

BARQAROR QUYOSH ENERGIYASI UCHUN EKOLOGIK XAVFSIZ  
YARIMO‘TKAZGICH MATERIALLAR KIMYOSI

*Bo‘riyeva Muhabbat Mamayusuf qizi*

[madinammm2022@gmail.com](mailto:madinammm2022@gmail.com)

*Termiz Davlat Universiteti*

**Annotatsiya** Ushbu maqolada barqaror quyosh energiyasini rivojlantirishda ekologik xavfsiz yarimo‘tkazgich materiallarning kimyoviy ahamiyati yoritiladi. Quyosh elementlari elektr energiyasini toza va qayta tiklanuvchi manbadan olish imkonini beradi, ammo ularning samaradorligi, narxi, xomashyo bazasi va ekologik xavfsizligi ishlatiladigan yarimo‘tkazgich materiallar kimyosiga bevosita bog‘liq. Maqolada kremniy, kesterit, organik yarimo‘tkazgichlar, qo‘rg‘oshinsiz perovskitlar, metall oksidlari va boshqa istiqbolli materiallar tahlil qilinadi. Ayniqsa, zaharli elementlarni kamaytirish, yerda ko‘p uchraydigan elementlardan foydalanish, ishlab chiqarish jarayonlarida energiya sarfini pasaytirish va chiqindilarni kamaytirish masalalariga e‘tibor qaratiladi.

**Kalit so‘zlar:** quyosh energiyasi, yarimo‘tkazgich materiallar, ekologik xavfsizlik, kesterit, perovskit, kremniy, organik fotovoltaika, yashil kimyo.

**Kirish** Quyosh energiyasi XXI asr energetikasining eng muhim yo‘nalishlaridan biridir. Dunyo miqyosida energiyaga bo‘lgan talab ortib borayotgani, qazilma yoqilg‘ilarning cheklanganligi va atmosfera ifloslanishi quyosh energetikasini rivojlantirish zaruratini kuchaytirmoqda. Quyosh elementlari yorug‘lik energiyasini bevosita elektr energiyasiga aylantiradi. Bu jarayonning asosi yarimo‘tkazgich materiallarning fotovoltaik xossalari bog‘liq.

Yarimo‘tkazgich materiallar quyosh nurlarini yutadi, elektron-teshik juftlarini hosil qiladi va elektr toki paydo bo‘lishiga imkon yaratadi. Biroq quyosh energetikasi haqiqatan ham barqaror bo‘lishi uchun faqat yuqori samaradorlik yetarli emas. Materiallar ekologik xavfsiz, arzon, uzoq muddat barqaror, qayta ishlashga mos va sanoat miqyosida ishlab chiqarishga qulay bo‘lishi kerak.

An’anaviy kremniy quyosh elementlari bugungi kunda eng keng tarqalgan texnologiya hisoblanadi. Kremniy yerda ko‘p uchraydi, nisbatan xavfsiz va uzoq muddat xizmat qiladi. Lekin kremniy asosidagi panellarni ishlab chiqarish yuqori harorat va katta energiya sarfini talab qiladi. Shuning uchun yangi avlod yarimo‘tkazgich materiallari — kesteritlar, organik yarimo‘tkazgichlar, qo‘rg‘oshinsiz perovskitlar va metall oksidlari faol o‘rganilmoqda.

Bu mavzuning markaziy muammosi shuki: quyosh elementi yuqori samarador bo‘lishi bilan birga ekologik xavfsiz ham bo‘lishi kerak. Masalan, CdTe va ayrim perovskit materiallari yuqori samaradorlikka ega bo‘lishi mumkin, ammo kadmiy yoki qo‘rg‘oshin kabi zaharli elementlar ekologik xavf tug‘diradi. Shuning uchun barqaror quyosh energetikasi uchun material tanlashda “samaradorlik — narx — xavfsizlik — resurs mavjudligi” muvozanati hal qiluvchi ahamiyatga ega.

