

UOT:33015

MƏMMƏDOV N.Y., TAĞIYEV E.M.

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti

elsevertaqiyev14@gmail.com;

AĞILLI SUVARMA SİSTEMLƏRİNİN EKOLOJİ ÜSTÜNLÜKLƏRİ

Giriş. Kənd təsərrüfatında su resurslarının idarə olunması tarix boyu insan fəaliyyətinin ən vacib sahələrindən biri olmuşdur. Su çatışmazlığı və torpaq münbitliyinin azalması kimi problemlər artdıqca, təsərrüfat sistemlərində daha dəqiq və ekoloji cəhətdən səmərəli yanaşmalara ehtiyac yaranır. Suvarma prosesinin optimallaşdırılması yalnız məhsuldarlığa deyil, həm də ətraf mühitin qorunmasına birbaşa təsir edir. Bu baxımdan ağıllı suvarma sistemləri son illərdə ən çox diqqət çəkən innovativ tətbiqlərdən birinə çevrilmişdir. Bu sistemlərin əsas məqsədi suyun lazımı anda, lazımı miqdarda və lazımı yerə yönəldilməsini təmin etməkdir. Bu yanaşma həm su resurslarının qorunmasına, həm torpağın sağlamlığının saxlanmasına, həm də ekoloji tarazlığın bərpasına xidmət edir.

Ağıllı suvarma sistemlərinin mahiyyəti ondadır ki, onlar torpağın vəziyyətini, rütubət səviyyəsini, iqlim göstəricilərini və bitkilərin su tələbatını real vaxtda analiz edir. Sensor texnologiyaları, avtomatlaşdırılmış idarəetmə mexanizmləri və məlumatların analizi bu sistemlərin əsasını təşkil edir. Ənənəvi suvarma üsullarında suyun miqdarı təxminə əsaslandığı üçün ya həddindən çox su sərf olunur, ya da bitkilərin suya olan tələbatı tam ödənilmir. Bu isə torpağın yuyulması, duzluluğun artması, eroziya və məhsuldarlığın azalması kimi problemlərə səbəb olur. Ağıllı suvarma sistemləri bu çatışmazlıqları aradan qaldıraraq daha dəqiq yanaşma təmin edir və kənd təsərrüfatının ekoloji yükünü xeyli azaldır.

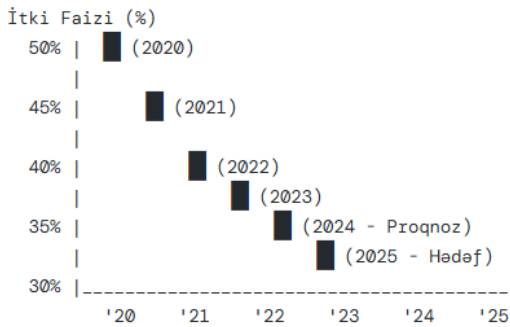
Su çatışmazlığının qlobal səviyyədə böhran halını aldığı bir dövrdə ağıllı suvarma sistemlərinin tətbiqi xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Dünyanın bir çox bölgələrində su ehtiyatları sürətlə azalır və buna paralel olaraq kənd təsərrüfatı istehsalında çətinliklər yaranır. Ən çox su sərf edən sahələrdən biri olan kənd təsərrüfatında ağıllı texnologiyaların tətbiqi artıq alternativ deyil, zəruri həll kimi qəbul edilir. Ağıllı suvarmanın ekoloji üstünlüklərindən biri də iqlim dəyişikliyi ilə mübarizəyə töhfə verməsidir. Suyu qənaət edilməklə yanaşı, enerji sərfiyyatı azalır, torpaq karbonunun qorunması təmin olunur və ümumi antropogen təsirlər aşağı düşür.

