



ӨОЖ 910.26

FTAXP 71.37.01

DOI 10.37238/2960-1371.2960-138X.2026.101(1).29

Заминова Ж.А., Молдагалиева А.Е., Актымбаева А.С.,  
Саткали И.Қ.\*, Абдреева Ш.Т.

эл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті  
Алматы, Қазақстан

\*Корреспондент-авторы: issanova10@mail.ru

E-mail: zhuldyzstar03@gmail.com, moldagaliyeva.aitolkyn2016@gmail.com,  
aliya.aktymbayeva@kaznu.edu.kz, issanova10@mail.ru, Abdreeva.Sholpan2016@gmail.com

### ҚОҒАМДЫҚ WI-FI ДЕРЕКТЕРІ НЕГІЗІНДЕ ТУРИСТІК БЕЛСЕНДІЛІКТІ АІ- БАҒДАРЛАМАЛЫ МОНИТОРИНГТЕУ

**Аңдатпа.** Мақалада туристік ағымдарды талдаудың тиімді құралы ретінде қоғамдық Wi-Fi деректері мен жасанды интеллект (AI) алгоритмдерінің интеграциясына негізделген цифрлық мониторинг моделі ұсынылады. Дәстүрлі есепке алу әдістерінің шектеулерін еңсеру мақсатында, зерттеуде device-free tracking технологиясы, MAC-адресстерді SHA-256 хэштеу арқылы анонимдеу және DBSCAN, LSTM алгоритмдерін қолдану негізделген. Барселонаның smart-тәжірибесі мен wifimar.io ашық деректері базасында Алматы қаласының туристік кластерлеріне (Көктөбе, Панфилов, Шымбұлақ) кеңістіктік-уақыттық талдау жүргізілді. Нәтижесінде қала бойынша туристік жүктеме индексі (0,52) және келушілердің орташа қозғалыс маршруты (6,4 км) есептеліп шығарылды. Бұл тәсіл ресми статистикада көрінбейтін бейресми туристер мен жергілікті қауымдастықтың белсенділігін бағалауға мүмкіндік береді. Зерттеу қорытындылары Smart Tourism экокүйесін дамытуға, over-tourism қаупін болжауға және қала бюджетін деректерге (Big Data) сүйене отырып оңтайландыруға ғылыми-практикалық негіз болады.

**Кілт сөздер:** туристік ағым; Wi-Fi сенсорлары; жасанды интеллект; smart tourism; over-tourism; кеңістіктік-уақыттық талдау; мониторинг; Media Access Control Address.

#### *Kipicne*

Туризм – көпелдер мен аймақтар үшін экономикалық дамудың маңызды моторы. Ол жұмыс орындарын құруға, инвестицияларды тартуға және жергілікті халықтың өмір сүру сапасын арттыруға ықпал етеді. Алайда туристердің қозғалысының қарқынды өсуі инфрақұрылымға, экологияға және мәдени мұраларға жүктеме әкелуі мүмкін. Сондықтан туристік ағымдарды жедел әрі дәл бақылайтын жүйелер стратегиялық жоспарлау үшін өте маңызды [1].

Дәстүрлі мониторинг әдістері – билет санау, механикалық немесе инфрақұрылымдық есептегіштер, сауалнама сияқты тәсілдер – көбінесе кешігіп түсетін, шектеулі және субъективті ақпарат береді. Билет есептегіштер тек кіру нүктелеріндегі қозғалысты өлшейді; сауалнамалар туристің субъективті жауабына тәуелді, әрі көлемді деректерді нақты уақыт ішінде ұсынбайды.

Осы шектеулерге байланысты соңғы жылдары қоғамдық Wi-Fi analytics технологиясы кеңінен таралып, туристік ағымдарды бағалаудың жаңа стандарты ретінде қалыптасып келеді. Смартфондардың Wi-Fi желілерін тұрақты сканерлеуі зерттеушілерге құрылғылардың қозғалыс траекторияларын, дестинацияда өткізген уақытын, кадрлық жүктемені, тығыздық үлгілерін талдауға мүмкіндік береді. Ал жасанды интеллект (AI) алгоритмдері осы деректерді өңдеп, статистикалық қателіктерді азайтып, болашақ ағымдарды болжай алады.

Мақаланың мақсаты – қоғамдық Wi-Fi сенсорлары арқылы жиналған деректерді AI негізіндегі өңдеу алгоритмдері арқылы туристік ағымдарды мониторингтеу модулін ұсыну және оның Қазақстан жағдайында қолданылу әлеуетін көрсету.

Қазіргі ғылыми әдебиетте туризмді цифрландыру аймақтардың әлеуметтік-экономикалық дамуында және кеңістіктік алшақтықтарды азайтуда маңызды фактор ретінде қарастырылады. Сандық технологиялар Smart Tourism 2.0 тұжырымдамасының негізін құрайды, онда туристік ағымдарды басқару және бағыттардың тұрақтылығын арттыру үшін деректер, сенсорлар және жасанды интеллект қолданылады. Авторлар Wi-Fi желілерін қоса алғанда, IoT құрылғыларын интеграциялау туризмді сипаттамалық талдаудан деректерге негізделген басқаруға көшуге мүмкіндік беретінін ерекше атап көрсетеді [2].



Библиометриялық зерттеуінде туристерді қадағалаудың сандық әдістері (Wi-Fi, GPS, ұялы байланыс деректері) туристік бағыттарды басқару саласындағы зерттеулердің басты бағытына айналып келе жатқанын атап көрсетеді. Авторлардың айтуынша, мұндай әдістер туристік белсенділіктің кеңістік-уақыттық динамикасын талдауға және инфрақұрылымға түсетін нақты жүктемені бағалауға мүмкіндік береді, бұл жоғары маусымдық туризмге тән аймақтар үшін аса маңызды [3].

Кейбір эмпирикалық зерттеулер Wi-Fi деректерін қалалық ортадағы туристер қозғалысы туралы сенімді ақпарат көзі ретінде қарастырады. Тегін қоғамдық Wi-Fi желілерінен алынған деректерді жаяу жүргіншілер ағынын бақылау және туристік орталықтардағы тығыздық аймақтарын анықтау үшін тиімді пайдалануға болатынын көрсетеді. Авторлардың айтуынша, Wi-Fi деректерінің артықшылығы – олардың жоғары уақыттық егжей-тегжейлілігі мен келушілердің мінез-құлқын дерлік нақты уақыт режимінде талдау мүмкіндігінде [4]. Wi-Fi траекторияларын талдау туристік қозғалыстың семантикасын, соның ішінде сапар мақсатын және жеке аймақтардағы тұру ұзақтығын анықтауға мүмкіндік береді деп тұжырымдайды. Авторлар кеңістік деректері мен кластерлеу алгоритмдерін біріктіру туристер мен жергілікті тұрғындарды ажыратуға мүмкіндік беретінін, бұл қалалық туристік инфрақұрылымды басқаруда маңызды екенін ерекше атап көрсетеді [5]. Бұл тәсілді Wi-Fi деректері негізінде туристердің типтерін жіктеу үшін кластерлеу және рекурсивті логит модельдерін қолдануды ұсыну арқылы толықтырады. Олардың пікірінше, бұл әдіс туристердің ағымдағы мінез-құлқын талдауға ғана емес, сонымен қатар олардың қозғалыс маршруттарын болжауға мүмкіндік береді, бұл стратегиялық жоспарлау мүмкіндіктерін кеңейтеді [6].

