

## GÜNƏŞ ELEMENTLƏRİNİN İNKİŞAF PERSPEKTİVLƏRİ

A.V. QƏDİROVA, S.X. MƏMMƏDOVA, S.Q. NURİYEVA

*Bakı Dövlət Universiteti, Nanoaraşdırmalar Laboratoriyası**Z. Xəlilov küç.23, Bakı, AZ-1148*E-mail: [aytacqedkrova@gmail.com](mailto:aytacqedkrova@gmail.com)

mob: +994558908594

Günəş elementləri üçün yeni materialların istehsalı tədqiqatçıların daima marağında olduğundan uzunmüddətli stabilliyə, əla enerji səmərəliliyinə, yüksək foton udulmasına və asan elektron transferinə malik materialların sintezi, tədqiqi və tətbiqi vacib elmi istiqamətlərdən hesab olunur. İcmal məqalədə ilk olaraq, hər dövr üçün aktual olan günəş elementləri təhlil edilmiş, bundan əlavə onların səmərəliliyi, baza elementləri, hazırlanma texnologiyaları və çatışmazlıqları vurğulanmışdır. Gələcək perspektiv üçün günəş elementlərində ən optimal hesab edilən üstün materialların seçimi vurğulanmışdır.

**Açar sözlər:** günəş elementlərinin nəsilləri, səmərəlilik, nanomateriallar.

DOI:10.70784/azip.2.2025106

## 1. Giriş

Son dövrlərdə təbii yanacaqdan istifadənin ekoloji problemlərə, qlobal iqlim dəyişikliyinə səbəb olması alimləri alternativ enerji mənbələrini daha da inkişaf etdirməyə təşviq edir. Günəş enerjisindən təmiz və müəyyən mənada limitsiz enerji istehsal edilə bildiyi üçün alternativ enerji mənbələri arasında o ön sıralardadır. Günəş elementlərindən istifadə ətraf mühitin mühafizəsini təmin etməklə yanaşı, həmçinin təbii yanacaqdan asılılığı da azaltmağa imkan verir. Bu baxımdan günəş elementlərin istehsalı üçün materialların doğru seçimi onların səmərəliliyinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Ona görə də, mövcud olan günəş elementlərinin keyfiyyətlərini artırmaq və yeni nəsillə hibrid günəş elementləri yaratmaq alimlərin yeni tədqiqat sahəsinə çevrilmişdir. Yeni nəsillə günəş elementlərində metal və metal oksid nanohissəciklərindən, karbonun allotropik formalarından (qrafen, karbon nanoboruları), perovskitlərdən və onların əsasında hibrid materiallardan istifadə edilmişdir. Son elmi ədəbiyyatlarda bununla bağlı kifayət qədər işlər var. Tədqiqat işinin məqsədi hazırda mövcud olan və yeni nəsillə günəş elementləri ilə bağlı məqalələri təhlil etmək və gələcək perspektivləri müəyyənləməkdən ibarətdir.

Araşdırılan tədqiqat işində hər dövr üçün aktual olan günəş elementləri təhlil edilmiş, onların səmərəliliyi, baza elementləri və hazırlanma texnologiyaları arasındakı və son dövr üçün ən aktual hesab edilən hibrid günəş elementlərinin üstünlükləri vurğulanmışdır.

## 2. Günəş elementlərinin inkişaf mərhələləri

Günəş elementlərinin inkişaf mərhələlərinə nəzər saldıqda onların əsasən 4 qrupa bölündüyünü görmək olur (şəkil 1) [1-3].

