



QARABAĞ VƏ ŞƏRQİ ZƏNGƏZURDA HİDROGEN ENERJİSİNİN PERSPEKTİVLƏRİ VƏ EKO-SƏNAYE PARKLARININ İNKİŞAFI

Samirə ƏKBƏROVA

Mingəçevir Dövlət Universiteti, Azərbaycan

 : 0000-0003-4633-4914

Seymur ƏKBƏROV

*AzərEnerji ASC “Yaşıl enerji” ES MMC-nin Kəlbəcər rayon
“Nadixanlı” KSES, Azərbaycan*

 <https://doi.org/10.30546/12000021.2025.1.0049>

Xülasə. Məqalədə ekoloji cəhətdən təmiz enerji istehsalı üçün perspektivli mənbə olan hidrogenə diqqət yetirilir. O, həm global, həm də Azərbaycanda hidrogen enerjisinin inkişafını vurğulayır. Hidrogen yanacağının istehsalı üzrə beynəlxalq təcrübə araşdırılır. Məqalədə hidrogenin yanacaq kimi istifadəsi üçün müxtəlif istehsal və hasilat üsulları müzakirə olunur. Su elektrolizi ətraf mühitə uyğunluğuna görə perspektivli hidrogen istehsalı üsulu kimi qeyd edilir. Bu tədqiqat global yanacaq-energetika kompleksinin hazırkı vəziyyətinə, yəni hidrogen yanacağından istifadəyə yönəlib. Bu məqsədlə hidrogen enerjisi sektorunda Azərbaycanın potensial müttəfiqi ola biləcək qonşu ölkələrə hidrogenin çatdırılması üçün bütün mümkün imkanlar araşdırılır.

Açar sözlər: İstixana qazı emissiyaları, bərpa olunan enerji, elektroliz, hidrogen infrastruktur, hidrogen sənayesi, eko - sənaye parkları (ESP)



Giriş

Hidrogen müxtəlif üsullarla istehsal oluna bilən qaz halında olan bir elementdir. Hidrogen istehsalının ən çox yayılmış üsulu buxar metanının islahıdır, bu, hidrogen və karbon dioksid hasil etmək üçün təbii qazın yüksək temperaturlu buxarla reaksiya verməsini nəzərdə tutur. Hidrogen elektroliz yolu ilə külək, günəş və su kimi bərpa olunan enerji mənbələrindən də istehsal edilə bilər (Vidas & Castro, 2021). İstehsal edildikdən sonra hidrogen nəqliyyat, istilik və elektrik enerjisi istehsalı üçün yanacaq daxil olmaqla, müxtəlif tətbiqlərdə istifadə edilə bilər. Nəqliyyatda hidrogen yanacaq elementləri yan məhsul kimi yalnız su və istilik istehsal edərək nəqliyyat vasitələrini gücləndirmək üçün istifadə edilə bilər. Elektrik enerjisi istehsalında hidrogen elektrik enerjisi yaratmaq üçün yandırıla bilər və ya oksigenlə kimyəvi reaksiya yolu ilə elektrik enerjisi yaratmaq üçün yanacaq hüceyrələrində istifadə edilə bilər (Ferraren-De Cagaitan & Abundo, 2021).

Qlobal enerji kompleksində hidrogen potensialı

Hidrogen təmiz yanma xüsusiyyətlərinə, çox yönlüliyinə və yüksək enerji tərkibinə görə qlobal enerji qarışığında mühüm rol oynamaq potensialına malikdir. Nəqliyyat sektorunda hidrogenlə işləyən avtomobillər ənənəvi benzinlə işləyən nəqliyyat vasitələrini əvəz edə bilər və bununla da istixana qazı emissiyalarını azaldır. Bundan əlavə, hidrogen elektrik enerjisi istehsalı üçün yanacaq kimi istifadə oluna bilər, bərpa olunan enerji mənbələrinin şəbəkəyə inteqrasiyasına kömək edir və enerji saxlama qabiliyyətini artırır (De Blasio, 2021).

