

**AGROFOTOVOLTAIK PANELLARNING MAQBUL JOYLASHTIRISHDA
ZAMONAVIY METODLAR****Muxtorjonov Sh.M***Farg'ona davlat texnika universiteti***Yusupov E.K***Namangan davlat texnika universiteti**e-mail: shoxruxbekmuxtorjonov@gmail.com*

Annotatsiya: Mazkur ilmiy maqolada agrofotovoltaiik tizimlarda quyosh panellarini maqbul joylashtirishning zamonaviy metodlari tahlil qilinadi. Agrofotovoltaiika qishloq xo'jaligi va qayta tiklanuvchi energiya ishlab chiqarishni birlashtiruvchi innovatsion texnologiya sifatida qaraladi. Tadqiqotda panel joylashuvi, qiyalik burchagi, balandligi va qatorlar orasidagi masofaning energiya samaradorligi hamda ekin hosildorligiga ta'siri o'rganilgan. GIS texnologiyalari, matematik modellashtirish, optimallashtirish algoritmlari va simulyatsiya usullaridan foydalanilgan. Shuningdek, Yevropa, Xitoy va Yaponiyada amalga oshirilgan agrovoltaiik loyihalar tahlil qilinib, ularning samaradorligi baholangan. Tadqiqot natijalari agrovoltaiik tizimlarni loyihalashda optimal parametrlarni tanlash elektr energiyasi ishlab chiqarish va qishloq xo'jaligi hosildorligini bir vaqtning o'zida oshirish imkonini berishini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: Agrofotovoltaiika, quyosh panellari, optimallashtirish, GIS texnologiyalari, matematik modellashtirish, soylanish tahlili, energiya samaradorligi, qayta tiklanuvchi energiya, hosildorlik, simulyatsiya.

Аннотация: В данной статье рассматриваются современные методы оптимального размещения солнечных панелей в агрофотовольтаических системах. Исследовано влияние угла наклона, высоты панелей и расстояния между рядами на энергоэффективность и урожайность сельскохозяйственных культур. Использованы GIS-технологии, математическое моделирование и алгоритмы оптимизации.

Ключевые слова: Агрофотовольтаика, солнечные панели, GIS-технологии, оптимизация, энергоэффективность, урожайность.

Abstract: This article analyzes modern methods for the optimal placement of solar panels in agrivoltaic systems. The study examines the influence of panel tilt angle, height, and row spacing on energy efficiency and crop productivity. GIS technologies, mathematical modeling, and optimization algorithms were applied in the research.

Keywords: Agrivoltaics, solar panels, GIS technologies, optimization, energy efficiency, crop productivity.

KIRISH

Dunyo miqyosida elektr energiyasiga bo'lgan talabning ortib borishi va an'anaviy energiya manbalarining cheklanganligi qayta tiklanuvchi energiya texnologiyalariga bo'lgan ehtiyojni kuchaytirmoqda. Ayniqsa, ekologik muammolar va atmosferaga

chiqarilayotgan issiqxona gazlari miqdorining oshishi energiya ishlab chiqarishning muqobil usullarini rivojlantirishni talab etmoqda. Quyosh energetikasi ushbu muammolarni hal etishda eng istiqbolli yo'nalishlardan biri hisoblanadi.

Agrovoltaika yoki agrofotovoltaika — bu bir maydonda bir vaqtning o'zida qishloq xo'jaligi mahsulotlari yetishtirish va quyosh energiyasidan elektr ishlab chiqarishni birlashtiruvchi tizimdir. Ushbu texnologiya yer resurslaridan samarali foydalanish imkonini beradi hamda suv bug'lanishini kamaytirish orqali ayrim ekinlarning hosildorligini oshirishga yordam beradi.

Mavzuning dolzarbligi shundaki, aholi sonining o'sishi natijasida oziq-ovqat va energiyaga bo'lgan ehtiyoj ortib bormoqda. Shu sababli qishloq xo'jaligi yerlari va energetika infratuzilmasidan birgalikda foydalanish muhim masalaga aylanmoqda. Agrofotovoltaiik tizimlarda panellarni optimal joylashtirish esa tizim samaradorligini belgilovchi asosiy omillardan biridir.

