Rəqəmsal Kriminalistikada Ekspert Sistemlərinin Tətbiqi Problemləri və Onların Həlli Yollarının Araşdırılması

Tofiq Kazımov[1], Nərgiz Verdiyeva[2]
[1,2]İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
[1]*tofig@mail.ru*, [2]*nergiz_verdieva@mail.ru*

***Xülasə*— Rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı ilə rəqəmsal təhdidlərin mürəkkəbliyi artır və miqyası genişlənir. Bu kontekstdə rəqəmsal məlumatların toplanmasına, təhlilinə və şərhinə yönəlmiş rəqəmsal kriminalistika ayrıca bir sahə kimi formalaşmışdır. Aparılan istintaqların effektivliyini artırmaq üçün perspektivli vasitələrdən biri də toplanmış biliklərə əsaslanaraq qərar qəbuletmə proseslərini avtomatlaşdıran ekspert sistemləridir. Tədqiqat işində rəqəmsal kriminalistikada ekspert sistemlərinin tətbiqi problemləri və onların həlli yolları araşdırılır. Mövzu ilə əlaqəli son illərin elmi ədəbiyyatları təhlil edilərək, ən aktual problemlər müəyyən edilmişdir. İstintaq prosesinin effektivliyinin artırılması üçün ekspert biliklərinə və süni intellekt metodlarına əsaslanan yanaşma təklif edilmişdir.**

Açar sözlər*— *rəqəmsal kriminalistika; ekspert sistemləri; süni intellekt; maşın təlimi; hibrid sistemlər.

I. GİRİŞ

Son zamanlar kibertəhlükəsizlik məsələləri kompüter təhlükəsizliyi ilə yanaşı, getdikcə daha çox diqqət və maraq cəlb etməyə başlayır. Belə ki, kibertəhlükəsizlik artıq tək bir problem kimi deyil, müxtəlif növ təhdidləri əhatə edən çox sayda müxtəlif məsələlər toplusu kimi qəbul edilir [1]. Müasir rəqəmsal təhdidlərin mürəkkəbliyi və miqyası effektiv təhlil və həllər üçün qabaqcıl alətlər tələb edir. Bu baxımdan, rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı və kibercinayətkarlığın geniş yayılması ilə əlaqədar olaraq, rəqəmsal kriminalistika ayrıca bir sahə kimi meydana gəlmişdir.

Müasir ağıllı sistemlər mürəkkəb kibertəhdidləri aşkarlamaq, aradan qaldırmaq və onların qarşısını almaq üçün qabaqcıl imkanlar təklif edir. Xüsusən də süni intellekt (Sİ) və maşın təlimi (ML) əsaslı ağıllı sistemlər böyük məlumatları təhlil edir, nümunələri müəyyənləşdirir və davamlı inkişaf edən hücum üsullarına real-vaxt rejimində uyğunlaşa bilir. Bu sistemlər rutin təhlükəsizlik tapşırıqlarını avtomatlaşdırmaqla cavab müddətini azaldır və kiberhücumların təsirini minimuma endirir.

Süni intellekt metodlarından istifadə edərək insan təcrübəsini təqlid edən ekspert sistemləri bu sahədə perspektivli həll vasitələri hesab olunur. Qaydalara əsaslanan mühakimə və qərar dəstəyini ehtiva etməklə ekspert sistemləri tədqiqatçılara rəqəmsal sübutların təhlilini avtomatlaşdırmaqda, kriminalistik araşdırmaların səmərəliliyini və etibarlılığını artırmaqda kömək edə bilər.

Rəqəmsal kriminalistikada ekspert sistemlərinin praktik tətbiqi texniki, təşkilati və hüquqi çətinliklərlə məhdudlaşır. Bunlara, əsasən biliklərin əldə edilməsi və yenilənməsini, yeni təhdidlərə uyğunlaşma qabiliyyətini, məlumatların mürəkkəbliyi və həcmini, dəqiqlik və etibarlılıq problemlərini, mövcud kriminalistika alətləri ilə inteqrasiya çətinliklərini, hüquqi və etik məhdudiyyətləri, təhlükəsizlik risklərini və yüksək tətbiq xərclərini aid etmək olar. Kriminalistik araşdırmalarda bu çətinlikləri aradan qaldırmaq üçün ekspert sistemlərinin potensialından tam istifadə etmək vacibdir.

Bu tədqiqat, rəqəmsal kriminalistikada ekspert sistemlərinin praktik tətbiqində müəyyən edilmiş çətinliklərə əsaslanaraq, məhdudiyyətləri sistematik şəkildə araşdırmaq, onların istintaq proseslərinə təsirini qiymətləndirmək və bu sistemlərin effektivliyini və etibarlılığını artırmaq üçün strategiyalar təklif etmək məqsədi daşıyır. Tədqiqatda araşdırma, aşağıdakı şəkildə müəyyən edilmiş məqsədlərə müvafiq olaraq aparılmışdır:

1. Rəqəmsal kriminalistikada ekspert sistemlərinin mövcud vəziyyətinin təhlili;

2. Praktik tətbiqdə əsas çətinliklərin müəyyən edilməsi;

3. Bilik əldə etmə və uyğunlaşmanı təkmilləşdirmək üçün metodların qiymətləndirilməsi;

4. Ekspert sistemlərinin mövcud kriminalistikadakı işlərlə inteqrasiyasının qiymətləndirilməsi;

5. Şəffaflığın, hüquqi uyğunluğun və təhlükəsizliyin artırılması üçün həllərin təklif edilməsi;

6. Kriminalistik araşdırmalarda ekspert sistemlərinin effektivliyini qiymətləndirmək üçün qiymətləndirmə çərçivəsinin hazırlanmasının təmin olunması.

Tədqiqat, hüquqi uyğunluğu və əməliyyat səmərəliliyini təmin edərkən, sistemin etibarlılığını, uyğunlaşmasını və inteqrasiyasını təkmilləşdirmək üçün strategiyalar hazırlamağı hədəfləyir.

