

KƏND TƏSƏRRÜFATINDA SUYUN İSTİFADƏSİ VƏ İDARƏ OLUNMASI ÜÇÜN RƏQƏMSAL TEXNOLOGİYALAR: SON TƏTBİQLƏR VƏ GƏLƏCƏK PERSPEKTİVLƏR

Müəllim Həsənova TÜRKAN*

Xülasə: Bu məqalə kənd təsərrüfatının da sudan istifadə və idarə edilməsi üçün rəqəmsal texnologiyalar haqqında bizə ətraflı məlumat verir, son tətbiqlər və gələcək perspektivləri araşdırır. Burada su ilə bağlı əsas çətinliklər – suyun azlığı, səmərəsiz istifadəsi, ətraf mühitin çirklənməsi və iqlim dəyişikliyi araşdırılır. Uzaqdan İdarəetmə, Süni intellekt, Əşyaların İnterneti, Big Data, Robotics, Smart Sensors və Blockchain kimi müxtəlif rəqəmsal texnologiyaları və onların aradan qaldırılmasına necə kömək edə biləcəyini göstərir. Araşdırma nəticəsində məlum olur ki, bu texnologiyalar su agentliyinin təcrübəsini təkmilləşdirmək üçün əhəmiyyətli iş imkanları təklif edir. Uzaqdan İdarəetmə və Süni intellekt texnologiyalarının çox yönlü və geniş yayılmış növləri ortaya çıxır. Səmərəli suvarma strategiyaları, bu texnologiyalar arasında ən geniş yayılmış tətbiqdır. Rəqəmsal texnologiyalar həllər əhəmiyyətli dərəcədə su tullantılarını azaldır, çirklənmənin əsas mənbələrini müəyyən etməyə kömək edir və ümumi su resurslarının idarə edilməsini inkişaf etdirir. Məsələn, uzaqdan idarəetmə əsaslı yanaşmalar suvarma qrafikini optimallaşdırmaq üçün torpağın nəmlənməsinə dəqiq nəzarət edə bilər, Süni intellekt (AI) idarə etdiyi modellər (məs. təsadüfi meşə və ya neyron şəbəkələr) yeraltı suların yenidən çəkilməsini və ya yağış hadisələrinin proqnozlaşdırılmasını təyin edə bilər. Bununla belə, geniş yayılmış növlərə bir neçə maneə müəyyən edilir. Bunların arasında yüksək icra xərcləri, texniki təcrübənin olmaması, məlumatların idarə edilməsi çətinlikləri, infrastruktur və bağlantı məhdudiyyətləri də var. Tədqiqatın yekunu olaraq gələcək tədqiqat və inkişaf üçün prioritetlər təklif edilir, inteqrasiya olunmuş texnoloji həllər, əlçatanlıq və ucuzlaşmanın artırılması, səmərəliliyin və davamlılığın artırılması, suyun keyfiyyətinin yüksəldilməsi, məlumatların idarə edilməsi imkanlarının artırılması, kibertəhlükəsizlik və rəqəmsal texnologiyaların özünün ətraf mühitə təsiri kimi inkişaf edən problemlərin aradan qaldırılması üçün strategiyaların vacibliyi vurğulanır. Bu təkrarın məqsədi kənd təsərrüfatı sularının idarə edilməsi sahəsində gələcək tədqiqat, siyasət və praktikanı məlumatlandırmaq və daha səmərəli, dözümlü və davamlı kənd təsərrüfatı sistemlərinin inkişafına dəstək verməkdir

Açar sözlər: Əşyaların İnterneti (IoT), Süni intellekt (AI) Ağıllı sensorlar, Suvarma sistemi, Ağıllı kənd təsərrüfatı,

Digital Technologies for Water Use and Management in Agriculture: Recent Applications and Future Outlook

Abstract: This article provides a comprehensive overview of digital technologies for water use and management in agriculture, examining recent applications and future prospects. It examines key water-related challenges - scarcity, pollution, inefficient use and climate change - and shows how various digital technologies such as Remote Sensing, Artificial Intelligence, the Internet of Things, Big Data, Robotics, Smart Sensors and Blockchain can help address them. The review finds that these technologies offer significant potential for improving water management practices, with Remote Sensing and Artificial Intelligence emerging as the most versatile and widely adopted. Efficient irrigation strategies appear to be the most common application across technologies. Digital solutions significantly reduce water wastage, help identify pollution hotspots, and improve overall water resource management. For example, remote sensing-based approaches (e.g. UAV-mounted multispectral cameras) can accurately monitor soil moisture to optimise irrigation scheduling, while AI-driven models (e.g. random forest or neural networks) can predict groundwater recharge or forecast rainfall events. However, several barriers to widespread adoption are identified, including high implementation costs, lack of technical expertise, data management challenges, and infrastructure and connectivity constraints. The study concludes by suggesting priorities for future research and development, highlighting the need for integrated technological solutions, improved accessibility and affordability, improved efficiency and sustainability, improved water quality, enhanced data management capabilities, and strategies to address emerging concerns such as cybersecurity and the environmental impact of digital technologies themselves. This review aims to inform future research, policy and practice in agricultural water management and support the development of more productive, resilient and sustainable agricultural systems

*Bakı Avrasiya Universiteti, ORCID: 0009-0004-1106-9418, hesenovaturkan780@gmail.com

Key Words: *Internet of Things (IoT), Artificial Intellect, Smart sensors, Irrigation system, Smart agriculture, ThingSpeak platform,*

1. Giriş

Su - həyatı davam etdirməkdə və kənd təsərrüfatı istehsalının dəstəklənməsində əvəzedilməz rol oynayan bir son resursdur. Su çatışmazlığı dünyanın bütün bölgələrinə, xüsusilə də quraq və yarımsəhra ərazilərinə təsir edən kritik bir çətinlikdir. Qlobal qida təhlükəsizliyi və insan fəaliyyətinin iqtisadi və ətraf mühitə davamlılığı üçün ciddi nəticələr verir. Əslində su çatışmazlığı dünya əhalisinin təxminən üçdə ikisinə təsir edir. Hər il təxminən dörd milyard insan ən azı bir ay ərzində şiddətli su qıtlığı ilə üzləşir. Xüsusilə Hindistan və Çində il boyu yarım milyard insan şiddətli su qıtlığı ilə üzləşir. İqlim dəyişikliyi və əhalinin artımı səbəbindən suya tələbatın artması ilə bu vəziyyət daha da kəskinləşir. 2050-ci ilə qədər qlobal əhalinin 10 milyarda yaxın artacağı güman edilir. Təxmin edilir ki, 2050-ci ilə qədər 2 milyarddan çox şəhər sakini su qıtlığı ilə üzləşə bilər.

