görə də uzun məsafəli sözlər arasında əlaqələri modelləşdirməkdə BERT daha üstün performans göstərir. BERT modeli aşağıdakı mərhələlərdən təşkil olunub:

**Mərhələ 1.** Söz yerləşdirilməsi 2.2 paragrafdakı kimi əldə edilir;

**Mərhələ 2.** Həmin yerləşdirilmə üç fərqli öyrənilən çəkilərə çevrilir:

$$Q = XW^Q, K = XW^K, V = XW^V$$

Burada:

- $W^Q, W^K, W^V \in \mathbb{R}^{d \times d_k}$
- $d_k = d/h$  ( $h$  - başlıq sayı).

**Mərhələ 3.** Attention Score hesablanaraq hər token üçün digər bütün tokenlərlə uyğunluğu hesablanır.

$$\text{Attention Score} = \frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}$$

- $Q$  — Query vektorları (ölçü:  $n \times d_k$ ),
- $K^T$  — Key vektorlarının transpozu (ölçü:  $d_k \times n$ ).

Nəticədə hər tokenin digər bütün tokenlərlə uyğunluq skorları olur və  $n \times n$  ölçülü bir matris alınır. Skorlar çox böyük olmaması və softmax tətbiq ediləndə daha sabit nəticələr verməsi üçün  $\sqrt{d_k}$  istifadə olunur.

**Mərhələ 4.** Uyğunluq skorlarına softmax funksiyası tətbiq edilir:

$$\text{Attention Weights} = \text{Softmax} \left( \frac{QK^T}{\sqrt{d_k}} \right)$$

Bu üsul modelə hansı sözə nə qədər diqqət yetirəcəyini probabilistik şəkildə müəyyənləşdirməyə imkan verir.

---

<sup>13</sup> Mammadli, A.A. Application of deep learning for procedural content integration for learning serious games // – Baku: Proceedings of Azerbaijan High Technical Educational Institutions, – 2025. 48 (6), – p. 455–469

**Mərhələ 5.** Alınmış çəkiclərlə yeni vektor yaradılır. Bu yeni vektor həm özünü, həm də digər sözlərin kontekstini daşıyır:

$$\text{Attention Output} = \text{Attention Weights} \times V$$

- $V$  — Value vektorlarıdır (ölçü:  $n \times d_k$ ),

Yəni hər token öz ətrafındakı sözlərin Value vektorlarının çəkili cəmini alır.

**Mərhələ 6.** Bu proseslər hər başlıq üçün paralel aparılır və sonda başlıqların çıxışları birləşdirilir:

$$\text{MultiHead}(Q, K, V) = \text{Concat}(\text{head}_1, \dots, \text{head}_n)W^O$$

- $W^O \in \mathbb{R}^{d \times d}$  — ayrıca öyrənilən matrisdir,

Bu quruluş modelə imkan verir ki:

- Bir tokenin kontekst içindəki tam mənasını tutsun.
- Fərqli semantik aspektlərə baxsın (məsələn, biri qrammatik əlaqəni, digəri semantik yaxınlığı tutar).
- Qısa və uzun məsafəli əlaqələri eyni anda emal etsin.

Çoxlu başlıqların olması isə müxtəlif baxış bucaqlarını paralel öyrənməyi təmin edir.

**2.3 paraqrafında** işdə istifadə olunan izah oluna bilən süni intellekt (ing. Explainable Artificial Intelligence) yanaşmasının tətbiqi üçün ontologiyaların istifadəsi təhlil olunmuşdur. Ontologiya, yəni məhfumların və onların əlaqələrinin strukturlaşdırılmış təsvirindən istifadə edilir. Ontologiyalar bilik sahələrinin strukturlaşdırılması üçün istifadə olunur və məhfumlar arasındakı əlaqələri müəyyənləşdirir. Burada ontologiya növləri, əsas komponentlər (siniflər, fərdi nümunələr, atributlar və əlaqələr) və istifadə olunan

alətlər və metodologiyalar izah olunur. Həmçinin ontologiyalar tibbi diaqnostika, təhsil, semantik axtarış sistemləri və oyun sənayesində geniş istifadə olunur<sup>14</sup>.