Ağıllı suvarma sistemləri yalnız texnoloji yenilik deyil, həm də davamlı təsərrüfat idarəçiliyinə keçidin göstəricisidir. Suvarma prosesində məlumatların toplanması və emal edilməsi fermerlərə daha obyektiv qərarlar qəbul etməyə imkan verir. Bu da öz növbəsində təbii resursların idarə olunmasında şəffafıq, səmərəlilik və davamlılıq yaradır. Bitkilərin ehtiyaclarına uyğun suvarma aparıldıqda torpaq strukturunun qorunması təmin olunur, mikroorqanizmlərin fəaliyyəti pozulmur və bioloji müxtəliflik saxlanılır. İnsan fəaliyyəti nəticəsində zədələnən ekosistemlər üçün bu cür yanaşmalar xüsusilə faydalıdır.

Əsas hissə: Ağıllı suvarma sistemləri XXI əsrin ən aktual aqrar texnologiyalarından biri kimi həm qlobal, həm də regional ekologiya qorunması baxımından strateji əhəmiyyət daşıyır. Dünyada artan iqlim dəyişiklikləri, su resurslarının tükənmə təhlükəsi, torpaqların deqradasiyası və kənd təsərrüfatının

genişlənməsi nəticəsində ekosistəmlərə düşən yük günbəgün artır. Bu fonda suvarma sistemlərinin modernləşdirilməsi sadəcə texniki yenilik deyil, həm də ekoloji sabitliyə xidmət edən fundamental islahatdır. Ağıllı suvarma sistemləri – yəni sensorlara əsaslanan, torpağın və bitkinin real vaxtda ehtiyaclarını ölçərək avtomatlaşdırılmış şəkildə suvarma aparən texnologiyalar – ətraf mühitin qorunması üçün bir sıra mühüm üstünlüklər təmin edir.

Ənənəvi suvarma metodları, xüsusilə səth suvarma, uzun illər ərzində kənd təsərrüfatı üçün yeganə yol sayılırdı. Bu sistemdə su geniş sahəyə nəzarətsiz axıdılır, nəticədə suyun böyük hissəsi ya buxarlanır, ya axın şəklində itir, ya da torpağın dərin qatlarına sızaraq istifadəsiz hala gəlirdi. Bu proses yalnız su israfına səbəb olmurdu, həm torpağın üst qatında eroziya, həm də yeraltı su hövzələrində çirklənmə yaradırdı. Ağıllı suvarma sistemləri isə bu zərərlərin qarşısını almağa yönəlmişdir. Torpağın rütubət səviyyəsi sensorlarla ölçüldüyü üçün su yalnız lazım olduğu anda və lazım olan miqdarda verilir. Bu, təbii resursların qorunmasına xidmət edən əsas üstünlükdür (cədvəl 1)



Cədvəl 1

Ekoloji baxımdan ağıllı suvarmanın ən mühüm təsirlərindən biri torpağın strukturunun qorunmasıdır. Torpaq canlı bir sistemdir və onun münbitliyi yalnız kimyəvi maddələrlə deyil, həm də fiziki və bioloji proseslərlə müəyyən olunur. Suyun həddindən artıq verilməsi torpağın sıxlaşmasına, oksigen dövriyyəsinin

pozulmasına və nəticədə mikroorqanizmlərin fəaliyyətinin zəifləməsinə səbəb olur. Mikroorqanizmlər torpaqda üzvi maddələrin parçalanmasını təmin edən əsas canlılardır. Onların fəaliyyəti pozulduqda torpağın humus ehtiyatı azalır, struktur pozulur və torpaq eroziyaya daha meyilli hala gəlir.

Ağıllı suvarma sistemlərinin ekoloji üstünlüklərindən biri də duzlaşma proseslərinin qarşısını almasıdır. Suvarma sularında müəyyən miqdarda həll olmuş duzlar olur və ənənəvi suvarma metodlarında bu duzlar torpağın səthinə yığılaraq şoranlaşmaya səbəb olur. Şoranlaşma torpağın məhsuldarlığını azaldan əsas ekoloji problemlərdən biridir. Smart suvarma sistemlərində suyun dəqiq dozalanması nəticəsində torpaqda duzların yuxarı qatlara daşınması azaldılır və torpaq şoranlaşmasının qarşısı alınır. Bu həm kənd təsərrüfatı iqtisadiyyatı, həm də torpaq ekologiyası baxımından son dərəcə vacibdir (şəkil 1)



