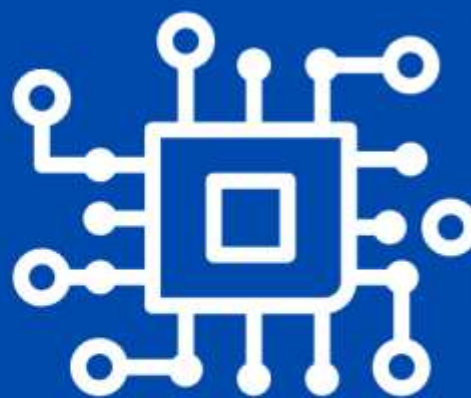




TECH SCIENCE

ISSN 3030-3702

**TEXNIKA FANLARINING
DOLZARB MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL
SCIENCES**



№ 4 (3) 2025

TECHSCIENCE.UZ

№ 4 (3)-2025

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES
OF TECHNICAL SCIENCES**

TOSHKENT-2025

BOSH MUHARRIR:

KARIMOV ULUG'BEK ORIFOVICH

TAHRIR HAY'ATI:

Usmankulov Alisher Kadirkulovich - Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax politexnika universiteti

Fayziyev Xomitxon – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent arxitektura qurilish instituti;

Rashidov Yusuf Karimovich – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent arxitektura qurilish instituti;

Adizov Bobirjon Zamirovich– Texnika fanlari doktori, professor, O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti;

Abdunazarov Jamshid Nurmuxamatovich - Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax politexnika universiteti;

Umarov Shavkat Isomiddinovich – Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax politexnika universiteti;

Bozorov G'ayrat Rashidovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro muhandislik-texnologiya instituti;

Maxmudov MUxtor Jamolovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro muhandislik-texnologiya instituti;

Asatov Nurmuxammat Abdunazarovich – Texnika fanlari nomzodi, professor, Jizzax politexnika universiteti;

Mamayev G'ulom Ibroximovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Jizzax politexnika universiteti;

Ochilov Abduraxim Abdurasulovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Buxoro muhandislik-texnologiya instituti.

OAK Ro'yxati

Mazkur jurnal O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2025-yil 8-maydagi 370-son qarori bilan texnika fanlari bo'yicha ilmiy darajalar yuzasidan dissertatsiyalar asosiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM" mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika insituti.

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB MASALALARI**
elektron jurnali 15.09.2023-yilda
130343-sonli guvohnoma bilan davlat
ro'yxatidan o'tkazilgan.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.
Elektron manzil:
scienceproblems.uz@gmail.com

Barcha huqular himoyalangan.

© Sciencesproblems team, 2025-yil

© Mualliflar jamoasi, 2025-yil

TEXNIKA FANLARINING
DOLZARB MASALALARI
3-jild, 4-son (iyul, 2025). -56 bet.

MUNDARIJA

Karimov Marat

KO'P QATLAMLI YER OSTI G'OVAK MUHITLARIDA SUV OLUVCHI QUDUQLAR TA'SIRINI
SONLI MODELLASHTIRISH 4-9

To'rayev Azizbek, Ahmedova Sitara

BAZALT TOLASI BILAN MODIFIKATSIYALANGAN AVTOMOBIL
GRUNTOVKASINI YAQIN INFRAQIZIL NUR BILAN QURITISH TEXNOLOGIYASINING
SAMARADORLIGI VA MEXANIZMLARI..... 10-16

Xaydarova Muhtasar

SINOV LABORATORIYALARIDA QURILMALARNI BOSHQARISHDA TAKOMILLASHTIRILGAN
SIFATNI BOSHQARISH TIZIMINI ISHLAB CHIQUISH VA JORIY QILISH..... 17-21

Улжаев Эркин, Худайбердиев Элёр, Нарзуллаев Шохрух, Хайдаров Файёз

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ СЫПУЧИХ
МАТЕРИАЛОВ..... 22-28

