

UDK 004.031

AQLLI MUHIT INFRATUZILMASI VA QAROR QABUL QILISH MODELLARIGA OID ZAMONAVIY ILMIY TADQIQOTLAR SHARHI

G'ayratov Z.K.¹

¹ Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
Samarqand filiali, Samarqand, O'zbekiston

zafargayratov94@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada aqlli muhit (Smart Environment) infratuzilmasi sohasida olib borilgan zamonaviy ilmiy tadqiqotlar tahlil qilinadi hamda qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlovchi modellarni ishlab chiqish bo'yicha mavjud yondashuvlar o'rganiladi. So'nggi yillarda buyumlar interneti (IoT), sun'iy intellekt, sensor tarmoqlari, bulutli va chegara hisoblash texnologiyalarining rivojlanishi natijasida aqlli muhit konsepsiyasi turli sohalarda keng qo'llanila boshladi. Aqlli muhit infratuzilmasi murakkab va ko'p komponentli tizim bo'lib, unda katta hajmdagi ma'lumotlarni yig'ish, qayta ishlash va tahlil qilish jarayonlari asosida avtomatlashtirilgan boshqaruv va qaror qabul qilish amalga oshiriladi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, mavjud yondashuvlarning aksariyatida aqlli muhit infratuzilmasining dinamik xususiyatlari, tarmoq resurslarini moslashuvchan boshqarish hamda real vaqt rejimida samarali qaror qabul qilish masalalari yetarli darajada yoritilmagan.

Kalit so'zlar: aqlli muhit, aqlli muhit infratuzilmasi, buyumlar interneti (IoT), aqlli tizimlar arxitekturasi, mashinali o'qitish, ma'lumotlarga asoslangan tahlil, kontekstga asoslangan tizimlar, aqlli shahar texnologiyalari, raqamli infratuzilma.

1 KIRISH

Axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining jadal rivojlanishi natijasida inson faoliyatining turli sohalarida raqamli va intellektual tizimlardan foydalanish kengayib bormoqda. Shu jarayonda "aqlli muhit" (Smart Environment) tushunchasi zamonaviy axborot texnologiyalari sohasining muhim ilmiy yo'nalishlaridan biri sifatida shakllandi. Aqlli muhit - bu turli xil sensorlar, hisoblash qurilmalari, kommunikatsiya tarmoqlari va dasturiy tizimlar yordamida atrof-muhit holatini kuzatish, ma'lumotlarni yig'ish va tahlil qilish hamda ushbu ma'lumotlar asosida muhitni avtomatik boshqarish imkonini beruvchi integratsiyalashgan axborot tizimidir. Bunday muhitda axborot texnologiyalari foydalanuvchining kundalik faoliyati bilan uyg'unlashib, qulay va samarali xizmat ko'rsatishni ta'minlaydi.

Aqlli muhit "Smart Environment" atamasi bitta aniq kitobda birdan paydo bo'lgan deb ayta olmaymiz. U bir necha ilmiy yo'nalishlardan (ubiquitous computing, ambient intelligence, intelligent environments) evolyutsiyasi asosida shakllangan va rivojlanib kelmoqda. Aqlli muhit konsepsiyasi dastlab pervasive computing yoki ubiquitous computing g'oyalari asosida shakllangan bo'lib, keyinchalik sensor tarmoqlari, buyumlar interneti (IoT), bulutli hisoblash, katta ma'lumotlarni qayta ishlash hamda sun'iy intellekt texnologiyalarining rivojlanishi natijasida yanada takomillashdi. Bugungi kunda aqlli muhitlar aqlli shaharlar, aqlli transport tizimlari, aqlli energetika, aqlli qishloq xo'jaligi va sanoatni avtomatlashtirish kabi ko'plab sohalarda qo'llanilmoqda. Shu bilan birga, bunday tizimlarda katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlash va samarali boshqaruv qarorlarini qabul qilish muammolari muhim ilmiy masalalardan biri hisoblanadi.

Aqlli muhit tushunchasining shakllanishi dastlab pervasive computing, ya'ni har yerda mavjud hisoblash g'oyalari bilan bog'liq holda yuzaga kelgan. Mark Weiser [1] bu yondashuvni XXI asr kompyuter tizimlarining yangi bosqichi sifatida izohlab, hisoblash vositalari inson kundalik faoliyatiga tabiiy ravishda singib ketishini ta'kidlaydi.

Cook va Das [2] aqlli muhitni intellektual imkoniyatlarga ega bo'lgan, turli qurilmalar, tarmoqlar va dasturiy vositalarni birlashtiruvchi ko'p tarmoqli tizim sifatida talqin qiladilar. Ularning yondashuvida aqlli muhitni tashkil etishda hisoblash arxitekturasi, tarmoq protokollari, sensor tarmoqlari, qurilmalarni boshqarish va foydalanuvchi harakatlarini oldindan aniqlash kabi masalalar muhim o'rin tutadi. Peter Droege [3] esa intellektual muhitlarni axborot va kommunikatsiya texnologiyalarining jismoniy makon bilan uyg'unlashuvi natijasi sifatida ko'radi hamda bu jarayon insonning fazoni qabul qilishi, undan foydalanishi va atrof-muhit bilan o'zaro munosabatiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini qayd etadi. Stefan Poslad va boshqalar [4] aqlli muhitlarni ubiquitous computing tizimining tarkibiy qismi sifatida izohlab, ularni

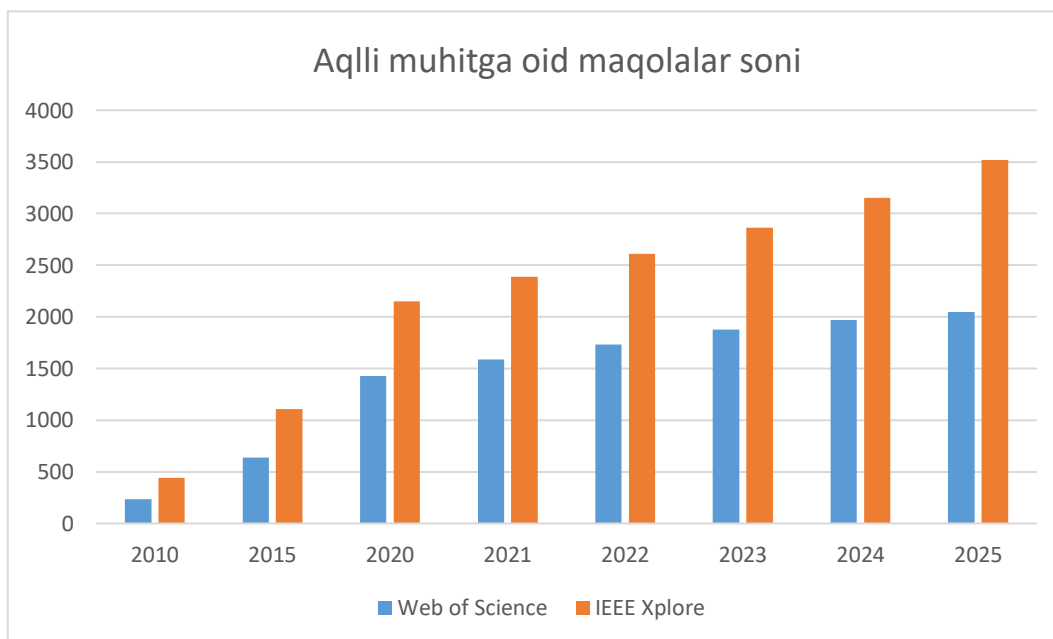
aqlli qurilmalar, aqlli muhit va aqlli o‘zaro ta‘sirning uzviy birligi sifatida tavsiflaydi. Hideyuki Nakashima va boshqalar [5] esa aqlli muhitlarda ambient intelligence, ya‘ni muhitga singdirilgan intellekt asosiy rol o‘ynashini ta‘kidlab, bunday tizimlar foydalanuvchi ehtiyojini anglash, vaziyatni tahlil qilish va mos qaror qabul qilish xususiyatiga ega bo‘lishi lozimligini ko‘rsatadilar. Demak, aqlli muhit nafaqat texnik qurilmalar majmui, balki ma‘lumotni sezish, qayta ishlash, talqin qilish va unga mos ravishda harakat qilish imkonini beruvchi intellektual infratuzilma sifatida qaraladi.

2 AQLLI MUHIT KONSEPSIYASI

Diane J. Cook va Sajal K. Das [6] aqlli muhitlar sohasidagi tadqiqotlarning holatini qayta ko‘rib chiqib, ushbu yo‘nalishning turli fanlar kesishmasida shakllanganini ta‘kidlaydilar. Ularning fikricha, aqlli muhit faqat texnik vositalar yig‘indisi emas, balki sezish, tahlil qilish, bashoratlash va mos ravishda boshqaruv qarorlarini qabul qilishga qodir bo‘lgan murakkab intellektual tizimdir. Mualliflar aqlli muhit sohasida faoliyat keskin ortganini qayd etib, bu yo‘nalishda hali ham hal etilmagan muammolar mavjudligini, xususan, muhitning haqiqiy “aqllilik” darajasini aniqlash, foydalanuvchi xatti-harakatlarini to‘g‘ri talqin qilish va real sharoitlarda barqaror ishlashni ta‘minlash masalalari dolzarbligicha qolayotganini ko‘rsatadilar.

Diedrich Wolter va Alexandra Kirsch [7] aqlli muhit tushunchasiga nazariy nuqtai nazardan yondashib, uni sun‘iy intellekt va inson-kompyuter o‘zaro ta‘siri yo‘nalishlari bilan chambarchas bog‘liq holda izohlaydilar. Ularning ta‘kidlashicha, aqlli muhitlarni boshqa yaqin sohalardan farqlash zarur, chunki bu yo‘nalish faqat texnologik infratuzilma emas, balki foydalanuvchining kundalik hayot sifatini yaxshilashga qaratilgan amaliy va ijtimoiy yo‘naltirilgan tizimlarni ham o‘z ichiga oladi. Shu bilan birga, mualliflar bunday muhitlarning rivojlanishi bilan bir qatorda maxfiylik, etika, ijtimoiy ta‘sir va foydalanuvchi ishonchi kabi muhim masalalar ham yuzaga chiqishini alohida qayd etadilar.

