

# نشریه علمی - دانشجویی

## حفاظت آب، خاک و هوا

### فهرست مقالات:

۱- بررسی نقش استانداردهای بین المللی ایزو در کاهش تغییرات آب و هوایی

محمد صادق رهبانی؛ حمیده نیک بین

۲- شبیه سازی سیستم های تصفیه آب خاکستری برای تولید آب با کیفیت غیرخوراکی

سینا لبافی؛ فاطمه راضی آستارایی؛ معین خالویی

۳- طراحی سیستم تولید هیدروژن با کمک کلکتور خورشیدی تراف سهموی و مخزن ذخیره سازی انرژی حرارتی

مرضیه کریمی؛ مهدی مهرپویا؛ فتح الله پورفیاض

۴- بررسی تطبیقی شاخص SSI و RAI در غرب حوزه آبخیز ارومیه در سال ۱۳۹۸ با استفاده از GIS

فاطمه اصغری کلشانی؛ کتابون ستاریان اصیل

۵- بررسی اثرات ژئومورفولوژیکی فرونشست زمین و اثرات آن در اکوسیستم با استفاده از نرم-افزار ArcGIS (مطالعه موردی: شهر تهران)

پریسا صراطی؛ سیده آمنه سجادی

۶- مروری بر سیستم های هیبریدی انرژی های تجدیدپذیر (آبی، بادی و خورشیدی) و مطالعات نوین این حوزه با تمرکز بر تولید برق در نواحی مختلف دنیا

شقایق دانه کار؛ حسین یوسفی



حفاظت آب، خاک و هوا

شماره مجوز: ۱۳۲/۷۱۹۹۱

تاریخ تایید: ۱۳۹۹/۰۹/۲۲



دوره دوم شماره: ۱

بهار ۱۴۰۰

نشریه علمی دانشجویی انجمن اکوهیدرولوژی دانشگاه تهران





صاحب امتیاز:  
انجمن علمی دانشجویی اکوهیدرولوژی دانشکده  
علوم و فنون نوین دانشگاه تهران

نام نشریه:

نشریه علمی دانشجویی حفاظت آب، خاک و هوا  
مجوز: ۱۳۲/۷۱۹۹۱ تاریخ تایید: ۱۳۹۹/۰۹/۲۲



**استاد مشاور انجمن:**

\* دکتر یونس نوراللهی (عضو هیات تحریریه)

دانشیار گروه مهندسی انرژی های نو و محیط زیست دانشگاه تهران

ایمیل: noorollahi@ut.ac.ir

**اعضای هیات تحریریه:**

\* دکتر علیبخش کسائیان

دانشیار گروه مهندسی انرژی های نو و محیط زیست دانشگاه تهران

ایمیل: akasa@ut.ac.ir

\* دکتر فاطمه راضی آستارایی

دانشیار گروه مهندسی انرژی های نو و محیط زیست دانشگاه تهران

ایمیل: razias\_m@ut.ac.ir

\* دکتر افشین هنریخش

دانشیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه شهرکرد

ایمیل: afshin.honarbaksh@gmail.com

\* دکتر محمد میرزاوند

دکترای مهندسی آبخیزداری (تخصص ایزوتوپ هیدرولوژی - هیدروژئوشیمی)

ایمیل: mmirzavand23@yahoo.com

\* سیده مهسا موسوی

دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته اکوهیدرولوژی، دانشگاه تهران

ایمیل: mahsa.moosavi.rei@ut.ac.ir

\* شقایق دانه کار

دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته اکوهیدرولوژی، دانشگاه تهران

ایمیل: sh\_danehkar@ut.ac.ir

\* آرین زرفشانی

دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته اکوهیدرولوژی، دانشگاه تهران

ایمیل: a.zarfeshani@ut.ac.ir

**استاد مشاور اول نشریه:**

\* دکتر سید جواد ساداتی نژاد (عضو هیات تحریریه)

دانشیار گروه مهندسی انرژی های نو و محیط زیست دانشگاه تهران

ایمیل: jsadatinejad@ut.ac.ir

**استاد مشاور دوم نشریه:**

\* دکتر حسین یوسفی (عضو هیات تحریریه)

دانشیار گروه مهندسی انرژی های نو و محیط زیست دانشگاه تهران

ایمیل: hosseinyousefi@ut.ac.ir

**مدیر مسئول و سردبیر نشریه:**

\* سیده آمنه سجادی (عضو هیات تحریریه)

کارشناسی ارشد اکوهیدرولوژی دانشگاه تهران

استادیار دانشکده کشاورزی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

ایمیل: amenehsajjadi@ut.ac.ir

**سردبیر نشریه:**

\* محمد امین وزیری راد (عضو هیات تحریریه)

دانشجوی دکتری رشته مهندسی سیستم های انرژی - فناوری انرژی، گروه

مهندسی انرژی های نو و محیط زیست دانشگاه تهران

ایمیل: aminvazirirad@ut.ac.ir

**مدیر داخلی:** فهیمه سلیمی کوچی

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته اکوهیدرولوژی، دانشگاه تهران

ایمیل: fahim.salimi@ut.ac.ir

**مدیر اجرایی:** لیلا قره داغی

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته اکوهیدرولوژی، دانشگاه تهران

ایمیل: leila.gharadaghi@ut.ac.ir

**مدیر فنی:** سیدامیرعلی سجادیان

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته اکوهیدرولوژی، دانشگاه تهران

ایمیل: amirali.sajadian@ut.ac.ir

**جانشین مدیرمسئول:** نغمه اقتصادی

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته اکوهیدرولوژی، دانشگاه تهران

ایمیل: naqme.eqtesadi@ut.ac.ir

**جانشین سردبیر:** پریسا صراطی

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته اکوهیدرولوژی، دانشگاه تهران

ایمیل: parisaserati@ut.ac.ir

**ویراستاری، طراحی و صفحه آرایی:** محمد امین وزیری راد

دانشجوی دکتری رشته مهندسی سیستم های انرژی، دانشگاه تهران

ایمیل: aminvazirirad@ut.ac.ir

**خبرنامه "آبنوس" ضمیمه و در انتهای نشریه می باشد**

## سخن آغازین

حفاظت آب، خاک و هوا امروزه به عنوان یک چالش جهانی از اهمیت بالایی در تمامی کشورهای دنیا برخوردار است. کشور ما ایران نیز از این قاعده مستثنی نبوده و با معضلاتی نظیر آلودگی هوا، عدم ثبات کیفیت خاک، تغییرات آب و هوایی، کمبود منابع آبی و همچنین مشکلات ناشی از کمبود انرژی که بصورت مستقیم و غیر مستقیم بر روی منابع ذکر شده تاثیر می‌گذارد مواجه است. لذا بر آن شدیم تا با تاسیس نخستین نشریه تخصصی "حفاظت آب، خاک و هوا" در سطح علمی-دانشجویی گامی موثر در جهت توجه بیشتر به این منابع ارزشمند و همچنین ارائه راهکارهای نوین علمی جهت بهبود وضعیت آن‌ها در کشور برداریم. بی شک فعالیت‌های پژوهشی و تحقیقاتی می‌توانند نقش بسزایی در رشد و توسعه کشور داشته باشند. براین اساس دانشگاه تهران به عنوان نخستین موسسه دانشگاهی آموزش عالی ایران، وظیفه خود دانسته است تا با گرد هم آوری مطالعات علمی نوین و ارزشمند جامعه علمی کشور بخشی از مسئولیت خطیر خود را به انجام برساند. نشریه "حفاظت آب، خاک و هوا" توسط انجمن علمی-دانشجویی اکوهیدرولوژی گروه مهندسی انرژی‌های نو و محیط زیست دانشگاه تهران تاسیس گردیده است. رویکرد ما نشر آخرین دستاوردهای علمی دانشجویان، اساتید و نوآوران کشور جهت حفظ محیط زیست، توجه به داشتن هوایی سالم، مدیریت و بهبود منابع آبی، توسعه و حفاظت از منابع خاک و مدیریت و توسعه منابع انرژی کشور علی‌الخصوص انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد.

رویکردهای تحقیقاتی فعلی این نشریه بر اساس چالش‌های موجود در کشور بوده که برگرفته از برنامه‌ی راهبردی وزارت علوم و دانشگاه تهران بر اساس اصول و معیارهای علمی و بر مبنای نیازهای واقعی و خط مشی دانش‌محور بنا نهاده شده است. امید است نتایج حاصل از تحقیقات این نشریه بتواند در راستای بهبود و حفاظت منابع ارزشمند کشورمان مفید باشد.

با تشکر

شورای سردبیران نشریه علمی دانشجویی

حفاظت آب، خاک و هوا



فهرست	
دوره ۲، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰	
صفحه	مقاله
۱	Investigating the role of ISO international standards in reducing climate change بررسی نقش استانداردهای بین‌المللی ایزو در کاهش تغییرات آب‌وهوایی محمد صادق رهبانی؛ حمیده نیک بین
۹	Simulation of gray water treatment systems to produce non-potable quality water شبیه سازی سیستم های تصفیه آب خاکستری برای تولید آب با کیفیت غیرخوراکی سینا لبافی؛ فاطمه راضی آستارایی؛ معین خالویی
۲۳	Design of hydrogen production system using parabolic trough solar collector and thermal energy storage tank طراحی سیستم تولید هیدروژن با کمک کلکتور خورشیدی تراف سهموی و مخزن ذخیره‌سازی انرژی حرارتی مرضیه کریمی؛ مهدی مهرپویا؛ فتح الله پورفیاض
۳۸	Comparative study of SSI and RAI index in the west of Urmia watershed in 2019 by using of GIS بررسی تطبیقی شاخص SSI و RAI در غرب حوزه آبخیز ارومیه در سال ۱۳۹۸ با استفاده از GIS فاطمه اصغری کلشانی؛ کتابون ستاریان اصیل
۴۷	Investigation of geomorphologic effects of land subsidence and its effects on ecosystem using ArcGIS software (Case study: Tehran) بررسی اثرات ژئومورفولوژیکی فرونشست زمین و اثرات آن در اکوسیستم با استفاده از نرم-افزار ArcGIS (مطالعه موردی: شهر تهران) پریسا صراطی؛ سیده آمنه سجادی
۵۷	A Review on Hybrid Renewable Energy Systems (Hydro, Wind and Solar) and Related Novel Studies, Focusing on Power Generation Worldwide مروری بر سیستم‌های هیبریدی انرژی‌های تجدیدپذیر (آبی، بادی و خورشیدی) و مطالعات نوین این حوزه با تمرکز بر تولید برق در نواحی مختلف دنیا شقایق دانه کار؛ حسین یوسفی

صفحه	ضمیمه نشریه
۷۰	فصلنامه آبنوس شماره ۲، بهار ۱۴۰۰ (خبرنامه انجمن علمی دانشجویی اکوهیدرولوژی دانشگاه تهران)



## بررسی نقش استانداردهای بین‌المللی ایزو در کاهش تغییرات آب‌وهوایی

محمد صادق رهبانی\*<sup>۱</sup>، حمیده نیک بین<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی، مهندسی طبیعت، دانشگاه تهران، تهران.

۲- کارشناس خبره، سازمان ملی استاندارد ایران، تهران.

\* تهران، [sadeghrohbani@gmail.com](mailto:sadeghrohbani@gmail.com)

### چکیده

تغییرات آب‌وهوایی تهدید قابل توجهی برای زندگی در کره‌ی زمین است، بنابراین انسان باید ابتدا انتشار دی-اکسیدکربن را کاهش داده سپس در نهایت آن را از بین ببرد. خوشبختانه، تجارت بر اساس کربن صفر در حال حاضر در بسیاری از بخش‌های صنعتی، تجاری و شهری در حال وقوع است و استانداردها نقشی اساسی در تحقق این امر بعهدده دارند.

بر اساس این نظریه که نظارت، اعتبارسنجی و تأیید انتشار گازهای گلخانه‌ای، سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا آن‌ها را بهتر مورد هدف‌گذاری قرار دهند و کنترل کنند، کمیته فنی ISO / TC 207 برای مدیریت محیط‌زیست و گازهای گلخانه‌ای در سازمان‌ها، پروژه‌ها و محصولات چندین استاندارد را در سری ISO 1406x تدوین نموده است.

بعنوان مثال، از زمان معرفی ISO در سال ۲۰۰۶، به حدی این استانداردها مورد نظر بوده‌است که بسیاری از ارگان‌های دولتی تنظیم‌کننده انتشار گازهای گلخانه‌ای این استانداردها را پذیرفته‌اند و آن‌ها را برای ارزیابی و تأیید انتشار گازهای گلخانه‌ای تنظیم شده در طرح‌های معاملات انتشارات اجباری کرده‌اند.

از آن زمان، ISO استاندارد مربوطه، ISO 14067، را برای تعیین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای یا اثر کربن محصولات منتشر کرده‌است. این مقاله استانداردهای سری ISO 1406x و چگونگی کمک آن‌ها به انتقال به اقتصاد کربن صفر را مورد بررسی قرار می‌دهد.

**واژگان کلیدی:** تغییرات آب‌وهوایی، استاندارد، ایزو، گازهای گلخانه‌ای.



## Investigating the role of ISO international standards in reducing climate change

Mohammad Sadegh Rohbani<sup>\*1</sup>, Hamideh Nikbin<sup>2</sup>

1- Student, Nature Engineering, University of Tehran, TEHRAN.

2- Expert of Iran National Standard Organization, TEHRAN.

[sadeghrohban@gmail.com](mailto:sadeghrohban@gmail.com) \*

### Abstract

Climate change is a significant threat to life on Earth, so humankind needs to first reduce and then ultimately eliminate emissions of carbon dioxide. Fortunately, this transformation to a zero-carbon economy is already happening in many industrial, commercial and municipal sectors, with ISO standards playing a pivotal role in making this happen.

Based on the premise that monitoring, validating and verifying GHG emissions enables organizations to better target and control them, ISO technical committee ISO/TC 207 for environmental management has produced several standards in the ISO 1406x series to manage greenhouse gases from organizations, projects and products. All three parts of ISO 14064.

for example, have been so effective since ISO introduced them in 2006 that many governmental bodies regulating GHG emissions have adopted these standards and made them mandatory for assessing and verifying GHG emissions regulated within emissions trading schemes.

Since then, ISO has published a related standard, ISO 14067, for determining the GHG emissions, or carbon footprint, of products. This document describes the standards in the ISO 1406x series and how these contribute to the transition to a zero-carbon economy.

**Keywords:** Climate change, Standard, ISO, Greenhouse Gases (GHG).



## ۱- مقدمه

### ۱-۱- اقسام/مات

تغییرات آب و هوایی بزرگ‌ترین تهدیدی است که بشریت و تنوع زیستی با آن روبرو است. شواهد زیادی وجود دارد، که نشان می‌دهد افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو - به‌ویژه CO<sub>2</sub> ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی برای انرژی و حمل و نقل - باعث تغییر وضعیت زمین می‌شود. سایر گازهای گلخانه‌ای نیز همچون متان (CH<sub>4</sub>) که به طور معمول هنگام تجزیه مواد زائد آلی مانند فاضلاب، اکسید نیتروژن (N<sub>2</sub>O) و ترکیبات هالوژنه تولید می‌کند.

استانداردهای سری ISO 1406x برای ارزیابی و تأیید انتشار گازهای گلخانه‌ای:

۱) ISO 14064-1، انتشار و حذف گازهای گلخانه‌ای در سطح شرکت‌ها.

۲) ISO 14064-2، انتشار و حذف گازهای گلخانه‌ای در سازمان‌ها.

۳) ISO 14064-3، اعتبارسنجی و تأیید اظهارات انتشار گازهای گلخانه‌ای.

۴) ISO 14065، الزامات مربوط به نهادهای تأییدکننده.

۵) ISO 14066، الزامات برای تأیید.

۶) ISO 14067-6، انتشار گازهای گلخانه‌ای محصولات.

دانشمندان پتانسیل گرم‌شدن کره‌ی زمین را برای همه‌ی گازهای گلخانه‌ای، تعیین کرده‌اند. این پتانسیل، گرم‌شدن کره‌ی زمین را نسبت به CO<sub>2</sub> نشان می‌دهد. گازهای هالوژنه مانند هگزا فلوراید گوگرد (SF<sub>6</sub>)، هیدروفلوروکربن‌ها (HFC ها) و پرفلوئوروکربن‌ها (PFC ها) معمولاً بالاترین پتانسیل گرم‌شدن کره‌ی زمین را دارند. این نکته بیانگر این است که گازهای گلخانه‌ای مذکور می‌توانند سهم بزرگی در تغییرات آب و هوایی داشته باشند، حتی اگر میزان انتشار آن‌ها بسیار کمتر از CO<sub>2</sub> باشد.

تا زمانی که بشر برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای اقدامی سریع انجام ندهد، زمین بسیار گرم‌تر می‌شود، سطح دریاها بالا می‌رود و تغییرات جوی شدیدی رخ می‌دهد. به زبان ساده، طوفان، خشکسالی، سیل‌های بزرگ و موج‌های گرم بیشتر می‌گردد. این رویدادها به نوبه خود منجر به از دست دادن تنوع زیستی، خرابی محصولات و آسیب رسیدن به زیرساخت‌ها می‌شود.

تهدیدات به قدری شدید است که بسیاری از دانشمندان بر این باورند که ادامه تغییرات در آب و هوا باعث انقراض گسترده تنوع زیستی می‌شود و زمین را برای بیشتر گونه‌ها از جمله انسان غیرقابل سکونت می‌کند. طبق گزارش هیئت بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC)<sup>۱</sup>، باید متوسط افزایش درجه حرارت جهانی را تا ۱.۵ درجه سلسیوس مهار کرد و این کار باید تا سال ۲۰۳۰ انجام شود.

این بدان معناست که ما باید از انرژی به طور موثرتری استفاده کنیم، منابع انرژی تجدیدپذیر را با کربن صفر و منابع سوخت‌های فسیلی جایگزین کنیم تا به اقتصاد پایدار کربن صفر تبدیل شویم. قبلاً موفقیت‌های زیادی در این زمینه حاصل شده است که انتشار

1- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)



گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد. در برخی از بخش‌های صنعتی، میزان انتشار گاز CO<sub>2</sub>، کاهش یافته و استانداردهای ISO نقشه‌ای اساسی در تحقق این امر داشته‌اند.

استانداردهای سری ISO 1406x، برای ارزیابی، اعتبار سنجی و تأیید انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظر گرفته شده‌است. این استانداردها این اصل را اعمال می‌کنند که برای کنترل یک عملکرد، ابتدا باید آن را اندازه‌گیری کنیم.

این سری از استانداردها بر اساس اصولی بنا شده‌اند که برای همه استانداردهای ISO اعمال می‌شوند، یعنی هماهنگی، سازگاری، مقایسه، قابلیت ردیابی و مهم‌تر از همه اعتبار. به این ترتیب، آنها تکمیل کننده استاندارد ISO 14001: 2015، سیستم‌های مدیریت محیط زیست - الزامات با راهنمای استفاده، می‌باشند و به گونه‌ای طراحی شده‌اند که به راحتی در چارچوب مدیریت محیط زیست در سازمان‌ها اعمال شده و اجرا شوند.

#### ۱-۲- نقش استانداردهای ایزو

استانداردهای ایزو نقش‌های زیادی در مقابله با تغییرات آب‌وهوایی ایفا می‌کنند. از سطوح استراتژیک، دولتی و سازمانی گرفته تا برنامه‌های تاکتیکی در پروژه‌ها و حتی در سطح محصولات. استانداردهای ISO در سری ISO 1406x ابزاری را برای سازمان‌ها فراهم می‌کند تا نقطه شروع را برای همه برنامه‌ها در جهت کنترل و سپس از بین بردن انتشار گازهای گلخانه‌ای که مسئله اصلی است، ایجاد کنند.

این مسئله می‌تواند در یک سطح سازمانی یا در سطح جزئی یک فرآیند یا محصول خاص باشد که به عنوان اثر کربن نیز شناخته می‌شود. داشتن چنین داده‌ها و اطلاعاتی، سازمان‌ها، نهادهای نظارتی و شرکت‌ها را قادر می‌سازد تا آگاهانه تصمیم بگیرند و سپس پیشرفت را در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای پیگیری کنند.

در بخش زیر نحوه عملکرد استانداردهای اصلی سری ISO 1406x، چگونگی قرارگرفتن آنها در کنار هم و چگونگی نقش آنها در مقابله با تغییرات آب و هوا توضیح داده شده است.

استانداردهای سری ISO 1406x برای ارزیابی و تأیید گازهای گلخانه‌ای:

ISO 14064-1: 2018، گازهای گلخانه‌ای - قسمت ۱: مشخصات با راهنمایی در سطح سازمان برای تعیین کمیت و گزارش انتشار و حذف گازهای گلخانه‌ای.

ISO 14064-2: 2019، گازهای گلخانه‌ای - قسمت ۲: مشخصات با راهنمایی در سطح پروژه برای تعیین کمیت، نظارت و گزارش کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای یا بهبودهای حذف.

ISO 14064-3: 2019، گازهای گلخانه‌ای - قسمت ۳: مشخصات با راهنمایی برای تأیید و اعتبار انتشار گازهای گلخانه‌ای.





ISO 14065: 2013، گازهای گلخانه‌ای - الزامات اعتبارسنجی و نهادهای تأیید گاز گلخانه‌ای برای استفاده در اعتبارسنجی یا سایر اشکال شناسایی.

ISO 14066: 2011، گازهای گلخانه‌ای - الزامات صلاحیت تیم‌های تأیید انتشار گازهای گلخانه‌ای.

ISO 14067: 2018، گازهای گلخانه‌ای - رد پای کربن محصولات - الزامات و دستورالعمل‌های کمی سازی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای.

ISO در سال ۲۰۰۶ هر سه استاندارد را در سری ISO 14064 منتشر کرد و در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ آن‌ها را اصلاح کرد [1].

## ۲- ایزو (ISO) در این مسیر

### • ISO 14064-1 برای تعیین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح سازمانی

استانداردها چگونگی کنترل گازهای گلخانه‌ای توسط سازمان‌ها را مشخص می‌کند. ISO استاندارد را برای هر سازمانی طراحی کرده است که برای ارزیابی و گزارش انتشار گازهای گلخانه‌ای به ابزار و راهنمایی نیاز دارد. به طور خاص، ISO 14064-1 توصیف می‌کند که چگونه یک سازمان می‌تواند لیستی از منابع را ابتدا با در نظر گرفتن مرزهای خود ایجاد کند. اگر انتشار گازهای گلخانه‌ای در محدوده شرکت باشد، شرکت کنترل کامل این انتشارات را دارد.

در اینجا دو نوع مرز اعمال می‌شود:

- مرزهای سازمانی: به هر امکاناتی اطلاق می‌شود که سازمان از نظر عملی و مالی برخوردار باشد.
- مرزهای عملیاتی: به فعالیت‌های سازمان از جمله سوزاندن سوخت‌های فسیلی برای گرمایش و فرآیندهای صنعتی اشاره دارد.

هنگامی که سازمان این مرزها را تعیین کرد، ISO 14064-1 راهنمایی در مورد ایجاد یک ثبت از انتشار مستقیم و غیرمستقیم را ارائه می‌دهد. به عنوان مثال، کارمندانی که از طریق هوا به عنوان یک انتشار غیرمستقیم سفر می‌کنند. سازمان می‌تواند در مورد روش‌های مناسب تعیین شده توسط ISO 14064-1 برای تعیین کمیت این انتشارات تصمیم بگیرد.

این استاندارد همچنین شامل توصیه‌هایی در مورد تأیید سازمان دارد. تأیید به عنوان فرآیند ارزیابی داده‌ها و روش‌ها برای تعیین دقت تعریف می‌شود. اصلاحات ISO 14064-1 در سال ۲۰۱۸ نشان دهنده افزایش تعداد سازمان‌هایی است که انتشار غیرمستقیم را گزارش می‌دهند. علاوه بر این، شامل راهنمایی جدیدی در مورد اندازه‌گیری و گزارش نمونه‌های خاصی از منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای، بر اساس تجربه کاربران است.

### • ISO 14064-2 برای تعیین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح پروژه

ISO 14064-2، فرایندهایی را برای کمی‌سازی، نظارت و گزارش کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای یا بهبودهای حذف در سطح پروژه توصیف می‌کند. از این منظر، یک پروژه به عنوان یک فعالیت یا تلاش گسسته تعریف می‌شود. برخی از نمونه‌ها عبارتند از:



- تاسیسات هضم بی هوازی در تصفیه‌خانه فاضلاب که برای جذب متان و سپس استفاده از متان برای تولید نیرو در موتور گاز طراحی شده است.
  - جنگل کاری برای جبران انتشار گاز CO<sub>2</sub>، که در آن درختان جذب‌کننده CO<sub>2</sub> هستند.
  - تاسیسات جذب و ذخیره کربن، که در آن یک چاه زیرزمینی مخزنی برای CO<sub>2</sub> در نظر گرفته شده، فراهم می‌کند.
- ISO 14064-2 از رویکرد چرخه عمر برای ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای و حذف آن از پروژه‌ها استفاده می‌کند. این استاندارد چگونگی کمی‌سازی میزان انتشار گازهای پایه از منابع توسط کاربران را توصیف می‌کند.

#### • ISO 14067 برای ردپای کربن محصولات

ISO 14067 فرآیندهای تعیین انتشار غیرمستقیم و مستقیم CO<sub>2</sub> از محصولات را توصیف می‌کند. تأثیرات تغییرات آب‌وهوایی محصولات، جایی که اثر کربن (CFP) به عنوان مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای و حذف گازهای گلخانه‌ای تعریف می‌شود در یک سیستم محصول، به عنوان معادل CO<sub>2</sub> بیان می‌شود.

ISO 14067 استانداردهای بین‌المللی گسترده‌ای را که برای ارزیابی چرخه زندگی (LCA<sup>۲</sup>، ISO 14040 و ISO 14044) به اثبات رسیده است، اعمال می‌کند.

حذف گازهای گلخانه‌ای مهم هستند زیرا ممکن است یک محصول تأثیرات تغییرات آب‌وهوایی را کاهش دهد. به عنوان مثال، روش‌هایی برای حذف CO<sub>2</sub>، مانند جذب کربن و ذخیره آن، یا گرفتن و استفاده از متان از هضم بی هوازی. با استفاده از اصول LCA، ISO 14067 فرآیندهایی را برای تعیین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و حذف آن از دستیابی به مواد اولیه تا پایان عمر محصول، یعنی تجزیه و تحلیل از ابتدا تا انتها، توصیف می‌کند.

ISO 14067 مزایای قابل توجهی را در اختیار کاربران قرار می‌دهد. به عنوان مثال، روش‌های موجود در استاندارد به تولیدکنندگان و کاربران یک محصول امکان می‌دهد تا عملکرد محصول را ردیابی کنند همچنین ارزیابی کنند که چگونه تغییرات طراحی بر CFP محصول تأثیر می‌گذارد و اطلاعاتی را برای مصرف‌کنندگان فراهم می‌کنند تا آگاهانه درباره محصول تصمیم بگیرند. علاوه بر این، چندین روش مختلف برای محاسبه CFP وجود دارد که بسته به نحوه کار هر روش می‌تواند به معنی نتایج متفاوت باشد.

#### • ISO 14064-3 برای تأیید و اعتبارسنجی انتشار گازهای گلخانه‌ای

یکی از نقاط قوت ISO تولید ابزارهای استاندارد برای اعتبارسنجی و تأیید مستقل است؛ ISO 14064-3 این نقش را ایفا می‌کند. استاندارد الزامات را مشخص می‌کند و راهنمایی در مورد تعیین و تأیید گزارش‌های انتشار، کاهش و حذف گازهای گلخانه‌ای را ارائه می‌دهد.

ISO 14064-3 ابزارهای بسیاری را ارائه می‌دهد که بر اساس تکنیک‌های اثبات شده حسابداری مالی است.



براساس ISO 14064-3 تأیید می‌گردد که آیا انتشار، کاهش و حذف گازهای گلخانه‌ای یک سازمان با معیارهای مورد نیاز مطابقت دارد یا خیر. این برای سازمان‌ها، تنظیم‌کنندگان و سایر ذینفعان - مانند سرمایه‌گذاران - برای تصمیم‌گیری آگاهانه بسیار مهم است.

### ۳- هماهنگی

سه استاندارد ISO 14064 و ISO 14067 در یک چارچوب سیستماتیک ارزیابی، اعتبار سنجی و تأیید صحت دارند. در سطح اولیه، ISO 14064-1، ISO 14064-2 و ISO 14067 به ترتیب فرآیندها و الزامات ارزیابی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای سازمان‌ها، پروژه‌ها و محصولات را توصیف می‌کنند. از آنجا که هر یک از این استانداردها منجر به بیان میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود، ISO 14064-3، نحوه اعتبارسنجی و تأیید این اظهارات را توسط اشخاص ثالث مشخص می‌کند.

در همین حال، ISO 14065 چارچوبی برای تضمین کیفیت برای نهادهای تعیین و تأیید شخص ثالث فراهم می‌کند. از آنجا که مهارت، دانش، تجربه و صلاحیت پرسنل بسیار مهم است، ISO 14066 به نوبه خود الزامات شایستگی برای چنین کارکنان را مشخص می‌کند.

### ۴- بررسی اجمالی استانداردها

همانند سایر طرح‌های آلاینده‌گی که کشورهای خارج از اتحادیه اروپا اجرا کرده‌اند، استانداردهای ایزو از جمله ISO 14064-1، ISO 14064-3 و ISO 14065 نقشی اساسی در اعتبار سنجی و تأیید انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند، از این رو سهم قابل توجهی در این کاهش‌ها داشته‌اند.

اگرچه سری ISO 1406x به عنوان استانداردهای داوطلبانه است، اما بسیاری از کشورها مانند اتحادیه اروپا آن را اجباری کرده‌اند، در اصل ارزش و اهمیت آن‌ها را در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تشخیص داده‌اند. این بدان معنی است که، استانداردهای ISO 1406x هنوز یک پتانسیل استفاده نشده برای کمک به مهار و سپس کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد.

### ۵- سایر استانداردهای این مجموعه

سری استانداردهای ISO 1406x قبلاً نقش روشنی را در کاهش تغییرات آب‌وهوایی نشان داده‌است. با توجه به موفقیت‌های آن‌ها، تجارب کاربران و سایر نیازها، ISO / TC 207 در حال تدوین استانداردهای دیگری است که کمک بیشتری در تبدیل به اقتصاد با کربن صفر و همچنین استانداردهای سازگاری با تغییرات آب و هوا خواهد کرد. هر دو استاندارد جدید و استانداردهای در حال تدوین، ابزارها و تکنیک‌های مدیریتی را برای سازگاری با تغییرات آب‌وهوایی، خنثی‌سازی کربن، منابع مالی زیست‌محیطی، مشخص نمودن ریسک کربن و اعتبارسنجی را فراهم می‌کنند.

استانداردهای آینده شامل موارد زیر است:

ISO 14080: 2018: مدیریت گازهای گلخانه‌ای و فعالیتهای مربوط به آن - چارچوب و اصول روش‌شناسی اقدامات آب‌وهوایی.

ISO 14097، چارچوب و اصول ارزیابی و گزارش سرمایه‌گذاری‌ها و فعالیتهای مالی مربوط به تغییر اقلیم.

ISO / IEC 17029: 2019، ارزیابی انطباق - اصول و الزامات عمومی برای نهادهای تأیید [2].





## ۶- بحث و نتیجه گیری

در نتیجه می توان با مطالعه و شناخت استانداردهای وضع شده توسط سازمان بین المللی استاندارد ISO و نقشی که این استانداردها در زمینه کاهش اثر گازهای گلخانه ای ایفا می کنند، گام برداشت. در اصل بایستی، با عنایت به این استانداردها و اجرای مواردی که برای تعیین میزان انتشار گازهای گلخانه ای در سطح شرکتها و سازمانها وجود دارد، حرکت کرد.