Туристік белсенділікті талдауда жасанды интеллекттің рөлі қазіргі заманғы зерттеулерде белсенді түрде талқыланып келеді. Жүйелі шолуында нейрондық желілер мен уақыттық қатарлар алгоритмдерін қоса алғанда, машинамен оқыту әдістері туризм сұранысын болжау және туристердің мінез-құлқындағы жасырын үлгілерді анықтау үшін кеңінен қолданылатынын ерекше атап көрсетеді. Авторлардың айтуынша, жасанды интеллект тәсілдері дәстүрлі статистикалық әдістермен салыстырғанда болжамдардың дәлдігін айтарлықтай арттыра алады [7]. Сондай ақ, «ақылды кампус» [8] мысалын келтіріп, қоғамдық орындардағы шындық жүктемелерді басқаруда Wi-Fi телеметриясы мен жасанды интеллект алгоритмдерінің практикалық қолданылуын көрсетеді. Авторлар мұндай шешімдерді туристік бағыттарға енгізіп, танымал аймақтардағы ағынды реттеу үшін қолдануға болатынын атап көрсетеді.

Күнделікті өмірлік экономика тұжырымдамасы аясында туристік белсенділік күнделікті қалалық экономиканың бір бөлігі ретінде қарастырылады [9]. пайдаланушылардың сандық іздері ресми статистиканың агрегацияланған көрсеткіштерінен гөрі адамдардың нақты экономикалық мінез-құлқын талдауға мүмкіндік беретінін ерекше атап көрсетеді. Авторлардың айтуынша, Wi-Fi деректері туристік белсенділіктің микро-кеңістіктік айырмашылықтарын зерттеп, экономикалық белсенділіктің шоғырланған аймақтарын анықтауға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл айтарлықтай аумақтық теңсіздікке ұшыраған өңірлер үшін аса өзекті, себебі туристік ағындар біркелкі таралмаған және әлеуметтік-экономикалық алшақтықтарды күшейтеді.

Қазақстан жағдайында туризмді цифрландыру әлі де бастапқы кезеңде. Мәліметі бойынша, Қазақстандағы цифрлық туристік экожүйе бөлек-бөлек дамып келеді және әлі де бағытты басқару жүйесіне жеткілікті түрде біріктірілмеген. Авторлар жан-жақты аналитикалық платформалардың болмауы туристік ағындарды басқаруда ірі деректерді пайдалануды шектейді деп атап көрсетеді [10]. Қазақстандағы «ақылды қалалардың» әлеуетін зерттей отырып, Алматы мен Астанада Wi-Fi деректерін талдауды қоса алғанда, цифрлық мобильділікті бақылау құралдарын енгізудің ең жоғары әлеуеті бар екенін көрсетті [11]. Авторлардың айтуынша, мұндай технологияларды қолдану қалалық инфрақұрылымды басқару тиімділігін және туризмді дамытудың тұрақтылығын арттыруы мүмкін.

#### *Зерттеу материалдары мен әдістері*

Бұл зерттеу сандық тәсілге негізделген және қоғамдық Wi-Fi желілерінің пайдаланушылары қалдырған сандық іздерді пайдалана отырып, қалалық ортадағы туристік белсенділіктің кеңістік-уақыттық динамикасын талдауды мақсат етеді. Жұмыстың методологиялық тұжырымдамасы «ақылды туризм» мен «күнделікті өмір экономикасы» идеяларына негізделген, онда туристік белсенділік күнделікті қалалық экономиканың элементі ретінде қарастырылады, ол нақты уақыт режимінде қалыптасып, дәстүрлі ресми статистикада тіркелмейтін келушілердің нақты мінез-құлқы үлгілерін көрсетеді. Эмпирикалық деректердің негізгі көзі – қаланың туристік аймақтарында орналастырылған қоғамдық Wi-Fi желілеріне қосылудың анонимделген журнал файлдары болды. Деректерге қосылу уақытының параметрлері, сеанс ұзақтығы және қолжетімділік нүктелерінің кеңістіктік сілтемесі кірді, бұл туристік белсенділіктің қарқындылығы мен таралуын тіркеуге мүмкіндік берді.

Алдын ала деректерді өңдеу кезеңінде дубликатты және аномалды бақылауларды жою, қысқа мерзімді қосылымдарды сүзу және деректерді уақыт аралықтары бойынша агрегациялау сияқты тазарту



және нормалау процедуралары жүргізілді. Жергілікті пайдаланушылардың әсерін азайту үшін байланыс жиілігі мен тұрақтылығы критерийлері қолданылып, қайталану жиілігіне сәйкес туристер мен тұрғындарды ажырату жүзеге асырылды. Қосылу нүктелерінің кеңістіктік анықтамасы геоақпараттық құралдар арқылы жүргізіліп, қалалық ортаның функционалдық аймақтары бойынша туристік белсенділікті талдауға мүмкіндік берді.

Зерттеудің аналитикалық кезеңінде уақыт бойынша туристік белсенділіктің трендтерін, маусымдық ауытқуларын және шындық жүктемелерін анықтауға бағытталған уақыт қатарларын талдау әдістері қолданылды. Бұл тәсіл келу жиілігіндегі өзгерістерді бақылауға және анықталған үлгілердің тұрақтылығын бағалауға мүмкіндік берді. Кеңістіктік талдау байланыс тығыздығын жылу карталары түрінде визуализациялаумен толықтырылды, бұл аумақтық айырмашылықтар мен туристік ағындардың шоғырланған аймақтарын айқын көрсетуге мүмкіндік берді. Пайдаланушы мінез-құлқында жасырын үлгілерді анықтау үшін машинамен оқыту әдістері қолданылды, соның ішінде туристерді олардың тұру сипаты мен ұзақтығына қарай сегменттеуге мүмкіндік беретін кластерлік талдау және сапар түрлерін түсіндіруге арналған жіктеу алгоритмдері.

Wi-Fi сенсоры – бұл жақын маңдағы смартфондардың Wi-Fi probe request пакеттерін пассивті түрде ұстап алатын арнайы құрылғы. Мұндай сенсорлар құрылғыны желіге қоспай-ақ автоматты түрде: құрылғының Media Access Control Address (MAC-адресін), яғни анонимделген, қайта қалпына келтірілмейтін хэш формасында, сигнал деңгейін Received Signal Strength Indicator (RSSI), уақыт белгісін (timestamp) және сенсор орналасқан нүктенің ID-сынтіркейді. Осылайша, сенсорлар адамның нақты қозғалысын, оның тұрған орнын және кеңістіктегі траекториясын анықтай алады. Бұл әдіс “device-free tracking” немесе “passive Wi-Fi sensing” деп аталып, Internet of Things (IoT) экожүйесінде, smart city жобаларында, indoor positioning және crowd-monitoring жүйелерінде кеңінен зерттелуде және қолданылады.