Bundan əlavə, hidrogen asanlıqla saxlanıla və nəql edilə bilər ki, bu da onu şəbəkənin sabitliyi və enerji təhlükəsizliyi üçün dəyərli enerji mənbəyinə çevirir. O, həmçinin külək və günəş kimi fasilələrlə bərpa olunan enerji mənbələrinin şəbəkəyə inteqrasiyasını dəstəkləmək üçün tamamlayıcı enerji mənbəyi kimi istifadə edilə bilər (Li, et al., 2020).

Daha təmiz və daha dayanıqlı enerji mənbələri axtarışında hidrogen ənənəvi qalıq yanacaqlara perspektivli alternativ olaraq ortaya çıxdı. Hidrogen kainatdakı ən yüngül və ən bol elementdir və yandıqda onun yeganə əlavə məhsulu sudur. Bu təmiz yanan xüsusiyyət, çox yönlüliyi və yüksək enerji tərkibi ilə birlikdə hidrogeni gələcək üçün perspektivli enerji mənbəyinə çevirmişdir. Bu icmal məqaləsində qlobal enerji qarışığının bir hissəsi kimi hidrogenin potensialını və cari inkişafını araşdıracağıq (Sazali, 2020).

2. Hidrogenin növləri

Molekulyar hidrogenin istehsalı üçün istifadə olunan enerji mənbəyi və istehsal üsulu hidrogenin boz hidrogen, mavi hidrogen və ya yaşıl hidrogen kimi təsnifatını müəyyən edir (Nikolaidis & Poullikkas, 2017).

2.1 Boz hidrogen

Hidrogenin ən çox yayılmış forması. Mavi hidrogenə bənzər bir prosesdə təbii qazı hidrogenə və CO₂-yə bölmək üçün buxar metan reforminqi (SMR) və ya avtotermal reforminq (ATR) üsullarından istifadə olunur. Bununla belə, CO₂ tutulmur və atmosfərə buraxılır (Nikolaidis & Poullikkas, 2017).

<https://www.enel.com/> məlumatlarına əsasən, hidrogen əsasən boz istehsal prosesinə görə “iqlim qatili” olaraq etikətlənib. Buxar islahatı və qazlaşdırma yolu ilə hidrogen istehsalı hər il İndoneziya və Böyük Britaniyanın birgə emissiyalarına bərabər olan əhəmiyyətli karbon emissiyaları yaradır. Bunun əksinə olaraq, hidrogenin yalnız kiçik bir hissəsi, təxminən 2% elektroliz yolu ilə istehsal olunur (Modh, 2022). Boz hidrogen aşağı karbonlu yanacaq hesab edilmir. Bunun əksinə olaraq, hidrogenin yalnız kiçik bir hissəsi, təxminən 2% elektroliz yolu ilə istehsal olunur (Modh, 2022). Qeyd etmək lazımdır ki, boz hidrogen aşağı karbonlu yanacaq hesab edilmir (Yu et al. 2021).

2.2 Mavi hidrogen

Boz hidrogenə bənzər mavi hidrogen buxar metanın islah edilməsi və ya qazlaşdırılması yolu ilə istehsal olunur. Bununla belə, mavi hidrogenin istehsalı prosesi zamanı yaranan karbon emissiyaları tutulur və saxlanılır, bu da onu daha ekoloji cəhətdən təmiz bir seçim edir (Yu et al., 2021). Bu karbon tutma prosesi Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS) kimi tanınır (Folger 2017). Ağır sənaye və enerji istehsalı şirkətləri də daxil olmaqla, mədən yanacaqlarından asılı olan sənayelər karbon izlərini azaltmaq üçün karbon tutma və saxlama (CCS) texnologiyasını tətbiq edirlər. Mükəmməl olmasa da, bu texnologiya istehsal olunan CO₂-nin 90%-ni tuta bilir və əhəmiyyətli təkmilləşdirmə təmin edir (Rashid, et al. 2020).

2.3 Yaşıl hidrogen

Proosta (2020) görə, yaşıl hidrogen istehsalı suyu hidrogen və oksigenə ayıran elektrolizdən istifadəni nəzərdə tutur. Yaşıl hidrogen, külək və ya günəş enerjisi kimi bərpa olunan enerji mənbəyindən istifadə etməklə istehsal olunan kimi müəyyən edilir (Gondal, et al., 2018). Yaşıl hidrogendən heç bir zərər vermədən istifadə edib ətraf mühitə oksigeni buraxa bilərik. Enerjiden istifadə edərək suyun parçalanması texnikası bahalı olsa da, boz hidrogenin istehsalı prosesindən (Qureshi, et al., 2022) daha ekoloji cəhətdən təmizdir və yaşıl hidrogeni ən təmiz seçim edir (Hassan, 2023).

