ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME -10

# DEVELOPMENT OF SCIENCE

## scientific journal



# Development of science

## Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 10

ISSN 3030 -3907

*Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.*

**BOSH MUHARRIR:**
***Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.***
**TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:**
***Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor***
***TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI***

**TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

***Bozorov G‘ayrat Rashidovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Abdurahmonov Olim Rustamovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Adizov Bobur Zamirovich***
*O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor*
***Hayitov Ruslan Rustamjonovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Jumayev Qayum Karimovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Berdiyev Dorob Murodovich***
*Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Maxmudov Rafiq Amonovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Tilloyev Lochin Ismatilloyevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Raxmonov Qahramon Sanakulovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Barakayev Nusratullo Rajabovich***
*Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Panoyev Erali Rajabboyevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Ataullayev Sherzod Nabiullyevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Murodov Malik Negmurodovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Axmedova Ozoda Bahronovna***
*Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.*
***Safarov Bahri Jumayevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Xaydarov Axtam Amonovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Safarov Jasur Alijon o‘g‘li***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*

**KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

***Axmedov Voxid Nizomovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Umarov Baqo Bafoyevich***
*Buxoro Davlat Universiteti, professor*
***Kodirov Abduaxad Abduraximovich***
*Qarshi davlat Universiteti, professor*
***Qurbonov Mingniqul Jumagulovich***
*Qarshi davlat Universiteti, dotsent*
***Turemuratov Sharibay Naurizbaevich***
*O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor*
***Tursunov Kaxor Shonazarovich***
*Qarshi davlat Universiteti, professor*
***Do‘stov Hamro***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Panoyev Nodir Shavkatovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Kasimov Sherzod Abduazimovich***
*Termiz Davlat Universiteti, professor.*
***Aliqulov Rustam Valiyevich***
*Termiz Davlat Universiteti, professor*
***Tropov Xamza Tursunovich***
*Samarqand Davlat Universiteti, professor*

**IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

***Nizamov Aslitdin Badreddinovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Boboyev Akmal Choriyevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna***
*Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor*
***Saidaxmedova Nodira Ilxomovna***
*Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor*
***Muxsinov Bekzod Toxirovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Shakarov Qulmat Ashirovich***
*Renessans ta'lim universiteti,dotsent.*
***Jumaeva Zulfiya Qayumovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Norova Salomat Yusupovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Jalilov Jamshid G‘anijonovich***
*Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent*
***Xasanova Gulruh Djumanazarovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*

**PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ**

***Siddiqova Sadoqat G‘afforovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Zoyirov Erkin Xalilovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor*
***Gaffarov Feruz Hasanovich***
Puchon Universiteti, *professor*
***Ruziyev Davron Yuldashevich***
*Buxoro Davlat Universiteti, professor*
***Muradova Firuza Rashidovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Yunusova Gulandon Samiyevna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***To‘xtayeva Zebo Sharifovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Uzoqova Laylo Polvonovna***
*Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.*
***To‘raqulova Marjona Qiyom qizi***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Muradova Zarina Rashidovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Murodov Sanjar Aslonovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent*
***Gaffarov Laziz Hasanovich***
*Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.*

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.


ISSN 3030-3907

**Development of science** ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.


ISSN 3030-3907

# AVTONOM MONITORING TARMOQLARIDA SIMSIZ MA'LUMOT UZATISH PROTOKOLLARINI TAQQOSLASH

**Xolmatov Oybek Olim o'g'li**
*Katta o'qituvchi Andijon davlat texnika instituti*
**Xakimov Akbar Faxriddin o'g'li**
*Andijon davlat texnika instituti Talaba*
*E-mail: xakimovakbar2005@gmail.com*

**Annotatsiya**. Mazkur ilmiy maqolada avtonom monitoring tarmoqlarida qo'llaniladigan simsiz ma'lumot uzatish protokollarining texnik imkoniyatlari, ishlash samaradorligi hamda amaliy qo'llanish xususiyatlari tahlil qilingan. Tadqiqotda zamonaviy monitoring tizimlarida keng qo'llanayotgan ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), LoRaWAN va NB-IoT protokollarining asosiy parametrlariga qiyosiy baho berilgan. Xususan, ma'lumot uzatish tezligi, energiya sarfi, aloqa masofasi, xavfsizlik darajasi, tarmoq sig'imi va uzluksiz ishlash ko'rsatkichlari ilmiy asosda o'rganilgan. Avtonom monitoring tarmoqlarida energiya tejamkorligi va uzoq masofaga uzatish imkoniyati muhim omillardan biri hisoblanishi sababli, maqolada kam quvvat sarflovchi protokollarning ustunliklari alohida yoritilgan. Tadqiqot davomida turli monitoring muhitlari, jumladan ekologik nazorat, aqlli qishloq xo'jaligi, sanoat avtomatizatsiyasi va xavfsizlik tizimlari uchun eng maqbul simsiz aloqa texnologiyalarini tanlash mezonlari ishlab chiqilgan. Natijalar shuni ko'rsatdiki, qisqa masofali va yuqori tezlik talab qilinadigan tizimlarda Wi-Fi va BLE samarali bo'lsa, uzoq masofali va energiya tejamkor monitoring tizimlari uchun LoRaWAN hamda NB-IoT texnologiyalari yuqori samaradorlikni namoyon etadi. Shuningdek, maqolada avtonom monitoring tarmoqlarining ishonchliligini oshirish va ma'lumotlar uzatishdagi kechikishlarni kamaytirishga qaratilgan tavsiyalar ham keltirilgan. Tadqiqot natijalari simsiz monitoring tizimlarini loyihalash va optimallashtirish jarayonlarida muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi.