Kənd təsərrüfatı şirin suların əsas istehlakçısıdır, qlobal şirin suların çəkilməsinin təqribən 70%-ni təşkil edir. Əhalinin su ilə intensiv məhsul tələbatı artmaqda davam edir, məhdud su resurslarına təzyiq artır. Su qıtlığı, iqlim dəyişikliyi ilə birlikdə qida məhsulları istehsalı üçün əhəmiyyətli təhlükə yaradır. Kənd təsərrüfatı ilə digər sektorlar arasında suya görə rəqabət artır. Qeyri-səmərəli sudan istifadə, xüsusilə də kənd təsərrüfatında su çatışmazlığına səbəb olur. Suyun əhəmiyyətli miqdarı zəif suvarma üsulları sayəsində itirilir, suyun idarə edilməsinin yaxşılaşdırılmasının zəruriliyi vurğulanır. Bu, həm inkişaf etmiş, həm də inkişaf etməmiş ölkələrə təsir edən qlobal problemdir. Məsələn, Pakistan kimi ölkələrdə keyfiyyətsiz suvarma sistemləri su itkilərini daha da şiddətləndirir, ərzaq çatışmazlığını daha da artırır. Qabaqcıl texnologiyaların tətbiqi və sudan istifadə effektivliyinin artırılması su azlığının azaldılması üçün olduqca mühümdür.

Suların çirklənməsi və duzluluq kimi su keyfiyyəti məsələləri su çatışmazlığı problemlərini daha da kəskinləşdirir. Bundan başqa, suvarma üçün yeraltı suların həddindən artıq çıxarılması su tablolarını aşağı salır və torpaq duzluluğu artırır, məhsul yığımını azaldır və kənd dolanışığına təsir edir. Su keyfiyyəti ilə bağlı çətinliklərin aradan qaldırılması davamlı su ehtiyatlarının təmin edilməsi və ekosistem sağlamlığının qorunması üçün olduqca vacibdir. Bu çətinlikləri aradan qaldırmaq və gələcək ərzaq ehtiyatlarını təmin etmək üçün davamlı su idarəetmə strategiyaları lazımdır.

Rəqəmsal texnologiyalar kənd təsərrüfatında suyun idarə olunmasında və istifadəsində getdikcə mərkəzi rol oynayır. Bu sektorun əhəmiyyətli su sərfiyyatını nəzərə alsaq, bu, olduqca vacibdir. Rəqəmsal həllərin istifadəsi daha dəqiq kənd təsərrüfatı praktikalarını imitasiya edir, girişləri optimallaşdırır və ətraf mühitə təsirini minimuma endirməklə kənd təsərrüfatı məhsullarının maksimum dərəcədə istifadəsi arasında tarazlığı qoruyur. Fermerlər sensorlardan və peyk təsvirlərindən real vaxt rejimində verilən məlumatlardan istifadə etməklə, resursların daha səmərəli istifadəsinə və məhsulun idarə edilməsinin təkmilləşdirilməsinə gətirib çıxaran qərarlar qəbul edə bilərlər. Məsələn, Remote Sensing texnologiya, nologies və dronlar məhsul sağlamlığı və su tələbləri haqqında ətraflı məlumat verir, həm aşağı, həm də həddindən artıq suvarmanın qarşısını almaq üçün müxtəlif müdafiə tədbirləri görür. Bu texnoloji nailiyyətlər su çatışmazlığının çətinliklərinin aradan qaldırılmasına və su resurslarının kənd təsərrüfatında davamlı istifadəsinin təmin edilməsinə əhəmiyyətli dərəcədə töhfə verir.

Kənd təsərrüfatı sularının istifadəsi və idarə edilməsi üçün rəqəmsal texnologiyalar üzrə xeyli araşdırma aparılmasına baxmayaraq, mövcud ədəbiyyatda diqqətçəkən boşluqlar var ki, bu da növbəti araşdırmaların aparılmasını zəruri edir. Bundan başqa, bəzi nəzərdən keçirilən

tədqiqatlarda bir sıra rəqəmsal texnologiyalar araşdırılsa da, onlar tez-tez suvarma kimi spesifik təsərrüfat praktikalarına və ya qeyri-səmərəli sudan istifadə və onları aradan qaldırmaq üçün hədəflənmiş strategiyalar kimi konkret çətinliklərə diqqət yetirirlər. Bu məhdudiyyətlər rəqəmsal texnologiyaların geniş çeşidini və onların son zamanlar müxtəlif kənd təsərrüfatı praktikasında tətbiqini özündə ehtiva edən daha əhatəli, holistik və aktual tədqiqat üsullarına olan ehtiyacı yüksək səviyyədə həyata keçirir. Bu cür tədqiqatlar müxtəlif strategiyaları nəzərdən keçirməklə, su istifadəsi və insanın qocalması ilə bağlı çoxsaylı çətinlikləri qlobal nöqteyi-nəzərdən həll etməlidir. Bundan başqa, bu sahədə məruzə və tədqiqatların irəliləməsi üçün bu texnologiyaların mənimsənilməsinə həm imkanların, həm də maneələrin araşdırılması olduqca vacibdir.

Bu kontekstdə 4 əsas məqsəd var: 1) sudan istifadə və idarə edilməsi üçün su ilə bağlı aktual əsas çətinliklərin və strategiyaların kompleks təhlilini təmin edir; 2) kənd təsərrüfatı sularının istifadəsi və insanın yaşlanması ilə bağlı rəqəmsal texnologiyaların son vaxtlar müxtəlif kontekstlərdə tətbiqi üsullarını araşdırmaq; 3) bu texnologiyaların geniş mənimsənilməsi üçün potensial maneələrin və çətinliklərin araşdırılması; 4) kənd təsərrüfatı sahəsində rəqəmsal texnologiyaların daha da inteqrasiyasına dəstək vermək üçün gələcək tədqiqat istiqamətləri və tədbirlər təklif edir. Bu məqsədlərə toxunaraq, bu tədqiqatın məqsədi kənd təsərrüfatı sularının istifadəsində və insanın yaşlanmasında rəqəmsal texnologiyaların rolu haqqında daha nüanslı və holistik anlayışa töhfə vermək, bununla da gələcəkdə bu kritik sahədə aparılan tədqiqatlar, siyasət və praktikanı məlumatlandırmaqdır. Onun məqsədi kənd təsərrüfatı praktikasının təkmilləşdirilməsi üçün rəqəmsal texnologiyaların potensialından istifadə etmək, sudan istifadə düzgün istifadənin artırılması və iqlim dəyişikliyi kontekstində su çatışmazlığı və idarəetmə ilə bağlı qlobal çətinliklərin aradan qaldırılmasına töhfə verməkdir.