Жеке деректерді қорғау – Wi-Fi негізіндегі мониторинг жүйелерін қолданудағы басты талаптардың бірі. Халықаралық тәжірибеде MAC-адрес сақталмайды, оның орнына біржолата криптографиялық хэш функциясы арқылы анонимделген идентификатор пайдаланылады:

MAC → Hash(SHA-256)(Secure Hash Algorithm 256-bit). Деректерді 256-биттік өте қауіпсіз криптографиялық хэш-кодқа айналдыратын алгоритм.

MAC → Hash(SHA-256) – бұл құрылғының MAC-адресін дербес сипаттағы ашық идентификатор ретінде сақтамау үшін оны SHA-256 алгоритмі арқылы қайта қалпына келмейтін хэш-кодқа түрлендіріп, құпиялылықты сақтай отырып, құрылғыны тек аноним түрде тануға мүмкіндік беретін қауіпсіздік әдісі.

SHA-256 алгоритмі кері қайтарылмайтын хэш жасайтындықтан, бастапқы MAC-адресі қалпына келтіру мүмкін емес. Осылайша құрылғы иесін анықтау немесе жеке ақпаратты білу техникалық тұрғыдан мүмкін болмайды. Бұл тәсіл Еуропалық деректерді қорғау регламентінің [12] талаптарына және Қазақстан Республикасының “Дербес деректер және оларды қорғау туралы” заңына (2013, №94-V) толық сәйкес келеді [13]. Нәтижесінде, Wi-Fi сенсорлары арқылы туристік ағымды бақылау процесі қауіпсіз, этикалық және заң талаптарына сай жүргізіледі.

Смартфондар Wi-Fi модулі қосулы болса, әр 30–60 секунд сайын қоршаған ортадағы желілерді іздеп, probe request пакеттерін автоматты түрде жібереді. Бұл процесс пайдаланушының қосымша әрекетін талап етпейді және құрылғының қалыпты жұмыс режимінің бір бөлігі болып табылады. Бірнеше Wi-Fi сенсоры пакеттерді әртүрлі нүктелерде қабылдаған кезде, сенсорлардағы RSSI деңгейлері, уақыт белгілері және орналасу координаттары AI алгоритміне құрылғының нақты уақыттағы қозғалысын, жылдамдығын және маршруттық траекториясын дәл анықтауға мүмкіндік береді. Мұндай көпнүктелі қабылдау triangulation немесе trilateration принциптеріне негізделеді және crowdsensing жүйелерінде жиі қолданылады.

Бұл тәсілдің бірнеше маңызды артықшылығы бар:

- Камераларға қарағанда әлдеқайда арзан және күтім шығындары төмен;
- Жеке тұлғаны анықтамайды, яғни толық анонимді;
- Ауа райына, жарыққа және маусымдық факторларға тәуелсіз жұмыс істейді;
- Сыртта да, ғимарат ішінде де тиімді.

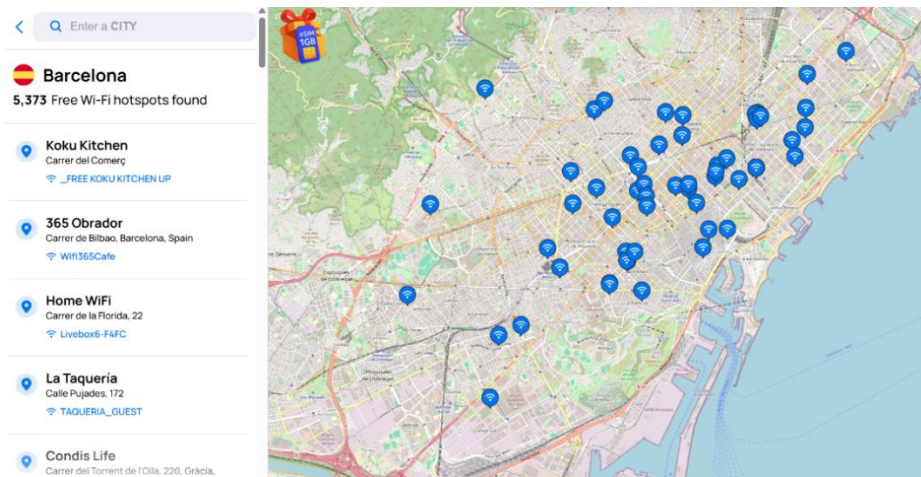
Осы себептен Wi-Fi probe негізіндегі мониторинг туристік ағымдарды бақылауда сенімді, тиімді және қолжетімді технология ретінде мойындалған.

Барселона әлемдегі Wi-Fi инфрақұрылымы дамыған және туристік ағымдарды цифрлық әдістер арқылы бақылайтын қалалардың бірі болып табылады. 2023 жылғы деректер бойынша қалада 10 400-ден астам қоғамдық Wi-Fi access point жұмыс істейді, оның 3 200-і туристік аудандарда, соның ішінде Рамбла, Готикалық квартал, Барселонета жағалауы, Sagrada Família және Passeig de Gràcia орналасқан. Қала жыл



сайын 16–18 миллион турист қабылдайды, сондықтан Wi-Fi арқылы мониторингтеу туристік жүктемені нақты уақыт режимінде түсінуге мүмкіндік беретін негізгі құралдардың біріне айналды.