**Kalit so'zlar:** Avtonom monitoring tarmoqlari, simsiz aloqa, ma'lumot uzatish protokollari, ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy, BLE, LoRaWAN, NB-IoT, IoT texnologiyalari, energiya samaradorligi, aqlli monitoring, sensor tarmoqlari, sanoat avtomatizatsiyasi, ekologik monitoring, ma'lumot uzatish tezligi, tarmoq xavfsizligi.

**Abstract**. This scientific article analyzes the technical capabilities, operational efficiency, and practical application features of wireless data transmission protocols used in autonomous monitoring networks. The study comparatively evaluates the main parameters of widely used modern monitoring protocols such as ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), LoRaWAN, and NB-IoT. In particular, data transmission speed, energy consumption, communication range,

security level, network capacity, and reliability indicators are examined on a scientific basis. Since energy efficiency and long-distance communication are considered important factors in autonomous monitoring systems, special attention is paid to the advantages of low-power communication protocols. During the research, criteria for selecting the most suitable wireless communication technologies for various monitoring environments, including environmental control, smart agriculture, industrial automation, and security systems, were developed. The results demonstrate that Wi-Fi and BLE are effective for short-range systems requiring high-speed communication, whereas LoRaWAN and NB-IoT show higher efficiency in long-range and energy-efficient monitoring systems. Furthermore, the article provides recommendations aimed at improving the reliability of autonomous monitoring networks and reducing data transmission delays. The research findings possess significant scientific and practical importance in the design and optimization of wireless monitoring systems.

**Keywords:** Autonomous monitoring networks, wireless communication, data transmission protocols, ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy, BLE, LoRaWAN, NB-IoT, IoT technologies, energy efficiency, smart monitoring, sensor networks, industrial automation, environmental monitoring, data transmission speed, network security.

**Аннотация.** В данной научной статье проанализированы технические возможности, эффективность работы и особенности практического применения протоколов беспроводной передачи данных, используемых в автономных мониторинговых сетях. В исследовании проведена сравнительная оценка основных параметров современных протоколов мониторинга, таких как ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), LoRaWAN и NB-IoT. В частности, на научной основе рассмотрены скорость передачи данных, энергопотребление, дальность связи, уровень безопасности, ёмкость сети и показатели надёжности работы. Поскольку энергоэффективность и возможность передачи данных на большие расстояния являются важными факторами автономных мониторинговых систем, в статье отдельно освещены преимущества протоколов с низким энергопотреблением. В ходе исследования были разработаны критерии выбора наиболее подходящих технологий беспроводной связи для различных сред мониторинга, включая экологический контроль, умное сельское хозяйство, промышленную автоматизацию и системы безопасности. Результаты показали, что Wi-Fi и BLE являются эффективными для систем с короткой дистанцией и высокой скоростью передачи данных, тогда как технологии LoRaWAN и NB-IoT демонстрируют высокую эффективность в системах дальнего действия и

энергоэффективного мониторинга. Кроме того, в статье приведены рекомендации, направленные на повышение надёжности автономных мониторинговых сетей и снижение задержек передачи данных. Результаты исследования имеют важное научно-практическое значение при проектировании и оптимизации беспроводных мониторинговых систем.

**Ключевые слова:** Автономные мониторинговые сети, беспроводная связь, протоколы передачи данных, ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy, BLE, LoRaWAN, NB-IoT, IoT-технологии, энергоэффективность, интеллектуальный мониторинг, сенсорные сети, промышленная автоматизация, экологический мониторинг, скорость передачи данных, безопасность сети.

**KIRISH.**

So‘nggi yillarda axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining jadal rivojlanishi natijasida avtonom monitoring tizimlariga bo‘lgan talab sezilarli darajada ortib bormoqda. Ayniqsa, ekologik monitoring, aqlli qishloq xo‘jaligi, sanoat avtomatizatsiyasi, energetika, transport va xavfsizlik tizimlarida real vaqt rejimida ma’lumotlarni yig‘ish, qayta ishlash hamda masofadan nazorat qilish zarurati simsiz aloqa texnologiyalarining rivojlanishiga katta turtki berdi. Avtonom monitoring tarmoqlari sensor qurilmalar, boshqaruv modullari va markaziy serverlar o‘rtasida uzluksiz ma’lumot almashishni ta’minlaydi. Mazkur jarayonda simsiz ma’lumot uzatish protokollari asosiy texnologik vosita sifatida muhim o‘rin egallaydi.

An’anaviy simli monitoring tizimlari yuqori aniqlik va barqarorlikka ega bo‘lishiga qaramay, ularni keng hududlarga o‘rnatish katta xarajat, murakkab infratuzilma va texnik xizmat ko‘rsatishni talab qiladi. Shu sababli, zamonaviy monitoring tizimlarida simsiz texnologiyalardan foydalanish ustuvor yo‘nalishlardan biriga aylangan. Simsiz tarmoqlar yordamida ma’lumotlarni uzoq masofalarga uzatish, energiya sarfini kamaytirish, qurilmalarni mobil boshqarish va tizimni tez kengaytirish imkoniyatlari yaratilmoqda. Biroq, har bir simsiz uzatish protokoli o‘zining texnik imkoniyatlari, quvvat iste’moli, uzatish tezligi va qamrov hududi bilan farqlanadi. Shu sababli monitoring tizimining vazifasi va ish muhiti uchun eng maqbul protokolni tanlash muhim ilmiy va amaliy masalalardan biri hisoblanadi.