Birinci nəsillə günəş elementləri əsasən mono-, poli- və multikristal silisiumdan və ya GaAs əsaslı təbəqələrdən hazırlanmışdır. GaAs günəş elementlərinin istehsalı üçün istifadə edilən ilkin material olmasına baxmayaraq, günəş elementlərinin 90%-i silisium əsasıdır [4-5]. Bunun səbəbi silisiumun yer qabığında çox

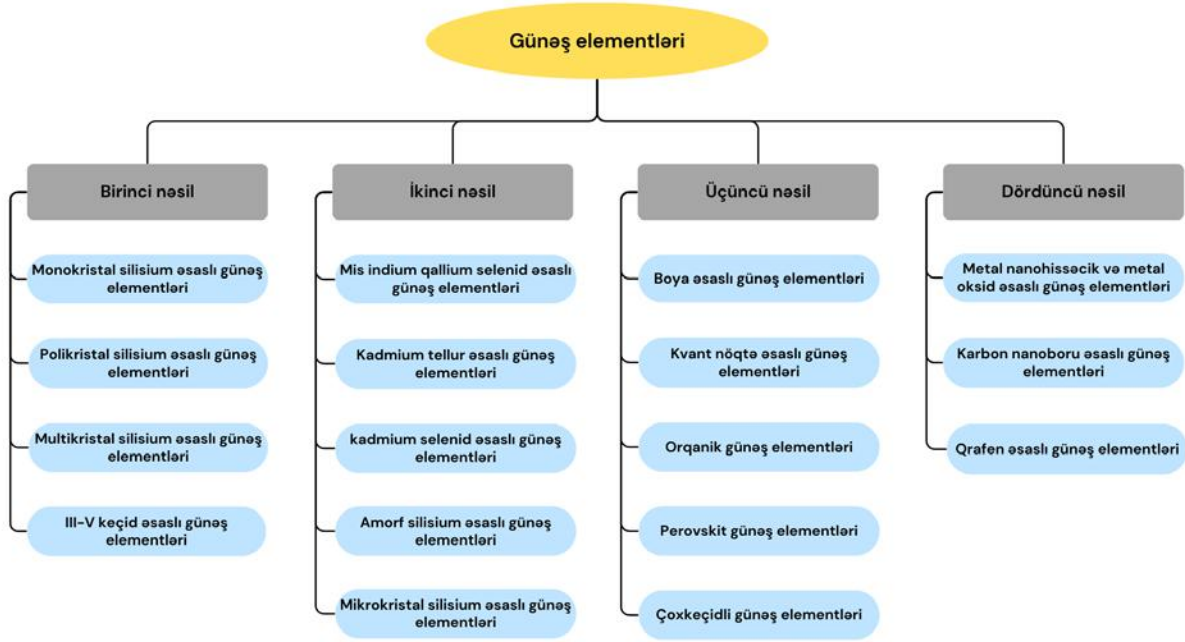
rast gəlinməsi, qeyri-toksik maddə olması və mikroelektronikaya asanlıqla uyğun olmasıdır [7]. Lakin bu günəş elementlərinin böyük istehsal xərcləri, yüksək temperatur həssaslığı və material itkisinə malik olması polikristal silisium əsaslı günəş elementlərinin istifadəsinə zərurət yaratmışdır [2, 8]. Məlumdur ki, polikristal silisiumun kristallitləri arasında rekombinasiya mənbəyi hesab edilən əlavə sərhəd bu material əsasında hazırlanmış günəş elementlərinin daha aşağı effektivliyə malik olmasına səbəb olmuşdur. Bu da daha səmərəli material hesab edilən, böyük qadağan olunmuş zona enerjisi (1,43 eV) malik, daha yaxşı optik xüsusiyyətlər nümayiş etdirən GaAs-dən hazırlanan günəş elementlərindən istifadəsini aktuallaşdırmışdır [2, 9]. Bu tip günəş elementləri bir çox üstünlüklərə malikdirlər: ultrabənövşəyi radiasiya və rütubət kimi sərt ekoloji şəraitə davamlı, yüksək səmərəlilik, alçaq temperatur həssaslığı və s., lakin GaAs istehsalının bahalı olması, həmçinin qalium və arseninin nadir elementlər olması, onların istehsal qabiliyyətinin məhdudlaşdıran səbəblər olmuşdur [2, 11].