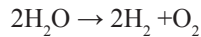
İstifadə və saxlama zamanı yaşıl hidrogen təhlükəsizliyi

Hidrogen enerjisi hazırda bütün dünyada perspektivli yanacaq növüdür. Cəmiyyət ekoloji vəziyyətin yaxşılaşdırılmasına diqqət yetirir, ona görə də hidrogen enerjisi bu problemin həlli yollarından biri kimi yeni səviyyəyə çatır. İnkişaf etməkdə olan və inkişaf etmiş ölkələr hidrogenin əsas innovativ yanacaq kimi istifadəsinə maraq göstərir.

Buna görə də dünyanın bir çox ölkələrində genişmiqyaslı hidrogen istehsalı üçün çoxsaylı pilot layihələr yaradılmışdır. Enerji ehtiyacları üçün hidrogen əldə etməyin bir çox yolu var, bunlardan əsasları bunlardır:

- su elektrolizi;
- metanın buxar reformasiyası;
- kömürün qazlaşdırılması;
- piroliz.

Bu siyahıdan ən ekoloji cəhətdən təmiz hidrogen istehsal mənbəyi yalnız elektroliz yolu ilə təmiz hidrogen (H_2) və oksigen (O_2) istehsal edən sudur:



Bu metodun yeganə çatışmazlığı, əslində hidrogen istehsal etmək üçün istifadə olunan hidrogeni istehsal etmək üçün elektrik enerjisindən istifadə ehtiyacıdır.

İqtisadi və texniki amillər də daxil olmaqla bir çox amillər təbii qazdan hidrogen istehsalının maya dəyərinə təsir göstərir. Bunlardan ən mühüm ikisi qaz qiymətləri və əsaslı xərclərdir. (Maggio, et al., 2019)

Yanacaq əsas məsrəf elementidir və istehsal xərclərinin 45%-75%-ni təşkil edir. Şimali Amerika, Yaxın Şərq və Rusiya qaz qiymətlərinin aşağı olması səbəbindən hidrogen istehsalına ən aşağı xərclərə malikdir. Yüksək qaz idxal qiymətləri Yaponiya, Koreya, Çin və Hindistan kimi qaz idxalçılarını hidrogen istehsalı xərclərini artırmağa məcbur edir (Lebrouhi et al., 2022).

Su elektrolizi hal-hazırda qlobal hidrogen istehsalının 0,1%-dən azını təşkil etsə də, onun potensialı bərpa olunan elektrik enerjisinin, xüsusən də günəş UV və külək mənbələrinin dəyərinin azalması səbəbindən artır. Aşağı karbonlu yanacaq kimi elektrolitik hidrogenə maraq artır.

Bərpa olunan enerji mənbələrinin bol olduğu yerlərdə elektrolizatorların tikintisi, hidrogenin istehsal müəssisələrindən son istifadəçilərə nəqli xərclərini əlavə etdikdən sonra belə, hidrogen istehsalı üçün daha ucuz üsula çevrilmək potensialına malikdir (Ayodele & Munda, 2019).

Yaşıl hidrogen istehsalının hər kiloqramı təxminən 2 dollara başa gəlir (cari ABŞ qiymətlərinə əsasən) (Xiang, et al., 2021). Qəhvəyi hidrogenin hər kiloqramı 2 dollara başa gəlir və ucuz kömürdən istehsal olunur (Longden, et al., 2022). Təbii qaz və karbon tutma və saxlama nəticəsində hasil edilən mavi hidrogenin qiyməti ABŞ-da hər kq üçün 5-7 dollar, Avropa və Avstraliyada isə 7-11 dollar arasında dəyişir (Khan, et al., 2021). Elektroliz vasitəsilə bərpa olunan enerjiden yaşıl hidrogen istehsalının dəyəri hər kq üçün 10-15 dollar arasında dəyişir (Phoumin, 2021).