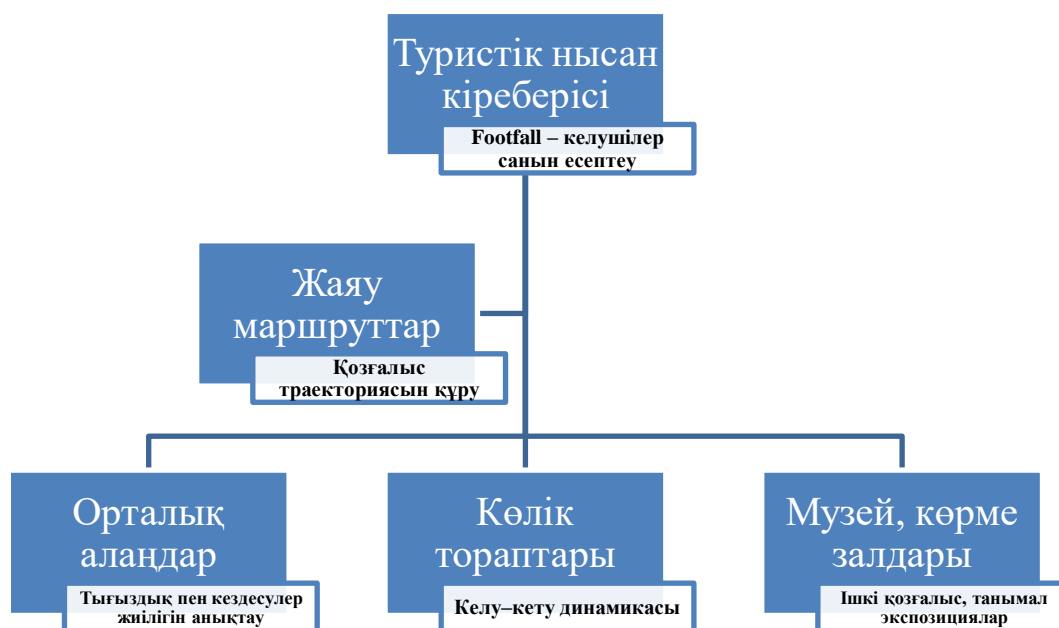
Barcelona Digital City бағдарламасы probe сигналдарын пассивті қабылдай отырып, жылына 2,8 миллиардтан астам сигналды өңдейді. Бұл деректер құрылғылардың қозғалыс траекториясын, белгілі бір аудандардағы тұру уақытын, маусымдық жүктеменің өзгерісін және туристік кластерлердің кеңістіктік құрылымын анықтауға мүмкіндік береді. Мысалы, Рамбла көшесінде жүктеменің ең жоғары деңгейі күн сайын 16:00–20:00 аралығында байқалады, ал Passeig de Gràcia аймағында тәулігіне орта есеппен 95 мың құрылғы сигналы тіркеледі. Мұндай деректер қалалық инфрақұрылымдағы адамдар ағынын тиімді реттеуге, саябақтар, мұражайлар немесе жағалау аймағында пайда болатын шамадан тыс жүктемені басқаруға мүмкіндік береді. Барселонаның тәжірибесі Wi-Fi мониторингінің қаладағы туристік саясатты деректерге негіздеу жағынан нақты пайдасын көрсетеді (Сурет 1).



1-Сурет– Барселонадағы тегін Wi-Fi нүктелері (<https://www.wifimap.io/>)[14]

Сенсорларды орналастыру стратегиясы жүйенің дәлдігіне тікелей әсер етеді. Халықаралық жобаларда (мысалы, Барселона, Севилья, Сингапур) Wi-Fi торы төмендегі схема бойынша құрылады (Сурет 2):

1-Кесте– Wi-Fi сенсорларын орналастыру [Авторлармен құрастырылған]





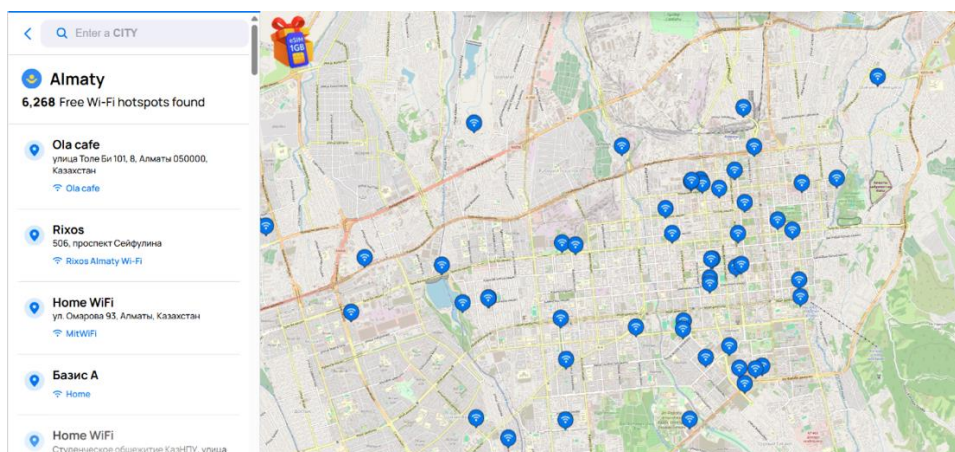
Wi-Fi сенсорларын орналастыруда олардың зерттелетін аумақты толық қамтуы маңызды. Практикада сенсорлар бір-бірінен 20–70 метр қашықтықта қойылады. Бұл арақашықтық сигнал аймағын тиімді үйлестіріп, келушілер құрылғыларының қозғалысын үздіксіз тіркеуге мүмкіндік береді. Сенсорлар тым жақын орнатылса – функциялары қайталанатын, ал тым алыс орналасса – “қара аймақтар” пайда болады.

Үлкен ашық кеңістіктерде (аандар, саябақтар) периметр бойынша 3–5 сенсор орнату адамдар легінің бағытын, шоғырлану деңгейін және қозғалыс динамикасын бақылауға жеткілікті. Ал көп қабатты нысандарда әр қабатқа жеке сенсор қою қажет, өйткені сигнал қабырғалар арқылы әлсірейді және вертикал қозғалысты дәл тіркеу қиындайды.

Желі құрудағы басты талап – толық жабуды қамтамасыз ету. Егер белгілі нүктеде сенсор жетіспесе, қозғалыс үзілген дерек ретінде қабылданып, талдау дәлдігі төмендейді. Сондықтан алдын ала радиожиліктік карта жасалып, қажет болса қосымша сенсорлар орнатылады.

Барселонаның тарихи орталығы тығыз салынған, кварталдары шағын, жаяу жүргінші ағыны жоғары. Сондықтан 1 км<sup>2</sup> аумақта 120–150 Wi-Fi access point орналастыруға болады және бұл толық қамтуды қамтамасыз етеді. Туристік ағымның негізгі бөлігі орталықта жинақталғандықтан, сенсорлардың жоғары тығыздығы тиімді.

Алматыда қала құрылымы кең, туристік аймақтар бір-бірінен алыс орналасқан. Урбан аймақтар (Арбат, Панфилов көшесі, Esentai) мен табиғи-рекреациялық нысандар (Медеу, Көк-Төбе, Шымбұлақ) әртүрлі инфрақұрылым талап етеді. Сондықтан Алматыда орташа Wi-Fi тығыздығы 1 км<sup>2</sup> аумақта 35–50 access point шамасында, ал таулы аймақтарда 5–12 нүктенен аспайды (Сурет 3).



2-Сурет – Алматыдағы тегін Wi-Fi нүктелері <https://www.wifimap.io/>[14]

Бұл айырмашылықтар сенсорларды орналастыру әдістемесін қала типологиясына бейімдеуді қажет етеді. Алматы үшін екі деңгейлі орналастыру моделі тиімді саналады: біріншісі – қала орталығындағы тұрақты Wi-Fi желісімен қамтылған аймақтарда сенсорларды тығыз орнату, екіншісі – табиғи аумақтарда автономды немесе мобильді сенсорларды пайдалану. Бұл тәсіл Алматының кеңістіктік құрылымына, рельефтің күрделілігіне және туристік ағымдардың маусымдық сипатына сәйкес келеді. Барселона тәжірибесі урбан орталық үшін өте тиімді болғанымен, Алматыда табиғи аймақтарды қамту үшін қосымша инженерлік шешімдер талап етіледі (Кесте 1).