Birinci nəsillə günəş elementlərinin yuxarıdakı çatışmazlıqlarını aradan qaldırmaq üçün amorf silisium (a-Si), mikrokristal silisium (μc-Si), kadmium tellurid (CdTe), kadmium sulfid (CdS), mis indiumdan hazırlanmış nazik təbəqəli ikinci nəsillə günəş elementlərindən istifadə olunmuşdur [2, 6, 13]. Altlıq üzərində nazik mis, indium, qalium və selen təbəqəsinin çökdürülməsi ilə istehsal olunan günəş elementləri yüksək udulma əmsalına malikdir [14]. Hazırlanan bu günəş elementlərinin səmərəlilik əmsalını dəyişmək üçün In:Ga və Cu:Se nisbətərini dəyişməklə ən yüksək səmərəlilik (20%) əldə edilmişdir [15]. Bu günəş elementlərinin üstünlüyü istehsal üçün az materialın tələb olunması olsa da, çatışmayan cəhətləri temperatura həssas olması və In-un bahalı olması onun istifadə imkanlarına məhdudiyət yaratmışdır [16]. Ona görə də, yüngül çəkiyə görə günəş elementlərinin istehsalında CdTe/CdS əsaslı super nazik elementlərin tətbiqi geniş vüsət almış, lakin kadmiumun zəhərli olması ilə yanaşı, həm tellurun nisbətən nadir element olması, həm də səmərəlilik faizinin aşağı olması bu günəş elementlərinin istehsal qabiliyyətini də zəiflətməmişdir [2, 17]. Yer qabığında geniş yayılan amorf silisiumdan (a-Si) istifadə daha az maliyyə hesabına yüngül çəkiyə malik günəş

## GÜNƏŞ ELEMENTLƏRİNİN İNKİŞAF PERSPEKTİVLƏRİ

elementlərinin istehsalında səmərəliliyin 5-7% artmasına imkan vermişdir. Görmə oblastında güclü udulma əmsalına malik olan mikrokristal silisium əsaslı günəş

elementlərinin ( $\mu\text{c-Si}$ ) səmərəliliyinin 8-12%-ə qədər yüksəlməsinə baxmayaraq onlar aşağı istehsal qabiliyyətlərinə malik olmuşdurlar.

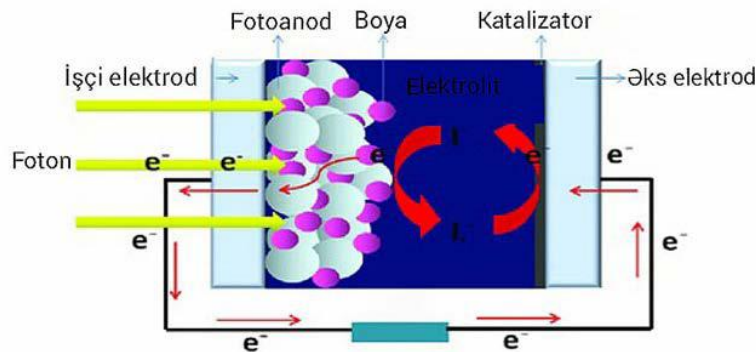


Şəkil 1. Günəş elementlərinin nəsilləri.

Sadalanan bu çatışmazlıqlar yüksək səmərəliliyə malik üçüncü nəsil günəş elementlərinin yaranmasına təkan vermiş və boya ilə həssaslaşdırılmış günəş elementləri (DSSCs), perovskit günəş elementləri (PSC), kvant nöqtəli günəş elementləri (QDSSCs) və çoxkeçidli günəş elementləri kimi aşağı istehsal xərclərinə malik elementlərin sürətlə inkişafı və geniş tətbiqi vüsət almışdır [ 2, 16-19]. Bu elementlərin bəzilərinin 25 ildən çox müddət ərzində tədqiq olunmasına baxmayaraq, bazara zəif nüfuz etmələrinə görə bəzən “yeni yaranan, inkişaf edən texnologiyalar” da adlandırılırdı. Səmərəliliyi 5-20% arasında dəyişən boya ilə həssaslaşdırılmış günəş elementlərinin əsas strukturu iki şəffaf keçirici oksid şüşəsi arasına sıxışdırılmış əsas elementlər olan fotoanod, həssaslaşdırıcı boya və elektrolitdən ibarətdir. Fotoanod üçün material olaraq yarımkeçirici oksidlərdən daha çox  $\text{TiO}_2$  və  $\text{ZnO}$  istifadə edilmişdir. Bəzi tədqiqatçılar  $\text{TiO}_2$ -ə ən uyğun alternativ

kimi  $\text{ZnO}$ -i istifadə etmiş və fotoanodun səmərəliliyini artırmışdır.

