

## Կանաչ ջրածնի տնտեսական նպատակահարմարությունը և զարգացման հեռանկարները Հայաստանում

Մանուկյան Սարգիս Ֆ.

տ.գ.թ., Տեխնոլոգիաների կառավարման ամբիոնի դոցենտ,  
Ինժեներական տնտեսագիտության և կառավարման ֆակուլտետ,  
Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան (Երևան, ՀՀ)

 <https://orcid.org/0009-0001-0485-4869>

[sarkis.ar@gmail.com](mailto:sarkis.ar@gmail.com)

ՀՏԳ՝ 320.91; 338.45; EDN: TPVNCM; JEL: O13, P48, Q42, Q43, Q47

DOI: 10.58587/18292437-2024.6-185

Հանգուցաբառեր և բառակապակցություններ՝ կանաչ ջրածին, վերականգնվող էներգիա, էլեկտրոլիզի կայաններ (էլեկտրոլիզատորներ), տնտեսական նպատակահարմարություն

### Экономическая целесообразность использования зеленого водорода и перспективы развития в Армении

Манукян Саркис Ф.

к.т.н, доцент кафедры технологического менеджмента,  
Факультет инженерной экономики и менеджмента,  
Национальный Политехнический Университет Армении (Ереван, РА)

**Аннотация.** Производство и использование зеленого водорода (GH<sub>2</sub>) в Армении имеет экономический потенциал благодаря имеющимся в стране возобновляемым источникам энергии. Цель данной статьи – с помощью показателей различных международных проектов и с помощью экономических расчетов выяснить, может ли производство зеленого водорода быть экономически целесообразным в Армении в настоящее время, а также в долгосрочной перспективе. С точки зрения экономической целесообразности производство и применение зеленого водорода может поддержать различные отрасли. Во-первых, это приведет к внедрению новых технологий и созданию рабочих мест в энергетическом и промышленном секторах. Во-вторых, это может способствовать участию Армении на международных энергетических рынках, особенно в проектах по передаче энергии для Европейского Союза и соседних стран. Использование транспортных средств, работающих на водородном топливе, также может внести значительный вклад в развитие логистической отрасли и снижение негативных последствий для окружающей среды.

**Ключевые слова и словосочетания:** зеленый водород, возобновляемая энергетика, электролизные установки (электролизеры), экономическая целесообразность

### Economic feasibility of green hydrogen and development prospects in Armenia

Manukyan Sarkis F.

Associate Professor, Chair of Technological Management, PhD,  
Faculty of Engineering Economics and Management,  
National Polytechnic University of Armenia (Yerevan, RA)

**Abstract.** The production and use of green hydrogen (GH<sub>2</sub>) in Armenia has economic potential due to the renewable energy resources available in the country. The purpose of this article is to find out with the help of indicators of various international projects and with the help of economic calculations whether the production of green hydrogen can be economically feasible in Armenia at the present time, as well as in the long term. From the point of view of economic feasibility, the production and application of green hydrogen can support various sectors. First, it will lead to the introduction of new technologies and create jobs in the energy and industrial sectors. Second, it can promote Armenia's participation in international energy markets, especially in energy transmission projects for the European Union and neighboring countries. The use of vehicles powered by hydrogen fuel can also significantly contribute to the development of the logistics sector and the reduction of negative consequences affecting the environment.

**Keywords & phrases:** green hydrogen, renewable energy, electrolysis plants (electrolyzers), economic feasibility

Մարտի ջրածնի, մասնավորապես նաև կանաչ ջրածնի նկատմամբ հետաքրքրությունը ամբողջ աշխարհում արագ աճում է: Կանաչ ջրածնի արտադրության ծախսերը դեռևս բարձր են, սակայն ակնկալվում է, որ 2030 թվականին կանաչ ջրածնի արտադրության ծախսերը

կլրճատվեն մոտ 50%-ով՝ ի շնորհիվ տեխնոլոգիաների զարգացման և արտադրության մասշտաբների ընդլայնման: Հայաստանը պետք է ներկա պահից հայտ ներկայացնի կանաչ ջրածնի ծրագրերի զարգացման համար:

Կանաչ ջրածնի արտադրությունը հնարավորություն կտա Հայաստանին նվազեցնել ներմուծվող վառելիքի ծախսերը և մեծացնել ներքին աղբյուրներից ստացվող էներգիայի ծավալները: Դա իր հերթի կրերի շրջակա միջավայրի որակի և ազգաբնակչության առողջապահական խնդիրների բարելավմանը՝ պայմանավորված արդյունաբերական և տրանսպորտային վառելիքի այրման արդյունքում արտանետումների նվազեցմամբ:

Կանաչ ջրածնի զարգացման հեռանկարները Հայաստանում ենթադրում են արտադրական և գիտահետազոտական համագործակցությունների զարգացում միջազգային գործընկերների հետ, հատկապես Գերմանիայի և Ֆրանսիայի հետ: Գերմանական և ֆրանսիական տեխնոլոգիաների ու փորձի կիրառումը թույլ կտա Հայաստանում հիմնադրել բարձր արդյունավետությամբ ջրածնային արտադրական ենթակառուցվածքներ: Իրանի հետ համագործակցությունը նույնպես կարող է ընդլայնել տարածաշրջանային էներգետիկ ծրագրերը:

Հողվածում ներկայացվում է կանաչ ջրածնի զարգացման հիմնական շուկայական և տեխնոլոգիական միտումները, Հայաստանում դրա զարգացման փուլերը և այդ նախագծերի տնտեսական նպատակահարմարությունը:

Հայաստանում կանաչ ջրածնի զարգացումը հեռանկարային է տնտեսական, էներգետիկ և էկոլոգիական շահերի առումով և անհրաժեշտ ծավալի ներդրումների ու ճիշտ քաղաքականության դեպքում այն կարող է դառնալ երկրի էներգետիկ ապագայի կարևոր բաղադրիչներից: Կանաչ ջրածնի հետ կապված այս հետազոտությունը շարունակական բնույթ է ունենալու: Հաջորդ հոդվածներում կանդրադառնանք կանաչ մյուս օգուտներին՝ ներկրվող վառելիքի ծավալների կրճատման, արտանետումների կրճատման և ազգաբնակչության առողջապահական որակի բարելավման ենթատեքստում:

### ***Կանաչ ջրածնի շուկայական և տեխնոլոգիական միտումները***

Ավելի քան 30 երկրներ հրապարակել են ջրածնի ազգային ռազմավարություններ՝ ուրվագծելով ջրածնի արտադրության և կիրառության խթանման իրենց ծրագրերը [1]: Եվրամիությունը, Ճապոնիան, Հարավային Կորեան, Ավստրալիան և Սաուդյան Արաբիան իրենց երկարաժամկետ էներգետիկ ծրագրերում կանաչ ջրածնի առաջնահերթություն ունեցող երկրների թվում են: Տարբեր երկրներ՝ Չինաստանը, Գերմանիան, Նիդեռլանդները և Ավստրալիան, ակտիվորեն ներդրումներ են կատարում այս ոլորտում՝ մեծացնելով արտադրական հզորությունները:

Այն երկրները, որոնք մեծապես կախված են ներկրվող հանածո վառելիքից (օրինակ՝ նավթ, ածուխ և բնական գազ) կարող են օգտագործել կանաչ ջրածինը իրենց էներգետիկ անվտանգությունն ամրապնդելու համար: Ջրածին արտադրելով օգտագործելով տեղական վերականգնվող էներգիայի ռեսուրսները, երկրները կարող են նվազեցնել իրենց կախվածությունը միջազգային անկայուն շուկաներից:

Քանի որ աշխարհում մեծանում է վերականգնվող էներգիայի արտադրությունը, վերականգնվող էներգիայի ավելցուկային հզորությունները կարող են օգտագործվել կանաչ ջրածին արտադրելու համար՝ կանխելով թափոնները և ապահովելով ավելցուկային էներգիայի օգտագործում:

Կանաչ ջրածինը կարող է դառնալ համաշխարհային առևտրում վաճառվող էներգետիկ ապրանք, որտեղ վերականգնվող ռեսուրսներով հարուստ երկրները արտահանման համար կարտադրեն ջրածին: Սա կարող է հանգեցնել միջազգային նոր էներգետիկ շուկաների զարգացմանը՝ օգնելով դիվերսիֆիկացնել էներգակիրների համաշխարհային մատակարարումները և նվազեցնել կախվածությունը ավանդական նավթ ու գազ արտահանողներից [2, էջ 14]:

Կանաչ ջրածնի համաշխարհային միտումները նշանավորվում են արտադրական հզորությունների արագ աճով, տեխնոլոգիական նորարարությամբ և կառավարությունների կողմից աջակցող քաղաքականությամբ: Հիմնական նորարարությունները կապված են էլեկտրոլիզատորների արդյունավետության բարձրացման և արտադրության ծախսերի նվազեցման հետ, ինչպես նաև ջրածնի պահեստավորման և տարանցման խնդիրների լուծման հետ [3]:

Ծախսերի նվազման և միջազգային համագործակցության աճի պայմաններում կանաչ ջրածինը առանցքային դեր կխաղա առաջիկա տասնամյակների ընթացքում համաշխարհային էներգետիկ փոխակերպումների մեջ [4, էջ 2]: Նշենք այդ միտումներից մի քանիսը՝

#### *Կանաչ ջրածնի արտադրության ընդլայնում*

Ամենակարևոր միտումներից մեկը դա վերջին երկու տարում էլեկտրոլիզատորների հզորությունների աճն է: Ծառ երկրներ մշակում են լայնածավալ էլեկտրոլիզի կայաններ՝ վերականգնվող էներգիայի օգտագործմամբ կանաչ ջրածին արտադրելու համար: ԵՄ-ն թիրախ է սահմանել մինչև 2030 թվականը հասնել կանաչ ջրածնի արտադրության էլեկտրոլիզատորների 40 ԳՎտ գումարային հզորության [5]:

#### *Վերականգնվող էներգիայի ինտեգրում*

Կանաչ ջրածնի արտադրությունը սերտորեն կապված է վերականգնվող էներգիայի առկայության հետ: Արևային և հողմային էներգիայի

ռեսուրսներով հարուստ երկրները, ինչպիսիք են՝ Ավստրալիան, Սաուդյան Արաբիան և Չինի, նպատակ ունեն դառնալ կանաչ ջրածնի արտահանման առաջատարներ երկրներ: Այս երկրները իրենց դիրքավորում են որպես կանաչ ջրածնի ապագա արտահանողներ դեպի էներգիա ներկրող այնպիսի երկրներ և տարածաշրջաններ, ինչպիսիք են՝ Ճապոնիան և ԵՄ-ն:

*Ջրածնի կլաստերներ և հովիտներ*

Շատ երկրներ ստեղծում են «ջրածնի հովիտներ» կամ կլաստերներ, որտեղ ջրածնի արտադրությունը, պահեստավորումը և օգտագործումը ինտեգրված են տեղական արդյունաբերական տարբեր կլաստերների հետ: Եվրոպան դարձել է այս մոդելի առաջամարտիկը՝ Hydrogen Valleys Initiative կլաստերով, որը կապում է կանաչ ջրածնի արտադրությունը արդյունաբերական և տրանսպորտային համակարգերի հետ [6]:

*Վառելիքի բջիջների տեխնոլոգիա*

Կանաչ ջրածինը կարևոր նշանակություն ունի փոխադրումներում, կայուն էներգիայի արտադրության և պահեստավորված էներգիայի համակարգերում օգտագործվող վառելիքի բջիջների համար: Վառելիքի բջիջների ջրածնային էներգիայով աշխատող ավտոմեքենաները, բեռնատարները և ավտոբուսները դառնում են ավելի կենսունակ: Որոշ ավտոարտադրողները, ինչպիսիք են՝ Toyota-ն, Hyundai-ն և Nikola-ն, առաջատար են այս ոլորտում: Ջրածնային վառելիքային բջիջների էներգարկները շատ արագ են լիցքավորվում: Եթե էլեկտրական մեքենայի լիցքավորումը տևում է 30 րոպեից մինչև մի քանի ժամ, ապա ջրածնային վառելիքի բջիջները լիցքավորվում են 5-ից 10 րոպեում [7, էջ 4]:

*Ջրածնի պահպանման և փոխադրման տեխնոլոգիաներ.*

Ջրածնի պահեստավորման համար նախատեսված տարաների մշակումը շատ կարևոր է ջրածնի տնտեսությունը մեծացնելու համար: Ջրածին տեղափոխող ժամանակակից, հզոր տանկերները, որոնք հեղուկ ջրածինը պահում են -253 C ջերմաստիճանում՝ կարողանում են ապահովել մեծ ծավալների տեղափոխում, արտահոսքի բացակայություն և անվտանգություն:

Անվտանգ և ծախսարդյունավետ պահեստավորման և փոխադրման լուծումները կարևոր նշանակություն ունեն կանաչ ջրածնի համար: Այստեղ նորարարությունները ներառում են հետևյալ ուղղություններով զարգացումը.