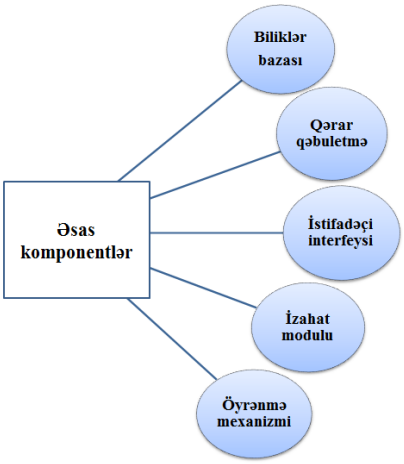
II. NƏZƏRİ ƏSASLAR

A *Ekspert sistemlərinin konsepsiyası*

Ekspert sistemi, ekspert qərar qəbuletmə proseslərini təqlid etmək üçün müəyyən bir sahədəki təcrübəni modelləşdirən qabaqcıl bir informasiya sistemidir. Mütəxəssislərin bilik və təcrübəsini əhatə etməklə, müəyyən bir sahədə ekspert biliklərini toplamaq və istifadə etmək üçün vasitələr təmin edir

DOI: 10.25045/forensic.gov.2026.34

və bununla da qərar qəbuletmə proseslərinin məhsuldarlığı və rəqabət qabiliyyətini artırır. Ekspert sistemi bilik bazası, qərar qəbuletmə modulu, istifadəçi interfeysi, izahat və öyrənmə modulu daxil olmaqla bir neçə əsas komponentdən ibarətdir (Şəkil 1).



Şəkil 1. Ekspert sisteminin strukturu

Bu komponentlər müəyyən bir sahədə insan təcrübəsini simulyasiya etmək üçün birlikdə işləyir və sistemin mühakimə yürütməsinə, qərar qəbul etməsinə və istifadəçilərə tövsiyələr və ya həllər təqdim etməsinə imkan verir. Hər bir komponentin layihələndirilməsi və tətbiqi qabaqcadan qoyulan tələblərindən və müvafiq sahənin xüsusiyyətlərindən asılıdır.

Ekspert sistemlərinin bir neçə əsas növü var (Şəkil 2):

- qayda əsaslı,
- məlumat çərçivəsi əsaslı,
- qeyri-səlis,
- neyron,
- hibrid,
- model əsaslı.

Qayda əsaslı ekspert sistemləri ən çox yayılmış növ olmaqla, nəticə çıxarmaq üçün "IF-THEN-ELSE" qaydalarından istifadə edir.

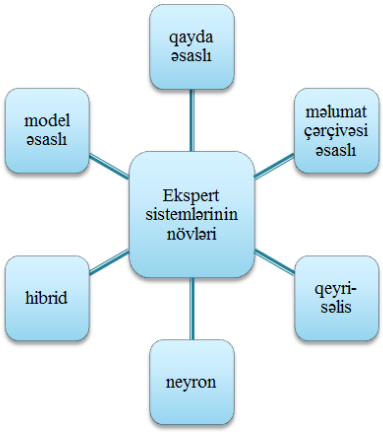
Məlumat çərçivəsinə əsaslanan ekspert sistemləri bilikləri sadə qaydalar əvəzinə strukturlaşdırılmış məlumat çərçivələri vasitəsilə təmsil edir və sistemin iyerarxik, obyekt yönümlü məlumatları səmərəli şəkildə emal etməsinə imkan verir.

Qeyri-dəqiq məlumatlarla işləmək üçün hazırlanmış qeyri-səlis ekspert sistemləri "doğru/yalan" qərarlar əvəzinə "qeyri-səlis məntiq"dən (həqiqət dərəcələri) istifadə edir.

Neyron ekspert sistemləri məlumatlardakı nümunələri öyrənmək və qərar qəbuletmə prosesini təkmilləşdirmək üçün neyron şəbəkələrini, qayda əsaslı məntiqlə birləşdirilir.

Qeyri-səlis neyron ekspert sistemləri neyron şəbəkələrinin öyrənmə imkanlarını qeyri-müəyyənlik altında qərar qəbuletmə imkanları ilə birləşdirən hibrid sistemlərdir.

Model əsaslı ekspert sistemləri yalnız evristikaya əsaslanmaq əvəzinə, diaqnoz qoyduqları sistemin strukturu və davranışı modelinə əsaslanır.



