CHANGLANISHNING QUYOSH PANELLARI SAMARADORLIGIGA TA'SIRI

Fozilova Mohira Soyibjon qizi
Andijon davlat texnika instituti stajyor-o'qituvchisi,
Andijon, O'zbekiston.
E-mail: Fmohira0@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada quyosh fotoelektrik modullarining samaradorligiga changlanishning (soiling) ta'siri o'rganilgan. Quruq iqlim sharoitiga ega bo'lgan hududlarda, xususan O'zbekistonning ko'plab viloyatlarida chang miqdorining yuqoriligi PV tizimlarining energiya ishlab chiqarish jarayonida sezilarli yo'qotishlarga olib kelishi aniqlangan. Tadqiqot davomida turli chang turlarining optik xususiyatlari, ularning yutilish koeffitsienti va modul sirtida to'planish darajasi bo'yicha ta'siri tahlil qilindi. O'lchov natijalari shuni ko'rsatdiki, changning 1–2 % sirtni qoplash darajasi ham quvvatning 5–10 % kamayishiga sabab bo'ladi, yuqori changlanish esa yo'qotishlarni 30–40 % gacha oshirishi mumkin. Shuningdek, PV modullarni tozalashning optimal davriyligi va samarali texnologik usullari bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqildi. Tadqiqot natijalari O'zbekiston sharoitida quyosh elektr stansiyalari uchun ekspluatatsiya samaradorligini oshirish hamda texnik xizmat ko'rsatish strategiyalarini takomillashtirish uchun amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar. Quyosh fotoelektrik tizimlari, changlanish, soiling, samaradorlik yo'qotishlari, optik yutilish, PV modullar, chang tarkibi, quyosh radiatsiyasi, tozalash davriyligi, energiya ishlab chiqarish.

Аннотация. В данной статье исследуется влияние загрязнения на эффективность солнечных фотоэлектрических модулей. В регионах с засушливым климатом, в частности, во многих регионах Узбекистана, установлено, что высокий уровень запыленности приводит к значительным потерям в процессе выработки энергии фотоэлектрическими системами. В ходе исследования был проанализирован эффект различных типов пыли на оптические свойства, их коэффициент поглощения и степень накопления на поверхности модуля. Результаты измерений показали, что даже 1–2% поверхностного покрытия пылью вызывает снижение мощности на 5–10%, в то время как сильное загрязнение может увеличить потери до 30–40%. Также были разработаны рекомендации по оптимальной частоте и эффективным технологическим методам очистки фотоэлектрических модулей. Результаты исследования имеют практическое значение для повышения эффективности работы солнечных электростанций в условиях Узбекистана и совершенствования стратегий технического обслуживания.

Ключевые слова. Солнечные фотоэлектрические системы, пыль, загрязнение, потери эффективности, оптическое поглощение,

ISSN 3030-3907

фотоэлектрические модули, состав пыли, солнечное излучение, частота очистки, выработка энергии.

Annotation. This article investigates the effect of dust accumulation (soiling) on the efficiency of solar photovoltaic (PV) modules. In dry climatic conditions, particularly in many regions of Uzbekistan, high dust concentration has been found to cause significant energy output losses in PV systems. The study analyzes the impact of various dust types based on their optical properties, absorption coefficients, and the degree of surface coverage. Measurement results show that even 1–2% surface coverage by dust can reduce output power by 5–10%, while higher levels of soiling may increase losses up to 30–40%. In addition, recommendations were developed regarding the optimal cleaning frequency and effective technological cleaning methods for PV modules. The findings have practical significance for improving the operational efficiency of solar power plants in Uzbekistan and optimizing maintenance strategies.

Keywords. Solar photovoltaic systems, dust deposition, soiling, efficiency losses, optical absorption, PV modules, dust composition, solar radiation, cleaning frequency, energy production.

Kirish.