Boya ilə həssaslaşdırılmış günəş elementlərində fotoanodun hazırlanması üçün müxtəlif üsullardan- fırlanma örtük, doktor bleyd, SILAR (ardıcıl ion təbəqəsinin adsorbsiyası və reaksiyası) metodlarından istifadə edilmişdir. Digər əsas element olan boya (N719) günəş enerjisini effektiv udmaq və onu elektrik enerjisinə çevirmək məqsədi daşıyır. Elektrolitin tərkib komponentləri- redoks cütü, həlledici, əlavələr, ionlu mayelər, kationlar günəş elementinin sabitliyinə və səmərəliliyinə təsir göstərə bilər. Sonuncu əsas element olan əks elektrod redoks cütünü bərpa etmək üçün elektronları xarici dövrədən elektrolitə ötürür [19, 20]. Az işıqlı şəraitdə, alçaq temperaturda işləyə bilməsi, möhkəmliyi və uzun ömürlülüyü, asanlıqla təkrar istifadəyə yararlılığı, aşağı qiymətə və sadə istehsal prosesinə malik olan boya ilə həssaslaşdırılmış günəş elementlərinin sxematik təsviri şəkil 2-də təsvir olunub.



Şəkil 2. Boya ilə həssaslaşdırılmış günəş elementlərinin sxematik təsviri.

Son illərdə tədqiqatçıların diqqətini çəkən digər bir element- $ABX_3$  kimyəvi formuluna malik perovskit materialdan hazırlanmış effektiv uducu təbəqəyə malik günəş elementləridir. Burada A və B müxtəlif atom radiuslu kationlar, X isə aniondur [21-23]. İlk perovskit əsaslı günəş elementini 2009-cu ildə istifadəyə verilmiş və əvvəlki elementlərdən təxminən 3.8% artıq səmərəliliyə malik olmuşdur [24]. Üç il sonra təqdim edilən günəş elementinin səmərəliliyi 10%-ə, on illik tədqiqatdan sonra isə 25.2%-ə yüksəlmişdir [2]. Bu günəş elementlərini istehsalı üçün də fırlanma örtük, inkjet printer, sprey örtük, doktor bleyd üsullarından istifadə edilmişdir. Lakin perovskit günəş elementlərinin qeyri-stabillikləri bu günəş elementlərinin istehsal qabiliyyətinin zəifləməsinə səbəb olmuşdur. Eyni çatışmazlığa malik olan kvant nöqtəli günəş elementlərində günəş enerjisinin elektrik enerjisinə çevrilməsi dörd ardıcıl prosədə baş verir: işığın udulması və eksitonun əmələ gəlməsi (1), eksitonun yayılması (2), yükün ayrılması (3) və daşınması (4). Eksitonların yaşama müddətinin az olması səbəbindən üzvi birləşmələr kiçik eksitonun diffuziya uzunluqları (10-20 nm) ilə xarakterizə olunur [2, 25]. Bu günəş elementlərinin səmərəlilikləri təxminən 1.1-1.9%-dir [2, 16].

Son dövrlərdə nanotexnologiyanın inkişafının digər sənaye sahələrinə verdiyi müsbət qatqı günəş elementlərinə də təsirsiz qalmamış və hibrid günəş elementləri kimi də tanınan dördüncü nəsil formalaşmışdır. Nanomaterialların işığı daha effektiv udması faktı, bununla da fotoelementlərdə günəş spektrinin daha geniş diapazonunun istifadəsi bu elementlərin səmərəliliyinin artmasına səbəb olmuşdur. Hibrid günəş elementlərində ənənəvi fotovoltaiq texnologiyalar yeni nanomateriallar-qrafen, karbon nanoboruları, metal və metal oksid və sulfid nanohissəcikləri, kvant nöqtələri və s. bir-biri ilə kombinasiya edilərək hazırlanmışdır. Belə ki, silisium günəş elementləri ilə perovskit materiallar və ya kvant nöqtələri birləşdirilərək daha yüksək səmərəlilik əldə etmək mümkün olmuş, həm də istehsal xərcləri azalmışdır [27].