1.1 Su azlığı

Su azlığı – əsas və artan problemdir. Buna səbəb əhalinin artımı və qeyri-kənd təsərrüfatı istifadəçilərin suya olan tələbatıdır. Kənd təsərrüfatında su çatışmazlığı həm fiziki, həm də iqtisadi amillərə 1) Fiziki su azlığına görə verilə bilər: Bu da a) yaşıl su azlığıdır. Bu, əkin sahələrinin su tələbatını ödəmək üçün kifayət qədər yağıntının olmaması və məhsulun yalnız yağışlardan asılı olduğu halda baş verir digəri isə b) mavi su azlığı. Bu, suvarma ehtiyaclarının davamlı ödənilməsi üçün yerüstü və yeraltı su mənbələrində bərpa olunan suyun kifayət qədər istifadə olunmasını nəzərdə tutur. Bir çox bölgələrdə davamlı olmayan suvarma üsulları mavi su azlığını daha da şiddətləndirir, 2) İqtisadi su çatışmazlığı. Bu, suvarma üçün mövcud olan bərpa olunan mavi su resurslarının effektiv mobilizasiyasının qarşısını alan iqtisadi və institutional baryerlərdən irəli gəlir. Bununla da yaşıl su azlığının təsirini daha da şiddətləndirir. Bu, çox vaxt infrastrukturun kifayət qədər olmaması, su idarəçiliyində az investisiya və idarəetmənin zəif olması ilə bağlıdır. Araşdırmalara görə dünyanın 76% və 25% -i yaşıl su qıtlığı (ildə ən azı bir ay) və iqtisadi su çatışmazlığı ilə üzləşir, 16% əkin sahəsi isə qeyri-sağlam suvarılır.

Suların çirklənməsi və keyfiyyətin deqradasiyası, su böhranı və suyun keyfiyyətinin deqradasiyası ilə daha da şiddətlənir. Kənd təsərrüfatı torpaqlarının genişləndirilməsi, suvarma və kimyəvi gübrə və pestisidlərin istifadəsi ilə yanaşı, bütün dünyada əkin sahələrinin artırılması, eyni zamanda çirkləndirici maddələrin su orqanlarına ötürülməsi baş verir. Əks halda, heyvandarlıq sektorunun getdikcə daha da intensivləşməsi qaçınılmazdır. Kənd təsərrüfatı sularının çirklənməsi mineral və üzvi gübrələrdən (azot və fosfor), heyvan tullantıları, pestisidlər, üzvi maddələr, sedimentlər, metallar, duzlar və başqaları (patogenlər, qalıqlar və s.) kimi müxtəlif çirkləndirici maddələrin ifrazı nəticəsində əmələ gəlir.

1.1 İqlim dəyişikliyi

İqlim dəyişikliyi kontekstində yuxarıda göstərilən çətinliklərin aradan qaldırılması xüsusilə çətindir. Xüsusilə, artıq su qıtlığı ilə üzləşən bölgələrdə yağıntıların dəyişməsi və

ekstremal hava hadisələrinin baş verməsi kənd təsərrüfatı üçün vacib məqamdır. Müxtəlif regionlarda müxtəlif profillər, məsələn, yağıntıların azalma tendensiyası və quraqlıqların artması Aralıq dənizi üçün iqlim proyeksiyalarında müşahidə olunmuşdur Qərbi Afrika hövzələri yağıntıların artması ilə yanaşı, sel riski və Koreya hövzələri üçün nəzərdə tutulur Yağıntıların və temperatur artımının ümumi dəyişməsi Avropa kimi digər bölgələrdə də yayılmışdır.

Dünya Meteoroloji Təşkilatı son on il ərzində (2011-2020) dünyanın bir çox yerlərində yağıntıların dəyişməsi, ekstremal hadisələrin dağıdıcı təsiri, istixana qazı emissiyasının artması və istiləşmə iqlimi göstərir. Belə hadisələr həm suyun kəmiyyətini, həm də keyfiyyətini, həm də ekosistemlərin kifayət qədər su ilə təmin etmək qabiliyyətini təhlükə altına qoyur. Xüsusilə kənd təsərrüfatı həmçinin GHG emissiyaları vasitəsilə iqlim dəyişikliyinə töhfə verir.

Kənd təsərrüfatı iqlim dəyişmələrinin təsirinə uyğunlaşmalı və onu azaltmaq lazımdır. Buna müvafiq olaraq adaptasiya və mitinqlərin, təmin edilməsi, bu məqsədlə kənd təsərrüfatı strategiyalarının əsasıdır. Bunlara məhsulun yaxşılaşdırılması (düzümlü və az sulu-intensiv sortların istifadəsi) aiddir, suyun istifadəsinin və idarə edilməsinin təkmilləşdirilməsi (suya qənaət texnologiyaları, smart suvarma və s.) proqnozlaşdırma və torpağın qorunması praktikası kimi su mövcudluğunu və torpaq nəmləndirməni artıran praktikalar (məs. torpaqların mühafizəsi praktikası, üzvi gübrələr) və digər strategiyalar (məs. qeyri-konvensional su resursları, suvarma üçün bərpa olunan enerjinin istifadəsi) Kənd təsərrüfatında suyun istifadəsi və idarə edilməsi üçün rəqəmsal texnologiyaların tətbiqini həyata keçirir.