-Սեղմված ջրածին և հեղուկ ջրածին:

-Ամոնիակը որպես կրիչ. ջրածինը կարող է վերածվել ամոնիակի՝ ավելի հեշտ տեղափոխման համար, այնուհետև նշանակման վայրում նորից վերածվում է ջրածնի:

-Ջրածնի տեղափոխման խողովակաշարեր. հատուկ խողովակաշարերի կառուցումը կամ ջրածնի փոխադրման համար գոյություն ունեցող բնական գազի խողովակաշարերի վերազինումը թափ է հավաքում:

**Տնտեսական նպատակահարմարությունը**

Ինչպես նշել ենք, կանաչ ջրածնի ստացման առավել տարածված ձևերից մեկը ջրի էլեկտրոլիզն է, որի դեպքում ջուրը բաժանվում է ջրածնի և թթվածնի: Սովորաբար, մեկ կիլոգրամ ջրածին ստանալու համար անհրաժեշտ է շուրջ 50-55 կՎտժ էներգիա: Որոշ ավելի նորարարական տեխնոլոգիաներ ծախսում են նույնիսկ 40-45 կՎտժ կամ ավելի քիչ էներգիա: Սակայն, ստացված մեկ կիլոգրամ ջրածինը պարունակում է մոտ 33,6 կՎտժ-ին համարժեք էներգիա՝ քիմիական էներգիայի տեսքով:

Սա նշանակում է, որ էլեկտրոլիզի ընթացքում էներգիայի մի զգալի մասը կորչում է և ծախսված էներգիայի հետ համեմատած ստացված էներգիայի համարժեք քանակը քիչ է՝ մոտավորապես 30-40% կորուստի չափով: Կորուստները հիմնականում պայմանավորված են էլեկտրականության ջերմության վերածման և սարքավորումների էներգետիկ արդյունավետության սահմանափակումներով: Այդ դեպքում, որն է տրամաբանությունը, երբ կանաչ ջրածնի վրա էներգիայի ծախսը ավելի շատ է քան ստացված օգուտը: Նույն հարցադրումն է նաև մոխրագույն ջրածին ստանալու դեպքում, որտեղ բնական գազից ջերմային քայքայմամբ ստանում են ջրածին: Օրինակ՝ 1 կգ մոխրագույն ջրածին ստանալու համար պահանջվում է մոտ 4,5-5 մ<sup>3</sup> բնական գազ: Սակայն այդ ջրածինն ունի մոտ 2,8-3 մ<sup>3</sup> բնական գազին համարժեք էներգիա, ինչը վկայում է կրկին կորուստների մասին: Մա էլ է պայմանավորված էներգետիկ փոխակերպումների կորուստներով, որոնք անխուսափելի են ցանկացած վառելիքի ստացման և փոխակերպման գործընթացում:

Նշենք նաև, որ 1 կգ սև ջրածին ստանալու համար պահանջվում է 7,6 կգ ածուխ: Ջրածնի 1 կգ-ը կարող է փոխարինել 4, 35 կգ բենզինին [8, էջ 11]:

Նշենք, որ կանաչ ջրածինը, եթե ստացվում է վերականգնվող աղբյուրներից, օրինակ՝ արևային կամ հողմային էներգիայից, էներգիայի կորուստներն ավելի քիչ ազդեցություն ունեն, քանի որ օգտագործվում են «անվճար» էներգետիկ աղբյուրներ:

Ջրածնի հիմնական արժեքն ի հայտ է գալիս նրա կիրառման փուլում, որոնցից են՝

*Էլյոլոգիսկան օգուտներ.* կանաչ ջրածինը, որպես վառելիք օգտագործվելիս չի արտանետում ածխաթթու գազ և այլ վնասակար արտանետումներ՝ ի տարբերություն ավանդա-

կան վառելանյութերի: Այսպիսով, ջրածինը նպաստում է շրջակա միջավայրի որակի պահպանմանը:

*Պահեստավորում և փոխադրում.* ջրածինն արդյունավետորեն կարող է պահվել և փոխադրվել՝ հնարավորություն տալով էներգիան պահել երկար ժամանակով և տեղափոխել տարբեր տարածքներ, որտեղ էներգիայի մատակարարումը դժվար է: Այս ձևով այն կարող է բարելավել էներգետիկ համակարգի ճկունությունը և կայունությունը:

*Տնտեսական զարգացում.* կանաչ ջրածնի արտադրության ոլորտում նոր աշխատատեղերի և ընկերությունների ստեղծումը կարող է նպաստել տնտեսական աճին և տեղական համայնքների զարգացմանը:

*Վառելիքային բջիջներ.* ջրածինը կարող է օգտագործվել վառելիքային բջիջների միջոցով, որոնք փոխակերպում են ջրածինը էներգիայի: **Այսինքն,** ջրածնի վառելիքային բջիջները կարող են ավելի արդյունավետ օգտագործել էներգիան, ինչը հանգեցնում է էներգիայի ավելի ցածր ծախսերի, քան ավանդական շարժիչները: Դա հատկապես կարևոր է հասարակական տրանսպորտի համար, որտեղ վառելիքի ծախսերը կարող են էական ազդեցություն ունենալ շահույթի վրա:

*Գիտական նորարարությունները և տեխնոլոգիաների զարգացումը աստիճանաբար բարձրացնում են կանաչ ջրածնի արտադրության արդյունավետությունը և նվազեցնում էներգետիկ կորուստները, օրինակ՝ նոր սերնդի էլեկտրոլիզատորների միջոցով, որոնք ավելի քիչ էներգիա են օգտագործում:*

Այսպիսով, ջրածնի արդյունավետությունը պետք է դիտարկվի լայն համատեքստում. ջրածնի վրա ստացված սկզբնական էներգետիկ ծախսերը կարող են գերազանցել վերջնական էներգետիկ արդյունքին, բայց երկարաժամկետ կտրվածքում այն ապահովում է էներգիայի օգտագործման ճկունություն, շրջակա միջավայրի մաքրություն և կախվածության նվազեցում ավանդական վառելանյութերից:

### **Հայաստանում կանաչ ջրածնի արտադրության զարգացման փուլերը**

Մեր երկրում արևային էներգիայի տարեկան պոտենցիալը կազմում է շուրջ 2000-2500 ժամ, իսկ հողմային ռեսուրսները կարող են ապահովել միջին 7-9 մ/վ արագություն: Այս ռեսուրսների ճիշտ օգտագործմամբ հնարավոր է 100-200 ՄՎտ գումարային հզորությամբ ջրի էլեկտրոլիզային կայանների գործունեության համար, որոնք կարող են արտադրել տարեկան գումարային 10 000-20 000 տոննա կանաչ ջրածին:

Ներկայացնենք կանաչ ջրածնի արտադրության զարգացման համար երեք փուլանի ռազմավարություն՝

### **1.Սկզբնական փուլ (1-3 տարի): Փոքրածավալ արտադրություն և ներքին փորձարկումներ**

**Հիմնական նպատակ:** Կանաչ ջրածնի տեխնոլոգիաների ներդրում և փոքրածավալ արտադրության մեկնարկ՝ փորձնական ծրագրերի միջոցով:

#### **• Նախապատրաստական քայլեր:**

Ստեղծել օրենսդրական ու կարգավորող դաշտ կանաչ ջրածնի արտադրության համար, սահմանել պետության աջակցությունը՝ հարկային և ներդրումային արտոնությունների միջոցով:

#### **• Տեխնոլոգիական ներդրումներ:**

Փոքրածավալ արտադրություն, օրինակ՝ 1-5 մեգավատ հզորությամբ պիլոտային ծրագրեր արևային և հողմային էներգիայի հիման վրա:

#### **• Ներքին սպառում:**

Սկզբնական շրջանում կենտրոնանալ ջրածնի ներքին օգտագործման վրա (օրինակ՝ տրասնպորտ, մետալուրգիական արտադրություն, պարարտանյութերի արտադրություն, քիմիական արտադրություն և այլն):

#### **• Միջազգային համագործակցություն:**

Գերմանիայի, Ֆրանսիայի կամ այլ առաջատար երկրների հետ համագործակցություն՝ տեխնոլոգիաների ու փորձի փոխանակման նպատակով:

#### **• Հանրային իրազեկում:**

Խթանել հանրային գիտակցությունը կանաչ ջրածնի առավելությունների վերաբերյալ՝ աջակցելով մասնավոր և պետական հատվածների համագործակցությանը:

### **2. Միջին փուլ (4-7 տարի): Արդյունաբերական ընդլայնում և ներքին ցանցի զարգացում**

**Հիմնական նպատակ:** Արտադրական հզորությունների աճ և ջրածնի ներքին օգտագործման ցանցի զարգացում՝ արդյունաբերության ու տրանսպորտային համակարգում:

#### **• Արտադրության ընդլայնում:**

Կառուցել 10-20 մեգավատ հզորությամբ էլեկտրոլիզային կայաններ, որոնք կհիմնվեն արևային ու հողմային էներգիայի վրա, ապահովելով կայուն մատակարարում:

#### **• Տրանսպորտային ենթակառուցվածքներ:**

Խթանել ջրածնի կիրառումը հանրային տրանսպորտում՝ ներդնելով հիբրիդային և ջրածնային ավտոբուսներ:

#### **• Միջազգային շուկա:**

Միջազգային ջրածնի շուկաների ուսումնասիրություն՝ պոտենցիալ արտահանման համար, հատկապես հարևան երկրների միջոցով՝ Վրաստանով դեպի ԵՄ և Իրանով դեպի ասիական երկրներ:

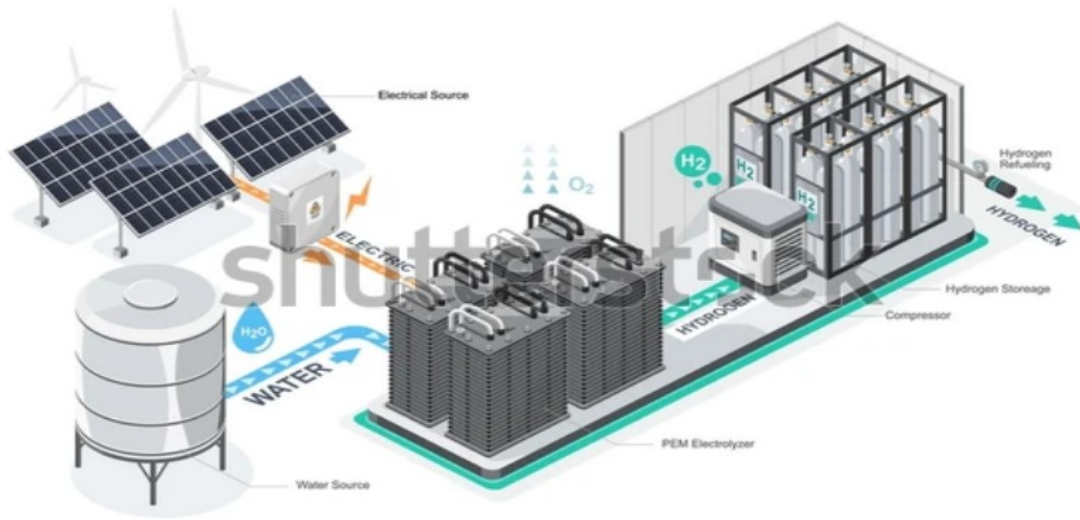
**3. Չարգացման փուլ (8-15 տարի): Արտահանման շուկաների զարգացում և մասշտաբային արտադրություն**

**Հիմնական նպատակ:** Արտադրական հզորությունների միջազգային մակարդակի ընդլայնում և Հայաստանի դերի մեծացում՝ որպես կանաչ ջրածին արտահանող երկիր:

• **Խոշոր արտադրություն:** Մինչև 20-50 մեգավատ հզորությամբ մի քանի նախագծերի իրականացում, որոնք կսկսվեն վերականգնվող էներգիայի աղբյուրներից՝ ծածկելով ներքին ու արտահանման պահանջները:

• **Միջազգային կապեր:** Արտահանման համաձայնագրերի կնքում՝ հատկապես Եվրոպայի և Ասիայի շուկաների համար՝ ստեղծելով միջազգային առևտրային ենթակառուցվածքներ:

• **Տնտեսական աճ:** Հայաստանի տնտեսության վրա կանաչ ջրածնի արդյունաբերության կարևոր ազդեցության մեծացում, նոր աշխատատեղերի ստեղծում, արտահանման եկամուտների աճ և ներդրումների գեներացում:



**Նկար 1.** Կանաչ ջրածնի արտադրության, բաշխման և օգտագործման սխեմա

**Կանաչ ջրածնի տնտեսական նպատակահարմարությունը Հայաստանում**

Կանաչ ջրածնի արտադրության ծախսերը հիմնականում կախված են՝ վերականգնվող էներգիայի արժեքից, էլեկտրոլիզատորների ծախսերից, ջրի հասանելիությունից և արտադրության ծավալներից: Ներկայումս վերականգնվող էներգիայի (էլեկտրականության) արժեքը տատանվում է 0,07-0,1 ԱՄՆ դոլար/կՎտժ սահմաններում: Էլեկտրոլիզի 1 կիլոգրամ ջրածնի արտադրությունը պահանջում է մոտ 50-55 կՎտժ էներգիա, ինչի հետևանքով կանաչ ջրածնի ինքնարժեքը կկազմի մոտ 3-5,5 ԱՄՆ դոլար/կգ: Ըստ [9, էջ 1] աղբյուրի, կանաչ ջրածնի արտադրական ծախսերը արևային ՖՎ կայանների էլեկտրաէներգիայով մատակարարման դեպքում ներկայումս տատանվում են \$3,23/կգ մինչև \$5,39/կգ սահմաններում: Ըստ [2, էջ 18]-ի՝ կանաչ ջրածնի ծախսերը կազմում են 3-6 \$/կգ:

Էլեկտրոլիզատորի արդյունավետությունը կազմում է 70%-100%, իսկ տարեկան աշխատանքային ժամերը ամբողջ ծավալով աշխատելու դեպքում՝ 8760 ժամ ( $365 \times 24 = 8760$  ժ):

Եթե ընդունենք, որ էլեկտրոլիզային կայանը տարեկան արտադրում է 1000 տոննա (1 000 000 կգ) ջրածին, ապա պահանջվող էներգիան կկազմի.

$$1\ 000\ 000\ կգ/տարեկան \times 50\ կՎտժ/կգ = 50\ 000\ 000\ կՎտժ/տարեկան$$

1 կՎտժ վերականգնվող էլեկտրաէներգիայի արժեքի 0,1\$ ընդունման դեպքում էլեկտրաէներգիայի տարեկան ծախսերը կկազմեն 5 000 000 ԱՄՆ դոլար, իսկ 0,07\$-ի դեպքում՝ 3 500 000 ԱՄՆ դոլար:

Եթե կանաչ ջրածնի միջազգային գները աճեն (օրինակ, 2023-ին այն տատանվել է 6-9 ԱՄՆ դոլար/կգ սահմաններում, կախված ջրածնի մաքրությունից, կիրառության ոլորտներից և տարածաշրջաններից), նախագծերի շահութաբերությունը կարող է բավականին գրավիչ լինել: Եթե էլեկտրոլիզային կայանը արտադրում է տարեկան 1000 տոննա ջրածին (1 000 000 կգ), ապա 6 ԱՄՆ դոլար/կգ գնի դեպքում և 0,1\$/կգ էլեկտրաէներգիայի ծախսի դեպքում տարեկան շահույթը կկազմի  $6\ 000\ 000 - 5\ 000\ 000 = 1\ 000\ 000$  ԱՄՆ դոլար:

Ջրի պահանջարկը էլեկտրոլիզի համար նույնպես կարևոր է: 1 կիլոգրամ ջրածնի արտա-

դրությունը պահանջում է մոտ 9-11 լիտր ջուր: Հայաստանի ջրային ռեսուրսների արդյունավետ կառավարման և ծախսերի նվազեցման նպատակով անհրաժեշտ է մշակել այնպիսի տեխնոլոգիաներ, որոնք կօգնեն նվազեցնել ջրի օգտագործման ծավալները:

Մեկ մեգավատ հզորությամբ բարձր արդյունավետությամբ էլեկտրոլիզատորը տարեկան կարող է արտադրել մոտ 175,2 տոննա կանաչ ջրածին: Դիտարկենք տարբեր հզորության էլեկտրոլիզատորների արտադրողականությունների ծավալները, որոնք կարող են գործարկվել Հայաստանում: Ենթադրենք էլեկտրոլիզատորը պայմանականորեն աշխատում է ամբողջ հզորությամբ՝ տարեկան 8 760 ժամ, որտեղ 1 կգ կանաչ ջրածնի ստացման վրա ծախսվում է 50կՎտժ էներգիա:

**5 ՄՎտ հզորության էլեկտրոլիզատոր**

- 5 ՄՎտ = 5 000 կՎտ
- Պահանջվող ընդհանուր էներգիան = 5 000 \* 8 760 = 43 800 000 կՎտժ
- Արտադրողականությունը = 43 800 000 / 50 = 876 000 կգ = 876 տոննա/տարի

**10 ՄՎտ հզորության էլեկտրոլիզատոր**

- 10 ՄՎտ = 10 000 կՎտ
- Պահանջվող ընդհանուր էներգիան = 10 000 \* 8 760 = 87 600 000 կՎտժ
- Արտադրողականությունը = 87 600 000 / 50 = 1 752 000 կգ = 1 752 տոննա/տարի

**20 ՄՎտ հզորության էլեկտրոլիզատոր**

- 20 ՄՎտ = 20 000 կՎտ
- Պահանջվող ընդհանուր էներգիան = 20 000 \* 8 760 = 175 200 000 կՎտժ
- Արտադրողականությունը = 175 200 000 / 50 = 3 504 000 կգ = 3 504 տոննա/տարի

**50 ՄՎտ հզորության էլեկտրոլիզատոր**

- 50 ՄՎտ = 50 000 կՎտ
- Պահանջվող ընդհանուր էներգիան = 50 000 \* 8 760 = 438 000,000 կՎտժ
- Արտադրողականությունը = 438 000 000 / 50 = 8 760 000 կգ = 8 760 տոննա/տարի

**100 ՄՎտ հզորության էլեկտրոլիզատոր**

- 100 ՄՎտ = 100 000 կՎտ
- Պահանջվող ընդհանուր էներգիան = 100 000 \* 8 760 = 876 000 000 կՎտժ
- Արտադրողականությունը = 876 000 000 / 50 = 17 520 000 կգ = 17 520 տոննա/տարի

**Աղյուակ 1**

Հզորություն (ՄՎտ)	Տարեկան արտադրողականությունը (տոննա)
5	876
10	1 752
20	3 504
50	8 760
100	17 520

5 ՄՎտ, 10 ՄՎտ և 50 ՄՎտ հզորության կանաչ ջրածնի էլեկտրոլիզատորների տարեկան արտադրության միջին վիճակագրական տվյալները տարբեր են. օրինակ՝ Գերմանիայում, Հարավային Կորեայում կամ Իրանում կարող են լինել տարբեր: Բնականաբար դա կախված է տեխնոլոգիաների արդյունավետությունից և սկզբնական էլեկտրաէներգիայի ծախսից:

ԵՄ-երկրներում կանաչ ջրածնի ոլորտում տեղի ունեցող արագ զարգացումները ապահովում են ավելի բարձր ցուցանիշների, որտեղ էլեկտրաէներգիայի ծախսերը կանաչ ջրածին ստանալու համար բավականին ցածր են՝ 40-45 կՎտժ 1 կգ կանաչ ջրածնի ստացման համար:

Օրինակ դանիական HySynergy կանաչ ջրածնի կայանը ունի 20 ՄՎտ հզորություն, որը նախատեսված է տարեկան մոտ 8000 տոննա կանաչ ջրածնի արտադրության համար: Ինչպես տեսնում ենք, սա շատ բարձր արտադրողականություն ունեցող էլեկտրոլիզային կայան է: Հետագայում, երբ երկրորդ փուլը իրականացվի, ընդհանուր հզորությունը կհասնի 300 ՄՎտ, ինչը կբերի ավելի մեծ արտադրական կարողությունների: Ներդրումները կազմել են մոտ 18 միլիոն եվրո [12]:

Գերմանական Kiel-քաղաքում գտնվող Westküste100 կայանի հզորությունը կազմում է 30 ՄՎտ, որը կարող է տարեկան արտադրել 5 000 տոննա կանաչ ջրածին, ընդհանուր ներդրումները կազմում են շուրջ 36,5 միլիոն եվրո [13]: Դյուսելդորֆում գտնվող GET H2 կայանի նախագծային հզորությունը կազմում է 100 ՄՎտ, որը նախատեսված է տարեկան արտադրել մոտ 20 000 տոննա ջրածին: Ծրագրի ընդհանուր արժեքը կազմում է մոտ 100 միլիոն եվրո, նախատեսվում է հզորությունները հասցնել 300 ՄՎտ-ի:

Ինչպես տեսնում ենք՝ Գերմանիան առաջատար է կանաչ ջրածնի ոլորտում: Գերմանիան զարգացնում է կանաչ ջրածնի արտադրության, բաշխման և օգտագործման նորարարական լուծումներ, որոնք կարող են ուղղակիորեն հաջողությամբ կիրառվել Հայաստանում: Գերմանական գիտահետազոտական և արդյունաբերական կարողությունները կարող են օգնել Հայաստանին ապահովել անհրաժեշտ տեխնիկական նոու-հաուներով:

Կանաչ ջրածնի էլեկտրոլիզի կայանների (էլեկտրոլիզատորների) ներդրումային ծախսերը կարող են տատանվել՝ կախված տեխնոլոգիական լուծումներից, արտադրության մասշտաբներից և տեղակայման վայրից: 1 ՄՎտ հզորության էլեկտրոլիզային կայանի ներդրումային ծախսերը կարող են տատանվել մոտ 800 000 – 1 500 000 ԱՄՆ դոլարի սահմաններում, միջինը կազմելով 1000 000 ԱՄՆ դոլար:



**Վերականգնվող էներգիայի կայաններ**

Անկախ նրանից, թե արդյոք օգտագործվում է հիդրո, արևային կամ հողմային էներգիա, ընդհանուր առմամբ, ջրածնի ստացման կայաններին անհրաժեշտ էներգիայի նվազագույնը 70%-80%-ը պետք է հասանելի լինի վերականգնվող էներգիայի աղբյուրներից: 10 ՄՎտ ջրի էլեկտրոլիզի կայանի համար անհրաժեշտ է առանձին կամ գումարային մոտ 25-30 ՄՎտ հզորությամբ արևային ֆոտովոլտային, հողմային կամ հիդրոէլեկտրակայան:

Եվ այսպես, 1 ՄՎտ հզորության էլեկտրոլիզատորի և ՎԷ կայանի ընդհանուր ներդրումները կարող են կազմել՝

1. Էլեկտրոլիզային կայան (1 ՄՎտ) – 1 000 000 ԱՄՆ դոլար,
2. Արևային ՖՎ էլեկտրակայան (1 ՄՎտ) – 1 000 000 ԱՄՆ դոլար [10, էջ 165],
3. Հողատարածք և ենթակառուցվածքներ (պահուստարաններ, էներգիայի կուտակիչներ, էլեկտրական ենթակայաններ և այլն)՝ 2 000 000-ից մինչև 5 000 000 ԱՄՆ դոլար:

Ընդհանուր ներդրումները մոտավորապես կկազմեն (1 ՄՎտ հզորության կայանի համար) = 1 000 000 + 1 000 000 + 2 000 000 = 4 000 000 ԱՄՆ դոլար



Նկար 2 Կանաչ ջրածնի արտադրության կայան

**Պայմանական օրինակի դիտարկում**

Դիտարկենք Հայաստանում 12 ՄՎտ հզորության կանաչ ջրածնի ստացման կայանի տնտեսական նպատակահարմարությունը, հետևյալ պայմանական ցուցանիշների համար՝

- **Էլեկտրոլիզատորի հզորություն** - 12 ՄՎտ
- **Արտադրություն** - 2000 տոննա (2 000 000 կգ) կանաչ ջրածին
- **Կանաչ ջրածնի ստացման համար անհրաժեշտ էներգիայի ծախսը** - 50 կՎտժ / կգ
- **Վերականգնվող էներգիայի արժեքը** - 0,07 \$/կՎտժ
- **Ջրածնի վաճառքի գինը** - 6 \$/կգ
- **Էլեկտրոլիզատորի ներդրումները** - 12 000 000 \$
- **Արևային ՖՎ էլեկտրակայանի հզորությունը** – 25-28 ՄՎտ
  - **Արևային ֆոտովոլտային կայանի ներդրումները** - 25 000 000 \$
  - **Ենթակառուցվածքների վրա ներդրումները** - 5 000 000 \$
  - **Զեղչի (դիսկոնտի) տոկոսադրույքը** - 10%

□ **Նախագծի տևողությունը (t)** - 20 տարի  
Ներդրումները կատարվել են սեփական միջոցների հաշվին, առանց վարկային միջոցների:

**Հաշվարկի արդյունքները՝**

**1. Ընդհանուր ներդրումներ**

Ընդհանուր ներդրումներ = 12 000 000 (էլեկտրոլիզատոր) + 25 000 000 (արևային ՖՎ էլեկտրակայան) + 5 000 000 (հողատարածք և ենթակառուցվածքներ) = 42 000 000 ԱՄՆ դոլար