**Üçüncü fəsilə** "Yasaq" mətn əsaslı oyununun inkişafında Sİ və AR texnologiyalarının necə tətbiq edildiyi araşdırılır. Məqsəd, oyunçuların mətnləri təsnif etməsi, adaptiv məzmun yaradılması və süni intellektin izah edilə bilən yanaşmalarla inteqrasiyası ilə oyun təcrübəsini daha interaktiv və fərdi hala gətirməkdir. Eyni zamanda AR texnologiyası istifadə olunaraq fiziki mühitlə virtual mühit birləşdirilir və oyuna yeni dinamik elementlər əlavə edilir. Bu fəsil mətnlərin təsnifatı, izah edilə bilən süni intellekt və artırılmış reallıq aspektlərini mərhələli şəkildə təhlil edir.

**3.1 paraqrafında** "Yasaq" oyununun məlumat bazası qurulur və mətnlərin təsnifatı üçün müxtəlif süni intellekt metodları tətbiq edilir. "Yasaq" oyunu üçün istifadə edilən məlumatlar, zəngin söz kolleksiyası və onlarla əlaqəli olan qadağan söz terminləri vasitəsilə oyun prosesini təkmilləşdirmək üçün hazırlanmışdır. Verilənlər müxtəlif təhsil resurslarından və istifadəçilər tərəfindən yaradılan məzmundan toplanmışdır. İlk olaraq oyun üçün xüsusi hazırlanmış məlumat bazası yaradılır və bu bazadakı sözlərin aid olduğu kateqoriyalar qeyd olunur. İlk növbədə, tam məlumat bazası çox geniş və müxtəlifdir, burada sözlər və yasaq ifadələr müxtəlif mövzulardan əmələ gəlir. Eksperiment göstərir ki tam məlumat bazası istifadə edildikdə modelin hesablama tələbləri çox artır və resurs məhdudiyətləri yaranır. Bu səbəbdən daha kiçik ölçülü alt bazalar hazırlanmış, əsasən ən çox istifadə olunan və semantik cəhətdən daha aydın olan siniflər üzərində experimentlər davam etdirilmişdir. İkinci səbəb, müxtəlif variasiyaların yaradılması nəticəsində modellərin müxtəlif şəraitlərdə və fərqli mürəkkəblik səviyyələrində necə performans göstərdiyinin ölçülə bilməsidir. Məsələn, sadəcə üç sinifli

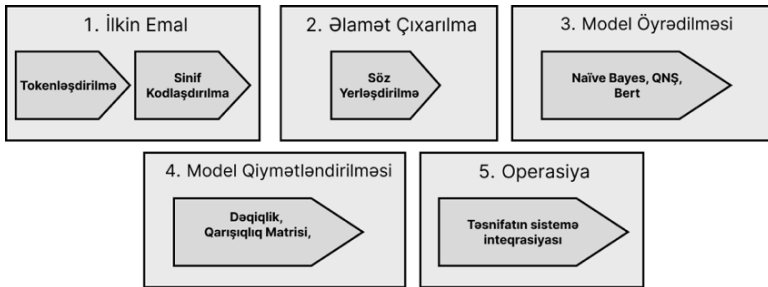
---

<sup>14</sup> Raies, K., Rebhi, K., Khemeja, M. Towards ontology of gameplay: Application to game based learning systems // Proceedings of the 10th International Conference on Semantic Systems, – Leipzig: – 4-5 September, – 2014. 1288, – p. 1–4

məlumat bazası işləndikdə çoxsınıf təsnifat çətinliyi aşağı olur, lakin beş və ya altı siniflərə genişləndirilmiş versiyalarda modelin semantik əlaqələri başa düşmə qabiliyyəti daha ciddi sınaqdan keçirilir. Nəhayət, müxtəlif variasiyaların yaradılması elmi ədəbiyyatda fərqli modellər arasında daha obyektiv müqayisə aparmağa imkan verir. Kiçik bazalarda klassik üsullar daha güclü nəticə göstərir, lakin tam məlumat bazası və ontoloji zənginləşdirilmiş variasiyalarda ancaq daha inkişaf etmiş “qara qutu” modellərinin üstünlüyü ortaya çıxır. Yasaq bazalarının variasiyaları imkan verir:

- Modellərin fərqli ölçü və çətinlik səviyyələrində sınaqdan keçirilməsi mümkün olsun;
- Resurs məhdudiyyətləri olan şəraitlərdə daha yüngül işləmələr aparılsın;
- Ontoloji əlaqələr əlavə olunaraq izah oluna bilən süni intellekt yanaşmaları inkişaf etdirilsin;
- Ədalətli və obyektiv model müqayisələri aparılsın.

“Yasaq” məlumat bazası son versiyada 3000 kartdan və hər bir kart isə əsas söz, beş əlaqəli yasaq sözlər və sinifdən ibarətdir. Qeyd olunan kartlar son versiyada insan, heyvan, qida, əşya, məkan və ixtisas olaraq 6 sinfə ayrılıb. Məlumat bazası Google tətbiqi proqram interfeysi vasitəsilə tərcümə edilmiş və 2 dildə əldə edilmişdir. Hal-hazırda ingilis və azərbaycan dillərində mövcuddur.