Kənd təsərrüfatında sudan istifadə və idarə olunması üçün seçilmiş rəqəmsal texnologiyalar üzrə tədqiqatların qeyri-adi artımı olmuşdur. Buna aşağıdakı diaqramda nəzər yetirə

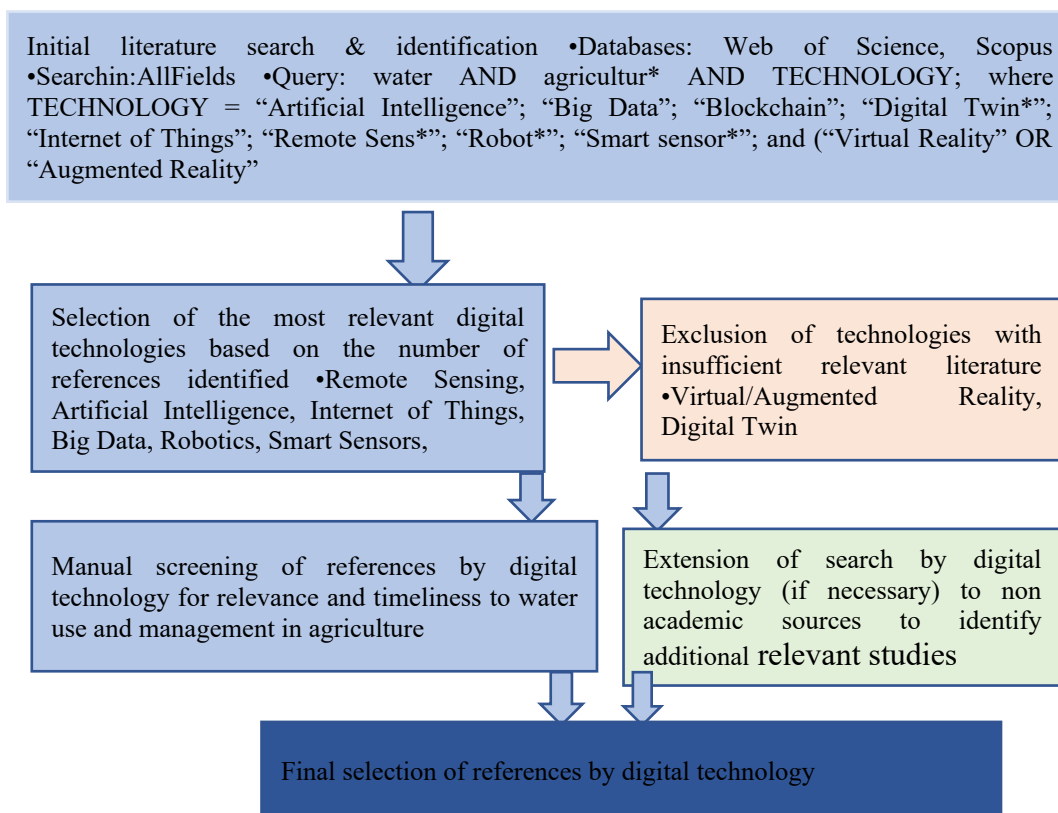


Diagram 1. Müvafiq rəqəmsal texnologiyaları müəyyən etmək üçün ədəbiyyata baxış prosesinin sxemi.

Diagram da təhlil olunan rəqəmsal texnologiyalar, onların əsas tətbiqləri və töhfələri, həmçinin müvafiq istinadlar göstərilməklə həyata keçirilmiş təkrarın nəticələri haqqında ümumi məlumat verilir. Həmçinin hər bir tətbiq üçün həll olunan əsas su ilə bağlı çətinlikləri və sudan istifadə və idarəetmənin təkmilləşdirilməsi üçün qəbul edilmiş strategiyalarını müəyyən edir

2.Süni intellekt

Süni intellektin (AI) su resurslarına olan təhlükələrin aradan qaldırılması üçün istifadə olunur. Yeraltı sular kənd təsərrüfatında istifadə üçün ən etibarlı şirin su mənbələrindən biridir. Müxtəlif iqlim dəyişmə ssenariləri altında yeraltı suların yenidən işlənməsi formalarının proqnozlaşdırılması üçün müxtəlif (AI) modellərindən də istifadə edilmişdir. Qlobal su dövrəni üçün yağış və qar olduqca mühümdür. Adi tərzlərdə baş verə biləcək dəyişikliklər kənd təsərrüfatı üçün potensial olaraq ciddi nəticələrə gətirib çıxarır. AI, xüsusilə təsadüfi meşə və neyron şəbəkə yanaşmaları, RS ilə birlikdə qar su ekvivalentinə nəzarət etmək üçün getdikcə daha çox istifadə olunur. Əhəmiyyətli yağış hadisəsindən qabaq istifadə olunan progressiv maşın öyrənmə modelləri yaxşılaşdırılmış suvarma idarə edilməsi üçün məlumat verə bilər. Bu integrasiya edilmiş proqnoz qərar dəstək sistemi ilə işləyir. Əks halda suyun keyfiyyətini proqnozlaşdırmaq bacarığı təhlükəsiz istifadə üçün olduqca vacibdir. AI-dən intensiv kənd təsərrüfatı hövzəsində suyun keyfiyyətinin monitorinqinin optimallaşdırılması üçün istifadə olunub. Kənd təsərrüfatı torpaqların öz metalları ilə çirklənməsi su resursları üçün təhlükədir. AI modellərinin intensiv düyü becərilməsi altında torpaqların ağır metal məzmununun hesablaşdırılmasında etibarlı və müvəffəqiyyətli olduğu müəyyən edilmişdir. AI-nin əsaslandırılmış suvarma qrafiki əkinin məhsuldarlığını və keyfiyyətini optimallaşdırmağa qadirdir. AI-nin informasiyalı qərarlar üçün etibarlı və yüksək keyfiyyətli məlumatların təmin edilməsi üçün suvarma sistemlərində problemlərin təhlili üçün istifadə oluna bilər. İnkişaf etmiş integral sistemlər əkin proqnozlarını, gübrələmə tövsiyələrini və avtomatik suvarma qıtlıqlarını birləşdirir. Həqiqətən də, əkin sahələrinin suvarılması su resurslarından çox keyfiyyətsiz istifadə oluna bilər.