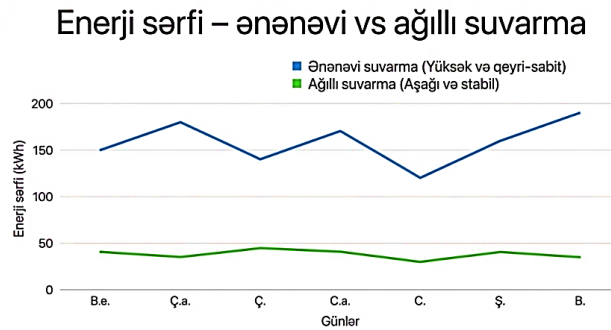
Şəkil 1

Ekosistəmlərə müsbət təsir edən başqa bir mexanizm kimyəvi maddələrin ətraf mühitə yayılmasının qarşısının alınmasıdır. Bitkilərin ehtiyacından artıq su verildikdə gübrələr su ilə torpağın dərin qatlarına sızır və oradan yeraltı su hövzələrinə keçir. Bu isə içməli su mənbələrinin çirklənməsinə gətirib çıxarır. Digər tərəfdən, axın şəklində torpaqdan yuyulan gübrələr çay və

göllərə düşərək su hövzələrində eutrofikasiya yaradır. Yəni suyun azot və fosforla yüklənməsi nəticəsində su bitkiləri və yosunlar həddindən artıq çoxalır, oksigen çatışmazlığı yaranır və su ekosistemləri öz tarazlığını itirir. Ağıllı suvarma sistemləri suyun hədəfə yönəlmiş şəkildə verilməsi nəticəsində bu problemləri minimuma endirir və kimyəvi maddələrin təbii mühitlərə keçməsinin qarşısını alır.

Enerji sərfiyyatının azalması da bu sistemlərin mühüm ekoloji üstünlüklərindən biridir.

Suyun israf olunmaması nasosların daha az işləməsi deməkdir. Enerji istehlakı azaldıqca karbon emissiyaları da azalır. Bu isə kənd təsərrüfatının iqlim dəyişməsi ilə mübarizə sahəsində daha “yaşıl” sektor olmasını təmin edir. Bir çox ölkələrdə ağıllı suvarma sistemlərinin alternativ enerji ilə – xüsusilə günəş panelləri vasitəsilə – işlətdiyi hallar artır. Bu yanaşma kənd təsərrüfatı proseslərini tamamilə karbon neytral səviyyəyə yaxınlaşdırır (cədvəl 2).



Cədvəl 2.

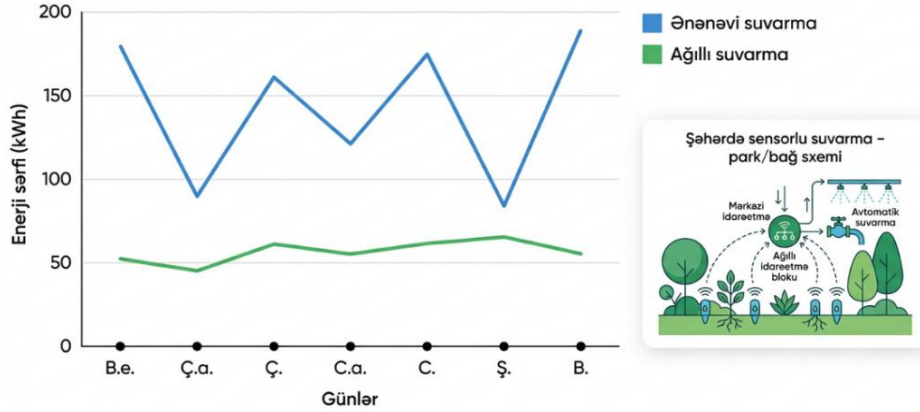
Ağıllı suvarmanın ekoloji təsirlərindən biri də biomüxtəlifliyin qorunmasıdır. Suvarma sahələrinin yaxınlığında yerləşən təbii ekosistemlər çox vaxt təsərrüfat fəaliyyətindən zərər görür. Ətrafdakı çaylar, göllər və torpaq ekosistemləri suvarma üçün suyun həddindən artıq çəkilməsi və kimyəvi maddələrin yayılması nəticəsində zərər alırdı. Su hövzələrinin səviyyəsi stabil qaldıqca balıqların kürüləmə dövrləri pozulmur, su quşları üçün qida zənciri dəyişmir, bataqlıq ekosistemləri quruma təhlükəsi ilə üzləşmir. Bu, xüsusilə yarımsəhra və quraq iqlimli zonalarda çox əhəmiyyətlidir, çünki bu yerlərdə su mənbələri ekosistemlərin yaşaması üçün həlledici faktordur.