Хонтураев Сардорбек

ПРИМЕНЕНИЕ ДРОНОВ В СОВРЕМЕННОЙ
ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЙ КАРТОГРАФИИ..... 29-32

Xaytbayev Aybek

NEYRON TARMOQLAR ASOSIDA SIMSIZ SENSOR TARMOQLARI UCHUN KLASSTER BOSH
TUGUNINI TANLASH..... 33-42

Baxramov Shohruxbek, Ismailov Astan

VODOROD ISHLAB CHIQUARISHNING ZAMONAVIY TEXNOLOGIYALARI..... 43-48

Samadova Nilufar

ISHLAB CHIQUARISH CHANGLARINING TARKIBI VA ULARNING EKOTOKSIKOLOGIK
XUSUSIYATLARI..... 49-55

VODOROD ISHLAB CHIQRISHNING ZAMONAVIY TEXNOLOGIYALARI

Baxramov Shohruxbek Kozimjon o'g'li

Tayanch doktorant,

Andijon davlat texnika instituti

Email: shohrux.baxramov@gmail.com

Tel: +998 93 781 17 42

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2763-4640>

Ismailov Astan Ibragimovich

Texnika fanlar nomzodi,

Andijon davlat texnika instituti dotsenti

Email: ismailov.astan@mail.ru

Tel: +998 90 529 41 39

Annotatsiya. Ushbu maqolada qayta tiklanuvchi energiya manbalari asosida ekologik toza vodorod ishlab chiqarish texnologiyalari tahlil qilingan. Ayniqsa, quyosh panelli portativ ishqoriy elektroliz tizimlarining afzalliklari va ularni kichik quvvatli, avtonom sharoitlarda qo'llash imkoniyatlari o'rganilgan. An'anaviy ishqoriy va PEM elektroliz texnologiyalarining solishtirmasi keltirilib, mavjud yondashuvlarning afzallik va cheklovlari aniqlangan. Maqola davomida texnologik samaradorlik, ekologik tozaligi va iqtisodiy jihatlar chuqur tahlil qilinadi. Ushbu yondashuv masofaviy hududlar uchun istiqbolli yechim sifatida taklif etiladi.

Kalit so'zlar: vodorod energiyasi, quyosh elektrolizi, ishqoriy elektroliz, portativ tizim, qayta tiklanuvchi energiya, PEM, AEM, gaz ajralishi, CO₂ emissiyasi, yashil vodorod.

MODERN TECHNOLOGIES OF HYDROGEN PRODUCTION

Bahramov Shohruxbek Kozimjon ugli

Key doctoral student,

Andijan State Technical Institute

Ismailov Astan Ibragimovich

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor, Andijan State Technical Institute

Abstract. This article analyzes environmentally friendly hydrogen production technologies based on renewable energy sources. Special attention is paid to the advantages of solar-powered portable alkaline electrolysis systems and their application in low-power and autonomous settings. A comparative review of traditional alkaline and PEM electrolyzers is presented, highlighting their benefits and limitations. The paper provides an in-depth analysis of technological efficiency, environmental cleanliness, and economic aspects. The proposed approach is considered a promising solution for remote and off-grid areas.

Keywords: hydrogen energy, solar electrolysis, alkaline electrolysis, portable system, renewable energy, PEM, AEM, gas evolution, CO₂ emissions, green hydrogen

DOI: <https://doi.org/10.47390/issn3030-3702v3i4y2025N07>

Kirish.

Global miqyosda toza energiya manbalariga o'tish jarayonida vodorod yoqilg'isi strategik ahamiyat kasb etmoqda. Vodorod yuqori energiya zichligiga ega bo'lib, yonish mahsuloti sifatida faqat suv hosil qiladi, shu bois atmosferaga zararli chiqindilar chiqarmaydi. Hozirgi kunda dunyodagi vodorodning asosiy qismi (taxminan 95%) tabiiy gazni bug' yordamida isloh qilish (SMR) kabi an'anaviy usullar orqali olinadi va bu jarayon katta hajmda CO₂ ajralishiga sabab bo'ladi [1–3]. Xususan, IEA ma'lumotlariga ko'ra, har yili ishlab chiqarilayotgan ~70 mln tonna vodorodning deyarli barchasi uglevodorod xomashyolaridan olinadi va bu jarayon yiliga ~830 mln tonna CO₂ emissiyasini keltirib chiqaradi [1]. Atmosfera ifloslanishi va iqlim o'zgarishining oldini olish maqsadida vodorodni qayta tiklanuvchi energiya yordamida suvni parchalash orqali olish muqobil yechim sifatida ko'rilmogda [2;4]. Shu sababli, "yashil vodorod" deb nomlangan texnologiya – ya'ni suvni elektroliz qilish orqali vodorod ishlab chiqarish va bunda zarur elektr energiyasini quyosh, shamol kabi qayta tiklanuvchi manbalardan olish – jahon miqyosida katta qiziqish uyg'otmogda [5–6].