Şəkil 2. Ekspert sistemlərinin əsas növləri

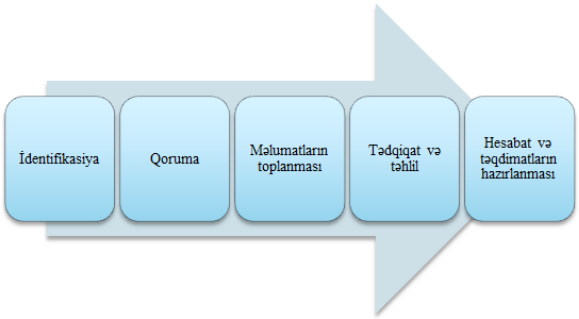
Ekspert sistemləri bir neçə onillik ərzində inkişaf etmiş və təkmilləşmişdir. Belə ki, ideya olaraq ekspert sistemləri 1960-cı illərdə ilk süni intellekt tədqiqatları ilə ortaya çıxmışdır. Logic Theorist və General Problem Solver maşınların düşünmə və problemləri həll edə bilmə bacarığını nümayiş etdirən ilk proqramlardan olmuşdur. Əsl ekspert sistemləri isə ilk dəfə 1970-ci illərdə ortaya çıxmışdır. Bunlar müəyyən sahələrdə mütəxəssislərin qərar qəbul etmə qabiliyyətini təqlid etmək üçün hazırlanmışdır. Diqqətəlayiq nümunələrdən kimyəvi analiz üçün nəzərdə tutulan Dendral və tibbi diaqnozlarda istifadə olunan MYCIN (antibiotik adlarının sonundakı "-mycin" şəkilçisindən götürülmüşdür) proqramlarını misal göstərmək olar. Bu sistemlər qərar qəbul etmək və tövsiyələr vermək üçün qaydalardan və bilik bazalarından istifadə edirdi. 1980-ci illərdə ekspert sistemləri səhiyyə, mühəndislik və maliyyə kimi sahələrdə daha geniş marağa səbəb oldu. Kompüter sistemlərinin konfiqurasiyası üçün nəzərdə tutulan XCON (Expert Configurer) kimi sistemlər bir çox real tətbiqlərdə geniş istifadə olunmağa başladı. Bu dövrdə həmçinin ekspert sistemlərinin yaradılmasını asanlaşdıran platformaların inkişafı da müşahidə edilirdi. 1990-cı illərə qədər ekspert sistemləri məhdud miqyaslana bilmə, qeyri-müəyyənliyin öhdəsindən gələ bilməmək və yüksək texniki xidmət xərcləri kimi çətinliklərlə üzləşmişdir. Lakin neyron şəbəkələrinin, qeyri-səlis məntiqin və maşın təliminin inteqrasiyası ilə daha çevik və adaptiv sistemlərin meydana gəlməsinə imkan verdi. Maşın təlimindəki irəliləyişlərlə ekspert sistemləri daha geniş süni intellekt platformalarına inteqrasiya olunmağa başladı. Hazırda ekspert sistemləri daha böyük süni intellekt sistemlərinin bir hissəsidir və diaqnostikadan müştəri xidmətlərinə qədər müxtəlif tətbiqlərə inteqrasiya olunur. Lakin artıq onlar biliklərin qaydalar əsasında təqdim edilməsindən maşın təliminə əsaslanan daha dinamik modellərə yönəlmişdir.

B *Rəqəmsal kriminalistikanın əsasları*

Rəqəmsal kriminalistika, rəqəmsal sübutların həm elmi cəhətdən dəqiq, həm də qanuni cəhətdən məqbul şəkildə aşkarlanması, təhlil edilməsi və təqdim edilməsi sahəsində fəaliyyət göstərir. O, rəqəmsal cihazlar, şəbəkələr və məlumat saxlama sistemləri ilə bağlı hadisələri araşdırmaq üçün hazırlanmış bir sıra metodologiyalar, alətlər və prinsipləri əhatə edir. Bu əsasları anlamaq, ekspert sistemlərinin kriminalistika

araşdırmalarına effektiv şəkildə inteqrasiyası üçün vacibdir.

Sübutların tamlığının təmin edilməsi üçün kriminalistika prosesi strukturlaşdırılmış və metodik olmalıdır. Proses aşağıdakı mərhələlərdən ibarətdir (Şəkil 3):



Şəkil 3. Kriminalistika prosesinin mərhələləri

İdentifikasiya: Potensial məlumat mənbələrinin və sorğunun əhatə dairəsinin müəyyən edilməsi.

Qoruma: Rəqəmsal məkanın təhlükəsizliyini təmin etmək və sübutların dəyişdirilmədən qorunması (məsələn, orijinal mühitin dəyişdirilməsinin qarşısını almaq üçün yazı bloklayıcılarından istifadə).

Məlumatların toplanması: Məlumatların dəqiq surətinin (kriminalistik surətlər) yaradılması, "sübutların mühafizəsi zənciri" qorunmaqla prosesin sənədləşdirilməsi.

Tədqiqat və təhlil: Məlumatların əldə edilməsi və istifadəçi fəaliyyətinin bərpası üçün xüsusi alətlərdən istifadə. Məsələn, silinmiş faylların bərpası və ya gizli artefaktların tapılması.

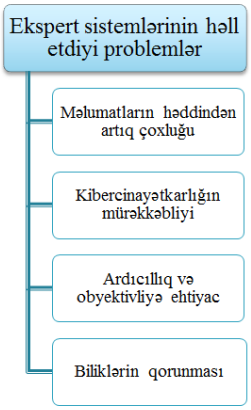
Hesabat və təqdimatların hazırlanması: Mütəxəssislər üçün nəticələri və istifadə edilmiş metodologiyanı təsvir edən dəqiq və hərtərəfli hesabatın hazırlanması.

Rəqəmsal kriminalistika hüquqi standartlar və qabaqcıl texniki təcrübələrə ciddi riayət edilməsini tələb edir. Sübutların mühafizəsi zənciri kimin, nə vaxt və hansı məqsədlə sübutlara daxil olduğunu izləməyi əhatə edir ki, bu da orijinallığın və bütövlüyün müəyyən edilməsi üçün vacibdir. Sübutların məhkəmədə qəbul oluna bilməsi (admissibility) onların relevant, orijinal və qanuni şəkildə əldə edilmiş olmasını (məsələn, axtarış orderlərindən istifadə etməklə) təmin etmək üçündür.

Bundan başqa, sübutların orijinal vəziyyətini qorumaq və təhlilin onu dəyişdirmədiyini sübut etmək, müstəntiqlərin məxfilik qanunlarına (məsələn, Ümumi Məlumatların Qorunması Qaydaları (General Data Protection Regulation – GDPR) riayət etməsini təmin etmək vacibdir.

C *Ekspert sistemləri və rəqəmsal kriminalistikanın qarşılıqlı əlaqəsi*

Rəqəmsal kriminalistika kontekstində ekspert sistemləri təhlili avtomatlaşdırmağa, insan səhvlərini azaltmağa və böyük həcmdə məlumatların işlənməsində müstəntiqlərə dəstək olmağa kömək edir. Ekspert sistemlərinin tətbiqi isə müasir rəqəmsal kriminalistikada yaranan aşağıdakı çətinlikləri aradan qaldırmağa kömək edir (Şəkil 4):



Şəkil 4. Rəqəmsal kriminalistikada ekspert sistemlərinin həll etdiyi problemlər

1. Məlumatların həddindən artıq çoxluğu. Bu gün, sərt disklərdə, bulud yaddaşında, şəbəkə qeydlərində və mobil cihazlarda, rəqəmsal kriminalistika araşdırmaları nəticəsində toplanan böyük məlumatlar müstəntiqlər tərəfindən təkbaşına səmərəli şəkildə emal edilə bilməz. Ekspert sistemləri isə müvafiq sübutları süzgəcdən keçirərək prioritetləşdirə bilər.