### Metodologiya

Maqola nazariy-tahliliy yondashuv asosida tayyorlandi. Unda ekologik xavfsiz yarimo‘tkazgich materiallarning kimyoviy tarkibi, tuzilishi, fotovoltaiik xossalari, afzalliklari va cheklovlari taqqoslandi. Tahlilda zamonaviy fotovoltaiika bo‘yicha ilmiy sharhlar, NREL materiallari va kesterit, perovskit hamda organik quyosh elementlari bo‘yicha tadqiqotlardan foydalanildi. Emerging photovoltaic absorber materiallar bo‘yicha tadqiqotlarda keng miqyosda ishlab chiqarish uchun resurs cheklovlari bo‘lmagan materiallarga ehtiyoj borligi ta’kidlanadi.

### Natijalar va tahlil

Quyosh elementlarida ishlatiladigan yarimo‘tkazgich materiallar bir necha guruhga bo‘linadi. Har bir guruhning o‘z afzalligi va ekologik cheklovi bor.

#### 1-jadval. Quyosh elementlari uchun asosiy yarimo‘tkazgich materiallar

Material turi	Misollar	Afzalligi	Ekologik muammo
Kremniy	mono-Si, poli-Si	Barqaror, keng tarqalgan, zaharliligi past	Ishlab chiqarishda energiya sarfi yuqori
Kesterit	$Cu_2ZnSnS_4$ , $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$	Yerda uchraydigan elementlar, nisbatan xavfsiz	ko‘p Samaradorlikni oshirish murakkab
Organik yarimo‘tkazgichlar	polimer absorberlar	Yengil, egiluvchan, past haroratda olinadi	Barqarorlik muammosi bor
Perovskitlar	qo‘rg‘oshinsiz Sn/Ge asosli perovskitlar	Yuqori qobiliyati, qatlamli	yutish yupqa Ba’zilari namlikka sezgir
Metall oksidlari	$TiO_2$ , $ZnO$ , $Cu_2O$	Arzon, kimyoviy barqaror	Samaradorlik cheklangan bo‘lishi mumkin

Kremniy asosidagi quyosh elementlari sanoatda eng ishonchli yoʻnalish hisoblanadi. Kremniy zaharli emas, yer qobigʻida koʻp uchraydi va uzoq muddat xizmat qiladi. Lekin kremniyni yuqori tozalikda olish uchun katta energiya talab qilinadi. Demak, kremniy ekologik xavfsiz material boʻlsa-da, ishlab chiqarish jarayonining energiya samaradorligini oshirish zarur.

Kesterit materiallari barqaror quyosh energetikasi uchun eng jiddiy nomzodlardan biridir. Kesteritlar odatda mis, rux, qalay va oltingugurtdan tashkil topadi. Bu elementlar nisbatan koʻp uchraydi va kadmiy yoki qoʻrgʻoshin kabi kuchli zaharli elementlarga qaraganda xavfsizroq hisoblanadi. Kesterit  $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$  materiallari yerda koʻp uchraydigan va ekologik jihatdan qulay tarkibiy qismlari sababli istiqbolli quyosh absorberlari sifatida baholanadi.

Biroq kesteritlarning asosiy muammosi ularning samaradorligi hali sanoatdagi yetakchi texnologiyalar darajasiga toʻliq yetmaganidadir. Bunga kristall panjara nuqsonlari, elementlar nisbatining noaniqligi, fazaviy aralashmalar va interfeysdagi yoʻqotishlar sabab boʻladi. Soʻnggi tadqiqotlarda kesterit quyosh elementlarida kristall sifatini yaxshilash, nuqsonlarni kamaytirish, interfeys passivatsiyasi va band moslashuvini takomillashtirish asosiy vazifa sifatida koʻrsatilmoqda.

Organik yarimoʻtkazgichlar ham ekologik xavfsiz quyosh energetikasi uchun qiziqarli yoʻnalishdir. Ular past haroratda, yengil va egiluvchan shaklda ishlab chiqarilishi mumkin. Bu esa ularni egiluvchan panellar, portativ qurilmalar va binolarga integratsiyalashgan quyosh elementlari uchun qulay qiladi. Ammo organik materiallarning quyosh nuri, kislorod va namlik taʼsirida tez eskirishi ularning asosiy zaif tomoni hisoblanadi.