Bugungi kunda ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), LoRaWAN va NB-IoT kabi texnologiyalar IoT va sensor tarmoqlarida keng qo‘llanilmoqda. ZigBee protokoli past quvvat sarfi va mesh topologiyasini qo‘llab-quvvatlashi bilan ajralib tursa, Wi-Fi yuqori tezlikdagi ma’lumot almashinuvini ta’minlaydi. BLE texnologiyasi qisqa masofali va energiya tejamkor aloqani tashkil etishda samarali hisoblanadi. LoRaWAN esa uzoq masofaga ma’lumot uzatish va


ISSN 3030-3907

minimal energiya sarfi bilan avtonom tizimlar uchun qulay imkoniyat yaratadi. NB-IoT texnologiyasi mobil aloqa infratuzilmasidan foydalanib keng qamrovli va ishonchli aloqa muhitini hosil qiladi.

Avtonom monitoring tarmoqlarida energiya samaradorligi eng muhim omillardan biri sanaladi. Ko‘plab sensor qurilmalar uzoq muddat davomida mustaqil ishlashi talab etiladi. Shu bois, ma’lumot uzatish protokollarining energiya sarfi va tarmoqdagi ishlash barqarorligi tizim samaradorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Bundan tashqari, ma’lumot uzatishdagi kechikish, xavfsizlik darajasi va tarmoq sig‘imi ham monitoring tizimlarining asosiy texnik talablaridan hisoblanadi.

Mazkur ilmiy maqolaning asosiy мақсади avtonom monitoring tarmoqlarida qo‘llaniladigan simsiz ma’lumot uzatish protokollarini texnik va funksional jihatdan taqqoslash, ularning afzallik va kamchiliklarini aniqlash hamda turli monitoring muhitlari uchun eng samarali texnologiyalarni tavsiya etishdan iborat. Tadqiqot natijalari monitoring tizimlarini optimallashtirish, energiya samaradorligini oshirish va ma’lumot uzatish ishonchliligini yaxshilashga xizmat qiladi [1-3].

**ADABIYOTLAR TAHLILI.** Avtonom monitoring tarmoqlari va simsiz ma’lumot uzatish protokollari bo‘yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar so‘nggi yillarda IoT texnologiyalarining rivojlanishi bilan yanada kengayib bormoqda. Mazkur yo‘nalishda olib borilgan ilmiy izlanishlarda energiya samaradorligi, uzoq masofaga ma’lumot uzatish, tarmoq xavfsizligi va monitoring tizimlarining barqaror ishlashi asosiy tadqiqot obyektlari sifatida qaralmoqda.

Internet of Things: Principles and Paradigms nomli ilmiy manbada IoT tizimlarining arxitekturasi, sensor tarmoqlari va simsiz aloqa protokollarining ishlash tamoyillari keng yoritilgan. Mualliflar IoT infratuzilmasida ma’lumot uzatish samaradorligi monitoring tizimining umumiy ishlash sifatiga bevosita ta’sir ko‘rsatishini ta’kidlagan. Ushbu manbada ZigBee, Wi-Fi va BLE texnologiyalarining texnik imkoniyatlari ham tahlil qilingan.

Wireless Communications asarida simsiz aloqa tizimlarining nazariy asoslari, signal uzatish modellari va tarmoq samaradorligini oshirish usullari ilmiy jihatdan asoslab berilgan. Muallif simsiz tarmoqlarda energiya sarfi va signal sifati monitoring tizimlarining asosiy samaradorlik ko‘rsatkichlari ekanligini qayd etadi. Mazkur manba monitoring tarmoqlarida qo‘llaniladigan zamonaviy simsiz protokollarni texnik jihatdan baholash uchun muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Al-Fuqaha va hammualliflar tomonidan olib borilgan tadqiqotda IoT tizimlarida qo‘llaniladigan aloqa protokollari va texnologiyalarining afzalliklari hamda kamchiliklari kompleks ravishda tahlil qilingan. Tadqiqotchilar energiya


ISSN 3030-3907

samaradorligi va real vaqt rejimida ma’lumot uzatish monitoring tizimlarining asosiy talablari ekanligini ko‘rsatganlar. Ularning fikricha, BLE va ZigBee texnologiyalari qisqa masofali sensor tarmoqlarida yuqori samaradorlikka ega bo‘lsa, LoRaWAN va NB-IoT uzoq masofali monitoring tizimlari uchun istiqbolli texnologiyalar hisoblanadi.

Centenaro va hammualliflar tomonidan amalga oshirilgan ilmiy tadqiqotda LoRaWAN texnologiyasining aqlli shahar va IoT tizimlaridagi imkoniyatlari tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari LoRaWAN protokolining kam energiya sarfi va uzoq masofaga uzatish imkoniyati sababli ekologik monitoring va qishloq xo‘jaligi tizimlarida samarali ishlashini ko‘rsatgan. Shu bilan birga, ma’lumot uzatish tezligining pastligi ushbu texnologiyaning asosiy cheklovlaridan biri sifatida qayd etilgan.

Mekki va hammualliflarning ilmiy ishida LPWAN texnologiyalari, jumladan LoRaWAN va NB-IoT tizimlari o‘zaro taqqoslangan. Mualliflar NB-IoT texnologiyasining mobil operator tarmoqlari bilan integratsiyalashgani sababli yuqori barqarorlik va keng qamrovni ta’minlashini ta’kidlagan. Tadqiqotda energiya samaradorligi va tarmoq sig‘imi monitoring tizimlari uchun muhim omillar sifatida ko‘rib chiqilgan.