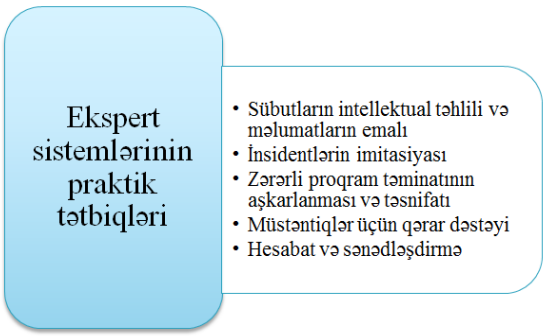
2. Kibercinayətkarlığın mürəkkəbliyi. Kiberhücumlar çox vaxt şifrələmə, qarışıqlıq və çoxmərhələli hücumlar kimi mürəkkəb üsulları əhatə edir. Ekspert sistemləri gizli əlaqələri aşkar etmək üçün strukturlaşdırılmış bilikləri (qaydalar, nümunələr) tətbiq edə bilər.

3. Ardıcıllıq və obyektivliyə ehtiyac. Tədqiqatçıların sübutları fərqli şəkildə şərh etməsi təcrübəyə və ya qərəzə əsaslanır. Ekspert sistemləri əvvəlcədən müəyyən edilmiş qaydalara əsaslanan ardıcıl mühakiməni təmin edir və bununla etibarlılığı artırır.

4. Biliklərin qorunması. Ekspert bilikləri çox vaxt təcrübəli mütəxəssislərin biliklərilə məhdudlaşır. Ekspert sistemləri bu bilikləri əldə edərək saxlayır, onu təkrar istifadə edilə bilən və daha az təcrübəli tədqiqatçılar üçün əlçatan edir.

III. EKSPERT SİSTEMLƏRİNİN RƏQƏMSAL KRİMİNALİSTİKADA TƏTBİQİ

Ekspert sistemləri praktik olaraq artıq bir neçə sahədə istifadə olunur (Şək. 5):



Şəkil 5. Ekspert sistemlərinin rəqəmsal kriminalistikada praktik tətbiqləri

1. *Sübutların intellektual təhlili və məlumatların emalı.*

Ekspert sistemləri, fayl sistemləri və şəbəkə qeydləri daxil

olmaqla bir neçə mənbədə olan rəqəmsal sübutların araşdırılmasını avtomatlaşdırır. Onlar silinmiş faylların bərpasına, fayl manipulyasiyasının aşkarlanmasına, qeydlərin təhlilinə və şübhəli nümunələrin müəyyən edilməsinə kömək edir və bununla da genişmiqyaslı məlumatların emalında səmərəliliyi və dəqiqliyi artırır.

2. İnsidentlərin imitasiyası.

Ekspert sistemləri zaman nişanlarını, sistem hadisələrini və istifadəçi fəaliyyətlərini əlaqələndirərək kiber insidentlərin yenidən qurulmasını dəstəkləyir. Bu da hərəkətlərin və davranışların sistemli şəkildə aparılması ardıcıl qrafikini yaratmağa imkan verir.

3. Zərərli proqram təminatının aşkarlanması və təsnifatı.

Ekspert sistemləri qaydalara əsaslanan mühakimə və davranışdan istifadə edərək zərərli proqram təminatını müəyyən edir və onları təsnif edir, nəticədə müstəntiqlərə kibertəhdidlərin təbiətini, mənşəyini və təsirini müəyyən etməyə imkan verir.

4. Müstəntiqlər üçün qərar dəstəyi.

Ekspert sistemləri analitik anlayışlar, tövsiyələr və sübutların mümkün şərhlərini təqdim etməklə, müstəntiqlərə ardıcıl, məlumatlı və obyektiv qərarlar qəbul etməyə kömək edir.

5. Hesabat və sənədləşdirmə.

Ekspert sistemləri strukturlaşdırılmış və standartlaşdırılmış məhkəmə ekspertiza hesabatlarının yaradılmasına, dəlillərin aydınlığını, tamlığını və hüquqi qəbuledilməzliyini təmin etməyə kömək edir.

Rəqəmsal kriminalistikada ekspert sistemlərinin aşkar üstünlüklərinə baxmayaraq, onların praktik tətbiqində bir sıra texniki, təşkilati və hüquqi çətinliklər də mövcuddur. Bu çətinlikləri təhlil edib anlamaq, ekspert sistemlərin effektivliyini, etibarlılığını və istifadəsini maksimum dərəcədə artırmağa imkan verir.

1) Biliklərin əldə edilməsinin çətinliyi

Ekspert sistemləri insan təcrübəsindən əldə edilən geniş bilik bazasına əsaslanır. Bu bilikləri əldə etmək çox vaxt çətindir, çünki ekspert kriminalistikadakı biliklərin çoxu gizli olur və hər bir işə xasdır, bu da onların qaydalara çevrilməsini çətinləşdirir. Həmçinin, kibertəhdidlər sürətlə təkmilləşir və biliklər bazasının davamlı yenilənməsini tələb edir. Bəzi hallarda köhnəlmiş, natamam, ziddiyyətli biliklər səhv nəticələrə gətirib çıxararaq sistemin etibarlılığını azaldır.