Ekoloji aspektlərdən biri də urban ərazilərdə ağıllı suvarma sistemlərinin tətbiqi ilə bağlıdır. Şəhər mühitində yaşıl zonaların genişləndirilməsi hava keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması və istilik adası effektinin zəiflədilməsi baxımından önəmlidir. Ağıllı suvarma sistemləri

parkların, bağçaların və şəhər istixanalarının suvarılmasında səmərəli şəkildə tətbiq olunduqda urban ekosistemlərinin davamlılığı artır. Şəhər daxilində bitki örtüyünün sağlam böyüməsi toz və toksik hissəcikləri udur, karbon qazını daha çox saxlayır və mikroiklimi stabilləşdirir. Məhz bu səbəbdən inkişaf etmiş ölkələrdə ağıllı suvarmada enerji-effektiv, sensorlarla təchiz olunmuş şəhər bağçılıq sistemlərinə böyük diqqət ayrılır (cədvəl 3).

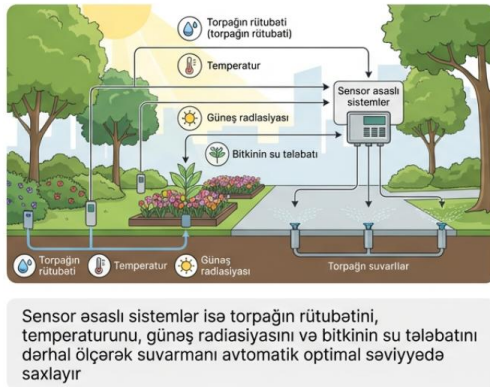
Kənd təsərrüfatında iqlim dəyişməsinə adaptasiya potensialının yüksəlməsi də ağıllı suvarma sistemlərinin ekoloji üstünlükləri sırasındadır. Temperatur və ya yağıntı rejimi dəyişkən olduqda bitkilərin su tələbiyyəti də dəyişir. Sensor əsaslı sistemlər isə torpağın rütubətini, temperaturunu, günəş radiyasını və bitkinin su tələbatını dərhal ölçərək suvarmanı avtomatik optimal səviyyədə saxlayır. Bu, məhsul itkisini, ekoloji yüklənməni və resurs israfını azaltmaqla yanaşı, kənd təsərrüfatını daha dayanıqlı edir (şəkil 2).

Enerji sərfi – ənənəvi vs ağıllı suvarma

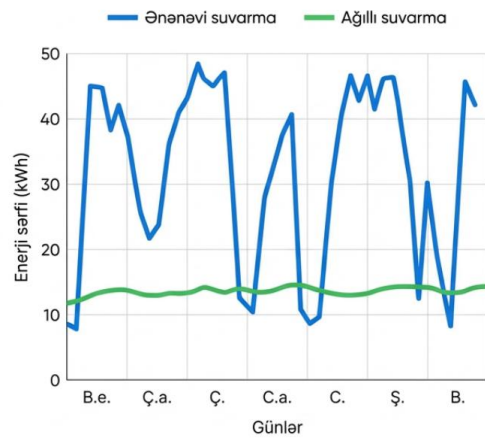


Cədvəl 3.

Şəhərdə sensorlu suvarma – park/bağ sxemi



Şəkil 2.