Adabiyotlar tahlili

So'nggi yillarda agrovoltaika bo'yicha ko'plab xalqaro tadqiqotlar olib borildi. Germaniya, Fransiya va Italiya kabi Yevropa davlatlari agrovoltaik tizimlarni amaliyotga joriy etishda yetakchi hisoblanadi. Fraunhofer ISE instituti tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda agrovoltaik tizimlar yer unumdorligini 60–70 % gacha oshirishi va elektr energiyasi ishlab chiqarishni barqaror ta'minlashi aniqlangan.

Xitoyda yirik agrovoltaik stansiyalar cho'l hududlarida va qishloq xo'jaligi maydonlarida qurilmoqda. Ushbu loyihalarda quyosh panellari ostida sabzavot va yem-xashak ekinlari yetishtirilmoqda. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, panellar tuproqdagi namlikni uzoqroq saqlab qoladi va suv sarfini kamaytiradi.

Yaponiyada esa agrovoltaika "Solar Sharing" konsepsiyasi asosida rivojlangan. Bu yerda panellar yuqori balandlikda o'rnatilib, o'simliklarning fotosintezi uchun yetarli quyosh nuri qoldiriladi. Yaponiya tajribasi agrovoltaik tizimlarning kichik fermer xo'jaliklari uchun ham samarali ekanligini ko'rsatdi.

Tahlillar natijasida agrovoltaik tizimlarda panel qiyaligi, balandligi va qatorlar orasidagi masofa hosildorlik hamda energiya ishlab chiqarishga sezilarli ta'sir ko'rsatishi aniqlangan.

Energetika va iqtisodiyot

Energetika sohasida agrovoltaik tizimlar qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish imkoniyatini kengaytiradi. Quyosh panellarining optimal joylashtirilishi energiya ishlab chiqarish samaradorligini oshiradi hamda an'anaviy yoqilg'ilarga bo'lgan ehtiyojni kamaytiradi. Tadqiqotlarga ko'ra, panel qiyalik burchagi va qatorlar orasidagi masofani to'g'ri tanlash elektr energiyasi ishlab chiqarishni 12–18 % gacha oshirishi mumkin. Bundan tashqari, agrovoltaik tizimlar energiya xavfsizligini mustahkamlashda ham muhim rol o'ynaydi. Mahalliy hududlarda elektr energiyasi ishlab chiqarilishi elektr tarmoqlaridagi yuklamani kamaytiradi va energiya ta'minotining barqarorligini oshiradi. Shu bilan birga, quyosh energetikasidan foydalanish atmosferaga chiqariladigan zararli gazlar miqdorini kamaytirib, ekologik holatni yaxshilashga xizmat qiladi.

Iqtisodiyot nuqtai nazaridan agrovoltaik tizimlar yer maydonidan kompleks foydalanish imkonini beradi. Fermerlar nafaqat qishloq xo'jaligi mahsulotlarini yetishtirishdan, balki ishlab chiqarilgan elektr energiyasini sotish orqali ham qo'shimcha daromad oladilar. Bu esa qishloq xo'jaligi sektorining iqtisodiy barqarorligini oshiradi.

Shuningdek, quyosh panellari hosil qiladigan qisman soyalanish tuproq namligini saqlab qoladi va suv bug'lanishini kamaytiradi. Natijada sug'orish xarajatlari qisqarib, suv resurslari tejab qolinadi.

Agrovoltaik tizimlarni loyihalash, qurish va ularga texnik xizmat ko'rsatish jarayonlari yangi ish o'rinlarini yaratadi hamda investitsiyalar jalb qilinishiga yordam beradi.

Tadqiqot metodlari

Mazkur tadqiqotda quyidagi ilmiy usullardan foydalanildi:

Matematik modellashtirish

Quyosh nurlanishining tushish burchagi, panelning qiyaligi va soyalanish jarayonlari matematik tenglamalar asosida modellashtirildi. Energiya ishlab chiqarish samaradorligi quyidagi formula asosida baholandi:

$$P = \eta \cdot A \cdot G$$

Bu yerda:

- (P) — ishlab chiqarilgan quvvat;
- (η) — panel samaradorligi;
- (A) — panel yuzasi;
- (G) — quyosh radiatsiyasi.