Adabiyotlar tahlili va metodologiya.

Biroq, qayta tiklanuvchi manbalardan vodorod olish texnologiyasini joriy etish bir qator ilmiy-texnik muammolarni yuzaga keltiradi. Eng avvalo, suv elektrolizi jarayoni termodinamik jihatdan qimmat jarayon bo'lib, H₂O molekulasini H₂ va O₂ gazlariga ajratish juda yuqori energetik talablarga ega (endotermik reaksiyaning $\Delta H \approx 285,8 \text{ kJ/mol}$) [7]. Elektroliz uchun zarur bo'lgan energiyani samarali va arzon manbalardan olish masalasi ham dolzarb hisoblanadi. Shu nuqtai nazardan, quyosh fotoelektrik panellarini elektrolizyor bilan integratsiya qilish orqaligina ekologik toza va avtonom vodorod ishlab chiqarish tizimlarini yaratish mumkin [8–9]. Quyosh energiyasi ko'plab joylarda mo'l va bepul bo'lsa-da, uning intensivligi vaqt va ob-havo sharoitiga bog'liq ravishda o'zgaruvchan bo'ladi, natijada elektroliz jarayonini barqaror holatda ushlab turish qiyinlashadi [10]. Shunday qilib, vodorod energetikasi sohasidagi ilmiy izlanishlar quyosh fotoelektr manbalarini elektroliz uskunalari bilan samarali ulash, jarayonni stabilizatsiya qilish va kichik hajmli, mobil qurilmalarni yaratish atrofida davom etmogda.

Suvni elektroliz qilish bo'yicha texnologiyalar o'tgan asr davomida sezilarli rivojlandi va hozirda asosiy ikki turga bo'linadi: ishqoriy (gidroksidli) elektroliz va polimer membranali elektroliz (PEM – Proton Exchange Membrane) [7;11]. An'anaviy ishqoriy elektrolizyorlar 20–30% konsentratsiyali kaliy gidroksidi (KOH) eritmasini elektrolit sifatida qo'llaydi va odatda 70–90 °C harorat hamda 20–40 bar bosim ostida ishlaydi [11]. Bunday sanoat qurilmalarida nikel yoki nikelli po'lat elektrodlar katalitik faollikka ega bo'lib, vodorod ajralish samaradorligi yuqori bo'ladi (elektr energiyasidan vodorodga aylantirish samaradorligi ~65–80%) [11–12]. Katta hajmdagi ishqoriy elektrolizyorlarning quvvati minglab normal kub metr/soat vodorod ishlab chiqarishga yetadi. Masalan, adabiyot ma'lumotlariga ko'ra, 1000 Nm³/soat dan ortiq vodorod ishlab chiqaruvchi yirik sanoat elektroliz tizimlari yaratilgan [11]. Biroq, bunday tizimlar statsionar (ko'chma emas), ulkan o'lchamlarga ega va elektr tarmog'iga doimiy ulangan holda ishlaydi. Ularni kichik miqyosda qo'llash yoki dala sharoitida ishlatish amaliy emas [13].

PEM tipidagi suv elektroliz qurilmalari esa keyingi yillarda jadal rivojlandi. PEM elektrolizyorlar qattiq polimer proton almashinuv membranasiga asoslanib, platina guruhi metallaridan tayyorlangan katalizatorlar yordamida suvni parchalashadi [14]. Ularning

afzalligi – juda ixcham va birlashtirilgan tuzilma (kompakt modullar), yuqori tok zichligida ishlay olish va olingan vodorodning juda yuqori tozaligi (deyarli nol qo'shimchali) [15]. Misol uchun, 2010-yillarda yirik ilmiy markazlar va kompaniyalar tomonidan megavatt diapazonida PEM elektroliz stansiyalari barpo etildi [12;14]. Kamchiliklari shundaki, PEM elektroliz qurilmalari juda sof (demineralizatsiya qilingan) suv talab qiladi, katalizator va komponentlari qimmat (platina, iridiy kabi), hamda membrananing xizmat muddati cheklangan [14;16]. Shu bois, hozircha PEM texnologiyasi asosan yuqori quvvatli va maxsus qo'llanishlarga mo'ljallangan, hamda iqtisodiy jihatdan an'anaviy ishqoriy tizimlardan qimmat turadi [11–12].