2-Кесте – Алматы мен Барселонадағы Wi-Fi сенсорларын орналастыру айырмашылығы <https://www.bcn.travel/where-to-find-wifi-in-barcelona/>[15]

Көрсеткіш	Барселона	Алматы
Жылдық турист саны	~17 млн	~2,3 млн
Қала орталығындағы Wi-Fi тығыздығы	120–150 AP/км <sup>2</sup>	35–50 AP/км <sup>2</sup>
Туристік кластерлер саны	14	7
Жылдық probe-signal көлемі	~2,8 млрд	~420 млн
Сенсорлардың қамту аймағы	92%	54%



Жүйенің негізгі параметрлері туристердің қозғалысын, кеңістікте орналасуын және объектіде болу динамикасын талдауға мүмкіндік береді. Hash (MAC) – құрылғының жеке MAC-адресінің хэштегалған нұсқасы, ол анонимділікті сақтай отырып, әр құрылғыны жеке бақылауға жағдай жасайды.

RSSI сигналдың қабылдану деңгейін көрсетеді және құрылғының сенсорға жақындығын шамалауға мүмкіндік береді. Ол қозғалыс бағытын, тығыздықты және маршруттарды анықтауда маңызды.

Timestamp әр detect оқиғасының уақытын белгілеп, келушінің қашан көрінгенін және қозғалыс динамикасын талдауға мүмкіндік береді.

Device type смартфон, планшет, сағат сияқты құрылғыларды ажыратады және технологиялық профилді бағалауға көмектеседі.

Sensor ID деректің нақты қай сенсордан алынғанын көрсетеді және кеңістіктік талдауды дәл жүргізуге мүмкіндік береді.

Duration – құрылғының сенсор аймағында алғаш және соңғы көрінуі арасындағы уақыт, ол келушінің объектіде қанша уақыт өткізгенін сипаттайды.

AI алгоритмдері бірнеше туынды метрика есептейді. Footfall белгілі уақыт аралығындағы бірегей құрылғылар санын анықтап, жалпы туристік ағымды бағалайды. Dwell time келушілердің белгілі аймақта қанша уақыт өткізетінін көрсетеді, ал оның орташа мәні локацияның тартымдылығын бағалауға көмектеседі.

Revisit rate қайта келушілер үлесін көрсетеді және пайдаланушы тәжірибесін жанама бағалауға мүмкіндік береді. Flow direction объекті ішіндегі қозғалыс бағыттарын анықтап, маршруттарды оңтайландыруға негіз болады.

Peak periods ең жоғары жүктеме уақыттарын анықтайды, бұл персоналды және сервистерді жоспарлау үшін маңызды. Prediction models уақыттық қатарлар негізінде болашақ келушілер санын болжайды.

AI талдауы k-means кластерлеуге, LSTM модельдеріне және DBSCAN аномалияларды анықтауға негізделеді.

Модель төрт негізгі кезеңнен тұрады.

1-кезең: Алгоритм 1. Деректерді жинау

Бұл кезеңде Wi-Fi сенсорлары қоғамдық кеңістікте үздіксіз жұмыс істеп, жақын маңдағы құрылғылардың probe-request сигналдарын сканерлейді. Құрылғы анықталған сәтте оның MAC-адресі бірден хэштегалып, деректер толық анонимді форматта сақталады. Әр құрылғы үшін timestamp, RSSI, Sensor ID және басқа метадеректер жазылады. RSSI құрылғының сенсорға жақындығын, ал timestamp қозғалыс уақытын анықтауға мүмкіндік береді. Барлық деректер серверге жіберіліп, жүйеде нақты уақыттағы деректер ағыны қалыптасады.

2-кезең: Алгоритм 2. Деректерді алдын ала өңдеу (AI)

Алғашқы деректер тазартуды қажет етеді. Бірінші қадам – дубликаттарды жою, себебі бір құрылғы бір сенсорда бірнеше рет тіркелуі мүмкін. Келесі қадамда ұзақ уақыт қозғалмай тұрған статикалық құрылғылар (қызметкерлердің гаджеттері, стационар құрылғылар) шығарылады.

Шуды азайту үшін noise filtering қолданылады – сигналдың уақытша жоғалуы, құбылуы немесе кедергілердің әсері тегістеледі.

Алдын ала өңдеудің соңғы бөлігі – AI кластерлеуі. Алгоритмдер құрылғыларды қозғалыс сипатына қарай «жаяу турист», «жүргінші», «ұзақ тұрушы» сияқты топтарға автоматты бөледі. Бұл туристік ағынның құрылымын түсінуді жеңілдетеді.

3-кезең: Алгоритм 3. Кеңістіктік және уақыттық талдау

Бұл кезеңде AI кеңістіктік және уақыттық деректерді біріктіріп, келушілердің қозғалыс траекторияларын құрастырады. Сенсорлар құрылғыны әр нүктеде тіркеп, оның нақты қозғалыс жолын, тоқтаған аймақтарын және жиі қолданылатын маршруттарын анықтауға мүмкіндік береді.

Уақыттық талдау арқылы тәуліктік, апталық және маусымдық үлгілер шығарылады, сондай-ақ пиковые кезеңдер болжанады. Бұл жүктемені басқару, персоналды жоспарлау және сервис сапасын арттыру үшін маңызды.

Алгоритмдер сонымен бірге аномалияларды автоматты түрде анықтайды: күтпеген тығыздық, қозғалыс құрылымдарының өзгеруі, сенсорлар жұмысының бұзылуы немесе ерекше мінез-құлық үлгілері. Бұл қауіпсіздік және жедел басқару шешімдерін жақсартуға көмектеседі.

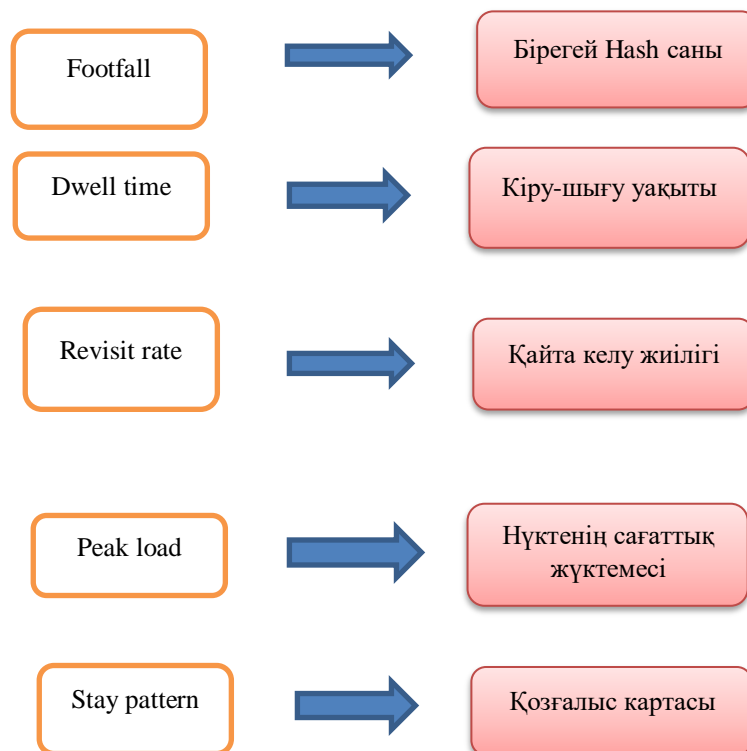
4-кезең: туристік көрсеткіштерді есептеу (қысқартылған)

AI-негізделген жүйе бірнеше негізгі метрика есептейді. Footfall – белгілі кезеңдегі бірегей құрылғылар саны, яғни объектіге келген келушілер көлемін көрсетеді. Dwell time – келушінің аймақта өткізген уақыты, ал Revisit rate локацияның тартымдылығын көрсететін қайта келу үлесі.