3.İnternet hər şeyin

İnterneti (IoT) smart su idarəetmə tətbiqlərinin və dəqiq əkinçiliyin həyata keçirilməsi üçün ən ideal həll kimi ortaya çıxır ki, bu da az və həddindən artıq suvarmadan qaçınmaq üçündür. Lakin onun praktiki istifadəsi üçün tələb olunan müxtəlif texnologiyaların sıx birləşdirilməsi üzərində hələ də iş gedir. IoT-nin qalxması bir neçə faktor ilə bağlıdır. Bunlar münasib cihazlar, aşağı enerjili simsiz texnologiyalar, saxlama və işləmə üçün bulud məlumat mərkəzlərinin mövcudluğu, sosial şəbəkələrdən struktursuz məlumatların işlənməsi üçün idarəetmə çərçivələri, standart platformalarda yüksək performanslı hesablama mənbələri, külli miqdarda verilənlərin işlənməsinə uyğunlaşdırılmış hesablama integral alqoritmləridir. Son illərdə IoT texnologiyalarının tətbiqi kənd təsərrüfatında transformativ qüvvə kimi meydana çıxmış, kənd təsərrüfatının müxtəlif sahələrində səmərəliliyin, davamlılığın və məhsuldarlığın yüksəldilməsi üçün innovativ həllər təqdim edilmişdir. Bu həllər suvarma, suların yenidən istifadəsi, suların çirklənməsinə nəzarət və mal-qaranın idarə edilməsinə yönəldilmişdir.

Kənd təsərrüfatında əsas çətinliklərdən biri səmərəli suların idarə olunması və suyun keyfiyyətinə nəzarətdir. IoT texnologiyaları real vaxt monitorinqinə və qərar qəbul etməyə imkan verməklə bu aspekti yenidən bərpa etmişdir. Tədqiqatlar çay və ya suvarma su anbarları kimi su cisimlərinin davamlı monitorinqi üçün bulud platformaları ilə su keyfiyyəti sensorlarını birləşdirən IoT əsaslı çertyojları təqdim edir. Bu sistemlər su parametrlərini təhlil etmək və ətraf

mühitin çirklənməsi hadisələrini vaxtında aşkar etmək üçün Waspote və Raspberry Pi kimi sensor düyünlərindən istifadə edir. Simsiz sensor şəbəkələr (WSN) və bulud əsaslı analitikadan istifadə vaxtlı-vaxtında müdaxiləni təmin edir, suyun təhlükəsizliyini təmin edir və ətraf mühitin çirklənməsi risklərini minimuma endirir. Bundan başqa, IoT-nin suyun yenidən istifadəsində birləşdirilməsi kənd təsərrüfatına davamlı yaşamanı təmin edir. IoT sistemləri FIWARE kimi kənar hesablama və bulud platformalarından istifadə etməklə suların rəquləşdırılmasını isitmələr daxilində asanlaşdırır, ətraf mühitin çirklənmə risklərini azaldır və resursların istifadəsini optimallaşdırır. Bu ağıllı yaşama təkcə suya qənaət etmir, həm də real vaxt məlumat analizi əsasında dəqiq suvarma nəzarəti vasitəsilə məhsul hasilatını artırır.

Əks halda, IoT-enabled su kəməri monitorinqi erkən sızma aşkar və boru kəməri bütövlüyü diqqət yetirir. Arduino və ya Raspberry Pi lövhələri ilə inteqrasiya edilmiş güc həssas rezistorları və axım metrləri kimi innovativ sensor texnologiyaları real vaxtlı-vaxtında məlumatların toplanması və mərkəzi serverlərə ötürülməsini təmin edir. Proqnozlaşdırıcı analitika və maşın öyrənmə alqoritmlərinin istifadəsi anomaliyaları müəyyən etməyə kömək edir, potensial su tullantılarının və infrastrukturun zədələnməsinin qarşısını alır.

Heyvandarlıq sektorunda heyvanların sağlamlığının və rifahının təmin edilməsində IoT əsas rol oynayır. Aşınma və çirklənmə sensorları ilə təchiz olunmuş ağıllı mal-qara sumonitorinq sistemləri fermerlərə heyvanların sağlamlığı və içməli suyun keyfiyyəti ilə bağlı kritik anlayışlar verir. Real vaxt rejimində məlumat analizi potensial problemləri vaxtında həll etmək üçün proaktiv müdaxilələrə imkan yaradır, heyvanların sağlamlığının qorunması və istehsal nəticələrinin optimallaşdırılmasını təmin edir.

4. Rəqəmsal texnologiyalar arasında Big data

Big Data (BD) və onun analitika su istifadə və idarə üçün yeni imkanlar təklif edir. BD kənd təsərrüfatı üçün istifadə olunan sensorlar, kənd təsərrüfatı maşınları, dronlar və peyklər kimi müxtəlif resurslardan əldə edilən böyük miqdarda strukturlaşdırılmış və strukturlaşdırılmamış məlumatları nəzərdə tutur. Kənd təsərrüfatı sahəsinə gəldikdə isə BD-yə hava şəraiti, əkin sağlamlığı, torpağın nəmlik səviyyəsi və suvarma praktikası ilə bağlı verilənlərlə bağlı məlumatlar daxildir. Bu məlumatlardan istifadə etməklə hüquqi şəxslər, eləcə də fermerlər əkin suyunun dinamikası haqqında dəyərli anlayışlar əldə edə və aqrar sektorla bağlı məlumatlı qərarlar qəbul edə bilirlər. Big Data Analytics (BDA) kənd təsərrüfatı sularının idarə edilməsi üçün xammal məlumatlarının hərəkətli informasiyaya çevrilməsində mühüm rol oynayır. Maşın öyrənməsi, proqressiv modelləşdirmə və spatial analiz kimi qabaqcıl analitik üsulların istifadəsi sudan istifadənin optimallaşdırılması üçün misli görünməmiş imkanların təmininə kömək edir. Fermerlər tarixi məlumatlardan və real vaxt məlumatlarından istifadə etməklə dəqiq suvarma strategiyalarını həyata keçirməklə su israfını azalda və məhsul yığımını artırma bilirlər.

Digər aspekt isə dəqiq suvarmadır ki, bu da BD və BDA-nin imkan verdiyi su idarəçiliyində yeni bir dəyişikliyi təmsil edir. Bu üsul dəqiq məlumat anlayışlarına əsaslanaraq lazımi vaxt və yerdə əkinlərə lazımi miqdarda suyun çatdırılmasını nəzərdə tutur. Sensors, hava proqnozları və konkret məhsul üçün su tələblərini birləşdirməklə, hüquqi şəxslər və fermerlər suvarma qrafiklərini optimal edə bilirlər. Bu da ətraf mühitə təsirlərin azaldılmasına kömək edir. Bundan əlavə, BDA hüquqi şəxslərə suyun mövcudluğunu və tələbat rejimini daha dəqiq proqnozlaşdırmaqda kömək edə bilər. Bundan başqa, BD və BDA resursların səmərəliliyi və ətraf mühitin idarə edilməsinə üstünlük verən davamlı kənd təsərrüfatı praktikasını inkişaf etdirir.