Son iki onillikdə qrafen fotovoltaiq material anlayışı ilə birləşdirilib və günəş elementlərində qrafen əsaslı materiallardan istifadə edilmişdir [2, 26]. Gələcəyin nanomaterialı hesab olunan qrafenin yüksək keçiriciliyə malik olması onu günəş elementlərində istifadə üçün məqsədəuyğun edir. Bununla yanaşı qrafen yarımetaldır, qadağan olunmuş zonaya malik deyil və qrafendə yükdaşıyıcıların mütəhərrikliliyi silisiumdan min dəfə yüksəkdir. Bu kəşf nəticəsində günəş elementlərində İTO-nu (indium qalay oksid əsaslı substrat) əvəz etmək üçün ucuz qrafen təbəqələrindən istifadə olunmuşdur [29].

Hibrid yanaşmalardan digər bir nümunə geniş yayılmış və yüksək enerji çevirmə səmərəliliyinə malik silisium və işıq spektrinin müxtəlif hissələrini daha effektiv şəkildə udmaq qabiliyyətinə malik perovskit nanomateriallar əsasında texnologiyaların birləşdirilməsidir. Belə ki, silisiumun görünən işığı, perovskit materialların ultrabənövşəyi və infraqırmızı işığı daha effektiv udması faktı bu iki materialın birləşməsi ilə daha geniş işıq spektrindən istifadə etməyə imkan vermiş, bu da günəş elementlərinin ümumi səmərəliliyinin 30%-ə

qədər artmasına səbəb olmuşdur. Həmçinin perovskit materiallar silisiuma nisbətən daha ucuz, istehsalı isə daha asandır [27].

### **3. Gələcək perspektivlər**

Müəyyən dövr ərzində günəş elementlərinin tərkib hissələrinin materialları daima yenilənsə də mövcud çatışmazlıqları aradan qaldıra biləcək unikal optik və elektrik xassələrinə malik olan maddələrin axtarışı hələ də davam etməkdədir. Bu da müxtəlif formalı və quruluşlu nanomateriallar əsasında tandem strukturlu hibrid birləşmələrin yaradılmasına və onların gələcək nəsil fotovoltaiq texnologiyalarda istifadəsinə zərurət yaradır [7-9]. Tərəflərinin nisbəti yüksək olan 1D strukturlar (nanonaqillər, nanoborular və nanorodlar) üstün elektrik keçiriciliyi və işığın udulması qabiliyyətinə görə, 2D strukturlar tənzimlənə bilən zona eninə, böyük səth sahəsinə, yükdaşıyıcıların yüksək mütəhərrikliliyinə və əla optik xüsusiyyətlərinə görə gələcək perspektivlərdə maraq çəkən komponentlərdir [10-13]. Hesab olunur ki, bu kimi materialların karbon nanostrukturlar (karbon nanoborular, qrafen) ilə kombinasiyası əsasında günəş elementlərinin səmərəliliyi daha da artacaq, maliyyə xərcləri isə azalacaqdır [14-16]. Belə ki, karbon nanostrukturlarının davamlılığı, yüksək səmərəliliyi və aşağı istehsal xərcləri bu texnologiyaların günəş elementlərində istifadəsinə əvəzlənməzdir. Tədqiqatlar göstərir ki, onların istifadəsi ilə 40%-dən yuxarı enerji çevirmə səmərəliliyinə nail olmaq mümkündür, bu isə ənənəvi günəş elementlərindən çox yüksəkdir [28]. Hal-hazırda yüksək keçiriciliyə, aşağı qiymətə və tənzimlənən optik xüsusiyyətlərinə (fərqli qadağan olunmuş zona qiyməti), xüsusən də işığın udulmasını yaxşılaşdıran səth plazmon rezonansına (SPR) görə sink sulfid, kadmium tellurid əsasında fotovoltaiqlər, kadmium selenid, mis oksid, titan oksidi, indium-qallium nitridi, qallium arsenid və indium arsenid nanonaqilləri və nanosəthləri tədqiq edilir və istehsal olunur [17-19]. Əldə edilmiş uğurlar nəticəsində nanomaterialların gələcək enerji bazarında əhəmiyyətli islahatlar aparacağı və bu bazarın yeni perspektivlərinə töhfə verəcəyi gözlənilir.