Fraking yolu ilə əldə edilən ucuz təbii qazdan əldə edilən boz hidrogen ABŞ-da hər kq üçün 2 ABŞ dollarına başa gəlir, lakin Avropa, Avstraliya və Asiyada təbii qaz qiymətlərinin artması səbəbindən onun hər kiloqramı 5-6 ABŞ dollarına başa gəlir (Chang13 & Phoumin, 2021). Hidrogen istehsalı xərclərinin xülasəsi Şəkil 1-də təqdim olunur.

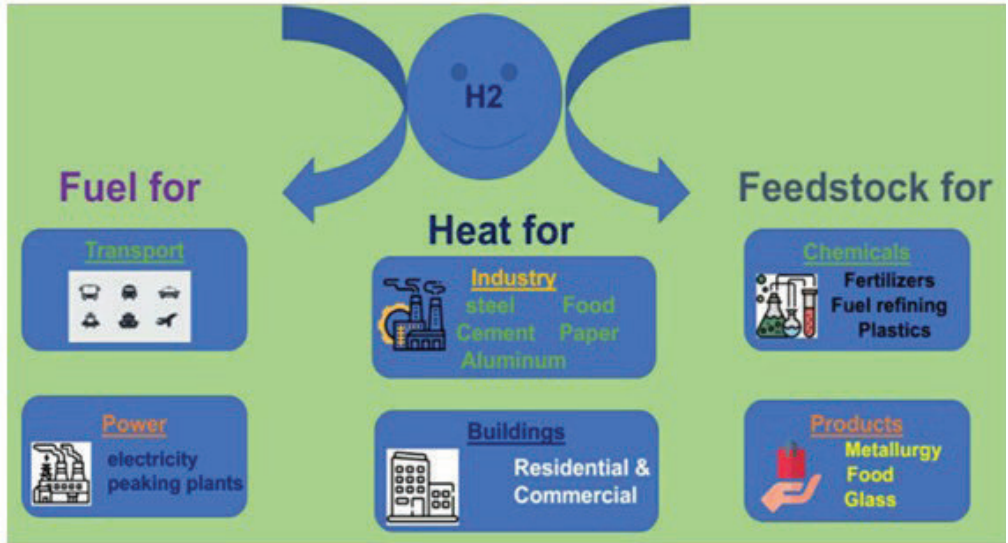
Şəkil 1.

	Hydrogen Types	Carbon Intensity	Production \$/kg H ₂
Green Hydrogen	SGH2 Greener than green hydrogen	Depending on feedstock, it can be up to -200gCO ₂ eq/MJ (less than 0 kg of CO ₂ per kg of H ₂)	\$2 - \$3
Green Hydrogen	Green Hydrogen (Electrolysis)	0gCO ₂ eq/MJ	\$6 - \$8
Hydrogen From Fossil Fuels	Grey Hydrogen from NatGas	+12 kgCO ₂ /kgH ₂	\$2 - \$6 (cost natural gas)
Hydrogen From Fossil Fuels	Brown Hydrogen from Gasification of coal	+20 kgCO ₂ /kgH ₂	\$2 - \$3
Blue Hydrogen With Carbon Capture & Sequestration	Grey Hydrogen	+12 kgCO ₂ /kgH ₂ with CCS	\$4 - \$8
Blue Hydrogen With Carbon Capture & Sequestration	Brown Hydrogen	+20 kgCO ₂ /kgH ₂ with CCS	\$4 - \$5

2020-ci ildə hidrogen tələbatı təxminən 87 milyon metrik ton (MT) idi və 2050-ci ilə qədər 500-680 milyon MT-a qədər artacağı gözlənilir (Conelly, et al.2020). Hidrogen bazarı 2020-ci ildə 130 milyard ABŞ dolları dəyərində qiymətləndirilib və 2030-cu ilə qədər illik 9,2% mürəkkəb artım tempi ilə böyüməsi proqnozlaşdırılır. Halbuki, bu gün istehsal olunan hidrogenin çox hissəsi qalıq yanacaqlardan, yalnız kiçik bir hissəsi yaşıl enerjiddən gəlir. Hazırda dünyada təbii qazın 6%-i və kömürün 2%-i hidrogen istehsalı üçün istifadə olunur (Megia et al., 2021).