**Şəkil 1. Mətn təsnifatı üçün maşın öyrənməsi mərhələləri**

Mətnlərin təsnifatı bir neçə mərhələdən ibarətdir. Şəkil 1-də mətn təsnifatı üçün istifadə olunan maşın öyrənməsi mərhələləri təsvir olunub:

- İlkın Emal (ing. Preprocessing)
- Əlamət Çıxarılma (ing. Feature Extraction)
- Model Öyrədilməsi (ing. Model Training)
- Model Qiymətləndirilməsi (ing. Model Evaluation)
- Operasiya (ing. Operation)

İlkin mərhələdə sözlər və siniflər emal olunur: məlumatlar seçilir, əsas söz və onunla bağlı beş yasaq söz birlikdə giriş verilənləri kimi götürülür. Giriş verilənləri tokenləşdirilərək maşın öyrənməsi üçün uyğun formata salınır. Daha sonra sinif kodlaşdırılması aparılır. İlkın emaldan sonra söz yerləşdirilməsi mərhələsinə keçid edilir. Bu mərhələ mətn vahidlərini (söz, cümlə və ya sənəd) çoxölçülü rəqəm vektorlarına çevirən üsuldur. Bu vektorlar məndəki mənaları və əlaqələri rəqəmsal formada ifadə etməyə imkan verir və maşın öyrənməsi modellərinin dili daha yaxşı başa düşməsinə təmin edir. Azərbaycan dili üçün söz yerləşdirmələrinin tətbiqi semantik münasibətlərin və mətnin dərin analizi baxımından əhəmiyyətli nəticələr vermişdir. Bundan əlavə, bu yanaşmalar ciddi oyunlarda mətn əsaslı tapşırıqların keyfiyyətini artırmaq və daha zəngin öyrənmə mühitləri yaratmaq üçün də uğurla inteqrasiya edilmişdir. Daha sonra müxtəlif mətn təsnifat modelləri tətbiq edilmiş və onların effektivliyi müqayisə olunmuşdur. Modellər əvvəlcə “Yasaq” bazasının Azərbaycan dilindəki alt versiyası üzərində öyrədilmiş, sonra isə İngilis dilində test edilərək dillərarası performans fərqlilikləri öyrənilmişdir. Nəticədə həm Azərbaycan, həm də İngilis dilində işləyə bilən çoxdilli ümumiləşdirilmiş model qurulmuşdur. Bu yanaşma modelə müxtəlif dillərin strukturlarını paralel öyrənmək imkanı vermiş, BERT-in hər iki dildə yüksək nəticə göstərdiyi müşahidə olunmuşdur. “Yasaq\_1.5K” oyununun üç kateqoriyalı versiyası üzərində tətbiq edilərək 81% və Movie Review məlumat bazasında isə 74% dəqiqlik alınmışdır. KNŞ əsaslı modellər işlərində də tətbiq

edilərək bu üsulun performansını müşahidə edilmişdir. Digər bir işdə Naïve Bayes modeli istifadə olunmuş və 65% dəqiqlik əldə edilmişdir. “Yasaq\_1.5K” bazası üzərində aparılan mətn təsnifatlarının sınaq dəqiqliyi cədvəl 1-də göstərilmişdir.

**Cədvəl 1**

**“Yasaq\_1.5K” məlumat dəstələri üzərində mətn təsnifatının sınaq dəqiqliyi**

<i>N</i>	<i>Təsnifat modeli</i>	<i>Söz yerləşdirilməsi</i>	<i>Test dəqiqliyi</i>
1	Çoxlaylı perseptron	CountVec	0.97
2	Çoxlaylı perseptron	Word2Vec	0.95
3	Çoxlaylı perseptron	TFIDF	0.98
4	Naïve Bayes	CountVec	0.94
5	Naïve Bayes	Word2Vec	0.87
6	Naïve Bayes	TFIDF	0.93