Sudha Singaraju va boshqalar [8] aqlli muhitlarni pervasive computing konsepsiyasining davomi sifatida ko‘rib, ularning shakllanishida simsiz sensor tarmoqlari, elektr tarmoqlari orqali aloqa, middleware, uy tarmoqlari, bashoratlash algoritmlari, joylashuvni aniqlash usullari va avtomatlashtirilgan qaror qabul qilish mexanizmlari muhim rol o‘ynashini ta‘kidlaydilar. Mualliflar aqlli muhitni inson, qurilma va xizmatlar o‘rtasidagi dinamik o‘zaro bog‘lanish asosida faol ishlovchi tizim sifatida tavsiflaydilar. Ularning yondashuvida aqlli muhitning asosiy afzalligi - ma‘lumotlarni real vaqt rejimida qayta ishlash, muhit ehtiyojlariga mos javob qaytarish va boshqaruv jarayonlarini avtomatlashtirishdir. Shu bilan birga, ushbu tadqiqotda avtomatlashtirilgan qaror qabul qilish tizimlarida inson omili, ma‘lumotlarni boshqarish va ko‘p bosqichli qarorlar qabul qilish kabi murakkab muammolar mavjudligi ko‘rsatilgan.



1-rasm. Aqlli muhitga oid maqolalarning xalqaro ommalashuvi

1-rasmda 2010–2025-yillar oralig‘ida aqlli muhit (Smart Environment) yo‘nalishidagi ilmiy maqolalar sonining o‘sish dinamikasi Web of Science va IEEE Xplore bazalari kesimida keltirilgan. Tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, har ikkala bazada ham mazkur yo‘nalish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar soni yildan-yilga

barqaror oshib borgan. Xususan, 2010-yilda Web of Science bazasida 236 ta, IEEE Xplore'da esa 442 ta maqola qayd etilgan bo'lsa, 2025-yilga kelib ushbu ko'rsatkichlar mos ravishda 2046 va 3520 taga yetgan. Ayniqsa, 2020-yildan keyingi davrda o'sish sur'ati yanada jadallashgani kuzatiladi, bu esa IoT, sun'iy intellekt va aqlli tizimlar rivoji bilan bevosita bog'liqdir. Shuningdek, IEEE Xplore bazasida maqolalar sonining Web of Science'ga nisbatan yuqoriligi ushbu yo'nalishda texnik va muhandislik tadqiqotlari ustunligini ko'rsatadi. Umuman olganda, keltirilgan ma'lumotlar aqlli muhit infratuzilmasi sohasining dolzarbligi va ilmiy hamjamiyatdagi ahamiyati tobora ortib borayotganini tasdiqlaydi.

Sajal K. Das va Diane J. Cook [9] aqlli uy muhitlari uchun o'rganish va bashoratlashga asoslangan paradigmalarini taklif etadilar. Ularning fikricha, aqlli muhitning samaradorligi foydalanuvchi faoliyati, joylashuvi va odatlari haqidagi kontekst ma'lumotlarini to'plash, ulardan bilim ajratib olish va kelgusidagi holatlarni bashoratlash imkoniyati bilan belgilanadi. Mualliflar tomonidan ishlab chiqilgan MavHome loyihasi aqlli muhitda qaror qabul qilishning amaliy modelini ifodalaydi, unda muhit foydalanuvchi ehtiyojini oldindan aniqlash, qurilmalarni avtomatik boshqarish hamda energiya sarfi va qo'lda boshqaruv xarajatlarini kamaytirishga xizmat qiladi. Bu yondashuv aqlli muhitlarda qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlovchi modellarni yaratishda mashinali o'qitish va bashoratlash usullarining katta imkoniyatlarga ega ekanini ko'rsatadi.

Juan Augusto, Hideyuki Nakashima va Hamid Aghajan [10] aqlli muhitlarni ambient intelligence, ya'ni muhitga singdirilgan intellekt nuqtai nazaridan tahlil qiladilar. Ularning ta'kidlashicha, elektron qurilmalarning miniatyuralashuvi va arzonlashuvi natijasida sensorlar, aktuatorlar hamda qayta ishlash modullari inson yashaydigan va ishlaydigan makonning ajralmas qismiga aylanmoqda. Bunday texnologik muhit faqat ma'lumotni yig'ish bilan cheklanmay, balki holatni anglash, kontekstni tushunish va real vaqt rejimida oqilona qarorlar qabul qilishga intiladi. Mualliflar aqlli muhitlarning istiqboli aynan turli qurilmalarni yagona intellektual boshqaruv tizimiga birlashtirishda ekanini ko'rsatadilar.

Luigi De Russis [11] aqlli muhitlarga foydalanuvchi nuqtai nazaridan yondashib, bunday tizimlarda inson va muhit o'rtasidagi o'zaro ta'sir tabiiy, sezilmas va qulay bo'lishi kerakligini ta'kidlaydi. Unga ko'ra, aqlli muhitlar texnologiyaga yo'naltirilgan tizim bo'lib qolmasligi, balki foydalanuvchi manfaatlari, avtonomiyasi va ishonchini saqlagan holda faoliyat yuritishi lozim. Muallif foydalanuvchi bilan o'zaro aloqa qilishning turli shakllari – aniq, yashirin, alternativ yoki birlashgan usullar – aqlli muhitning muhim tarkibiy qismi ekanini ko'rsatadi. Shuningdek, tadqiqotda faoliyatni aniqlash, foydalanuvchi joylashuvini hisobga olish, maxfiylik va xavfsizlik masalalari alohida ahamiyatga ega ekanligi qayd etiladi.

Ali Roziqin, Rossi Adi Nugroho, Lina Putri Prabawati va Hartuti Purnaweni [12] esa aqlli muhit bo'yicha oxirgi besh yillik tadqiqotlar rivojlanishini bibliometrik tahlil asosida o'rganganlar. Ular Scopus bazasidagi 506 ta ilmiy hujjatni VOSviewer dasturi yordamida tahlil qilib, mazkur sohada ilmiy qiziqishning ortib borayotganini, ayniqsa smart city doirasida aqlli muhit masalalariga e'tibor kuchayganini ko'rsatadilar. Tadqiqot natijalari shuni anglatadiki, aqlli muhitlar endilikda alohida tor texnologik mavzu emas, balki barqaror rivojlanish, ekologik boshqaruv, raqamli xizmatlar va intellektual infratuzilma bilan bog'liq ko'p tarmoqli ilmiy yo'nalish sifatida qaralmoqda. Shu bilan birga, mualliflar ushbu sohada zamonaviy ilmiy axborotlarni tizimlashtirish va yangi ilmiy yo'nalishlarni aniqlash zaruriyatini ham ko'rsatib o'tadilar.

Umuman olganda, ko'rib chiqilgan tadqiqotlar aqlli muhit tushunchasining dastlab nazariy va konseptual g'oya sifatida shakllanib, keyinchalik sensor tarmoqlari, kontekstga asoslangan boshqaruv, mashinali o'qitish, ambient intelligence va foydalanuvchi bilan tabiiy o'zaro ta'sir kabi yo'nalishlar asosida takomillashganini ko'rsatadi. Shu bilan birga, mavjud ishlarda aqlli muhitlarning "aqllilik darajasi", real vaqt rejimida qaror qabul qilish, foydalanuvchi ishonchini ta'minlash hamda murakkab infratuzilmalarda moslashuvchan boshqaruvni tashkil etish masalalari hali to'liq yechim topmagan dolzarb ilmiy muammolar sifatida saqlanib qolmoqda.

2.1 Aqlli muhit infratuzilmasining shakllanishi

Anind K. Dey, Gregory D. Abowd va Daniel Salber [13] aqlli muhit infratuzilmasini kontekstga asoslangan xizmatlarni ta'minlovchi muhim dasturiy platforma sifatida ko'rib, bunday muhit samarali ishlashi uchun uning joriy holatini, ya'ni kontekstini aniqlash va ushbu kontekst asosida tegishli qarorlarni qabul qilish zarurligini ta'kidlaydilar. Ularning fikricha, aqlli muhit infratuzilmasining asosiy vazifasi nafaqat ma'lumotlarni yig'ish, balki ularni izchil qayta ishlash, talqin qilish va ilovalar hamda xizmatlarga qulay shaklda yetkazib berishdan iboratdir. Mualliflar taklif etgan dasturiy infratuzilma aqlli xizmatlarni yaratishni soddalashtirishga xizmat qiladi va bu yondashuv keyingi tadqiqotlarda kontekstga sezgir tizimlar uchun muhim nazariy asos bo'lib xizmat qilgan.

Mihai Horia Zaharia [14] aqlli muhit infratuzilmasini atrof-muhit monitoringi va boshqaruviga oid turli tizimlarni yagona axborot makoniga integratsiyalash vositasi sifatida baholaydi. Uning ta'kidlashicha, amaliyotda mavjud monitoring va boshqaruv tizimlarining aksariyati o'zaro past darajada bog'langan bo'lib, bu ularning ma'lumot almashinuvi va umumiy tahliliy imkoniyatlarini cheklaydi. Muallif aynan

smart city konsepsiyasi doirasida bunday tizimlarni umumiy ko'rishda birlashtirish muhimligini qayd etadi. Unga ko'ra, yagona infratuzilmaga integratsiyalashgan aqlli muhit katta hajmdagi ma'lumot oqimlarini birlashtirish, boshqaruv buyruqlarini tezkor uzatish va ekologik yoki texnologik muammolarni samaraliroq hal etish imkonini beradi.