5. Robototexnika

Robotları təkrar fiziki tapşırıqları yerinə yetirməklə insan əməyinin çox hissəsini xilas etmək üçün təsərrüfatda istifadə oluna bilər. İnsanlar ənənəvi olaraq kənd təsərrüfatı

texnikasından daha sürətli və fiziki cəhətdən az səylə (məsələn, traktorlar, biçənlər, biçənlər və spreylər) istifadə etsələr də, bu maşınlar insan manevrlarına arxalanırlar. Fermalarda robotlardan istifadənin əsas üstünlüyü ondan ibarətdir ki, onlar hansı tapşırıqların yerinə yetirilməsinə nəzarət edə və qərar verə, sonra da onları həyata keçirə bilirlər.

Xüsusilə, kənd təsərrüfatında suyun idarə edilməsi üçün robot texnikasının əsas tətbiq sahələri əkin və torpağın monitorinqi, suvarma sahələrindədir. Bu iki tətbiqin nümunəsi işidir. O, torpaq temperaturuna və rütubətə nəzarət edə bilən və lazım gəldikdə avtomatik olaraq əkin sahələrini sulayan robot hazırlamışdır. Onların sistemi daha dəqiq suvarma qərarları qəbul etmək üçün süni neyron şəbəkə arxitekturası növü olan Long Short-Term Memory vasitəsilə hava proqnozlarından da istifadə edirdilər. Digər parametrlər də əkin sahələrini nə vaxt suvarmaq barədə qərar verməkdə faydalıdır və robot suvarma sistemlərinə daxil edilə bilər.

Kənd təsərrüfatında sudan istifadəni və idarəni dəstəkləyən bir sıra digər robot sistemlər də mövcuddur. Məsələn, torpaq sularının tərkibinə nəzarət etmək üçün hərəkətli körpü manipulyatoru və sensor əsaslı platformadan ibarət robot suvarma sistemi hazırlamışdır. Üzümlüklərdə suyun vəziyyətini qiymətləndirmək üçün termal infraqırmızı radiometriya ilə təchiz olunmuş yerüstü robotdan istifadə etmişdir. Robotlar həmçinin suyun pH, turbidlik və temperatur kimi keyfiyyət parametrlərinə nəzarət etmək, müəyyən bir torpaq üçün su mənbəyindən istifadə edib-edilməməsinə müəyyən etmək üçün də istifadə edilə bilər.

Kənd təsərrüfatı sularının idarəolunmasında robotların xüsusilə maraqlı tətbiqi su sızanaqlarının aşkarlanmasıdır. İnteqrasiya edilən gred görünən işıq və termik kamera sensorları robota daxil olub, bu sistem drip suvarma sistemlərində su sızanaqlarını aşkar etməyə imkan verir. Oxşar kameralardan istifadə etsə də, daha böyük əraziləri daha tez əhatə etmək üçün onları dronlara birləşdirib. Əkin suvarma sistemlərində su sızanaqlarını aşkar etmək üçün akslerometrlərdən istifadə etmişdir. Bu aksedometrləri robotların əvvəllər müəyyən etdiyi suvarma sistemində kritik nöqtələrə yerləşdirmək olardı.

Bundan başqa, pestisid spreyləri suvarma robotlarına birləşdirilərək su və pestisidlərin eyni vaxtda tətbiqinə imkan verə bilər. Gübrə spreylərini birləşdirmə potensialı da mövcuddur və toxum plantatorları çoxməqsəli robota çevrilir.

6. Smart Sensorlar

A Smart Sensor (SS) – fiziki şəraiti və ya ətraf mühitin digər stimulyasiyalarını ölçə bilən, həmin ölçüləri oxunaqlı siqnallara çevirə bilən, məlumatların daha dərinə təhlil və qərar qəbul edilməsi üçün çıxıla bilən qurğudur. Kənd təsərrüfatı sularının idarəolunmasında sudan istifadəni zəruri şəkildə təşviq edir və dəqiq suvarmanı təmin edir. Bu inkişaf etmiş sensorlar torpağın nəmliyi, temperaturu, rütubəti və yağıntılarını kimi əsas ətraf mühit parametrləri haqqında yeni məlumatlar verir. Onlar məlumatlı suvarma qrafikləri və su tətbiqi desitsiyaları üçün real vaxt məlumatları təqdim edirlər. IoT, adətən, sensorların və aktuatorların böyük şəbəkələrini əhatə etsə də, biz SS-ləri bu təkrarlama da ayrı bir texnologiya kimi açıq-aşkar vurğulayırıq ki, onlar emal edilmiş işlənmə imkanları ilə təkbaşına həll kimi fəaliyyət göstərə bilirlər. Bununla belə, bu ağıllı sensorlar çox vaxt daha geniş IoT arxitekturalarına inteqrasiya olunaraq məlumatların bölüşdürülməsi və uzaqdan idarə olunmasına imkan yaradır.

Bu illər ərzində bir çox tədqiqatçılar SS-in kənd təsərrüfatı sularının idarə edilməsi üçün tətbiqinə diqqət yetirmişlər. suyun idarə edilməsi üçün IoT multisensorlarından istifadə etmişdir. Sistem dizaynına üç əsas komponent daxildir: məlumatların toplanması üçün sensors, böyük sahələr üzərində IoT bağlantısı üçün Long Range Radio üçüncü nəsil Technology transmissiya modulu və məlumatların işlənməsi üçün bir çipli mikroprosessor. Sistem ferma tunellərində və digər yerlərdə quraşdırılmış sensorlardan real vaxtlı-vaxtında verilən məlumatlardan istifadə edərək sulama ehtiyaclarını proqnozlaşdırır və sulama qrafiklərini tövsiyə edir. Necə olur ki,

Blynk kimi konkret tətbiqlərə arxalansaqda, etibarlılıq və internet bağlantısı ilə bağlı çətinliklər var. Bunun aradan qaldırılması üçün alternativ həll bulud hesablama, maşın öyrənmə və data analytics alətləri kimi digər inkişaf etmiş açıq mənbə texnologiyaları ilə birləşdirilmiş SS inkişaf etdirməkdir. Bu kontekstdə kənd təsərrüfatında suyun idarə edilməsi üçün açıq mənbəli IoT platformasını hazırlamış, əsasən zeytun sahələrində optimal suvarma və pest nəzarətinə yönəldilmişdir. Təcrübədə torpaq və atmosfer monitorinqi SS-lərin mikrokontrollerlərlə birləşdirilməsi nəzərdə tutulub. Bu sensorlar Message Queuing Telemetry Transport protokolundan istifadə edərək məlumatları bulud əsaslı IoT platformasına ötürürlər. Torpaq rütubəti kritik həddlərdən aşağı düşəndə və ya pest riskləri artdıqda sistem dərhal fermerləri xəbərdar edir. Platforma həmçinin əkin ehtiyacları əsasında suvarma üçün tələb olunan suyun miqdarını hesablayaraq fermerlərə sudan səmərəli istifadə etməyə kömək edir.

