



## QUYOSH PANELLARIDA KENG QO'LLANILADIGAN ZAMONAVIY FOTOELEKTRIK HUYAYRALAR: POTENTIALLI OKSIDLANISH DEGRADATSIYASINI BARTARAF ETISHNING FIZIK USULLARI (POD)

**Safarmatov Uchqun Sohibjon o'g'li**

*Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali, assistent*

**Annotatsiya:** *Zamonaviy quyosh panellarida keng qo'llanilayotgan fotoelektrik hujayralar energiya samaradorligini oshirish va xizmat muddatini uzaytirish borasida doimiy tadqiqotlar markazida turadi. Shu nuqtai nazardan, potensialli oksidlanish degradatsiyasi (POD) muhim muammo sifatida yuzaga chiqadi, chunki bu jarayon hujayralarning elektr xususiyatlariga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Ushbu maqolada PODning fizikaviy asoslari, yuzaga kelish mexanizmlari va uning quyosh hujayralaridagi samaradorlikka ta'siri tahlil qilinadi. Shuningdek, PODni kamaytirish yoki butunlay bartaraf etish maqsadida qo'llanilayotgan zamonaviy fizik usullar – jumladan, passivatsiyalash texnologiyalari, plazmali tozalash, nanotuqimalar bilan qoplash, ion implantatsiyasi va infraqizil lazer nurlari yordamida ishlov berish kabi yondashuvlar ko'rib chiqiladi. Tadqiqot natijalari fotoelektrik tizimlarning barqarorligini oshirish va ekologik toza energiya manbalarini rivojlantirishda muhim ahamiyatga ega.*

**Kalit so'zlar:** *Fotovoltik xujayralar; oksidlanish degradatsiyasi; potensialli oksidlanish; ion o'tish;*

### KIRISH

So'nggi yillarda global miqyosda energetik ehtiyojlarning ortib borishi, ekologik muammolarning chuqurlashuvi va an'anaviy energiya manbalarining tugab borayotgani sababli, qayta tiklanuvchi energiya manbalariga bo'lgan qiziqish keskin oshdi.

Ayniqsa, quyosh energiyasi iqtisodiy, ekologik va texnologik jihatdan eng istiqbolli alternativlardan biri sifatida alohida ahamiyat kasb etmoqda. Quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirishda asosiy rolni fotoelektrik (fotovoltaik) hujayralar o'ynaydi.

Ular quyosh nurlarini to'g'ridan-to'g'ri elektr tokiga aylantirish xususiyatiga ega bo'lib, hozirgi kunda quyosh panellari ishlab chiqarishda eng keng qo'llanilayotgan texnologiyalardan hisoblanadi.

Ayniqsa, kristall kremniy (Si) asosidagi fotohujayralar yuqori samaradorlik va ishlab chiqarish texnologiyasining nisbatan mukammalligi bilan ajralib turadi. Biroq, fotovoltaik tizimlarning uzoq muddatli ishlashi davomida ularning samaradorligi pasayishi mumkin.

Bunga turli tashqi va ichki omillar, jumladan, harorat, namlik, ultrabinafsha nurlanish, mexanik shikastlanishlar va ayniqsa, potensialli oksidlanish degradatsiyasi kabi fizik-kimyoviy jarayonlar sabab bo'ladi. POD hodisasi, odatda, yuqori kuchlanish



va yuqori namlik sharoitida yuzaga kelib, hujayra yuzasi orqali natriy ionlarining migratsiyasiga olib keladi.

Bu esa, fotoelektrik hujayralarning ichki elektr xususiyatlarini o'zgartirib, ularning samaradorligini sezilarli darajada kamaytiradi. Mazkur maqolada POD hodisasining fizik tabiatini tushuntirib berish, uning yuzaga kelish mexanizmini tahlil qilish hamda bu degradatsiya jarayonini kamaytirish yoki butunlay bartaraf etish uchun qo'llaniladigan zamonaviy fizik usullarni ko'rib chiqish maqsad qilingan.