Sonrakı tədqiqatda isə genişləndirilmiş altı kateqoriyalı baza üzərində KNŞ və BERT modeli tətbiq olunmuş, nəticələrə əsasən KNŞ 78%, BERT 94% dəqiqliklə nəticələnmişdir<sup>15</sup>. Digər bir yanaşmada DBpedia ilə zənginləşdirilmiş mətnlər üzərində çoxlaylı perseptron, Naïve Bayes, BERT tətbiq edilmiş və semantik əlaqələrin daha yaxşı əks etdirildiyi müşahidə olunmuşdur. Cədvəl 2-də “Yasaq\_3K” məlumat dəstələri üzərində mətn təsnifatı sınaq dəqiqliyi göstərilmişdir. Həddən artıq öyrənmənin (overfitting) qarşısını almaq üçün, 3 epoch dözümlülüyü olan erkən dayandırma (ing. early stopping) strategiyası tətbiq edilmiş və doğrulama dəqiqliyi monitorinq üçün əsas meyar kimi götürülmüşdür. Yüksək dəqiqlik və F1 göstəricilərinə nail olmaqla, tədqiqat, transformator əsaslı modellərin çoxdillli mətn təsnifatında, hətta az resurslu dillər üçün belə, effektivliyini təsdiqləyir. Bu nəticələr, modelin müxtəlif dil

<sup>15</sup> Mammadli, A.A. Advancing serious games with multilingual deep learning // 6th International Boğaziçi Scientific Research Congress, – Boğaziçi: – 18-19 January, – 2025, – p. 1100–1106.

strukturlarını idarə etmək bacarığını və çoxdilli istifadəyə uyğunluğunu nümayiş etdirir.

## Cədvəl 2

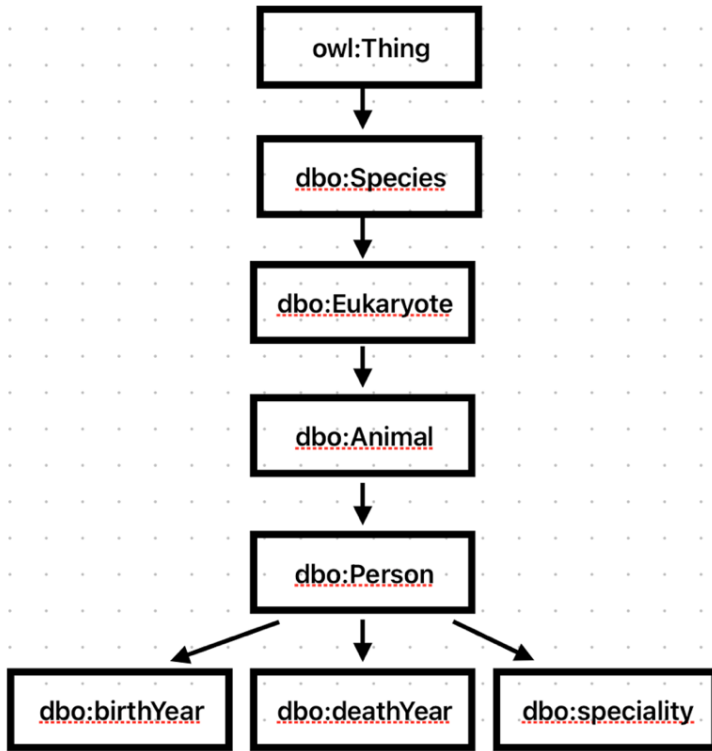
### “Yasaq\_3K” məlumat dəstələri üzərində mətn təsnifatının sınaq dəqiqliyi

<i>N</i>	<i>Təsnifat modeli</i>	<i>Söz yerləşdirilməsi</i>	<i>Test dəqiqliyi</i>
1	BERT	BERT	0.94
2	KNŞ	GloVe	0.81
3	Naive Bayes	TFIDF	0.90
4	Çoxlaylı perseptron	TFIDF	0.93

**3.2 paraqrafında** "Yasaq" oyununun izah edilə bilən süni intellektlə necə təkmilləşdirildiyi müzakirə olunur. Süni intellektin qərarlarını və oyunçulara verdiyi sözləri izah edə bilən sistemlər oyunçuların təcrübəsini daha şəffaf və anlaşılan hala gətirir. Oyun içərisində mətnlərin təsnifatı və analiz olunması bu bölmənin əsas tədqiqat sahələrindən biridir. Tədqiqat yalnız doğru təsnif etmək yox, həm də “qara qutu” modellərin qərarlarının izahını təmin etməkdir. Bunun üçün ontologiyalar, Wikipedia və DBpedia kimi strukturlaşdırılmış bilik bazaları istifadə edilir. Ontologiyalar vasitəsilə sözlər və anlayışlar arasında əlaqələr modelləşdirilir və sistemin qəbul etdiyi qərarların strukturlaşdırılmış bilik bazasını istifadə edərək məntiqi əsaslarla yoxlayır və ətraflı izah verməyə imkan yaradır. Beləliklə, oyunçulara və tədqiqatçılara modelin niyə bu və ya digər nəticəni verdiyi izah oluna bilər. DBpedia Vikipediya məlumatlarını strukturlaşdırılmış ontologiya halında saxlayan məlumat bazasıdır<sup>16</sup>. Məqsədi, insan və maşınların məlumatı semantik formada asanlıqla sorğulayıb istifadə edə bilməsidir. Məlumatları Resource Description Framework (RDF) formatında saxlayır və SPARQL sorğu dili ilə axtarış imkanı verir. RDF məlumatları