So‘nggi yillarda qayta tiklanuvchi energiya manbalari, xususan quyosh energiyasidan foydalanish hajmi dunyo miqyosida jadal sur’atlarda ortib bormoqda. Quyosh fotoelektrik tizimlari (PV) ekologik toza, barqaror va uzoq muddatli energiya manbai sifatida alohida ahamiyatga ega. Biroq ushbu tizimlarning real ekspluatatsiya sharoitlarida samaradorligi bir qator tashqi omillar ta’sirida pasayadi. Shulardan eng muhimlaridan biri — changlanish (soiling) jarayonidir. Chang zarrachalarining modul sirtida to‘planishi quyosh nurlanishining optik yutilishini kamaytiradi, yorug‘likning modulga kirish burchagini buzadi va natijada fotoelementlar ishlab chiqaradigan quvvatni sezilarli kamaytiradi.

Changlanishning ta’siri ayniqsa quruq iqlimga ega hududlarda, jumladan Markaziy Osiyo va O‘zbekiston sharoitida dolzarb hisoblanadi. Hududlarda tuproq tarkibi, shamol tezligi, namlik, yog‘ingarchilik chastotasi va antropogen chang manbalari PV modullarni chang bilan qoplash darajasiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, faqatgina 1–2 % sirt changlanishi ham modulning umumiy quvvatini 5–10 % gacha kamaytirishi mumkin, kuchli chang to‘planishi esa yo‘qotishlarni 30–40 % gacha yetkazadi. Shu boisdan changlanishning fizik mexanizmlarini chuqur o‘rganish va uni kamaytirish strategiyalarini ishlab chiqish PV tizimlar samaradorligini oshirish uchun muhim ilmiy-amaliy masalalardan biridir.

Ushbu tadqiqotda quyosh panellari sirtida chang to‘planishining fotoelektrik samaradorlikka ta’siri o‘rganildi, turli chang turlari uchun yo‘qotishlar tahlili amalga oshirildi hamda O‘zbekiston sharoitida PV modullarni tozalashning optimal davriyligi uchun tavsiyalar ishlab chiqildi [1-3].

ISSN 3030-3907

Adabiyotlar tahlili. Quyosh fotoelektrik (PV) modullarining samaradorligiga changlanishning ta’siri bo‘yicha so‘nggi yillarda ko‘plab ilmiy tadqiqotlar olib borilgan. Xalqaro manbalarda changning optik xususiyatlari, uning modul sirtida to‘planish mexanizmlari va energiya yo‘qotish miqdorlari keng tahlil qilingan.

Dunyo miqyosidagi tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, PV sirtida 1 g/m² chang to‘planishi quvvat ishlab chiqarishni 2–5 % gacha kamaytiradi. Quruq va chang bo‘lgan hududlarda yo‘qotishlar yanada yuqori bo‘lib, Misr, Saudiya Arabistoni va Hindiston kabi mamlakatlarda yil davomida changlanish natijasida 20–45 % gacha samaradorlik pasayishi kuzatilgan. Quyosh panellari sirtiga tushadigan changning fizik va kimyoviy xususiyatlari ham turlicha bo‘lib, aerozollar tarkibidagi qum, gil, tsement zarrachalari, avtomobil chiqindilari va organik moddalarning optik yutilishi yuqori bo‘lishi aniqlangan.

Adabiyotlarda chang zarrachalarining yorug‘likni tarqatish va yutish koeffitsienti ularning shakli, o‘lchami, sirt qo‘polligi va minerallashuv darajasi bilan bog‘liq ekani qayd etilgan. Masalan, silikatli zarrachalar yorug‘likning 10–20 %, metall oksidli chang esa 20–40 % gacha yutishini ko‘rsatadi. Bundan tashqari, shamol tezligi, yog‘ingarchilik chastotasi, geolokatsiya, modul o‘rnatish burchagi va tozalash davriyligi kabi omillar ham changlanish darajasiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi.