2) Uyğunlaşma qabiliyyətinin məhdudluğu

Qayda əsaslı ekspert sistemləri adətən aydın müəyyən edilmiş ssenarilərdə ən yaxşı şəkildə işləyir. Lakin, yeni və ya mürəkkəb kibertəhdidlər mövcud qaydalara riayət etməyə bilər. Statik sistemlər dinamik dəyişən rəqəmsal mühitə uyğunlaşmaqda çətinlik çəkir. İstisna halların idarə olunması isə çox vaxt insan müdaxiləsini tələb edir ki, bu da avtomatlaşdırmanın faydasını azaldır.

3) Məlumatların həcmi və mürəkkəbliyi

Rəqəmsal araşdırmalarda çox vaxt böyük həcmli və qeyri-bircins məlumat dəstlərindən istifadə edilir. Bunlara strukturlaşdırılmış qeydlər, verilənlər bazaları və şəbəkə trafikini, e-poçt, multimedia fayllarını və sosial media məzmunlu kimi strukturlaşdırılmamış məlumatları, şifrələnmiş və ya fraqmentləşdirilmiş faylları aid etmək olar. Ekspert sistemləri, giriş məlumatlarının ölçüsünə uyğun optimallaşdırılmadığı təqdirdə, nəticə çıxarma zamanı, performans çətinlikləri ilə üzləşə bilər.

4) Hüquqi və etik problemlər

Ekspert sistemlərində avtomatlaşdırılmış mühakimə məhkəmədə sübutların qəbul edilməsi ilə bağlı problemlər yarada bilər. "qara qutu" modeli şəklində qərar qəbuletmə nəticələrin izahını çətinləşdirir. Məhkəmələr isə sübutların təhlilində şəffaflıq və hesabatlılıq tələb edir. Bundan başqa, müstəntiqlər insan müdaxiləsi olmadan sistemin tövsiyələrinə həddindən artıq etibar etdikdə isə etik məsələlər ortaya çıxa bilər.

5) İnteqrasiya və təhlükəsizlik məsələləri

Ekspert sistemləri çox vaxt müstəqil tətbiqlər kimi hazırlanır və bu da ənənəvi kriminalistik proqram təminatları ilə uyğunsuzluq problemlərinə gətirib çıxarır. Bundan başqa, sistemdə boşluqlar olarsa, kiberhücumlar zamanı biliklər bazasına, qərarvermə blokuna (mühərrikinə), eləcə də məhkəmə ekspertizasının nəticələrinə zərər verə bilər.

IV. METODOLOGİYA

Mövzu üzrə son illərdə nəşr edilmiş elmi işlərin sistemli təhlili bu sahədə mövcud problemlərin müəyyən edilməsinə imkan verir.

Rəqəmsallaşmanın əhatə dairəsinin genişlənməsi ilə rəqəmsal kriminalistika alətlərinin sayı da artmaqdadır. Bu artım müstəntiqlərin doğru alətin seçilməsi zamanı müəyyən çətinliklərə gətirib çıxarır. İstintaq prosesində düzgün alətin seçilməsi çox vacibdir, çünki kriminalistika araşdırması prosesinin hər mərhələsi üçün fərqli bir yanaşma mövcuddur. Bu şərtləri nəzərə alaraq, [2] işində müəlliflər düzgün rəqəmsal kriminalistika alətini seçməyə və ekspert sistemindən istifadə etməyə kömək etmək üçün bir sistem layihəsini təqdim edirlər. Bu sistemə görə yeni bir qayda olduqda uyğun nəticə əldə etmək üçün hələ də ekspert təsdiqləməsinə ehtiyac var. Bu alətlər dəlilləri müəyyən etmək üçün olduqca təsirli olsa da, əsasən mütəxəssislər üçün köməkçi vasitə kimi istifadə olunur.

Rəqəmsal kriminalistikada yeni vasitələrdən – video sübutlarda və kriminalistika müsahibələrində şübhəli və ya şahid davranışlarını təhlil etmək üçün istifadə edilən ekspert sistemlərini göstərmək olar. Bu sistem insan emosiyalarının üz təqlidləri vasitəsilə tanınmasından istifadə (çox vaxt kompüter görməsi altında təsnif edilir) edir. Onlar, müxtəlif emosional vəziyyətləri müəyyən etmək üçün üz həndəsəsini və mikroifadələri təhlil etmək üçün qabaqcıl maşın öyrənməsindən, xüsusən də Konvolyusiya Neyron Şəbəkələrindən (CNN) istifadə edir. [3] işində müəlliflər emosiyaların tanınmasının məhkəmə və hüquqi təsirlərindən bəhs edirlər. Ənənəvi yanaşmaları müasir dərin təlim modelləri ilə birləşdirilməsi

səmərəli və etibarlı emosiya tanıma sistemləri qurmağı təmin edir. [4] işində isə CNN-dən istifadə edərək üz emosiyalarının aşkarlanması sistemi təqdim olunur. CNN modeli, görüntünün əvvəlcədən işlənməsini, xüsusiyyətlərin çıxarılması və görüntü təsnifatını həyata keçirərək emosiyaların aşkarlanması funksiyasını yerinə yetirir. Neyron şəbəkəsi daxilindəki hesablama modulları təsnifat dəqiqliyini artırmaq üçün şəkillərdən xüsusiyyətlər çıxarır.

[5] işində şəbəkə kriminalistikasında ən müasir vəziyyətin və ekspert sistemlərinin, maşın öyrənməsinin, dərin öyrənmənin və ansambl/hibrid yanaşmaların sahədəki bir sıra tətbiq sahələrinə tətbiqinin hərtərəfli icmalını təqdim edilir. Bunlara şəbəkə trafikinin təhlili, müdaxilələrin aşkarlanması sistemləri, Əşyaların İnterneti cihazları, bulud kriminalistikası, ağıllı şəbəkə kriminalistikası, nəqliyyat vasitələrinin kriminalistikası və s. daxildir.