<sup>16</sup> Lehmann, J. DBpedia - A large-scale, multilingual knowledge base extracted from Wikipedia / J. Lehmann, R. Isele, M. Jakob [et al.] // Semantic Web, – Amsterdam: – 2015. 6 (2), – p. 167–195

subyekt–predikat–obyekt (üçlük) formatında ifadə etməyə imkan verən semantik veb standartıdır. Məsələn: "Paris – isCapitalOf – France". İşdə üç sinfə görə experimentlər aparılmışdır və hər sinfə görə struktur ağacı qurulur. Bu struktur ağacı ontologiyaya əsaslanır və struktur ağacı sayəsində məntiqi cavablar çıxarmağa kömək edir. Şəxs (ing. Person) sinfi üçün məntiqi çıxarış ağacı Şəkil 2-də göstərilmişdir. DBpedia məlumatlarına əsaslanaraq əgər söz şəxs kateqoriyasına aiddirsə həmin məhfumun doğum tarixi (ing. birthYear), ölüm tarixi (ing. deathYear) və ixtisas (ing. Speciality) xüsusiyyətləri olmalıdır.



Şəkil 2. Şəxs sinfi üçün DBpedia ontologiya əsaslı struktur ağacı mərhələləri

Kafi şərtlər olaraq həmin sözün ontologiyada ailə üzvləri, uğurları və s. xüsusiyyətləri varsa şəxs sinfinə aid ola bilər. Bu işdəki nəticələr zəruri şərtlər üzərində yoxlanılmış və kafi şərtlərlə uzadıla bilməsi experiment edilmişdir. İzah edilə bilən üsul 80% dəqiqliklə “qara qutu” olan maşın öyrənmə üsullarının nəticələrini düzgün təsnifat edib və nə üçün həmin sinfə aid olduğunu göstərir<sup>17</sup>. Bu nəticə yalnız kafi şərtlərə aiddir və əlavə xüsusiyyətlərlə genişləndirilib daha da artırmaq mümkündür. Şəxs, heyvan, qida, əşya, məkan və ixtisas kateqoriyaları üçün məntiqi çıxarış ağacı hazırlanmışdır.

**3.3 paraqrafında** AR-ın "Yasaq" oyununda necə istifadə olunduğu təhlil edilir. Mövcud texnologiyanın inkişafını nəzərə alsaq, demək olar ki, bütün mobil cihazlar AR-i dəstəkləyir, lakin cihazlar arasında fərqlər mövcuddur. Nəticə olaraq, artırılmış reallığın tətbiqi və ənənəvi oyunların dərin öyrənmə ilə zənginləşdirilməsi mövcud oyunların məhdudiyətlərini aradan qaldırır. Belə tətbiqlərin oyunçular üçün əlçatan edilməsi onların tələbatını daha da artıracaqdır. Bu oyunların təhsildə tətbiqi və bir çox fənnlərlə inteqrasiyası tələbələrin öyrənmə vərdişlərini artıracaq və təhsili daha əyləncəli şəkildə yadda saxlamalarına kömək edəcəkdir. Bu paraqrafda "Yasaq" tipli oyun üçün hazırlanmış artırılmış reallıq əsaslı prototipin texniki reallaşdırılması ətraflı şəkildə təsvir olunmuşdur. Klassifikasiya modeli əvvəlcə kartların siniflərini müəyyən edir. Daha sonra bu kartlar AR texnologiyası ilə fiziki və virtual məkanda vizuallaşdırılır. Oyunçular AR dəstəyi ilə real dünyada kartlar, obyektlər və məkanlar üzərində virtual informasiyaya çıxış əldə edir. AR texnologiyası həm oyun təcrübəsini daha immersiv edir, həm də mətnlərin fiziki məkanla inteqrasiyasını təmin edərək, oyunçulara daha təbii və realistik qarşılıqlı əlaqə imkanı yaradır<sup>18</sup>. Bundan əlavə,