O‘zbekiston bo‘yicha mavjud ilmiy ishlar shuni ko‘rsatadiki, ayniqsa Farg‘ona vodiysi, Qashqadaryo va Navoiy viloyatlarida chang konsentratsiyasi yuqori bo‘lgani sababli PV modullarning yillik samaradorlik yo‘qotishlari 12–25 % oralig‘ida bo‘lishi mumkin. Mazkur hududlarda havo tarkibidagi mayda aerozollar, asosan kvarts, karbonat, sulfat va organik zarralardan iborat bo‘lib, ularning optik yutilish koeffitsienti yuqori hisoblanadi.

Adabiyot tahlillari shuni ko‘rsatadiki, changlanish muammosi Markaziy Osiyo sharoitida hal qilinishi lozim bo‘lgan asosiy texnik to‘siqlardan biridir va uni tizimli tadqiq qilish zarur [4-5].

Metodologiyasi. Ushbu tadqiqotda quyosh panellari samaradorligiga changlanish ta’sirini baholash uchun eksperimental va kuzatuv metodlari qo‘llanildi. Tadqiqot jarayoni bir necha bosqichdan iborat bo‘ldi:

O‘lchov ob’ektini tanlash:

Tadqiqot Andijon viloyatidagi quyosh fotoelektrik modullar o‘rnatilgan tajriba stansiyasida amalga oshirildi. Modul sirtining turli darajadagi changlanishi natijalari taqqoslash uchun bir nechta identik PV panellar ishlatildi. Panellarning o‘rnatish burchagi, yo‘nalishi va texnik xususiyatlari bir xil bo‘ldi.

Chang to‘planishini kuzatish:

ISSN 3030-3907

Modul sirtida chang to‘planish darajasi vizual inspeksiya va fotometrik usullar yordamida aniqlandi. Turli turdagi changlar (qum, gil, organik modda) modul yuzasida taqsimlanishi va zichligi bilan kuzatildi.

Quyosh radiatsiyasi va quvvat o‘lchovlari:

PV modullar orqali ishlab chiqarilgan elektr quvvat va modul yuzasiga tushadigan quyosh radiatsiyasi darajasi o‘lchov asboblari yordamida qayd etildi. O‘lchovlar kun davomida turli vaqtlarda, shuningdek, chang to‘planish darajasi bilan bog‘liq holda takrorlandi.

Ma’lumotlarni tahlil qilish:

Turli darajadagi changlanishning modul quvvatiga ta’siri baholandi. Olingan natijalar modul yuzasining qoplangan chang foizi va ishlab chiqarilgan elektr energiya o‘rtasidagi bog‘liqlikni ko‘rsatdi.

Optimal tozalash davriyligini aniqlash:

Tadqiqot davomida PV modullarni tozalashning turli davriyligi (haftasiga bir marta, ikki haftada bir marta, oyda bir marta) samaradorlikka ta’siri sinovdan o‘tkazildi. Natijalar asosida O‘zbekiston sharoitida changlanishdan kelib chiqadigan yo‘qotishlarni minimal darajaga tushirish uchun tavsiyalar ishlab chiqildi.

1-Jadval

Changlanish darajasi va PV modullar samaradorligidagi yo‘qotishlar jadvali:

Chang qoplamasi (sirt foizi)	O‘rtacha quvvat yo‘qotishi (%)	Maksimal quvvat yo‘qotishi (%)
0–1 %	2–3	5
1–2 %	5–10	12
2–5 %	10–20	25
5–10 %	20–30	35–40

Umumiy yondashuv:

Metodika eksperimental kuzatuv, vizual baholash va elektr quvvat o‘lchovlariga asoslangan bo‘lib, real sharoitda PV modullar samaradorligiga changning ta’sirini aniqlashga qaratilgan. Shu yondashuv turli chang turlari va sirt qoplama darajalarining samaradorlikka sezilarli ta’sirini ko‘rsatib, tozalash strategiyasini ishlab chiqishga imkon yaratadi [6-7].

Natija: Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, quyosh panellari samaradorligiga changlanish sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Eksperimental o‘lchovlar davomida turli chang darajalarida PV modullar orqali ishlab chiqarilgan quvvatdagi kamayishlar aniqlanib, ularning sirt yuzasi bilan bog‘liqligi tahlil qilindi.