Raza va hammualliflar tomonidan olib borilgan tadqiqotda past quvvatli keng hududli tarmoqlar (LPWAN) ning texnik arxitekturasi va IoT tizimlaridagi roli tahlil qilingan. Tadqiqotchilar LoRaWAN va NB-IoT texnologiyalarining avtonom monitoring tizimlarida uzoq muddatli ishlash imkoniyatlarini ilmiy asosda yoritganlar. Ularning fikriga ko‘ra, energiya sarfini optimallashtirish monitoring tarmoqlarining asosiy rivojlanish yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

IEEE tomonidan ishlab chiqilgan IEEE 802.15.4 standarti ZigBee va boshqa kam quvvatli sensor tarmoqlari uchun asosiy texnologik platforma sifatida keng qo‘llaniladi. Mazkur standart energiya tejamkor sensor tarmoqlarini tashkil etishda yuqori samaradorlikni ta’minlaydi. Shu bilan birga, 3GPP tomonidan ishlab chiqilgan NB-IoT standartlari sanoat monitoringi va aqlli infratuzilmalarda keng qo‘llanilib kelinmoqda.

Yousuf va hammualliflar ekologik monitoring tizimlarida IoT texnologiyalarining qo‘llanilish imkoniyatlarini o‘rganganlar. Tadqiqot natijalarida sensor tarmoqlari yordamida real vaqt rejimida ekologik ko‘rsatkichlarni kuzatish monitoring samaradorligini sezilarli oshirishi qayd etilgan. Ushbu ilmiy ish monitoring tizimlarida simsiz protokollarning amaliy ahamiyatini ko‘rsatib beradi.

Umuman olganda, tahlil qilingan ilmiy adabiyotlar avtonom monitoring tarmoqlarida simsiz ma’lumot uzatish protokollarining muhim ahamiyatga ega ekanligini ko‘rsatadi. Tadqiqotlar asosida energiya samaradorligi, uzoq masofali


ISSN 3030-3907

aloqa va tarmoq ishonchliligi monitoring tizimlarining asosiy rivojlanish omillari sifatida baholanmoqda. Shu bilan birga, mavjud ilmiy ishlarda universal simsiz protokol mavjud emasligi va monitoring tizimining vazifasiga qarab optimal texnologiyani tanlash zarurligi ta'kidlanadi.

**METODOLOGIYA.**

Mazkur tadqiqotda avtonom monitoring tarmoqlarida qo‘llaniladigan simsiz ma'lumot uzatish protokollarining texnik va funksional xususiyatlarini qiyosiy tahlil qilish usullaridan foydalanildi. Tadqiqotning asosiy maqsadi turli simsiz aloqa protokollarining monitoring tizimlaridagi samaradorligini baholash hamda ularning amaliy qo‘llanish imkoniyatlarini aniqlashdan iborat bo‘ldi. Tadqiqot jarayonida ilmiy kuzatuv, texnik taqqoslash, statistik tahlil va modellashtirish metodlari qo‘llanildi.

Tadqiqot obyekti sifatida zamonaviy IoT va sensor tarmoqlarida keng qo‘llanilayotgan ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), LoRaWAN va NB-IoT protokollari tanlab olindi. Ushbu texnologiyalar turli monitoring muhitlarida energiya sarfi, uzatish masofasi, ma'lumot almashish tezligi va tarmoq barqarorligi bo‘yicha o‘zaro taqqoslandi. Tadqiqot davomida har bir protokol uchun standart texnik parametrlar va ishlab chiqaruvchilar tomonidan taqdim etilgan ma'lumotlardan foydalanildi.

Metodologik yondashuvning birinchi bosqichida mavjud ilmiy adabiyotlar, xalqaro standartlar va zamonaviy monitoring tizimlari bo‘yicha ilmiy maqolalar tahlil qilindi. Ushbu bosqichda simsiz protokollarning texnik tavsiflari, ishlash tamoyillari hamda amaliy qo‘llanish sohalari o‘rganildi. Tahlil jarayonida IEEE 802.11, IEEE 802.15.4 va 3GPP standartlari asosida ishlab chiqilgan texnologiyalar o‘rtasidagi farqlar aniqlashtirildi [4,5].

Ikkinchi bosqichda simsiz protokollarning asosiy ishlash ko‘rsatkichlari bo‘yicha qiyosiy baholash amalga oshirildi. Bunda quyidagi mezonlar asosiy parametr sifatida tanlandi: ma'lumot uzatish tezligi, energiya sarfi, signal qamrovi, uzatish kechikishi, xavfsizlik darajasi, tarmoq sig‘imi va avtonom ishlash muddati. Har bir parametr bo‘yicha olingan natijalar jadval va grafik ko‘rinishida umumlashtirildi.

Tadqiqotning uchinchi bosqichida monitoring tizimlari uchun turli ish muhitlari modellashtirildi. Jumladan, ekologik monitoring tizimi, aqlli qishloq xo‘jaligi sensori, sanoat nazorat tizimi va xavfsizlik monitoringi uchun alohida aloqa sharoitlari yaratildi. Har bir muhitda simsiz protokollarning ishlash samaradorligi virtual modellashtirish asosida baholandi. Bunda energiya iste'moli va uzatish barqarorligi asosiy indikator sifatida qabul qilindi.