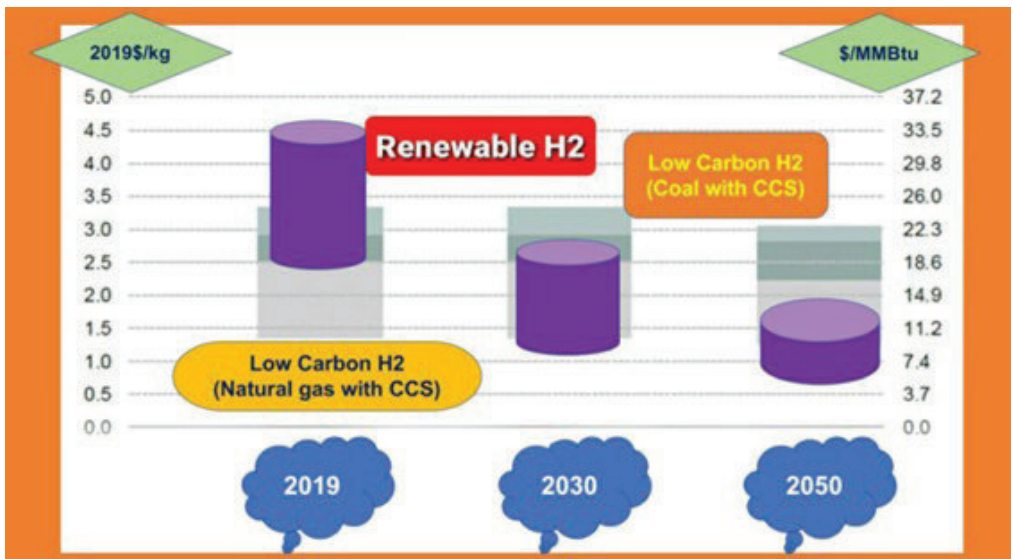
Buna baxmayaraq, enerji istehsalı, polad və sement istehsalı, elektrik nəqliyyat vasitələri üçün yanacaq elementləri, gəmiçilik kimi ağır yük daşımaları və gübrələr, təmizləyici məhsullar, soyutma və şəbəkə stabilizasiyası üçün yaşıl ammonyak istehsalı daxil olmaqla, bir sıra sənaye sektorlarında hidrogendən istifadənin genişlənməsi səbəbindən yaşıl hidrogen istehsalı texnologiyaları sürət qazanır (Medvedenko & Voitas, 2022). Yaşıl hidrogen tətbiqlərinin xülasəsi Şəkil 2-də təqdim olunur.

Şəkil 2.



Bundan əlavə, yaşıl hidrogen istehsalının kommersiya məqsəduyğunluğu bərpa olunan enerji mənbələrinin maya dəyərinin azalması, elektrolizatorun xərclərinin azalması və texnoloji irəliləyişlər vasitəsilə səmərəliliyin artırılması hesabına artmışdır. 2050-ci ilə qədər dünya üzrə irimiqyaslı layihələr üçün hidrogen istehsalının proqnozlaşdırılan xüsusi dəyəri aşağıdakı şəkildə təqdim olunur (Medvedenko & Voitas, 2022).

Şəkil 3.



Bloomberg New Energy Finance 2020-yə görə, 2050-ci ilə qədər dünyanın əksər regionlarında yaşıl hidrogen istehsalının təxmini dəyəri Şəkil 3-də göstəriləndiyi kimi hər kq üçün 0,70 və 1,60 ABŞ dolları arasında ola bilər. Bu xərc proqnozu göstərir ki, bu xərclər azalmağa davam edərsə, yaşıl hidrogen təbii qazla rəqəbatqabiliyyətli ola bilər. Dünyanın ən böyük elektrolizator istehsalçısı və istehsalçısı olan NEL, 2025-ci ildə yaşıl hidrogen istehsalının xərc paritetinə və ya hətta üstünlüyünə 2025-ci ildə nail oluna biləcəyini proqnozlaşdırır (Lebrouhi et al., 2022).