2. Gələcəyə baxış

2.1 Kənd təsərrüfatı su istifadə və idarə sahəsində digital texnologiyaların əhəmiyyətli potensial baxmayaraq, həyata keçirilməsi maneələr və çətinliklər, bir neçə maneələr onların geniş yayılması qəbul və həyata keçirilməsinə mane olur. Məsələn, RS data, xüsusilə peyk və ya drone imagery almaq və emal üçün bahalı ola bilər. Onun effektiv istifadəsi texniki təcrübə tələb edir. RS məlumatlarını kənd təsərrüfatı inforasiyasının digər mənbələri ilə birləşdirmək və böyük həcmli məlumatların təhlili də qabaqcıl məlumat analitika və modelləşdirmə üsulları tələb edir. Bundan başqa, RS məlumatlarının temporal və spatial həlli, eləcə də infrastruktur və əlaqə məsələləri onun effektivliyini məhdudlaşdırır bilər, xüsusilə kənd və inkişaf edən ərazilərdə. Həqiqətən də, dəqiq kənd təsərrüfatı tətbiqləri üçün tələb olunan yüksək kosmik və temporal həll çox vaxt ənənəvi peyk əsaslı uzaqdan sensasiyanın imkanlarını üstələyir

Aİ üçün ümumi çətinliklər təlim üçün böyük datasetlərə ehtiyac, alqoritmlərdə potensial qərəzlər, həmçinin Aİ-nin mövcud kənd təsərrüfatı sistemlərinə integrasiya mürəkkəbliyi daxildir. Aİ-dən istifadə edən proqressiv analiz məlumatların əldə edilməsi və işlənməsi, proqnozların düzgünlüyü, kənd təsərrüfatı ekosistemlərinin mürəkkəbliyini anlamaqda çətinliklərlə üzləşir. Hidroponik tətbiqlərdə, sensor texnologiyası inkişaf etdikcə məlumatların həcmi Aİ-yə çətinlik yaradır. Buna görə də ən yaxşı giriş parametrləri və istifadə olunacaq ən yaxşı Aİ modeli hər bir region üçün inkişaf etdirilməlidir. Aİ-nin avtomatlaşdırılmış qurğuların retrofitinq, quraşdırma və qoşulma yolu ilə kənd təsərrüfatının dirçəldiciliyə təkan verəcəyi gözlənilir. Lakin həm texnologiya, həm də bacarıqlı əmək xərcləri ilə bağlı xərclər olacaq ki, bu da geniş yayılmış mənimsəməyə mane ola bilər

IoT texnologiyası ilə əlaqədar bir neçə çətinlik var və bu problemləri həll etmək lazımdır. Məxfilik və təhlükəsizlik konkrətləri baxımından, IoT gündəlik həyatımıza daha çox integrasiya etdikcə, məlumatların həyat müddəti boyunca məxfilik və təhlükəsizliyi təmin etmək - nəsil-dən-nəslə ötürmə və analizə qədər - ən əsas məsələdir. İnternet üzərindən məlumatların göndərilməsi onu potensial icazəsiz giriş və kiber təhlükələrə məruz qoyur.

2.2. Gələcək tədqiqatların və siyasətin prioritetləri

Gələcək tədqiqat və siyasətin prioritetləri əsasən əvvəlki bölmələrdə təqdim olunan nəticələr əsasında, həmçinin rəqəmsal kənd təsərrüfatı sahəsində daha geniş nəzərə alınmalı, gələcəkdə kənd təsərrüfatında sudan istifadə və idarəetmə sahəsində rəqəmsal texnologiyalar sahəsində aparılan tədqiqatların və siyasətin bir neçə prioritetləri ortaya çıxır:

Bir çox rəqəmsal texnologiyaların integrasiyası: Gələcək tədqiqatlar bir neçə rəqəmsal texnologiyaları birləşdirən integrasiya olunmuş sistemlərə yönəlməlidir, daha davamlı və keyfiyyətli kənd təsərrüfatı qurmaq üçün Kənd Təsərrüfatı 5.0 prinsiplərinə riayət etmək. Məsələn, blokçeyn əsaslı smart kontraktlarla birləşən IoT sensorları real vaxtlı-vaxtında su idarəçiliyini təmin edə bilər. Bu, təhlükəsiz məlumatların bölüşdürülməsini və icmada və ya su

hövzələrində avtomatlaşdırılmış suvarma qrafikini təmin edə bilər. Similarly, IoT-driven metering sistemləri fermerlər arasında faktiki sudan istifadəni izləyə bilər. Bu çərçivələr AI-nin idarə etdiyi analitika ilə tələbatın proqnozlaşdırılması, anomaliyaların aşkar edilməsi və suyun real vaxt ərzində paylanmasının saflaşdırılması üçün daha da güclənə bilər.

Sudan istifadənin effektivliyinin və davamlılığının artırılması. Gələcək tədqiqatlar yalnız sudan istifadənin effektivliyini artırmaqla bərabər, həm də kənd təsərrüfatının ümumi davamlılığını təmin edən rəqəmsal həllərin hazırlanmasına üstünlük verməlidir. Bura fermerlərə iqlim dəyişikliyinə təsirinə uyğunlaşmağa kömək edən texnologiyalar daxildir. Məsələn, quraqlığa davamlı məhsul sortları və dəqiq suvarma sistemləri. Məsələn, maşın öyrənmə alqoritmləri ilə birləşdirilmiş qabaqcıl RS üsulları əkin suyu tələblərinin daha dəqiq proqnozlarını verə bilər, bu isə daha dəqiq və səmərəli suvarmaya imkan yarada bilər. Bundan başqa, bu texnologiyaların hava proqnozu modelləri ilə birləşdirilməsi fermerlərə ekstremal hava hadisələri üçün qabaqcadan kömək edə bilər. Bununla da kənd təsərrüfatı sistemlərinin dözümlülüyü artır.