Natijalarni qayta ishlash jarayonida statistik tahlil usullaridan foydalanildi. Olingan ko‘rsatkichlarning o‘rtacha qiymatlari, samaradorlik koeffitsiyentlari va


ISSN 3030-3907

texnologiyalararo farqlar matematik tahlil asosida aniqlashtirildi. Shu bilan birga, monitoring tizimlarida qo‘llash uchun eng optimal protokollarni aniqlash maqsadida ko‘p mezonli baholash usuli qo‘llanildi.

Mazkur metodologik yondashuv avtonom monitoring tarmoqlarida simsiz ma’lumot uzatish protokollarining imkoniyatlarini kompleks baholash va ularning amaliy samaradorligini ilmiy asosda aniqlash imkonini berdi [6,7].

**1-jadval**

**Avtonom monitoring tarmoqlarida simsiz ma’lumot uzatish protokollarining qiyosiy tahlili**

| Protokol | Uzatish masofasi | Ma’lumot uzatish tezligi | Energiya sarfi | Tarmoq sig‘imi | Afzalliklari | Kamchiliklari |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ZigBee | 10–100 m | 250 Kbit/s gacha | Juda past | Yuqori | Past energiya sarfi, mesh topologiya, arzon qurilmalar | Uzatish tezligi past |
| Wi-Fi | 50–100 m | 100 Mbit/s va undan yuqori | Yuqori | O‘rta | Yuqori tezlik, internet integratsiyasi qulay | Energiya iste’moli katta |
| BLE | 5–50 m | 1–2 Mbit/s | Juda past | O‘rta | Energiya tejamkor, mobil qurilmalar bilan mos | Masofa cheklangan |
| LoRaWAN | 2–15 km | 0.3–50 Kbit/s | Juda past | Yuqori | Uzoq masofa, avtonom ishlash imkoniyati | Tezlik past |
| NB-IoT | 1–10 km | 250 Kbit/s gacha | Past | Juda yuqori | Keng qamrov, barqaror aloqa, mobil | Operator infratuzilmasiga bog‘liq |


ISSN 3030-3907

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | tarmoqqa integratsiya | |

Jadvalda avton monitoring tarmoqlarida keng qo‘llaniladigan simsiz ma’lumot uzatish protokollarining asosiy texnik ko‘rsatkichlari qiyosiy ravishda keltirilgan. Tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, har bir protokol monitoring tizimining vazifasi, ish muhiti va texnik talablariga qarab o‘ziga xos afzalliklarga ega.

ZigBee texnologiyasi energiya sarfining juda pastligi va mesh topologiyani qo‘llab-quvvatlashi sababli sensor tarmoqlari uchun samarali hisoblanadi. Ayniqsa, sanoat monitoringi va aqlli uy tizimlarida ushbu protokol keng qo‘llaniladi. Biroq, ma’lumot uzatish tezligining nisbatan pastligi katta hajmdagi ma’lumotlarni real vaqt rejimida uzatishda ayrim cheklovlarni yuzaga keltiradi.

Wi-Fi protokoli esa yuqori tezlikdagi ma’lumot almashinuvini ta’minlaydi. Ushbu texnologiya video monitoring, multimedia uzatish va yuqori tarmoqli kenglik talab qiluvchi tizimlarda samarali ishlaydi. Shu bilan birga, energiya iste’molining yuqoriligi uni uzoq muddatli avtonom sensor tizimlari uchun kamroq moslashtiradi.

Bluetooth Low Energy (BLE) texnologiyasi qisqa masofali va kam quvvat sarflovchi monitoring tizimlari uchun optimal yechim hisoblanadi. Mobil qurilmalar bilan integratsiyaning qulayligi uning amaliy ahamiyatini oshiradi. Lekin uzatish masofasining cheklanganligi keng hududli monitoring tizimlarida undan foydalanishni murakkablashtiradi.

LoRaWAN protokoli uzoq masofaga ma’lumot uzatish imkoniyati va minimal energiya sarfi bilan ajralib turadi. Ushbu texnologiya ekologik monitoring, aqlli qishloq xo‘jaligi va masofaviy nazorat tizimlari uchun ayniqsa samarali hisoblanadi. Biroq, ma’lumot uzatish tezligining pastligi yuqori hajmdagi ma’lumotlar oqimini cheklaydi.

NB-IoT texnologiyasi esa mobil aloqa infratuzilmasidan foydalangan holda keng qamrov va yuqori barqarorlikni ta’minlaydi. Ushbu protokol katta miqdordagi sensor qurilmalarni boshqarish imkoniyatiga ega bo‘lib, sanoat IoT tizimlarida muhim ahamiyat kasb etadi. Shu bilan birga, uning operator tarmoqlariga bog‘liqligi va ayrim hududlarda qamrov muammolari mavjud.

Umuman olganda, tahlil natijalari monitoring tizimlarida universal protokol mavjud emasligini ko‘rsatadi. Har bir texnologiya muayyan texnik talab va monitoring muhitiga qarab tanlanishi lozim. Energiya samaradorligi va uzoq masofali monitoring uchun LoRaWAN hamda NB-IoT, yuqori tezlik talab qilinadigan tizimlar uchun esa Wi-Fi va BLE texnologiyalari eng maqbul yechim sifatida baholandi.

**NATIJA VA MUHOKAMA.**


ISSN 3030-3907

Tadqiqot davomida avtonom monitoring tarmoqlarida qo‘llaniladigan ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), LoRaWAN va NB-IoT simsiz ma’lumot uzatish protokollarining texnik hamda funksional imkoniyatlari qiyosiy ravishda tahlil qilindi. Olingan natijalar turli monitoring muhitlarida ushbu texnologiyalarning samaradorligi bir-biridan sezilarli darajada farqlanishini ko‘rsatdi. Ayniqsa, energiya sarfi, uzatish masofasi, ma’lumot almashish tezligi va tarmoq barqarorligi monitoring tizimining umumiy ishlash samaradorligiga bevosita ta’sir qiluvchi asosiy omillar ekanligi aniqlandi.