Eko-sənaye parkı (ESP) ilə hidrogen istehsalı arasında əlaqə

Eko-sənaye parkları (ESP) davamlı inkişafı təşviq etmək, təbii ehtiyatları qorumaq və istixana qazları emissiyalarını azaltmaq üçün getdikcə populyar bir üsula çevrilir. ESP konsepsiyası daha davamlı və səmərəli sənaye ekosistemi yaratmaq yolu kimi populyarlıq qazanır. ESP-nin əsas ideyası tullantıları minimuma endirmək və resurslardan istifadəni optimallaşdırmaq üçün nəzərdə tutulmuş sənaye və kommersiya müəssisələrinin klasterini yaratmaqdır (Boix et al., 2015).

ESP-lərin davamlı inkişafa töhfə verməsinin bir yolu hidrogen istehsalıdır. Hidrogen bir çox sənayedə əsas enerji mənbəyi kimi qalığ yanacaqları əvəz edə bilən enerji daşıyıcısıdır. Hidrogen istehsalı aşağı karbonlu enerji sisteminə keçid istiqamətində mühüm addımdır, çünki ondan elektrik enerjisi, istilik və yanacaq nəql etmək üçün istifadə edilə bilər (Kuznetsova et al., 2016).

Eko-sənaye parklarında hidrogen istehsalının üstünlükləri

Birincisi, ESP-lər hidrogen istehsalı və paylanması üçün lazımi infrastrukturunu təmin edə bilər. ESP-lər tullantıların minimuma endirilməsinə və resurs istifadəsinin optimallaşdırılmasına diqqət yetirməklə yüksək dərəcədə inteqrasiya olunmaq üçün nəzərdə tutulmuşdur. Bu, onları hidrogen istehsalı üçün ideal yer halına gətirir, çünki bu fəaliyyəti dəstəkləmək üçün infrastruktur artıq mövcuddur (Lawal et al., 2021).

İkincisi, ESP-lər hidrogen istehsalının maya dəyərini azalda bilər. Obyektləri vahid məkanada birləşdirərək, ESP-lər nəqliyyat və paylama xərclərini azalda bilər, hidrogeni müəssisələr və istehlakçılar üçün daha əlçatan edir (B. Reda et al., 2021). Bundan əlavə, hidrogen istehsalının ESP-lərə inteqrasiyası hidrogen istehsalı xərclərini daha da azaltmaqla daha böyük miqyasda qənaəətə gətirib çıxara bilər (Lawal, et al., 2021).

Üçüncüsü, ESP-lərdə hidrogen istehsalı enerji təhlükəsizliyini təkmilləşdirir və istixana qazı emissiyalarını azalda bilər. Yerli olaraq hidrogen istehsal etməklə, ESP-lər idxal olunan enerji mənbələrindən asılılığı azalda və hidrogenin uzun məsafələrə daşınması ilə əlaqədar emissiyaları azalda bilər. Bu, enerji sektorunun karbon izini azaltmağa kömək edə bilər və onu uzunmüddətli perspektivdə daha davamlı hala gətirə bilər (Lawal, et al., 2021).

Ekosənaye parklarında hidrogen istehsalı problemləri

Eko-sənaye parklarında hidrogen istehsalının bir çox üstünlüklərinə baxmayaraq, həll edilməli olan bəzi problemlər də var. Ən böyüklərindən biri hidrogen istehsalının yüksək qiymətidir. Hidrogen istehsalı nisbətən bahalı olaraq qalır və bir çox şirkətlər bu texnologiya daha sərfəli olana qədər investisiya etmək istəmirlər (Eljack & Kazi, 2021).

Digər problem hidrogen infrastrukturunun olmamasıdır. Eko-sənaye parklarında uğurlu hidrogen istehsalı bu fəaliyyəti dəstəkləmək üçün yaxşı inkişaf etmiş infrastruktur tələb edir. Buraya boru kəmərləri, anbar obyektləri və paylayıcı şəbəkələr daxildir. Bu infrastrukturun inkişafı mürəkkəb və bahalı prosesdir və onun tam başa çatdırılması bir neçə il çəkə bilər (Boix et al., 2015).

Nəhayət, hidrogen istehsalı sahəsində daha intensiv tədqiqat və inkişafa ehtiyac var. Son illərdə bu sahədə əldə edilmiş əhəmiyyətli irəliləyişlərə baxmayaraq, hidrogen istehsalının səmərəliliyini və qənaətcilliyini artırmaq üçün hələ çox işlər görülməlidir.