البته نباید از اقدامات موثر در جهت کاهش اثرات گازهای گلخانه ای که به صورت راهکار در این استانداردها بیان شده است، مثل جنگل کاری برای جبران انتشار گاز CO<sub>2</sub> و افتتاح تاسیسات هضم بی هوازی در تصفیه خانه فاضلابها برای جذب متان، بی توجه بود. در حقیقت ترویج استانداردهای موجود در زمینه کاهش اثرات گازهای گلخانه ای بر اقلیم جهانی و کمک به اجرای راهکارهای مطرح شده در این استانداردها در سطح سازمانها و شرکتها نیز یکی از رسالت های فعالین حوزه منابع طبیعی و محیط زیست ایران است؛ تا با عمل به این موارد بتوان از اثرات منفی گازهای گلخانه ای بر آب و هوا و همچنین اثرات غیر مستقیم این پدیده مثل گرم شدن کره ی زمین و بالا آمدن سطح آب دریاها و موارد این چنینی کاسته شود.

## منابع

[1] ISO publication 2019

[2] [www.iso.org/TC207](http://www.iso.org/TC207)



## شبیه سازی سیستم های تصفیه آب خاکستری برای تولید آب با کیفیت غیرخوراکی

سینا لبافی<sup>۱</sup>، فاطمه رازی آستارایی<sup>۲\*</sup>، معین خالویی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، مهندسی سیستم های انرژی- فناوری انرژی، دانشگاه تهران، تهران

<sup>۲</sup> دانشیار، مهندسی سیستم های انرژی- فناوری انرژی، دانشگاه تهران، تهران

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی، مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

\* تهران، پست الکترونیکی: razias\_m@ut.ac.ir

### چکیده

با لحاظ اهمیت کم آبی در ایران و لزوم تامین آب از تصفیه فاضلاب و آب خاکستری، در این مقاله با شبیه سازی و بررسی بازده حذف آلاینده ها در سیستم های متداول تصفیه آب خاکستری شامل راکتور بی هوازی لجن فعال (UASB)، UASB همراه با لجن فعال برگشتی، UASB همراه با راکتور هم زن پیوسته غیرهوازی (CSTR) و راکتور غشایی (MBR) همراه با راکتور CSTR در نرم افزار GPS-x شبیه سازی شده و راندمان حذف آلاینده های آب خروجی بررسی شد. طبق نتایج راکتور غشایی همراه با راکتور CSTR بالاترین راندمان حذف آلاینده های اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)، اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD)، حذف نیترژن و مواد جامد معلق (TSS) را به ترتیب برابر با ۹۴،۱۱، ۹۹،۲۹، ۷۰،۵۶ و ۹۹،۱۷ درصد داشت که در مقایسه با دیگر سیستم های تصفیه به دلیل استفاده همزمان از سیستم های فیلتراسیون و واکنش های بیولوژیکی در کنار تصفیه بی هوازی بالاتر بود و تنها این سیستم، کیفیت آب خروجی طبق استاندارد محیط زیست برای استفاده دوباره از اب فاضلاب برای مصارف غیر خوراکی را تامین کرد.

واژگان کلیدی: MBR، تصفیه فاضلاب، آب خاکستری، لجن فعال



## Simulation of gray water treatment systems to produce non-potable quality water

Sina Labbafi<sup>1</sup>, Fatemeh Razi Astarai<sup>2\*</sup>, Moein Khaloi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> PhD Candidate, Department of Renewable Energies, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Renewable Energies, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Bachelor student, Environmental Health Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran

\* Corresponding author's email address: razias\_m@ut.ac.ir

### Abstract

Due to the importance of water scarcity in Iran and the need for water supply from wastewater and gray water treatment, in this paper by simulating and investigating the removal of contaminants in conventional gray water treatment systems up flow anaerobic sludge blanket (UASB), UASB with returned activated sludge, UASB with continuous stirred tank reactor (CSTR) and membrane bioreactor (MBR) along with CSTR reactor were simulated in GPS-x software and the removal efficiency of wastewater contaminants was evaluated. According to the results, the membrane bioreactor with CSTR reactor had the highest removal efficiency of chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (BOD), total nitrogen (TN) and total suspended solids (TSS) removal equal to 94.11, 99.29, 70.56 and 99.17%, respectively. Compared to other treatment systems due to the simultaneous use of filtration systems and biological reactions along with anaerobic treatment, and only this system, the quality of wastewater according to environmental standards for reuse of gray water for non-food purposes provide.

**Keywords:** MBR, wastewater treatment, gray water, active sludge





## اصطلاحات و مخفف ها

COD	Chemical oxygen demand	MBR	Membrane bio reactor
BOD	Biological Oxygen Demand	CSTR	Continuous stirred tank reactor
TOC	Total Organic Carbon	UASB	Upflow anaerobic sludge blanket
TSS	Total suspended solids	AS	Active sludge
VSS	Volatile suspended solids	ReAS	Returned active sludge
TN	Total nitrogen		
TKN	Total Kjeldahl Nitrogen		
TP	Total phosphor		

## ۱- مرور ادبیات

تصفیه جداگانه انواع فاضلاب یا استفاده دوباره از آب خاکستری ( فاضلاب خانگی یا اداری ناشی از حمام، اسپرزشخانه، رخت شویی و غیره که حاوی فضولات انسانی و حیوانی نمیباشد ) میتواند به عنوان یک منبع تامین آب برای مصارف غیر خوراکی (حمام، استخر، آبیاری فضای سبز و غیره) در نظر گرفته شود [۱]. اهمیت این استفاده دوباره در کنار ذخیره آب، میزان فاضلاب ورودی به سیستم های دفع فاضلاب را نیز کاهش میدهد [۲]. لذا میتوان از زیرساختهای سبز شهرها شامل فضاهای سبز، آب نماها و پارک ها پشتیبانی کرده و به طور غیرمستقیم مزایایی مانند امکانات رفاهی، هوای پاک تر و کشاورزی شهری را ارتقاء داد [۳]. بنابراین، جداسازی و استفاده مجدد از آب خاکستری نه تنها باید به عنوان منبع آب جایگزین برای مناطق کم آب دیده شود، بلکه می تواند باعث استفاده پایدارتر از سایر منابع طبیعی نیز شود [۴، ۵]. اما در مقابل مشکلاتی در استفاده دوباره از آب خاکستری وجود دارد که وجود شکاف در قوانین فعلی استفاده دوباره از آب تصفیه شده، وجود ترکیب های مختلف آب خاکستری که انتخاب سیستم تصفیه مناسب را دشوار می کند و از همه مهمتر هزینه های جمع آوری آب خاکستری، تصفیه و استفاده دوباره از آن را میتوان نام برد [۶].

با توجه به میزان کم بارش سالیانه در ایران، این کشور همواره با خطر کم آبی و خشک سالی مواجه بوده است [۷]. در این بین استان یزد با میانگین بارش ۹۳ میلیمتر در سال جز استان های کم آب محسوب میشود [۸]. از جهتی با توجه به توریستی بودن این شهر، جمعیت زیادی در طول سال از این شهر بازدید میکنند. لذا تامین آب همواره یکی از دغدغه های اصلی دولت برای این شهر توریستی بوده است. از این رو تامین آب مصرفی غیرخوراکی هتل ها و دیگر زیرساخت های تفریحی با استفاده از تصفیه فاضلاب خاکستری یکی از راه های کارهای غلبه بر این مشکل میتواند باشد [۹].

تنوع در ترکیب آب خاکستری باعث ایجاد مشکل در انتخاب فن آوری های تصفیه مناسب و سیستم های استفاده مجدد می شود. مقالات مقادیر COD را بین ۱۳ تا ۵۵۰ میلی گرم در لیتر، BOD<sub>5</sub> بین ۹۰ تا ۳۶۰ میلی گرم در لیتر، ازت کل



بین ۰/۶ تا ۷۴ میلی گرم در لیتر و فسفر کل را بین ۴ تا ۱۴ میلی گرم در لیتر گزارش می دهند [۱۰، ۱۱]. این اختلاف مقادیر به دلیل استفاده متفاوت از شوینده ها، صابون ها و سایر محصولات ناشی می شود. مهمترین ویژگی آب خاکستری با توجه به تجزیه بیولوژیکی، عدم تعادل در مواد مغذی آن است [۱۲].

فرایندهای تصفیه اب با توجه به میزان و نوع الاینده های موجود در فاضلاب بسیار متنوع هستند [۱۳]. در این میان استفاده از فرایندهای ترکیبی برای افزایش کارایی سیستم بسیار متداول است. ون اسپرلینگ و همکاران [۱۴] از راکتور UASB برای تصفیه فاضلاب صنعتی استفاده کردند. سیستم مورد نظر طی کارکرد ۲۶۱ روزه میزان حذف COD بین ۶۹ الی ۸۴ درصد را دارا بود. کاستیلو و همکاران [۱۵] با افزودن فرایند لجن برگشتی در راکتور UASB میزان حذف COD را بین ۸۴ تا ۹۵ درصد به دست آوردند. اسپونزا و همکاران [۱۶] با اضافه کردن یک راکتور CSTR به این مجموعه، سیستم را برای تصفیه فاضلاب صنایع دارویی استفاده کردند. طبق نتایج میزان حذف COD به ۹۷ درصد بهبود یافت. استفاده از سیستم تصفیه غشایی MBR به همراه فرایندهای بیولوژیکی مورد توجه محققان قرار گرفته است. سیستم تصفیه غشایی با کارایی بالا در حذف مواد الاینده و بدون نیاز به راکتورهای جداگانه در ابعاد کمتر نسب به باقی سیستم ها، در حال گسترش در ابعاد صنعتی میباشد. آتاناسوا و همکاران [۱۷] با استفاده از غشاء هالوفیبر مستغرق هوازی به بازده حذف ۹۹ درصدی COD رسیدند. لذا در مقایسه با دیگر روش ها، استفاده از تصفیه غشایی بازده بالاتری دارد اما طبق نتایج مقاله فونتولاکیس و همکاران [۱۸] این روش برای هزینه هر مترمکعب اب کمتر از ۱۰ یورو توجیه اقتصادی ندارد.

هدف اصلی این مقاله مقایسه فنی تصفیه اب خاکستری حاصل از یک هتل با دبی تولید فاضلاب ۲۵۰ متر مکعب در روز بوده است. مقالات و تحقیقات زیادی در راستای تصفیه انواع فاضلاب تا به حال انجام شده است ولی به دلیل تنوع در درصد ترکیبات الاینده ها و دبی جریان، مبنای یکسانی برای مقایسه سیستم های وجود ندارد. لذا در این مقاله بازده حذف الاینده های فاضلاب خاکستری یک هتل تحت استاندارد محیط زیست در ۴ سیستم متداول UASB، UASB همراه با لجن برگشتی، UASB همراه با CSTR و غشاء هالوفیبر مستغرق هوازی با شبیه سازی در نرم افزار GPS-x، به طور کامل مقایسه شد.

## ۲- روش تحقیق

مشخصات اب خاکستری هتل همراه با استاندارد محیط زیست در جدول ۱ آمده است. دبی جریان متوسط روزانه ۲۵۰ متر مکعب در نظر گرفته شده است.

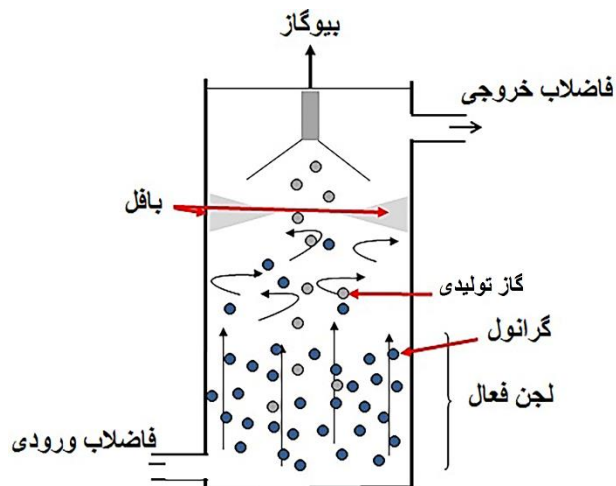
نرم افزار GPX-x یکی از مناسب ترین نرم افزارهای شبیه سازی انواع سیستم های تصفیه فاضلاب به شمار می آید. ۴ سیستم، UASB، UASB همراه با لجن برگشتی، UASB همراه با CSTR و غشاء هالوفیبر مستغرق هوازی UASB استفاده شده در مقالات برای کارکرد با فاضلاب ورودی یکسان در این نرم افزار شبیه سازی شدند.

## جدول ۱ مشخصات اب خاکستری و استاندارد محیط زیست

شاخص (mg/L)	کمینه	بیشینه	استاندارد	شاخص (mg/L)	کمینه	بیشینه	استاندارد
VSS (mg/L)	۹/۲	۱۴۹/۸	۴۰	COD (mg/L)	۴۱/۰	۵۳۵/۱	۱۰۰
TN (mg/L)	۱/۳	۲۵/۵	۱۰	BOD <sub>20</sub> (mg/L)	۱۵/۰	۳۶۰	۵۰
TKN (mg/L)	۲/۶	۲۵/۱	۱۰	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	۳۶/۶	۲۹۵	۴۰
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	۰/۲	۱۴/۴	۱	TOC (mg/L)	۱۳۶/۸	۱۶۰/۴	۳۵
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	۰/۰	۶/۷	۵	Alkalinity (mg/L)	۶۸۴/۹	۲۲۷/۴	۱۵۰
total count (CFU/100mL)	۱/۵ * ۱۰ <sup>۷</sup>	۴/۱ * ۱۰ <sup>۷</sup>	۱/۶ * ۱۰ <sup>۴</sup>	Conductivity (μS/cm)	۴/۹	۹۷۱/۳	۲۵۰
total coliform (CFU/100mL)	۱/۴ * ۱۰ <sup>۶</sup>	۴/۱ * ۱۰ <sup>۶</sup>	۱/۳ * ۱۰ <sup>۲</sup>	pH	۹/۲	۷/۹	۶ - ۷
E.coli (CFU/100mL)	۰	۱/۱ * ۱۰ <sup>۶</sup>	۱/۱ * ۱۰ <sup>۲</sup>	TSS (mg/L)	۱۹۵/۴	۱۹۵/۴	۵۰

## • UASB

فرآیند بستر بی هوازی لجن با جریان رو به بالا (UASB)، همان طور که در شکل ۱ نمایش داده شده است، شامل راکتور UASB تانکی است که از لجن بی هوازی با خواص ته نشینی خوب پر شده است، این راکتور از سه ناحیه تشکیل شده است، ناحیه بستر لجن، ناحیه پوشش لجن و ناحیه ته نشین سازی و جداسازی گاز، فاضلاب به طور یکنواخت در سطح مقطع راکتور، از کف توزیع میشود و ابتدا از ناحیه بستر که از یک لجن متراکم با رسوب دهی بالا تشکیل شده عبور میکند، سپس از ناحیه پوشش لجن که حدود ۷۰ درصد راکتور میباشد عبور میکند، این ناحیه از دانه های ریزتر، لخته ها و حباب های گاز تشکیل شده که با رفتن به طرف بالای راکتور، از جرم حجمی و سرعت ته نشینی ذرات کاسته می شود.



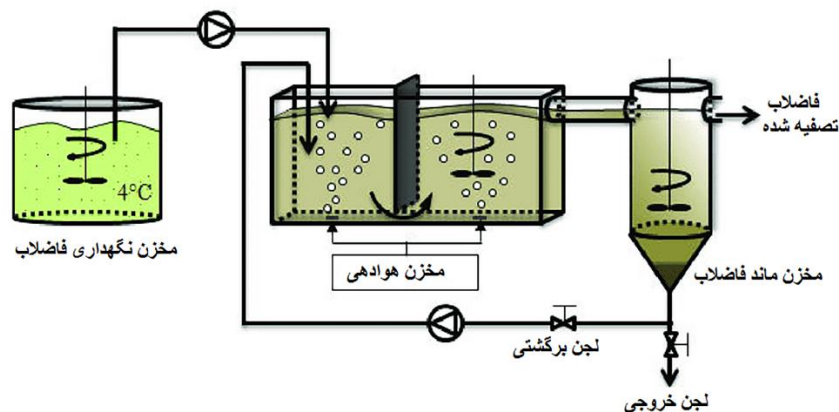
شکل ۱) شماتیک راکتور UASB [۱۹]



شکل ۵ شماتیک سیستم تصفیه UASB را نشان میدهد. از یک مخزن ته نشینی در ابتدا برای جداسازی اولیه استفاده شده است. جریان بالا دستی با دبی ۲۵۰ مترمکعب روزانه وارد راکتور بی هوازی لجن فعال شده و ۱۰ مترمکعب فاضلاب ته نشین شده وارد واحد جداساز میشود. در واحد UASB ۲۳۰ مترمکعب اب تصفیه شده خارج شده و ۱۰ مترمکعب فاضلاب ته نشینی نیز به واحد جداساز منتقل میشود. لجن فعال نیز از واحد جداساز ثانویه و جداساز لجن با دبی ۱۰ مترمکعب به سیستم باز میگردد. در نهایت ۱۰ مترمکعب روزانه فاضلاب برای معدوم سازی خارج میشود.

#### • UASB + لجن برگشتی

با توجه به شکل ۲، این سیستم از ترکیب راکتور UASB با فرایند لجن فعال برگشتی تشکیل شده است. لجن فعال جهت حذف میکروارگانیسمهای اضافی و ترکیبات جامد ایجاد شده نیازمند مراحل ته نشینی و زلال سازی است. این فرایندها زمان بر میباشند و ترکیبات جامد را به صورت کامل حذف نمیکند. در صورتیکه این فرایندها بهترین عملکرد را داشته باشند، باز هم مقداری از ترکیبات جامد (چیزی در حدود ۵ میلی گرم در هر لیتر) بهصورت معلق در آب باقی خواهد ماند.

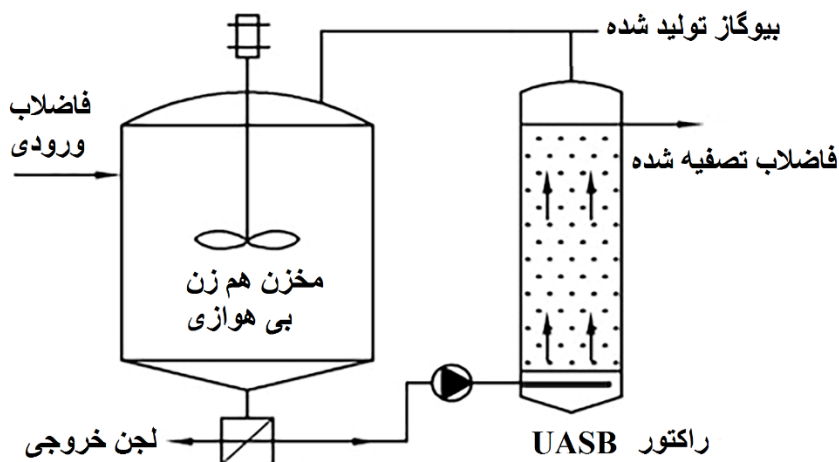


شکل ۲) شماتیک سیستم UASB همراه با لجن برگشتی [۲۰]

شکل ۶ شماتیک سیستم تصفیه UASB + لجن برگشتی را نشان میدهد. از یک مخزن ته نشینی در ابتدا برای جداسازی اولیه استفاده شده است. جریان بالا دستی با دبی ۲۴۰ مترمکعب روزانه وارد راکتور بی هوازی لجن فعال شده و ۱۰ مترمکعب فاضلاب ته نشین شده وارد واحد جداساز میشود. در واحد UASB ۲۳۰ مترمکعب اب تصفیه شده خارج شده و ۱۰ مترمکعب فاضلاب ته نشینی نیز به واحد جداساز منتقل میشود. در مرحله آخر اب وارد حوضچه تثبیت میشود. میزان ۵ مترمکعب مواد ته نشین شده که شامل مقدار زیادی لجن فعال میباشد به فاضلاب ورودی برمیگردد و مقدار ۵ مترمکعب نیز به واحد جداساز برای کاهش الاینده های فاضلاب خروجی منتقل میشود و سپس نیز واحد جداساز ثانویه و جداساز لجن با دبی ۱۰ مترمکعب به سیستم باز میگردد. در نهایت ۱۰ مترمکعب روزانه فاضلاب برای معدوم سازی خارج میشود.

### • CSTR + UASB

شماتیک این سیستم در شکل ۳ نمایش داده شده است. راکتور CSTR یک مخزن بی هوازی هم زن دار میباشد که از ته نشین شدن میکروارگانیسمها جلوگیری میکند. در این راکتور به طور پیوسته جریان فاضلاب به آن وارد و از آن خارج میشود و در همین حین عمل تجزیه مواد آلی صورت میگیرد.



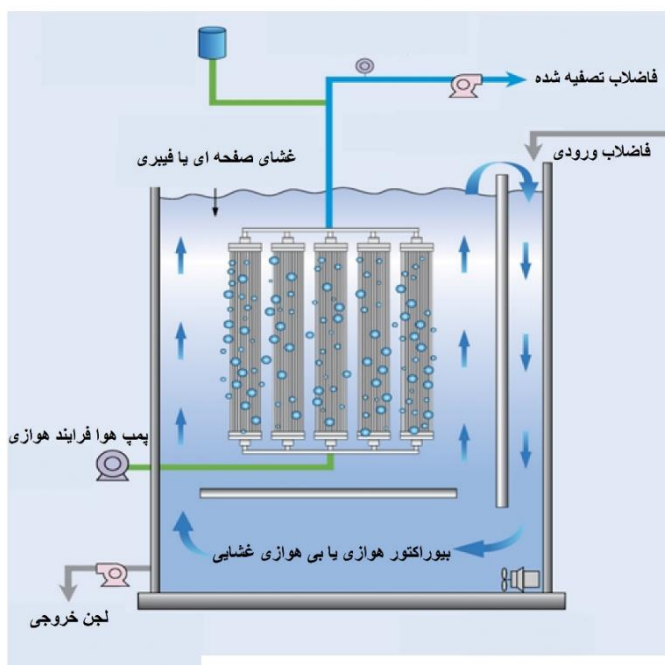
شکل ۳) شماتیک راکتور CSTR و UASB [۲۱]

شکل ۷ شماتیک سیستم تصفیه CSTR + UASB را نشان میدهد. از یک مخزن ته نشینی در ابتدا برای جداسازی اولیه استفاده شده است. جریان بالا دستی با دبی ۲۴۰ مترمکعب روزانه وارد راکتور CSTR شده و ۱۰ مترمکعب فاضلاب ته نشین شده وارد واحد جداساز میشود. در واحد CSTR فاضلاب برای انجام واکنش های بیولوژیکی نگه داری شده و سپس به واحد ته نشینی منتقل میشود. در واحد ته نشینی، جریان بالادستی با دبی ۲۵۰ خارج شده و ۵ مترمکعب نیز از جریان ته نشین به واحد جداساز منتقل میشود. در واحد UASB ۲۳۰ مترمکعب اب تصفیه شده خارج شده و ۱۰ مترمکعب فاضلاب ته نشینی نیز به واحد جداساز منتقل میشود و در ادامه در واحد جداساز ثانویه و جداساز لجن با دبی ۱۰ مترمکعب به سیستم باز میگردد. در نهایت ۱۰ مترمکعب روزانه فاضلاب برای معدوم سازی خارج میشود و ۲۳۰ مترمکعب اب تصفیه شده حاصل میشود.

### • CSTR + MBR

این سیستم شامل استفاده از راکتور هم زن CSTR در کنار بیوراکتور غشایی نشان داده شده در شکل ۴ میباشد. غشا مورد استفاده در این مدل سیستم ها دو مدل صفحه ای تخت یا هالو فیبر لوله ای میباشد. یکی از مزایای سیستم های فیلتراسیون غشایی عدم نیاز به راکتور جدا برای فرایندهای بیولوژیکی و توانایی استفاده در راکتورهای هوازی و بی هوازی است.

شکل ۸ شماتیک سیستم تصفیه CSTR + MBR را نشان می‌دهد. از یک مخزن ته نشینی در ابتدا برای جداسازی اولیه استفاده شده است. جریان بالا دستی با دبی ۲۴۰ مترمکعب روزانه وارد راکتور CSTR شده و ۱۰ مترمکعب فاضلاب ته نشین شده و وارد واحد جداساز می‌شود. در واحد CSTR فاضلاب برای انجام واکنش های بیولوژیکی نگه داری شده و سپس به واحد ته نشینی منتقل می‌شود. در واحد ته نشینی، جریان بالادستی با دبی ۲۵۰ خارج شده و ۵ مترمکعب نیز از جریان ته نشین به واحد جداساز و ۲۰ مترمکعب نیز دوباره به واحد CSTR برای کاهش میزان  $NH_4^+$  موجود در فاضلاب برگشت داده می‌شود. در واحد MBR ۲۳۰ مترمکعب اب تصفیه شده خارج شده و ۲۰ مترمکعب فاضلاب ته نشینی نیز به واحد ته نشینی برای کاهش نترات فاضلاب بازگشت داده می‌شود و در ادامه در واحد جداساز ثانویه و جداساز لجن با دبی ۱۰ مترمکعب به سیستم باز میگردد. در نهایت ۱۰ مترمکعب روزانه فاضلاب برای معدوم سازی خارج می‌شود و ۲۳۰ مترمکعب اب تصفیه شده حاصل می‌شود.



شکل ۴) شماتیک راکتور غشایی [۲۲]

### ۳- یافته ها

چهار سیستم معرفی شده تحت شرایط عملیاتی یکسان برای اجرا به مدت یکسال شبیه سازی شدند. جدول ۲ کیفیت الاینده های خروجی حاصل از شبیه سازی را نشان می‌دهد. سیستم ۳ و ۴ کمترین میزان دفع فاضلاب و هدررفت اب را نسبت به بقیه دارا بودند که علت ان را میتوان استفاده از سیستم بازگشتی و فرایندهای ته نشینی اضافی دانست. یکی از عوامل الاینده بسیار مهم  $NH_4^+$  محلول در اب میباشد. استفاده از فرایندهای بیولوژیکی هوایی سبب از بین رفتن این عامل میشود که تنها در سیستم ۴ این عامل به حد مجاز رسید. درصد حذف COD گزارش شده در هر چهار سیستم با نتایج



حاصل از آزمایش های تجربی گزارش شده در مقالات هم خوانی داشتند ولی تنها سیستم ۳ و ۴ میزان استاندارد مناسب برای COD را دارا بودند که این نتایج با میزان BOD موجود در اب خروجی هم خوانی دارند.

جدول ۲ مشخصات آب خروجی از سیستم های تصفیه

شاخص	واحد	فاضلاب ورودی	UASB + AS	UASB + ReAS	UASB + CSTR	MBR + CSTR
Flow	m <sup>3</sup> /d	۲۵۰	۲۲۴	۲۲۰	۲۳۰	۲۳۰
TSS	mg/L	۲۲۴/۵۳	۱۰/۳۱	۱/۰۰	۰/۴۷	۱/۸۵
VSS	mg/L	۱۶۸/۳۵	۷/۷۳	۰/۵۱	۰/۳۲	۱/۱۰
Soluble cBOD <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /L	۹۰/۳۴	۹۰/۳۴	۹۰/۳۴	۴۱/۲۷	۱/۵۶
cBOD <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /L	۲۲۱/۷۷	۹۶/۳۷	۹۰/۷۱	۴۱/۴۹	۱/۵۶
Soluble COD	mgCOD/L	۱۴۷/۵	۱۴۷/۵۰	۱۴۷/۵۰	۷۹/۰۶	۲۳/۶۸
COD	mgCOD/L	۴۳۰	۱۶۰/۴۷	۱۴۸/۲۹	۷۹/۵۵	۲۵/۳۱
Ammonia Nitrogen	mgN/L	۱۴	۱۳/۴۵	۱۳/۴۵	۱۴/۷۰	۰/۰۷
Nitrite	mgN/L	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۹
Nitrate	mgN/L	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۶/۶۳
Soluble TKN	mgN/L	۱۶/۷۷	۱۶/۲۳	۱۶/۲۳	۱۵/۹۲	۱/۶۹
TKN	mgN/L	۲۸/۹۷	۱۶/۷۹	۱۶/۳۰	۱۵/۹۵	۱/۸۰
TN	mgN/L	۲۸/۹۷	۱۶/۷۹	۱۶/۳۰	۱۵/۹۵	۸/۵۲
Ortho-Phosphate	mgP/L	۸	۵/۶۲	۵/۶۲	۵/۲۷	۰/۰۲
TP	mgP/L	۹/۹۷	۵/۹۲	۵/۹۱	۵/۵۰	۰/۰۴
Total Soluble Inorganic Carbon	mgC/L	۸۴	۶۹/۵۹	۶۹/۵۹	۳۳/۴۹	۰/۹۸
TOC	mgC/L	۱۳۷/۶	۵۱/۳۵	۴۷/۴۶	۲۸/۴۹	۸/۱۸
Alkalinity	mgCaCO <sub>3</sub> /L	۲۸۲/۰۴	۲۴۱/۰۰	۲۳۳/۶۵	۱۱۵/۹۶	۳/۳۱
pH	-	۷	۷	۷	۷	۷

جدول ۳ درصد حذف و کاهش المان ها را نشان میدهد. از نکات قابل توجه افزایش ۵ درصدی میزان NH<sub>4</sub><sup>+</sup> در سیستم ۳ میباشد که دلیل آن کاهش میزان نیترات و نیتريت موجود در فاضلاب و عدم حذف نیتروژن و در نتیجه تولید NH<sub>4</sub><sup>+</sup> است. سیستم ۴ همان طور که انتظار میرفت، در مقایسه با دیگر سیستم ها بازده حذف بسیار بالاتری دارد که دلیل آن استفاده از سیستم غشایی و بالاتر بودن راندمان آن در مقایسه با سیستم لجن فعال است.

جدول ۴ کیفیت اب خروجی هر سیستم را در مقایسه با استاندارد محیط زیست برای اب غیر شرب نشان میدهد. همان طور که ذکر شده بود سیستم ۴ بالاترین کیفیت خروجی را دارا بود که دلیل اصلی آن استفاده از سیستم غشایی و جریان برگشتی بود.