Perovskit quyosh elementlari soʻnggi yillarda eng tez rivojlanayotgan fotovoltaik texnologiyalardan biri boʻldi. Ularning yorugʻlikni yutish qobiliyati yuqori, yupqa qatlamda ishlashi mumkin va past haroratli sintez usullari mavjud. Lekin klassik perovskitlarning koʻpchiligida qoʻrgʻoshin mavjudligi ekologik xavfsizlik nuqtai nazaridan jiddiy muammo tugʻdiradi. Shu sababli qoʻrgʻoshinsiz perovskitlar, ayniqsa qalay yoki germaniy asosidagi tizimlar oʻrganilmoqda. Qoʻrgʻoshinsiz perovskitlar barqaror va toksikligi past quyosh elementlari yaratish uchun muhim yoʻnalish sifatida koʻriladi.

**2-jadval. Ekologik xavfsizlik boʻyicha materiallarni taqqoslash**

Material	Zaharli element xavfi	Xomashyo mavjudligi	Qayta ishlash imkoniyati	Umumiy baho
Kremniy	Past	Yuqori	Yaxshi	Ishonchli
Kesterit	Past	Yuqori	Oʻrtacha-yaxshi	Istiqbolli



Material	Zaharli element xavfi	Xomashyo mavjudligi	Qayta ishlash imkoniyati	Umumiy baho
CdTe	Kadmiy xavfi bor	O'rtacha	Maxsus nazorat kerak	Cheklangan ekologik xavfli
CIGS	Indiy/galliy cheklangan	Cheklangan	Murakkab	Resurs xavfi bor
Qo'rg'oshinli perovskit	Qo'rg'oshin xavfi bor	O'rtacha	Qattiq nazorat kerak	Ekologik muammoli
Qo'rg'oshinsiz perovskit	Pastroq	O'rtacha	Rivojlanmoqda	Istiqbolli

Metall oksidlari, masalan  $TiO_2$ ,  $ZnO$  va  $Cu_2O$ , ekologik xavfsizligi, arzonligi va kimyoviy barqarorligi bilan ajralib turadi.  $TiO_2$  va  $ZnO$  ko'proq elektron transport qatlami sifatida ishlatiladi.  $Cu_2O$  esa bevosita absorber material sifatida ham o'rganiladi. Ularning afzalligi — zaharlilik darajasi pastligi va oddiy kimyoviy usullar bilan olinishi. Kamchiligi esa samaradorlik va zaryad tashish xossalari cheklanganligidir.

### Ekologik xavfsiz yarimo'tkazgich materiallarga qo'yiladigan talablar

Barqaror quyosh energetikasi uchun material tanlashda quyidagi mezonlar muhim:

Talab	Mazmuni	Ahamiyati
Past toksiklik	Qo'rg'oshin, kadmiy kabi elementlarni kamaytirish	Atrof-muhit va inson salomatligini himoya qiladi
Yerda ko'p uchrash	Qimmat va kamyob elementlardan voz kechish	Sanoat miqyosida ishlab chiqarishni osonlashtiradi
Yuqori ko'effitsiyenti	Yupqa qatlamda ko'proq yorug'lik yutish	Material sarfini kamaytiradi
Kimyoviy barqarorlik	Namlik, kislorod va issiqlikka chidamlilik	Xizmat muddatini uzaytiradi
Qayta ishlash imkoniyati	Eski panellarni utilizatsiya qilish	Chiqindilarni kamaytiradi
Past haroratli sintez	Kam energiya sarflab ishlab chiqarish	Umumiy ekologik izni kamaytiradi

### Muhokama

Barqaror quyosh energetikasi uchun eng katta xato — faqat samaradorlikka qarab material tanlashdir. Samaradorlik muhim, lekin ekologik xavfsizlik, resurs mavjudligi va qayta ishlash imkoniyati hisobga olinmasa, bunday texnologiya uzoq muddat barqaror

bo'lmaydi. Masalan, yuqori samarador material tarkibida zaharli yoki kamyob elementlar bo'lsa, u keng miqyosda qo'llanganda ekologik va iqtisodiy muammolar tug'diradi.

Kesterit materiallari bu muammoga nisbatan yaxshi javob beradi, chunki ular yerda nisbatan ko'p uchraydigan va xavfsiz elementlardan tashkil topgan. Ammo ularning samaradorligini oshirish uchun kristall kimyosi va nuqsonlar muammosi hal qilinishi kerak. Qo'rg'oshinsiz perovskitlar ham istiqbolli, lekin ular uchun uzoq muddatli barqarorlik va namlikka chidamlilik muammolari mavjud. Organik yarimo'tkazgichlar esa egiluvchan va yengil qurilmalar uchun qulay, lekin xizmat muddati hali jiddiy masala bo'lib qolmoqda.