1-jadval. Aqlli muhit infratuzilmasiga oid zamonaviy yondashuvlarning qiyosiy tahlili

Mualliflar	Yil	Tadqiqot yo'nalishi	Taklif etilgan infratuzilma turi	Natijaning afzalligi	Cheklovlari
Anind K. Dey, Gregory D. Abowd va Daniel Salber [13]	2001	Kontekstga asoslangan aqlli muhit infratuzilmasi	Kontekstni aniqlash va unga asoslangan xizmatlarni yaratish uchun dasturiy infratuzilma	Aqlli xizmatlar va ilovalarni yaratishni soddalashtiradi, kontekstga sezgir tizimlar uchun asos yaratadi	Qaror qabul qilishning adaptiv va dinamik mexanizmlari chuqur yoritilmagan
Mihai Horia Zaharia [14]	2017	Atrof-muhit monitoringi uchun aqlli infratuzilma	Turli monitoring va boshqaruv tizimlarini yagona axborot makoniga integratsiyalash	Ma'lumotlar va boshqaruv buyruqlarini birlashtirish orqali samaradorlikni oshiradi	Qaror qabul qilish modeli va intellektual boshqaruv algoritmlari yetarli darajada ochib berilmagan
Gennady Dik va boshqalar [15]	2024	Aqlli muhit infratuzilmasini boshqarish	Geterogen apparat va dasturiy vositalarni yagona axborot makonida uyg'unlashtirish, AI asosida sozlash	Tizimni boshqarish va moslashtirishni avtomatlashtirish imkonini beradi	Ko'proq sozlash va konfiguratsiyaga yo'naltirilgan, tarmoq dinamikasi va real vaqt qarorlari kam tahlil qilingan
Vinay D. Pinnaka, Scott A. King va Ajay K. Katangur [16]	2019	Arzon aqlli muhit infratuzilmasi	SmartLab uchun Kinect va SBC qurilmalar asosida TCP ga tayangan mijoz-server modeli	Amaliy va iqtisodiy jihatdan tejamkor infratuzilma yaratadi	Asosan apparat-tarmoq platformasiga e'tibor qaratilgan, yuqori darajadagi analitik boshqaruv ko'rsatilmagan
Mehdi Gheisari va boshqalar [17]	2025	IoT asosidagi aqlli shahar infratuzilmasi	SDN asosidagi, kontekstga sezgir va maxfiylikni saqlovchi dinamik tarmoq boshqaruvi	Xavfsiz marshrutlash va tarmoq boshqaruvin moslashuvchan tashkil etadi	Asosan xavfsizlik va marshrutlashga qaratilgan, umumiy aqlli muhit qaror modeli to'liq yoritilmagan
Gennady Dik va boshqalar [18]	2022	Aqlli yashash muhiti xavfsizligi	Maxsus dasturiy platformani aqlli muhitga integratsiyalash orqali axborot va obyekt xavfsizligini oshirish	Aqlli muhitda xavfsizlikni kompleks ko'rib chiqadi	Xavfsizlikka urg'u kuchli, ammo infratuzilma resurslari va qaror qabul qilish integratsiyasi cheklangan
Narves Behlilovic [19]	2022	Aqlli muhit kommunikatsiyasi	Signal tezligi, tugunlar masofasi va kanal xavfsizligi asosida kommunikatsiyani yaxshilash yondashuvi	Aloqa sifati va xavfsizlik parametrlarining muhimligini ko'rsatadi	Yondashuv torroq kommunikatsiya parametrlariga qaratilgan, umumiy aqlli infratuzilma modeli yetarli darajada berilmagan

Gennady Dik va boshqalar [15] aqlli muhit infratuzilmasini boshqarish va sozlash masalalariga e'tibor qaratib, uning eng muhim muammolaridan biri turli ishlab chiqaruvchilarga tegishli geterogen dasturiy va apparat vositalarini yagona axborot makonida uyg'unlashtirish ekanini ko'rsatadilar. Mualliflar aqlli ekotizimni boshqarishda sun'iy intellektga asoslangan yondashuvlardan, xususan, nutqni tanish asosidagi boshqaruv mexanizmlaridan foydalanishni taklif etadilar. Bu yondashuv aqlli muhit infratuzilmasini

boshqarishda inson va tizim o'rtasidagi muloqotni soddalashtirish bilan birga, tizimni sozlash va moslashtirish jarayonlarini ham avtomatlashtirishga xizmat qiladi.

Vinay D. Pinnaka, Scott A. King va Ajay K. Katangur [16] aqlli muhit infratuzilmasini arzon va amaliy yechimlar asosida qurish masalasini ko'rib chiqib, SmartLab muhiti uchun iqtisodiy jihatdan tejamkor infratuzilma modelini taklif etadilar. Ularning tadqiqotida Kinect sensori va bir platali kompyuterlar asosida chuqurlik, rangli tasvir, skelet va infraqizil ma'lumotlarni yig'ish hamda ushbu ma'lumotlarni tarmoq orqali uzatish uchun TCP protokoliga asoslangan mijoz-server modeli ishlab chiqilgan. Mualliflar bu infratuzilma aqlli muhitlar uchun xizmatlar va ilovalarni ishlab chiquvchilariga amaliy platforma vazifasini bajarishini ta'kidlaydilar. Mazkur ish aqlli muhit infratuzilmasini yaratishda nafaqat nazariy, balki apparat va tarmoq darajasidagi yechimlar ham muhim ekanini ko'rsatadi.

Mehdi Gheisari va boshqalar [17] IoT asosidagi aqlli shahar muhitlari uchun maxfiylikni saqlovchi, dasturiy ta'minot bilan boshqariladigan tarmoqqa (SDN) asoslangan moslashuvchan usulni taklif etadilar. Ularning yondashuvda aqlli muhit infratuzilmasi kontekstga sezgir va dinamik tarmoq boshqaruvi bilan boyitiladi. SDN kontrolleri IoT qurilmalaridan bulutli muhitga uzatiladigan ma'lumotlar oqimi uchun kontekst va ishonchlik bahosiga asoslangan xavfsiz marshrutlarni tanlaydi. Bu tadqiqot aqlli muhit infratuzilmasi masalasida tarmoq boshqaruvi, xavfsizlik va maxfiylikni birgalikda ko'rib chiqish zarurligini ko'rsatadi hamda qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlovchi infratuzilmaviy mexanizmlarning muhimligini namoyon etadi.

Yana bir tadqiqotda Gennady Dik va boshqalar [18] "aqlli yashash muhiti" obyektlarida xavfsizlikni ta'minlash masalasini tahlil qilib, IoT qurilmalaridan iborat boshqaruv konturida axborotni himoyalash va shaxsiylashtirilmagan tarzda uzatish muhim ahamiyatga ega ekanini qayd etadilar. Mualliflar maxsus dasturiy platformani aqlli muhit infratuzilmasiga integratsiyalash orqali nafaqat axborot xavfsizligini, balki obyektning umumiy xavfsizligini ham oshirish mumkinligini ko'rsatadilar. Ushbu ish aqlli muhit infratuzilmasi samaradorligi faqat funksional va texnologik ko'rsatkichlar bilan emas, balki uning xavfsizlik darajasi bilan ham chambarchas bog'liqligini tasdiqlaydi.

Narves Behlilovic [19] aqlli muhit kommunikatsiyasini takomillashtirish masalasini xavfsizlik parametrlari bilan bog'liq holda ko'rib chiqadi. Muallifning ta'kidlashicha, aqlli muhitlarda ulangan qurilmalar sonining ortib borishi signal uzatish tezligi, tugunlar orasidagi masofa, kanal xavfsizligi, quvvat cheklovlari va tarmoq arxitekturasi kabi ko'rsatkichlarni yanada muhimlashtiradi. Tadqiqotda aqlli muhit kommunikatsiyasining samaradorligini oshirishda xavfsizlik parametrlarini boshqarish alohida o'rin tutishi ko'rsatilgan. Shu jihatdan ushbu ish aqlli muhit infratuzilmasini faqat qurilmalar va tarmoq bog'lanishlari yig'indisi sifatida emas, balki aloqa sifati va himoyalanganligini boshqaruvchi murakkab tizim sifatida qarash lozimligini anglatadi.

Aytish mumkinki, ko'rib chiqilgan tadqiqotlar aqlli muhit infratuzilmasining asosiy yo'nalishlari sifatida kontekstga asoslangan xizmatlar, geterogen qurilmalarni integratsiyalash, apparat-dasturiy platformalarni yaratish, tarmoq boshqaruvi, maxfiylik va xavfsizlik masalalarini ajratib ko'rsatadi (1-jadval). Ushbu ishlarda aqlli muhit infratuzilmasining turli komponentlari va ularning o'zaro bog'lanishi yoritilgan bo'lsa-da, ko'plab tadqiqotlarda infratuzilma elementlari faoliyati bilan qaror qabul qilish mexanizmlari o'rtasidagi uzviy bog'liqlik yetarli darajada chuqur tahlil qilinmagan. Ayniqsa, tarmoq dinamikasi, real vaqt rejimida moslashuvchan boshqaruv va qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlashning yagona infratuzilmaviy modeli hali ham dolzarb ilmiy muammo sifatida saqlanib qolmoqda.

1-jadval asosida aytish mumkinki, aqlli muhit infratuzilmasiga oid tadqiqotlarda asosan, kontekstga asoslangan xizmatlarni tashkil etish, turli monitoring va boshqaruv tizimlarini yagona axborot makoniga integratsiyalash, geterogen apparat-dasturiy vositalarni uyg'unlashtirish, aqlli muhit kommunikatsiyasini takomillashtirish hamda xavfsizlikni ta'minlash masalalariga e'tibor qaratilgan. Ko'rib chiqilgan ishlarda aqlli muhit infratuzilmasining turli komponentlari va ularning o'zaro bog'lanishi yoritilgan bo'lsa-da, aksariyat tadqiqotlarda infratuzilma elementlari faoliyati bilan qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlovchi mexanizmlar o'rtasidagi uzviy bog'liqlik yetarli darajada chuqur ochib berilmagan. Ayniqsa, real vaqt rejimida ma'lumot almashinuvi, tarmoq va infratuzilma dinamikasini hisobga olgan holda moslashuvchan boshqaruvni tashkil etish hamda qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlashning yagona integrallashgan modeli hali ham dolzarb ilmiy muammo bo'lib qolmoqda.