جدول ۳ درصد حذف آلاینده های فاضلاب ورودی توسط سیستم های تصفیه

شاخص	UASB + AS	UASB + ReAS	UASB + CSTR ++	MBR + CSTR
TSS	۹۵/۴۰	۹۹/۵۵	۹۹/۷۸	۹۹/۱۷
VSS	۹۵/۴۰	۹۹/۶۹	۹۹/۸۰	۹۹/۳۴
Soluble cBOD <sub>5</sub>	۰/۰۰	۰/۰۰	۵۴/۳۱	۹۸/۲۶
cBOD <sub>5</sub>	۵۶/۵۴	۵۹/۱۰	۸۱/۲۹	۹۹/۲۹
Soluble COD	۰/۰۰	۰/۰۰	۴۶/۴۰	۸۳/۹۴
COD	۶۲/۶۸	۶۵/۵۱	۸۱/۴۹	۹۴/۱۱
Ammonia Nitrogen	۳/۸۹	۳/۸۹	۵/۰۱-	۹۹/۴۸
Soluble TKN	۳/۲۵	۳/۲۵	۵/۰۹	۸۹/۹۱
TKN	۴۲/۰۴	۴۳/۷۶	۴۴/۹۳	۹۳/۷۷
TN	۴۲/۰۴	۴۳/۷۶	۴۴/۹۳	۷۰/۵۶
Ortho-Phosphate	۲۹/۷۲	۲۹/۷۲	۳۴/۰۹	۹۹/۷۸
TP	۴۰/۶۶	۴۰/۷۲	۴۴/۸۸	۹۹/۶۵
Total Soluble Inorganic Carbon	۱۷/۱۵	۱۷/۱۵	۶۰/۱۳	۹۸/۸۲
TOC	۶۲/۶۸	۶۵/۵۰	۷۹/۲۹	۹۴/۰۵
Alkalinity	۱۴/۵۵	۱۷/۱۵	۵۸/۸۸	۹۸/۸۲

جدول ۴ مقایسه کیفیت آب تصفیه شده با استاندارد محیط زیست

شاخص (mg/L)	استاندارد	UASB + AS	UASB + ReAS	UASB + CSTR	MBR + CSTR
COD	۱۰۰	۱۴۸/۲۸	۱۶۰/۴۷	۷۹/۵۵	۲۵/۳۱
BOD <sub>20</sub>	۵۰	۹۰/۳۴	۹۰/۳۴	۴۱/۲۷	۱/۵۶
BOD <sub>5</sub>	۴۰	۹۰/۷۱	۹۶/۳۷	۴۱/۴۹	۱/۵۶
TOC	۳۵	۴۷/۴۶	۵۱/۳۵	۲۸/۴۹	۸/۱۸
Alkalinity	۱۵۰	۲۳۳/۶۴	۲۴۱/۰۰	۱۱۵/۹۶	۳/۳۱
TSS	۵۰	۱/۰۰	۱۰/۳۱	۰/۴۷	۱/۸۵
VSS	۴۰	۰/۵۱	۷/۷۲	۰/۳۲	۱/۱۰
TN	۱۰	۱۶/۲۹	۱۶/۷۸	۱۵/۹۵	۸/۵۲
TKN	۱۰	۱۶/۲۹	۱۶/۷۹	۱۵/۹۵	۱/۸۰
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	۱	۱۳/۴۵	۱۳/۴۵	۱۴/۷۰	۰/۰۷
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	۵	۵/۶۲	۵/۶۲	۵/۲۷	۰/۰۲

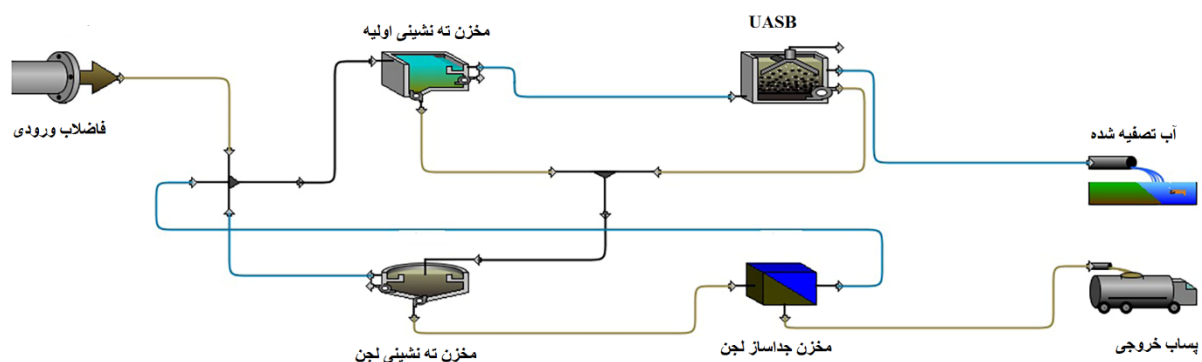


## ۴- بحث و نتیجه گیری

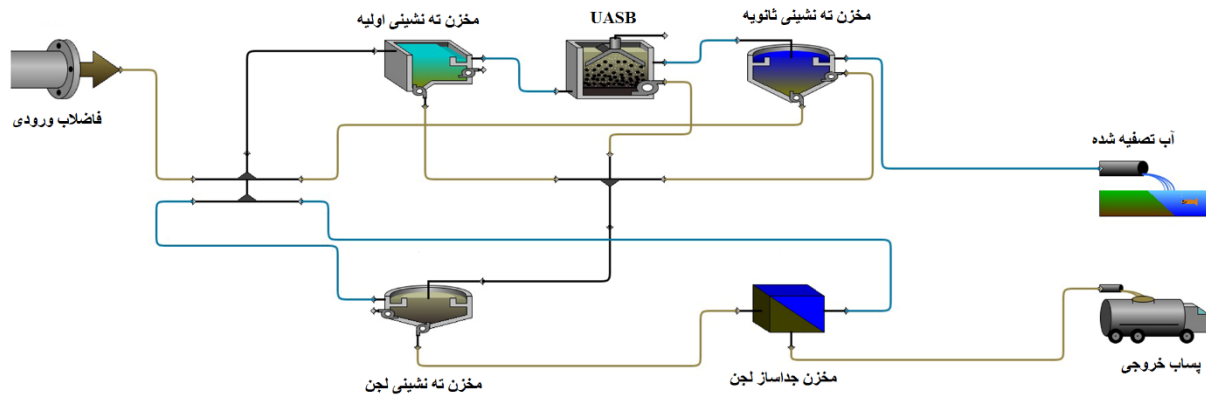
نتیجه شبیه سازی سیستم UASB برای حذف COD برابر با ۶۲ درصد به دست آمد در حالی که طبق گزارش ون اسپرلینگ و همکاران [۱۴] بازده حذف COD این سیستم ۶۵ الی ۸۴ درصد گزارش شده بود که دلیل این کاهش بازدهی محتوای COD پایین تر در فاضلاب ورودی سیستم آن ها بود. همان طور که گزارش شد این سیستم قابلیت خوبی در حذف نیترات و فسفات موجود در فاضلاب ندارد. این اختلاف نتایج برای سیستم UASB همراه با لجن برگشتی شبیه ساز با گزارش کاستیلو و همکاران [۱۵] نیز مشاهده شد که به علت همین مورد بوده است و این دو سیستم فقط برای فاضلاب های دارای الاینده کم و پایین مناسب هستند. سیستم معرفی شده توسط اسپونزا و همکاران [۱۶] نیز با اجرا در شبیه ساز قابلیت حذف COD مناسبی داشت اما این سیستم معرفی شده توسط اسپونزا و همکاران [۱۶] نیز با اجرا در شبیه ساز قابلیت حذف COD مناسبی داشت اما این سیستم معرفی شده توسط اسپونزا و همکاران [۱۶] نیز با اجرا در شبیه ساز غشایی معرفی شده توسط آتاناسوا و همکاران [۱۷] تنها سیستم قابل اتکا برای تصفیه آب طبق استانداردهای محیط زیست برای استفاده غیر خوراکی بود.

سیستم غشایی با توجه به هزینه بالای تامین غشاء و لزوم پاک سازی و تعویض آن، در مقایسه با دیگر روش ها هزینه بالاتری دارد ولی این سیستم با کاهش مصرف آب و عدم نیاز به تصفیه های ثانویه، توانایی تامین آب غیرخوراکی برای مناطق خشک و کم آب را دارا می باشد. لذا این سیستم های غشایی می توانند جایگزین مناسبی برای طرح های هزینه بر انتقال آب دریا یا دیگر سیستم های آب ساز باشند.

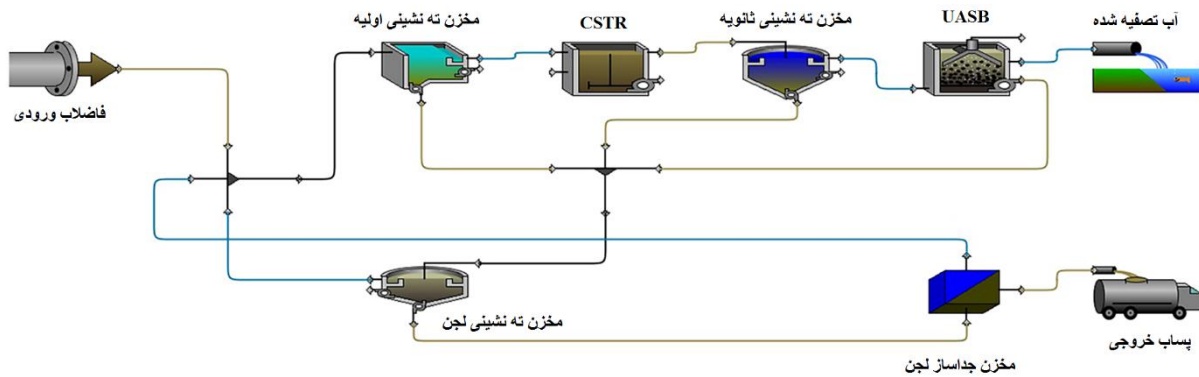
## ضمایم:



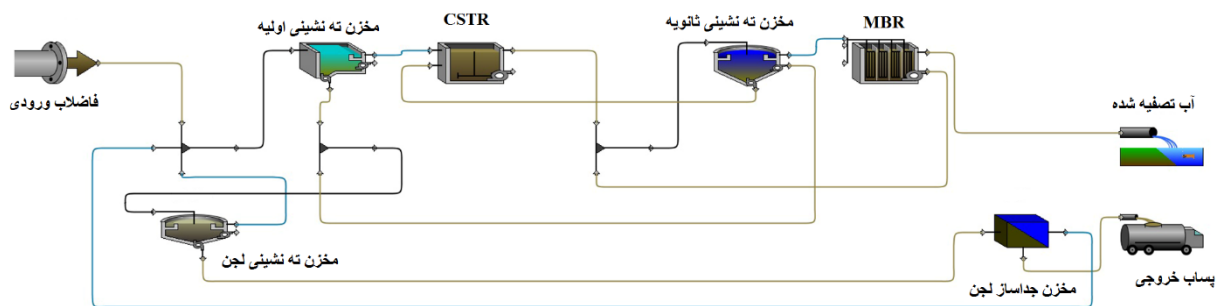
شکل (۵) شماتیک سیستم شبیه سازی شده UASB



شکل ۶) شماتیک سیستم شبیه سازی شده UASB همراه با لجن برگشتی



شکل ۷) شماتیک سیستم شبیه سازی شده UASB با اراکتور CSTR



شکل ۸) شماتیک سیستم شبیه سازی شده MBR با اراکتور CSTR



## منابع

- T. Opher and E. Friedler, "Comparative LCA of decentralized wastewater treatment alternatives for non-potable urban reuse," *Journal of environmental management*, vol. 182, pp. 464-476, 2016 [۱]
- F. Li, K. Wichmann, and R. Otterpohl, "Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses," *Science of the total environment*, vol. 407, no. 11, pp. 3439-3449, 2009 [۲]
- M. Pidou, F. A. Memon, T. Stephenson, B. Jefferson, and P. Jeffrey, "Greywater recycling: treatment options and applications," in *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability*, 2007, vol. 160, no. 3, pp. 119-131: Thomas Telford Ltd [۳]
- A. R. Zahedi, S. Labbafi, A. Ghaffarinezhad, and K. Habibi, "Design, construction and performance of a quintuple renewable hybrid system of wind/geothermal/biomass/solar/hydro plus fuel cell," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 46, no. 9, pp. 6206-6224, 2021 [۴]
- S. Labbafi and A. Zahedi, "The Determination of Optimum Conditions for Biodiesel-based Microalgae Growth Using Machine Vision," *Journal of Machine Vision and Image Processing*, vol. 7, no. 2, pp. 137-148, 2021 [۵]
- K. Kotut, V. Ngángá, and F. Kariuki, "The potential of a low cost technology for the greywater treatment," 2011 [۶]
- عساکره، حسین، and مازینی، "تحلیل توزیع احتمال بارش سالانه استان گلستان،" تحقیقات منابع آب ایران، vol. 6, no. 1, pp. 51-55, 2010 [۷]
- H. Tabari and P. H. Talaee, "Temporal variability of precipitation over Iran: 1966–2005," pp. 313-320, 2011, *Journal of Hydrology*, vol. 396, no. 3-4 [۸]
- E. Friedler, R. Kovalio, and N. Galil, "On-site greywater treatment and reuse in multi-storey buildings," *Water science and technology*, vol. 51, no. 10, pp. 187-194, 2005 [۹]
- M. M. Mekonnen and A. Y. Hoekstra, "Global gray water footprint and water pollution levels related to anthropogenic nitrogen loads to fresh water," *Environmental science & technology*, vol. 49, no. 21, pp. 12860-12868, 2015 [۱۰]
- L. a. Hernández Leal, N. Vieno, H. Temmink, G. Zeeman, and C. J. Buisman, "Occurrence of xenobiotics in gray water and removal in three biological treatment systems," *Environmental science & technology*, vol. 44, no. 17, pp. 6835-6842, 2010 [۱۱]
- A. Butkovskiy, A. W. Jeremiasse, L. Hernandez Leal, T. van der Zande, H. Rijnaarts, and Zeeman, "Electrochemical conversion of micropollutants in gray water," *Environmental science & technology*, vol. 48, no. 3, pp. 1893-1901, 2014 [۱۲]
- M. Bajpai, S. S. Katoch, and N. K. Chaturvedi, "Comparative study on decentralized treatment technologies for sewage and graywater reuse—a review," *Water Science and Technology*, vol. 80, no. 11, pp. 2091-2106, 2019 [۱۳]
- M. Von Sperling, V. Freire, and C. de Lemos Chernicharo, "Performance evaluation of a UASB-activated sludge system treating municipal wastewater," *Water Science and Technology*, vol. 43, no. 11, pp. 323-328, 2001 [۱۴]



- A. Castillo and J. Mata-Alvarez, "A kinetic study of a combined anaerobic-aerobic system for treatment of domestic sewage," *Water Research*, vol. 33, no. 7, pp. 1742-1747, 1999 [۱۵]
- D. T. Sponza and P. Demirden, "Treatability of sulfamerazine in sequential upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB)/completely stirred tank reactor (CSTR) processes," *Separation and Purification Technology*, vol. 56, no. 1, pp. 108-117, 2007 [۱۶]
- N. Atanasova, M. Dalmau, J. Comas, M. Poch, I. Rodriguez-Roda, and G. Buttiglieri, "Optimized MBR for greywater reuse systems in hotel facilities," *Journal of Environmental Management*, vol. 193, pp. 503-511, 2017 [۱۷]
- Petousi, and T. Manios, "Single house on-site grey water .M. Fountoulakis, N. Markakis, I treatment using a submerged membrane bioreactor for toilet flushing," *Science of the total environment*, vol. 551, pp. 706-711, 2016 [۱۸]
- UASB reactor," *Bioresource* E. Behling *et al.*, "Domestic wastewater treatment using a *Technology*, vol. 61, no. 3, pp. 239-245, 1997 [۱۹]
- T. Alvarino, S. Suarez, J. Lema, and F. Omil, "Understanding the removal mechanisms of PPCPs and the influence of main technological parameters in anaerobic UASB and aerobic CAS reactors," *Journal of Hazardous materials*, vol. 278, pp. 506-513, 2014 [۲۰]
- O. N. Ağdağ and D. T. Sponza, "Anaerobic/aerobic treatment of municipal landfill leachate in sequential two-stage up-flow anaerobic sludge blanket reactor (UASB)/completely stirred tank reactor (CSTR) systems," *Process Biochemistry*, vol. 40, no. 2, pp. 895-902, 2005 [۲۱]
- S. Fazal, B. Zhang, Z. Zhong, L. Gao, and X. Chen, "Industrial wastewater treatment by *Protection*, using MBR (membrane bioreactor) review study," *Journal of Environmental* .vol. 6, no. 06, p. 584, 2015 [۲۲]



## طراحی سیستم تولید هیدروژن با کمک کلکتور خورشیدی تراف سهموی و مخزن ذخیره سازی انرژی حرارتی

مرضیه کریمی<sup>۱</sup>، مهدی مهرپویا<sup>۲\*</sup>، فتح الله پورفیاض<sup>۲</sup>

۱-کارشناسی ارشد، مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه تهران، تهران

۲-دانشیار، مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه تهران، تهران

نویسنده مسئول: mehrpoya@ut.ac.ir

### چکیده

در این مقاله، به معرفی و مدل‌سازی سیستمی پرداخته شده که از انرژی خورشیدی برای تولید هیدروژن از طریق فرآیند الکترولیز با درجه حرارت بالا استفاده می‌کند. معمولاً پنل‌های فوتوولتائیک برای تولید برق مورد نیاز استفاده می‌شود. اما بازدهی پنل‌های فوتوولتائیک کم است و با افزایش دمای محیط این مقدار کمتر می‌شود. به این منظور، از کلکتور پارابولیک در این مطالعه برای تامین انرژی حرارتی و الکتریکی برای الکترولیزر استفاده می‌شود. همچنین با توجه به ذات متغییر انرژی خورشیدی بایستی از یک مخزن ذخیره سازی انرژی نیز استفاده شود. در نهایت نتایج مربوط به مدل‌سازی سیستم پیشنهادی ارائه شده است.

**واژگان کلیدی:** سوخت پاک، تولید هیدروژن، الکترولیز آب، الکترولیزر اکسید جامد، نمک هیدرات، کلکتور

تراف سهموی





## Design of hydrogen production system using parabolic trough solar collector and thermal energy storage tank

Marzie Karimi<sup>1</sup>, Mehdi Mehrpooya<sup>2\*</sup>, Fathollah Pourfayaz<sup>2</sup>

1- MS of Energy Systems Engineering, University of Tehran, Tehran

2- Associated Professor, Energy Systems Engineering, University of Tehran, Tehran

Corresponding author \* mehrpooya@ut.ac.ir

### Abstract

In this paper, a system that uses solar energy to produce hydrogen through a high-temperature electrolysis process is introduced and modeled. Photovoltaic panels are commonly used to generate the required electricity. But the efficiency of PV panels is low and decreases with increasing ambient temperature. For this purpose, the parabolic trough collector is used in this study to provide thermal and electrical energy for the electrolyzer. Also, due to the intermittent nature of solar energy, an energy storage tank should be used. Finally, the results of modeling the proposed system are presented.

**Keywords:** Clean fuel, Hydrogen production, Water electrolysis, Solid oxide electrolyzer, Hydrate salt, Parabolic trough collector



## ۱- مرور ادبیات

هیدروژن یکی از بهترین جایگزین‌ها برای سوخت‌های فسیلی است. که مزایای بسیاری را نسبت به سایر حامل‌های انرژی، شامل فرم متفاوت ذخیره‌سازی، ارزش حرارتی بیشتر نسبت به سوخت‌های فسیلی، بازده تبدیل انرژی بالا [1] و انتشار نزدیک به صفر کربن در طی فرایند احتراق دارد و... همه این مزایا محققان را ترغیب میکند که بر روی سوخت هیدروژن و چالش‌های مربوط به آن تمرکز کنند.

گذار به توسعه پایدار تمدن بشری به ناچار نیازمند تغییراتی در ترکیب انرژی، توسعه و اجرای فن آوری‌های جدید انرژی از جمله سوخت‌هایی که کربن تولید نمی‌کنند به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و محدود کردن تغییرات اقلیمی ناشی از تأثیرات انسانی در محیط زیست است.

استفاده وسیع از هیدروژن، به عنوان یک حامل انرژی که از نظر زیست محیطی پاک است و منابع نامحدودی برای تولید آن وجود دارد، می‌تواند یکی از راه‌های ممکن برای توسعه انرژی آینده باشد. پیش‌بینی‌های بلندمدت توسعه جهانی انرژی نشان می‌دهد که بسته به میزان مصرف انرژی مورد انتظار و همچنین شرایط دیگر، بخصوص محدودیت‌های مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای، تولید و مصرف انرژی مرتبط با هیدروژن بین سال‌های ۲۰۵۰ تا ۲۱۰۰ ممکن است از سطح فعلی تا ده‌ها یا حتی تا صدها بار افزایش یابد.

با توجه به مفهوم اقتصاد هیدروژن، هیدروژن تولید شده از آب به تدریج جایگزین سوخت‌های فسیلی می‌شود و در نیمه دوم قرن ۲۱ به انرژی اصلی تبدیل می‌شود [2, 3]. برای این منظور لازم است که بسیاری از مشکلات فنی مربوط به آن حل شود، که ایمنی فن آوری‌های هیدروژن را تضمین کند و روش‌های تولید، ذخیره‌سازی و حمل و نقل هیدروژن را بهبود بخشد.

مشکل اصلی و مورد بحث در مورد استفاده از هیدروژن به عنوان حامل انرژی بازدهی کلی کم آن است. در این رابطه بوسل [4] نشان داد که راندمان کلی همه‌ی تکنولوژی‌های هیدروژن که در آنها هیدروژن از طریق الکترولیز و بر پایه منابع انرژی‌های تجدید پذیر تولید و به عنوان سوخت خودرو مصرف شود بین ۱۹٪ تا ۲۳٪ است حال آنکه بازدهی سیستم مشابه الکتریکی در حالی که باتری خودرو را شارژ کند حدود ۶۹٪ است.

در این ارتباط لازم است توجه شود که بازدهی همیشه نمی‌تواند به عنوان یک معیار برای مقایسه باشد. در بسیاری از موارد (و یا در بیشتر موارد) بسیار مهم است که برآوردهای اقتصادی ارائه شود. علاوه بر این، مطالعات نشان داده شده، یک پارامتر کلیدی برای حاملان انرژی یعنی مدت زمانی که لازم است انرژی ذخیره شود، در نظر گرفته نشده است. واضح است که انرژی الکتریکی را می‌توان به طور مستقیم برای تولید انرژی نهایی و خدمات انرژی با بازدهی بسیار بالا استفاده کرد. اما این وضعیت تنها در زمانی اتفاق می‌افتد که انرژی نهایی در زمان تولید آن مورد نیاز باشد. با این وجود، برای ارائه خدمات مناسب به مصرف‌کننده انرژی، تولید و مصرف انرژی نباید در یک زمان باشد. این اختلاف زمانی می‌تواند ده‌ها ساعت باشد. در این‌چنین موردی بحث اصلی که مطرح می‌شود این است که برای تولید، حمل و نگهداری کدام مورد اقتصادی تر است: انرژی الکتریکی یا هیدروژن؟ حتی زمان ذخیره انرژی بیشتر می‌تواند در برخی سیستم‌های انرژی از جمله منابع انرژی تجدید پذیر با شرایط عملیاتی متغیر (نیروگاه‌های باد و خورشیدی) مورد نیاز باشد.

نتایج تحقیقات و ارزیابی‌های آقای مارچنکو نشان داد که اقتصاد برق برای ذخیره‌سازی کوتاه مدت انرژی قابل قبول است، در حالی که استفاده از هیدروژن ب ذخیره‌سازی بلند مدت مفید است [5].

چن و همکاران [6] یک سلول الکترولایز اکسید جامد جدید ارائه دادند که، با استفاده از یک بخش هیبریدی منیزیمی، با یک مخزن ذخیره هیدروژن در محل ترکیب شده است. آنالیز حساسیت تأثیر پارامترهای عملیاتی مانند فشار عملیاتی، ولتاژ الکترولیز و دمای

هوای خنک کننده بر عملکرد این طرح جدید انجام شده است. گزارش ها نشان می دهد که برای کوتاه شدن زمان جذب و افزایش راندمان ذخیره هیدروژن، عملکرد الکترولیزر باید فشار بیشتری داشته باشد.

مطالعات همچنین استفاده از هیدروژن حاصل از تجزیه آب در الکترولیزر اکسید جامد را برای ترکیب با کربن دی اکسید بررسی کرده است [7]. هدف از فرآیندهای پیشنهادی، تولید گاز سنتز است. تجزیه و تحلیل انرژی انجام شده بر روی سیستم پیشنهادی نشان داد که بازده تبدیل انرژی متان و متانول می تواند به ترتیب به ۷۷ و ۵۹ درصد برسد. مطالعه مشابهی توسط مارچیز و همکاران انجام شد [8]. آنها سیستمی را برای جلوگیری از انتشار انتشار کربن دی اکسید در صنایع بالادستی ارائه دادند. نتایج نشان داد که در حضور الکترولیزر اکسید جامد، در بهترین حالت، بازده کارخانه به ۸۱٫۱ درصد می رسد.

یک مطالعه در مورد مهارت سیستم تولید هیدروژن بر اساس یک کلکتور فوتوولتائیک بررسی شده است [9]. اندازه گیری ها و ارزیابی ها برای سه میزان جریان جرم مختلف انجام شده است. نتایج افزایش خروجی دما، ولتاژ خروجی و توان خروجی را نشان می دهد. گزارش ها نشان می دهد که حداکثر بازده حرارتی و الکتریکی معادل ۳۳٫۸٪ و ۸٫۵٪ است. خانمحمدی و سعادت ترقی [10] در حضور و عدم وجود مولد ترموالکتریک (TEG)، یک مدل سازی و ارزیابی ترمودینامیکی را بر روی سیستم تولید هیدروژن انجام دادند. نتایج نشان می دهد که در حالت بدون ژنراتور ترموالکتریک، توان خالص خروجی ۶۶٫۹ کیلووات است و با بازیافت حرارت پسماند ژنراتور ترموالکتریک، این مقدار برابر ۸۰٫۹ کیلووات است. این باعث می شود بازده انرژی از ۶٫۹٪ به ۸٫۱٪ افزایش یابد. تحقیق مشابهی توسط حبیب الله زاده و همکاران پیشنهاد شد [11]. سیستمهای فرعی اعمال شده شامل کلکتورهای سهموی، چرخه رانکین، یک سلول الکترولیز کننده غشا تبادل پروتون و یک مولد ترموالکتریک هستند. یک کد در متلب به منظور کشف نقطه عملکرد بهینه سیستم ساخته شده است. نتایج نشان می دهد که بازدهی انرژی برابر با ۱۳٫۲۹٪ و کل هزینه های انرژی ۶۳٫۹۶GJ/\$ است. ترکیبی از فوتوولتائیک/حرارتی متمرکز با یک چرخه آلی رانکین و یک واحد ذخیره انرژی، توسط النیمر و همکاران پیشنهاد شده است [12]. هدف، بررسی تأثیر دمای سیال در ورودی توربین، تابش خورشید به طور متوسط و دمای محیط بر عملکرد سیستم است. آنها دریافتند که در صورت استفاده از مخزن ذخیره، بازده انرژی می تواند به ۲۱٫۹۵٪ افزایش یابد. آتیز و همکاران [13] سیستمی را با هدف تولید هیدروژن و برق با استفاده از انرژی خورشیدی طراحی کرد. سرانجام، آنها دریافتند که این سیستم توانایی تولید ۳۲۰۴ گرم هیدروژن در هر روز را دارد. آنها همچنین بازده قانون اول و دوم بازده ترمودینامیکی سیستم را به ترتیب ۵/۹۲ و ۱۸/۲۱ درصد محاسبه کردند. سیستم جدیدی برای تولید هیدروژن، خنک کننده و تولید آب گرم ارائه شده است [14]. نوآوری در این طرح استفاده از چرخه رانکین به جای سیکل گاز است. خروجی سیستم معرفی شده جریان هیدروژن با سرعت جریان جرمی نزدیک به یک کیلوگرم در ساعت و ۱۰۲۷ کیلووات برق است. مقادیر بدست آمده برای قانون اول و دوم کارایی ترمودینامیک به ترتیب ۷۱/۶ و ۲۴/۵ درصد است.

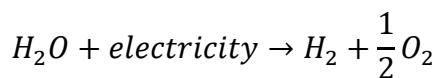
در این مطالعه، یک سیستم نوین توسعه یافته برای تولید هیدروژن معرفی و تحلیل می شود. سیستم پیشنهادی شامل کلکتورهای خورشیدی سهموی، با یک مخزن ذخیره انرژی حرارتی شیمیایی، سلول های الکترولیز کننده اکسید جامد و یک چرخه رانکین است. تجزیه و تحلیل انرژی و اکسرژی در این سیستم ارائه خواهد شد. اگرچه مطالعات متعددی در مورد ادغام کلکتورهای مختلف خورشیدی و الکترولیزرها انجام شده است، اما تلاش برای انجام مطالعه ای در مورد ترکیب کلکتور خورشیدی سهموی با یک مخزن ذخیره انرژی ترموشیمیایی انجام نشده است. هدف اصلی از طراحی این سیستم تولید هیدروژن با دبی ثابت با استفاده از انرژی خورشیدی است. به منظور بررسی تأثیر وجود مخزن ذخیره انرژی گرمایی و عملکرد آن در سیستم، بر عملکرد کلی سیستم، از یک آنالیز حساسیت استفاده می شود.

## ۲- روش تحقیق

الکترولیز یا برقکافت در شیمی و صنعت به فرآیندی اطلاق می‌شود که در آن از جریان برق مستقیم برای جداسازی عناصر و ترکیب‌هایی که با پیوند شیمیایی به یکدیگر متصلند استفاده می‌شود.

در مورد تجزیه آب، به این واکنش آبکافت نیز گفته می‌شود که طی آن در اثر عبور انرژی الکتریکی از روی آب در اثر وقوع یک واکنش غیرخودبخودی ملکول‌های آب به ملکول‌های هیدروژن و اکسیژن تبدیل می‌شوند.

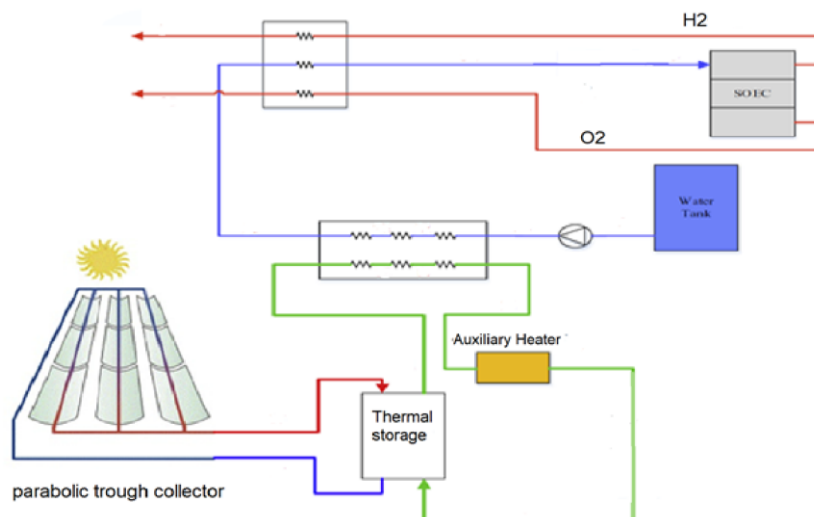
در فرآیند الکترولیز در اثر تجزیه هر مول آب، یک مول هیدروژن و نیم مول اکسیژن حاصل می‌شود.



اجزای اصلی سیستم پیشنهادی عبارتند از: کلکتور ترف سهموی، سیستم ذخیره سازی حرارتی، شبکه مبدل حرارتی و الکترولیز اکسید جامد.

انرژی خورشیدی منبع اصلی انرژی این سیستم است. عملکرد کلی به این صورت است که کلکتور خورشیدی گرما را از خورشید دریافت می‌کند تا دمای سیال جاذب افزایش یابد. بخشی از این انرژی در یک مخزن ذخیره سازی حرارتی ذخیره می‌شود و سیستم را قادر می‌سازد تا به طور مداوم کار کند. جریان خروجی ذخیره سازی حرارتی به سیستم این امکان را می‌دهد تا انرژی حرارتی مورد نیاز برای الکترولیز را به طور مداوم فراهم کند. استفاده از الکترولیزر دما بالا باعث کاهش مصرف برق در بخش الکترولیز می‌شود. انرژی الکتریکی مورد نیاز برای الکترولیز می‌تواند توسط انرژی خورشیدی و یا از شبکه برق تامین شود. به منظور تامین حرارت کافی برای جریان ورودی به الکترولیزر ممکن است نیاز به استفاده از یک هیتر کمکی هم باشد.

شکل زیر شماتیکی از سیستم را ارائه می‌دهد:



شکل (۱۱) شماتیک سیستم مورد نظر



## ۲-۱-۱- اجزا سیستم

در این بخش به معرفی و بیان لزوم هریک از اجزا در سیستم پیشنهادی پرداخته می‌شود.

## ۲-۱-۱-۱ کلکتور خورشیدی

منبع اصلی تامین انرژی مورد نیاز برای سیستم، انرژی خورشیدی است. انرژی حرارتی مصرفی توسط الکترولایزر اکسید جامد توسط یک کلکتور تراف سهموی تامین می‌شود.

کلکتور تراف سهموی<sup>۴</sup> نوعی کلکتور حرارتی خورشیدی است که یک سهموی از جنس فلز جلا داده شده اطراف آن را در بر می‌گیرد. نور خورشید که به آینه تابیده شود به طور متمرکز در کانون سهمی، جایی که جسم جاذب قرار گرفته است جمع می‌شود. یک لوله حاوی یک روغن، در طول لوله در خط کانونی آن تعبیه می‌شود.

نور خورشید بر روی لوله متمرکز شده و مایع به وسیله انرژی نور خورشید تا دمایی بالاتر گرم می‌شود. این کلکتور خورشیدی رایج ترین و شناخته شده ترین نوع تراف است.