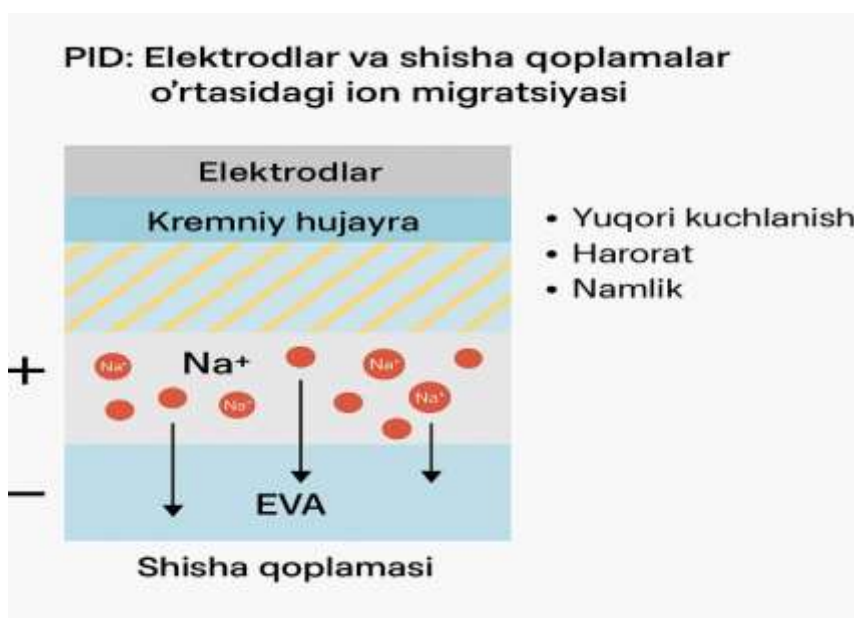
## 2. POD hodisasi: mexanizmi va sabablari

### 2.1. POD qanday yuzaga keladi?

Potensialli oksidlanish degradatsiyasi (POD) fotovoltaiik hujayralarda uzoq muddatli ishlash davomida yuzaga keladigan samaradorlikning keskin pasayishiga olib keluvchi jarayondir. Bu hodisa odatda quyosh panellarining metall qismlariga (asosan, ramka yoki elektrodlar) yuqori kuchlanish berilgan holatda yuz beradi.

Panellarning yerdan ajratilmagan holatlarda ishlatilishi natijasida, modul ichidagi elektr maydon kuchayadi va bu dielektrik materiallar orqali ionlarning harakatlanishiga sabab bo'ladi. POD jarayoni, asosan, shisha, EVA (etilen vinil atsetat) kabi izolyatsion qatlamlar orqali natriy ( $\text{Na}^+$ ) ionlarining kremniy hujayra sirtiga migratsiyasi bilan bog'liq.

Bu ionlar p-n o'tish chegarasiga yetib borgach, sirt holatlarini o'zgartirib, defektlarning ko'payishiga olib keladi. Natijada, yorug'lik ta'sirida hosil bo'ladigan elektron-teshik juftliklari yo'qoladi va fototok kamayadi.



1-rasm. yorug'lik ta'sirida hosil bo'ladigan elektron-teshik juftliklari yo'qolishi va fototok kamayishi

### 2.2. Yuqori kuchlanish, harorat va namlikning roli

POD yuzaga kelishida quyidagi uchta asosiy omil muhim rol o'ynaydi:

#### • Yuqori

kuchlanish:

Fotovoltaiik tizimlarda panellar ketma-ket ulanganida, ayrim panellar (ayniqsa,

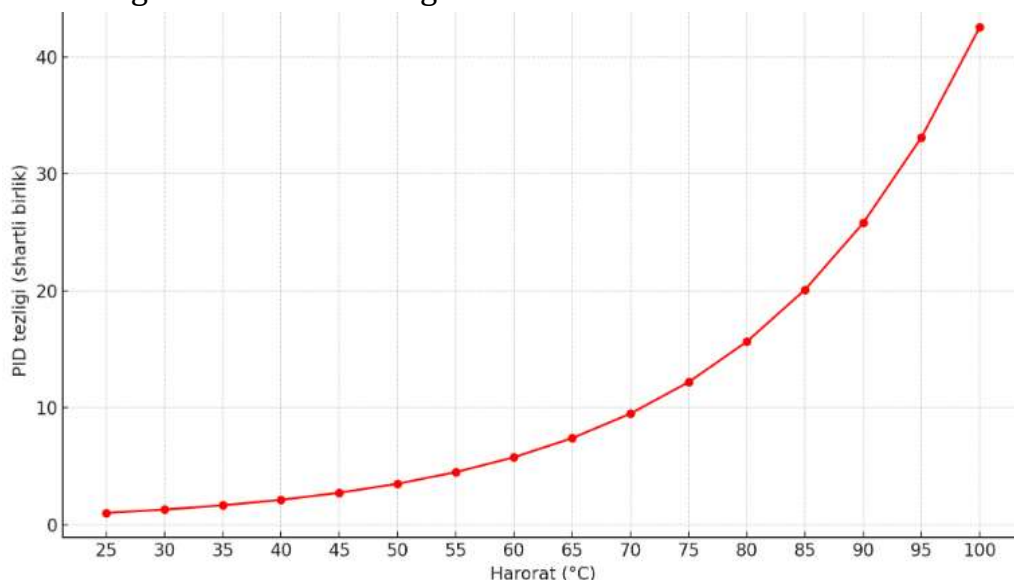




tizimning salbiy terminalga yaqin qismi) yerga nisbatan yuqori kuchlanish ostida qoladi. Bu kuchlanish, ayniqsa, 600–1000 VDC oralig'ida bo'lsa, POD xavfini oshiradi.

- Harorat:

Issiq muhitda ionlarning harakati tezlashadi. Harorat oshishi natijasida dielektrik qatlamlar orqali ionlarning migratsiyasi faollashadi. Tajribalar shuni ko'rsatadiki, 60–85 °C atrofidagi harorat POD tezligini ancha oshiradi.



2-rasm. Haroratni POD tezligiga bog'liqlik grafigi.

- Namlik:

Namlik shisha yuzasi va izolyatsiyalovchi qatlamlar ichiga kirib, ularning dielektrik qarshiligini kamaytiradi. Nam muhitda ionlar erkinroq harakatlana oladi, bu esa POD ni boshlanishiga va kuchayishiga sabab bo'ladi.

Ushbu omillar birgalikda bo'lgan sharoitda POD yuzaga kelish ehtimoli sezilarli darajada oshadi.

### 2.3. Kristall kremniyli (monokristall, polikristall) panellarga ta'siri

POD hodisasi ayniqsa kristall kremniy (Si) asosida ishlab chiqarilgan quyosh panellarida ko'proq uchraydi. Bu turdagi panellar odatda yuqori samaradorlikka ega bo'lib, quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirishda keng foydalaniladi. Ammo:

- Monokristall panellar: Ular yaxlit kristall tuzilishga ega bo'lsa-da, POD ga nisbatan sezgirroq bo'lishi mumkin, chunki ularda yuzaki defektlar kamroq bo'lib, POD natijasida paydo bo'ladigan defektlar kuchli ta'sir ko'rsatadi.

- Polikristall panellar: Kristall tuzilmasi bo'lingan bo'lib, donalararo chegaralar mavjud. Bu joylar ionlar migratsiyasi uchun qulay yo'l bo'lib xizmat qilishi mumkin. Shuning uchun POD bu panellarda ham samaradorlikni pasaytiruvchi jiddiy omil hisoblanadi.

Umuman olganda, POD har ikki turdagi panellarning ish faoliyatiga salbiy ta'sir ko'rsatadi, ammo uning ta'siri panellar ishlab chiqarilgan texnologiyaga ham bog'liq.



#### 2.4. Elektrodlar va shisha qoplamalar o'rtasidagi ion ko'chishi

POD ning fizik mexanizmi panellar ichida yuz beradigan ion ko'chishi bilan bog'liq. Quyosh panelining old tomonida joylashgan shisha qatlam odatda natriy (Na) ionlarini o'z ichiga oladi. Bu ionlar quyidagi sharoitda kremniy hujayra yuzasiga harakatlana boshlaydi:

1. Yuqori kuchlanish maydoni mavjud bo'lsa (tashqi manbadan yoki tizim konfiguratsiyasidan kelib chiqqan holda);

2. Dielektrik qatlam (masalan, EVA yoki shisha) zaiflashgan bo'lsa (masalan, UV nurlanish, namlik yoki harorat ta'sirida);

3. Nam muhit ionlarning o'tishini osonlashtirsa.

Na<sup>+</sup> ionlari kremniy sirtiga yetib borgach, bu yerda sirt zaryad holatini o'zgartiradi va defektlarning ko'payishiga sabab bo'ladi. Buning natijasida, quyosh nuri ta'sirida hosil bo'ladigan elektronlar rekombinatsiyaga uchrab, kerakli tok hosil qilinmaydi. Bu holat natijada modulning umumiy chiqish quvvatini kamaytiradi.