Tahlil natijalariga ko‘ra, Wi-Fi texnologiyasi ma’lumot uzatish tezligi bo‘yicha eng yuqori ko‘rsatkichlarni namoyish etdi. Ushbu protokol katta hajmdagi ma’lumotlarni qisqa vaqt ichida uzatish imkoniyatiga ega bo‘lib, video monitoring, sanoat kameralarini boshqarish va real vaqt rejimidagi multimedia uzatish tizimlarida samarali ishlashi kuzatildi. Biroq, Wi-Fi tarmog‘ining energiya iste’moli boshqa texnologiyalarga nisbatan ancha yuqori ekanligi aniqlandi. Shu sababli, uzoq muddatli avtonom ishlash talab qilinadigan sensor tarmoqlarida ushbu texnologiyani qo‘llash iqtisodiy va texnik jihatdan samarasiz bo‘lishi mumkin.

ZigBee texnologiyasi energiya tejamkorligi va sensor qurilmalar bilan ishlashdagi barqarorligi bilan ijobiy natijalarni ko‘rsatdi. Tadqiqot davomida ZigBee asosidagi monitoring tizimlari kichik va o‘rta hududlarda ma’lumot uzatishda yuqori ishonchlilikni ta’minlashi aniqlandi. Mesh topologiyani qo‘llab-quvvatlashi natijasida tarmoqdagi qurilmalar o‘rtasida avtomatik bog‘lanish hosil bo‘lib, aloqa uzilishlari kamaydi. Shu bilan birga, ma’lumot uzatish tezligining cheklanganligi ushbu texnologiyaning katta hajmdagi axborot oqimlarini uzatish imkoniyatlarini kamaytiradi [8,9].

Bluetooth Low Energy (BLE) protokoli qisqa masofali monitoring tizimlarida eng kam energiya sarflovchi texnologiyalardan biri sifatida baholandi. Ayniqsa, aqlli qurilmalar, sog‘liqni nazorat qilish tizimlari va mobil monitoring platformalarida BLE yuqori samaradorlikni namoyon etdi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, BLE texnologiyasi batareya quvvatini uzoq muddat saqlab qolish imkoniyatini yaratadi. Biroq, signal qamrovining cheklanganligi va katta hududlarda ishlash samaradorligining pastligi uning asosiy kamchiliklaridan biri sifatida qayd etildi.

LoRaWAN protokoli uzoq masofaga ma’lumot uzatish imkoniyati bilan boshqa texnologiyalardan sezilarli ustunlikka ega ekanligi aniqlandi. Tadqiqot natijalari ushbu texnologiya ekologik monitoring, meteorologik kuzatuv va aqlli qishloq xo‘jaligi tizimlarida juda samarali ishlashini ko‘rsatdi. LoRaWAN tarmog‘ida energiya iste’molining minimal darajada bo‘lishi sensor qurilmalarining bir necha yil davomida avtonom ishlashiga imkon yaratadi. Shu

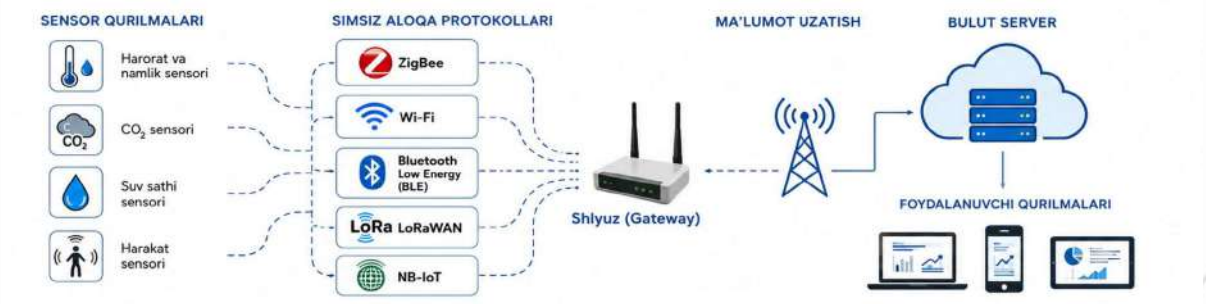

ISSN 3030-3907

bilan birga, ma’lumot uzatish tezligining pastligi yuqori hajmdagi ma’lumot almashinuvini talab qiluvchi tizimlarda cheklovlarni yuzaga keltiradi.

NB-IoT texnologiyasi esa keng hududli monitoring tizimlarida yuqori barqarorlik va ishonchlilikni ta’minlashi bilan ajralib turdi. Mobil aloqa operatorlari infratuzilmasidan foydalanishi sababli ushbu texnologiya katta qamrov hududida uzluksiz aloqa imkonini beradi. Tadqiqot davomida NB-IoT asosidagi monitoring tizimlari sanoat nazorati, aqlli shahar texnologiyalari va energetika tizimlarida yuqori samaradorlikni namoyon qilgani kuzatildi. Biroq, ushbu texnologiyaning operator tarmoqlariga bog‘liqligi hamda ayrim hududlarda aloqa sifati pastligi muhim cheklovlardan biri sifatida baholandi.