## ۲-۱-۲- الکترولایزر

در سیستم پیشنهادی از الکترولایزر اکسید جامد استفاده می‌شود. دلیل انتخاب این نوع الکترولایزر دمای بالای کارکرد آن است که باعث می‌شود بخش زیادی از انرژی مورد نیاز به صورت انرژی حرارتی تامین شود و میزان انرژی الکتریکی مصرفی کاهش یابد.

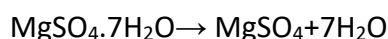
در این الکترولایزر جریان‌های جرمی شامل دو بخش ورودی و خروجی‌اند. بخش ورودی شامل جریان آب و بخش خروجی شامل جریان اکسیژن و هیدروژن حاصل از تجزیه الکتریکی و حرارتی آب است.

## ۲-۱-۳- مخزن ذخیره انرژی

با توجه به ذات ناپایدار و متغییر انرژی خورشیدی به این معنا که شدت تابش همواره ثابت نبوده و در زمان شب این میزان به صفر می‌رسد همچنین یک سیستم ایده‌آل سیستمی است که بتواند به طور مداوم و ثابت انرژی مورد نیاز را تامین کند. به همین منظور بایستی از یک مخزن ذخیره سازی انرژی حرارتی بهره گرفته شود تا سیستم متضمن تامین مداوم انرژی به الکترولایزر باشد.

نمک‌های هیدراته در نرخ بالای انتقال حرارت ذوب می‌شوند و ساختار کریستالی آنها تخریب می‌شود با این وجود انرژی ذخیره شده توسط آنها برای بازه‌های طولانی قابل دسترسی است. برای مثال با استفاده از انرژی خورشیدی برای بی‌آب کردن نمک‌های هیدراته و ذخیره آب و نمک بی‌آب به صورت جداگانه می‌توان انرژی را تا زمستان ذخیره کرد، در آن زمان دوباره نمک بی‌آب و بخار آب را با هم ترکیب می‌کنند تا انرژی ذخیره شده آزاد گردد.

در سیستم مورد بررسی ذخیره‌سازی انرژی حرارتی توسط نمک هیدراته منیزیم سولفات ذخیره می‌شود که واکنش بی‌آب شدن آن به شرح زیر است:



## ۲-۲-۲- مدل‌سازی الکترولایزر اکسید جامد

ولتاژ مورد نیاز اعمالی بر الکترولایزر برای تجزیه آب از رابطه زیر بدست می‌آید [10]:

<sup>4</sup> Parabolic Trough Collector



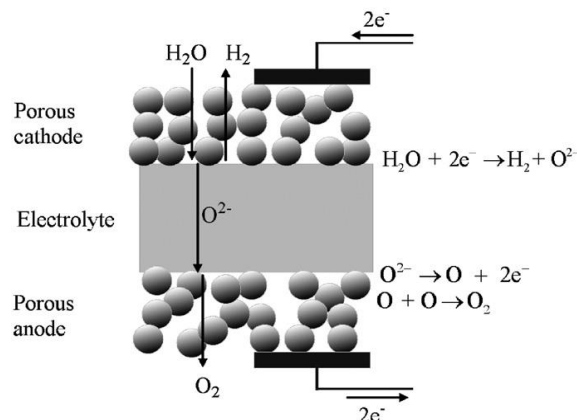
$$V = E + \eta_{conc.a} + \eta_{conc.c} + \eta_{act.a} + \eta_{act.c} + \eta_{ohmic} \quad (1)$$

که در این رابطه E ولتاژ تعادلی<sup>۵</sup> و  $\eta_{conc.c}$  و  $\eta_{conc.a}$  پتانسیل اضافه<sup>۶</sup> تمرکزی در کاتد و آند و  $\eta_{ohmic}$  پتانسیل اضافه اهمی (برای غلبه بر مقاومت‌های اهمی موجود) و  $\eta_{act.c}$  و  $\eta_{act.a}$  پتانسیل اضافی فعالسازی در آند و کاتد هستند. ولتاژ تعادلی مورد نیاز SOEC از رابطه نرنست<sup>۷</sup> قابل حصول است [10]:

$$E = E_0 + \frac{RT}{2F} \ln \left[ \frac{P_{H_2}^0 (P_{O_2}^0)^{\frac{1}{2}}}{P_{H_2O}^0} \right] \quad (2)$$

که در آن R ثابت جهانی گاز و برابر 8.3145 J/molK و F ثابت فارادی برابر  $9.6485 \times 10^4 C/mol$  است. همچنین T دما بر حسب کلوین و  $P_{H_2}^0$ ،  $P_{O_2}^0$  و  $P_{H_2O}^0$  فشار جزئی بخار برای هیدروژن، اکسیژن و بخار آب در الکتروود هستند. به علاوه پتانسیل استاندارد  $E_0$  بر حسب ولت از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$E_0 = 1.253 - 2.4516 \times 10^{-4} T \quad (3)$$



شکل ۲) تولید هیدروژن بوسیله الکترولیزر اکسید جامد برگرفته از منبع [10]

#### ۱-۲-۲ Concentration overpotential

Overpotential غلظتی ناشی از مقاومت در برابر جابجایی واکنش دهنده‌ها در برابر نزدیک شدن به محل واکنش و مقاومت محصولات واکنش در برابر جابجایی و خروج از محل واکنش است. برای یک سلول اکسید جامد، پتانسیل اضافه غلظتی (تمرکزی) می‌تواند با توجه به اختلاف غلظت گاز بین سطح الکتروود و رابط الکترودهای الکتریکی به شرح زیر بیان شود:

$$\eta_{conc.c} = \frac{RT}{2F} \ln \left[ \frac{P_{H_2}^I P_{H_2O}^0}{P_{H_2}^0 P_{H_2O}^I} \right] \quad (4)$$

$$\eta_{conc.a} = \frac{RT}{2F} \ln \left[ \left( \frac{P_{O_2}^I}{P_{O_2}^0} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (5)$$

<sup>5</sup> Equilibrium voltage

<sup>6</sup> Overpotential (polarization)

<sup>7</sup> Nernst equation



که در آن  $P^0$  و  $P^I$  فشار جزئی در سطح الکتروود و سطح تماس بین الکتروود و الکترولیت است. هنگامی که واکنش در سطح تماس الکتروود و الکترولیت رخ می‌دهد، جرم هر عنصر شرکت کننده در واکنش در حالت پایا ثابت باقی می‌ماند:

$$\nabla \cdot N_i = 0 \quad (6)$$

که  $N_i$  نرخ مصرف یا تولید جزء  $i$  ام در الکتروود متخلخل الکترولایزر است. عامل اصلی تغییرات جرم در الکتروود انتشار<sup>۸</sup> است که از طریق گرادیان غلظت یا گرادیان فشار جزئی رخ می‌دهد. رابطه فیک برای این مقدار به شرح زیر است:

$$N_i = -\frac{D_i^{eff}}{RT} \frac{\partial(y_i P)}{\partial x} = -\frac{D_i^{eff}}{RT} \frac{\partial P_i}{\partial x} \quad i=1,2,\dots \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ -\frac{D_i^{eff}}{RT} \frac{\partial P_i}{\partial x} \right] = 0 \quad (8)$$

$i$  در کاتد، آب و برای آند اکسیژن است. که  $x$  عمق محاسبه شده از سطح الکتروود است. در سطح تماس کاتد و الکترولیت ( $x = d_c$ ) ضخامت کاتد، میزان انتشار  $H_2O$  به سطح تماس، برابر با میزان مصرف  $H_2O$  در حالت پایا، توسط چگالی جریان کتریکی  $J$  کنترل می‌شود بنابراین نرخ انتقال جرم برابر است با:

$$N_{H_2O} = \frac{J}{2F} \quad (9)$$

با استفاده از دو رابطه (۷) و (۹)، رابطه فیک در نقاط مرزی به رابطه زیر تبدیل می‌شود:

$$\left. \frac{\partial P_{H_2O}}{\partial x} \right|_{x=d_c} = -\frac{J}{2F} \frac{RT}{D_{H_2O}^{eff}} \quad (10)$$

با اعمال شرط مرزی دیریکله بر رابطه (۸) داریم:

$$P_{H_2O}^I = P_{H_2O}^0 - \frac{J}{2F} \frac{RT}{D_{H_2O}^{eff}} d_c \quad (11)$$

از آنجایی که نرخ مولی مصرف بخار آب برابر با نرخ مولی تولید هیدروژن است، فشار کل کاتد ثابت می‌ماند بنابراین:

$$\begin{aligned} P_{H_2}^I &= P - P_{H_2O}^I = P - \left( P_{H_2O}^0 - \frac{J}{2F} \frac{RT}{D_{H_2O}^{eff}} d_c \right) \\ &= P_{H_2O}^0 + \frac{J}{2F} \frac{RT}{D_{H_2O}^{eff}} d_c \end{aligned} \quad (12)$$

از جایگذاری روابط (۱۱) و (۱۲) در رابطه (۴) مقدار پتانسیل اضافی کاتد برابر است با:

$$\eta_{conc} = \frac{RT}{2F} \ln \left[ \frac{(P_{H_2O}^0 + \frac{J}{2F} \frac{RT}{D_{H_2O}^{eff}} d_c) P_{H_2O}^0}{(P_{H_2}^0 - \frac{J}{2F} \frac{RT}{D_{H_2O}^{eff}} d_c) P_{H_2}^0} \right] = \frac{RT}{2F} \ln \left[ \frac{1 + \frac{J}{2F} \frac{RT}{D_{H_2O}^{eff}} d_c \frac{P_{H_2O}^0}{P_{H_2}^0}}{1 - \frac{J}{2F} \frac{RT}{D_{H_2O}^{eff}} d_c \frac{P_{H_2}^0}{P_{H_2}^0}} \right] \quad (13)$$

<sup>8</sup> Diffusion



انتشار در الکترودهای متخلخل عمدتاً بر اساس دو مکانیزم، یعنی انتشار مولکولی و انتشار Knudsen است. ضریب انتشار موثر بخار می‌تواند با ترکیب این دو مکانیسم انتشار با استفاده از فرمول بوسنکه بیان شود:

$$\frac{1}{D_{H_2O}^{eff}} = \frac{\xi}{n} \left( \frac{1}{D_{H_2-H_2O}} + \frac{1}{D_{H_2O.k}} \right) \quad (14)$$

که نسبت انحنای به تخلخل کاتد و  $\frac{\xi}{n} \left( \frac{1}{D_{H_2-H_2O}} \right)$  معکوس ضریب نفوذ ملکولی متقابل برای سیستم دوتایی آب و هیدروژن و  $\frac{\xi}{n} \left( \frac{1}{D_{H_2O.k}} \right)$  معکوس ضریب موثر نفوذ کوانستون برای بخار است. در سمت آند، اکسیژن تنها ماده در فاز گاز است که در لایه متخلخل الکتروده جایجا می‌شود. در سطح تماس آند-الکترولیت نرخ انتشار اکسیژن از سطح تماس برابر با نرخ تولید اکسیژن در حالت پایاست.

$$N_{O_2} = -\frac{J}{4F} \quad (15)$$

مشابه معادلات مربوط به شرایط مرزی آند به صورت زیر در می‌آید:

$$\left. \frac{\partial P_{O_2}}{\partial x} \right|_{x=d_a} = \frac{J}{4F} \frac{RT}{D_{O_2}^{eff}} \quad (16)$$

با اعمال شرط مرزی دیریکله در سطح آند و حل معادله (۸) با شرط مرزی (۱۵) و (۱۶) فشار جزئی اکسیژن در سطح تماس آند-الکترولیت برابر است با:

$$P_{O_2}^I = P_{O_2}^0 + \frac{J}{4F} \frac{RT}{D_{O_2}^{eff}} d_a \quad (17)$$

در نهایت پتانسیل اضافی غلظتی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\eta_{conc.a} = \frac{RT}{2F} \ln \left[ 1 + \frac{J}{4F} \frac{RT}{D_{O_2}^{eff} P_{O_2}^0} d_a \right] \quad (18)$$

#### Activation overpotential ۲-۲-۲

Overpotential فعال سازی یک معیار از فعالیت الکترودها است. نشان دهنده پتانسیل اضافی مورد نیاز برای واکنش الکتروشیمیایی است. رابطه بین overpotential فعال سازی الکتروده و چگالی جریان را می‌توان با معادله باتلر-والر بیان کرد:

$$J = J_{o.i} \left[ \exp \left( \frac{\alpha z F \eta_{act.i}}{RT} \right) - \exp \left( -\frac{(1-\alpha) z F \eta_{act.i}}{RT} \right) \right] \quad (19)$$

که  $J_{o.i}$  چگالی تبادل جریان و  $\eta_{act.i}$  پتانسیل اضافی فعال سازی برای آند یا کاتد است.  $\alpha$  فاکتور تقارن یا ضریب تبادل بار و  $z$  تعداد الکترون‌های تولید شده در هر واکنش است. در مورد الکترولیز آب  $\alpha = 0.5$  و  $z=2$  می‌باشند.

نهایتاً پتانسیل اضافی فعال سازی یک الکتروده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\eta_{act.i} = \frac{RT}{F} \sinh^{-1} \left( \frac{J}{2J_{o.i}} \right) = \frac{RT}{F} \ln \left[ \frac{J}{2J_{o.i}} + \sqrt{\left( \frac{J}{2J_{o.i}} \right)^2 + 1} \right] \quad i=a,c \quad (20)$$



در الکتروشیمی  $J_{o.i}$  نشان دهنده آمادگی الکتروود برای ادامه واکنش الکتروشیمیایی است. در کاتد، مراحل مهم واکنش الکتروشیمیایی شامل جذب  $H_2O$ ، انتقال بار، دفع  $H_2$  و الحاق یونهای اکسیژن در الکتروولیت است. در سمت آند، مراحل اصلی واکنش انتقال بار و دفع اکسیژن است. مراحل فوق نه تنها به پارامترهای عملیاتی، مثل فشار دما و فشار جزئی واکنش دهنده یا محصول بستگی دارد، بلکه پارامترهای ماده، یعنی طول مرز سه فاز (TPB) نیز بستگی دارد. مطالعات قبلی نشان داده است که غلظت واکنش دهنده یا محصول اثر کوچکی بر چگالی جریان مبادله دارد، در حالی که اثر دما بیشتر قابل توجه است. با توجه به اثر دما، چگالی جریان مبادله می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$J_{o.a} = \gamma_a \exp\left(-\frac{E_{act.a}}{RT}\right) \quad (21)$$

$$J_{o.c} = \gamma_c \exp\left(-\frac{E_{act.c}}{RT}\right) \quad (22)$$

که  $\gamma_a$  و  $\gamma_c$  به ترتیب ضرایب نمایی آند و کاتد هستند؛  $E_{act.a}$  و  $E_{act.c}$  به ترتیب انرژی فعال سازی در آند و کاتد است. چگالی جریان مبادله چگالی جریان در پتانسیل اضافی صفر است.

#### ۲-۲-۳ Ohmic overpotential

صفحات الکتریکی و الکتروودها معمولاً رسانایی الکتریکی بیشتری نسبت به الکتروولیت دارند. بنابراین، تأثیر آنها بر پتانسیل اضافی مقاومتی را می‌توان نادیده گرفت. بر طبق قانون اهم، پتانسیل اضافه اهمی الکتروولایزر اکسید جامد را می‌توان برحسب خواص الکتروولیت به صورت زیر بیان کرد:

$$\eta_{ohmic} = 2.99 \times 10^5 J \exp\left(\frac{10300}{T}\right) \quad (23)$$

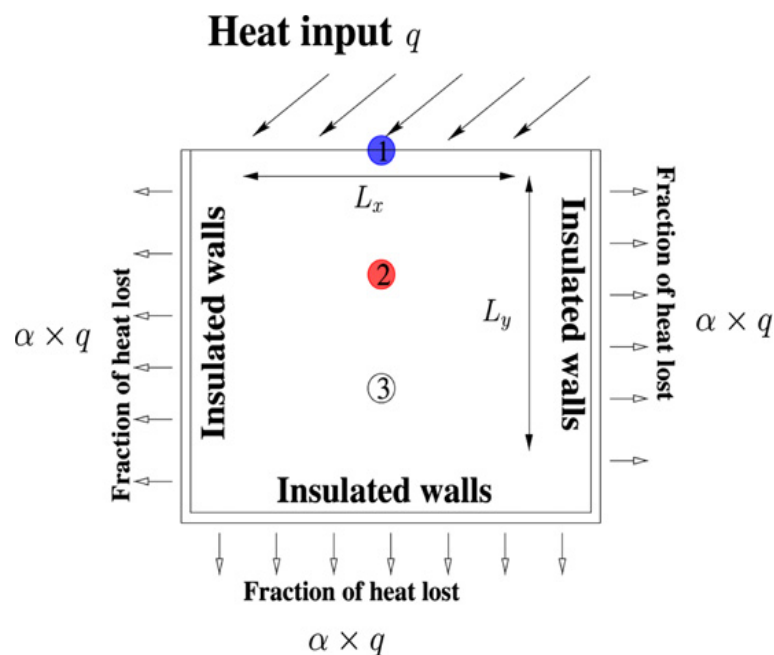
که در این رابطه  $L$  ضخامت الکتروولیت بر حسب میکرون است. مقادیری که در شبیه‌سازی استفاده شده‌اند در جدول ۱ ارائه شده‌اند:

جدول ۱۱ مقادیر عددی استفاده شده در مدل‌سازی الکتروولایزر

نماد	توضیح	مقدار
$T$	دمای عملکردی (K)	۱۲۷۳
$P$	فشار عملیاتی (bar)	۱
$\gamma_a$	پیش‌ضریب نمایی برای چگالی جریان تبدالی آند ( $Am^{-2}$ )	$2/0.51 \times 10^{-9}$
$\gamma_c$	پیش‌ضریب نمایی برای چگالی جریان تبدالی کاتد ( $Am^{-2}$ )	$1/344 \times 10^{-10}$
$E_{act.a}$	انرژی فعال‌سازی برای آند ( $Jmol^{-1}$ )	$1/2 \times 10^5$
$E_{act.c}$	انرژی فعال‌سازی برای کاتد ( $Jmol^{-1}$ )	$1/0 \times 10^5$
$n$	تخلخل الکتروود	۰/۴۸
$\xi$	انحنای الکتروود	۵/۴
$r$	شعاع میانگین تخلخل ( $\mu m$ )	۱/۰۷
$L$	ضخامت الکتروولیت ( $\mu m$ )	۱۰۰۰
$d_c$	ضخامت کاتد ( $\mu m$ )	۱۰۰
$d_a$	ضخامت آند ( $\mu m$ )	۱۰۰

## ۲-۳- مدل سازی مخزن ذخیره

به منظور شبیه سازی واکنش درحال انجام درون مخزن ذخیره سازی با فرض دو بعدی بودن مسئله یک مربع با ابعاد  $L_x, L_y$  را که با نمک هیدراته منیزیم سولفات پر شده است در نظر می گیریم که از مرز بالایی آن حرارت مازاد ورودی از کلکتور خورشیدی با نرخ  $q$  وارد می شود درمورد سایر دیواره های مخزن (چپ و راست و پائینی) می توان کیفیت عایق بندی را با استفاده از یک پارامتر مانند  $\alpha$  بیان کرد که این پارامتر می تواند مقادیر بین ۰ و ۱ به خود بگیرد. به این صورت که به ازای  $\alpha = 0$  عایق بندی کاملا ایده آل است و هیچ حرارتی از آن به بیرون تلف نمی شود.



شکل ۳) شماتیک مخزن ذخیره انرژی حرارتی برگرفته از منبع [15].

در این مدل سازی فرض بر این است که دمای هر ترکیب شامل نمک هیدراته نمک بی آب و بخار آب در هر لحظه و در هر مکان یکسان باشد.

پیش از رسیدن به دمای دهیدراته شدن ( $T_r$ ) نمک کم گرم می شود تا به دمای تغییر فاز برسد که در این دما نمک هیدراته شروع به آزاد کردن بخار آب می کند. انرژی شیمیایی مورد نیاز برای فرایند به سرعت واکنش و آنتالپی دهیدراته کردن بستگی دارد [15].

## ۲-۳-۱ قوانین بقا

قوانین حاکم بر مخزن ذخیره سازی معرفی شده شامل قانون بقای جرم و قانون بقای انرژی هستند.

قانون بقای انرژی برای این سیستم به صورت زیر حاصل می شود:

$$\frac{\partial}{\partial t} [(M_h N_h C_h + M_s N_s C_s + M_g N_g C_g) T] = \nabla(K \nabla T) + r M_h N_h \Delta H \quad (24)$$

که در این رابطه:





$$r = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (25)$$

$$K = \beta_h K_h + \beta_s K_s + \beta_g K_g \quad (26)$$

$$\beta_j = M_j N_j / \rho_h \quad (27)$$

همچنین بقای جرم با توجه به بسته بودن سیستم وعدم تبادل جرم با بیرون از واکنشگاه به صورت زیر است:

$$M_h \frac{\partial N_h}{\partial t} + M_s \frac{\partial N_s}{\partial t} + M_g \frac{\partial N_g}{\partial t} = 0 \quad (28)$$

تغییرات در جرم نمک هیدراته و فرآورده های واکنش آن بر اساس سرعت واکنش و نسبت های استوکیومتری واکنش قابل حصول است:

$$\frac{\partial N_h}{\partial t} = -r N_h \quad (29)$$

حال باتوجه به ضرایب استوکیومتری بدست آمده از موازنه جرم واکنش داریم:

$$\frac{\partial N_h}{\partial t} = -\frac{\partial N_s}{\partial t} \quad (30)$$

$$\frac{\partial N_h}{\partial t} = -7 \frac{\partial N_g}{\partial t} \quad (31)$$

جدول ۲ مقادیر و ثوابت استفاده شده در مدل سازی مخزن ذخیره انرژی حرارتی

مقدار	توضیح	نماد
۲۴۶	وزن ملکولی $(\text{gr/mol}) \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$M_h$
۱۲۰	وزن ملکولی $(\text{gr/mol}) \text{MgSO}_4$	$M_s$
۱۸	وزن ملکولی $(\text{gr/mol}) \text{H}_2\text{O}$ بخار	$M_g$
۱۶۸۰	چگالی $(\text{kg/m}^3) \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$\rho_h$
۲۶۶۰	چگالی $(\text{kg/m}^3) \text{MgSO}_4$	$\rho_s$
۰/۴۶۶۴۵	چگالی $(\text{kg/m}^3) \text{H}_2\text{O}$	$\rho_g$
۱۵۴۶	گرمای ویژه $(\text{J/kgK}) \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$C_h$
۸۰۰	گرمای ویژه $(\text{J/kgK}) \text{MgSO}_4$	$C_s$
۱۹۷۵۱	گرمای ویژه $(\text{J/kgK}) \text{H}_2\text{O}$	$C_g$
۸۵۳۶/۱۸	آنتالپی دهیدرات کردن $(\text{J/kg})$	$\Delta H$
۰/۴۸	ضریب هدایت حرارتی گرمای ویژه $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ $(\text{W/mK})$	$K_h$
۰/۴۸	ضریب هدایت حرارتی گرمای ویژه $\text{MgSO}_4$ $(\text{W/mK})$	$K_s$
۰/۰۲۶	ضریب هدایت حرارتی گرمای ویژه $\text{H}_2\text{O}$ $(\text{W/mK})$	$K_g$
۱/۶۷×۱۰ <sup>۵</sup>	فاکتور فرکانسی در در رابطه آرنهیوس	$A$
۵۵	انرژی فعال سازی در رابطه آرنهیوس	$E$
۴۷۳	دمای دهیدراته شدن	$T_r$
۸/۳۱۴	ثابت جهانی گاز; $(\text{J/kmol})$	$R$

## ۲-۳-۲ شرایط مرزی و شرایط اولیه

در زمان  $t=0$  دمای کل سیستم برابر  $44.3$  کلوین و تعداد مولهای منیزیم سولفات هیدراته  $6.14$  مول و مقدار نمک خشک و بخار آب در زمان اولیه برابر صفر در نظر می گیریم. همچنین در مرز فوقانی شار حرارتی ورودی با مقدار ثابت  $q=1000\text{w/m}^2$  وارد می شود. سایر دیواره ها ایزوله هستند و درجه عایق بندی با ضریب  $\alpha$  تعریف میشود بدین صورت که برای  $\alpha = 0$  دیواره ها کاملاً عایق هستند و هیچ حرارتی از آنها خارج نمی شود. سایر مقادیر و ثوابت استفاده شده در حل مسئله به شرح جدول ۲ است.

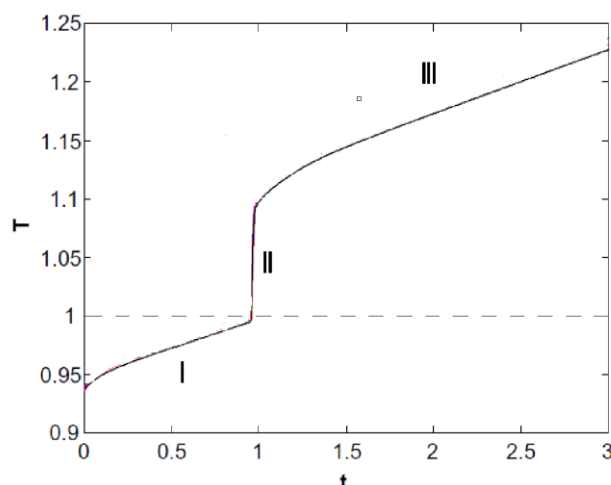
## ۳- یافته ها

نتایج حاصل از مدل سازی الکترولایزر در متلب شامل بازدهی الکترولایزر و مقدار دبی جرمی هیدروژن خروجی از الکترولایزر است. به ازای داده های ورودی با مقادیر ارائه شده در بخش قبل خروجی های مدل به شرح زیر است:

بازدهی الکترولایزر که برابر است با نسبت میزان انرژی قابل حصول از هیدروژن بدست آمده به کل کار و گرمای ورودی به الکترولایزر این مقدار برای الکترولایزر مدل شده برابر  $62\%$  و دبی جرمی هیدروژن تولیدی برابر  $0.03$  کیلوگرم بر ثانیه است.

نتایج مرتبط به مدلسازی مخزن ذخیره انرژی حرارتی با استفاده از روش تفاضل محدود با نرم افزار متلب، همراه با توضیحات مربوطه در زیر ارائه شده اند:

معادلات ارائه شده در بخش ۱-۳-۲ به صورت عددی برای به دست آوردن تغییرات دما در مکان های مختلف در دامنه حل شده اند، همانطور که در شکل زیر قابل مشاهده است، در منطقه I تا زمانی که دمای بی بعد به مقدار یک (یعنی تا زمانی که دما کمتر از دمای دهیدراته شدن است)، رفته رفته افزایش می یابد. پس از این یک انتقال ناگهانی به دمای بالاتر در طی دفع آب توسط نمکها داریم (منطقه II). پس از آن درجه حرارت دوباره به صورت خطی افزایش می یابد (منطقه III).



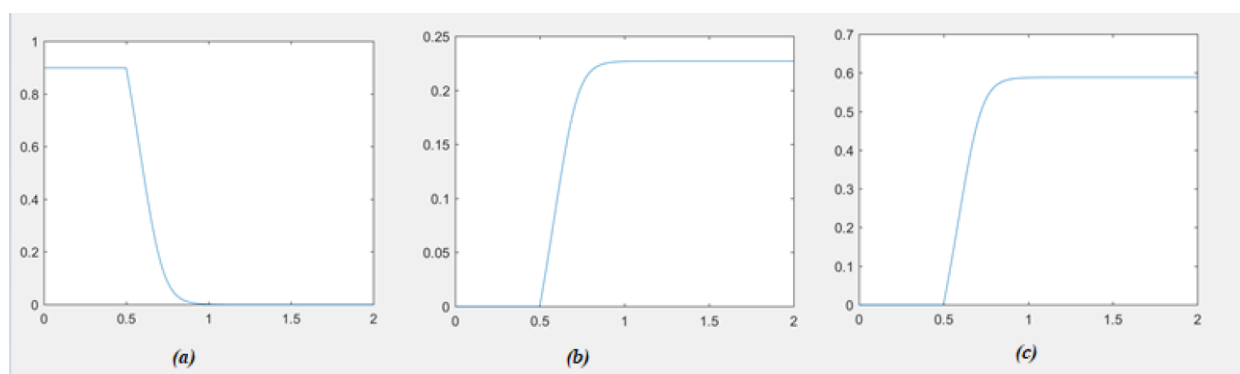
شکل ۴) تغییرات دمای بدون بعد درون مخزن ذخیره سازی با گذشت زمان با فلاکس حرارتی ثابت

سه شکل زیر تغییرات زمانی غلظت اجزای شیمیایی را در زمانهای مختلف نشان می دهد. غلظت نمک هیدراته به دلیل افزایش درجه حرارت رفته رفته کاهش می یابد و فرم بدون آب آن تولید می شود در نتیجه غلظت آن افزایش می یابد. در مورد بخار آب نیز همزمان با افزایش دما و تجزیه نمک هیدراته به نمک بی آب، غلظت بخار آب رفته رفته افزایش می یابد. این افزایش با توجه به نسبت های استوکیومتری، از نظر مولی هفت برابر افزایش غلظت در نمک بی آب است.

در شکل‌های زیر نیز مانند پروفایل دمایی، سه بخش توضیح داده شده قابل ملاحظه اند. در بخش اول و تا زمانی که دمای مخزن به دمای دهیدراته شدن برسد، غلظت همه مواد ثابت می‌ماند.

در بخش دوم یعنی زمانی که دما به دمای دهیدراته شدن رسیده است، غلظت نمک هیدرات‌ها در ابتدا شروع به کاهش می‌کند و متعاقباً با تولید نمک بی‌آب و بخار آب غلظت آنها رو به افزایش می‌رود.

در بخش سوم، پس از آنکه همه نمک‌های هیدراته تجزیه شدند، واکنش پایان یافته و دیگر تغییر در غلظت مواد شیمیایی مشاهده نمی‌شود.



شکل ۵) تغییرات غلظت بدون بعد شده مواد در زمان بی بعد (a): منیزیم سولفات هفت آبه (b): منیزیم سولفات (c): بخار آب

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک سیستم تولید هیدروژن طراحی و تحلیل شد. برای مدل سازی زیر سیستم‌ها از نرم افزار MATLAB و aspen HYSYS استفاده شد. بازدهی انرژی الکترولایزر مدل شده برابر ۶۲٪ و دبی جرمی هیدروژن تولیدی برابر ۰/۰۰۳ کیلوگرم بر ثانیه است.

نمودار تغییرات غلظت برای مواد موجود در مخزن ذخیره‌سازی انرژی حرارتی، در زمان شارژ و دشارژ ارائه شده‌اند. همچنین پروفیل دمایی مخزن ذخیره حرارتی در زمان ترسیم شده است. نتایج کارکرد مناسب سیستم ارائه شده را نمایان ساخته است.