2.2 IoT asosidagi aqlli muhit modellari tahlili

Koichiro Ishibashi va boshqalar [20] aqlli muhit monitoring tizimlari uchun energiya tejamkor va kichik o'lchamli IoT sensorlaridan foydalanish masalasini ko'rib chiqadilar. Ular taklif etgan Beat Sensor texnologiyasi aqlli muhit monitoringida, xususan, havo ifloslanishini kuzatishda samarali qo'llanishi mumkin bo'lgan amaliy yechim sifatida tavsiflanadi. Mualliflar LoRa aloqa protokoli asosida uzoq masofaga uzatish imkoniyati mavjud bo'lgan, past quvvat sarflovchi monitoring tizimini shakllantiradilar. Ushbu yondashuv IoT asosidagi aqlli muhitlarda sensor tugunlarining energiya samaradorligi, uzoq masofali aloqa va amaliy monitoring vazifalarini uyg'unlashtirish muhim ekanini ko'rsatadi. Shu bilan

birga, tadqiqot ko'proq qurilma va aloqa darajasiga yo'naltirilgan bo'lib, yuqori darajadagi analitik boshqaruv va qaror qabul qilish mexanizmlari batafsil yoritilmagan.

Han-Jong Kim [21] aqlli muhitlarni dastlabki konseptual loyihalash bosqichida tezkor prototiplash masalasiga e'tibor qaratadi. Muallifning ta'kidlashicha, katta makonlarda turli IoT qurilmalari va insonlar o'rtasidagi murakkab o'zaro ta'sirlarni loyihalash qimmat va vaqt talab qiluvchi jarayon hisoblanadi. Shu sababli u aqlli muhitlarni dastlabki bosqichda sinab ko'rish, foydalanuvchi tajribasini modellashtirish va interaktiv tizimlarni tezkor baholash imkonini beruvchi usullarni taklif etadi. Bu yondashuv IoT asosidagi aqlli muhitlarda faqat texnik infratuzilma emas, balki foydalanuvchi bilan bog'liq funksional talablarni ham erta bosqichda inobatga olish zarurligini ko'rsatadi. Biroq ushbu ishda real vaqt rejimida boshqaruv va tarmoq resurslarini optimallashtirishga oid masalalar chuqur ochib berilmagan.

Ejaz Ahmed va boshqalar [22] IoT asosidagi aqlli muhitlarni zamonaviy holati, tasnifi va ochiq ilmiy muammolari nuqtai nazaridan tizimli tahlil qiladilar. Ularning fikricha, buyumlar interneti texnologiyalari fizik muhitni sensorlar, aktuatorlar va hisoblash elementlari bilan uzluksiz bog'lash orqali aqlli muhitlarning asosiy texnologik tayanchiga aylangan. Mualliflar kommunikatsiya vositalari, tarmoq turlari, mahalliy simsiz standartlar, texnologiyalar, maqsadlar va xususiyatlar bo'yicha batafsil taksonomiya ishlab chiqib, IoT asosidagi aqlli muhitlar rivojlanishida yuzaga keladigan asosiy imkoniyatlar va muammolarni ko'rsatadilar. Ushbu tadqiqotning muhim jihati shundaki, u aqlli muhitni faqat alohida ilovalar yig'indisi sifatida emas, balki keng qamrovli tarmoq va xizmatlar ekotizimi sifatida tushuntiradi. Shu bilan birga, mualliflar xavfsizlik, masshtablanuvchanlik, qurilmalar geterogenligi va boshqaruv murakkabligi kabi masalalar hali ham dolzarb ekanini qayd etadilar.

Giuseppe Ruggeri va boshqalar [23] IoT'ni aqlli muhitlarning asosiy enableri, ya'ni amaliy joriy etuvchi texnologik asos sifatida baholaydilar. Ularning ta'kidlashicha, milliardlab aqlli obyektlarning global bog'lanishi smart city, aqlli bino, aqlli transport, aqlli energetika va sog'liqni saqlash kabi sohalarda aqlli muhitlar shakllanishini ta'minlamoqda. Mualliflar bunday muhitlarda ko'p sonli, quvvat va resurslari cheklangan qurilmalar katta hajmdagi ma'lumotlarni generatsiya qilishi, ayrim vazifalarni lokal bajarishi yoki kuchliroq tugunlarga uzatishi mumkinligini ko'rsatadilar. Shu sababli, ular aqlli muhitlar uchun masshtablanuvchi boshqaruv platformalari, yengil protokollar, xavfsizlik mexanizmlari, middleware arxitekturalari, bulutli va chekka hisoblash texnologiyalarining ahamiyatini alohida ta'kidlaydilar. Tadqiqotning afzalligi - IoT asosidagi aqlli muhitni texnologik, tarmoq va boshqaruv jihatlaridan kompleks ko'rib chiqishidir, biroq unda qaror qabul qilishning aniq matematik modeli va adaptiv boshqaruv algoritmlari chuqur ishlab chiqilmagan.

Ghizlane Ikrisi va Tomader Mazri [24] IoT asosidagi aqlli muhitlarda xavfsizlik tahdidlari va ularni bartaraf etish usullarini tahlil qiladilar. Ularning fikricha, aqlli muhit foydalanuvchilarga qulaylik, energiya tejamligi, xavfsizlik va avtomatlashtirish imkoniyatlarini bersa-da, IoT qurilmalari va tizimlaridagi zaifliklar turli tahdidlarni yuzaga keltiradi. Mualliflar aqlli muhit IoT arxitekturasining to'rt qatlamida paydo bo'ladigan asosiy xavfsizlik muammolarini ko'rsatib, mavjud himoya choralarini umumlashtiradilar. Bu ish IoT asosidagi aqlli muhitlarda xavfsizlik masalasi infratuzilma va xizmatlar samaradorligi bilan bevosita bog'liq ekanini ko'rsatadi. Biroq tadqiqot asosan xavfsizlikka qaratilgan bo'lib, qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlash va moslashuvchan boshqaruv masalalari ikkinchi planda qolgan.

Made Gitakarma va boshqalar [25] IoT asosidagi aqlli muhitlarda arxitekturalar, freymvorklar va amaliy qo'llanmalarni tahlil qiladilar. Ular aqlli muhitni ko'plab elektron qurilmalar va xizmatlar o'zaro bog'langan, katta hajmdagi ma'lumotlarni generatsiya qiluvchi va bulutli texnologiyalar bilan uzviy integratsiyalashgan tizim sifatida tavsiflaydilar. Mualliflar aqlli muhitlarning rivojlanishi smart city konsepsiyasidan tashqariga chiqib, mustaqil ilmiy va amaliy yo'nalish sifatida shakllanayotganini ko'rsatadilar. Ushbu ishning ahamiyati shundaki, u IoT asosidagi aqlli muhitlar bo'yicha arxitektura va freymvorklarni umumlashtirib, zamonaviy tadqiqotlar yo'nalishlarini tizimlashtiradi. Shu bilan birga, unda infratuzilma elementlari va qaror qabul qilish jarayonlari o'rtasidagi bog'liqlikni ifodalovchi formal modellar yetarli darajada ochib berilmagan.

Amber Batwara va boshqalar [26] aqlli va barqaror ishlab chiqarish muhitlarida sun'iy intellekti joriy etish omillarini qaror qabul qilish freymvorki asosida tahlil qiladilar. Ularning tadqiqoti bevosita IoT asosidagi aqlli muhitlarga qaratilmagan bo'lsa-da, aqlli sanoat muhiti uchun AI'ni joriy etishda texnologik, strategik, ekologik va moliyaviy omillarning rolini baholashi bilan muhimdir. Mualliflar fuzzy AHP asosidagi ko'p mezonli qaror qabul qilish modelidan foydalanib, ma'lumotlar sifati va murakkabligi eng muhim omil ekanini ko'rsatadilar. Bu yondashuv aqlli muhitlarda qaror qabul qilish modellarini qurishda ma'lumot sifati, integratsiya darajasi va boshqaruv mezonlarini inobatga olish zarurligini tasdiqlaydi. Biroq mazkur ish ko'proq sanoat ishlab chiqarish muhitiga yo'naltirilgan bo'lib, umumiy IoT aqlli muhitlar uchun universal infratuzilmaviy model bermaydi.

Kamal Pandey va boshqalar [27] aqlli muhitda qisqa muddatli xonadagi haroratni bashoratlash va shu asosda samarali qaror qabul qilish masalasini ko'rib chiqadilar. Mualliflar bino ichidagi qulaylik va energiya sarfi o'rtasidagi muvozanatni ta'minlash uchun Bayesian Dynamic Models, ARIMA, sun'iy

neyron tarmoqlar va Support Vector Regression usullarini qo'llab, gibrid bashoratlash yondashuvini taklif etadilar.