### **4. Nəticə**

Son bir neçə onillikdə elmi tədqiqat sahəsində yüksək enerji çevirmə səmərəliliyinə, təkmilləşdirilmiş foton udma qabiliyyətinə, uzunmüddətli stabilliyə və asan elektron nəqlinə malik olan günəş elementləri üçün yeni materialların hazırlanması və tədqiqi aktual tədqiqat mövzudur. Bu baxımdan, təqdim olunan icmal məqalədə günəş elementlərinin inkişaf xronologiyası araşdırılmış, hər nəsil üçün uyğun elementlərin əsas tərkib materiallarının üstünlükləri və çatışmazlıqları vurğulanmışdır. Nanotexnologiyanın inkişaf sürətinin günəş elementlərinə də təsirsiz ötürmədiyi bəlli olmuş və müxtəlif 1D və 2D nanoquruluşlar əsasında günəş elementlərinin xassələri araşdırılmışdır. Alternativ enerji mənbələrinin perspektivləri nəzərə alınaraq gələcəkdə günəş elementləri üçün yaxşılaşdırılmış xüsusiyyətlərə malik material seçimi üçün istiqamətlər müəyyən edilmişdir.

- [1] G.M.Wilson, M.Al-Jassim, W.K.Metzger, S.W.Glunz, P.Verlinden, G.Xiong, L.M.Mansfield, B.J.Stanbery, K.Zhu, YaY. J.Phys.Appl.Phys., The 2020 photovoltaic technologies roadmap. 2020;53:493001.doi: 10.1088/13616463/ab9c6a.
- [2] Justyna Pastuszek, Paweł Węgierek. Photovoltaic Cell Generations and Current Research Directions for their development. Materials 2022, 15(16),5542; <https://doi.org/10.3390/ma15165542>].
- [3] M.V. Dambhare, B. Butey, S.V. J. Moharil, Solar photovoltaic technology: A review of different types of solar cells and its future trends Phys. Conf. Ser.2021;1913:012053.doi:10.1088/17426596/1913/1/012053.
- [4] P.G.Sampaio, M.O.González. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017;74:590-601.
- [5] Muhammad Aamir Iqbal, Maria Malik, Wajeehah Shahid, Syed Zaheer Ud Din, Nadia Anwar, Mujtaba Ikram and Faryal Idrees Materials for Photovoltaics: Overview, Generations, Recent Advancements, and Future Prospects, DOI: 10.5772/intechopen.101449
- [6] Neeraj Kant, Pushpendra Singh. Review of next-generation photovoltaic solar cell technology and comparative materialistic development <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.116>
- [7] A.M. Kuhlmann. The second most abundant element in the earth's crust. Journal of Metals 1963;15(7):502-505
- [8] Thejo Kalyani, S.J.Dhoble, B.Vengadaesvaran, Abdul Karim Arof. Chapter 20 - Sustainability, recycling, and lifetime issues of energy materials, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823710-6.00015-7>
- [9] Francesco Calise, Massimo Dentice D'Accadia, Massimo Santarelli, Andrea Lanzini, Domenico Ferrero, Solar Hydrogen Production, Processes, Systems and Technologies 2019, Pages 559-567
- [10] Mehmet Emin Meral, Furkan Dinçer, Renewable and Sustainable Energy Reviews, June 2011, 10.1016/j.rser.2011.01.010
- [11] A.A.Yaroshevsky, Abundances of chemical elements in the Earth's crust. Geochemistry International, 44 (1), 48-55. (2006).
- [12] M.Nayeripour, M.Mansouri, F. Orooji, E.Waffenschmidt, Solar Cells; IntechOpen Limited: London, UK, 2020; pp. 1–50.
- [13] Mugdha V Dambhare et al., Solar photovoltaic technology: A review of different types of solar cells and its future trends 2021 J. Phys.: Conf. Ser. 1913 012053, 10.1088/1742-6596/1913/1/012053