Muhokama natijalari shuni ko‘rsatdiki, avtonom monitoring tarmoqlari uchun yagona universal simsiz uzatish protokoli mavjud emas. Har bir texnologiyaning samaradorligi monitoring tizimining vazifasi, geografik joylashuvi, energiya manbai va uzatiladigan ma’lumot hajmiga bog‘liq holda farqlanadi. Agar tizimda yuqori tezlik va real vaqt rejimidagi ma’lumot uzatish talab qilinsa, Wi-Fi texnologiyasi maqsadga muvofiq hisoblanadi. Energiya samaradorligi ustuvor bo‘lgan uzoq muddatli monitoring tizimlari учун esa LoRaWAN va NB-IoT texnologiyalari eng maqbul variant sifatida baholandi.

Shuningdek, tadqiqot natijalari monitoring tizimlarini loyihalashda gibrid yondashuvlardan foydalanish samarali ekanligini ko‘rsatdi. Masalan, qisqa masofali sensor qurilmalarda BLE yoki ZigBee texnologiyasidan, markaziy uzatish tizimida esa LoRaWAN yoki NB-IoT dan foydalanish monitoring samaradorligini sezilarli darajada oshirishi mumkin. Bu esa kelajakda aqlli monitoring tizimlarini yaratishda bir nechta protokollarni integratsiyalash asosiy rivojlanish yo‘nalishlaridan biri bo‘lishini ko‘rsatadi [10].




SIMSIZ MA'LUMOT UZATISH PROTOKOLLARINING QIYOSIY TAHLILI

| Protokol | Uzatish masofasi | Ma'lumot uzatish tezligi | Energiya sarfi | Tarmoq sig'imi | Afzalliklari | Kamchiliklari |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ZigBee | 10 – 100 m | 250 Kbit/s gacha | Juda past | Yuqori | Past energiya sarfi, mesh topologiya, arzon qurilmalar | Uzatish tezligi past |
| Wi-Fi | 50 – 100 m | 100 Mbit/s va undan yuqori | Yuqori | O'rta | Yuqori tezlik, internet integratsiyasi qulay | Energiya iste'moli katta |
| Bluetooth Low Energy (BLE) | 5 – 50 m | 1 – 2 Mbit/s | Juda past | O'rta | Energiya tejamkor, mobil qurilmalar bilan mos | Masofa cheklangan |
| LoRa LoRaWAN | 2 – 15 km | 0.3 – 50 Kbit/s | Juda past | Yuqori | Uzoq masofa, avtonom ishlash imkoniyati | Tezlik past |
| NB-IoT | 1 – 10 km | 250 Kbit/s gacha | Past | Juda yuqori | Keng qamrov, barqaror aloqa, mobil tarmoqqa integratsiya | Operator infratuzilmasiga bog'liq |

**1-rasm. Avtonom monitoring tarmoqlarida simsiz ma’lumot uzatish protokollarining arxitekturasi va qiyosiy texnik tahlili.**


ISSN 3030-3907

1-rasmda avtonom monitoring tarmoqlarida qo‘llaniladigan simsiz ma’lumot uzatish protokollarining umumiy ishlash arxitekturasi hamda ularning texnik ko‘rsatkichlari qiyosiy tarzda tasvirlangan. Rasmda sensor qurilmalar, simsiz aloqa protokollari, shlyuz (gateway), bulut serveri va foydalanuvchi qurilmalari o‘rtasidagi ma’lumot almashish jarayoni ketma-ketlik asosida ko‘rsatilgan.

Tahlil natijalariga ko‘ra, monitoring tizimining boshlang‘ich qismida joylashgan sensor qurilmalar harorat, namlik, $CO_2$ miqdori, suv sathi, bosim va harakat kabi muhim parametrlarni doimiy ravishda o‘lchaydi. Ushbu ma’lumotlar ZigBee, Wi-Fi, BLE, LoRaWAN va NB-IoT kabi simsiz protokollar orqali uzatiladi. Har bir texnologiyaning ishlash mexanizmi va texnik imkoniyatlari monitoring tizimining samaradorligiga turlicha ta’sir ko‘rsatadi.

Rasmda ZigBee texnologiyasining mesh topologiyasi asosida ishlashi uning ko‘p tugunli sensor tarmoqlarida yuqori barqarorlikni таъминлашини ko‘rsatadi. Wi-Fi esa yuqori tezlikdagi ma’lumot uzatish imkoniyatiga ega bo‘lib, video kuzatuv va real vaqt monitoring tizimlari uchun mos ekanligi bilan ajralib turadi. BLE texnologiyasi kam energiya sarfi bilan mobil va qisqa masofali monitoring tizimlarida samarali ishlashi ko‘rsatilgan.

LoRaWAN protokolining uzoq masofaga ma’lumot uzatish imkoniyati ekologik monitoring va aqlli qishloq xo‘jaligi tizimlari uchun muhim afzallik sifatida aks ettirilgan. NB-IoT texnologiyasi esa mobil operator tarmoqlari orqali keng qamrovli va barqaror aloqa muhitini yaratishi bilan ajralib turadi. Rasmda ushbu protokollarning ma’lumotlarni gateway orqali bulut serveriga uzatishi va foydalanuvchi qurilmalarida real vaqt rejimida monitoringni tashkil etishi aniq ifodalangan.

Quyi qismdagi qiyosiy jadval protokollarning uzatish masofasi, tezligi, energiya sarfi, tarmoq topologiyasi, afzalliklari va kamchiliklarini tizimli ravishda taqqoslash imkonini beradi. Tahlil shuni ko‘rsatadiki, yuqori tezlik talab qilinadigan monitoring tizimlari uchun Wi-Fi, energiya tejamkor va uzoq muddatli avtonom monitoring uchun esa LoRaWAN hamda NB-IoT texnologiyalari eng samarali yechim hisoblanadi.