---

<sup>17</sup> Mammadli, A.A., Ismayilov, E.A, Zanni-Merk, C. Explainability of text classification through ontology-driven analysis in serious games // – Amsterdam: Procedia Computer Science, – 2024. 246 (1), – p. 2128–2137

<sup>18</sup> Mammadli, A.A. Enhancing educational board games with augmented reality and deep learning // International Conference on Artificial Intelligence: from theory to practice, Nakchivan, – 4 November –2024, –p. 341-346

sistem şəkillər, videolar və digər media növlərini də təqdim edə bilər. Bu sistemi istifadə edərək fiziki kartların oyun süjeti AR markerlər və mobil cihazlar vasitəsilə real vaxtda zənginləşdirilir. Sistemin dəqiqliyini artırmaq məqsədilə ilkin emal texnikaları tətbiq olunmuşdur. Bu mərhələdə aşağıdakı addımlar həyata keçirilmişdir:

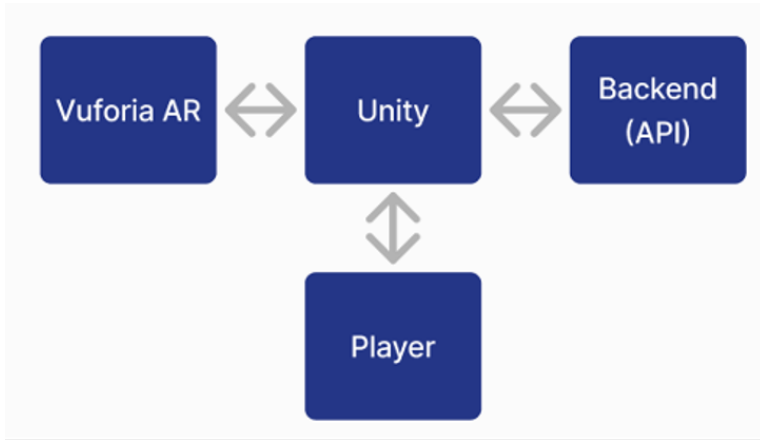
- Şəklın kontrast və kəskinlik səviyyəsinin artırılması,
- Təsadüfi piksel dəyişiklikləri və arxa mühitdən qaynaqlanan lazımsız səslərin (fon səs-küyünün) azaldılması məqsədilə Gaussian və Median filterlərinin tətbiqi,
- Binarizasiya (Otsu's thresholding) üsulu ilə mətnin fon üzərində seçilməsinin yaxşılaşdırılması.

Bu optimallaşdırma addımları nəticəsində, tanınmış mətnlərin dəqiqliyi 72%-dən 91%-ə qədər artırılmış və sistemin real şəraitdə istifadəyə uyğunluğu təmin olunmuşdur. Şəkil 3-də göstəriləyi kimi sistem struktur (ing. pipeline) diaqramı təsvir edilmişdir. Sistem oyunçunun daxil olması ilə başlayır. Unity real vaxtda skan edilmiş kartın xüsusiyyətlərini müəyyən etmək üçün Vuforia kompüter tanıma paketindən istifadə edir. Həll Vuforia-nın metodundan istifadə edərək davamlı izləmə (ing. tracking) və rəqəmsal materialın fiziki kart ilə uyğun şəkildə birləşməsinə təmin edir. Tam məlumat əldə etmək üçün sistem API vasitəsilə izah və kateqoriya sorğusu göndərir. Sorğulanan məlumat əldə edildikdə, API Unity-ə cavab qaytarır və bu məlumat artırılmış qat daxilində dinamik şəkildə göstərilir<sup>19</sup>. Bu struktur oyunçuların oyunu dayandırmadan real vaxtda vacib məlumatları əldə etməsinə imkan yaradır. Unity-nin seçilməsinin başlıca səbəblərindən biri onun AR Foundation modulunun həm ARKit (iOS), həm də ARCore (Android) ilə birbaşa uyğunlaşa bilməsidir. Bu modul vasitəsilə müxtəlif mobil cihazlarda eyni məntiq əsasında çalışan,

---

<sup>19</sup> Mammadli A.A., Ismayilov E.A. Enhancing user interaction through augmented reality interfaces // Mühəndis problemlərinin həllində idarəetmə və nəzarət məsələsində beynəlxalq konfrans – Baku, Azerbaijan – 13-14 March 2025, 2 (1),– p.1-4

platformadan asılı olmayan tətbiq hazırlamaq mümkündür. Unity, həmçinin Vuforia, Wikitude və EasyAR kimi əlavə AR SDK-larla da geniş inteqrasiya imkanı təqdim edir ki, bu da oyun mühitinin müxtəlif cihazlara uyğunlaşdırılmasını asanlaşdırır. Alternativ olaraq mövcud olan Unreal Engine yüksək keyfiyyətli 3D qrafika və fizika mühərrikləri ilə tanınsa da, onun AR sahəsindəki tətbiqi daha çox iri həcmli və resurs tələb edən layihələrə yönəlib. Həmçinin Unreal mühərrikinin istifadəçi interfeysinin mürəkkəbliyi və öyrənmə əyrisi bu dissertasiyanın tədris yönümlü və mobil platformalar üçün nəzərdə tutulmuş tətbiqi üçün uyğun deyildi.