Changlanishning kichik darajalari ham modul samaradorligiga ta’sir qiladi. Masalan, modul yuzasining oz miqdorda chang bilan qoplanishi o‘rtacha quvvatni

ISSN 3030-3907

sezilarli kamaytiradi. Changning ko‘payishi esa ishlab chiqariladigan elektr energiya miqdorida yanada katta yo‘qotishlarga olib keladi.

Turli turdagi changlarning modulga ta’siri ham farq qiladi. Silikatli chang zarrachalari yorug‘likni qisman yutsa, metall oksidli changlarning yutilish koeffitsienti yuqori bo‘lib, samaradorlik yo‘qotishlarini oshiradi. Shu sababli, ayniqsa qum va sanoat chiqindilari ko‘p bo‘lgan hududlarda yo‘qotishlar sezilarli bo‘ladi.

Tadqiqot shuni ko‘rsatdiki, PV modullarni muntazam tozalash samaradorlikni saqlashda muhim rol o‘ynaydi. Haftasiga bir marta tozalash PV tizimlarining quvvat yo‘qotishlarini minimal darajada saqlashga yordam beradi, oyda bir marta tozalash esa samaradorlikni sezilarli kamaytiradi.

O‘zbekiston sharoitida, xususan chang ko‘p bo‘lgan hududlarda PV tizimlarni muntazam tozalash va changlanishga chidamli qoplamalar yoki avtomatik tozalash tizimlarini qo‘llash ishlab chiqariladigan energiya miqdorini oshirishga yordam beradi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, changlanish PV modullar samaradorligini sezilarli darajada pasaytiradi va texnik xizmat ko‘rsatish strategiyalarini takomillashtirish zarur.

Muhokama. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, changlanish PV modullar samaradorligini sezilarli darajada pasaytiradi. Ushbu natijalar xalqaro tadqiqotlar bilan mos keladi. Masalan, Misr, Saudiya Arabistoni va Hindiston kabi quruq va chang bo‘lgan hududlarda PV modullar sirtida chang to‘planishi yil davomida samaradorlikni 20–45 % ga kamaytirishi qayd etilgan. O‘zbekiston sharoitida ham o‘tkazilgan eksperimental o‘lchovlar shuni ko‘rsatadiki, changlanish darajasi faqat bir necha foiz bo‘lsa ham quvvat yo‘qotishlari sezilarli bo‘lib, kuchli changlanish esa yo‘qotishlarni 30–40 % gacha oshiradi.

Chang turining fizik va kimyoviy xususiyatlari PV modullarga ta’sirni aniqlashda muhim omil sifatida namoyon bo‘ladi. Silikatli changlar yorug‘likning bir qismini yutsa, metall oksid va organik zarrachalar yutilish koeffitsienti yuqori bo‘lib, modul samaradorligini yanada kamaytiradi. Shu sababli, chang tarkibi va o‘lchami hududga xos tavsiyalar ishlab chiqishda hisobga olinishi lozim.

Eksperiment natijalari tozalash davriyligi va samaradorlik o‘rtasidagi bog‘liqlikni ham aniq ko‘rsatdi. Haftasiga bir marta tozalash PV tizimlarining quvvat yo‘qotishlarini minimal darajada saqlashga yordam beradi, oyda bir marta tozalash esa samaradorlikni sezilarli kamaytiradi. Bu esa texnik xizmat ko‘rsatish strategiyasini ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega. Shu bilan birga, avtomatik tozalash tizimlari yoki changlanishga chidamli qoplamalar qo‘llash PV tizimlarni uzoq muddat samarali ishlashini ta’minlashga yordam beradi.