## منابع

- [1] C. Acar and I. Dincer, "Comparative assessment of hydrogen production methods from renewable and non-renewable sources," *International Journal of Hydrogen Energy*. 2014, doi: 10.1016/j.ijhydene.2013.10.060.
- [2] N. Z. Muradov and T. N. Veziroğlu, "'Green' path from fossil-based to hydrogen economy: An overview of carbon-neutral technologies," *International Journal of Hydrogen Energy*. 2008, doi: 10.1016/j.ijhydene.2008.08.054.
- [3] G. W. Crabtree, M. S. Dresselhaus, and M. V. Buchanan, "The hydrogen economy," *Physics Today*. 2004, doi: 10.1063/1.1878333.
- [4] U. Bossel, "Does a hydrogen economy make sense?," *Proc. IEEE*, 2006, doi: 10.1109/JPROC.2006.883715.
- [5] O. V. Marchenko and S. V. Solomin, "The future energy: Hydrogen versus electricity," *Int. J. Hydrogen Energy*, 2015, doi: 10.1016/j.ijhydene.2015.01.132.
- [6] B. Chen, H. Xu, H. Zhang, P. Tan, W. Cai, and M. Ni, "A novel design of solid oxide electrolyser integrated with magnesium hydride bed for hydrogen generation and storage – A dynamic simulation study," *Appl. Energy*, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.05.089.
- [7] M. Marchese, E. Giglio, M. Santarelli, and A. Lanzini, "Energy performance of Power-to-Liquid applications integrating biogas upgrading, reverse water gas shift, solid oxide electrolysis and Fischer-Tropsch technologies," *Energy Convers. Manag.* X, 2020, doi: 10.1016/j.ecmx.2020.100041.
- [8] D. Parigi, E. Giglio, A. Soto, and M. Santarelli, "Power-to-fuels through carbon dioxide Re-Utilization and high-temperature electrolysis: A technical and economical comparison between synthetic methanol and methane," *J. Clean. Prod.*, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.087.
- [9] S. Senthilraja, R. Gangadevi, R. Marimuthu, and M. Baskaran, "Performance evaluation of water and air based PVT solar collector for hydrogen production application," *Int. J. Hydrogen Energy*, 2020, doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.02.223.
- [10] S. Khanmohammadi and M. Saadat-Targhi, "Performance enhancement of an integrated system with solar flat plate collector for hydrogen production using waste heat recovery," *Energy*, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.01.096.
- [11] A. Habibollahzade, E. Gholamian, P. Ahmadi, and A. Behzadi, "Multi-criteria optimization of an integrated energy system with thermoelectric generator, parabolic trough solar collector and electrolysis for hydrogen production," *Int. J. Hydrogen Energy*, 2018, doi: 10.1016/j.ijhydene.2018.05.143.
- [12] M. A. Al-Nimr, M. Bukhari, and M. Mansour, "A combined CPV/T and ORC solar power generation system integrated with geothermal cooling and electrolyser/fuel cell storage unit," *Energy*, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.05.142.
- [13] A. Atiz, H. Karakilcik, M. Erden, and M. Karakilcik, "Assessment of electricity and hydrogen production performance of evacuated tube solar collectors," *Int. J. Hydrogen Energy*, 2019, doi: 10.1016/j.ijhydene.2018.09.100.
- [14] O. Bamisile, Q. Huang, W. Hu, M. Dagbasi, and A. D. Kemena, "Performance analysis of a novel solar PTC integrated system for multi-generation with hydrogen production," *Int. J. Hydrogen Energy*, 2020, doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.10.234.
- [15] G. Balasubramanian, M. Ghommem, M. R. Hajj, W. P. Wong, J. A. Tomlin, and I. K. Puri, "Modeling of thermochemical energy storage by salt hydrates," *Int. J. Heat Mass Transf.*, 2010, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2010.08.012.



## بررسی تطبیقی شاخص SSI و RAI در غرب حوزه آبخیز ارومیه در سال ۱۳۹۸ با استفاده از GIS

فاطمه اصغری کلشانی<sup>۱\*</sup>، کتایون ستاریان اسیل<sup>۲\*\*</sup>

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته اکوهیدرولوژی، دانشگاه تهران، تهران

[\\*F.asghary@ut.ac.ir](mailto:F.asghary@ut.ac.ir)

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته اکوهیدرولوژی، دانشگاه تهران، تهران

[\\*\\*k.sataryanasil@ut.ac.ir](mailto:k.sataryanasil@ut.ac.ir)

### چکیده

خشکسالی را می توان به عنوان یکی از مهم ترین نتایج تغییرات اقلیم در چند دهه اخیر دانست. که به شدت تمام جوامع طبیعی، موجودات زنده و انسان ها را تحت شعاع قرار داده است. در نتیجه با استفاده از شاخص های هواشناسی و هیدرولوژیکی در خشکسالی میتوان شدت و تدارم خشکسالی را بیان کرد که اولین قدم این کار تعیین بهترین شاخص برای منطقه مورد نظر است. از مهمترین حوزه های ابریز ایران میتوان به حوزه آبریز ارومیه اشاره کرد که تحت تاثیر خشکسالی قرار گرفته است. با توجه به این موضوع در این مقاله با استفاده از آمارهای بارندگی و دبی به ترتیب به شاخص هواشناسی RAI و شاخص هیدرولوژیکی SSI برای ۱۰ ایستگاه در حوزه آبریز ارومیه محاسبه شد. ابتدا این دو شاخص در محیط نرم افزار متلب محاسبه شدند و سپس در محیط نرم افزار GIS به روش درون یابی با متد کریجینگ، شاخص SSI نسبت به شاخص شاهد RAI پهنه بندی شد که بررسی نتایج حاصل از درون یابی انطباق و همپوشانی مناسبی را نشان می دهد.

واژگان کلیدی: شاخص خشکسالی، RAI، SSI، GIS، کریجینگ



## Comparative study of SSI and RAI index in the west of Urmia watershed in 2019 by using of GIS

Fatemeh Asghari kaleshani<sup>1\*</sup>, Katayoon Sataryan Asil<sup>2\*\*</sup>

1-M.se Echohydrology, university of Tehran

[\\*F.asghary@ut.ac.ir](mailto:F.asghary@ut.ac.ir)

2- M.se Echohydrology, university of Tehra

[\\*\\*k.sataryanasil@ut.ac.ir](mailto:k.sataryanasil@ut.ac.ir)

### Abstract

Drought can be considered as one of the most important consequences of climate change in recent decades. Which has severely overshadowed all natural societies, Organisms and humans. As a result, using the meteorological and hydrological indicators in drought, the severity and duration of drought can be expressed, the first step is to determine the best indicator for the area. One of the most important catchments in Iran is the Urmia catchment, which has been affected by drought. According to this issue, in this article, using rainfall and discharge statistics, RAI meteorological index and SSI hydrological index were calculated for 10 stations in Urmia catchment area. At first, these two indices were calculated in MATLAB software eand then in GIS by Kriging, interpolation method, SSI index was zoned compared to RAI control index, which showed the results of interpolation of appropriate compliance and overlap.

**Keywords:** Drought Index SSI, RAI, GIS, Kriging

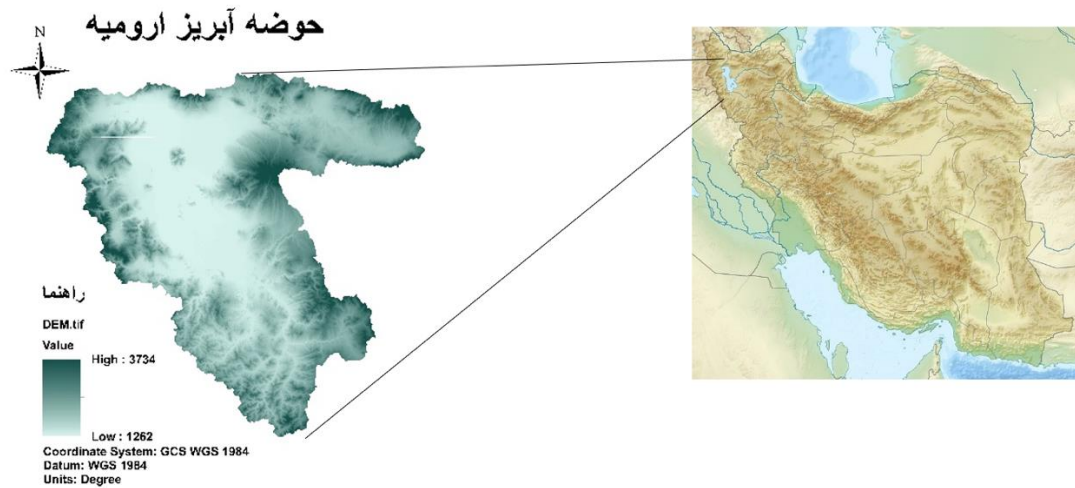


## ۱- مقدمه

امروزه به دلیل تغییرات اقلیمی که در هر منطقه جغرافیایی رخ میدهد که تاثیرات عمده ای بر منطقه میگذارد و در نتیجه خشکسالی را به عنوان پدیده محیطی شناخت [۱] آثار خشکسالی به دلیل استفاده ی آب در برطرف کردن اغلب نیاز های اساسی انسان بسیار قابل مشاهده و روشن است. این اثر در نتیجه سازگار نبودن فعالیت ها با طبیعت است که سهم بیشتری از تغییرات اقلیم را دارد [۲]. خشکسالی پدیده ای طبیعی است که به تدریج رخ میدهد و خسارات جبران ناپذیری دارد [۳]. در نتیجه بشر از ابتدا در تلاش برای کاهش این خسارات بوده است. و در چند دهه اخیر دانشمندان شاخص هایی برای طبقه بندی خشکسالی ارائه کردند. طبق طبقه بندی های شاخص های خشکسالی زمانی که طی دوره ای بارش کمتر از مقدار متوسط آن باشد خشکسالی هواشناسی رخ داده است مانند شاخص RAI [۴] و هنگامی که جریان آب سطحی و سطح آب دریاچه و منابع آبی کاهش پیدا کند خشکسالی هیدرولوژیکی رخ داده است از شاخص های هیدرولوژیکی که بر کاهش دبی رودخانه استوار است میتوان به شاخص SSI اشاره کرد [۵]. در این مقاله به مقایسه ی دو شاخص SSI که مبتنی بر میزان دبی منطقه و RAI که بر اساس میزان بارش است پرداخته شده است. با توجه به این موضوع که اندازه گیری میزان دبی از بارش راحتتر است در نتیجه شاخص SSI راحتتر محاسبه و تحلیل می شود. روش های مختلفی برای پهنه بندی یک منطقه وجود دارد که علاوه بر مقدار یک کمیت به موقعیت مکانی نمونه نیز مورد توجه قرار میگیرد که به روش های زمین آمار معروف هستند. روش های عمده پهنه بندی خشکسالی را میتوان شامل روش های درون یابی در چهار گروه اصلی، GPI، IDW، RBF، Kringing، طبقه بندی کرد [۶]. محمدیان و همکارانش [۷] شاخص های خشک سالی SPI، DI و PNPI را در استان خراسان شمالی بررسی کردند و نقشه های پهنه بندی به روش IDW را تهیه کردند. نتایج کار آنها نشان داد وسیع ترین و شدید ترین خشکسالی به ترتیب در سال های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۱ اتفاق افتاده و همچنین طولانی ترین خشکسالی مربوط به سال های ۱۹۹۷-۱۹۹۴ است.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز دریاچه ی ارومیه یکی از حوضه های بسته ایران است که در تقسیم بندی حوزه های آبریز ایران حوضه ی اصلی به شمار میرود. مساحت این حوضه ۵۱۸۰۱ کیلومتر مربع است. حوزه آبریز دریاچه ارومیه تنها یک زیرحوضه درجه ۲ دارد و شامل رودهایی است که به دریاچه ارومیه منتهی می شوند. مهم ترین رودهای این حوضه، آجی چای، زرینه رود، سیمینه روز هستند [۸]. این حوضه در استانهای آذربایجان شرقی و غربی و کردستان و در مختصات جغرافیایی ۳۷-۴۲ شمالی و ۴۵-۱۹ شرقی قرار دارد. در شکل یک نمایی از حوزه آبخیز ارومیه و موقعیت آن در نقشه ایران آمده است.



شکل ۱) موقعیت مکانی حوزه آبریز ارومیه

## ۳- مواد و روش ها

در این تحقیق از آمار سال ۹۸ بارندگی و دبی رودخانه ها استفاده شده است. آمار مربوط به ایستگاه ها از شرکت منابع آب ایران جمع آوری شده است و موقعیت جغرافیایی ایستگاه های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱ مشخصات ایستگاه های مطالعه شده

ارتفاع	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نام رودخانه	نام ایستگاه
۱۱۸۰	۱۷-۳۹	۳۱-۴۴	زنگمار	ماکو
۹۲۹	۵۱-۳۸	۱۵-۴۵	آق چای	مراکند
۱۳۸۰	۲۸-۳۶	۲۹-۴۶	زرینه رود	سارقمش
۱۳۱۱	۳۸-۳۶	۱۰-۴۶	سیمینه رود	داشبند
۱۳۶۰	۴۲-۳۶	۳۷-۴۵	مهآباد چای	کوثر
۱۴۰۸	۴۰-۳۶	۴۱-۴۵	مهآباد چای	بیطاس
۱۲۸۳	۴۲-۳۷	۱۳-۴۵	باراندوز چای	بابارود
۱۴۰۲	۲۹-۳۷	۰۰-۴۵	شهرچای	بندارومیه
۱۵۲۰۰	۴۲-۳۸	۳۵-۴۴	زولاچای	چهریق
۱۳۸۰	۴۱-۳۷	۵۳-۴۴	نازلو چای	تیپک

پس از بررسی ها و کنترل صحت امار و اطلاعات و آنالیز آماری داده های بارش و دبی، شاخص خشکسالی هواشناسی (RAI) و (SSI) محاسبه شده است.



## ۴- معرفی شاخص خشکسالی جریان سطحی استاندارد (SSI)

در محاسبه این شاخص از پارامتر دبی رودخانه استفاده شده است. این روش بر اساس تابع توزیع تجمعی (تابع چگالی گاما) برای داده های دبی ماهانه می باشد. در جدول شماره ۲ طبقه بندی خشکسالی بر اساس شاخص SSI آورده شده است. فرمول محاسبه شاخص خشکسالی جریان سطحی به صورت معادلات شماره ۱ است:

$$SSI = W - \frac{C0 + C1W + c2W^2}{1 + d1W + d2W^2 + d3W^3} \quad (1)$$

$$W = \sqrt{-2 \ln p}$$

$$P = 1 - F(x) \quad P < 0.5$$

$$P = F(x) \quad P > 0.5$$

در شرط آخر علامت نهایی SSI برعکس می شود. مقادیر نهایی SSI نرمال است به صورتی که میانگین آنها برابر صفر و انحراف معیار آن برابر یک می باشد [۹]. برای محاسبه تابع چگالی احتمال توزیع گاما از فرمول شماره (۲) استفاده می شود.

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad x > 0 \quad (2)$$

X مقدار پارامتر و  $\alpha$  پارامتر شکل و  $\beta$  پارامتر مقیاس و مقدار  $\tau(\alpha)$  تابع گاما است.

$$F(X) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_1^X X^{\alpha-1} \times e^{-\frac{X}{\beta}} dx \quad \text{تابع توزیع احتمالاتی گاما}$$

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad (\text{پارامتر شکل}), \quad \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (\text{پارامتر مقیاس}), \quad A = \text{Ln}(\bar{X}) - \frac{\sum \text{Ln}(X)}{n}$$

جدول ۲ طبقه بندی خشکسالی بر اساس شاخص SSI

وضعیت	SSI
ترسالی شدید	$1.46 <=$
ترسالی ملایم	$0.52 - 1.46$
نرمال	$-0.52 \_ 0.52$
خشکسالی ملایم	$-0.52 \_ -1.46$
خشکسالی شدید	$-1.46 >$



### ۵- بررسی شاخص ناهنجاری بارش (RAI)

شاخص ناهنجاری توسط روی در سال ۱۹۶۵ ارایه شد. اساس این شاخص محاسبه انحراف مقادیر بارندگی از نرمال می باشد. محاسبه میانگین دراز مدت بارندگی در ایستگاه های مورد نظر ( $\bar{P}$ )؛ محاسبه میانگین ۱۰ مورد از بزرگترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی ( $\bar{m}$ )؛ محاسبه میانگین ۱۰ مورد از کمترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی ( $\bar{x}$ ) چنانچه  $P \geq \bar{P}$  یا ناهنجاری، مثبت باشد شاخص ناهنجاری بارندگی از رابطه (۳) محاسبه می شود.

$$RAI = 3 \left[ \frac{P - \bar{P}}{\bar{m} - \bar{P}} \right] \quad (3)$$

چنانچه  $P < \bar{P}$  یا ناهنجاری، منفی باشد شاخص ناهنجاری بارندگی از رابطه (۴) محاسبه می شود.

$$RAI = -3 \left[ \frac{P - \bar{P}}{\bar{x} - \bar{P}} \right] \quad (4)$$

طبقه بندی شاخص خشکسالی RAI در جدول شماره ۳ آورده شده است. [۱۰]

جدول ۳ طبقات مختلف شاخص RAI

وضعیت	SSI
نزدیک نرمال	+۰,۳ تا -۰,۳
خشکسالی ضعیف	۰,۵۲ - ۱,۴۶
خشکسالی متوسط	+۰,۳ تا -۰,۳
خشکسالی شدید	-۰,۵۲ - ۱,۴۶
خشکسالی بسیار شدید	-۱,۴۶ >

با توجه به کلیت فرمول ها با استفاده از برنامه متلب مقایر SSI و RAI را محاسبه شد. و برای ارزیابی نهایی به محیط GIS منتقل شد.

### ۶- درون یابی و پهنه بندی در محیط GIS

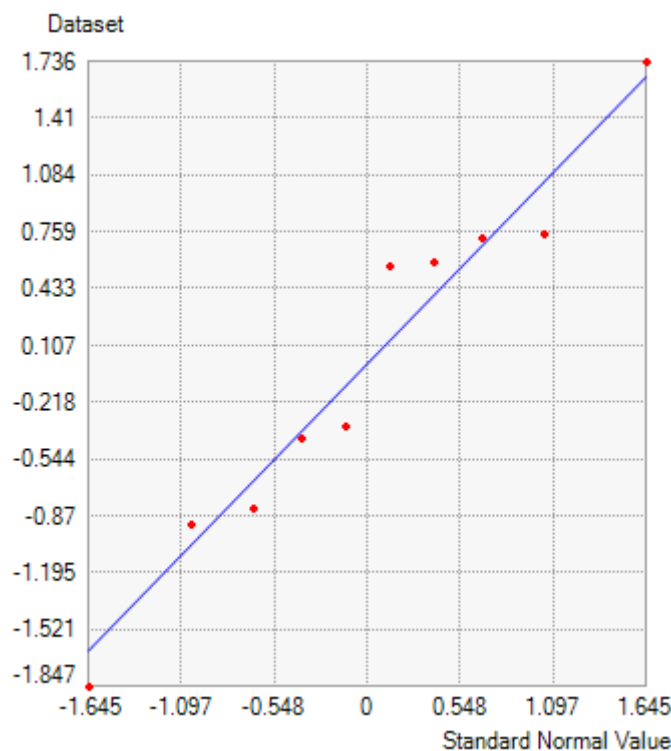
به طور کلی در روش درون یابی با استفاده از مقادیر معلوم همسایه، مقادیر نا معلوم را پیش بینی میکنیم. روش کریجینگ به معنی پیش بینی بهینه است که یکی از روشهای تخمین زمین آمار است که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار است. در این بخش با استفاده از نرم Arc map به درون یابی مقادیر SSI از طریق مقادیر شاهد RAI با متد کریجینگ پرداخته شده است.

## ۷- بحث و نتیجه گیری

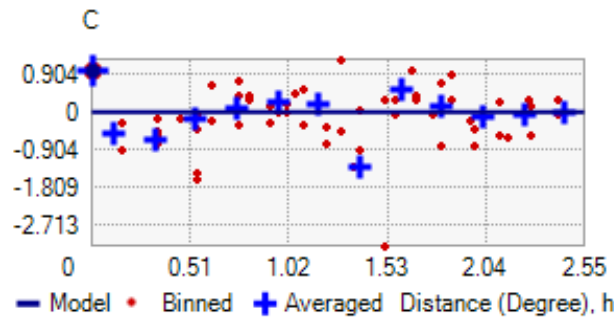
همانطور که گفته شد، SSI بر اساس دبی رودخانه و RAI بر اساس بارش که در این مقاله به عنوان شاهد محاسبه می‌شود، در نظر گرفته می‌شود. با ارزیابی کریجینگ در محیط GIS نقاط خروجی شاخص SSI و RAI همبستگی تطبیقی خوبی را نشان می‌دهند که از بررسی نمودار QQ پلات نرمال و نزدیکی نقاط (شاخص SSI) نسبت خط برازش مقادیر RAI منتج شده است. در شکل نمودار (۲) طبق روش تخمین مدل گوسی واریانس  $0,0001$  به دست آمده که این عدد با توجه به نزدیک بودن به یک نشان دهنده میزان دقت بالا در تطبیق است.

همچنین طبق پیش بینی خطاها، میزان RMS،  $0,99$  است که مانند آنچه در قبل ذکر شد نشان دهنده دقت بالا در تطبیق است.

شکل ۳ نیز بررسی کوواریانس به عبارت دیگر بررسی پراکندگی دو پرامتر بر اساس بررسی واریانس فاصله ای است که دقت مناسبی را نشان می‌دهد.

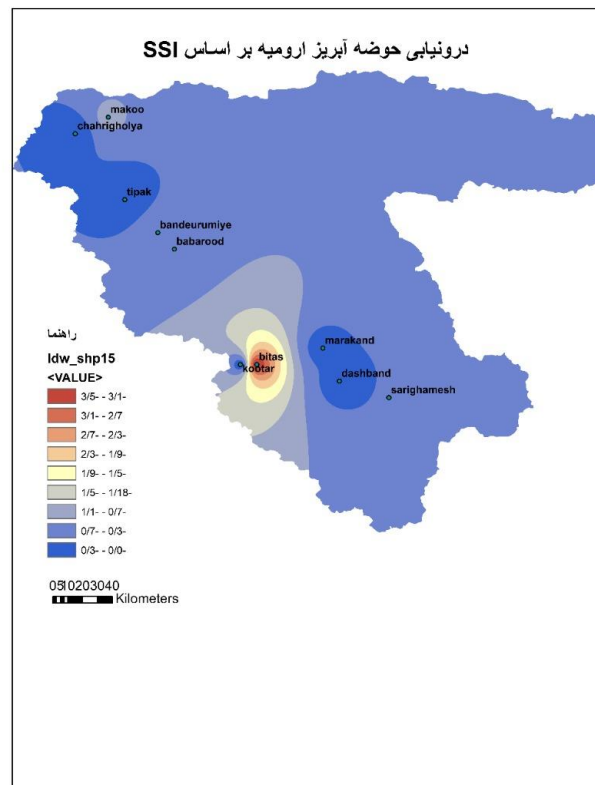


شکل ۲) بررسی واریانس نقاط



شکل ۳) بررسی کوواریانس

همچنین بر اساس درون یابی انجام شده، نقاط شدید خشکسالی در SSI و RAI گرچه کاملاً برهم منطبق نبودند ولی همپوشانی قابل قبولی داشتند. در شکل ۴ نمایی از نقشه ی پهنه بندی شده ی حوزه آبریز ارومیه بر اساس شاخص SSI آورده شده است.



شکل ۴) نقشه درونیابی حوزه آبریز ارومیه بر اساس SSI





## منابع

1. Sharma, T. C. (2000): Drought Parameters in Relation to Truncation Levels, Hydro. Process, 14, Pp 1279-1788.
2. Khazayi, M., and Telvari, A., 2003 "Hydrological Drought Frequency Distribution Analysis." Journal of Geography and Urban Development, pp. 45-56. (In Persian) .
3. Musavi, H. Vali, A. and Moayeri, M. 2009 "Study of Drought Severity and Its Severity in Semnan Using DI Index." Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center. (In Persian) .
4. Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wilhite, D. A. and Vanyarkho, O. V. 1999 "Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index." Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 80, no. 3, pp. 429-38.
5. Teimuri, F. Ghorbani, K. Bazrafshan, J. and Sharifan, H. 2015 "Comparative Study of Meteorological Indices with Hydrological Indices for Drought Monitoring Using Data Mining Method (Case Study: Arazakuseh Station-Golestan Province)." Iranian Water and Soil Research, IRANIAN JOURNAL OF SOIL AND WATER RESEARCH. (In Persian)
6. Evazi M, Masaedi A. Monitoring and Spatial Analysis of Meteorological Drought in Golestan Province using Geostatistical Methods. Journal of Range and Watershed Management, Iranian journal of Natural Resources. 2011; 64(1): 65- 78. (In Persian).
7. Mohamadian A, Kouhi M, Adine baigi A, Rasouli G, Bazrafshan B. Comparison of Monitoring Using SPI, DI and PNI and Zoning Them, Case Study Northern Khorasan Province. Journal of Water and Soil Conservation. 2010; 17(1); 177-184. (In Persian).
8. دفتر استانداردها و معیارهای فنی (دی ۱۳۸۳). دستورالعمل و ضوابط تقسیم بندی و کدگذاری حوضه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی در سطح کشور. شرکت مدیریت منابع ایران. دریافت شده در ۱۰ مرداد ۱۳۹۶.
9. Zhang, Q. Zhou, Y. Singh, V. P. and Chen, Y. D. 2011 "Comparison of Detrending Methods for Fluctuation Analysis in Hydrology." Journal of Hydrology, vol. 400, no. 1-2, Elsevier, pp. 32-121
۱۰. جوی زاده، سعید (۱۳۸۴): پایش خشکسالی در استان فارس، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته جغرافیا گرایش اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت معلم تهران.



## بررسی اثرات ژئومورفولوژیکی فرونشست زمین و اثرات آن در اکوسیستم با استفاده از نرم افزار ArcGIS (مطالعه موردی: شهر تهران)

پریسا صراطی<sup>۱\*</sup>، سیده آمنه سجادی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اکوهیدرولوژی، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- استادیار، دانشکده کشاورزی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.

کارشناسی ارشد اکوهیدرولوژی، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

نویسند مسئول parisaserati@ut.ac.ir

### چکیده

پدیده فرونشست یکی از مخاطرات زیست محیطی است که تأثیرات جبران ناپذیری را به دنبال دارد. عوامل متعدد انسانی از قبیل برداشت مایعات (آب، گاز و نفت)، فشردگی به علت زهکشی، برداشت مواد معدنی، فشردگی به علت تحمیل بارهای سنگین از قبیل سد و ساختمان‌ها، عوامل محیطی نظیر تغییر شکل‌های تکتونیکی و آتشفشانی، عوامل ژئومورفولوژی خاک، به هم خوردن ایزوستازی و سایر عوامل سبب بروز این ناهنجاری زیست محیطی می‌شود. بعلاوه بروز خسارات سنگین اقتصادی، محیطی و انسانی باید برنامه و راهکارهایی به جهت کنترل و مدیریت این بحران به کاربرد. با توجه به موقعیت شهر تهران و مهاجرت گسترده به این شهر در طی ۱۰ ساله گذشته نیازهای زیستی سبب تغییر کاربری اراضی برای تامین آب و غذا و مسکن شهروندان گردیده است. این مسئله باعث برداشت بی رویه آب و خالی شدن سفره های زیر زمینی گردیده است با توجه به موقعیت جغرافیایی و وجود گسل‌ها در تحقیق پیش رو با کمک نرم افزار ArcGIS موقعیت گسل‌ها، چاه‌های پیژومتری و کاربری اراضی مناطق آسیب‌پذیر مشخص گردیده است. این مخاطره زیست محیطی سبب تغییر در اکوسیستم‌های شهری شده و باعث برهم خوردن تعادل محیط می‌گردد.

واژگان کلیدی: فرونشست زمین، اکوهیدرولوژی، اقلیم، سیستم اطلاعات مکانی



## Investigation of geomorphologic effects of land subsidence and its effects on ecosystem using ArcGIS software (Case study: Tehran)

Parisa serati <sup>1\*</sup>, Seyedeh Ameneh Sajjadi<sup>2</sup>

1- Msc. Ecohydrology Student, Faculty of New of Science and Technologies, University of Tehran, Iran

2- Faculty of Agriculture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.

Msc. Ecohydrology, Faculty of New of Science and Technologies, University of Tehran, Iran.

C.Author: parisaserati@ut.ac.ir\*

### Abstract

The phenomenon of subsidence is one of the environmental hazards that have irreversible effects. Numerous human factors such as fluid extraction (water, gas and oil), compaction due to drainage, mineral extraction, compaction due to heavy loads such as dams and buildings, environmental factors such as tectonic and volcanic deformation, factors Soil geomorphology, disturbance of Isostasis and other factors cause this environmental anomaly. Due to the severe economic, environmental and human losses, programs and strategies should be used to control and manage this crisis. Due to the location of the city of Tehran and the widespread migration to this city during the last 10 years, biological needs have caused the change of land use to provide water, food and housing for citizens. This issue has led to uncontrolled abstraction of water and emptying of aquifers. Acceptable has been specified. This environmental risk causes changes in urban ecosystems and disturbs the balance of the environment.

**Keywords:** Landslide, Echo Hydrology, Climate, Spatial Information System

## ۱-مرور ادبیات

کشور ایران از نظر طبیعی کشوری حادثه‌خیز است، از ۴۰ نوع حادثه‌ای که برای جهان تعریف شده است، ۳۰ نوع آن در ایران وجود دارد و اکنون پدیده انسان‌ساز فرونشست نیز به آن اضافه شده است [۱]. پدیده فرونشست زمین<sup>۹</sup> شامل فروریزش یا نشست رو به پایین سطح زمین است که می‌تواند دارای بردار جابه‌جایی اندکی باشد [۲]. طبق تعریف یونسکو فرونشست عبارت است از فروریزش یا نشست سطح زمین به علت‌های متفاوتی در مقیاس‌های کوچک و بزرگ [۳]. فرونشست یک رخداد ژئومورفولوژیکی پرهزینه است که تاکنون در بیش از ۱۵۰ کشور جهان گزارش شده است [۴]. عوامل انسانی و محیطی از قبیل: انحلال، آب شدن یخ‌ها، تراکم نهشته‌ها، حرکت آرام زمین و خروج گدازه یا عملیات انسانی نظیر معدن‌کاوی یا برداشت آب زیرزمینی و نفت، برداشت و استخراج مواد معدنی، ریزش سازه‌های زیرزمینی مانند تونل و یا فعالیت‌های تکتونیکی [۳] سبب بروز آن می‌گردد. به دلیل تغییرات اقلیمی اخیر و کاهش بارندگی، همچنین افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی از یک سو و رشد فزاینده مهاجرت از اقصی نقاط کشور به تهران و به دنبال آن برای رفع نیازهای آبی استفاده از سفره‌های زیرزمینی، دچار عدم تعادل در طبیعت و نیازهای انسانی گشته است [۳]. برداشت بیش از حد ذخایر آب زیرزمینی بطوریکه این ذخایر فرصت بازسازی و ترمیم نداشته باشند و آب خروجی از این سفره‌ها نسبت به تغذیه سفره‌ها اختلاف زیادی داشته باشد. همچنین طرح‌های انتقال آب با فشار بر حوضه آبخیز و کاهش ورودی آب سفره‌های زیرزمینی و تغییرات کاربری اراضی منجر به افت آب‌های زیرزمینی و کاهش فشار هیدرولیکی و در نهایت منجر به فرونشست زمین می‌شود [۱]. پیامدهای حاصل از فرونشست از نظر هانت در سال ۲۰۰۶ [۵]

### جدول ۱ خلاصه‌ای از حرکات مخرب سطح زمین [۵]

نوع حرکت	توضیحات	علت ایجاد	اثرات مهم
فرونشست منطقه‌ای	حرکت رو به پایین در سطح وسیع	فعالیت لرزه‌ای، استخراج آب‌های زیرزمینی	سیل‌خیزی، توسعه گسل، تخریب ساختار
فرونشست زمین	حرکت رو به پایین سطح زمین در منطقه‌ای محدود	معدن کاری نزدیک به سطح گسترش غیر انحلالی، حفر لوله‌ای خاک، آبشویی املاح سیمانه	تخریب ساختار، دگرگونی ساختار
فرونشست خاک	حرکت ناگهانی رو به پایین سطح زمین در منطقه‌ای محدود	تغییرات رطوبتی خاک فشرده‌گی انقباض و خشک شدن	دگرگونی ساختار

پدیده فرونشست به آرامی و به تدریج گسترش می‌یابد، خسارات ناشی از فرونشست و شکاف‌های ترمیم‌ناپذیر پرهزینه و مخرب می‌باشند. این پدیده سبب تخریب ساختار سطحی، سیل‌خیزی و عقیم شدن زمین‌های حاصلخیز می‌شود [۶] نرخ و الگوهای مکانی فرونشست در طول زمان تغییر میکند بنابراین اندازه گیریهای دقیق و استفاده از ابزارهای پیش بینی کننده برای بهبود درک فرونشست زمین لازم است [۷] پدیده فرونشست سبب تخریب سیستم‌های آبیاری و به سبب پایین آمدن تخلخل خاک سبب تخریب شود همچنین منجر به خسارات به چاه و قنوات در منطقه‌های فرونشست می‌شود. همچنین سازه‌ها و تأسیسات زیر بنایی، خطوط آهن، تصفیه‌خانه‌ها دچار تغییر می‌شود همچنین با تغییرات توپوگرافی شاهد تغییرات هیدرولوژیکی از قبیل سیلاب‌های بی‌سابقه،

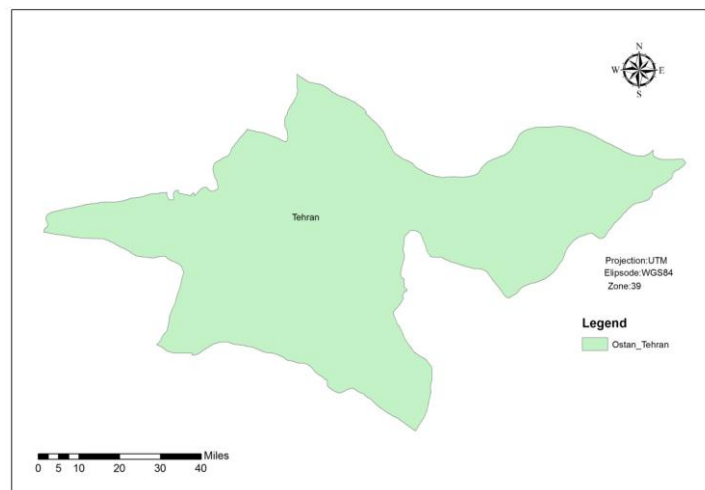
<sup>9</sup> Land Subsidence

تغییر جهت و سرعت جریان آب‌های زیرزمینی، تغییر ناهمسان در ارتفاع و شیب رودخانه‌ها، آبراهه‌ها و سازه‌های انتقال آب، کاهش برگشت‌ناپذیر تمام یا بخشی از سفره آبدار در نتیجه از بین رفتن یا کاهش تخلخل مفید نهشته‌ها، کاهش نفوذپذیری سطحی و در پی آن گسترش پهنه‌های بیابانی و سیلابی در منطقه خواهیم بود [۳]. در ناطقی که سفره های آب زیرزمینی بسته دارند به دنبال تخلیه آبهای زیرزمینی فشار منافذ کاهش یافته و لایه های رسوبی فشرده و متراکم می شوند که این فرایند در سطح زمین سبب کاهش ارتفاع و نشست تدریجی یا ناگهانی می شوند [۸]. جدای از تغییرات طبیعی ناشی از تغییر اقلیم همزمان با توسعه شهری برداشت بی رويه منابع آبهای زیرزمینی باعث فرونشست زمین در استان تهران خصوصا دشت تهران شده است [۹].

## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

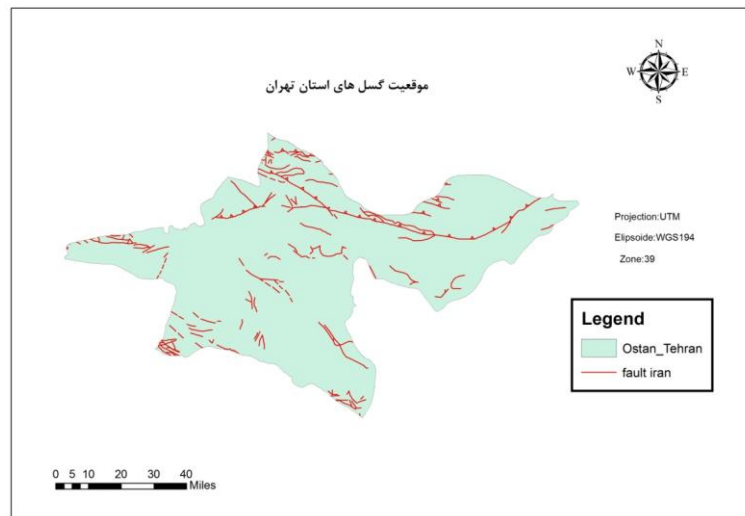
شهر تهران در پهنه‌ای بین دو وادی کوه و کویر و در دامنه‌های جنوبی البرز گسترده شده است و ۷۳۰ کیلومتر مربع مساحت دارد. از نظر جغرافیایی در ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. گستره کنونی تهران از ارتفاع ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متری از سطح دریا امتداد یافته است؛ این ارتفاع از شمال به جنوب کاهش می‌یابد. از نظر ناهمواری‌های طبیعی، تهران به دو ناحیه کوهپایه‌ای و دشتی تقسیم می‌شود. از کوهپایه‌های البرز تا جنوب شهر ری، تپه‌های کوچک و بزرگ پرشماری وجود دارند. تهران دارای اقلیم نیمه‌خشک است. ارتفاع شهر در بلندترین نقاط شمال به حدود ۲۰۰۰ متر و در جنوبی‌ترین نقاط به ۱۰۵۰ متر از سطح دریا می‌رسد. تهران از شمال به نواحی کوهستانی و از جنوب به نواحی کویری منتهی شده، در نتیجه در جنوب و شمال دارای آب و هوایی متفاوت است. نواحی شمالی از آب‌وهوای سرد و خشک و نواحی جنوبی از آب‌وهوای گرم و خشک برخوردار است.



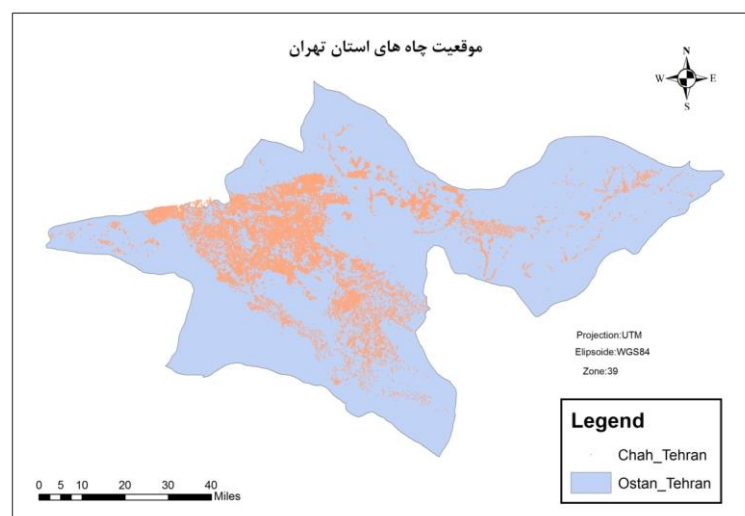
شکل (۱) منطقه مورد مطالعه

## ۲-۲- پیاده‌سازی

در تحقیق حاضر با بررسی عوامل کاربری اراضی، فاصله از گسل چاه‌های پیژومتری و سطح آب زیرزمینی و رودخانه‌های سطح شهر به‌عنوان عوامل مؤثر در فرونشست مورد بررسی قرار می‌گیرد. به هر یک از لایه‌های اصلی که در این تحقیق لایه چاه‌ها، لایه کاربری اراضی و لایه گسل است به ترتیب ارزش ۵۰، ۳۰ و ۲۰ درصد داده شد و هر یک از زیر لایه‌ها نیز با توجه به تاثیرگذاری عددی نسبت داده شده است. موقعیت عوامل تاثیر گذار بر روی نقشه نمایش داده شده است.

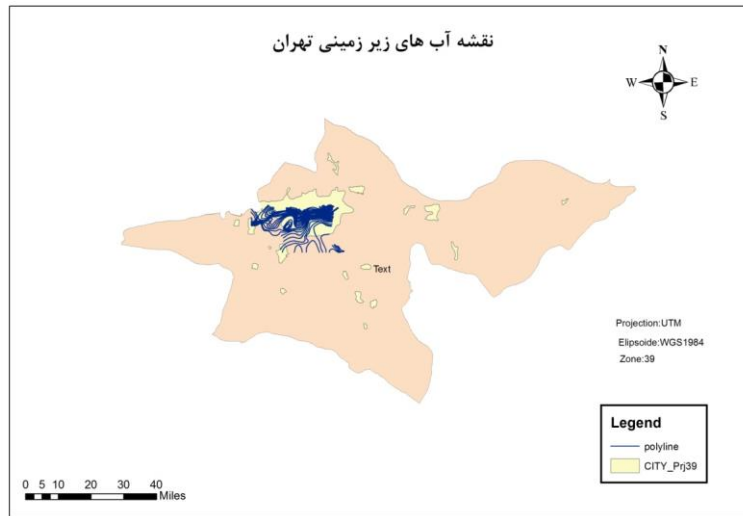


شکل ۲) موقعیت گسل‌های استان تهران

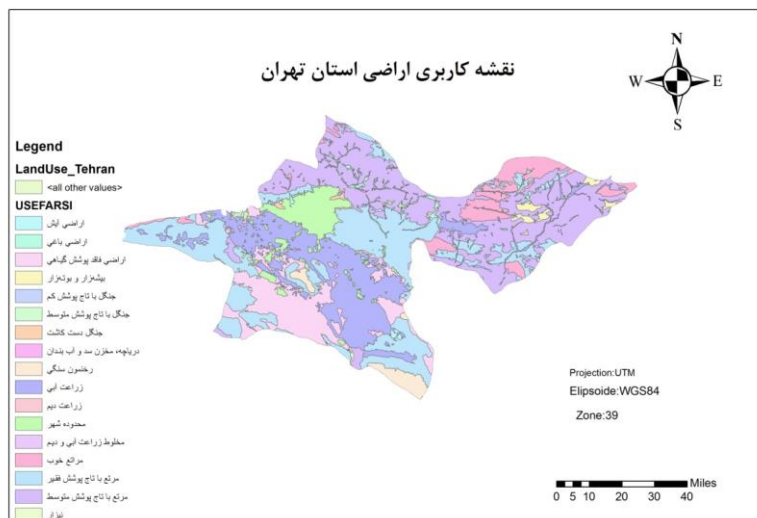


شکل ۳) موقعیت چاه‌های استان تهران





شکل ۴) موقعیت آب‌های زیرزمینی شهر تهران



شکل ۵) نقشه کاربری اراضی استان تهران

جدول ۲ وزن عوامل مؤثر بر فرونشست

رتبه از ۱۰۰	ارزش
۵۰	چاه (تخلیه از زمین)
۵۰	کاربری اراضی
۲۰	فاصله از گسل

جدول ۳ کاربری اراضی و رتبه‌های آن

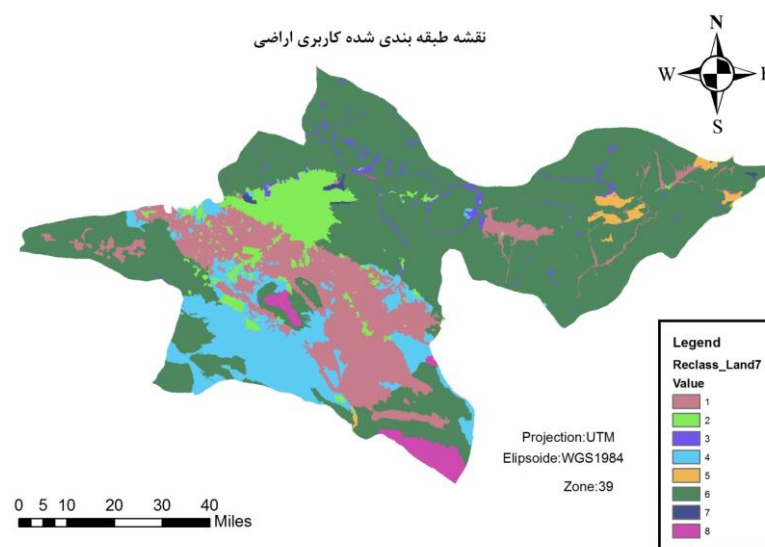
رتبه	کاربری اراضی
۲	مناطق مسکونی
۱	زمین زراعی
۷	جنگل
۵	علفزار
۴	فاقد پوشش گیاهی
۳	باغ
۶	مرتع
۸	غیره

جدول ۴ فاصله از گسل و رتبه‌های آن

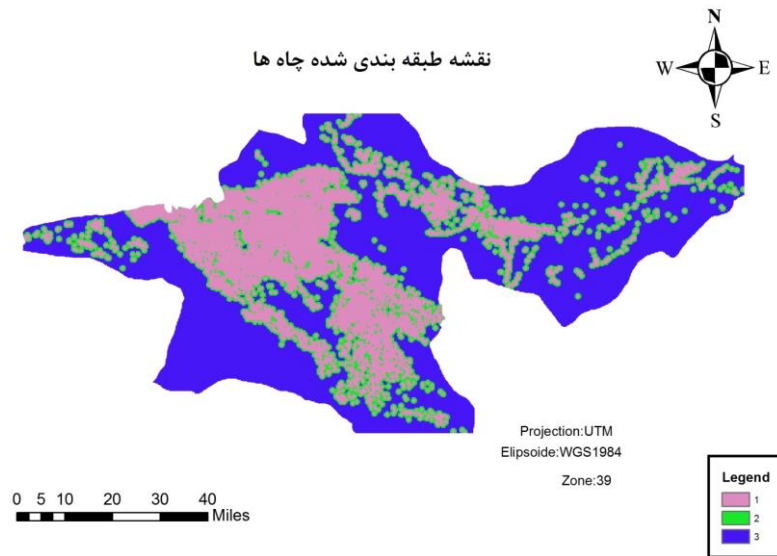
رتبه	فاصله از گسل (m)
۱	۱۰۰
۲	۱۰۰۰
۳	۱۰۰۰ >

۳- یافته‌ها

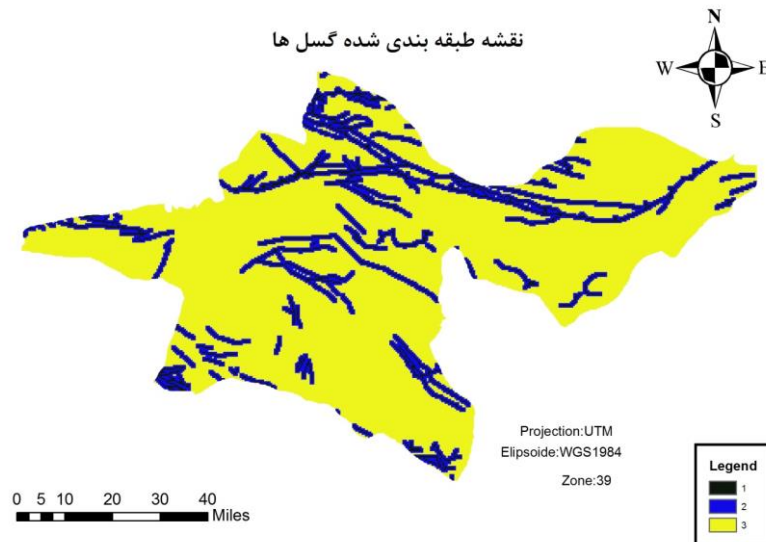
داده‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه و پردازش و با کمک روش Weighted Overlay محاسبه گردیده‌اند.



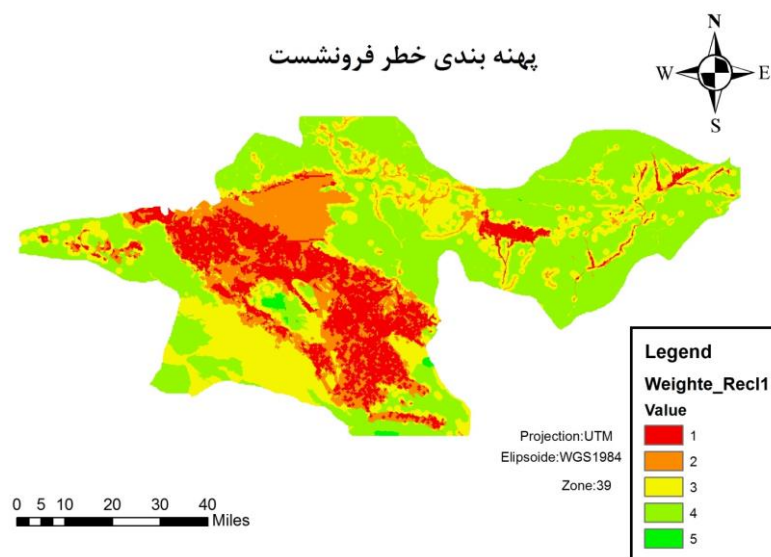
شکل ۶) نقشه کاربری اراضی طبقه بندی شده



شکل ۷) نقشه فاصله چاه ها

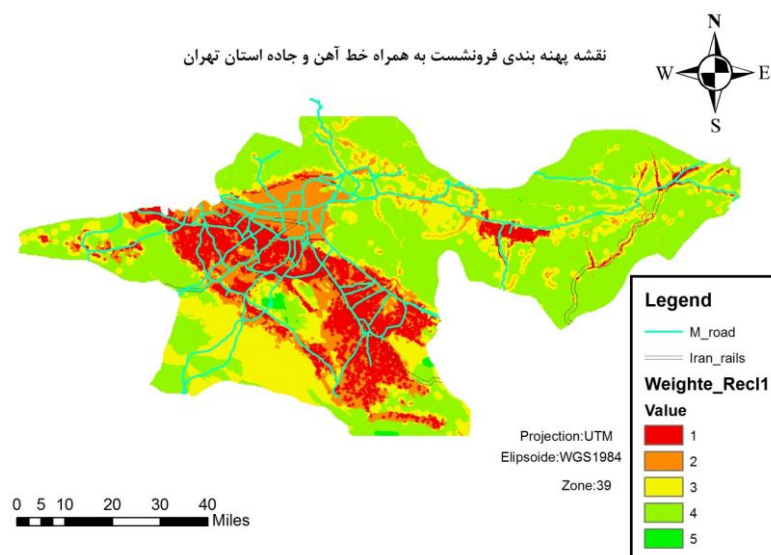


شکل ۸) نقشه فاصله تا گسل ها



شکل ۹) پهنه بندی خطر فرونشست

تاسیسات، جاده‌ها مناطق مسکونی و زیر ساخت‌ها در معرض خطر فرونشست آسیب‌های جدی خواهند دید و این پدیده سبب بروز مشکلات جدی از قبیل از بین رفتن اکوسیستم‌های کوچک و بزرگ و در نتیجه تغییرات اقلیم را بدنبال خواهد داشت.



شکل ۱۰) پهنه بندی خطر فرونشست به همراه تاسیسات راه آهن و جاده



## ۴- بحث و نتیجه گیری

نقشه پهنه‌بندی نهایی که به هدف ارزیابی فرونشست شهر تهران با کمک عوامل هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی و تاثیر آن بر اکوسیستم شهر بود و مطابق با تحقیق سایر پژوهشگران نیز بوده است [۹] و نشان می‌دهد برداشت بی‌رویه آب و همچنین با توجه به موقعیت شهر تهران و نزدیکی به گسل‌ها می‌تواند آسیب‌های جبران‌ناپذیری را وارد کند. افزون بر دلایل ناشی از تغییر اقلیم برداشت بی‌رویه آب از منابع زیر زمینی، تغییر کاربری اراضی با توجه به افزایش جمعیت و نیاز به منابع بیشتر آبی و غذایی همچنین نیاز به سکونت در طولانی مدت باعث بروز تغییرات اکوسیستمی شده و سبب بروز مشکلاتی چون فرونشست خواهد شد.

## منابع

- [1] حق شناس، ابوالقاسم و سرورام، حامد و نوری قیداری، محمد حسین، ۱۳۹۳، مطالعه عملکرد ابزار دقیق در سد دوستی (مطالعه موردی وضعیت تنش سنج‌ها)، دومین همایش ملی بحران آب (تغییر اقلیم، آب و محیط زیست)، شهرکرد
- [۲] Bates, RL and Jackson JA (1980), Glossary of Geology. Second edition, Falls Church, Virginia, 749p.
- [3] دهقانی، مریم، افزازی، محمد، ۱۳۹۳ بررسی تاثیر و پیشرفت برداشت بی‌رویه آبهای زیر زمینی با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری (سنجش از راه دور) اولین همایش ملی معماری، عمران و محیط زیست شهری
- [4] Hu, R. L., Yue, Z. Q., Wang, L. U., & Wang, S. J. (2004). Review on current status and challenging issues of land subsidence in China. *Engineering Geology*, 76(1-2), 65-77..
- [5] Hunt, R. E. (2007). *Geologic hazards: a field guide for geotechnical engineers*. CRC Press.
- [6] Bell, F. G. (2003). *Geological hazards: their assessment, avoidance and mitigation*. CRC Press.
- [7] Eggleston, J., & Pope, J. (2013). Land subsidence and relative sea-level rise in the southern Chesapeake Bay region. *US Geological Survey Circular*, 1392, 30.
- [8] Chen, J., Knight, R., Zebker, H. A. & Schreüder, W. A. (2016). Confined aquifer head measurements and storage properties in the San Luis Valley, Colorado, from spaceborne InSAR observations. *Water Resources Research*, 52 (5), 3623-3636.
- [9] Haghghi, M. H. & Motagh, M. (2019). Ground surface response to continuous compaction of aquifer system in Tehran, Iran: Results from a long-term multi-sensor InSAR analysis. *Remote Sensing of Environment*, 221, 534-550.



## مروری بر سیستم‌های هیبریدی انرژی‌های تجدیدپذیر (آبی، بادی و خورشیدی) و مطالعات نوین این حوزه با تمرکز بر تولید برق در نواحی مختلف دنیا

شقایق دانه کار، حسین یوسفی<sup>\*۲</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد اکوهیدرولوژی، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۲- دانشیار، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

\*نویسنده مسئول: hosseinyousefi@ut.ac.ir

### چکیده

با توجه به نیاز روز افزون جمعیت جهان به تولید برق بیشتر، هزینه فزاینده تامین برق از سوخت‌های فسیلی و به موازات آن مقرون به صرفه بودن منابع آبی، خورشیدی و بادی در امر تولید، اهمیت جایگزینی انرژی‌های پاک با منابع آلاینده و سنتی روز به روز بیشتر احساس می‌شود. با این حال، توسعه سیستم‌های تجدیدپذیر نیز عاری از چالش نمی‌باشد. ماهیت متناوب و پیش‌بینی‌ناپذیر منابع بادی و خورشیدی سبب گشته است اتکای کامل به سیستم منفر تجدیدپذیر برای پوشش برق مورد نیاز در بسیاری از کشورهای دنیا امکان‌پذیر نباشد. به همین دلیل سیستم‌های هیبریدی متشکل از دو یا چند منبع تجدیدپذیر با افزایش ثبات تولیدی سیستم و کاهش هزینه‌های مربوطه، به عنوان راه حلی مطلوب در یکی دو دهه اخیر مورد توجه کارشناسان و متخصصان قرار گرفته‌اند. در پژوهش حاضر ابتدا وضعیت تولید برق در جهان به تفکیک منابع و سپس کشورهای تولیدکننده و هزینه‌های کنونی تولید برق از منابع فسیلی در قیاس با منابع تجدیدپذیر به صورت مختصر مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس سیستم‌های هیبریدی متشکل از سه منبع اصلی تجدیدپذیر (آبی، خورشیدی و بادی) با هدف تولید برق در نقاط مختلف دنیا مرور شده و به یافته‌ها و طرح‌های نوین در مطالعات مربوط به بهینه‌سازی و امکان‌سنجی استقرار این سیستم‌ها اشاره شد.

**واژگان کلیدی:** سیستم‌های هیبریدی تجدیدپذیر، سیستم‌های خودکفای تولید برق، انرژی آبی، انرژی بادی، انرژی خورشیدی





# A Review on Hybrid Renewable Energy Systems (Hydro, Wind and Solar) and Related Novel Studies, Focusing on Power Generation Worldwide

Shaghayegh Danekar<sup>1</sup>, Hossein Yousefi<sup>2\*</sup>

1- M.S. in Ecohydrology, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

\*Corresponding Author: hosseinyousefi@ut.ac.ir

## Abstract

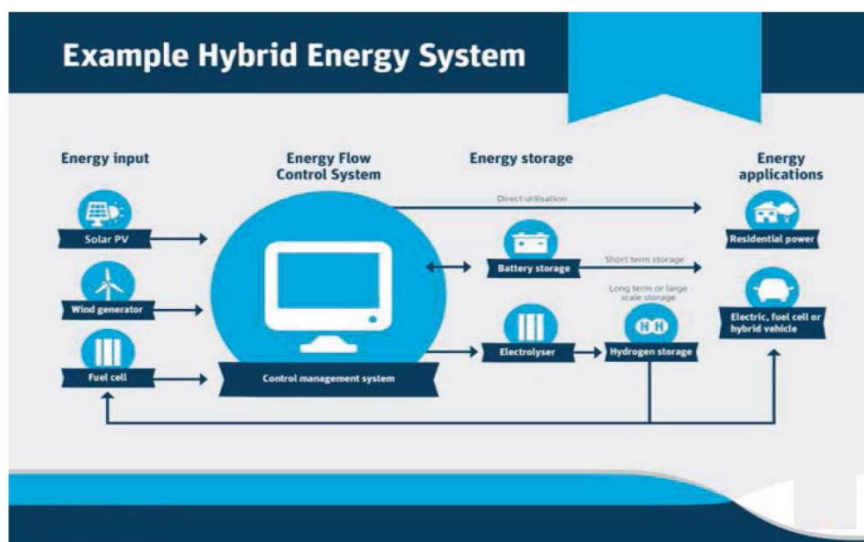
Considering the fast growing demand for electricity, increasing costs of power generation by fossil fuels and simultaneously cost-effectiveness of hydropower, solar and wind sources in electricity production, the importance of replacing conventional and high carbon sources with clean energies is increasing by day. Nevertheless, the development of renewable energy systems has its own challenges; the intermittent and unpredictable nature of wind and solar sources made it impossible to fully rely on single source renewable energy systems for power generation in many parts of the world. Thus, in the last two decades hybrid systems consisting of two or more renewable sources are drawing attention from experts and researchers as a suitable solution, due to their role in increasing production stability of the system and decreasing related costs. In the present study first, the situation of electricity production around the world based on source and country, and current costs of power generation from fossil fuels in comparison to renewable sources are briefly evaluated. Then hybrid energy systems consisting of the three main renewable sources (hydro, solar and wind) with the goal of supplying electricity worldwide are reviewed and novel finding and designs of related studies in regard of optimization and feasibility of such systems are mentioned.

**Keywords:** hybrid renewable systems, autonomous power generating systems, hydropower, wind energy, solar energy

## ۱- مقدمه

امروزه، اهمیت و ضرورت توسعه فناوری‌های مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر و فواید متعدد آنها بر کسی پوشیده نیست. با در نظرگیری تقلیل سریع و فزاینده سوخت‌های فسیلی، افزایش قیمت این منابع، رشد بی‌رویه جمعیت جهان و نیازهای انرژی-محور آن، و مهم‌تر از همه، تهدیدهای زیست‌محیطی مختلفی که به سبب استفاده دیرینه انسان‌ها از منابع فسیلی، اقلیم، اکوسیستم‌ها و زیست‌بوم‌های گوناگون را در نقاط مختلف دنیا درگیر خود ساخته است، همگی بر لزوم و ضرورت جایگزینی فراگیر منابع تجدیدپذیر و پاک با منابع سنتی‌تر تامین انرژی دلالت می‌کنند. در این میان سیستم‌های هیبریدی و چندگانه انرژی‌های تجدیدپذیر حوزه‌ای به نسبت تازه‌تر و برخوردار از پتانسیل‌های فراوان در پاسخگویی به تقاضا برای انرژی می‌باشند.

به طور کلی این سیستم‌ها به آن دسته از فناوری‌هایی اطلاق می‌شود که از تلفیق و یکپارچگی دو یا چند منبع تجدیدپذیر (و گاهی سنتی) و بهره‌برداری همزمان از آنها حاصل گشته‌اند. ادغام منابع انرژی همچون خورشیدی، بادی، آبی، زمین گرمایی و غیره، در کنار واحدهای ذخیره ساز مناسب، این قابلیت را دارد که در تامین برق مورد نیاز و به هنگام پیک‌سای، نسبت به سیستم‌هایی که تنها از یک منبع تجدیدپذیر استفاده می‌کنند کارایی بالاتر، مقرون به صرفه‌تر و سازگارتری را با محیط‌زیست به نمایش بگذارد [۱]. به طور خاص کارکرد آنها در برطرف‌سازی بهینه‌تر ویژگی تناوبی منابع تجدیدپذیر در تولید انرژی قابل‌ملاحظه می‌باشد [۲]. گرچه این سیستم‌ها هم در اتصال با شبکه سراسری توزیع برق و هم به صورت مستقل و خودکفا قابلیت بهره‌برداری و تولید برق را فراهم ساخته‌اند، امروزه توسعه و استفاده از آنها به عنوان مورد دوم (بالاخص در تلفیق با باتری‌های ذخیره‌ساز) به عنوان راهکاری قابل‌اتکا برای تامین برق منابع دورافتاده مورد توجه قرار گرفته‌است [۳-۴]. در این راستا، انتخاب نوع مناسب این دسته از سیستم‌های هیبریدی بر حسب فراوانی منابع تجدیدپذیر و میزان دسترسی به آنها، محدودیت‌های فنی-اقتصادی و پیش‌نیازهای لازم برای استقرار باثبات سیستم، صورت می‌پذیرد [۵]. شکل ۱، نشان‌دهنده نمای کلی یک سیستم هیبریدی می‌باشد.



شکل (۱) شماتیک کلی یک سیستم هیبریدی متشکل از واحدهای فتوولتائیک خورشیدی، توربین‌های بادی و سلول‌های سوختی به عنوان تامین‌کنندگان انرژی [۶]

چنانچه اشاره شد به کارگیری این سیستم‌ها در نواحی دور و خارج از پوشش شبکه برق سراسری در دو دهه اخیر بسیار مورد توجه پژوهشگران و کارشناسان حوزه انرژی واقع شده و مطالعات گوناگونی پیرامون ارزیابی کارکرد این دسته از سیستم‌ها، بهینه‌سازی آنها

و جایگذاری این تولید کنندگان نوین برق در مدل‌های اقتصادی مختلف انجام گرفته است. برای مثال ساول<sup>۱۰</sup> همکاران در سال ۲۰۱۸، به ارزیابی مروری و قیاسی سیستم‌های تلفیقی بادی-خورشیدی، استراتژی‌های بهینه‌سازی و همچنین به طور خاص به بررسی عملکرد این سیستم‌ها در منطقه به نسبت دور از دسترس باروانی<sup>۱۱</sup> هند پرداخته‌اند. در این پژوهش محققان بر اهمیت بهینه‌سازی مبدل جریان متناوب به مستقیم و بالعکس برای جلوگیری از اتلاف برق تولیدی در فرایند تبدیل، حذف اثر فرایندهای رندوم ذخیره و آزادسازی برق بر عملکرد و عمر باتری، و نقش اتصال سیستم هیبریدی به شبکه برق سراسری برای ارتقای کلی کارکرد سیستم تاکید نمودند [۷]. تعدادی از محققان نیز با به کارگیری روش‌های مختلف به تعیین ابعاد مناسب و بهینه سیستم‌های هیبریدی تجدیدپذیر پرداخته و در این میان به ابعاد واحد ذخیره ساز برای پاسخگویی مناسب به پیک سایه و فراهم‌سازی برق در ساعات پرمصرف بسیار تاکید داشته‌اند [۸-۱۰]. بر مبنای ابعاد و سائز سیستم فاسیو<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۱۸) به طبقه‌بندی سیستم‌های هیبریدی تجدیدپذیر همت گذاشته‌اند [۱۱]. طبقه بندی آنها بدین شرح می باشد.