2-jadval. IoT asosidagi aqlli muhitlarga oid yondashuvlarning qiyosiy tahlili

Mualliflar	Yil	Tadqiqot yo'nalishi	Taklif etilgan yondashuv texnologiyasi	Natijaning afzalligi	Cheklovlari
Koichiro Ishibashi va boshqalar [20]	2019	Aqlli muhit monitoringi	Beat Sensor va LoRa asosidagi past quvvatli IoT monitoring tizimi	Energiya tejamkor, kichik o'lchamli va uzoq masofaga ma'lumot uzata oladigan monitoring yechimi taklif etilgan	Asosan sensor va aloqa darajasiga qaratilgan, yuqori darajadagi analitik boshqaruv yoritilmagan
Han-Jong Kim [21]	2019	Aqlli muhitlarni loyihalash va prototiplash	IoT asosidagi aqlli muhitlar uchun tezkor prototiplash usullari va vositalari	Dastlabki bosqichda foydalanuvchi tajribasini va tizim o'zaro ta'sirini baholash imkonini beradi	Real vaqt rejimidagi boshqaruv va resurslarni optimallashtirish masalalari chuqur yoritilmagan
Ejaz Ahmed va boshqalar [22]	2016	IoT asosidagi aqlli muhitlar tahlili	Taksonomiya asosida kommunikatsiya texnologiyalari, tarmoqlar va standartlarni tizimlashtirish	IoT asosidagi aqlli muhitlar uchun keng qamrovli tasnif va ochiq ilmiy muammolar keltirilgan	Formal qaror qabul qilish modeli va adaptiv boshqaruv algoritmlari ishlab chiqilmagan
Giuseppe Ruggeri va boshqalar [23]	2020	IoT aqlli muhitlar uchun asosiy texnologiya sifatida	Middleware, yengil protokollar, bulutli va chekka hisoblashga asoslangan boshqaruv platformalari	IoT'ning aqlli muhitlar uchun asosiy enabler ekani ko'rsatilib, masshtablanuvchi platformalar zarurligi asoslangan	Qaror qabul qilishning matematik modeli va resurslarni moslashuvchan boshqarish masalalari batafsil yoritilmagan
Ghizlane Ikrissi va Tomader Mazri [24]	2021	IoT asosidagi aqlli muhitlar xavfsizligi	Aqlli muhit IoT arxitekturasi qatlamlari bo'yicha xavfsizlik tahdidlari va himoya choralarini tahlil qilish	Xavfsizlik muammolari va ularni bartaraf etish usullari tizimlashtirilgan	Asosan xavfsizlikka yo'naltirilgan, qaror qabul qilish va adaptiv boshqaruv masalalari ikkinchi planda qolgan
Made Gitakarma va boshqalar [25]	2021	Aqlli muhit arxitekturalari va freymvorklari	IoT asosidagi aqlli muhitlar uchun arxitekturalar, freymvorklar va amaliy ilovalar sharhi	Zamonaviy arxitekturalar va qo'llanish yo'nalishlari umumlashtirilgan	Infratuzilma va qaror qabul qilish jarayonlari o'rtasidagi formal bog'lanish yetarli ochib berilmagan
Amber Batwara va boshqalar [26]	2024	Aqlli sanoat muhitida AI asosidagi qaror qabul qilish	Fuzzy AHP asosidagi ko'p mezonli qaror qabul qilish freymvorki	AI integratsiyasiga ta'sir qiluvchi omillar ustuvorligi aniqlangan, ma'lumot sifati muhim omil sifatida ko'rsatilgan	Umumiy IoT aqlli muhitlardan ko'ra ko'proq smart manufacturing sohasiga yo'naltirilgan
Kamal Pandey va boshqalar [27]	2021	Aqlli muhitda bashoratlash asosida qaror qabul qilish	Bayesian Dynamic Models, ARIMA, ANN va SVR asosidagi gibrid bashoratlash modeli	Haroratni bashoratlash va energiya boshqaruvi uchun samarali qaror qabul qilish modeli taklif etilgan	Asosan ichki mikroiklim va energiya boshqaruvi qaratilgan, keng ko'lamli aqlli muhit infratuzilmasini to'liq qamrab olmaydi

Tadqiqot natijalari Bayesian model va sun'iy neyron tarmoq kombinatsiyasi eng yaxshi natijani berganini ko'rsatadi. Bu ish IoT asosidagi aqlli muhitlarda qaror qabul qilish ko'pincha oldindan bashoratlash va kontekstni tahlil qilish bilan uzviy bog'liq ekanini namoyon etadi. Shu bilan birga, ushbu yondashuv asosan haroratni bashoratlash va energiya boshqaruviga qaratilgan bo'lib, aqlli muhitning kengroq infratuzilmaviy va ko'p komponentli boshqaruv masalalarini to'liq qamrab olmaydi.

Shuningdek, ko'rib chiqilgan tadqiqotlar IoT asosidagi aqlli muhitlar rivojlanishida sensor qurilmalar, simsiz aloqa texnologiyalari, middleware, bulutli va chekka hisoblash, xavfsizlik, prototiplash, bashoratlash hamda ko'p mezonli qaror qabul qilish usullarining muhim o'rin tutishini ko'rsatadi (2-jadval). Ushbu ishlarda aqlli muhitlarning texnologik bazasi, qo'llanish sohalari va ayrim amaliy yechimlari keng yoritilgan bo'lsa-da, ko'plab tadqiqotlarda IoT qurilmalari hosil qiladigan ma'lumotlar oqimini real vaqt rejimida tahlil qilish, tarmoq resurslarini moslashuvchan boshqarish va qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlashning yagona integrallashgan modeli yetarli darajada ishlab chiqilmagan. Ayniqsa, aqlli muhit infratuzilmasi, IoT trafiklari va intellektual boshqaruv mexanizmlarini yagona tizim sifatida ko'ruvchi yondashuvlar hali ham dolzarb ilmiy muammo bo'lib qolmoqda.

2-jadvaldan ko'rinadiki, IoT asosidagi aqlli muhitlarga oid tadqiqotlarda asosan monitoring, prototiplash, arxitektura va freymvorklar, xavfsizlik, bashoratlash hamda qaror qabul qilish yondashuvlariga e'tibor qaratilgan. Ko'rib chiqilgan ishlarda IoT qurilmalari, simsiz aloqa texnologiyalari, middleware, bulutli va chekka hisoblash vositalari aqlli muhitning asosiy texnologik tayanchi sifatida namoyon bo'ladi. Biroq aksariyat tadqiqotlarda IoT ma'lumot oqimlarini real vaqt rejimida qayta ishlash, tarmoq resurslarini moslashuvchan boshqarish va qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlashning yagona integrallashgan modeli yetarli darajada ishlab chiqilmagan.

2.3 Aqlli muhit infratuzilmasida qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlovchi modellar tahlili

Amber Batwara va boshqalar [28] aqlli va barqaror ishlab chiqarish muhitlarida sun'iy intellektni joriy etishga ta'sir qiluvchi omillarni qaror qabul qilish freymvorki asosida tahlil qiladilar. Ularning yondashuvida texnologik, strategik, ekologik va moliyaviy omillar ko'p mezonli qaror qabul qilish modeli yordamida baholanadi. Mualliflar fuzzy AHP usuli orqali turli omillarning ustuvorlik darajasini aniqlab, ayniqsa ma'lumot sifati va murakkabligi AI integratsiyasida hal qiluvchi omil ekanini ko'rsatadilar. Ushbu tadqiqot aqlli muhitlarda qaror qabul qilish faqat algoritm tanlash bilan cheklanmasdan, balki ma'lumotlar sifati, tizim tayyorgarligi va tashkiliy omillar bilan ham uzviy bog'liqligini ko'rsatadi. Shu bilan birga, mazkur ish ko'proq aqlli ishlab chiqarish muhitiga yo'naltirilgan bo'lib, umumiy aqlli muhit infratuzilmalari uchun universal modelni bermaydi.

Kamal Pandey, Bhaskar Basu va Sandipan Karmakar [29] aqlli muhitda qisqa muddatli xona haroratini bashoratlash asosida samarali qaror qabul qilish usulini taklif qiladilar. Mualliflar haroratni prognozlash uchun Bayesian Dynamic Models, ARIMA, sun'iy neyron tarmoqlar va qo'llab-quvvatlovchi vektor regressiyasi usullarini taqqoslab, gibrid modelning afzalligini ko'rsatadilar. Tadqiqot natijalariga ko'ra, Bayesian model va sun'iy neyron tarmoq kombinatsiyasi energiya boshqaruvi uchun eng samarali natijani beradi. Bu yondashuv aqlli muhitda qaror qabul qilishning bashoratlash va moslashuvchan boshqaruv bilan chambarchas bog'liq ekanini ko'rsatadi. Biroq tadqiqot asosan aqlli binolardagi mikroiklim va energiya optimallashtirishga qaratilgan bo'lib, murakkab ko'p komponentli aqlli muhitlar uchun umumlashgan boshqaruv modelini to'liq qamrab olmaydi.

Jacimar F. Tavares, Marcos R. S. Borge va Adriana S. Vivacqua [30] favqulodda transport boshqaruvi uchun aqlli muhitga tayangan qaror qabul qilish freymvorkini taklif etadilar. Ular Braziliya shahridagi monitoring, tayyorgarlik va boshqaruv texnologiyalariga asoslanib, aqlli muhitning turli elementlari birgalikda vaziyat haqida bilim hosil qilishi va qaror qabul qilishga xizmat qilishi mumkinligini ko'rsatadilar. Mualliflar yangi komponentlar yoki ma'lumotlar qo'shilganda yuzaga keladigan ssenariylarni modellashtirish orqali tizimni takomillashtirish imkoniyatlarini ham namoyon etadilar. Mazkur ish aqlli muhitlarda qaror qabul qilishning vaziyatga moslashuvchan va ssenariyga yo'naltirilgan bo'lishi lozimligini ko'rsatadi. Shu bilan birga, unda taklif etilgan yondashuv ko'proq favqulodda transport vaziyatlariga xos bo'lib, boshqa sohalar uchun moslashuv darajasi yetarlicha ochib berilmagan.

Chady Elias, Isabelle Southern va Raja R. A. Issa [31] raqamli egizaklar (Digital Twins) texnologiyasini aqlli qaror qabul qilish vositasi sifatida facilities and asset management sohasida ko'rib chiqadilar. Ularning ta'kidlashicha, raqamli egizak fizik muhitdagi qurilmalar va jarayonlar haqidagi real vaqt ma'lumotlarini virtual model bilan bog'lash imkonini beradi. Shu tariqa, ilgari statik bo'lgan BIM ma'lumotlari dinamik va amaliy qaror qabul qilish vositasiga aylanadi. Ushbu yondashuv aqlli muhitlarda real obyekt va uning raqamli modeli o'rtasidagi uzviy aloqani ta'minlab, boshqaruv va xizmat ko'rsatish jarayonlarining samaradorligini oshiradi. Biroq mazkur ish asosan binolar va aktivlarni boshqarish sohasiga qaratilgan bo'lib, tarmoq darajasidagi qaror qabul qilish va geterogen IoT infratuzilmasini boshqarish masalalari to'liq yoritilmagan.

J. Coetzer va boshqalar [32] aqlli ishlab chiqarish muhitida hamkorlikdagi qaror qabul qilish masalasini inson va avtomatlashtirilgan tizim o'rtasidagi o'zaro ta'sir nuqtai nazaridan tahlil qiladilar. Mualliflar Industry 4.0 sharoitida mashinalar, bulutli hisoblash, IoT va kiber-fizik tizimlar keng joriy etilayotgan bo'lsa-da, qaror qabul qilish jarayonida inson omili haligacha muhimligini ta'kidlaydilar. Ularning tadqiqotida avtomatlashtirilgan suv qadoqlash zavodi misolida inson-mashina interfeysi asosida hamkorlikdagi boshqaruv modeli ko'rib chiqiladi. Bu ish aqlli muhitlarda qaror qabul qilish faqat to'liq avtomatlashtirilgan algoritmlarga emas, balki insonning moslashuvi va ishtirokiga ham tayanishi mumkinligini ko'rsatadi. Shu bilan birga, tadqiqot ko'proq ishlab chiqarish muhitiga xos bo'lib, umumiy aqlli muhitlar uchun kengaytirilgan model taqdim etmaydi.