Peak load нүктенің сағаттық жүктемесін анықтап, тығыздық пен қауіпсіздікті басқаруға көмектеседі. Stay pattern немесе қозғалыс картасы маршруттарды визуалды көрсетіп, ағындарды қайта бағыттауға мүмкіндік береді.

Бұл көрсеткіштер әкімдіктерге, туристік ұйымдарға және бизнеске деректерге негізделген шешімдер қабылдауға, инфрақұрылымды жоспарлауға және over-tourism қаупін алдын ала анықтауға мүмкіндік береді (Сурет 4).



3-Сурет – Туристік көрсеткіштер[Авторлармен құрастырылған]

Бұл метрикалар әкімдікке, туристік ұйымдарға, бизнеске, қауіпсіздік қызметтеріне нақты шешім қабылдауға мүмкіндік береді.

#### *Зерттеу нәтижелері*

AI технологиялары мен жинақталған деректерді пайдалану туристік аймақтарды тиімді басқаруға мүмкіндік береді. Олар шектен тыс жүктелген аймақтарды анықтауға, жаңа бағыттар құруға, сондай-ақ санитарлық тораптар, демалыс аймақтары мен қолжетімділік инфрақұрылымын жоспарлауға қолданылады. Бұл тәсілдер Барселона, Амстердам, Сингапур сияқты қалаларда табысты жүзеге асырылып келеді.

Алынған деректер әкімдіктер мен туризм ұйымдарына келушілер көп аймақтарды анықтап, инфрақұрылымды дамытуға нақты шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді. Мысалы, жоғары footfall және ұзақ dwell time көрсететін жерлерде жаңа туристік нүктелер ашуға, көлеңкелі демалыс аймақтарын орнатуға немесе қолжетімділікті жақсартатын шешімдер енгізуге болады. Сонымен қатар, туристік қозғалыс траекторияларын талдау арқылы маршруттарды оңтайландыруға, навигация мен бағыт белгілерін жетілдіруге болады. Айналымды қайта жоспарлау арқылы туристерді шектен тыс жүктелген жерлерден алып, танымал емес аймақтарға бағыттау мүмкіндігі туындайды.

AI деректері over-tourism, яғни артық жүктелуді алдын ала болжау үшін де тиімді қолданылады. Шың кезеңдерді анықтау арқылы уақыттық зоналау, билеттеу немесе уақытша маршруттар сияқты тығыздықты басқару шаралары енгізілуі мүмкін. Сонымен қатар, көп жиналатын жерлерді бақылау арқылы қауіпсіздік шараларын күшейтуге және туристердің қауіпсіздігін қамтамасыз етуге болады.



Деректер маркетингтік шешімдер қабылдауда да маңызды рөл атқарады. Қай нүктелер туристерге қызықты екенін және қай бағыттар жиі қолданылатынын анықтау арқылы маркетингтік компанияларды тиімді бағыттау мүмкіндігі туады. Сонымен қатар, туристердің шыққан елдері мен аймақтарын уақыт бойынша бақылау арқылы тартымды ұсыныстар жасауға болады.

Алматы мен Барселонаны Wi-Fi және жасанды интеллект технологиялары негізінде салыстыру екі қаланың туристік инфрақұрылымындағы, адамдар ағынын басқарудағы және кеңістіктік құрылымындағы маңызды айырмашылықтарды айқын көрсетеді. Барселонада Wi-Fi мониторинг жүйесі көптеген жылдар бойы қалыптасқан және бүгінде қалада жиналатын деректердің көлемі мен сапасы өте жоғары. Тәулігіне 850 мыңнан 1,2 миллионға дейін құрылғы сигналы тіркеледі, бұл туристік маршруттарды картаға нақты түрде түсіруге және кластерлердің жүктемесін дәл анықтауға мүмкіндік береді. Қала орталығындағы жүктеме индексі 0,78 деңгейіне жетеді, яғни туристік ағындардың тығыздығы өте жоғары.

Алматыда Wi-Fi арқылы тіркелетін құрылғылар саны тәулігіне 90–150 мың аралығында. Бұл қаланың туристік ағымы Барселонаға қарағанда әлдеқайда төмен екенін көрсетеді. Жүктеме индексі 0,52 шамасында, яғни туристік кластерлер аса тығыз жүктелмеген. Дегенмен Алматыда туристік қозғалыс географиясы әлдеқайда кең: туристердің орташа маршруты 6,4 км-ге дейін созылады, бұл тау бағыттарының көп болуына байланысты. Барселонада бұл көрсеткіш орта есеппен 3,1 км шамасында.

Жасанды интеллект модельдері бойынша да айырмашылық бар. Барселонада AI алгоритмдері 40-қа жуық туынды көрсеткішті есептеп, туристік жүктемені болжауда жоғары дәлдік береді. Алматыда бастапқы кезеңде 15–18 көрсеткішті есептеу жеткілікті, өйткені тарихи деректердің көлемі аз, ал табиғи аймақтарда сигнал тұрақсыздығы есептің дәлдігін 8–12 пайызға төмендетуі мүмкін. Соған қарамастан, Алматы Wi-Fi инфрақұрылымына қосымша 120 access point енгізсе, модельдердің дәлдігі 35–40 пайызға артады.

Алматы үшін Барселона тәжірибесінің құндылығы – туристік ағындарды нақты уақыт режимінде талдау, туристік жүктеме аймақтарын анықтау және инфрақұрылымды жоспарлау. Егер Алматыда пилоттық жоба ретінде шамамен 50–70 смарт-сенсор орнатылса, қаладағы туристік ағымдардың 70 пайызы мониторинг жүйесіне қамтылуы мүмкін. Бұл қала үшін туристік саясатты жаңғыртуға, инфрақұрылымды оңтайландыруға және туристерге бағытталған шешімдерді дәлелдеуге үлкен мүмкіндік береді (Кесте 2).