So'nggi yillarda anion almashinuv membranali (AEM) elektroliz texnologiyasi ham ilmiy tadqiqotlarda paydo bo'lmoqda. AEM elektrolizyorlar ishqoriy muhitda ishlovchi polimer membranani qo'llaydi va natijada PEMning ayrim afzalliklarini (kompaktlik, gaz ajratish) ishqoriy tizimning arzon materiallari bilan uyg'unlashtirishga intiladi [16]. Biroq, AEM hali tadqiqot bosqichida bo'lib, uning uzoq muddatli barqarorligi va ion o'tkazuvchanligi bo'yicha masalalar to'liq hal qilinmagan.

Vodorodni quyosh energiyasi orqali olish konsepsiyasi bugungi kunda ko'plab tadqiqotlarda uchramoqda. Misol uchun, foto-elektrokimyoviy (PEC) yondashuv – yarimo'tkazgich foto-elektrodlar bevosita elektrolitga joylanib, yorug'lik tushganda suvni elektrolizlaydi – qiziqarli usul hisoblanadi [17]. Ammo PEC tizimlarining samaradorligi va resursi hozircha pastligi tufayli amaliy qo'llanishga yaroqli emas [17]. Amaliy jihatdan esa, fotovoltaik (quyosh PV) panellari bilan an'anaviy elektrolizyorlarni bog'lash eng maqbul yechim bo'lib turibdi [18–19]. Elektronika va boshqaruv tizimlarini optimallashtirish orqali quyoshdan elektrolizga uzatish jarayonidagi yo'qotishlarni kamaytirish ustida ishlar olib borilmoqda [8;20]. Ilmiy manbalarda qayd etilishicha, quyosh energiyasi bilan bog'liq elektroliz tizimlarida samaradorlik bir necha omillarga bog'liq: quyosh paneli samaradorligi (odatda 15–20%), MPPT yoki DC-DC konvertor orqali moslash, elektrolizorning volt-amper xarakteristikasi, harorat va elektrolit konsentratsiyasi [10;21]. Masalan, harorat oshishi elektroliz kinetikasini tezlashtiradi va qutblanishni kamaytiradi, biroq portativ tizimlarda yuqori haroratga erishish qiyin va xavfli bo'lishi mumkin [11;22]. Xuddi shunday, elektrolit tarkibi va konsentratsiyasi ham muhim: KOHning ~25–30% li eritmasi optimum bo'lib, ion o'tkazuvchanligi yuqori va elektroliz uchun yaxshi muhit yaratadi [11;23].

Muhokamar.

Yuqoridagi adabiyotlar tahlilidan ko'rinadiki, yirik elektroliz qurilmalari va markazlashgan vodorod ishlab chiqarish texnologiyalari yaxshi rivojlangan bo'lsa-da, kichik quvvatli, ixcham va arzon tizimlar bozorida bo'shliq mavjud. Masalan, uy xo'jaliklari, dala sharoitlari yoki ta'lim laboratoriyalari uchun mo'ljallangan portativ vodorod generatorlari hanuz kam uchraydi. Ayni paytda mavjud bo'lgan ayrim yechimlarga e'tibor qaratsak, ularning kamchiliklari yaqqol seziladi. Masalan, H2PowerBox deb nomlangan avtonom vodorod stansiyasi mavjud bo'lib, u tirkama-platformada joylashgan, tarkibida quyosh panellari, PEM elektrolizyor va yonilg'i elementi (fuel cell) mavjud tizimdir. Bu tizim dala sharoitida elektroenergiya ishlab chiqarish va vodorod generatsiyasi uchun mo'ljallangan. Biroq, H2PowerBox katta o'lchamlarga ega bo'lib, maxsus transport vositasida tashishni talab qiladi. Unda yuqori samaradorlikka erishish uchun qimmat PEM texnologiyasi qo'llangan va bu narxini oshiradi. Kichik quvvatli qo'llanishlar yoki o'quv maqsadlarida bunday yirik

tizimlarni ishlatib bo'lmaydi. Shu sababli, vodorodni masofaviy hududlarda yoki laboratoriya sharoitida kichik hajmlarda ishlab chiqarish uchun yengil, modulli va arzon qurilmalar zarur.