### جدول ۱ طبقه‌بندی سیستم‌های هیبریدی تجدیدپذیر بر مبنای ابعاد [۱۱]

کارکرد	ظرفیت تولیدی	نوع
خانه‌های منفرد و دور از دسترس	$> 5$ کیلووات/ساعت	کوچک مقیاس
جوامع منفرد و دور از دسترس	بین ۵ تا ۱۰۰ کیلووات/ساعت	میان مقیاس
تامین برق ناحیه‌ای	$< 100$ کیلووات/ساعت	بزرگ مقیاس

پیرامون اهمیت اقتصادی و توسعه‌محور سیستم‌های هیبریدی در تولید برق جوامع کوچک‌تر و روستایی، زبرا<sup>۱۳</sup> و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی عوامل تاثیر گذار بر عملکرد این سیستم ها در شبکه های کوچک برق در کشورهای در حال توسعه پرداخته اند [۱۲]. نتایج مطالعات آنها نشان می دهد که حمایت دولتی و سامانمندی جامعه روستایی عنصری کلیدی در برپایی و استقرار موفق سیستم های هیبریدی تجدید پذیر می باشد. این پژوهش همچنین با مقایسه هزینه همتراز شده انرژی<sup>۱۴</sup> در بین سیستم های دیزل (بین ۹۲،۰ دلار/کیلووات بر ساعت تا ۳۰،۱ دلار/کیلووات بر ساعت)، سیستم فتوولتائیک خورشیدی (بین ۴۰،۰ دلار/کیلووات بر ساعت تا ۶۱،۰ دلار/کیلووات بر ساعت) و سیستم هیبریدی دیزل-فتوولتائیک (بین ۵۴،۰ دلار/کیلووات بر ساعت تا ۷۷،۰ دلار کیلووات بر ساعت)، سیستم دیزل را به عنوان گران‌ترین گزینه تامین برق در پژوهش فوق تشخیص دادند. این پژوهش به جای گسترش شبکه برق سراسری، توسعه سیستم های هیبریدی تجدید پذیر را راه حل ارزان تر و مناسب تری برای تامین برق در کشورهای توسعه یافته ارجح دانست. علاوه بر پژوهش های مذکور طرح های تلفیقی پیشنهادی متعددی پیرامون منابع تجدیدپذیر گوناگون (خورشیدی-آبی، بادی-آبی، خورشیدی-ژئوترمال و...) در طی سال‌های اخیر توسط محققان در کشورهای مختلف ارائه گشته است که به مهم‌ترین یافته های آنان در بخش های آتی مقاله پیش رو اشاره خواهد شد.

در پژوهش حاضر سیستم‌های هیبریدی انرژی که برای تولید برق بر پایه سه منابع اصلی تجدیدپذیر (آبی، خورشیدی، بادی) استقرار یافته اند مورد ارزیابی قرار گرفته و پیشرفت های نوین در توسعه و بهینه سازی این سیستم ها مرور شده اند. در این راستا ابتدا وضعیت کلی تولید برق در جهان به طور مختصر شرح داده شده (بخش ۲)، سپس در بخش ۳ تا ۶ سیستم های هیبریدی تجدید

<sup>10</sup>. Sawle

<sup>11</sup>. Barwani

<sup>12</sup>. Faccio

<sup>13</sup>. Zebra

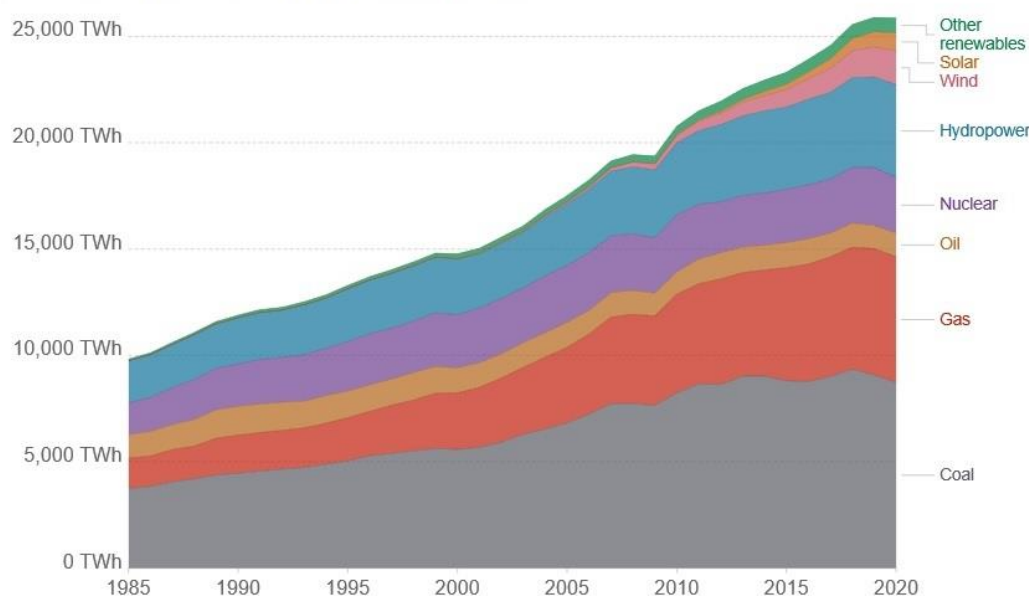
<sup>14</sup>. Levelized cost of energy (LCOE)

پذیر به تفکیک منبع انرژی تشریح گشته اند. در پایان و در بخش ۷ بحث و نتیجه گیری قابل مشاهده می باشد.

## ۲- مروری بر وضعیت تولید الکتریسیته در جهان

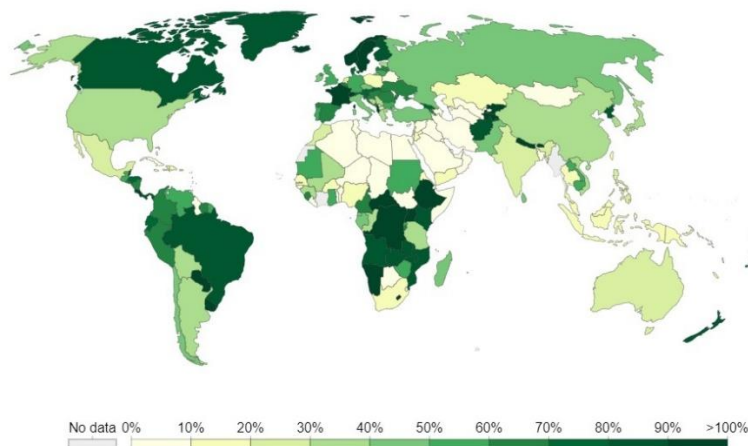
الکتریسته در کنار گرمایش و حمل و نقل یکی از سه مولفه اصلی برای محاسبه مصرف انرژی کل در سطح محلی، منطقه ای، ملی و یا جهانی می باشد. به جرات می توان گفت در میان این سه مولفه تولید و تولید برق در نقاط مختلف دنیا از بالاترین سطح اهمیت برخوردار بوده و تمرکز بر پایین آوردن هزینه تولید آن یکی از اولویت های اصلی در سیاست گذاری های انرژی محور هر کشوری می باشد. شکل ۲ میزان تولید برق در دنیا را بین سال های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ به تفکیک منبع [۱۳] نشان می دهد.

**میزان تولید برق در جهان به تفکیک منبع تا سال ۲۰۲۰**



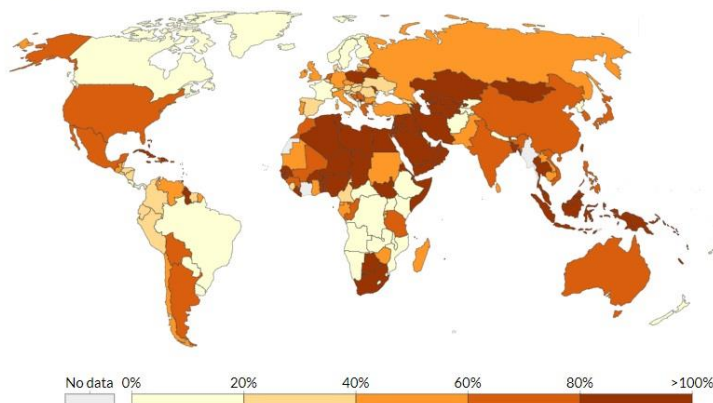
**شکل ۲) میزان تولید برق در جهان به تفکیک منبع، بین سال های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ [۱۳]**

چنانچه مشاهده می شود سهم سوخت های فسیلی (به ترتیب زغال سنگ، گاز و نفت) در تامین برق مورد نیاز نسبت به انرژی های تجدید پذیر بیشتر بوده و این شکاف با گذر اگر بیشتر نشده باشد، به نفع منابع تجدیدپذیر نیز تمایلی معناداری پیدا نکرده است. از طرف دیگر گرچه در طی ۳۵ سال گذشته سهم منابع تجدید پذیر در تولید برق افزایش یافته است (به ترتیب انرژی آبی، بادی، خورشیدی و دیگر انواع) اما این منابع قادر نبوده اند به طور قابل ملاحظه ای سهم خود را در تولید برق کل نسبت به منابع فسیلی افزایش دهند. به طور کلی با افزودن سهم انرژی هسته به منابع تجدیدپذیر، برآورد شده است که در حال حاضر تنها حدود ۰.۳۷٪ برق تولیدی جهان وابسته به منابع تجدیدپذیر می باشد. شکل ۳ نشان دهنده سهم منابع تجدید پذیر در تولید انرژی به تفکیک کشور می باشد [۱۳].

سهم منابع تجدیدپذیر در تولید برق به تفکیک کشور، ۲۰۲۰

شکل ۳) سهم منابع تجدیدپذیر در تولید برق به تفکیک کشور در سال ۲۰۲۰

چنانچه ملاحظه می شود گرچه برخی از کشورها همچون ایسلند، سوئد، فرانسه، و یا حتی کنگو و اتیوپی اتکای خود به منابع تجدیدپذیر تولید برق را به بالای ۹۰٪ رسانده اند. این در حالی است که بخش عمده ای از کشورهای دنیا همچنان کمتر از ۵۰٪ تولید برق را برعهده منابع تجدیدپذیر گذاشته و در مورد برخی کشورها نیز (همچون ایران) اطلاعات قابل استناد یا کاملی وجود ندارد. متعاقبا شکل ۴ سهم منابع فسیلی هر کشور را در تامین برق مصرفی تا سال ۲۰۲۰ به نمایش می گذارد [۱۳]. چنانچه ملاحظه می شود بیشتر کشورهای جهان به خصوص در خاورمیانه، آفریقای شمالی، و آمریکای جنوبی برای تولید برق به منابع سنتی تر انرژی اتکا دارند. در این میان کشورهایی همچون لیبی، عربستان سعودی، ایران، نیجریه، و مصر همچنان بیش از ۹۰٪ برق مصرفی خود را از طریق سوخت های فسیلی تولید می نمایند.

سهم سوخت های فسیلی در تولید برق به تفکیک کشور، ۲۰۲۰

شکل ۵) سهم منابع فسیلی در تامین برق در سال ۲۰۲۰ به تفکیک کشور

به گزارش آژانس جهانی انرژی<sup>۱۵</sup> در آمار سالانه خود در ۲۰۲۰، هزینه های هم تراز شده تامین برق توسط منابعی که کمتر به تولید کربن منجر می شوند (تجدیدپذیر) به طرز قابل ملاحظه ای رو به کاهش بوده و روز به روز فاصله آن با هزینه های فزاینده تولید برق

<sup>15</sup>. International Energy Agency (IEA)





از سوخت های فسیلی بیشتر می شود [۱۴]. همچنین این گزارش پیش بینی می کند که تا سال ۲۰۲۵ سیستم های بادی مستقر در سواحل از پایین ترین هزینه های هم تراز تامین برق برخوردار گردند. یکی از شواهد این پیش بینی کاهش چشمگیر هزینه تولید برق از باد در طی پنج سال اخیر (کاهش از بالای ۱۵۰ دلار/مگاوات بر ساعت به زیر ۱۰۰ دلار/مگاوات بر ساعت) بوده است. این گزارش همچنین به اهمیت و جایگاه رو به توسعه انرژی خورشیدی و آبی در مقام های دوم و سوم اشاره می نماید. بدین ترتیب همانگونه که از اطلاعات این بخش استنباط می شود، با در نظرگیری آنکه هنوز بسیاری از کشورها تا حد زیادی برای تامین برق به منابع فسیلی وابسته اند (به خصوص کشورهای در حال توسعه که معمولاً از شبکه برق سراسری کمتر گسترش یافته ای برخوردارند) و با مشاهده هزینه های رو به کاهش انرژی های تجدید پذیر و آلاینده های بسیار ناچیز آنها، توسعه سیستم های هیبریدی به دو دلیل اصلی حائز اهمیت می باشد: ۱) قابلیت بالا برای ذخیره حجم زیاد انرژی متعاقباً رهاسازی آن برای تولید برق، ۲) حل مسئله نوسانات طبیعی تولید انرژی توسط منابع تجدیدپذیر منفرد از طریق فراهم سازی واحد های تولیدی پشتیبان و جایگزین.

در ادامه سیستم های هیبریدی آبی، خورشیدی، بادی تشریح خواهند شد.

### ۳- سیستم های هیبریدی آبی - خورشیدی

یکی از رایج ترین سازه های تولید برق هیبریدی متشکل از منابع تجدید پذیر، تلفیق نیروگاه های خورشیدی فتوولتائیک با نیروگاه های برقایی و سدهای پمپاژی می باشد. گرچه سیستم های خورشیدی متمرکز نیز در چنین طرح های تلفیقی به کار می روند اما عمده تمرکز محققان بر یکپارچه سازی سیستم های فتوولتائیک با دیگر منابع تجدید پذیر می باشد. علاوه بر آنکه سیستم های خورشیدی از مزایای بسیاری برخوردارند همچنان چند مشکل اصلی در سر راه ارتقای آنها وجود دارد که از میان آنها می توان به امکان ذخیره سازی حجمی برق تولیدی، برق رسانی به فواصل دوردست تر و کیفیت پایین برق و کمبود ولتاژ در برخی از موارد اشاره نمود. از سوی دیگر منابع آبی به علت برخورداری از امکان فراهم سازی فوری و آبی برق و انعطاف پذیری در ذخیره و آزادسازی انرژی مکمل بسیار مناسبی برای سیستم های خورشیدی به خصوص در نواحی به دور از شبکه سراسری برق محسوب می شود. در همین راستا و در جهت بهبود مسئله انتقال برق به فواصل طولانی تر و ارتقای انعطاف پذیری سیستم در تنظیم میزان خروجی، در سال ۲۰۱۹، دنگ<sup>۱۶</sup> و همکاران به ارزیابی اقتصادی یک سیستم خورشیدی-آبی بزرگ مقیاس در شرق و غرب آفریقا پرداختند [۱۵]. نتایج آنها نشان داد که استقرار چنین سیستم هایی در قاره آفریقا به کاهش قیمت همتراز برق، افزایش بهره وری از خطوط انتقال و همچنین کاهش قطع عمده توان به سبب تنظیم پذیری ظرفیت مخزن کمک می نماید. در سیستم پیشنهادی آنها، در ساعات و اوقاتی که تابش خورشیدی بالا می باشد، از بهره وری نیروگاه برقایی کاسته و برق تولیدی توسط سیستم فتوولتائیک به طور کامل مورد استفاده قرار می گیرد. آنگاه زمانی که ساعات آفتابی سپری شده و خروجی سیستم فتوولتائیک پایین می آید، خروجی نیروگاه های برقایی با در نظرگیری میزان برق مورد نیاز تنظیم می گردد.

علاوه بر پتانسیل فراوان چنین سیستم هایی، به علت نوظهور بودن بسیاری از این طرح ها و سازه ها، اطمینان لازم به کارکرد موثر این سیستم ها که متعاقباً منجر به سرمایه گذاری های بیشتر در این حوزه می شود هنوز به طور کامل به وجود نیامده است. به همین منظور لی<sup>۱۷</sup> و همکاران در سال ۲۰۲۰ با در نظرگیری یکی از جدیدترین پیشرفت های صورت گرفته در این حوزه، یعنی یکپارچه سازی سیستم های هیبریدی فتوولتائیک شناور و نیروگاه های برقایی، با ارائه ارزیابی مروری مفصلی مزایای چنین سازه هایی را برشمرده و نشان دادند که پتانسیل تولیدی چنین سیستم هایی در جهان هم اکنون معادل ۴۲۵۱ تراوات بر ساعت تا ۱۰۶۱۶ تراوات بر ساعت به صورت سالانه می باشد [۱۶]. همانگونه که پیش از این ذکر شد اهمیت اصلی سیستم های هیبریدی در تامین برق نواحی

<sup>16</sup>. Deng

<sup>17</sup>. Lee



روستایی و دورافتاده‌ای است که دسترسی راحت به شبکه‌های برق سراسری دسترسی ندارند. سیاهپوترا<sup>۱۸</sup> و همکاران در سال ۲۰۲۱ به ارزیابی عملکرد یک سیستم کوچک مقیاس خورشیدی- آبی در نواحی روستایی و محروم از برق یوگیاکارتا<sup>۱۹</sup> در اندونزی پرداختند [۱۷]. سیستم پیشنهادی آنها که به کمک تکنیک بهینه‌سازی ازدحام ذرات<sup>۲۰</sup> و با در نظر گیری تقاضای موجود برای برق و موقعیت های مطلوب مکانی از نظر دسترسی به منابع تجدیدپذیر مذکور طراحی شده است با استقرار در منطقه انتخابی کولن پروگو، قابلیت تامین برق ۹۶۲ خانوار و تولید ۳۲۷۳ کیلووات بر ساعت را در طول یک روز دارا می باشد. این حجم از برق تولیدی نه تنها پاسخگوی تامین برق مصرفی اجتماع مذکور است بلکه با فراهم سازی ذخیره مازاد، و امکان فروش آن به شبکه برق سراسری ایجادکننده فرصت‌های بهره وری اقتصادی ثانویه نیز می باشد. این پژوهش همچنین یادآور این نکته شد که گرچه هزینه های اولیه ساخت نیروگاه بالا می باشد (به خصوص در رابط با نیروگاه های برقایی)، اما هزینه تولید برق به نسبت سوخت‌های فسیلی در حالت حداقلی و نزدیک به صفر می باشد. در شکل ۶ شماتیک یک سیستم هیبریدی- خورشیدی متصل به شبکه برق سراسری به چشم می خورد [۱۷].



شکل ۶) نمای کلی مولفه های اصلی یک سیستم خورشیدی-آبی تولیدکننده برق [۱۷]

در انتها نمی توان از مهم ترین و پیشرفته ترین سیستم آبی تجدید پذیر یعنی سد های تلمبه ای-ذخیره ای و ادغام آن با سامانه های خورشیدی چشم پوشی نمود. این سدها که از راندمان بسیار بالایی برخوردار هستند در حال حاضر یکی از پیشرفته ترین گزینه های موجود برای ذخیره سازی و تولید برق در نقاط مختلف جهان تلقی می گردند. ادغام این سازه ها با سیستم های فتوولتائیک در سال های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. قاعده کارکرد این سیستم ها بسیار آسان است: دو مخزن که در ارتفاعات متفاوتی مستقر گشته اند از طریق یک مجرا یا کانال شیب دار به یک دیگر متصل می شوند. در هنگام نیاز با رهاسازی آب از مخزن بالادست به سمت مخزن پایین دست و تبدیل انرژی پتانسیل آب به انرژی جنبشی، توربین ها به حرکت درآمده و برق تولید می شود. با ادغام شدن در سیستم های خورشیدی، این سازه ها برق تولیدی ناشی از پنل های خورشیدی را به انرژی مکانیکی تبدیل کرده و از آن برای پمپاژ کردن آب از سد پایین دست به بالادست استفاده می کنند [۱۸].

2. Syahputra

<sup>19</sup>. Yogyakarta

<sup>20</sup>. Particle swarm optimization (PSO)

#### ۴- سیستم‌های هیبریدی آبی-بادی

سیستم‌های هیبریدی آبی و بادی (بدون دخالت منبع انرژی دیگر) نسبت به مورد پیشین کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. با این حال در سال‌های اخیر در زمینه توسعه و بررسی این دسته از سیستم‌های هیبریدی نیز تحولات قابل ملاحظه‌ای به چشم می‌خورد. چنانچه پیش از این اشاره شد مزارع بادی ساحلی یکی از ارزان‌ترین گزینه‌های در دسترس برای تولید برق می‌باشند. با این موجود نوسانات فراوان در منابع بادی و ماهیت نسبتاً غیرقابل پیش‌بینی این پدیده اتکای مطلق به آن را برای تولید برق به خصوص در نواحی دور افتاده تر دشوار می‌کند. بدین ترتیب ادغام آن با منابع آبی (به عنوان تولید کننده‌ای با ثبات) مزایای فراوانی را به همراه می‌آورد. سدهای تلمبه‌ای-ذخیره‌ای در ادغام با منابع بادی نیز (مشابه پنل‌های خورشیدی) گزینه مطلوبی به شمار می‌آید. مطالعات چندی به منظور امکان‌سنجی برپا کردن سیستم‌های تلفیقی تلمبه‌ای-بادی در نواحی مختلف (به خصوص دور افتاده) در اقصا نقاط دنیا صورت گرفته است. از میان آنها می‌توان به پژوهش فنتیدیس<sup>۲۱</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۴ اشاره نمود [۱۹]. این محققان به امکان‌سنجی استقرار سیستم مذکور در دهکده کوچکی در پلاکای<sup>۲۲</sup> یونان پرداخته‌اند. در این راستا در سیستم مورد نظر انرژی تولید شده توسط توربین‌های بادی از طریق یک ایستگاه پمپاژ به سد تلمبه‌ای منتقل شده و تا زمان نیاز در مخزن بالادست ذخیره می‌گردد. نتایج نشان داد با به کارگیری یک توربین آبی متوسط (۳۳۰ کیلوواتی) با همراهی سد پمپاژی قادر به تامین برق مصرفی اجتماع آزمایشی مستقر در پلاکا می‌باشند. توربین به کار رفته در این پژوهش پلتون<sup>۲۳</sup> بوده که به علت سازگاری با ارتفاع زیاد بین دو مخزن و جریان نسبتاً پایین آب، مناسب تشخیص داده شده است.

در سال ۲۰۱۵، کانالز<sup>۲۴</sup> و همکاران در پژوهش قابل ملاحظه‌ای این سوال را مطرح می‌کنند که برای یک سیستم هیبریدی آبی-بادی به کارگیری نیروگاه‌های برقی معمولی مطلوب‌تر است و یا استفاده از سدهای تلمبه‌ای-ذخیره‌ای [۲۰]. این محققان در ادامه با ارزیابی قیاسی این دو نوع نیروگاه در جنوب برزیل، و به کارگیری شبیه‌سازی‌های طراحی شده در نرم افزار هومر<sup>۲۵</sup> نشان می‌دهند که سدهای پمپاژی به علت پایین آوردن هزینه‌های مربوطه و همچنین سازگاری بالا با محیط زیست نسبت به نیروگاه‌های برقی سنتی و سوخت‌های فسیلی ارجح‌تر می‌باشند. یافته‌های آنها به این واقعیت اشاره دارد که علاوه بر هزینه‌های اولیه بالای سدهای تلمبه‌ای، هزینه‌های مربوط به فعالیت آنها پایین‌تر بوده و در حالت ایده آل، به نسبت نیروگاه‌های سنتی، به محدوده سیلابی کوچکتری نیازمندند که متعاقباً اثر زیست‌محیطی کمتری بر جای می‌گذارد. افزون بر مسائل فوق، یکی از مهم‌ترین محدودیت‌هایی که در استقرار چنین سیستم‌هایی موجود است، محدودیت‌های مکانی است. هم سدهای پمپاژی و هم مزارع بادی (در مقایسه با سیستم‌های فتوولتائیک) در دستیابی به مکان مطلوب به پیش‌نیازهای محیطی فزون‌تری اتکا دارند. بدین ترتیب پیدا کردن مکانی که هم برای استقرار مزارع بادی مناسب باشد و هم سدهای تلمبه‌ای کار دشوار و زمان‌بری است. در این راستا در سال ۲۰۲۰، احمدی و همکاران با به کارگیری روش تصمیم‌گیری فازی-ای ان پی<sup>۲۶</sup> و فازی ویکور<sup>۲۷</sup> به رتبه‌بندی و تعیین مکان‌های مناسب برای احداث این سیستم هیبریدی در شمال ایران (گیلان) پرداختند. براساس نتایج سد گیلان غرب به عنوان مکان مطلوب انتخاب شد. این مکان همچنین از شرایط ایجاد یک مزرعه بادی به وسعت ۱۳.۲ کیلومتر مربع و ظرفیت تولیدی ۳۱ مگاوات برخوردار است. محققان این پژوهش تأکید می‌کنند با معرفی چهارچوب تئوریک مناسب که با دربرگیری ضوابط مناسب امکان پشت سر گذاشتن هر چالش و مسئله‌ای را در فرایند تصمیم‌گیری چند منظوره می‌توان می‌توان به نتیجه مطلوب دست یافت

21. Fantidis

22. Plaka

23. Pelton

24. Canales

25. HOMER

26. Analytic network process (ANP)

27. VIKOR

[۲۱]. بدین ترتیب می توان نتیجه گرفت با تهیه معیارها و شاخص های مناسب و فرایند تصمیم گیری و وزن دهی مطلوب می توان در مناطق مختلف اقدام به تعیین مکان های بالقوه برای احداث چنین سیستم هایی نمود.

#### ۵- سیستم های هیبریدی خورشیدی-بادی

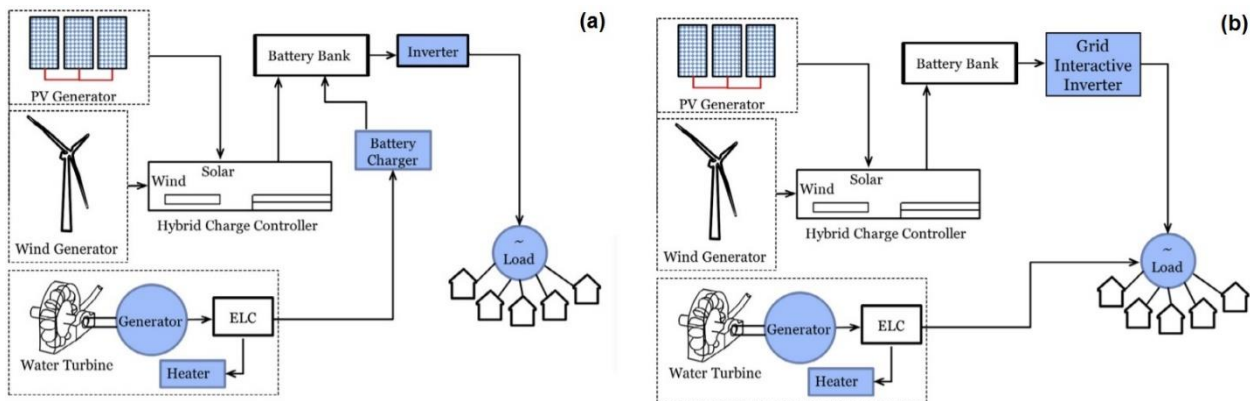
با حذف منابع آبی از سیستم های هیبریدی و اتکا به سیستم های منحصراً خورشیدی-بادی، مسئله تناوب و بروز نوسانات در فرایند تولید برق به طور اجتناب ناپذیری پررنگ تر می شود. از آنجایی که در سیستم های آب محور آب، در کنار تولید برق نقش خازن اصلی را نیز ایفا می کند، حذف این مولفه از سیستم های هیبریدی اهمیت انتخاب و جایگذاری واحد ذخیره ساز مناسب را دو چندان کرده و شاید بتوان گفت چالش اصلی در سیستم های هیبریدی خورشیدی-بادی بحث ذخیره سازی باشد. در این راستا ادغام سیستم های خورشیدی-بادی با سیستم های دیزلی و باتری های گوناگون از راهکار های رایج برای ارتقای اتکاپذیری این سیستم ها به شما می آید [۲۲]. علاوه بر وجود این چالش، سیستم های هیبریدی خورشیدی-بادی نسبت به سیستم های منفرد خورشیدی و بادی از ثبات تولیدی و هزینه های پایین تری برخوردار می باشند و به همین دلیل توسعه آنها در مناطق مستعد حائز اهمیت است. بخش های اصلی این سیستم ها عبارت اند از سلول های فتوولتائیک، توربین های بادی، واحد کنترل کننده و باتری ذخیره ساز. توربین ها انرژی بادی را به مکانیکی و سپس الکتریکی تبدیل می نمایند. با این حال به سبب ماهیت پیش بینی ناپذیر این منبع، برق تولیدی ناپایدار و متناوب می شود. به همین دلیل واحدهای کنترلی این اطمینان را حاصل می کنند که برق تولیدی به صورت پیوسته جریان داشته و در باتری ذخیره شود. سیستم فتوولتائیک نیز با تبدیل انرژی خورشیدی به برق (در قالب جریان مستقیم) آن را در باتری ذخیره کرده و آنگاه واحد کنترلی بسته به نیاز برق واحدهای مصرف کننده به تامین جریان متناوب یا جریان مستقیم برق می پردازد. در سالهای اخیر تعداد قابل ملاحظه ای از مطالعات موردی پیرامون امکان سنجی استقرار این سیستم ها در کشورهای در حال توسعه مختلف [۲۳-۲۷] همچون عربستان سعودی، اتیوپی، مغولستان، نپال، و همچنین ایران انجام گرفته است. با توجه به اهمیت ذخیره سازی و طبیعت متناوب این دو منبع طبیعی انرژی، نوسانات مربوط به ولتاژ و فرکانس، هزینه بالای ذخیره سازی، محدودیت ظرفیت مخزن، و خطرات زیست محیطی مرتبط با به کارگیری باتری ها و مخازن هیدروژنی در میان برخی از اصلی ترین چالش های پیش روی توسعه این دسته از سیستم های هیبریدی می باشد.

#### ۶- سیستم های هیبریدی آبی-خورشیدی-بادی

تلفیق چندگانه منابع تجدیدپذیر یکی از بهترین روش های برطرف سازی کاستی های موجود در سیستم های منفرد و یا دوگانه می باشد. در این راستا تلفیق سه گانه منابع آبی، خورشیدی و بادی که در پاک ترین و مقرون به صرفه ترین گزینه های تامین انرژی و تولید برق هستند در بین کارشناسان و محققان حوزه سیستم های هیبریدی تجدیدپذیر در سال های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این امر نه تنها به ثبات بیشتر تولید و توزیع برق شبکه سراسری و یا سیستم های خودکفا کمک می نماید بلکه به طور قابل ملاحظه ای منجر به کاهش ابعاد و حجم مورد نیاز برای ذخیره سازی و متعاقباً کاهش هزینه های کل می شود. یکپارچه سازی تمام این سه منبع در قالب یک سیستم به خصوص در قالب سیستم های خودکفا هنوز در حال برداشتن گام های آغازین خود می باشد و در قیاس با سایر سیستم های هیبریدی از پیشرفت بسیار کمتری برخوردار بوده است. در این راستا بهانداری<sup>۲۸</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۴ برای اولین بار امکان استقرار چنین سیستم سه گانه ای را در منطقه ای روستایی در نپال، بدون اتصال به شبکه برق سراسری مورد ارزیابی قرار دادند [۲۸]. این پژوهش دو تکنیک یکپارچه سازی منابع آبی، خورشیدی و بادی را برای ایجاد یک شبکه برق کوچک مقیاس بر پایه این سیستم هیبریدی معرفی نمود؛ در یک روش از واحد هیبریدی

<sup>28</sup>. Bhandari

کنترلی/شارژکننده برا ادغام سازی استفاده شد. در روش دوم همگام سازی سیستم آبی کوچک مقیاس با تولیدکنندگان خورشیدی و بادی از طریق به کارگیری یک مبدل همگام. شکل ۷ نشان دهنده این دو تکنیک پیشنهادی می باشد.



شکل ۷) سامانه (a) نشان دهنده روش یکپارچه سازی با واحد هیبریدی کنترلی/شارژکننده و سامانه (b) نشان دهنده روش یکپارچه سازی به کمک مبدل همگام می باشد [۲۸].

در سال ۲۰۱۹ نیز ما<sup>۲۹</sup> و همکاران هماهنگ سازی و سازماندهی بلندمدت یک سیستم هیبریدی آبی- حرارتی- بادی- خورشیدی را به منظور تامین برق استانی در چین مورد ارزیابی قرار دادند [۲۹]. در این راستا ناهماهنگی تولیدی سیستم ابتدا به چهار زیر شاخه ناهماهنگی خورشیدی، بادی، حرارتی و آبی تقسیم شد. سپس برای سه مورد اول بر حسب آنالیزهای رقومی صورت گرفته بر اساس داده های واقعی فعالیت سیستم، برنامه ریزی ها و هماهنگی های مربوط به تنظیم تولید صورت گرفت. در رابط با هماهنگ سازی تولید بخش آبی، بعد از تقسیم بندی سه گانه نیروگاه های آبی موجود در سیستم بر اساس ویژگی های کارکردی، با به کارگیری استراتژی های مختلف شیوه کار این واحدها تنظیم شد. نتایج پژوهش نشان داد که این روش در هماهنگ سازی سیستم چهارگانه تجدیدپذیر برای پوشش کامل برق مورد نیاز موفقیت آمیز بوده است.