3-Кесте – Алматы мен Барселона бойынша сандық салыстыру [Авторлармен құрастырылған]

Индикатор	Барселона	Алматы
Жаяу туристер саны (жазғы маусым, тәулігіне)	320–380 мың	45–60 мың
“Ыстық нүктелер” саны (high-density zones)	28	12 (Арбат (Жібек жолы жаяу көшесі), Панфилов көшесі, 28 Панфиловшылар саябағы, Атакент көрме орталығы, Esentai Mall, Mega Alma-Ata, Dostyk Plaza, Көк-Төбе төменгі станциясы, Көк-Төбе жоғарғы алаңы, Медеу мұз айдыны, Шымбұлақ базалық станциясы, Ботаникалық бақ (орталық бөлігі).)
Маусымдық ауытқу	18–22%	47–55%
Туристің орташа қозғалыс маршруты	3,1 км	6,4 км (тау аймақтарының әсері)
Wi-Fi арқылы анықталған құрылғылар саны (тәулігіне)	850 000–1 200 000	90 000–150 000
AI арқылы есептелген жүктеме индексі (0–1)	0.78 (орталық аймақ)	0.52 (орталық аймақ)
Туристік кластердегі орташа қалу уақыты	64 мин	38 мин

Қазақстанда осы модельді енгізу перспективалары айтарлықтай зор. Алматы қаласында туристік бағыттар ретінде Көктөбе, Панфилов көшесі, Шымбұлақ сияқты нүктелерді қамтуға болады, ал Wi-Fi сенсорлары арқылы осы аудандардағы келушілер ағымын, тұру уақытын және қайталама келушілерді



талдауға мүмкіндік туады. Астанада Бәйтерек, Хан Шатыр сияқты туристік және қоғамдық орындарға сенсорлар орнату арқылы күнделікті және маусымдық туристік ағымды бағалауға болады. Түркістан қаласында Қожа Ахмет Ясауи кесенесі мен оның айналасындағы алаңдарды мониторингтеу маңызды, әсіресе қаланың қоғамдық Wi-Fi желілері бар екендігі (Kazinform, 2023) осы технологияны қолдануға дайын инфрақұрылым бар екенін көрсетеді. Ақтау жағалау аймақтарында және шағынаудандарда сенсорларды орналастыру арқылы маусымдық туристік қозғалысты талдауға болады.

Осы әдістер арқылы AI алгоритмдері модельдік түрде келер кезеңдердегі шың сағаттарды, танымал маршруттарды және адам тығыздығының өзгерістерін болжай алады. Бұл жергілікті әкімдіктерге, туризм агенттіктеріне және қалалық жоспарлаушыларға инфрақұрылымды оңтайлы ұйымдастыруға, туристік ағымды тиімді басқаруға және қауіпсіздікті қамтамасыз етуге нақты көмек береді.

#### Қорытынды

Wi-Fi сенсорлары мен AI алгоритмдері туристік ағымдарды мониторингтеудің жоғары дәлдікті, қолжетімді және кеңейтілетін тәсілі ретінде дәстүрлі әдістерді толықтырады, кей жағдайларда оларды алмастыра алады. Модель нақты уақыт режимінде келушілер саны, қозғалыс бағыты, болу ұзақтығы, қайта келу көрсеткіштері сияқты маңызды метрикаларды береді және smart tourism стратегияларын іске асыруға мүмкіндік туады. Бұл тәсіл туристік бағыттарды оңтайландыруға, тығыздықты басқаруға, қауіпсіздікті қамтамасыз етуге және маркетингтік шешімдерді деректерге сүйене отырып қабылдауға жол ашады.

Халықаралық тәжірибеде, мысалы Барселона қаласында, осындай сенсорлық жүйелер арқылы туристік ағымдар тиімді бақыланып, over-tourism мәселесі айтарлықтай төмендетілген. Ал Алматыда бұл технологияны енгізу перспективалары өте жоғары, себебі қалада туристік тартымдылығы жоғары аймақтар – Көктөбе, Панфилов көшесі, Шымбұлақ сияқты нүктелер бар, оларда Wi-Fi сенсорларын орнатып, келушілер ағымын, тұру уақытын және қайталама келушілерді талдауға мүмкіндік бар. Осы салыстыру арқылы көрінеді, халықаралық тәжірибені ескере отырып, Алматыда smart tourism моделін қолдану қалалық инфрақұрылымды тиімді жоспарлауға және туризмді цифрландыруға нақты негіз қалдыра алады.

Осылайша, ғылыми дереккөздерді талдау қоғамдық Wi-Fi желісінің деректерін жасанды интеллект әдістерімен біріктіру туристік белсенділікті бақылаудың перспективалы құралы екенін көрсетеді. Халықаралық зерттеулерде бұл сала қарқынды дамығанына қарамастан, Қазақстанда мұндай тәсілдер әлі жеткілікті түрде практикада қолданылмаған, бұл зерттеудің ғылыми жаңалығын және практикалық маңызын айқындайды.

#### ӘДЕБИЕТ

- [1] UNWTO (2023). World Tourism Barometer. United Nations World Tourism Organization <https://www.e-unwto.org/doi/abs/10.18111/wtobarometereng.2023.21.1.2>
- [2] Koo, C., Shin, S., Gretzel, U. et al. AI-powered smart tourism 2.0: A 10-year retrospective and updated model. *Electron Markets* 35, 108 (2025). <https://doi.org/10.1007/s12525-025-00847-y>
- [3] Julio Guerrero, Y. I., & Dias, F. T. P. (2024). Tourist Tracking Techniques and Their Role in Destination Management: A Bibliometric Study, 2007–2023. *Sustainability*, 16(9), 3708. <https://doi.org/10.3390/su16093708>
- [4] Ruiz-Pérez, M., Ramos, V., & Alorda-Ladaria, B. (2023). Integrating high-frequency data in a GIS environment for pedestrian congestion monitoring. *Information Processing & Management*, 60(2), 103236. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2022.103236>
- [5] Li, L., Chen, X., Li, Q., Tan, X., Chen, J., Wang, D., & Jia, P. (2021). Contextualizing human dynamics: Understanding the semantics of movement trajectories with Wi-Fi data. *Travel Behaviour and Society*, 25, 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2021.07.005>
- [6] Gao, Y., & Schmöcker, J.-D. (2022). Distinguishing different types of city tourists through clustering and recursive logit models applied to Wi-Fi data. *Asian Transport Studies*, 8, 100044. <https://doi.org/10.1016/j.eastsj.2021.100044>
- [7] López-Naranjo, A. L., Puente-Riofrio, M. I., Carrasco-Salazar, V. A., Erazo-Rodríguez, J. D., & Buñay-Guisñan, P. A. (2025). Artificial intelligence in the tourism business: a systematic review. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 8. <https://doi.org/10.3389/frai.2025.1599391>
- [8] Variskhanov, A., & Arreeras, T. (2026). Early Peak Badges from Wi-Fi Telemetry: A Field Feasibility Study of Lunchtime Crowd Management on a Smart Campus. *Urban Science*, 10(1), 29. <https://doi.org/10.3390/urbansci10010029>
- [9] Zhang, Y., & Nina Katrine Prebensen. (2024). Co-creating with ChatGPT for tourism marketing materials. *Annals of Tourism Research Empirical Insights*, 5(1), 100124–100124. <https://doi.org/10.1016/j.annale.2024.100124>