**Şəkil 3. AR Tətbiqi üçün Sistem Arxitekturası**

Unity həmçinin aşağıdakı üstünlükləri ilə seçilir:

- Sadələşdirilmiş prototipləşdirmə: Prefab, UI Toolkit və komponent əsaslı dizayn modelinə əsaslanaraq interaktiv elementlərin sürətli hazırlanması;
- Çoxplatformalı dəstək: Eyni mənbə kodla Android, iOS və hətta WebGL üzərində tətbiqin çalışdırılması imkanı;
- Geniş sənədləşmə və icma: Problemlərin operativ həlli üçün minlərlə nümunə layihə və geniş inkişaf etdirici cəmiyyəti;
- Mobil performans: Daha yüngül tətbiqlərin hazırlanması üçün optimallaşdırılmış render mühərriki və aşağı gecikmə vaxtı.

Bütün bu xüsusiyyətləri nəzərə alaraq, Unity artırılmış reallıq əsaslı “Yasaq” oyununun hazırlanması üçün ən optimal və funksional seçim olmuşdur. Bu mühərrik vasitəsilə yaradılmış sistem həm texniki baxımdan sabitlik nümayiş etdirir, həm də tədris və oyun kontekstinə uyğun istifadəçi yönümlü dizayn prinsiplərini dəstəkləyir. Mobil tətbiq minimal hesablama gücü ilə real vaxtda BERT modelinin semantik gücündən faydalana bilir. Bu arxitektur yanaşma sistemin performansını və sabitliyini artırmaqla yanaşı, BERT modelinin çevik şəkildə yenilənməsi və genişləndirilməsini də asanlaşdırmışdır. Şəkil 4-də sistemin nəticəsinin AR görüntüsü təsvir edilmişdir.



**Şəkil 4. Oyunçu gözündən kartın AR və real nümunəsi**

Testlər Android platformasında Samsung Galaxy A52 və Xiaomi Redmi Note 11 cihazlarında aparılmışdır. Tətbiq AR görüntüləri problemsiz göstərmiş, OST tanıma dəqiqliyi orta hesabla 91% olmuşdur. Performans testi nəticəsində tətbiqin cavab müddəti 300-500 ms aralığında dəyişmişdir. iOS üzərində testlər Xcode simulator və iPhone 11, 15 cihazları ilə yerinə yetirilmişdir. AR və OST funksionallığı Objective-C bridge vasitəsilə uğurla uyğunlaşdırılmışdır. iOS versiyası üçün Vuforia SDK-nın 10.12

versiyası istifadə edilmişdir. Nəticə olaraq hər iki platforma üçün çıxış faylları (APK və IPA) real cihazlarda yüklənmiş və istifadəçi təcrübəsi müşahidə olunmuşdur.

## **DİSSERTASIYA İŞİNİN NƏTİCƏLƏRİ**

1. Azərbaycan dilində dərin öyrənmə əsaslı təsnifat modeli hazırlanmış, “Yasaq” oyunu mətnlərini semantik siniflərə ayırmaq üçün müxtəlif söz yerləşdirilməsi üsulları sınıanmış və BERT-in üstünlüyü (test dəqiqliyi 94 %-dək) təsdiqlənmişdir.

2. “Qara qutu” xarakterli üsulların qərarlarını izah etmək məqsədilə DBpedia ilə inteqrasiya olunmuş ontologiya əsaslı izah edilə bilən süni intellekt yanaşması işlənmişdir. Bu yanaşma vasitəsilə qərarlar DBpedia kimi bilik bazaları üzərində semantik əlaqələrlə əsaslandırılmış və istifadəçiyə izah oluna biləcək formada təqdim olunmuşdur.

3. “Yasaq” rəqəmsal ciddi oyunun azərbaycan və ingilis dillərini əhatə edən, tərcümə və optimallaşdırmadan keçmiş çoxdilli korpusu yaradılmışdır.