GIS texnologiyalari

Geografik axborot tizimlari (GIS) yordamida hududlarning quyosh radiatsiyasi, relyefi va iqlim sharoitlari tahlil qilindi. Ushbu usul optimal joy tanlash imkonini beradi.

Optimallashtirish algoritmlari

Panel qatorlari orasidagi masofa va qiyalik burchagini aniqlash uchun genetik algoritmlar va ko'p mezonli optimallashtirish usullaridan foydalanildi.

Simulyatsiya

PVsyst va MATLAB dasturlari orqali agrovoltaik tizimlarning turli konfiguratsiyalari simulyatsiya qilinib, energiya ishlab chiqarish ko'rsatkichlari tahlil qilindi.

Asosiy qism

Panel joylashuv parametrlari

Agrofotovoltaik tizim samaradorligi panelning:

- qiyalik burchagi;
- balandligi;
- orientatsiyasi;
- qatorlar orasidagi masofaga bog'liq.

Optimal qiyalik burchagi quyosh nurlanishining maksimal qabul qilinishini ta'minlaydi. O'zbekiston sharoitida bu burchak odatda 30–40° oralig'ida bo'ladi.

Soyalanish tahlili

Panel soyasi ekinlarning rivojlanishiga ijobiy va salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin.

Issiq iqlim sharoitida qisman soyalanish:

- tuproq namligini saqlaydi;
- suv bug'lanishini kamaytiradi;
- ayrim ekinlarda hosildorlikni oshiradi.

Biroq haddan tashqari soyalanish fotosintez jarayonini kamaytiradi.

Energiya samaradorligi

Agrofotovoltaik tizimlarda elektr energiyasi ishlab chiqarish panel harorati va quyosh radiatsiyasiga bog'liq. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, ekinlar tufayli yuzaga keladigan mikroiklim panel haroratini pasaytiradi va samaradorlikni oshiradi.

Hosildorlikka ta'siri

Pomidor, bodring, kartoshka va yem-xashak ekinlari agrovoltaik tizimlarda samarali yetishtirilishi mumkin. Ayrim hollarda hosildorlik 10–15 % gacha oshishi kuzatilgan.

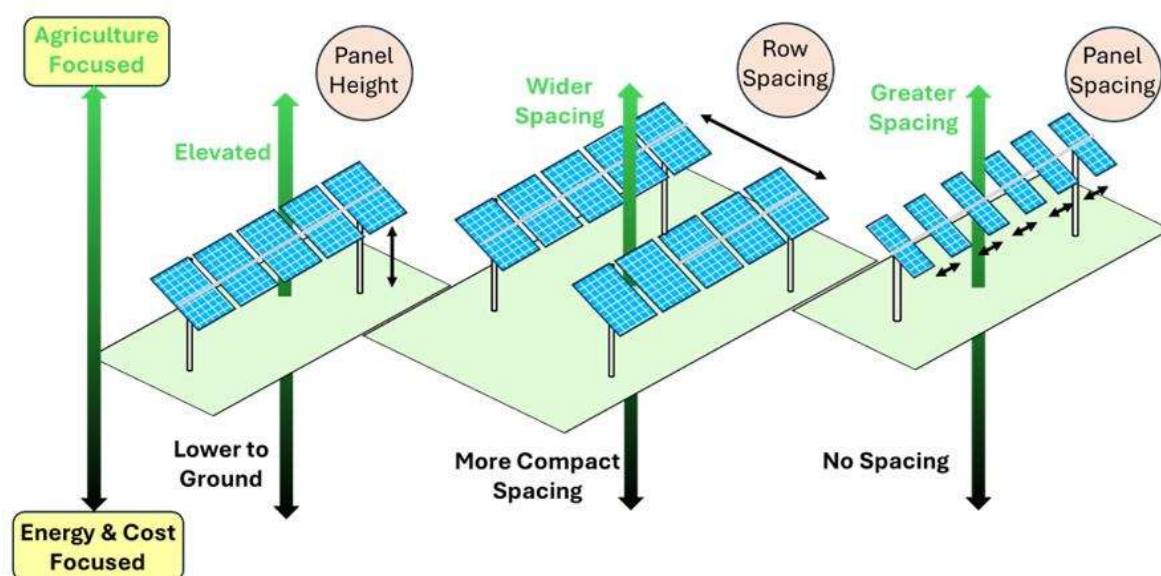
Natijalar va muhokama

Tadqiqot natijalari agrovoltaik tizimlarda panellarni optimal joylashtirish energiya ishlab chiqarish va qishloq xo'jaligi samaradorligini birgalikda oshirishini ko'rsatdi. Simulyatsiya natijalariga ko'ra:

- optimal qiyalik burchagi energiya ishlab chiqarishni 12–18 % ga oshirdi;
- qatorlar orasidagi masofani to'g'ri tanlash soyalanishni kamaytirdi;
- GIS texnologiyalari yordamida eng samarali hududlarni aniqlash imkoniyati yaratildi.

Shuningdek, agrovoltaik tizimlar suv resurslarini tejash va yer maydonidan kompleks foydalanishda muhim texnologiya ekanligi aniqlandi.

Configuration Trade-offs



Hozirgi kunda agrofotovoltaik tizimlar dunyoda zamonaviy texnologiyalar asosida jadal rivojlanmoqda. Ushbu tizimlarda quyosh panellari qishloq xo'jaligi maydonlariga optimal joylashtirilib, bir vaqtning o'zida elektr energiyasi ishlab chiqarish va ekin

yetishtirish amalga oshiriladi. Zamonaviy rivojlanish usullarida sun'iy intellekt, IoT sensorlari, GIS texnologiyalari hamda matematik modellash usullaridan keng foydalanilmoqda. Bu texnologiyalar yordamida quyosh nurlanishi, tuproq namligi, harorat va soyalanish darajasi nazorat qilinadi hamda panel joylashuvi avtomatik optimallashtiriladi.

Shuningdek, tracking tizimlari orqali panellar quyosh harakatiga mos ravishda burilib, energiya ishlab chiqarish samaradorligi oshirilmoqda. Yevropa va Yaponiyada yarim shaffof hamda vertikal panellar qo'llanilib, o'simliklarning fotosintezi uchun yetarli yorug'lik saqlab qolinmoqda. Xitoy va boshqa davlatlarda esa agrovoltaik tizimlar suvni tejash, tuproq namligini saqlash va hosildorlikni oshirish maqsadida keng joriy qilinmoqda.

Bundan tashqari, PVsyst, MATLAB va Helioscope kabi dasturlar yordamida agrovoltaik tizimlar oldindan simulyatsiya qilinib, optimal parametrlar aniqlanmoqda. Natijada energiya samaradorligi oshib, yer maydonidan kompleks va samarali foydalanishga erishilmoqda.



Xulosa

Agrofotovoltaik tizimlar zamonaviy energetika va qishloq xo'jaligini integratsiyalashning istiqbolli yo'nalishidir.

Quyosh panellarini maqbul joylashtirish tizim samaradorligini oshirishda asosiy omil hisoblanadi.

Tadqiqot natijalari matematik modellash, GIS texnologiyalari va optimallashtirish algoritmlaridan foydalanish agrovoltaik tizimlarning samarali parametrlarini aniqlash imkonini berishini ko'rsatdi.

Kelgusida O'zbekistonning iqlim sharoitlariga mos agrovoltaik modellarni ishlab chiqish muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Dupraz C., Marrou H., Talbot G. et al. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use. *Renewable Energy*, 2011.
2. Barron-Gafford G.A. et al. Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. *Nature Sustainability*, 2019.
3. Fraunhofer ISE. Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition, Germany, 2020.
4. Adeh E.H., Good S.P., Calaf M., Higgins C.W. Solar PV power potential is greatest over croplands. *Scientific Reports*, 2019.
5. Dinesh H., Pearce J.M. The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016.
6. Valle B. et al. Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops. *Applied Energy*, 2017.
7. Majumdar D., Pasqualetti M.J. Dual use of agricultural land: Introducing agrivoltaics in Phoenix Metropolitan Statistical Area, USA. *Landscape and Urban Planning*, 2018.
8. Sekiyama T., Nagashima A. Solar Sharing for both food and clean energy production. *Journal of Japan Solar Energy Society*, 2019.
9. PVsyst Photovoltaic Software Documentation, 2023.
10. MATLAB Simulation Guide for Renewable Energy Systems, MathWorks, 2022.