Nəticə

Hidrogen, gələcəkdə yanacaq-energetika kompleksində əhəmiyyətli pay tuta bilən ekoloji cəhətdən təmiz enerji resursudur. Bununla belə, hidrogenə sürətli keçid haqqında danışmaq hələ tezdir, çünki onun enerji resursu kimi geniş şəkildə mənimsənilməsinin əsas şərtlərindən biri hidrogenin ekoloji cəhətdən təmizliyi və onun nisbi qiymətinə hələ də nail olunmamasının optimal kombinasiyasıdır.

Hidrogen global enerji kompleksində və aşağı karbonlu iqtisadiyyata keçiddə mühüm rol oynamaq potensialına malikdir. Ətraf mühitə uyğunluğu, universallığı və yüksək enerji dəyəri onu gələcək üçün perspektivli enerji mənbəyinə çevirir. Bununla belə, hidrogen enerjisinin inkişafı hələ ilkin mərhələdədir və onun tam potensialının reallaşdırılması hidrogen istehsalı, infrastruktur və texnologiya sahəsində əhəmiyyətli investisiyalar və irəliləyişlər tələb edir. Kiçik miqdarda enerji istehsal etmək üçün böyük miqdarda hidrogen tələb olunduğundan, global enerji qarışığının bir hissəsi kimi hidrogenin gələcəyi bu perspektivli enerji mənbəyinin inkişafı və kommertsialaşdırılmasına hökumətlərin, sənayenin və tədqiqatçıların davamlı investisiya və öhdəliklərindən asılı olacaq. Sonda müəlliflər hesab edirlər ki, hidrogen təmiz enerjiyə olan böyük ehtiyacın həlli olacaq və buna görə də onun əhəmiyyətinin global şəkildə tanınması xüsusilə onun istehsalını dəstəkləyə bilən sənayelərdə vacibdir.

Yekun olaraq qeyd edək ki, eko - sənaye parkları ilə hidrogen istehsalı arasında əlaqə vacibdir, çünki bu, daha dayanıqlı və aşağı karbonlu enerji sisteminə keçidi asanlaşdırır. Hidrogen istehsalının yüksək qiyməti və infrastrukturun olmaması kimi aradan qaldırılmalı olan çətinliklər olsa da, eko-sənaye parklarında hidrogen istehsalı da bir sıra üstünlüklər təklif edir. Sənayeləri klasterləşdirmək, xərcləri azaltmaq və enerji təhlükəsizliyini artırmaqla eko-sənaye parkları daha dayanıqlı enerji sisteminin inkişafında mühüm rol oynaya bilər. Su elektrolizi, buxar metanının islahatı və biohidrogen istehsalı kimi texnologiyaların inkişafı da eko-sənaye parklarında hidrogen istehsalının artmasına kömək edir.

Açıqlama bəyanatı

Müəllif(lər) tərəfindən hər hansı potensial marağın toqquşması ilə bağlı məlumat verilməmişdir .

Ədəbiyyat və qeydlər:

- Vidas, L., & Castro, R. (2021). Recent developments on hydrogen production technologies: State-of-the-art review with a focus on green-electrolysis. *Applied Sciences*, 11(23), 11363.
- Ferraren-De Cagalitan, D., & Abundo, M. (2021). A review of biohydrogen production technology for application towards hydrogen fuel cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111413.
- De Blasio, N. (2021). The role of clean hydrogen for a sustainable mobility. *Environment and Natural Resources Program Papers*.
- Li, Z., Zhang, W., Zhang, R., & Sun, H. (2020). Development of renewable energy multi-energy complementary hydrogen energy system (A Case Study in China): A review. *Energy Exploration & Exploitation*, 38(6), 2099–2127.
- Sazali, N. (2020). Emerging technologies by hydrogen: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(38), 18753–18771.
- Nikolaidis, P., & Poullikkas, A. (2017). A comparative overview of hydrogen production processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 597–611.
<https://www.enel.com/>
- Modh, B. (2022). Hydrogen: A future source of energy (Doctoral dissertation, School of Petroleum Management).
- Yu, M., Wang, K., & Vredenburg, H. (2021). Insights into low-carbon hydrogen production methods: Green, blue and aqua hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(41), 21261–21273.
- Folger, P. F. (2017). Carbon capture and sequestration (CCS) in the United States.
- Rashid, M. I., Benhelal, E., & Rafiq, S. (2020). Greenhouse gas emissions reduction from gas, oil and coal power plants of Pakistan by carbon capture and storage (CCS): A review. *Chemical Engineering and Technology*, 43, 1–10.
- Proost, J. (2020). Critical assessment of the production scale required for fossil parity of green electrolytic hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(35), 17067–17075.
- Gondal, I. A., Masood, S. A., & Khan, R. (2018). Green hydrogen production potential for developing a hydrogen economy in Pakistan. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(12), 6011–6039.
- Qureshi, F., Yusuf, M., Kamyab, H., Vo, D. V. N., Chelliapan, S., Joo, S. W., & Vasseghian, Y. (2022). Lat est eco-friendly avenues on hydrogen production towards a circular bioeconomy: Currents challenges, innovative insights, and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168, 112916.
- Hassan, Q., Abdulateef, A.M., Hafedh, S.A., Al-samari, A., Abdulateef, J., Sameen, A.Z., Salman, H.M., Al-Jiboory, A.K., Wieteska, S., & Jaszczur, M. (2023). Renewable energy-to-green hydrogen: A review of main resources routes, processes and evaluation. *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Maggio, G., Nicita, A., & Squadrito, G. (2019). How the hydrogen production from RES could change energy and fuel markets: A review of recent literature. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(23), 11371–11384.
- Lebrouhi, B., Djoupo, J. J., Lamrani, B., Benabdelaziz, K., & Kousksou, T. (2022). Global hydrogen development-A technological and geopolitical overview. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(11), 7016–7048.

- Ayodele, T., & Munda, J. (2019). Potential and economic viability of green hydrogen production by water electrolysis using wind energy resources in South Africa. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(33), 17669–17687.
- Xiang, H., Ch, P., Nawaz, M. A., Chupradit, S., Fatima, A., & Sadiq, M. (2021). Integration and economic viability of fueling the future with green hydrogen: An integration of its determinants from renewable economics. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(77), 38145–38162.
- Longden, T., Beck, F. J., Jotzo, F., Andrews, R., & Prasad, M. (2022). 'Clean' hydrogen?—Comparing the emissions and costs of fossil fuel versus renewable electricity based hydrogen. *Applied Energy*, 306, 118145.
- Khan, M. M. K., Azad, A. K., & Oo, A. M. T. (Eds.). (2023). *Hydrogen Energy Conversion and Management*. Chicago: Elsevier.
- Phoumin, H., Kimura, F., & Arima, J. (2021). Potential green hydrogen from curtailed electricity in ASEAN: The scenarios and policy implications. *Energy Sustainability and Climate Change in ASEAN*, 195–216.
- Chang, Y., & Phoumin, H. (2021). Curtailed electricity surplus from renewables for hydrogen: economic and environmental analysis. Yanfei Li Han Phoumin, 225.
- Connelly, E., Penev, M., Milbrandt, A., Roberts, B., Melaina, M. W., & Gilroy, N. (2020). Resource assessment for hydrogen production.
- Maggio, G., Nicita, A., & Squadrito, G. (2019). How the hydrogen production from RES could change energy and fuel markets: A review of recent literature, *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(23), 11371–11384.
- Medvedenko, D. & Voitas, A. (2022). The prospects for the development of a «green» economy in the world and in the Republic of Belarus.
- Boix, M., Montastruc, L., Azzaro-Pantel, C., & Domenech, S. (2015). Optimization methods applied to the design of eco-industrial parks: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 87, 303–317.
- Kuznetsova, E., Zio, E., & Farel, R. (2016). A methodological framework for eco-industrial park design and optimization. *Journal of Cleaner Production*, 126, 308–324.
- Lawal, M., Alwi, S. R. W., Manan, Z. A., & Ho, W. S. (2021). Industrial symbiosis tools—A review. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124327.
- Eljack, F., & Kazi, M.-K. (2021). Prospects and challenges of green hydrogen economy via multi-sector global symbiosis in Qatar. *Frontiers in Sustainability*, 1, 612762.

Müəllifin əlaqə məlumatı

E-mail ünvanı: samira.mustafayeva@mdu.edu.az
seymurakberov385@gmail.com