4. Mətnlərin təsnifatında Naive Bayes, KNŞ, çoxlaylı perseptron, BERT modelləri və müxtəlif söz yerləşdirilmə metodları üzərində eksperimentlər aparılmış və onların performansını müqayisə edilmişdir. Nəticələr göstərmişdir ki, klassik modellər kiçik ölçülü məlumat bazalarında qənaətbəxş nəticə versə də, BERT modeli çoxsınıfli və kontekstual təhlil tələb edən tapşırıqlarda ən yüksək nəticəni göstərmişdir.

5. Azərbaycan dilinin morfoloji xüsusiyyətlərinə uyğunlaşdırılmış ilkin emal strategiyası az resurslu dil məhdudiyətlərini aradan qaldırmışdır.

6. Unity üzərində qurulan oyun prototipi üçün artırılmış reallıq və dərin öyrənmə modelləri birləşdirilərək interaktiv “Yasaq” oyunu təqdim edilmişdir.

**Dissertasiyanın əsas müddələri aşağıdakı elmi işlərdə dərc edilmişdir:**

1. Mammadli, A.A., Sadikhova, G.N., Akbarov, N.Kh. Using image detection technologies in AR based gamification platforms // Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100 illik yubileyinə həsr olunmuş gənc tədqiqatçı və doktorantların respublika elmi konfransının materialları, –Baku: ASOIU,– 4-5 May,– 2023, – p. 351–356.

2. Mammadli, A.A., Ismayilov, E.A. Application of deep learning technologies in serious games // International Conference on Problems of Cybernetics and Informatics, – Baku: – 28-30 August, – 2023, – p. 1–4 (**Scopus**).

3. Mammadli, A.A., Ismayilov, E.A. Application of fuzzy deep learning to classify images // IEEE Publisher: Application of Information and Communication Technologies, Proceedings,– 2023. – p. 1–5 (**Scopus, WoS**).

4. Mammadli, A.A. Unlocking educational insights: integrating Word2vec embeddings and naive bayes classifier for serious game data analysis and enhancement // – Baku: Azerbaijan Journal of High Performance Computing, – 2023. 6 (2), – p. 191–198.

5. Mammadli, A.A., Ismayilov, E.A, Zanni-Merk, C. Explainability of text classification through ontology-driven analysis in serious games // – Amsterdam: Procedia Computer Science, – 2024. 246, – p. 2128–2137 (**Scopus**).

6. Mammadli, A.A. Enhancing educational board games with augmented reality and deep learning // International Conference on Artificial Intelligence: from theory to practice, – Nakchivan, – 4 November –2024, –p. 341-346.

7. Mammadli, A.A., Ismayilov, E.A. Combining fuzzy deep learning with HPC to classify images // Lecture Notes in Networks and Systems, Springer, – 2024, 1141, – p. 250–257 (**Scopus**).

8. Mammadli, A.A. Advancing serious games with multilingual deep learning // 6th International Boğaziçi Scientific Research Congress, – Boğaziçi: – 18-19 January, – 2025, – p. 1100–1106.

9. Mammadli, A.A. Application of deep learning for procedural content integration for learning serious games // – Baku: Proceedings of Azerbaijan High Technical Educational Institutions, – 2025. 48 (6), – p. 455–469.

**Müştərək çap olunmuş işlərdə müəllifin şəxsi rolu:**

- [1]- İdeya müəllifi, məsələnin qoyuluşu, nəticələrin təhlili;
- [2]- İdeya müəllifi, məsələnin həll üsulu, eksperimentlərin aparılması və nəticələrin təhlili;
- [3]- Məsələnin həll üsulu və kompüter simulyasiyası, verilənlərin emalı və nəticələrin təhlili;
- [5]- İdeya müəllifi, məsələnin həll üsulu, verilənlərin emalı, eksperimentlərin aparılması və nəticələrin təhlili;
- [7]- İdeya müəllifi, məsələnin həll üsulu, kompüter simulyasiyası, eksperimentlərin aparılması və nəticələrin təhlili.

Dissertasiyanın müdafiəsi 28 Aprel 2026-cı il tarixində saat 14:00-da Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.48 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1010 Bakı şəhəri, Azadlıq prospekti 16/21  
e-mail: info@asoju.edu.az

Dissertasiya ilə ADNSU PHŞ-nin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları ADNSU PHŞ-nin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 17.03 2026-cı il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

  
\_\_\_\_\_

**Çapa imzalanıb: 11.03.2026-cı il**  
**Kağız formatı: A5**  
**Həcm: 38879**  
**Tiraj: 100**