Shreyanshu Parhi, Kanchan Joshi va Milind Akarte [33] aqlli ishlab chiqarish muhitida qaror qabul qilish uchun samaradorlikni o'lchash freymvorkini ishlab chiqqanlar. Ularning yondashuvida Smart Manufacturing Performance Measures va Smart Manufacturing Performance Indicators tushunchalari orqali aqlli tizimlarning natijadorligi miqdoriy baholanadi. Mualliflar turli ko'rsatkichlarning matematik ifodalarini keltirib, ishlab chiqarish tizimida qaysi natijaga erishish uchun qanday o'lchovlar asosida qaror qabul qilish kerakligini ko'rsatadilar. Ushbu yondashuv aqlli muhitlarda qaror qabul qilish modellarini baholashda mezonlar tizimi zarur ekanini ko'rsatadi. Biroq ishda qaror qabul qilishning dinamik, adaptiv va real vaqt xususiyatlari chuqur tahlil qilinmagan.

Silvia Munteanu va boshqalar [34] aqlli qishloq xo'jaligi sharoitida o'zini o'zi tashkil etuvchi ko'p agentli hamkorlikdagi qaror qabul qilish tizimini taklif etadilar. Ularning arxitekturasi IoT va edge computing asosida real vaqt ma'lumotlarini yig'ish, tahlil qilish va boshqarish imkonini beradi. Tizimda swarm intelligence, cellular computing, genetik algoritmlar va Pareto optimallashtirish kabi tabiatdan ilhomlangan hisoblash usullari qo'llanadi. Tadqiqot natijalari suv, o'g'it va energiya sarfini kamaytirish bilan birga, anomalialarni erta aniqlash va operatsion strategiyalarni real vaqt rejimida moslashtirish mumkinligini ko'rsatadi. Bu ish aqlli muhitlarda qaror qabul qilishning ko'p agentli va adaptiv tabiatini muvaffaqiyatli namoyish etadi. Shu bilan birga, yondashuv ma'lum bir domen - aqlli qishloq xo'jaligiga yo'naltirilgan bo'lib, boshqa sohalar uchun umumlashtirish masalasi ochiq qoladi.

Hoda Gholami va Carl K. Chang [35] aqlli muhitlarda vaziyatga sezgir va ma'lumotlarga asoslangan qaror qabul qilishni MapReduce texnologiyasi yordamida tashkil etishni taklif qiladilar. Ularning fikricha, IoT va bulutli hisoblash sharoitida aqlli muhitlar juda katta hajmdagi ma'lumotlarni hosil qiladi va ushbu ma'lumotlarni samarali qayta ishlashsiz oqilona qaror qabul qilish mushkul. Mualliflar vaziyatga sezgir ma'lumotlarni qayta ishlash va kelajak holatlarni bashoratlash orqali qarorlarni o'z vaqtida va samarali qabul qilish imkonini beruvchi freymvorkni ishlab chiqadilar. Ushbu ish aqlli muhitlarda qaror qabul qilishning ma'lumotlar ko'lamini va qayta ishlash samaradorligi bilan bevosita bog'liqligini ko'rsatadi. Biroq unda real vaqt rejimidagi taqsimlangan tarmoq infratuzilmasi va resurslarni moslashuvchan boshqarish masalalari chuqur ochildimagan.

Hoda Gholami, Carl K. Chang va boshqalar [36] aqlli muhitlarda bashoratli tahlil uchun ma'lumotlarga asoslangan vaziyatga sezgir freymvorkni ishlab chiqqanlar. Ular geterogen sensor manbalardan keladigan katta hajmdagi ma'lumotlarni tozalash, tahlil qilish va talqin qilish masalasini hal etish uchun Situ-Morphism va Locality Sensitive Hashing usullaridan foydalanadilar. Mualliflar taklif etgan model aqlli muhitning kelajakdagi holatini bashorat qilish, foydalanuvchi vaziyatlarini oldindan aniqlash va proaktiv qaror qabul qilishga xizmat qiladi. Tadqiqot aqlli muhitlarda predictive analytics qaror qabul qilishning muhim tarkibiy qismi ekanini ko'rsatadi. Shu bilan birga, bu yondashuv asosan bashoratlash va semantik murakkablikni kamaytirishga qaratilgan bo'lib, boshqaruv siyosatlarini dinamik optimallashtirish bilan kamroq bog'langan.

Abderrahim Lakehal va boshqalar [37] aqlli muhitlarda moslashuvchan va barqaror boshqaruvni ta'minlash uchun predictive reasoning hamda context-aware reinforcement learning yondashuvlarini birlashtiruvchi MACxRL freymvorkini taklif etadilar. Mualliflarning ta'kidlashicha, real sharoitlarda aqlli muhitlar tarmoq beqarorligi, javob kechikishi, AI qarorlarining izchilsizligi va moslashuvchanlikning cheklanganligi kabi muammolarga duch keladi. Taklif etilgan uch pog'onali arxitektura real vaqt kontekstini yig'ish, yengil bashoratlash va markazlashgan mustahkamlovchi o'qitish asosidagi qaror qabul qilishni birlashtiradi. Natijalar energiya sarfini sezilarli kamaytirish, tezroq konvergentsiya va an'anaviy hamda chuqur RL usullariga nisbatan barqarorroq ishlashni ko'rsatadi. Ushbu tadqiqot aqlli muhit infratuzilmasida qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlashda reinforcement learning yondashuvining kuchli salohiyatga ega ekanini isbotlaydi. Shunga qaramay, mualliflar mukofot funksiyasini o'z-o'zini moslashtirish va ko'p xonali real muhitga kengaytirish zarurligini qayd etadilar.

Stephan Hammer, Michael Wissner va Elisabeth Andre [38] aqlli va moslashuvchan muhitlarda ishonchga asoslangan qaror qabul qilish modelini taklif etadilar. Giang Hoang, Laurent Dupont va Mauricio Camargo [39] aqlli shahar loyihalarida qaror qabul qilish usullarini tizimli adabiyotlar sharhi asosida tahlil qiladilar.

3-jadval. Aqlli muhit infratuzilmasida qaror qabul qilishni qo‘llab-quvvatlovchi yondashuvlarning qiyosiy tahlili

Mualliflar	Yil	Tadqiqot yo‘nalishi	Taklif etilgan yondashuv	Tadqiqot natijasining afzalligi	Cheklovlari
Amber Batwara va boshqalar [28]	2024	Aqlli ishlab chiqarish muhitida AI integratsiyasi	Fuzzy AHP asosidagi ko‘p mezonli qaror qabul qilish freymvorki	AI joriy etishga ta‘sir qiluvchi omillar ustuvorligi aniqlangan, ma‘lumot sifati muhim omil sifatida ko‘rsatilgan	Ko‘proq smart manufacturing sohasi uchun mos, umumiy aqlli muhit infratuzilmasiga to‘liq moslashtirilmagan
Kamal Pandey va boshqalar [29]	2021	Aqlli binoda energiya boshqaruvi	Bayesian Dynamic Models, ARIMA, ANN va SVR asosidagi g‘ibrid bashoratlash modeli	Haroratni aniq bashoratlash orqali energiya boshqaruvi uchun samarali qaror qabul qilishni ta‘minlaydi	Asosan mikroiklim va energiya optimallashtirishga qaratilgan, keng infratuzilmaviy boshqaruvni qamrab olmaydi
Jacimar F. Tavares va boshqalar [30]	2025	Favqulodda transport boshqaruvi	Aqlli muhitga asoslangan ssenariyli qaror qabul qilish freymvorki	Monitoring va tayyorgarlik ma‘lumotlari asosida favqulodda vaziyatlarda samarali qaror qabul qilish imkonini beradi	Muayyan transport sohasi bilan cheklangan, umumlashgan model yetarli darajada ishlab chiqilmagan
Chady Elias va boshqalar [31]	2025	Facilities and Asset Management	Digital Twin asosidagi aqlli qaror qabul qilish modeli	Fizik muhit va virtual modelni bog‘lab, real vaqt tahlili va boshqaruvni yaxshilaydi	Asosan FAM va AECO sohasiga yo‘naltirilgan, IoT tarmoq dinamikasi bilan kam bog‘langan
J. Coetzer va boshqalar [32]	2024	Aqlli ishlab chiqarish muhitida hamkorlikdagi boshqaruv	Inson-mashina interfeysiga asoslangan collaborative decision-making modeli	Qaror qabul qilishda inson omili va avtomatlashtirilgan tizimlar hamkorligini ta‘minlaydi	Ko‘proq ishlab chiqarish jarayonlariga xos, to‘liq avtomatlashtirilgan aqlli muhitlar uchun umumlashmagan
Shreyanshu Parhi va boshqalar [33]	2022	Aqlli ishlab chiqarishda samaradorlikni baholash	Smart Manufacturing Performance Indicators asosidagi qaror qabul qilish freymvorki	Aqlli tizimlar samaradorligini miqdoriy ko‘rsatkichlar asosida baholash imkonini beradi	Dinamik, adaptiv va real vaqt qaror qabul qilish jihatlari chuqur ochib berilmagan
Silvia Munteanu va boshqalar [34]	2025	Aqlli qishloq xo‘jaligida ko‘p agentli boshqaruv	O‘zini o‘zi tashkil etuvchi ko‘p agentli collaborative decision-making tizimi	Real vaqt ma‘lumotlari asosida moslashuvchan boshqaruv, resurs sarfini kamaytirish va anomaliyalarni aniqlash imkonini beradi	Asosan smart agriculture domeniga mos, boshqa aqlli muhitlarga umumlashtirish ochiq qolgan
Hoda Gholami va Carl K. Chang [35]	2017	Katta ma‘lumotlar asosida vaziyatga sezgir qaror qabul qilish	MapReduce asosidagi data-driven, situation-aware decision making freymvorki	Katta hajmdagi ma‘lumotlarni samarali qayta ishlash va vaziyatga mos qaror qabul qilishni ta‘minlaydi	Real vaqt infratuzilma resurslarini boshqarish masalasi yetarli darajada yoritilmagan
Hoda Gholami va boshqalar [36]	2018	Bashoratli tahlil asosida qaror qabul qilish	Situ-Morphism va Locality Sensitive Hashing asosidagi predictive analytics freymvorki	Geterojen sensor ma‘lumotlarini qayta ishlash va kelajak holatlarni bashoratlashda samarali	Boshqaruv siyosatlarini dinamik optimallashtirish cheklangan

Ularning tadqiqoti ko'p manfaatdor tomonlar - fuqarolar, boshqaruv organlari va texnik mutaxassislar - ishtirok etadigan murakkab muhitlarda qaror qabul qilish usullarining qanday qo'llanilishini ko'rsatadi. Mualliflar bibliometrik saralash asosida 76 ta maqolani tahlil qilib, turli qaror qabul qilish usullarining qaysi bosqichlarda va qanday darajada ishlatilishini xaritalaydilar. Mazkur ish aqlli muhitlarda qaror qabul qilish ko'p manfaatdor tomonlar va ko'p mezonli baholash jarayoni bilan chambarchas bog'liq ekanini ko'rsatadi. Shu bilan birga, u ko'proq smart city loyihalari boshqaruvi nuqtai nazaridan yondashadi va texnik darajadagi adaptiv qaror algoritmlarini chuqur ko'rib chiqmaydi.