Nəticə. Ağıllı suvarma sistemləri müasir kənd təsərrüfatı və landşaft idarəetməsində ekoloji baxımdan ən mühüm innovasiyalardan biri hesab edilir. Ənənəvi suvarma üsullarının yaratdığı su itkisi, torpağın şoranlaşması, enerji sərfiyyatının artması, biosistemlərin təsirlənməsi və iqlim dəyişməsinə töhfə kimi problemlər fonunda ağıllı suvarma texnologiyalarının tətbiqi ekoloji davamlılıq baxımından həlledici rol oynayır. Bu tədqiqat çərçivəsində aparılan təhlil göstərdi ki, ağıllı suvarma sistemləri təkcə suya qənaət edən texnologiya deyil, həm də su ehtiyatlarının dayanıqlı idarə olunması, torpağın qorunması, biomüxtəlifliyin dəstəklənməsi və iqlim risklərinin azaldıl-

ması kimi çoxşaxəli ekoloji üstünlüklərə malik integrativ bir yanaşmadır.

İlk olaraq, nəticələr göstərir ki, ağıllı suvarma sistemlərinin ən mühüm ekoloji faydası su resurslarının səmərəli istifadəsinə nail olmaqdır. Sensor texnologiyaları, torpaq nəmlik detektorları, meteoroloji məlumatların analizi və avtomatlaşdırma sayəsində suvarma prosesinin ehtiyaca uyğun optimallaşdırılması su itkisini 40–70%-ə qədər minimuma endirir. Bu, həm qlobal su qıtlığı ilə mübarizə üçün, həm də regionların hidroloji təhlükəsizliyinin təmin edilməsi üçün son dərəcə əhəmiyyətlidir. Azərbaycan qurak və yarımsəhra iqlim tipli əraziləri üçün bu texnologiyanın tətbiqi xü-

susilə aktualdır, çünki suvarma suyu ümumi su tələbatının böyük hissəsini təşkil edir.

Araşdırmalar göstərdi ki, ağıllı suvarma sistemlərinin ikinci mühüm ekoloji təsiri torpaq mühitinin sağlamlığının qorunması ilə bağlıdır. Ənənəvi suvarmada tez-tez rast gəlinən torpağın həddindən artıq islanması, şoranlaşma, strukturun pozulması və eroziya kimi problemlər bu sistemlərdə demək olar ki, yaranmır. Suvarmanın dəqiq idarə edilməsi torpaqda optimal rütubət balansını saxlayır, mikroorqanizmlərin aktivliyini artırır, üzvi maddələrin parçalanmasını gücləndirir və torpağın bioloji məhsuldarlığını yüksəldir. Torpağın sağlamlığı bərpa olduqca kənd təsərrüfatı ekosistemlərinin dayanıqlığı artır və təbii resurslar daha uzunmüddətli qorunur.

ƏDƏBİYYAT

1. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. "Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements." Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper 56, 1998.
2. Pereira, L. S., Cordery, I., Iacovides, I. "Improved Indicators for Sustainable Irrigation and Groundwater Management." Paris: UNESCO Publishing, 2012.
3. Fereres, E., Soriano, M. A. "Deficit Irrigation for Sustainable Agriculture."

Agricultural Water Management, 90(1–2), 2007, pp. 1–3.

4. Evett, S. R., O'Shaughnessy, S. A., Colaizzi, P. D. "Precision Irrigation for Crop Water Productivity." *Agricultural Water Management*, 2018. DOI: 10.1016/j.agwat.2018.04.009
5. Li, X., Bai, Q., Zhang, D. "IoT-Based Smart Irrigation System for Water Conservation." *Sensors*, 20(1), 2020. DOI: 10.3390/s20010190
6. Cahn, M., Johnson, L. "Soil Moisture Sensor-Based Irrigation Management in Vegetable Crops." *Horticulturae*, 7(7), 2021. DOI: 10.3390/horticulturae7070172
7. Jones, H. G. "Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology." Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
8. Shiklomanov, I. "World Water Resources." Paris: UNESCO International Hydrological Programme, 1998.
9. Trenberth, K. E., et al. "Global Water Cycle and Climate Change." *Climate Dynamics*, 2014. DOI: 10.1007/s00382-014-2055-1

Məqaləyə AzMİU-nun "Mühəndis sistemləri və qurğularının tikintisi" kafedrasının dosenti Ə.M. Quliyev rəy vermişdir.

Redaksiyaya daxil olma/Received 21.10.2025

Çapa qəbul olunma/Accepted for publication 07.01.2026.