Müasir elmi mənbələrdə rəqəmsal kriminalistikada süni intellektin tətbiqinin etik və hüquqi tərəfləri də müzakirə olunur. Məsələn, [6] işində müəlliflər məhkəmə araşdırmalarında Sİ texnologiyalarının tətbiqində etik və məxfilik məsələlərini həll etməyin vacibliyini vurğulayaraq, fərdi hüquqları qoruyarkən Sİ-nin faydalarından istifadə etmək üçün balanslaşdırılmış bir yanaşma təklif edirlər.

[7] məqaləsində, müəyyən bir işin konkret xüsusiyyətlərinə uyğunlaşdırılmış məhkəmə ekspertizası metodlarını tövsiyə etmək üçün irəliyə doğru nəticə çıxarma metodlarından istifadə edən ekspert sistemi təqdim olunur. Sistem, qərar qəbuletməni optimallaşdırmaq, əl ilə seçimdən asılılığı azaltmaq və insan səhvlərini minimuma endirmək üçün hərtərəfli bilik bazasını avtomatlaşdırılmış qayda tətbiqi ilə birləşdirir. Bundan başqa, dəyişikliklərin aşkarlanması, metaməlumatların yoxlanılması və aşağı keyfiyyətli video görüntülərin təhlili kimi ümumi videokriminalistika məsələlərini həll etməyə kömək edir. Sistemin miqyaslılığı və uyğunlaşma qabiliyyəti isə inkişaf edən kriminalistika metodologiyalarına və müxtəlif istintaq ssenarilərinə uyğunlaşmağa imkan verir.

Kriminalistik təhlil rəqəmsal artefaktlarda gizli sübutları aşkar etmək üçün maşın öyrənmə modellərinin imkanlarından istifadə edə bilər. [8] işinin müəllifləri maşın öyrənməsinə əsaslanan güclü rəqəmsal kriminalistika metodologiyalarının hazırlanması üçün lazım olan alətləri təqdim edirlər. Onlar rəqəmsal kriminalistikada istifadə olunan Sİ modellərinə tətbiq olunan metodların qiymətləndirilməsi, standartlaşdırılması və optimallaşdırılması üçün müxtəlif metodları araşdırırlar. Bu alətlərin rəqəmsal kriminalistikada tətbiqinə dair bir nümunə istifadə edərək, onların güclü və zəif tərəfləri müəyyən edilir ki, bu da məhkəmə proseslərində bu metodların qəbul edilməsi üçün çox vacib ola bilər.

İzah edilə bilən süni intellekt (Explainable AI – XAI) – öz nəticələri üçün izahat verən maşın öyrənmə alqoritmlərinin yaradılmasına yönəlmiş yeni bir tədqiqat sahəsidir. Hüquq-mühafizə orqanları kimi bir çox sahədə süni intellekt (Sİ) alətlərindən istifadə edərək verilən qərarların insanlar üçün əsaslandırıla bilən və izah edilə bilən olması vacibdir. [9] işində müəlliflər XAI-nın rəqəmsal kriminalistikada sübutların çeşidlənməsi və təhlilinin səmərəliliyini artırmaq potensialını araşdırır və mövcud ən müasir nümunələri başlanğıc nöqtəsi kimi istifadə edirlər. Bu məqsədlə, məlumatların təhlilinin səmərəliliyini artırmaq və araşdırmalara və potensial olaraq məhkəmədə istifadə edilə bilən artefaktların çıxarılması üçün XAI-dan istifadənin praktik və yeni ideyaları, eləcə də mübahisəli aspektləri müzakirə olunur.

Ənənəvi məhkəmə araşdırmalarında mütəxəssisin təcrübəsi araşdırmanın effektivliyində və səmərəliliyində mühüm rol oynayır. Bu araşdırma sistemində hesablama intellektinin tətbiqi səmərəliliyi və məhsuldarlığı artıracaq. [10] tədqiqatı bütün rəqəmsal məhkəmə ekspertizası prosesini optimallaşdıran Sİ əsaslı bir sistem təklif edir.

[11] işinin müəllifləri təhlilin dəqiqliyini avtomatlaşdırmaq və artırmaq üçün Sİ-dən istifadə edərək yaddaş məlumatlarının əldə edilməsi və təhlili prosesinin səmərəliliyi üçün yeni bir model təklif edirlər. Təchizat zəncirinin idarə edilməsi kontekstində yaddaş kriminalistikası ilə əlaqəli ehtiyac və çətinliklər, həmçinin kritik və həssas təchizat zəncirləri üçün məhkəmə ekspertizasına hazırlığı təmin etmək üçün bu modeldən istifadənin faydaları müzakirə olunur.

Ekspert sistemlərinin praktik tətbiqi sübutların müəyyən edilməsindən hesabatların yaradılmasına qədər, səmərəliliyin, ardıcıllığın və artan dəqiqliyin təmin edilməsinə qədər kriminalistik araşdırmaların mərhələlərini əhatə edir.

V. TƏKLİF OLUNAN HƏLLƏR VƏ TƏKMİLLƏŞDİRMƏLƏR

Rəqəmsal kriminalistikada istintaq prosesini aparan müstəntiqlərə kömək məqsədilə aşağıdakı kimi tövsiyələrin nəzərə alınması məqsədəuyğundur:

1) Hibrid sistemlərdən istifadə

Ekspert sistemləri maşın təlimi ilə inteqrasiya edildikdə, qaydaları əl ilə yeniləməyə ehtiyac olmadan yeni şablonlara avtomatik uyğunlaşmaoluna bilər. Qayda əsaslı mühakimə üçün proqnozlaşdırıcı modellərdən istifadə edilməsi sistemin əvvəllər görünməmiş təhdidləri idarə etməsinə imkan verir.

2) Biliklər bazasının təkmilləşdirilməsi

Rəqəmsal kriminalistika sürətlə inkişaf etdiyindən, ekspert sistemlərinin davamlı olaraq yenilənməsinə ehtiyacı var. Maşın təlimi alqoritmləri yeni cinayət nümunələri və ya rəqəmsal sübutlar kimi yeni məlumatlardan öyrənərək bilik bazasını yeniləyə bilir. Ekspert sistemləri müntəzəm olaraq yenilənən və yeni fayl formatları və ya hücum metodları aşkarlandıqca bilik bazasını avtomatik olaraq yeniləyən kriminalistika proqram təminatı ilə əlaqələndirilə bilər. Kriminalistika mütəxəssisləri sistemin nəticələri ilə bağlı rəy bildirə, bilik bazasını real hadisələr əasında təkmilləşdirə və yeniləyə bilərlər.