Meiyi Ma va boshqalar [40] aqlli shaharlarda ma'lumotlar to'plamlari, modellashtirish va qaror qabul qilish metodologiyalarini keng qamrovli sharh asosida tahlil qiladilar. Ularning fikricha, zamonaviy shaharlar o'n minglab sensor va aktuatorlarni joriy etgan holda ko'plab aqlli xizmatlarni shakllantirmoqda, bu esa qaror qabul qilishni kiber-fizik tizimlar va IoT texnologiyalariga tayangan holda tashkil etishni talab qiladi. Mualliflar 14 ta aqlli shahar misolida yig'ilayotgan ma'lumotlar to'plamlarini va ushbu ma'lumotlarga asoslangan modellashtirish hamda qaror qabul qilish usullarini ko'rib chiqadilar. Tadqiqotda geterogenlik, to'liqlik, real vaqt xususiyati, xavfsizlik, noaniqlik va human-in-the-loop kabi asosiy muammolar ko'rsatib berilgan. Bu ish aqlli muhit infratuzilmasida qaror qabul qilishning ma'lumotlar bilan bog'liq murakkabligi va ko'p sohaga tarqalgan tabiatini aniq yoritadi. Biroq unda umumlashgan, yagona va moslashuvchan qaror qabul qilish modeli taklif etilmagan.

Ta'kidlash joizki, ko'rib chiqilgan tadqiqotlar aqlli muhit infratuzilmasida qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlovchi modellar turli yo'nalishlarda shakllanganini ko'rsatadi (3-jadval). Jumladan, ko'p mezonli baholash, bashoratlashga asoslangan boshqaruv, raqamli egizaklar, hamkorlikdagi qaror qabul qilish, ko'p agentli tizimlar, katta ma'lumotlar asosidagi vaziyatga sezgir tahlil, mustahkamlovchi o'qitish va ishonchga asoslangan modellar ushbu yo'nalishning asosiy metodologik tayanchi sifatida namoyon bo'ladi. Shunga qaramay, mavjud ishlarda qaror qabul qilish modellarining ko'pchiligi ma'lum bir soha yoki tor qo'llanish doirasiga yo'naltirilgan bo'lib, aqlli muhit infratuzilmasining geterogenligi, tarmoq dinamikasi, real vaqt rejimida resurslarni boshqarish va foydalanuvchi omilini birlashtirgan yagona integrallashgan model yetarli darajada ishlab chiqilmagan. Aynan shu holat aqlli muhit infratuzilmasida qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlovchi yangi model va algoritmlarni ishlab chiqish zarurligini asoslaydi.

Aqlli muhit infratuzilmasida qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlovchi yondashuvlar ko'p mezonli baholash, bashoratlashga asoslangan boshqaruv, raqamli egizaklar, hamkorlikdagi qaror qabul qilish, ko'p agentli tizimlar, katta ma'lumotlar asosidagi vaziyatga sezgir tahlil, mustahkamlovchi o'qitish hamda ishonchga asoslangan modellar kabi turli metodologiyalar asosida shakllanganligini 3-jadvaldan ko'rish mumkin. Ko'rib chiqilgan ishlarda ma'lum bir muhit yoki amaliy sohaga mos samarali yechimlar taklif etilgan bo'lsa-da, ularning aksariyati tor qo'llanish doirasi bilan cheklanadi. Ayniqsa, aqlli muhit infratuzilmasining geterogenligi, tarmoq dinamikasi, IoT asosidagi ma'lumotlar oqimini real vaqt rejimida qayta ishlash, resurslarni moslashuvchan boshqarish va foydalanuvchi omilini birlashtirgan yagona integrallashgan qaror qabul qilish modeli yetarli darajada ishlab chiqilmagan. Mazkur holat aqlli muhit infratuzilmasida qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlovchi yangi model va algoritmlarni ishlab chiqish zarurligini ko'rsatadi.

3 TAHLIL VA NATIJALAR

O'tkazilgan tahlillar shuni ko'rsatadiki, aqlli muhit sohasidagi zamonaviy tadqiqotlar uchta asosiy yo'nalishda shakllangan. Birinchi yo'nalishda aqlli muhit infratuzilmasining arxitekturasi, komponentlari va ularning o'zaro bog'lanishi o'rganilgan bo'lib, bunda kontekstga asoslangan xizmatlar, geterogen qurilmalarni integratsiyalash, monitoring tizimlarini yagona axborot makoniga birlashtirish, tarmoq kommunikatsiyasini tashkil etish hamda xavfsizlikni ta'minlash masalalariga asosiy e'tibor qaratilgan. Ikkinchi yo'nalishda IoT asosidagi aqlli muhitlar tadqiq etilib, sensorlar, simsiz aloqa texnologiyalari, middleware, bulutli va chekka hisoblash, xavfsizlik, monitoring, bashoratlash va prototiplash yechimlari tahlil qilingan. Uchinchi yo'nalishda esa aqlli muhit infratuzilmasida qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlovchi modellar rivojlanib, ko'p mezonli baholash, vaziyatga sezgir tahlil, bashoratlashga asoslangan boshqaruv, ko'p agentli tizimlar, ishonchga asoslangan modellar va mustahkamlovchi o'qitish usullariga tayangan yondashuvlar taklif etilgan.

Shu bilan birga, ko'rib chiqilgan tadqiqotlar orasida bir qator muhim cheklovlar saqlanib qolayotganini kuzatish mumkin. Avvalo, ko'pgina ishlarda aqlli muhit infratuzilmasining tarkibiy elementlari, IoT asosidagi ma'lumotlar oqimi va qaror qabul qilish mexanizmlari yagona tizim sifatida emas, balki ko'proq alohida qismlar ko'rinishida ko'rib chiqilgan. Ayrim tadqiqotlarda infratuzilma va monitoring masalalari yetarlicha yoritilgan bo'lsa-da, ularda qaror qabul qilishning formal modellari chuqur ishlab chiqilmagan. Boshqa ishlarda esa qaror qabul qilish usullari taklif etilgan bo'lsa-da, ular ma'lum bir amaliy soha - masalan, aqlli bino, aqlli ishlab chiqarish, aqlli qishloq xo'jaligi yoki aqlli shahar loyihalari bilan cheklanib qolgan. Natijada aqlli muhit infratuzilmasining geterogen tabiati, tarmoq dinamikasi, real vaqt rejimida

ma'lumot almashinuvi va resurslarni moslashuvchan boshqarish masalalarini birgalikda qamrab oluvchi integrallashgan yondashuv yetarli darajada shakllanmagan.

Yana bir muhim jihat shundaki, mavjud tadqiqotlarda qaror qabul qilish modellarining aksariyati ma'lum bir tor doiradagi vazifalarni hal etishga yo'naltirilgan. Masalan, ayrim ishlarda faqat energiya sarfini kamaytirish, ayrimlarida xavfsizlikni oshirish, boshqalarida foydalanuvchi ishonchini saqlash yoki bashoratlash aniqligini yaxshilashga urg'u berilgan. Biroq aqlli muhit infratuzilmasida qaror qabul qilish ko'p omilli, ko'p qatlamli va ko'p maqsadli jarayon bo'lib, unda bir vaqtning o'zida ma'lumotlar sifati, tarmoq holati, foydalanuvchi ehtiyoji, xavfsizlik, ishonchlik, kechikish, energiya samaradorligi va resurslar taqsimoti hisobga olinishi lozim. Ko'rib chiqilgan manbalarda aynan shu omillarni kompleks ravishda birlashtiruvchi va moslashuvchan boshqaruvni ta'minlovchi model yetarli darajada taklif etilmagan.

Bundan tashqari, aqlli muhitlar bo'yicha tadqiqotlarda sun'iy intellekt va mashinali o'qitish usullaridan foydalanish tobora ortib borayotgan bo'lsa-da, ularning ko'pchiligida qaror qabul qilish jarayoni hali ham to'liq real vaqt dinamikasiga moslashtirilmagan. Ayniqsa, IoT qurilmalaridan kelayotgan katta hajmdagi va geterogen ma'lumotlarni uzluksiz qayta ishlash, ular asosida vaziyatni baholash va shu zahotiyog mos qaror ishlab chiqish masalasi to'liq yechimini topmagan. Bu esa aqlli muhit infratuzilmasida nafaqat analitik, balki adaptiv, vaziyatga sezgir va tarmoq-resurs holatini hisobga oluvchi yangi qaror qabul qilish modellarini ishlab chiqishni talab qiladi.