3. POD ni kamaytirish yoki oldini olishda fizik yondashuvlar

3.1. Izolyatsion qatlamlar sifatini oshirish

POD hodisasi, asosan, shisha va yarim o'tkazgich (kremniy) orasidagi dielektrik qatlamlardan natriy (Na<sup>+</sup>) ionlarining o'tishi natijasida yuzaga keladi. Shu boisdan, bu qatlamlarning sifatini yaxshilash POD ni oldini olishdagi muhim omillardandir. Quyidagilar bu borada samarali hisoblanadi:

- Yuqori sifatli EVA (etilen vinil atsetat) yoki POE (poliolefin elastomer) asosidagi kapsulyatsiyalovchi materiallardan foydalanish;

- PODga chidamli shisha qo'llash, masalan, past natriyli yoki maxsus qoplamali shishalar;

- Kapsulatsiya jarayonida pufakchalarning qolib ketmasligiga e'tibor berish, chunki bu joylar ionlar o'tishi uchun qulay yo'l bo'lib xizmat qiladi.

Ushbu yondashuvlar nafaqat POD ga, balki boshqa degradatsiya jarayonlariga qarshi ham panellarning barqarorligini oshiradi.

3.2. Yerga ulash tizimini optimallashtirish

POD ni yuzaga keltiruvchi asosiy omillardan biri bu quyosh panelining yerdan izolyatsiyalangan holda, yuqori kuchlanish ostida ishlashi hisoblanadi. Agar tizimning elektr konfiguratsiyasi noto'g'ri bo'lsa, POD ehtimoli ortadi. Shuning uchun:

- Salbiy terminalning yerga ulanmagan tizimlarida POD xavfi yuqori bo'ladi;

- MPPT (Maximum Power Point Tracking) konvertorlar orqali panellar kuchlanishining yerga nisbatan qiymatini nazorat qilish zarur;

- Ayrim tizimlarda aktiv POD himoya qurilmalari (masalan, teskari kuchlanish beruvchi POD blockerlar) o'rnatilishi POD ning yuzaga kelishini oldini oladi.

Yerga ulash yondashuvi oddiy bo'lsa-da, ko'plab tizimlarda POD dan himoyalashning eng arzon va samarali usuli hisoblanadi.





### 3.3. POD blocker qurilmalari va ularning ishlash prinsipi

Zamonaviy quyosh energiyasi tizimlarida POD dan himoyalaniş uchun POD blocker deb nomlanuvchi maxsus qurilmalar ishlab chiqilgan. Ular quyosh panelining elektr maydonini muvozanatlashtirish orqali ionlar harakatining oldini oladi.

Ishlash prinsipi:

- Tizim kechasi ishlamayotgan paytda, POD blocker modulning salbiy terminaliga teskari kuchlanish yuboradi;
- Bu kuchlanish POD paytida migratsiya qilgan ionlarni qaytarish uchun xizmat qiladi;
- Bu usul degradatsiyani to'xtatish yoki sezilarli darajada kamaytirishga imkon beradi.

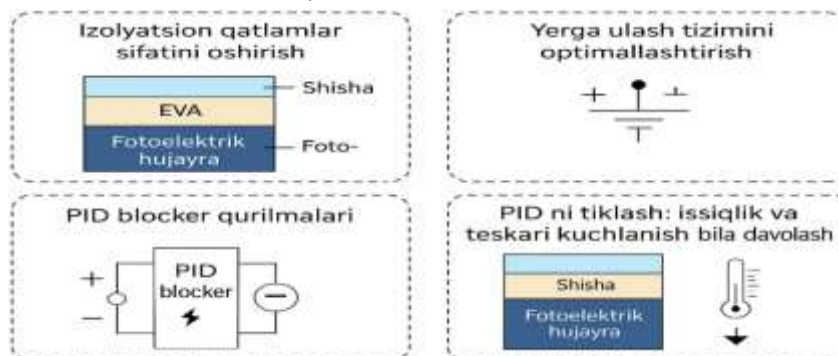
POD blockerlar odatda invertorga ulanadi va avtomatik tarzda ishlaydi. Ular tizimning samaradorligini barqaror saqlashda muhim rol o'ynaydi.

### 3.4. POD ni tiklash: issiqlik va teskari kuchlanish bilan davolash

Agar POD allaqachon sodir bo'lgan bo'lsa, uni to'xtatish yoki qisman tiklash uchun fizik tiklash (recovery) metodlari qo'llaniladi. Bu usullar ionlarning harakatini teskari yo'nalishda qayta tiklashga asoslanadi. Eng ko'p qo'llaniladigan ikki yondashuv:

- Teskari kuchlanish berish (Reverse Biasing): Modullarga POD ga teskari yo'nalishda kuchlanish beriladi, bu ionlarni kremniy yuzasidan orqaga qaytaradi.
- Issiqlik bilan davolash (Thermal Recovery): POD ta'sirida shikastlangan panellar 60–85 °C oralig'idagi haroratda bir necha soat davomida saqlanadi. Issiqlik ta'sirida ionlar kremniy yuzasidan ajralib chiqadi va defektlar kamayadi.