Suyun keyfiyyətinin və ətraf mühitin çirklənməsinin aradan qaldırılması. Əsas diqqətin çox hissəsi su miqdarına yönəldilsə də, gələcəkdə aparılan tədqiqatlar kənd təsərrüfatı sistemlərində suyun keyfiyyətinə nəzarət etmək və yaxşılaşdırmaq üçün texnologiyalara da üstünlük verməlidir. Bura çirkləndiriciləri və ətraf mühitin çirklənməsi risklərini proqnozlaşdırmaq və azaltmaq üçün qabaqcıl AI alqoritmlərini aşkar etmək üçün daha mürəkkəb sensorların hazırlanması daxil ola bilər. Məsələn, fermerləri suvarma suyunda zərərli çirkləndirənlərin olması barədə aşkarlamaq və xəbərdar etmək üçün real vaxt rejimində monitoring sistemləri hazırlamaq olar.

Nəticə

Digital texnologiyaları su çatışmazlığı, ətraf mühitin çirklənməsi, keyfiyyətsiz istifadə və iqlim dəyişikliyinə təsirlər də daxil olmaqla, kənd təsərrüfatı ilə bağlı qarşıya çıxan əsas çətinliklərin aradan qaldırılması üçün əhəmiyyətli potensial təklif edir. Uzaqdan idarəetmə, Süni zəka, Əşyaların İnterneti, Big Data, Robotics və Smart Sensors bütün bunlar daha səmərəli və davamlı su idarəetmə praktikasına töhfə verir. Uzaqdan idarəetmə və Süni intellekt ən çox istifadə olunan və geniş qəbul edilən texnologiyalar kimi ortaya çıxır, kənd təsərrüfatı sahəsində su ilə bağlı bütün əsas çətinlikləri aradan qaldırır. Onların real vaxtlı-vaxtında məlumat vermək və qərar qəbul etmə proseslərini dəstəkləmək bacarığı onları dəqiq kənd təsərrüfatı və suvarma idarəçiliyi üçün xüsusilə dəyərlidir.

Çox vaxt inkişaf etməmiş regionlarda infrastruktur məhdudiyyətləri və texniki təcrübənin olmaması vurğulansa da, inkişaf etmiş ölkələr də texnologiya ilə bağlı çətinliklərlə üzləşirlər. Məsələn, inkişaf etmiş rəqəmsal platformalar böyük miqyasda qadağan olunmuş şəkildə bahalaşa bilər, bu isə ferma səviyyəsində investisiyanın uzunmüddətli geri qaytarılmasını qeyri-müəyyən edir. Bundan əlavə, bir çox inkişaf etmiş regionlarda kiçik ailə təsərrüfatlarından tutmuş iri korporativ əməliyyatlara qədər heterogen ölçülü ferma ölçüləri var. Nəticədə, yüksək məsrəfli həllər qəbul etmək üçün müxtəlif imkanlar yaranır. Bundan başqa, daha yaxşı əlaqə və genişzolaqlı xidmətlərə baxmayaraq, xüsusi bacarıqlarda boşluqlar (məs. məlumatların analizi, sistemlərin inteqrasiyası) ola bilər ki, bu da mürəkkəb rəqəmsal alətlərin geniş mənimsənilməsinə mane ola bilər. Nəticədə, texnologiyanın mənimsənilməsi təkcə iqtisadi inkişaf məsələsi deyil, həm də infrastruktur, siyasətin təşkili və yerli qabiliyyəti bu yeniliklərin idarə edilməsi ilə bağlıdır.

Rəqəmsal texnologiyalar kənd təsərrüfatında sudan istifadə və idarəetmə sahəsində inqilab etmək və su resurslarının mühafizəsi ilə yanaşı, artan qlobal tələbatı ödəyə bilən daha davamlı, dözümlü və səmərəli kənd təsərrüfatı sistemlərinin yaradılmasına əhəmiyyətli töhfə

vermək imkanına malikdir. Bununla belə, bu potensialın reallaşması üçün fermerlər, sənaye sahəsi üzrə mütəxəssislər, tədqiqatçılar və siyasət aparanlar birgə səylər tələb edəcəklər.

ƏDƏBİYYAT

- Səid, A. M., Kamal, A. E. və Afifi, H. (2021). IoT-ə əsaslanan yaşıl və ağıllı şəhərlər üçün ağıllı park paylaşma sistemi. *Kompüter Rabitəsi*, 172, 10-18
- Abbas, F., Cai, Z., Shoaib, M., Iqbal, J., Ismail, M., Arifullah, Alrefaei, A.F., Albeshr, M.F., 2024. Machine learning models for water quality prediction: a comprehensive analysis and uncertainty assessment in Mirpurkhas, Sindh, Pakistan. *Water* səh-16.
- Baltazar, A.R., Dos Santos, F.N., Moreira, A.P., Valente, A., Cunha, J.B., 2021. Smarter robotic sprayer system for precision agriculture, 2061 10, 2061 *Electronics* 2021 səh-10.
- Cao, Y., Li, H., Su, L., 2024. Blockchain-driven incentive mechanism for agricultural water-saving: A tripartite game model. *J. Clean. Prod.* səh-434,
- Dari, J., Brocca, L., Quintana-Seguí, P., Escorihuela, M.J., Stefan, V., Morbidelli, R., 2020. Exploiting high-resolution remote sensing soil moisture to estimate irrigation water amounts over a mediterranean region. *Remote Sens.* 12,
- Franco, J.G., King, S.R., Volder, A., 2018. Component crop physiology and water use efficiency in response to intercropping. *Eur. J. Agron.* 93, 27–39. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.11.005>.
- Gosling, S.N., Arnell, N.W., 2016. A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. *Clim. Change* 134, səh 371–385.
- Khoa, T.A., Man, M.M., Nguyen, T.-Y., Nguyen, V., Nam, N.H., 2019. IoT multi-sensors: a novel watering management system. *J. Sens. Actuator Netw.* 8, 45