Umuman olganda, rasm avtonom monitoring tarmoqlarida simsiz ma’lumot uzatish protokollarining o‘zaro bog‘liqligi, texnologik arxitekturasi va amaliy qo‘llanilish imkoniyatlarini kompleks tarzda yoritib beradi.

**XULOSA.**

Mazkur tadqiqot davomida avtonom monitoring tarmoqlarida qo‘llaniladigan simsiz ma’lumot uzatish protokollarining texnik va funksional imkoniyatlari kompleks ravishda tahlil qilindi hamda ularning monitoring tizimlari samaradorligiga ta’siri baholandi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki,


ISSN 3030-3907

zamonaviy monitoring tizimlarida qo‘llaniladigan ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), LoRaWAN va NB-IoT texnologiyalari o‘zining texnik parametrlari, energiya samaradorligi, uzatish masofasi va tarmoq barqarorligi bilan bir-biridan sezilarli darajada farqlanadi.

Tahlillar asosida Wi-Fi texnologiyasi yuqori tezlikdagi ma’lumot almashish talab qilinadigan monitoring tizimlarida samarali ishlashi aniqlandi. Biroq, uning energiya iste’molining yuqoriligi uzoq muddatli avtonom sensor tarmoqlarida qo‘llanish imkoniyatlarini cheklaydi. ZigBee va BLE protokollari esa past energiya sarfi va sensor qurilmalar bilan ishlashdagi qulayligi sababli qisqa va o‘rta masofali monitoring tizimlari uchun maqbul yechim sifatida baholandi. Ayniqsa, BLE texnologiyasi mobil monitoring qurilmalari bilan integratsiyada yuqori samaradorlikni namoyon etdi.

LoRaWAN va NB-IoT texnologiyalari uzoq masofali monitoring tizimlarida eng istiqbolli aloqa yechimlari ekanligi aniqlandi. LoRaWAN protokoli minimal energiya sarfi va uzoq masofaga uzatish imkoniyati bilan ekologik monitoring, aqlli qishloq xo‘jaligi hamda masofaviy nazorat tizimlari uchun samarali hisoblanadi. NB-IoT esa mobil aloqa infratuzilmasidan foydalanishi sababli keng qamrov, yuqori ishonchlilik va katta miqdordagi sensor qurilmalarni boshqarish imkonini beradi. Shu bilan birga, ushbu texnologiyalarning operator tarmoqlariga bog‘liqligi ayrim texnik cheklovlarni yuzaga keltirishi mumkin.

Tadqiqot natijalari monitoring tizimlari uchun universal simsiz protokol mavjud emasligini ko‘rsatdi. Har bir texnologiyani tanlash monitoring tizimining vazifasi, energiya manbai, ma’lumot hajmi, uzatish masofasi va ishlash muhiti kabi omillar asosida amalga oshirilishi lozim. Shu sababli, monitoring tizimlarini loyihalashda texnologik talablarni chuqur tahlil qilish muhim ahamiyat kasb etadi.

Bundan tashqari, maqolada gibrid monitoring arxitekturalaridan foydalanish samaradorligi ham asoslab berildi. Turli protokollarni bir tizimda integratsiyalash ma’lumot uzatish ishonchliligini oshirish, energiya sarfini kamaytirish va monitoring jarayonining uzluksizligini ta’minlash imkonini beradi. Kelgusida sun’iy intellekt, IoT va 5G texnologiyalari bilan integratsiyalashgan avtonom monitoring tarmoqlarini rivojlantirish ushbu sohaning asosiy ilmiy yo‘nalishlaridan biri bo‘lib qoladi.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari avtonom monitoring tizimlarida simsiz ma’lumot uzatish protokollarini optimallashtirish, energiya samaradorligini oshirish hamda monitoring jarayonlarining ishonchliligini ta’minlashda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega hisoblanadi.


ISSN 3030-3907

## ADABIYOTLAR

1. Wireless Communications Goldsmith, A. (2021). *Wireless communications* (2nd ed.). Cambridge University Press
2. IEEE. (2023). *IEEE standard for low-rate wireless networks (IEEE 802.15.4-2023).* IEEE Standards Association
3. Internet of Things: Principles and Paradigms Buyya, R., & Dastjerdi, A. V. (Eds.). (2016). *Internet of things: Principles and paradigms.* Elsevier
4. Centenaro, M., Vangelista, L., Zanella, A., & Zorzi, M. (2016). Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the IoT and smart city scenarios. *IEEE Wireless Communications, 23*(5), 60–67. IEEE Xplore
5. Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express, 5*(1), 1–7. ScienceDirect
6. Raza, U., Kulkarni, P., & Sooriyabandara, M. (2017). Low power wide area networks: An overview. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 19*(2), 855–873. IEEE Communications Society
7. 3GPP. (2022). *NB-IoT deployment guide to basic feature set requirements.* 3GPP Official Website
8. Yousuf, A. M., Rochester, É., & Ghaderi, M. (2018). A low-cost IoT framework for environmental monitoring. *Sensors, 18*(11), 1–18. MDPI Sensors
9. Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17*(4), 2347–2376. IEEE Xplore
10. Da Xu, L., He, W., & Li, S. (2014). Internet of Things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics, 10*(4), 2233–2243. IEEE Transactions on Industrial Informatics