Akademik manbalarda bir necha olimlar kichik elektroliz tizimlari borasida tadqiqotlar olib borgan. Xususan, portativ PEM elektrolizyori bazasida dronlar yoki kichik yonilg'i elementi qurilmalariga vodorod yetkazib berish masalasi tadqiq qilingan [24]. Biroq, bu kabi tadqiqotlar ko'pincha laboratoriya darajasida qolmoqda va sanoatlashtirish bosqichiga o'tmagan. Ishqoriy elektrolizga asoslangan ixcham tizimlar esa deyarli uchramaydi, chunki ko'pchilik sanoat ishqoriy tizimlari og'ir va statsionar bo'lib, ularni kichraytirish bo'yicha muammo va cheklovlar mavjud [11;13]. Muammolardan biri – kichik elektrolizyorlarda gaz ajralishi sust kechishi va samaradorlik pasayishi mumkin, shuningdek, ularni to'liq avtonom tarzda faqat quyosh energiyasi bilan ishlatish murakkab hisoblanadi [8;18].

Natijalar.

Ushbu ilmiy tadqiqotda vodorod yoqilg'isini ekologik toza va qayta tiklanuvchi manbalar asosida ishlab chiqarish bo'yicha jahon va milliy miqyosdagi yondashuvlar tahlil qilindi. Tadqiqot natijasida quyidagi asosiy xulosalar chiqarildi:

Jahon tajribasi asosida aniqlanishicha, vodorod ishlab chiqarish sanoatining asosiy qismi (95% dan ortig'i) hanuzgacha uglevodorod xomashyosiga asoslangan bo'lib, bu yiliga ~830 mln tonna CO₂ chiqindilariga olib kelmoqda [1]. Shu bois "yashil vodorod" konsepsiyasi, ya'ni elektroliz orqali suvdan vodorod olish va bu jarayonda quyosh yoki shamol kabi qayta tiklanuvchi manbalardan foydalanish, global energetika sohasining ustuvor yo'nalishiga aylangan [2–3].

Ishqoriy elektroliz texnologiyasi eng ishonchli va arzon texnologiyalardan biri hisoblanadi. U 20–30% li KOH eritmasida, 70–90 °C haroratda, yuqori tok zichligida ishlay oladi va nisbatan yuqori energiya samaradorligiga ega (~65–80%) [11–12]. Biroq mavjud ishqoriy tizimlar odatda statsionar, yirik o'lchamli va portativ emas.

PEM (Proton almashinuvi membranasi) va AEM (Anion almashinuvi membranasi) texnologiyalar ilmiy izlanishlar uchun istiqbolli bo'lsa-da, iqtisodiy va texnik cheklovlar ularni keng joriy qilishga to'sqinlik qilmoqda [14;16]. AEM hali to'liq tijoratlashmagan.

Quyosh fotoelektrik panellari bilan elektroliz tizimlarini integratsiyalash ekologik toza va avtonom vodorod ishlab chiqarishning eng real yo'nalishi sifatida qayd etildi. Shu bilan birga, MPPT algoritmlari, haroratni boshqarish va elektrolit konsentratsiyasining mosligi samaradorlikka sezilarli ta'sir ko'rsatadi [8;10;21].

Portativ vodorod ishlab chiqarish tizimlariga bo'lgan ehtiyoj kuchli bo'lsa-da, mavjud yirik elektroliz qurilmalari ushbu talabga javob bermaydi. H2PowerBox singari tizimlar transport uchun qulay emas va qimmat PEM texnologiyasiga tayanadi. Shu nuqtai nazardan, ixcham, arzon, modulli va quyosh energiyasi asosida ishlovchi ishqoriy elektroliz qurilmalari istiqbolli hisoblanadi.

Ushbu maqolada ilgari surilgan konsepsiya – quyosh panelli portativ ishqoriy elektroliz tizimi – vodorod ishlab chiqarishning energiya, iqtisodiy va ekologik jihatdan samarali yechimi sifatida baholandi. Qurilmaning ixchamligi, o'z-o'zini ta'minlash qobiliyati, arzonligi va modullashtirish imkoniyati uni ta'lim, ilmiy-tajriba va chekka hududlar uchun ideal yechimga aylantiradi.

Xulosa.