**2. Էներգիայի ծախս (50 կՎտժ/կգ)**

Էներգիայի տարեկան ծախս = 2 000 000 կգ × 50 կՎտժ/կգ × 0,07 դոլար/կՎտժ = 7 000 000 ԱՄՆ դոլար

**3. Տարեկան եկամուտ**

Եկամուտ = 2 000 000 կգ × 6 դոլար/կգ = 12 000 000 ԱՄՆ դոլար/տարի

**4. Տարեկան շահույթ**

Տարեկան շահույթ = 12 000 000 դոլար - 7 000 000 դոլար = 5 000 000 դոլար/տարի

**5. Ետգնման ժամկետ (Payback Period)**

Ետգնման ժամկետ = 42 000 000 / 5 000 000 ≈ 8,4 տարի

**6. Մաքուր ներկա արժեք (NPV) - 567 819 ԱՄՆ դոլար**

**7. Շահութաբերության ինդեքս (Profitability Index, PI) - 1,014**

**8. Ներքին եկամտաբերության տոկոսադրույք (IRR) - 10,2%**

Այս արդյունքները ցույց են տալիս, որ նախագիծը որոշ չափով շահութաբեր է՝ ի շնորհիվ դրական NPV-ի, որը մեծ է գրոյից, PI-ի, որը մեծ է 1-ից, IRR-ի, որը փոքր-ինչ բարձր է գեղջման տոկոսադրույքից (10%):

Տարեկան համախառն շահույթը ստացվում է մոտ 5 միլիոն ԱՄՆ դոլար: Սա հիմնականում պայմանավորված է ջրածնի վաճառքի գնով (\$6/կգ) և վերականգնվող էներգիայի արժեքով (0,07\$/կՎտմ): Ամբողջ շահագործման ընթացքում (20 տարի) շահույթը կկազմի 100 000 000 ԱՄՆ դոլար: Նշենք, որ ըստ Գերմանական տնտեսական թիմի նախնական հետազոտության արդյունքների, Հայաստանում կանաչ ջրածնի արտադրության հավասարեցված արժեքը կազմում է 3,4 ԱՄՆ դոլար/կգ [11, էջ 2]: Մեր օրինակում ստացել ենք՝ 3,5 ԱՄՆ դոլար/կգ (50 կՎտմ \* 0,07 դոլար/կՎտմ):

NPV-ն ստացվում է 567 819 ԱՄՆ դոլար, ինչը փոքր, բայց դրական ցուցանիշ է: Դրական NPV-ն նշանակում է, որ նախագիծը ընդհանուր առմամբ ավելի շատ արժեք է բերում, քան ներդրված գումարը՝ 10% գեղջի տոկոսադրույքով: Չնայած սա բավականին փոքր արժեք է նախագծի համար, սակայն ցույց է տալիս, որ նպատակահարմար է այն իրականացնել, եթե նպատակը ոչ միայն ֆինանսական շահույթն է, այլև շրջակա միջավայրի վրա դրական ազդեցություն ապահովելն է:

Ետգնման ժամանակահատվածը (Payback Period) 8,4 տարի է: Սա նշանակում է, որ 8,4 տարի անց նախագիծը վերադարձնելու է ներդրումները և ապահովելու է մաքուր շահույթ: Սա համեմատաբար երկար ժամանակահատված է, սակայն հաշվի առնելով, որ նախագծի նպատակն է արտադրել կանաչ ջրածին՝ օգտագործելով վերականգնվող էներգիան, ընդունելի է:

Շահութաբերության ինդեքսը (PI)-ը կազմել է 1,014, ինչը նշանակում է, որ ներդրման յուրաքանչյուր դոլարը բերում է \$1,014 եկամուտ: Սակայն PI-ն շատ բարձր չէ, ինչը վկայում է միջին մակարդակից ցածր շահութաբերության մասին:

IRR-ը կազմել է 10,2%, 10% գեղջման տոկոսադրույքի պայմաններում: Սա ցույց է տալիս, որ նախագիծը միայն մի փոքր է ավել գեղջի (դիսկոնտի) մակարդակից:

Բնականաբար, եթե պետությունը հարկային արտոնություններ էլ տրամադրի, ինչպես մեր պայմանական օրինակում է, ապա այսպիսի նախագծերի գործարկումը ձեռնառու կլինի:

Ամեն դեպքում շուկայի գորբալ միտումները տանում են ՎԷ էլեկտրաէներգիայի և կանաչ ջրածնի արտադրության ծախսերի նվազմանը: Այն միջնաժամկետ և երկարաժամկետ կտրվածքով արդեն բարձր շահութաբերություն է ենթադրում:

Հաշվարկով բացահայտվել են մեր պայմանական նախագծի դրական և բացասական կողմերը.

- Դրական կողմեր.
  - Նախագիծը կայուն եկամուտ է ապահովում, ինչը վկայում է տարեկան համախառն շահույթի ցուցանիշը:
  - Կանաչ ջրածինը թույլ է տալիս զարգացնել կանաչ էներգիայի ոլորտը, ինչը կարևոր է շրջակա միջավայրի պահպանության տեսանկյունից:
- Բացասական կողմեր.
  - NPV-ն և IRR-ը բավականին սահմանային են, ինչը նշանակում է, որ նախագիծը չի ապահովում մեծ ֆինանսական շահույթ:
  - Ետգնման ժամանակահատվածը երկար է (8,4 տարի):

Ջրածնի 7 \$/կգ գնի դեպքում, կստանանք տարեկան համախառն շահույթը 7 000 000 միլիոն ԱՄՆ դոլարի չափով, զուտ ներկա արժեքը՝ (NPV)- 17 594 946 ԱՄՆ դոլար (դրական արժեք, որը ցույց է տալիս, որ նախագիծը շահավետ է գեղջի 10% տոկոսադրույքի դեպքում), շահութաբերության ներքին դրույքը՝ (IRR)-15,78% (որը բարձր է 10% գեղջի տոկոսադրույքից), շահութաբերության ինդեքսը՝ (PI)-1,42, որը բավականին մեծ է 1-ից, իսկ ետգնման ժամկետը՝ - 6 տարի: Ուստի նախագիծը դիտարկվում է ներդրումային տեսակետից արդյունավետ: Նախագիծը ավելի շահավետ կհամարվի, եթե տնտեսական ցուցանիշներից բացի հաշվի առնենք նաև դրա դրական ազդեցությունը շրջակա միջավայրի և էներգետիկ կայունության վրա:

Վերականգնվող էներգիայի աղբյուրների էլեկտրաէներգիայի ծախսերի նվազման դեպքում նախագծի վերջնական ցուցանիշները բնականաբար կփոփոխվեն և շահութաբերությունը ավելի բարձր կլինի: Կարելի է օրինակում դիտարկել նաև արևային ՖՎ էլեկտրակայանի հետ այլ ՎԷ կայանների՝ հողմային էլեկտրակայանի, հիդրոէլեկտրակայանի հիբրիդային նախագծերը, քանի որ արևային ՖՎ կայանը շուրջօրյա և անընդհատ չի կարող էլեկտրաէներգիա ապահովել: Բնականաբար դա կրերի ներդրումների աճին: Կարելի է դիտարկել էլեկտրաէներգիայի ստացում նաև այլ աղբյուրներից, այդ թվում՝ ատոմակայանի էներգիայից, որը ներկայումս բավականին էժան է: Ամեն դեպքում այս օրինակում կարելի է դիտարկել



նան գնաճի ազդեցությունը, հարկերի մեծությունը, դիսկոնտի փոփոխությունը և այլ գործոններ, սակայն դա այս հոդվածի խնդիրների մեջ չի մտնում: Այս օրինակում կարելի է դիտարկել նաև ներդրումների կառուցվածքը (սեփական և փոխառու կապիտալի համամասնությունը և վարկերի մարումը) և ռիսկերի ազդեցությունը՝ տեխնոլոգիական, քաղաքական, շուկայական և էկոլոգիական:

**Ամփոփում**

Կանաչ ջրածինը, որպես մաքուր և վերականգնվող էներգիայի աղբյուր, վերջին տարիներին ձեռք է բերել մեծ նշանակություն, հատկապես էներգիայի արտանետումների կրճատման և կայուն զարգացման համատեքստում:

• Հայաստանը ունի հարուստ վերականգնվող էներգիայի պոտենցիալ, հատկապես արևային և հողմային էներգիայի ռեսուրսների տեսանկյունից: Դրանք հնարավորություն են տալիս ստեղծելու կայուն և կանաչ էներգիայի արտադրություն, որը կարող է օգտագործվել նաև էլեկտրոլիզատորների միջոցով ջրածնի արտադրության համար:

• Կանաչ ջրածնի արտադրության տեխնոլոգիաները շարունակում են զարգանալ, ինչը հնարավորություն է տալիս դրանց արդյունավետության ավելացմանը և արտադրության ծախսերի կրճատմանը:

• Հայաստանն պետք է համագործակցի միջազգային ընկերությունների հետ, որոնք մասնագիտանում են կանաչ էներգիայի ոլորտում: Նման համագործակցությունները կարող են բերել նոր ներդրումների և տեխնոլոգիաների փոխանցմանը:

• Պետական-մասնավոր գործընկերությունները կարող են կարևոր դեր խաղալ կանաչ ջրածնի նախագծերի և ծրագրերի ֆինանսավորման հարցում:

• Կանաչ ջրածնի արտադրությունը կարող է նպաստել էներգետիկ բազմազանության և անվտանգության բարձրացմանը՝ նվազեցնելով կախվածությունը ավանդական էներգետիկ աղբյուրներից:

• Կանաչ ջրածնի զարգացումը Հայաստանում ենթադրում է ոչ միայն տնտեսական արդյունավետության, այլև շրջակա միջավայրի պահպանման հնարավորություններ: Այն կարող է խթանել տնտեսության տարբեր ոլորտներ, ստեղծել նոր աշխատատեղեր և նպաստել երկրի ընդհանուր կայուն զարգացմանը:

• Հաշվի առնելով Հայաստանի վերականգնվող էներգիայի ռեսուրսները և միջազգային շուկայում մաքուր էներգիայի պահանջարկը՝ կարելի է պնդել, որ կանաչ ջրածնի

զարգացումը տնտեսապես նպատակահարմար և հեռանկարային ուղղություն է:

**Օգտագործված գրականության ցանկ**

1. Geopolitics of the Energy Transformation, The Hydrogen Factor. International Renewable Energy Agency, <https://www.irena.org/Digital-Report/Geopolitics-of-the-Energy-Transformation>
2. Green hydrogen for sustainable industrial development, a policy toolkit for developing countries, IRENA, 2023
3. Discover the Top 10 Hydrogen Trends in 2025, <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/top-10-hydrogen-economy-trends-innovations-in-2021/> Discover the Top 10 Hydrogen Trends in 2025
4. **Ali O.M. Maka, and Mubbashar Mehmood**, Green hydrogen energy production: current status and potential, Clean Energy, 2024, Vol. 8, No. 2, 1–7 <https://doi.org/10.1093/ce/zkae012>
5. The Global Hydrogen Review, International Energy Agency, 2024
6. Clean Hydrogen Partnership, [https://www.clean-hydrogen.europa.eu/get-involved/hydrogen-valleys\\_en](https://www.clean-hydrogen.europa.eu/get-involved/hydrogen-valleys_en), Hydrogen Valleys, Clean Hydrogen Partnership
7. **Eugeniusz Mokrzycki and Lidia Gawlik**, The Development of a Green Hydrogen Economy: Review, Energies 2024, <https://doi.org/10.3390/en17133165>
8. **Արտաշես Սարգսյան**, «Հայաստանում ջրածնի, հատկապես «կանաչ» ջրածնի արտադրության հնարավորությունները», Երևան, 2023թ. - 24էջ:
9. **Qusay Hassan, Imad Saeed Abdulrahman, Hayder M. Salman , Olushola Tomilayo Olapade and Marek Jaszczur**, Techno-Economic Assessment of Green Hydrogen Production by an Off-Grid Photovoltaic Energy System, Energies 2023, 16, <https://doi.org/10.3390/en16020744>
10. **Ս.Մանուկյան**, Վերականգնվող էներգետիկայի հաղթարշավն աշխարհում և հեռանկարային ուղղությունները Հայաստանում, Регион и мир, Научно-аналитический журнал Общественный институт политических и социальных исследований Черноморско-Каспийского региона, N 2, 2020, էջ 161-170
11. **Pavel Bilek**, Green hydrogen in Armenia: opportunities and challenges, German Economic Team [www.german-economic-team.com](http://www.german-economic-team.com) , 2023
12. <https://www.offshore-energy.biz/electrolyzer-facility-hysynergy-hits-several-milestones/>
13. <https://www.westkueste100.de/en/>

Տճանաչվել է՝ 22.10.2024  
Րեցենզրված/Գրախոսվել է՝ 29.10.2024  
Ստացվել է/Ընդունվել է՝ 05.11.2024