Akademik qurumlar, hüquq-mühafizə orqanları və sənaye nümayəndələri arasında əməkdaşlıq bilik bazasını gücləndirə bilər. Belə ki, çox sayda iştirakçıların öz tədqiqat nəticələrini və təcrübələrini paylaşması məlumatları operativ şəkildə yeniləməyə və müxtəlif baxış bucaqlarını nəzərə almağa kömək edir. Eyni zamanda, müxtəlif təşkilatlar biliklərini paylaşaraq kriminalistik təcrübələrini standartlaşdıra bilər, bu isə sistemin dəqiqliyinin və əhatə dairəsinin artmasına şərait yaradır.

Bu metodlar ekspert sisteminin müasir qalmasını təmin etməyə kömək edir.

3) Böyük məlumatların inteqrasiyası

Rəqəmsal kriminalistika tez-tez böyük həcmdə məlumatları işləyir.

Paylanmış sistemlərin arxitekturaları ekspert sistemlərinə geniş məlumat dəstlərini səmərəli şəkildə idarə etməyə və təhlil etməyə imkan verir. Bu sistemlər təhlili sürətləndirmək üçün paralel emaldan istifadə edir və bu da daha çox mənbədən (məsələn, cihazlar, şəbəkələr) əldə olunan məlumatların real-vaxt rejimində emal olunmasına imkan yaradır.

Bulud platformaları, müstəntiqlərə tələb üzrə hesablama resurslarına daxil olmaqla, kriminalistika təhlili üçün rahatlıq və miqyaslanma imkanı verir. Bulud əsaslı sistemlər böyük məlumat dəstlərini tez bir zamanda təhlil edə və saxlaya bilər, nəticələri komandalar arasında paylaşar və məlumatlara uzaqdan daxil ola bilər ki, bu daha çox məlumat mənbələrini əhatə edən mürəkkəb işlərin araşdırılmasını asanlaşdırar.

Deyilənlər rəqəmsal kriminalistika mütəxəssislərinə böyük, müxtəlif səpkili məlumat dəstlərini idarə etməyə kömək edir.

4) İzah edilə bilən süni intellekt (XAI)

İzah edilə bilən süni intellekt, süni intellekti məhkəmə iş proseslərinə inteqrasiya etməyə kömək edir, həm hesabatlılığı, həm də nəticələrin etibarlılığını artırır.

İzah edilə bilən süni intellekt, süni intellekt sistemləri tərəfindən verilən qərarların insanlar tərəfindən başa düşülən və tətbiq oluna bilənliyini təmin edir. Rəqəmsal kriminalistikada XAI, müstəntiqlərə nəticələrin (məsələn, müəyyənedici dəlillər və ya nümunələr) necə əldə edildiyini görməyə imkan verir və bu da onlara süni intellektlə bağlı əsaslandırma prosesini başa düşməyə kömək edir.

XAI, süni intellekt qərarlarını daha şəffaf etməklə məhkəmə mütəxəssisləri arasında etimad yaradır, onların sistemin nəticələrini yoxlaya və əsaslandıra biləcəklərinə zəmanət verir. Bu şəffaflıq, qərarların qəbul edilməsi üçün, onların məhkəmədə aydın şəkildə izah edilməsi və hüquqi kontekstlərdə əsaslandırılması üçün vacibdir.

5) Standartlaşdırma və çərçivələr (frameworks)

Standartlaşdırma və çərçivələr rəqəmsal kriminalistikada vahid yanaşma yaratmağa kömək edir, təşkilatlar və alətlər arasında ardıcıllığı, əməkdaşlığı və məlumat tamlığını artırır.

Standartlaşdırılmış protokollar müxtəlif alətlər və sistemlər arasında rəqəmsal sübutların işlənməsini, təhlilini və paylaşılmasını təmin edir. Bu protokollar kriminalistika müstəntiqlərinə ən yaxşı təcrübələrə əməl etməyə və sübutların emalında uyğunsuzluqları azaltmağa kömək edir.

Bu qarşılıqlı fəaliyyət standartları müxtəlif kriminalistika alətlərinin və sistemlərinin birlikdə problemsiz işləməsinə imkan verir. Həm də müxtəlif platformalar arasında məlumat mübadiləsi və əməkdaşlıq imkanı yaradır. Ümumilikdə standartlar, bir alət tərəfindən emal edilən sübutların digərində problemsiz istifadə olunmasını təmin edir, bununla da iş prosesinin səmərəliliyini və dəqiqliyini artırır.

6) Hüquqi uyğunluq mexanizmləri

Hüquqi uyğunluq mexanizmləri ekspert sistemlərinin hüquqi çərçivələr daxilində işləməsini təmin edir, məhkəmə ekspertizasının nəticələrinin etibarlılığını qoruyur və məhkəmə prosesini dəstəkləyir.

Ekspert sistemləri rəqəmsal kriminalistikada sübutların məhkəmədə qəbul edilməsini təmin etmək üçün sübutların saxlanma zənciri və məlumatların işlənməsi protokolları kimi hüquqi standartlara və prosedurlara riayət etməlidir. Bu sistemlər hüquqi mübahisələrin qarşısını almaq və nəticələrin məhkəmə proseslərində istifadə edilə biləcəyini təmin etmək üçün, bu qanunlara əməl etmək üçün hazırlanmışdır. Sübutlarla bağlı görülən hər bir hərəkət qeyd edilir, məhkəmə ekspertizası prosesi boyunca şəffaflığı və hesabatlılığı təmin edir. Hər bir addımın sənədləşdirilməsi, sübutların bütövlüyünü yoxlamaq və hüquqi tələblərə uyğunluğu təmin etmək üçün vacibdir.