- [14] K.Zweibel, Thin films: Past, present and future Photo-volt-3, 279 1995
- [15] M.A.Green, Y.Hishikawa, E.Dunlop, D.Levi, J.Hohl-Ebinger, M.Toshita, A.WY. Ho-Baillie, Solar cell efficiency tables (version 53). Prog. Photovolt. Res. Appl. 2018, 27.
- [16] Vincenzo Muteri, Maurizio Cellura, Domenico Curto, Vincenzo Franzitta, Sonia Longo, Marina Mistretta and Maria Laura Parisi, Review on Life Cycle Assessment of Solar Photovoltaic Panels
- [17] X.Wu, High-efficiency polycrystalline CdTe thin-film solar cells. Sol. Energy 2004, 77, 803–814.
- [18] X.X.Gao, W.Luo, Y.Zhang, R.Hu, B.Zhang, A.Züttel, M.K.Nazeeruddin, Stable and high-efficiency methylammonium-free perovskite solar cells. Adv. Mater. 2020, 32, 1905502.
- [19] N. Shah, A. A. Shah, P. K. Leung, S. Khan, K. Sun, X. Zhu, Q. Liao, A Review of Third Generation Solar Cells
- [20] N. Jamalullail, I. Smohamad, M. Nnorizan, and N.Mahmed Enhancement of Energy Conversion Efficiency for Dye-Sensitized Solar Cell Using Zinc Oxide Photoanode
- [21] Yang Yang, MinhTam Hoang, Aman Bhardwaj, Michael Wilhelm, Sanjay Mathur, Hongxia Wang, Perovskite solar cells based self-charging power packs: Fundamentals, applications, and challenges,
- [22] P. Basumatary, P. Agarwal, A short review of progress in perovskite solar cells. Mater. Res. Bull. 2022, 149, 111700
- [23] D.Sharma, R.Mehra, B.Raj, Design and comparative analysis of various planar perovskite solar cells through numerical simulation using different HTLs to improve efficiency. Opt. Mater. 2022, 126, 112221
- [24] A.Kojima, K.Teshima, Y.Shirai, T.Miyasaka, Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells. J. Am. Chem. Soc. 2009, 131, 6050–6051.
- [25] D.Bera, L.Qian, T.-K.Tseng, P.H.Holloway, Quantum Dots and Their Multimodal Applications: A Review. Materials 2010, 3, 2260–2345.
- [26] S.Das, D.Pandey, J.Thomas, T. Roy, The role of graphene and other 2D materials in solar photovoltaics. Adv. Mater. 2019, 31, 1802722.
- [27] Yuanhang Cheng, Liming Ding, Perovskite/Si tandem solar cells: Fundamentals, advances, challenges, and novel applications, September 2021, 10.1002/sus2.25
- [28] Colin Klinger, Yogeshwari Patel, W.Ch.Henk, Carbon Nanotube Solar Cells, 10.1371/journal.pone.0037806
- [29] Y.Wang, X.Chen, Y.Zhong, F.Zhu, K.P.Loh, Large area, continuous, few-layered graphene as anodes in organic photovoltaic devices. Appl. Phys. Lett. 2009, 95, 209.

**A.V. QƏDİROVA, S.X. MƏMMƏDOVA, S.Q. NURIYEVA**

**A.V. Gadirova, S.X.Mammadova, S.G. Nuriyeva**

**CHRONOLOGY AND FUTURE PROSPECTS OF SOLAR CELL**

The production of new materials for solar cells has always interested researchers, as the synthesis, investigation, and application of materials with long-term stability, high energy efficiency, high photon absorption, and easy electron transfer are considered current directions. In the review article, the solar cells relevant for each period were analyzed, and their efficiency, base elements, preparation technologies, and shortcomings were emphasized. The selection of superior materials in the most relevant solar cells for prospects was highlighted.

*Qəbul olunma tarixi: 25.12.2024*