Shu sababli kelajakdagi asosiy yo'nalish bitta "ideal" materialni izlash emas, balki materiallar kombinatsiyasini yaratishdir. Masalan, kesterit-perovskit tandem elementlari, organik-noorganik gibridd tizimlar, metall oksid transport qatlamlari va ekologik xavfsiz kontakt materiallari birgalikda yuqori samarador va xavfsiz quyosh elementlari yaratishga yordam beradi.

### **Xulosa**

Barqaror quyosh energiyasi uchun ekologik xavfsiz yarimo'tkazgich materiallar kimyosi zamonaviy kimyo va materialshunoslikning eng muhim yo'nalishlaridan biridir. Quyosh elementlari orqali toza energiya olish imkoniyati katta, ammo bu texnologiyaning haqiqiy barqarorligi ishlatiladigan materiallarning ekologik xavfsizligi, mavjudligi, qayta ishlanishi va ishlab chiqarish jarayonining energiya samaradorligiga bog'liq.

Kremniy hozircha eng ishonchli va keng qo'llaniladigan material bo'lib qolmoqda. U zaharliligi past va uzoq muddat xizmat qiladi. Lekin ishlab chiqarish jarayonida energiya sarfi yuqori. Kesteritlar esa ekologik xavfsiz, arzon va yerda ko'p uchraydigan elementlardan tashkil topgani sababli kelajak uchun muhim nomzod hisoblanadi. Biroq ularning samaradorligini oshirish uchun kristall nuqsonlarini kamaytirish va interfeys kimyosini yaxshilash zarur.

Qo'rg'oshinsiz perovskitlar yuqori samaradorlikka erishish yo'lida istiqbolli bo'lsa-da, barqarorlik va namlikka chidamlilik muammolarini hal qilishni talab qiladi. Organik yarimo'tkazgichlar esa yengil, egiluvchan va past haroratda ishlab chiqarilishi mumkin, ammo ularning xizmat muddati va tashqi muhitga chidamliligi kuchaytirilishi lozim. Metall oksidlari esa ekologik xavfsiz transport qatlamlari va himoya qatlamlari sifatida katta ahamiyatga ega.

Eng muhim xulosa shuki, barqaror quyosh energetikasida "eng samarali material" emas, balki "eng muvozanatli material" kerak. Ya'ni material yetarlicha samarali, ekologik xavfsiz, arzon, barqaror, qayta ishlanadigan va sanoatga mos bo'lishi shart. Shu mezonlarga ko'ra, kesteritlar, qo'rg'oshinsiz perovskitlar, metall oksidlari va organik

yarimo'tkazgichlar kelajak quyosh energetikasining asosiy ilmiy yo'nalishlaridan biri bo'lib qoladi.

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Vaxobov A.V., Teshaboyev A.T. **Polimerlar kimyosi**. Toshkent: O'zbekiston, 2018.
2. Umarov B.B. **Fizik kimyo**. Toshkent: O'zbekiston milliy ensiklopediyasi, 2017.
3. To'rayev X.X. **Materialshunoslik asoslari**. Toshkent: Fan va texnologiya, 2021.
4. Karimov B.K. **Zamonaviy materiallar kimyosi**. Toshkent: Innovatsiya, 2022.
5. G'ulomov M.G. **Kimyoviy texnologiya asoslari**. Toshkent: Fan, 2018.
6. Zakutayev A. Emerging photovoltaic absorber materials bo'yicha sharh maqolasi. National Renewable Energy Laboratory, 2017.
7. NREL. **Device Performance of Emerging Photovoltaic Materials**. 2023.
8. Wang A. va boshqalar. **Kesterite  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$  quyosh elementlari bo'yicha tanqidiy sharh**. Advanced Energy Materials, 2023.
9. Nazligul A.S. va boshqalar. **Yerda ko'p uchraydigan kesterit materiallari va ularning quyosh energetikasidagi istiqbollari**. Sustainability, 2020.
10. Blakesley J.C. va boshqalar. **Established and Emerging Photovoltaics Roadmap**. Journal of Physics: Energy, 2024.