Bu yondashuvlar tajriba-sinovlarda ijobiy natija bergan bo'lsa-da, ular doimiy yechim emas. Shu sababli, oldini olish choralari har doim ustuvor bo'lishi kerak.



3-rasm. POD ga qarshi fizik choralarning to'rt turi: izolyatsiya qatlamini yaxshilash, yerga ulash, POD blocker qurilmasi va tiklovchi issiqlik/teskari kuchlanish usullari ko'rsatilgan.

## 4. Xulosa va tavsiyalar

### 4.1. Xulosa

Quyosh panellarining ishlash samaradorligiga salbiy ta'sir ko'rsatuvchi asosiy omillardan biri — bu potentsialli oksidlanish degradatsiyasi (POD) hodisasidir. Ushbu jarayon kremniy fotovoltaiik hujayralarda kuchlanish, harorat va namlikning ta'sirida yuzaga keladi. Ionlarning (ayniqsa, Na<sup>+</sup>) migratsiyasi natijasida kremniy sirtida defektlar paydo bo'ladi va bu hujayraning elektr xususiyatlarini yomonlashtiradi.



Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, POD hodisasining fizik asoslari to'liq anglanib, uni kamaytirish va oldini olish uchun samarali yechimlar ishlab chiqilgan. Eng muhimlari — bu izolyatsion qatlamlarni optimallashtirish, tizimlarni to'g'ri yerga ulash, POD blocker qurilmalari qo'llash hamda termal va teskari kuchlanish orqali modullarni tiklash usullaridir.

#### 4.2. Tavsiyalar

Quyosh panellari ishlab chiqaruvchilari va tizim integratorlariga quyidagilar tavsiya etiladi:

1. PODga chidamli materiallardan foydalanish:
  - Past natriyli shisha, yuqori sifatli EVA yoki POE kapsulyatorlar.
2. Elektr tizim konfiguratsiyasini optimallashtirish:
  - Panellar yerga ulangan yoki POD blocker bilan himoyalangan bo'lishi lozim.
  - Salbiy terminalning yerga nisbatan potensialini nazorat qilish zarur.
3. Qo'shimcha himoya qurilmalarini joriy etish:
  - POD blocker qurilmalari tarmoqdan ajralgan va kechasi teskari kuchlanish yuborish imkoniga ega bo'lishi kerak.
4. Panellarni rejalashtirilgan tarzda monitoring qilish:
  - POD boshlanganini erta aniqlash imkonini beruvchi testlar va texnik xizmat tizimlari yo'lga qo'yilishi kerak.
5. Sharoitga mos tizim tanlash:
  - Nam va issiq iqlimli hududlarda POD xavfi yuqori bo'lishi sababli, bu omillarni inobatga olgan holda mos modellar tanlash zarur.

#### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Pingel, S., et al. (2010). Potential Induced Degradation of solar cells and panels. 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference.
2. Hacke, P., et al. (2011). System voltage stress and the potential-induced degradation of PV modules. Progress in Photovoltaics: Research and Applications.
3. International Electrotechnical Commission (IEC) 62804-1:2015. Test methods for the detection of potential-induced degradation.
4. Сафарматов Учкун Сохибжон угли. Насиров Тулкун Закирович. 2020 структура открытого виртуального экран. XLI международная научно-практическая конференция мцнс "наука и просвещение" 39-41. <https://naukaip.ru/wp-content/uploads/2020/03/MK-754.pdf#page=39>
5. Safarmatov Uchqun Sohibjono'g'li. Zamonaviy materiallarning issiqlik va elektr o'tkazuvchanligi ishlab chiqarishdagi ahamiyati <http://conferencea.one/index.php/25-27/article/view/35/24>
6. Safarmatov Uchqun Sohibjon o'g'li, Eshboyev Ilhom Ikrom o'g'li. THREE-BODY PROBLEM: MATHEMATICAL APPROACH TO SIGNAL TRANSMISSION BETWEEN





EARTH AND MOON VIA ARTIFICIAL SATELLITE. 2024/10/23. 202-208.  
<https://scopusacademia.org/index.php/jmea/article/view/1081>