7) Təhlükəsizliyin gücləndirilməsi

Təhlükəsizliyin gücləndirilməsi, şifrələmə, şəbəkə ekranı (firewall)və giriş nəzarəti kimi tədbirlərin tətbiqi ilə ekspert sistemlərinin kiberhücumlara qarşı dayanıqlığı məsələlərini özündə ehtiva edir. Bunlar icazəsiz girişin qarşısını alır və kriminalistika məlumatlarının və təhlil vasitələrinin dəyişdirilməsinin və ya istifadə olunmasının qarşısını alır.

Heş funksiyaları (hash functions) və rəqəmsal imzalar kimi toxunulmazlığın yoxlanılması metodları, ekspert sistemi tərəfindən emal edilən məlumatların dəyişdirilməməsini və ya korlanmamasını təmin edir. Bu metodlar kriminalistika nəticələrinin dəqiqliyini və etibarlılığını qoruyur və istintaq boyunca sübutların toxunulmaz qalmasını təmin edir.

NƏTİCƏ

Aparılmış araşdırmalar göstərir ki, ekspert sistemlərinin rəqəmsal kriminalistikada tətbiqi böyük perspektivlərə malikdir. Bu sahədə mövcud problemlərin tədqiqi üçün müasir elmi ədəbiyyatların təhlili, bu problemlərin həlli üçün müxtəlif yanaşmaları nəzərdən keçirməyə kömək edir. Bunların əsasında təklif olunan həllər rəqəmsal kriminalistika sahəsində qabaqcıl texnologiyaların tətbiqi vasitəsilə istintaq proseslərinin effektivliyinin artırılmasına gətirib çıxara bilər.

Bu həllərin tətbiqi kriminalistika araşdırmalarında ekspert sistemlərinin effektivliyini, etibarlılığını və tətbiqini əhəmiyyətli dərəcədə artıra bilər. Gələcək tədqiqatlar bu cür sistemlərin uyğunlaşma qabiliyyətini artırmağa və onları məlumatların intellektual təhlili metodları ilə inteqrasiya etməyə yönəldilə bilər.

ƏDƏBİYYAT

[1] K. Goztepe, "Designing Fuzzy Rule Based Expert System for Cyber Security", IJISS, vol. 1, no. 1, pp. 13–19, Apr. 2012.

[2] E. Ramadhani, E.G. Wahyuni, and H.R. Pratama, Design of expert system for tool selection in digital forensics investigation. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Vol. 852, No. 1, p. 012137. IOP Publishing, 2020, July.

[3] S.K. Mohiddin, S. Sharmila, and K. Slimani, Advanced Techniques in Facial Landmark Detection and Feature Extraction for Emotion-Aware AI Systems. In Emotion and Facial Recognition in Artificial Intelligence: Sustainable Multidisciplinary Perspectives and Applications (pp. 157-173). Cham: Springer Nature Switzerland, 2026.

[4] M. Senthil Sivakumar, T. Gurumekala, L.Megalan Leo, and R. Thandaiah Prabu, Expert System for Smart Virtual Facial Emotion Detection Using Convolutional Neural Network. Wireless Personal Communications, 133, № 4, pp.2297-2319, 2023.

[5] S. Rizvi, M. Scanlon, J. McGibney, and J. Sheppard, Application of artificial intelligence to network forensics: Survey, challenges and future directions. IEEE Access, 10, pp.110362-110384, 2022.

[6] O. Mykhaylova, T. Fedynyshyn, V. Sokolov, and R. Kyrychok, Person-of-interest detection on mobile forensics data—AI-driven roadmap. Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems 2024, 3654, pp.239-251, 2024.

[7] E. Ramadhani and R. Nurdin. "Leveraging AI to Revolutionize Video Forensics: Developing an Expert System for Method Selection." International Journal on Advanced Science, Engineering & Information Technology, vol.15, № 3, 2025.

[8] A.A. Solanke and M.A. Biasiotti, Digital forensics AI: evaluating, standardizing and optimizing digital evidence mining techniques. KI-Künstliche Intelligenz, 36, № 2, pp.143-161, 2022.

[9] S.W. Hall, A. Sakzad and K.K.R. Choo, Explainable artificial intelligence for digital forensics. Wiley Interdisciplinary Reviews: Forensic Science, vol. 4, №2, p.e1434, 2022.

[10] S.K. Punjabi and S. Chaure, June. Forensic intelligence-combining artificial intelligence with digital forensics. In 2022 2nd International Conference on Intelligent Technologies (CONIT) pp. 1-5, IEEE, 2022.

[11] S. Dangi, K. Ghanshala and S.Sharma, HOLMES: artificial intelligence enabled expert system for efficient acquisition and analysis using live memory forensics. In 2024 International Conference on Innovations and Challenges in Emerging Technologies (ICICET) pp. 1-5. IEEE, 2024, June.

Research on the Problems of Applying Expert Systems in Digital Forensics and Their Solutions

Tofig Kazimov[1], Nargiz Verdiyeva[2]
[1,2]Institute of Information Technology, Baku, Azerbaijan
[1]tofig@mail.ru, [2]nergiz_verdieva@mail.ru

Abstract- With the rapid development of digital technologies, the complexity of digital threats is increasing and their scale is expanding. In this context, digital forensics, which focuses on the collection, analysis and interpretation of digital data, has emerged as a separate field. One of the promising tools for increasing the effectiveness of investigations is expert systems that automate decision-making processes based on the accumulated knowledge. The research study examines the problems of applying expert systems in digital forensics and ways to solve them. The scientific literature related to the topic of recent years has been analyzed and the most pressing problems have been identified. An approach based on expert assessments and artificial intelligence has been proposed to increase the effectiveness of the investigation process.

Keywords- digital forensics; expert systems; artificial intelligence; assessment.