Xulosa qilib aytish mumkinki, vodorod energiyasiga bo'lgan talab ortib borayotganini va qayta tiklanuvchi manbalar asosida vodorod olish texnologiyalari jadal rivojlanib

bormoqda. Ishqoriy va PEM elektroliz texnologiyalarining har biri o'z afzallik va kamchiliklariga ega: ishqoriy tizimlar yirik miqyosda iqtisodiy samarador bo'lsa-da, kichik va mobil qo'llanishlar uchun og'ir va noqulay; PEM tizimlari ixcham va yuqori unumli bo'lsa-da, narxi qimmat va resurs talabchan. Kichik quvvatli, arzon va avtonom ishlovchi vodorod generatorlarini yaratish ilmiy-texnik dolzarb masala sifatida e'tirof etildi.

Adabiyotlar/Литература/References:

1. IEA. (2021). Global Hydrogen Review 2021. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>
2. Staffell, I., Scamman, D., Abad, A. V., Balcombe, P., Dodds, P. E., Ekins, P., ... & Ward, K. R. (2019). The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system. *Energy & Environmental Science*, 12(2), 463–491.
3. Bicer, Y., & Dincer, I. (2017). Clean hydrogen production from waste biomass using a novel solar reactor. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(2), 1475–1485.
4. Dincer, I., & Acar, C. (2015). Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(34), 11094–11111.
5. Armaroli, N., & Balzani, V. (2016). The hydrogen issue. *ChemSusChem*, 9(4), 403–407.
6. European Commission. (2020). A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/hydrogen_en
7. Zeng, K., & Zhang, D. (2010). Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36(3), 307–326.
8. Ursua, A., Gandia, L. M., & Sanchis, P. (2012). Hydrogen production from water electrolysis: current status and future trends. *Proceedings of the IEEE*, 100(2), 410–426.
9. Barbir, F. (2005). PEM electrolysis for production of hydrogen from renewable energy sources. *Solar Energy*, 78(5), 661–669.
10. Carmo, M., Fritz, D. L., Mergel, J., & Stolten, D. (2013). A comprehensive review on PEM water electrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(12), 4901–4934.
11. Millet, P., Grigoriev, S., Porembsky, V., & Fateev, V. (2011). Hydrogen production by water electrolysis: current trends and future prospects. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(6), 4134–4144.
12. Genc, B. (2019). Hydrogen production technologies: Current state and future developments. *International Journal of Energy Research*, 43(12), 6591–6613.
13. Mazloomi, K., & Gomes, C. (2012). Hydrogen as an energy carrier: Prospects and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3024–3033.
14. Carmo, M., Stamenkovic, V., & Stolten, D. (2014). Review of PEM water electrolysis: Cell design and materials. *Electrochimica Acta*, 130, 581–589.
15. Arico, A. S., Siracusano, S., & Baglio, V. (2015). PEM electrolysis: Materials and cell performance. *Journal of Power Sources*, 297, 249–260.
16. Vincent, I., & Bessarabov, D. (2018). Low cost hydrogen production by anion exchange membrane electrolysis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1690–1704.
17. Fujishima, A., & Honda, K. (1972). Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode. *Nature*, 238(5358), 37–38.

18. Goto, K., Umeda, M., & Nagasaka, T. (2017). Development of PV-electrolyzer hybrid system for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(30), 19371–19378.
19. Turner, J. A. (2004). Sustainable hydrogen production. *Science*, 305(5686), 972–974.
20. Andrews, J., & Shabani, B. (2012). Reconsidering the economics of photovoltaic hydrogen production. *Renewable Energy*, 35(9), 1931–1937.
21. Ahadi, M. M., & Lee, K. Y. (2017). MPPT techniques for PV systems: A review. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 12(6), 2220–2230.
22. Carmo, M., et al. (2020). Electrochemical challenges in designing PEM electrolyzers. *Electrochimica Acta*, 354, 136622.
23. Lin, R., & Zhu, H. (2016). Effects of electrolyte concentration on electrolysis efficiency. *Electrochemistry Communications*, 69, 65–69.
24. Wang, Y., Chen, K., & Zhang, S. (2021). Lightweight PEM electrolyzer for drone fuel application. *Journal of Power Sources*, 483, 229055.

TECHSCIENCE.UZ

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

№ 4 (3)-2025

TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL SCIENCES

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB MASALALARI**
elektron jurnali 15.09.2023-yilda 130344-
sonli guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan
o'tkazilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM"
mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika insituti.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.

Elektron manzil:

scienceproblems.uz@gmail.com