4 XULOSA

Mazkur maqolada aqlli muhit infratuzilmasi bo'yicha olib borilgan zamonaviy ilmiy tadqiqotlar atroflicha tahlil qilinib, qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlovchi modellar bo'yicha mavjud yondashuvlar umumlashtirildi. Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatdiki, aqlli muhit infratuzilmasi bo'yicha tadqiqotlarda asosan kontekstga asoslangan xizmatlar, geterogen qurilmalarni integratsiyalash, monitoring va xavfsizlikni ta'minlash, IoT asosidagi ma'lumotlarni uzatish, bashoratlash, ko'p agentli tizimlar, raqamli egizaklar, mustahkamlovchi o'qitish va ko'p mezonli qaror qabul qilish usullari rivojlangan. Shu bilan birga, mavjud ishlarda qaror qabul qilish jarayoni ko'pincha alohida amaliy vazifalar yoki tor sohaviy muammolar bilan cheklanib, aqlli muhit infratuzilmasining barcha tarkibiy elementlarini yagona tizim sifatida qamrab oluvchi integrallashgan model yetarli darajada ishlab chiqilmaganligi aniqlandi.

Tadqiqot natijalariga ko'ra, aqlli muhit infratuzilmasida qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlash masalasi tarmoq dinamikasi, IoT asosidagi ma'lumotlar oqimi, hisoblash va kommunikatsiya resurslari holati, foydalanuvchi ehtiyojlari hamda xavfsizlik talablari bilan uzviy bog'liq ekanligi asoslandi. Ayniqsa, real vaqt rejimida vaziyatni baholash, moslashuvchan boshqaruvni tashkil etish va resurslardan oqilona foydalanishni ta'minlash uchun yangi model va algoritmlarni ishlab chiqish zarurligi ko'rsatildi.

ADABIYOTLAR

- [1] Weiser, M. (1991). The computer for the 21st century. *Scientific American*, 265(3), 94–104.
- [2] Cook, D. J., & Das, S. K. (2005). *Smart environments: Technology, protocols and applications*. Wiley (pp. 153–174).
- [3] Droege, P. (1997). *Intelligent environments*. Elsevier.
- [4] Poslad, S. (2009). *Ubiquitous computing: Smart devices, environments and interactions*. Wiley.
- [5] Nakashima, H., Aghajan, H., & Augusto, J. C. (Eds.). (2010). *Handbook of ambient intelligence and smart environments*. Springer.
- [6] Cook, D. J., & Das, S. K. (2004). How smart are our environments? An updated look at the state of the art.
- [7] Wolter, D., & Kirsch, A. (2017). Smart environments: What is it and why should we care? *KI - Künstliche Intelligenz*, 31(3), 231–237. <https://doi.org/10.1007/s13218-017-0498-4>
- [8] Singaraju, S., Sree, R., Dasika, M., Kakulapati, V., & Saligrama, S. (2024). Smart environment.
- [9] Das, S., & Cook, D.J. (2005). Smart home environments: A paradigm based on learning and prediction. In *Lecture Notes in Computer Science*.
- [10] Augusto, J.C., Nakashima, H., & Aghajan, H. (2010). *Ambient intelligence and smart environments: A state of the art*.
- [11] Russis, L. (2015). Interacting with smart environments: Users, interfaces, and devices. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 7, 115–116. <https://doi.org/10.3233/AIS-140294>
- [12] Roziqin, A., Nugroho, R. A., Prabawati, L. P., & Purnaweni, H. (2021). The development of smart environment study for the last five years: A bibliometric analysis.
- [13] Dey, A.K., Abowd, G. D., & Salber, D. (2001). A context-based infrastructure for smart environments.
- [14] Zaharia, M.H. (2017). A smart environment infrastructure.

- [15] *Dik, G., Bogdanov, A., Shchegoleva, N., Dik, A., & Kiyamov, J.* (2022). A new approach to managing smart environment infrastructure settings.
- [16] *Pinnaka, V.D., King, S.A., & Katangur, A.K.* (2019). SLIP: A cost-effective infrastructure for a smart environment.
- [17] *Gheisari, M., Tahaei, H., Fernandez-Campusano, C., Malik, M., Mnkandla, E., Wang, Z., & Sibiya, M.* (2024). A flexible SDN-based privacy-preserving method for IoT-based smart city environment.
- [18] *Dik, G., Bogdanov, A., Shchegoleva, N., Dik, A., & Degtyarev, A.* (2020). On the issue of ensuring the safety of objects with smart habitat.
- [19] *Behlilovic, N.* (2022). One approach to improving smart environment communication via the security parameter.
- [20] *Ullo, S.L., & Sinha, G.R.* (2020). Advances in smart environment monitoring systems using IoT and sensors.
- [21] *Mori, H., Kundaliya, J., Naik, K., & Shah, M.* (2021). IoT technologies in smart environment: Security issues and future enhancements.
- [22] *Ishibashi, K., Manyone, D., Itoh, M., Dao, V.-L., & Hoang, V.-P.* (2019). Beat sensors for smart environment monitoring systems.
- [23] *Kim, H.-J.* (2019). Rapid smart environment prototyping for early conceptual design.
- [24] *Ahmed, E., Yaqoob, I., Gani, A., Imran, M., & Guizani, M.* (2016). Internet of things based smart environments: State-of-the-art, taxonomy, and open research challenges. *IEEE Wireless Communications*, 23.
- [25] *Ruggeri, G., Loscri, V., Amadeo, M., & Calafate, C.* (2020). The Internet of Things for smart environments. *Future Internet*, 12(3), 51.
- [26] *Ikrissi, G., & Mazri, T.* (2021). IoT-based smart environments: State of the art, security threats and solutions.
- [27] *Gitakarma, M., Priyambodo, T., Suyanto, Y., & Sumiharto, R.* (2021). Architectures, frameworks, and applications in IoT-based smart environment: A review.
- [28] *Batwara, A., Kayande, R. A., & Kediya, S.* (2023). Critical drivers of AI integration in industrial processes for enhancing smart sustainable manufacturing.
- [29] *Pandey, K., Basu, B., & Karmakar, S.* (2021). An efficient decision-making approach for indoor temperature forecasting in smart environment.
- [30] *Tavares, J.F., Borge, M.R.S., & Vivacqua, A.S.* (2022). Preparing a smart environment to decision-making in emergency traffic control management.
- [31] *Elias, C., Southern, I., & Issa, R.R.A.* (2023). Digital twins for smart decision making in facilities and asset management.
- [32] *Coetzer, J., Kuriakose, R. B., Vermaak, H. J., & Nel, G.* (2022). The impact of collaborative decision-making in a smart manufacturing environment.
- [33] *Parhi, S., Joshi, K., & Akarte, M.* (2022). Decision-making in smart manufacturing: A framework for performance measurement.
- [34] *Munteanu, S., Sudacevschi, V., Ababii, V., Carbune, V., Borozan, O., & Alexei, V.* (2023). Self-organizing multi-agent collaborative decision-making system.
- [35] *Gholami, H., & Chang, C.K.* (2018). Situation-aware data-driven decision making in smart environments using MapReduce.
- [36] *Gholami, H., Chang, C. K., Aduri, P., Ma, A., & Rekabdar, B.* (2019). A data-driven situation-aware framework for predictive analysis in smart environments.
- [37] *Lakehal, A., Annane, B., Alti, A., Roose, P., & Aljarboa, S.* (2024). Adaptive and sustainable smart environments using reinforcement learning.
- [38] *Hammer, S., Wissner, M., & Andre, E.* (2015). Trust-based decision-making for smart and adaptive environments.
- [39] *Hoang, G., Dupont, L., & Camargo, M.* (2019). Application of decision-making methods in smart city projects.
- [40] *Ma, M., Preum, S., Ahmed, M., Tärneberg, W., Hendawi, A., & Stankovic, J.* (2019). Data sets, modeling, and decision making in smart cities.

Поступила в редакцию 18.01.2026

Citation: G'ayratov Z.K. (2026). Aqlli muhit infratuzilmasi va qaror qabul qilish modellariga oid zamonaviy ilmiy tadqiqotlar sharhi. Raqamli texnologiyalarning nazariy va amaliy masalalari xalqaro jurnali. 9(2). – B. 64-77. <https://doi.org/10.62132/ijdt.v9i2.377>.

A REVIEW OF MODERN SCIENTIFIC RESEARCH ON SMART ENVIRONMENT INFRASTRUCTURE AND DECISION SUPPORT MODELS

Gayratov Z.K.

Samarkand Branch of Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Samarkand, Uzbekistan

Abstract. This article analyzes modern scientific research conducted in the field of Smart Environment infrastructure and examines existing approaches to the development of decision support models. In recent years, due to the rapid advancement of the Internet of Things (IoT), artificial intelligence, sensor networks, cloud and edge computing technologies, the concept of Smart Environment has been widely applied across various domains. Smart Environment infrastructure is a complex and multi-component system in which automated control and decision-making processes are carried out based on the collection, processing, and analysis of large volumes of data. The research results indicate that most existing approaches do not sufficiently address the dynamic characteristics of Smart Environment infrastructure, flexible management of network resources, and efficient real-time decision-making.

Keywords: smart environment, smart environment infrastructure, internet of things (IoT), smart systems architecture, machine learning, data-driven analytics, context-aware systems, smart city technologies, digital infrastructure.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ УМНОЙ СРЕДЫ И МОДЕЛЕЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Гайратов З.К.

Самаркандский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми, Самарканд, Узбекистан

Аннотация. В данной статье проводится анализ современных научных исследований в области инфраструктуры умной среды (Smart Environment), а также рассматриваются существующие подходы к разработке моделей поддержки принятия решений. В последние годы, благодаря стремительному развитию Интернета вещей (IoT), искусственного интеллекта, сенсорных сетей, облачных и граничных вычислений, концепция умной среды получила широкое распространение в различных сферах. Инфраструктура умной среды представляет собой сложную многокомпонентную систему, в которой автоматизированное управление и принятие решений осуществляются на основе сбора, обработки и анализа больших объемов данных. Результаты исследования показывают, что большинство существующих подходов недостаточно полно учитывают динамические характеристики инфраструктуры умной среды, гибкое управление сетевыми ресурсами, а также эффективное принятие решений в режиме реального времени.

Ключевые слова: умная среда, инфраструктура умной среды, интернет вещей (IoT), архитектура интеллектуальных систем, машинное обучение, анализ данных, контекстно-ориентированные системы, технологии умного города, цифровая инфраструктура.