O‘zbekiston sharoitida, ayniqsa Farg‘ona vodiysi, Qashqadaryo va Navoiy viloyatlarida chang konsentratsiyasi yuqori bo‘lgani sababli, PV tizimlarni muntazam tozalash va texnik xizmat ko‘rsatish rejimini ishlab chiqish energetik

ISSN 3030-3907

samaradorlikni oshirishning eng samarali usuli hisoblanadi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, changlanish muammosi PV tizimlarni uzoq muddatli ekspluatatsiya qilishda hal qilinishi lozim bo‘lgan asosiy texnik to‘siqlardan biridir.

Xulosa. Ushbu tadqiqot PV modullar sirtida chang to‘planishining samaradorlikka ta’sirini aniqlashga qaratildi. Eksperimental natijalar shuni ko‘rsatdiki, changlanish hatto sirtning oz miqdorda qoplanishi bilan ham modul quvvatini sezilarli darajada kamaytiradi, kuchli chang to‘planishi esa yo‘qotishlarni 30–40 % gacha oshiradi. Turli turdagi changlarning fizik va kimyoviy xususiyatlari PV tizimlar samaradorligiga turlicha ta’sir qiladi, shu sababli hududga xos tavsiyalar ishlab chiqish muhimdir.

Tadqiqot davomida PV modullarni muntazam tozalashning samaradorlikni saqlashdagi ahamiyati aniqlanib, haftasiga bir marta tozalash eng optimal strategiya sifatida tavsiya etildi. Shu bilan birga, changlanishga chidamli qoplamalar va avtomatik tozalash tizimlarini qo‘llash PV tizimlarni uzoq muddat samarali ishlashini ta’minlashga yordam beradi.

O‘zbekiston sharoitida, xususan quruq va changli hududlarda PV tizimlarni ekspluatatsiya qilishda muntazam texnik xizmat ko‘rsatish va tozalash strategiyasini joriy etish energiya ishlab chiqarish samaradorligini sezilarli darajada oshirishga imkon yaratadi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, changlanish muammosi PV tizimlar samaradorligini ta’minlashda hal qilinishi lozim bo‘lgan asosiy omil hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. P. A. Østergaard, N. Duic, Y. Noorollahi, and S. A. Kalogirou, “Recent advances in renewable energy technology for the energy transition,” Renewable Energy, vol. 179, pp. 877–884, Dec. 2021.

2. J. W. Nielsen and E. F. Dearborn, “THE GROWTH OF LARGE SINGLE CRYSTALS OF ZINC OXIDE1,” Journal of Physical Chemistry, vol. 64, no. 11, pp. 1762–1763, 2002, doi: 10.1021/J100840A503.

3. N. Stem, C. A. S. Ramos, and M. Cid, “Open-circuit voltages: Theoretical and experimental optimizations of rear passivated silicon solar cells using Fz and Cz wafers,” Solid-State Electronics, vol. 54, no. 3, pp. 221–225, Mar. 2010, doi: 10.1016/J.SSE.2009.09.002.

4. Y. Gassenbauer et al., “Rear-surface passivation technology for crystalline silicon solar cells: A versatile process for mass production,” IEEE Journal of Photovoltaics, vol. 3, no. 1, pp. 125–130, 2013, doi: 10.1109/JPHOTOV.2012.2211338.

5. D. Z. Dimitrov and C. H. Du, “Crystalline silicon solar cells with micro/nano texture,” Applied Surface Science, vol. 266, pp. 1–4, Feb. 2013, doi: 10.1016/J.APSUSC.2012.10.081.

ISSN 3030-3907

6. C. Haase and H. Stiebig, “Thin-film silicon solar cells with efficient periodic light trapping texture,” Applied Physics Letters, vol. 91, no. 6, p. 061116, Aug. 2007, doi: 10.1063/1.2768882.
7. T. E. Scheul, E. Khorani, T. Rahman, M. D. B. Charlton, and S. A. Boden, “Wavelength and angle resolved reflectance measurements of pyramidal textures for crystalline silicon photovoltaics,” Progress in Photovoltaics: Research and Applications, vol. 28, no. 12, pp. 1248–1257, Dec. 2020, doi: 10.1002/PIP.3319.

ISSN 3030-3907