[10] Shilibekova, B., Plokhikh, R., & Dávid, L.D. (2024). On the path to tourism digitalization: the digital ecosystem by the example of kazakhstan. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 57(4spl), 2060–2070. <https://doi.org/10.30892/gtg.574spl20-1373>

[11] Marat Urdabayev, Anel Kireyeva, Vasa, L., Digel, I., Kuralay Nurgaliyeva, & Akan Nurbatsin. (2024). Discovering smart cities' potential in Kazakhstan: A cluster analysis. *PloS One*, 19(3), e0296765–e0296765. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0296765>

[12] EU GDPR. (2018). General Data Protection Regulation. Official Journal of the European Union. <https://gdpr.eu/>

[13] «Әділет» ақпараттық-құқықтық жүйесі <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/Z1300000094>

[14] WiFi Map - <https://www.wifimap.io/>

[15] Where to Find Wifi in Barcelona: The Best Traveler's Guide to Staying Connected!. <https://www.bcn.travel/where-to-find-wifi-in-barcelona/>

## REFERENCES

[1] UNWTO (2023). World Tourism Barometer. United Nations World Tourism Organization <https://www.e-unwto.org/doi/abs/10.18111/wtobarometereng.2023.21.1.2>

[2] Koo, C., Shin, S., Gretzel, U. et al. AI-powered smart tourism 2.0: A 10-year retrospective and updated model. *Electron Markets* 35, 108 (2025). <https://doi.org/10.1007/s12525-025-00847-y>

[3] Julio Guerrero, Y. I., & Dias, F. T. P. (2024). Tourist Tracking Techniques and Their Role in Destination Management: A Bibliometric Study, 2007–2023. *Sustainability*, 16(9), 3708. <https://doi.org/10.3390/su16093708>

[4] Ruiz-Perez, M., Ramos, V., & Alorda-Ladaria, B. (2023). Integrating high-frequency data in a GIS environment for pedestrian congestion monitoring. *Information Processing & Management*, 60(2), 103236. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2022.103236>

[5] Li, L., Chen, X., Li, Q., Tan, X., Chen, J., Wang, D., & Jia, P. (2021). Contextualizing human dynamics: Understanding the semantics of movement trajectories with Wi-Fi data. *Travel Behaviour and Society*, 25, 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2021.07.005>

[6] Gao, Y., & Schmocker, J.-D. (2022). Distinguishing different types of city tourists through clustering and recursive logit models applied to Wi-Fi data. *Asian Transport Studies*, 8, 100044. <https://doi.org/10.1016/j.eastsj.2021.100044>

[7] Lopez-Naranjo, A. L., Puente-Riofrio, M. I., Carrasco-Salazar, V. A., Erazo-Rodriguez, J. D., & Bunay-Guisnan, P. A. (2025). Artificial intelligence in the tourism business: a systematic review. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 8. <https://doi.org/10.3389/frai.2025.1599391>

[8] Variskhanov, A., & Arreeras, T. (2026). Early Peak Badges from Wi-Fi Telemetry: A Field Feasibility Study of Lunchtime Crowd Management on a Smart Campus. *Urban Science*, 10(1), 29. <https://doi.org/10.3390/urbansci10010029>

[9] Zhang, Y., & Nina Katrine Prebensen. (2024). Co-creating with ChatGPT for tourism marketing materials. *Annals of Tourism Research Empirical Insights*, 5(1), 100124–100124. <https://doi.org/10.1016/j.annale.2024.100124>

[10] Shilibekova, B., Plokhikh, R., & David, L.D. (2024). On the path to tourism digitalization: the digital ecosystem by the example of kazakhstan. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 57(4spl), 2060–2070. <https://doi.org/10.30892/gtg.574spl20-1373>

[11] Marat Urdabayev, Anel Kireyeva, Vasa, L., Digel, I., Kuralay Nurgaliyeva, & Akan Nurbatsin. (2024). Discovering smart cities' potential in Kazakhstan: A cluster analysis. *PloS One*, 19(3), e0296765–e0296765. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0296765>

[12] EU GDPR. (2018). General Data Protection Regulation. Official Journal of the European Union. <https://gdpr.eu/>

[13] «Әділет» ақпараттық-құқықтық жүйесі <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/Z1300000094>

[14] WiFi Map - <https://www.wifimap.io/>

[15] Where to Find Wifi in Barcelona: The Best Traveler's Guide to Staying Connected!. <https://www.bcn.travel/where-to-find-wifi-in-barcelona/>



Заминова Ж.А., Молдагалиева А.Е., Ақтымбаева А.С.,  
Саткали И.Қ., Абдреева Ш.Т.

### МОНИТОРИНГ ТУРИСТСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ОБЩЕСТВЕННОГО WI-FI С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

**Аннотация.** В статье предлагается модель цифрового мониторинга на основе интеграции данных общественного Wi-Fi и алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) как эффективный инструмент анализа туристских потоков. Для преодоления ограничений традиционных методов учета в исследовании обосновано использование технологии device-freetracking, анонимизации MAC-адресов через хеширование SHA-256 и алгоритмов DBSCAN, LSTM. На базе smart-опыта Барселоны и открытых данных wifimap.io проведен пространственно-временной анализ туристских кластеров Алматы (Кок-Тобе, Панфилова, Шымбулак). В результате рассчитаны индекс туристской нагрузки по городу (0,52) и средний маршрут передвижения посетителей (6,4 км). Данный подход позволяет оценить активность неформальных туристов и местных сообществ, не отраженную в официальной статистике. Выводы исследования служат научно-практической основой для развития экосистемы Smart Tourism, прогнозирования рисков over-tourism и оптимизации городского бюджета на основе данных (Big Data).

**Ключевые слова:** поток туристов; датчики Wi-Fi; искусственный интеллект; умный туризм; чрезмерный туризм; пространственно-временной анализ; мониторинг; Media Access Control Address.

**Zaminova Zh.A., Moldagaliyeva A.E., Aktymbayeva A.S., Satkali I.K., Abdreeva Sh.T.**  
**MONITORING TOURIST ACTIVITY BASED ON PUBLIC WI-FI DATA USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

**Annotation.** The article proposes a digital monitoring model based on the integration of public Wi-Fi data and artificial intelligence (AI) algorithms as an effective tool for analysing tourist flows. To overcome the limitations of traditional accounting methods, the study justifies the use of device-free tracking technology, MAC address anonymisation through SHA-256 hashing, and DBSCAN and LSTM algorithms. Based on Barcelona's smart experience and open data from wifimap.io, a spatio-temporal analysis of tourist clusters in Almaty (Kok-Tobe, Panfilova, Shymbulak) was conducted. As a result, the tourist load index for the city (0.52) and the average distance traveled by visitors (6.4 km) were calculated. This approach allows us to assess the activity of informal tourists and local communities, which is not reflected in official statistics. The findings of the study serve as a scientific and practical basis for the development of the Smart Tourism ecosystem, forecasting the risks of over-tourism and optimising the city budget based on data (Big Data).

**Keywords:** tourist flow; Wi-Fi sensors; artificial intelligence; smart tourism; over-tourism; space-time analysis; monitoring; Media Access Control Address.