## ۷- بحث و نتیجه گیری

مقاله حاضر به مرور ۴ دسته از سیستم های هیبریدی تجدیدپذیر (آبی-خورشیدی، آبی-بادی، خورشیدی-بادی، و آبی-خورشیدی-بادی) پرداخته است. هدف اصلی از ارتقای چنین سیستم هایی تامین برق در نواحی دورافتاده تری است که دستیابی به شبکه برق سراسری یا امکان پذیر باشد و یا ساکنین را متحمل هزینه های سنگین تر می نماید. با توجه به آنکه توسعه این سیستم ها به ثبات بیشتر تولید برق در منابع تجدیدپذیر و متعاقبا کاهش هزینه ها کمک می کند، اهمیت این سیستم ها به صورت فزاینده ای رو به افزایش است. با این حال این فناوری های نوظهور در نقاط مختلف دنیا همچنان در حال برداشت گام های اولیه خود می باشند. حمایت سیاست گذاران و برنامه ریزان در سطح کلان، حمایت های دولتی و همچنین محلی، جلب اعتماد سرمایه گذاران بازار انرژی، و افزایش مطالعات امکان سنجی استقرار و توسعه این سیستم ها افزون بر دیگر منابع پاک و بالقوه تولید انرژی (زمین گرمایی، زیست توده، هسته ای و...) از عوامل کلیدی موثر بر رشد و گسترش سیستم های هیبریدی تجدید پذیر می باشد.



## منابع

- [1] Erdinc O, Uzunoglu M. Optimum design of hybrid renewable energy systems: Overview of different approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012 Apr 1;16(3):1412-25.
- [2] Dagdougui H, Sacile R, Bersani C, Ouammi A. Hydrogen infrastructure for energy applications: production, storage, distribution and safety. Academic Press; 2018 Feb 3.
- [3] Kondili E, (2010). Design and performance optimisation of stand-alone and hybrid wind energy systems. In *Stand-Alone and Hybrid Wind Energy Systems*. Woodhead Publishing; 2010 81-101.
- [4] Islam SM, Nayar CV, Abu-Siada A, Hasan M. Power Electronics for Renewable Energy Sources. In *Power Electronics Handbook (Fourth Edition)*. Butterworth-Heinemann; 2018 783-827.
- [5] Palatel A. Isolated Hybrid Energy Systems for Remote Locations. In *Encyclopedia of Sustainable Technologies*. Elsevier; 2017 205-216.
- [6] Zohuri B. Hybrid Renewable Energy Systems. In *Hybrid Energy Systems*. Springer; 2017 1-38.
- [7] Sawle Y, Gupta SC, Bohre AK. Review of hybrid renewable energy systems with comparative analysis of off-grid hybrid system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018 Jan 1;81:2217-35.
- [8] Ekren O, Ekren BY. Size optimization of a PV/wind hybrid energy conversion system with battery storage using simulated annealing. *Applied energy*. 2010 Feb 1;87(2):592-8.
- [9] Al-Falahi MD, Jayasinghe SD, Enshaei HJ. A review on recent size optimization methodologies for standalone solar and wind hybrid renewable energy system. *Energy conversion and management*. 2017 Jul 1;143:252-74.
- [10] Lian, J., Zhang, Y., Ma, C., Yang, Y., & Chaima, E. (2019). A review on recent sizing methodologies of hybrid renewable energy systems. *Energy Conversion and Management*, 199, 112027.
- [11] Faccio, M., Gamberi, M., Bortolini, M., & Nedaei, M. (2018). State-of-art review of the optimization methods to design the configuration of hybrid renewable energy systems (HRESs). *Frontiers in Energy*, 12(4), 591-622.
- [12] Zebra EI, van der Windt HJ, Nhumaio G, Faaij AP. A review of hybrid renewable energy systems in mini-grids for off-grid electrification in developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021 Jul 1;144:111036.
- [13] Our World in Data Based on BP Statistical Review of World Energy & Ember, Electricity Production by Source, World, 2021
- [14] IEA. Projected Costs of Generating Electricity 2020, IEA, Paris; 2020. <https://www.iea.org/reports/projected-costs-of-generating-electricity-2020>.
- [15] Deng Z, Xiao J, Zhang S, Xie Y, Rong Y, Zhou Y. Economic feasibility of large-scale hydro-solar hybrid power including long distance transmission. *Global Energy Interconnection*. 2019 Aug 1;2(4):290-9.
- [16] Lee N, Grunwald U, Rosenlieb E, Mirlletz H, Aznar A, Spencer R, Cox S. Hybrid floating solar photovoltaics-hydropower systems: Benefits and global assessment of technical potential. *Renewable Energy*. 2020 Dec 1;162:1415-27.
- [17] Syahputra R, Soesanti I. Renewable energy systems based on micro-hydro and solar photovoltaic for rural areas: A case study in Yogyakarta, Indonesia. *Energy Reports*. 2021 Nov 1;7:472-90.
- [18] ] El-Jamal G, Ghandour M, Ibrahim H, Assi A. Technical feasibility study of solar-pumped hydro storage in Lebanon. In *International Conference on Renewable Energies for Developing Countries 2014*;23-28.
- [19] Fantidis JG, Mantzari VC, Kalkani E, Bandekas DV, Vordos N. A hybrid wind and hydroelectric power production system in Plaka, Alexandroupolis, Greece. *International Journal of Advances in Engineering, Science and Technology*. 2013;2(4):376-85.





- [20] Canales FA, Beluco A, Mendes CA. A comparative study of a wind hydro hybrid system with water storage capacity: Conventional reservoir or pumped storage plant?. *Journal of Energy Storage*. 2015 Dec 1;4:96-105.
- [21] Ahmadi SH, Noorollahi Y, Ghanbari S, Ebrahimi M, Hosseini H, Foroozani A, Hajinezhad A. Hybrid fuzzy decision making approach for wind-powered pumped storage power plant site selection: A case study. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2020 Dec 1;42:100838.
- [22] Wagh S, Walke PV. Review on wind-solar hybrid power system. *International Journal of Research In Science & Engineering*. 2017 Mar;3(2).
- [23] Ramli MA, Hiendro A, Al-Turki YA. Techno-economic energy analysis of wind/solar hybrid system: Case study for western coastal area of Saudi Arabia. *Renewable energy*. 2016 Jun 1;91:374-85.
- [24] Bekele G, Boneya G. Design of a photovoltaic-wind hybrid power generation system for Ethiopian remote area. *energy Procedia*. 2012 Jan 1;14:1760-5.
- [25] Li J, Bo X, Chen Y. Feasibility Analysis of Applying the Wind-Solar Hybrid Generation System in Pastoral Area. *InFuture Wireless Networks and Information Systems 2012* (pp. 621-628). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [26] Alex Z, Clark A, Cheung W, Zou L, Kleissl J. Minimizing the lead-acid battery bank capacity through a solar PV-Wind turbine hybrid system for a high-altitude village in the Nepal Himalayas. *Energy Procedia*. 2014 Jan 1;57:1516-25.
- [27] Razmjoo A, Qolipour M, Shirmohammadi R, Heibati SM, Faraji I. Techno-economic evaluation of standalone hybrid solar-wind systems for small residential districts in the central desert of Iran. *Environmental progress & sustainable energy*. 2017 Jul;36(4):1194-207.
- [28] Bhandari B, Lee KT, Lee CS, Song CK, Maskey RK, Ahn SH. A novel off-grid hybrid power system comprised of solar photovoltaic, wind, and hydro energy sources. *Applied Energy*. 2014 Nov 15;133:236-42.
- [29] Ma Z, Wang S, Li S, Shi Y. Long-term coordination for hydro-thermal-wind-solar hybrid energy system of provincial power grid. *Energy Procedia*. 2019 Feb 1;158:6231-5





# فصلنامه

# آب‌نوس

خبرنامه انجمن علمی دانشجویی اکوهیدرولوژی  
دانشگاه تهران

بهار ۱۴۰۰



خبرنامه داخلی، ضمیمه نشریه علمی "حفاظت آب، خاک و هوا"

## آبنوس

انجمن علمی دانشجویی اکوهیدرولوژی دانشگاه تهران

دوره ۲، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰



فهرست مطالب	
صفحه	عنوان
۲	مقدمه
۳	مصاحبه آقای دکتر علی بخش کسائیان
۶	اخبار و افتخارات دانشجویی دانشکده خبر انتشار اولین نشریه علمی دانشجویی دانشکده در سایت نفرات اول مسابقه ملی ره نشان و افتخاری دیگر برای دانشکده برگزاری کارگاه مشترک انجمن علمی دانشجویی مکترونیک و اکوهیدرولوژی
۱۰	دانشجویانی که در سال ۱۳۹۹ دفاع کردند
۱۲	معرفی چند ژورنال مفید
۱۳	بیشتر بیاموزیم چاپ سه بعدی آنروژل های گرافن برای تصفیه آب



## مقدمه

ضمن تبریک سال نو و آرزوی سلامتی و شادکامی برای همه عزیزان، سالی مملو از سلامتی و برکت برای همه آرزومندیم. ایرانیان یکی از سخت کوش ترین انسان هادر ساختن تمدن در عرصه زمین هستند. رابطه ی آب با جامعه ایرانی مسئله تازه و جدیدی نیست. ۸۵ درصد طبیعت ایران دارای اقلیمی خشک و نیمه خشک بوده و ۷۰ درصد مناطق ایران بارش سالانه ای کمتر از ۲۰۰ میلی متر دارند. این یعنی ایران از نظر منابع آبی در شرایطی سخت ناشی از توزیع نامتناسب زمانی و مکانی بارش روبرو بوده است. در یک دهه گذشته میزان منابع آب تجدید پذیر کشور به ۱۱۰ میلیارد متر مکعب و حتی اخیرا در ۵ سال گذشته به ۱۰۰ میلیارد متر مکعب کاهش پیدا کرده است. طبق آمار رسمی تا انتهای دهه ۸۰ طبیعت ایران هر ساله به طور متوسط میزان آبی معادل ۱۳۰ میلیارد متر مکعب را هر ساله در اختیار جامعه ایرانی قرار می داده است. ۱۱۸ میلیارد متر مکعب از این میزان منابع تجدید پذیر ناشی از ریزش های جوی بوده، که تنها ۳۰ درصد حجم ریزش ها بوده و ۷۱ درصد از حجم ناشی از ریزش های جوی به صورت تبخیر و تعرق از دسترس خارج می شود، و حدود ۱۲ میلیارد متر مکعب از طریق جریان های سطحی وارد کشور می شود و یا به صورت رودخانه های مشترک مرزی جریان پیدا می کند. برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی تجدید پذیر در دهه های اخیر به صورت بی رویه و غیر پایداری افزایش پیدا کرده است. تداوم این شرایط موجب شده که پیامد های گسترده پیدا و پنهان اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی بحران آب هر روز آشکارتر می شود. از پیامد های زیست محیطی مشهود و آشکار بحران آب می توان به زوال اکوسیستم های آبی از جمله کم شدن آب دریاچه ها، تالاب ها، کاهش آبدی رودخانه و پایین رفتن سطح آب زیر زمینی، خشک شدن قنات ها، چشمه ها و چاه های آب، زوال زیست بوم های وابسته، تنزل کیفیت آب، نشست زمین، شوری اراضی و بیابان زایی و توسعه بیابان ها اشاره کرد.

بنابراین عوامل فوق الذکر، مسئله آب پیش از اینکه مسئله فنی و مهندسی باشد، مسئله اجتماعی، اقتصادی و سیاسی است و تنها با تفکر فنی و مهندسی و تاکید تامین آب بیشتر، حل نخواهد شد. از این رو مسئله آب راهکاری اجتماعی و سیاسی و اقتصادی را می طلبد و در واقع اشاره به دو موضوع محوری در این رشته است.





## آقای دکتر علیبخش کسائیان



<https://profile.ut.ac.ir/~akasa/network>

با سلام، درخشش اساتید دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران خصوصا گروه مهندسی محیط زیست و انرژی های نو ما را بر آن داشت به ترتیب در هر شماره با اساتید موفق در حوزه های آموزش پژوهش و مدیریتی مصاحبه ای در حد بضاعت داشته باشیم تا نقطه نظرات ایشان روشنی بخش مسیر جوانان مستعد کشور باشد. در این شماره در خدمت یکی از مدیران توانمند و چهره های برتر آموزشی و پژوهشی و جزو دو درصد دانشمندان برتر جهان یعنی آقای دکتر علی بخش کسائیان هستیم. لینک رزومه ایشان بالاتر آورده شده است. با توجه به شرایط رعایت قرنطینه، مصاحبه در قالب پرسش و پاسخ و ارسال فایل صوتی انجام پذیرفت.

ضمن سپاس از اینکه نهایت همکاری را متواضعانه و بسیار مهربان با دانشجویان خصوصا انجمنهای علمی تا کنون داشته اید و تشکر از اینکه به ما وقت دادید،

س: لطفا ضمن خلاصه ای از گرایش های پژوهشی تان در مورد جایگاه و اهمیت مهندسی محیط زیست و انرژی های نو خصوصا رشته اکوهیدرولوژی از دید ملی و فراملی توضیح بفرمایید.

ج: با سلام ضمن تشکر، بیشتر پژوهش های بنده روی انرژی حرارتی خورشید، انتقال حرارت و ترمودینامیک، همچنین در سیستم های انرژی تجدید پذیر و هیبرید انرژی هم کار می کنم. در ارتباط با جایگاه و اهمیت این رشته، آینده انرژی جهان کاملا وابسته به انرژی های نو هست و بحث معضلی به نام گرمایش جهانی توجه را از انرژی های فسیلی به سمت توسعه انرژی های تجدیدپذیر برده است. البته تفاوت بین انرژی های نو و تجدید پذیر در انرژی هسته ای است یعنی انرژی هسته ای جزو انرژی های نو می باشد نه تجدید پذیر. در مورد جایگاه رشته اکوهیدرولوژی، اهمیت آن در این است که ارتباط بین سیستم های هیدرولوژیکی را با محیط های زنده و



فعالیت های بیولوژیکی و همچنین پاسخ سیستم های هیدرولوژیکی نسبت به فعالیت های مختلفی مانند فعالیت های انسانی را بررسی می کند و می توان تحلیل های درستی در موضوعات مهمی مانند پاسخ تالاب ها به فعالیت های انسانی، شیوه های علمی مرتبط جهت احیا و حفاظت تالاب ها و زیست گاه های آبخیزی، توسعه کیفیت اکوسیستم ها، حفظ و اصلاح فرایند آبخیز ها داشت که در دید بین المللی هم بسیار مورد توجه هستند و باید به صورت پژوهش های کاربردی به آن پرداخت و نیروهای متخصص در این زمینه تربیت شوند. از جمله موارد دیگر اهمیت مدیریت صحیح آب و منابع آبی در حوزه های آبخیز کشور و توسعه پایدار است و دانشجویان و فارغ التحصیلان اکوهیدرولوژی می توانند بهترین گزینه در این تحقیقات و عناوین باشند.

س: به نظر شما با توجه به امکانات موجود در دانشکده چه فعالیت های پژوهشی در جهت ارتقا با بهترین نتیجه می توان داشت؟

ج: همه واقف هستیم کمبود امکانات و عدم دسترسی به یک سری تجهیزات در سطح کل دانشگاه های کشور مطرح است که می توان به تحریم ها اشاره کرد ولی خوشبختانه همه متخصصین، دانشجویان و اساتید ما با این حال در امور مربوط به شبیه سازی و کارهای تئوری در مقیاس جهانی کار می کنند و بدون اغراق در بخش عملی نیز با توجه به کمبود امکانات، کارهای بزرگی انجام می دهند. انتشار مقالات معتبر محققین ایرانی گویای این گفتار است. اما این امکانات موجود کافی نیست و دانشکده ما هم امکانات محدودی دارد. در سال ۹۱-۹۰، بنده با حداقل هزینه ممکن و بودجه کمی که در اختیار بود توانستم چند ستاپ انرژی خورشیدی بسازم که پژوهش های زیادی هم انجام شد. در خصوص آزمایشگاه اکوهیدروژی علی رغم منابع بودجه ضعیف، اساتید محترم گروه خیلی تلاش کردند و امیدواریم مساله بودجه جهت تامین امکانات در خور این رشته در آینده حل شود و بتوانیم کارهای عملی را در سطح جهانی به انجام برسانیم. بهترین توصیه بنده در شرایط کمبود امکانات در سطح کل دانشگاه، انجام کارهای عملی در سطح بضاعت موجود و تحلیل عددی و شبیه سازی مسائل پیچیده تر و پیشرفته می باشد.

س: کدام رشته ها و گرایش ها به طور تلفیقی می توانند با رشته اکوهیدرولوژی همکاری پژوهشی داشته باشند؟  
ج: چون اکوهیدرولوژی بین رشته ای هست بنابراین رشته های زیادی را می توان نام برد که بتوان کارهای پژوهشی مشترک بسیار خوبی بانجام رساند، مانند: مهندسی انرژی های تجدیدپذیر، مهندسی محیط زیست، مهندسی مرتع و آبخیزداری، مهندسی عمران آب، زمین شناسی و مهندسی علوم زیستی.

س: از نظر بازار کار دورنمای این رشته را چگونه ارزیابی می فرمایید؟

ج: این واقعیت را قبول داریم در بازار کار خیلی از افراد مطابق با شایستگی تحصیلات شان قرار ندارند و برای تخصص های بین رشته ای شاید این موضوع بارزتر دیده شود. زمانی بازار کار این رشته رونق می گیرد که اهمیت آن در حوزه های آبخیزداری کشور، اکوسیستم ها، تالاب ها، زیست گاه ها و محیط زیست با اراده ملی و دولتی دیده شود و این رشته برای فارغ التحصیلان خود به جایگاه صحیح خود برسد.

خبرنامه داخلی، ضمیمه نشریه علمی "حفاظت آب، خاک و هوا"

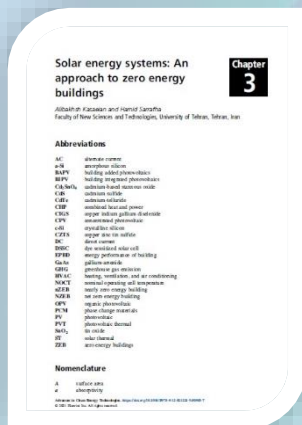
# آبنوس

انجمن علمی دانشجویی اکوهیدرولوژی دانشگاه تهران

دوره ۲، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰



س: در آخر چه توصیه ای برای دانشجویان و دانش پژوهان دارید؟  
ج: در برابر اساتید این رشته کوچکتر از آن هستیم که توصیه ای داشته باشیم ولی به صورت کلی و به ایجاز به دانشجویان و دانش پژوهان توصیه می کنم که "هرچه می توانید یاد بگیرید و هرچه می توانید یافته های خود را بکار ببندید". خیلی ممنون از توجه شما با آرزوی موفقیت روز افزون.  
مجدداً از طرف انجمن از شما تشکر می شود خصوصاً به خاطر همکاری فوق العاده و موثری که تا کنون با دانشجویان، دانش پژوهان و محیط های علمی داشته اید. همیشه برقرار و سلامت باشید.



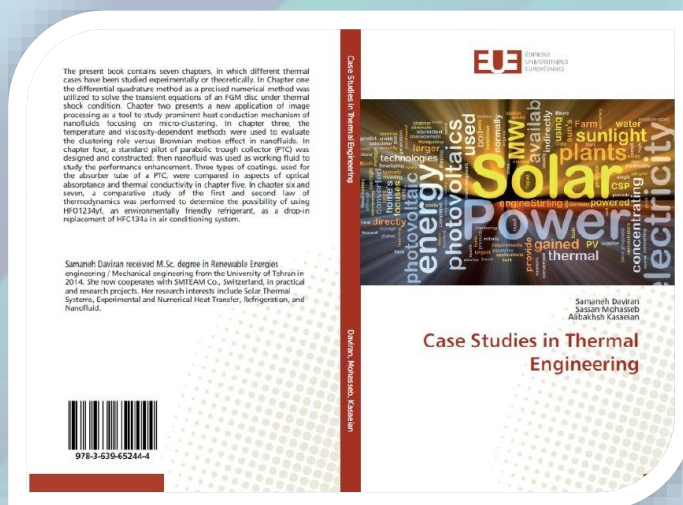
Solar energy systems: An approach to zero energy buildings



سامانه های تولید همزمان توان و حرارت CHP برای مصارف ساختمانی



ذخیره سازی انرژی (رویگرد نوین)



Case Studies in Thermal Engineering





خبرنامه داخلی، ضمیمه نشریه علمی "حفاظت آب، خاک و هوا"

# آبنوس

انجمن علمی دانشجویی اکوهیدرولوژی دانشگاه تهران

دوره ۲، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰



اخبار و افتخارات دانشجویی دانشکده

- خبر انتشار اولین نشریه علمی دانشجویی دانشکده در سایت



در این خبر ضمن معرفی نشریه و افراد موثر آن راه های ارتباطی جهت ارسال مقالات و اخبار و یافته های نوین اعلام شد. لازم به ذکر است این نشریه و به دنبال آن خبرنامه ابنوس با پیگیری ها و تلاش یک ساله سرکار خانم سیده آمنه سجادی مصوب و سرانجام راه اندازی شد تا بلکه اثر و یادگاری هر چند کوچک اما مثبت و مانا برای دانشکده و خانواده دانشگاه ( اساتید دانشجویان و کادر اجرایی ) باشد.

<https://fnst.ut.ac.ir>



خبرنامه داخلی، ضمیمه نشریه علمی "حفاظت آب، خاک و هوا"



## آبنوس

انجمن علمی دانشجویی اکوهیدرولوژی دانشگاه تهران

دوره ۲، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰



• نفرات اول مسابقه ملی ره نشان و افتخاری دیگر برای دانشکده



سینا لبافی

دانشجوی دکتری سیستم انرژی، گرایش فناوری دانشگاه تهران

در دوره دوم مسابقات ره نشان (طرح شهید بابایی) در گروه آب و فاضلاب، پروژه تصفیه فاضلاب به روش mbr آقایان سینا لبافی و معین خالویی مقام اول را کسب کردند که انجمن اکوهیدرولوژی در بخش خبرنامه آبنوس با آقای سینا لبافی صحبتی کوتاه داشتند. ضمن سپاس از ایشان در خصوص نحوه شرکت سایر عزیزان دانشجو در این مسابقات بیان داشتند: مسابقات ره نشان و دیگر مسابقات مشابه هر ساله زیر نظر سازمان ملی نخبگان برگزار می شود که در سایت ملی نخبگان یا از طریق سایت های مشابه زمان ثبت نام هر سال اعلام می شود. در دو سال اخیر شروع ثبت نام مسابقه ره نشان مهر ماه بوده است.

در پاسخ به این سوال که، این قبیل فعالیت ها و موفقیت های کسب شده چه تاثیری در آینده علمی، اجتماعی دانشجویان دارد؟ توضیح دادند، شرکت در این مسابقات پروژه محور دانشجویان را با فضای مجازی صنعت و نیاز های آن بیشتر آشنا می کند و کمی از فضای آکادمیک فاصله می گیرد تا دید بهتری برای موفقیت یک پروژه در صنعت پیدا کنند. علاوه بر این موضوع به نفرات برتر امتیاز نخبگی نیز در نظر گرفته می شود که برای مسابقه ره نشان تیم اول ۵۰، تیم دوم ۳۰ و تیم سوم ۲۰ امتیاز است.

و اما پیشنهاد این دانشجوی موفق ما به سایر دوستان این بود که، اگر قصد شرکت در این گونه مسابقات را دارند اول با فضای مسابقه و قوانین اون آشنا شوند، همچنین این مسابقات گاهی، زمان زیادی می گیرد و لازم به مدیریت خوب زمان دارند.

در انتها باید بگوییم تجربه خوب و مفیدی برای من بود و اطلاعات مناسبی برایم داشت.



خبرنامه داخلی، ضمیمه نشریه علمی "حفاظت آب، خاک و هوا"

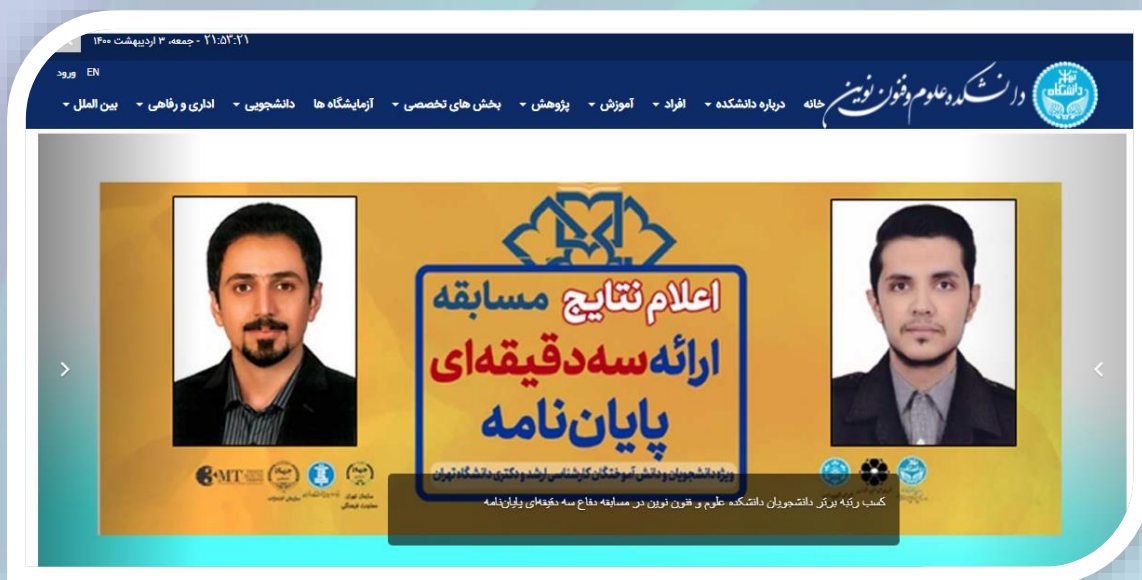
# آبنوس

انجمن علمی دانشجویی اکوهیدرولوژی دانشگاه تهران

دوره ۲، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰



- برتری دو تن از دانشجویان دانشکده در کسب مقام اول ارائه سه دقیقه ای پایان نامه



در این دوره از مسابقات دفاع سه دقیقه ای پایان نامه، از میان ۵۷ اثر ارسال شده به دبیرخانه مسابقه، ۱۳ اثر موفق به کسب رتبه شده اند که در این میان، دو دانشجو از دانشکده علوم و فنون نوین نیز مفتخر به کسب رتبه برتر در گروه مربوطه شان شده اند. بدین ترتیب، آقای محمدمهدی رضایی دانشجوی رشته مهندسی سیستم های انرژی، (با راهنمایی دکتر یونس نوراللهی) با دفاع از پایان نامه خود با عنوان "مدلسازی برای امکان سنجی یک سیستم انرژی پایدار تعاملی در شمال شرق کشور" موفق به کسب رتبه اول در گروه فنی و مهندسی شدند. همچنین آقای علیرضا قناد سبزواری در رشته نانویوتکنولوژی، (با راهنمایی دکتر حسین صباحی) با دفاع از پایان نامه خود با عنوان "مونت موریلونیت، یک نانو ذره طبیعی خوراکی با اثرات ضد سرطانی ذاتی" موفق به کسب رتبه اول در گروه علوم پایه شدند.

<https://fnst.ut.ac.ir>







خبرنامه داخلی، ضمیمه نشریه علمی "حفاظت آب، خاک و هوا"

# آبنوس

انجمن علمی دانشجویی اکوهیدرولوژی دانشگاه تهران

دوره ۲، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰



- برگزاری کارگاه مشترک انجمن علمی دانشجویی مکترونیک و اکوهیدرولوژی

**کارگاه مقاله خوانی و مقاله نویسی**



رهام سیف  
دانشجوی سال سوم ارشد پلی تکنیک میلان



حامی تورجی زاده  
عضو هیئت علمی دانشگاه خوارزمی

سه شنبه ۲۶ اسفند ۱۳۹۹ ساعت ۱۴ الی ۱۷

لینک ورود به کارگاه: <http://vclas9.ut.ac.ir/fnst7>

شرکت در این کارگاه، برای عموم آزاد و رایگان می باشد





انجمن علمی دانشجویی اکوهیدرولوژی      انجمن علمی دانشجویی مکترونیک

بر اساس انعکاس خبری باشگاه دانشجویان دانشگاه تهران، انجمن علمی دانشجویی مکترونیک و اکوهیدرولوژی دانشگاه تهران و بینار "مقاله خوانی و مقاله نویسی" با دوسختران آقای دکتر حامی تورجی زاده و مهندس رهام سیف در ۲۶ اسفند ۱۳۹۹ با استقبال بسیار خوب دانشجویان در محیط ادوبی کانکت و به صورت مجازی برگزار کردند. این وینار با همت و پیگیری دبیران دو انجمن انجام شد. لازم به ذکر است دبیر انجمن مکترونیک آقای علیرضا صادقی می باشند. در صورت تمایل عزیزان می توانند به دو گروه تلگرامی ذیل ملحق شوند و در فعالیت های علمی - فرهنگی مشارکت موثر با این دو انجمن داشته باشند.

گروه تلگرامی دو انجمن:

@UT\_ESAJ

@mechatronics\_ut

## 🌱 دانشجویانی که در سال ۱۳۹۹ از پایان نامه خود دفاع کردند

در هر شماره لیست دانشجویانی که در دانشکده دفاع کرده اند بر اساس اطلاعاتی که به دلخواه با ما تماس گرفته و در اختیارمان قرار دادند معرفی خواهند شد.

<p><b>خانم شقایق دانه کار</b> کارشناس ارشد مهندسی اکوهیدرولوژی ورودی ۱۳۹۷ تدوین شاخص های مکان یابی سدهای تلمبه ای ذخیره ای به منظور ذخیره سازی انرژی های تجدید پذیر تاریخ دفاع: ۱۳۹۹/۱۲/۲۵ اساتید راهنما: دکتر حسین یوسفی - دکتر یونس نوراللهی</p>	
<p><b>آقای آرین زرفشانی</b> کارشناس ارشد مهندسی اکوهیدرولوژی ورودی ۱۳۹۷ بررسی تأثیر بام سبز بر شکل گیری جزایر حرارتی در بخشی از شهر تهران تاریخ دفاع: ۱۳۹۹/۱۱/۰۸ اساتید راهنما: دکتر محمدحسین جهانگیر - دکتر سید جواد ساداتی نژاد</p>	
<p><b>خانم سیده آمنه سجادی</b> کارشناس ارشد مهندسی اکوهیدرولوژی ورودی ۱۳۹۷ مدلسازی کنترل سیلاب با رویکرد اکوهیدرولوژیک در حوضه سپیدرود تاریخ دفاع: ۱۳۹۹/۱۲/۱۲ اساتید راهنما و مشاور: دکتر سید جواد ساداتی نژاد - دکتر حسین یوسفی</p>	
<p><b>آقای اسرافیل شاهورن</b> تحلیل سناریوهای جایگزینی سوخت های فسیلی با انرژی های تجدیدپذیر در تولید انرژی الکتریکی با رویکرد تعهدات محیط زیستی ایران ۲۶/۰۶/۱۳۹۹ راهنما اول: دکتر حسین یوسفی سهزایی راهنما دوم: دکتر علیرضا اصلانی</p>	

## خانم سبا نصیری

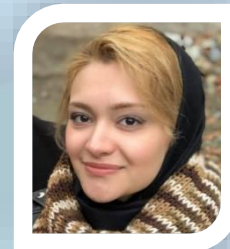
افزایش ارزش حرارتی زباله های جامد شهری با تولید پلت ترکیبی سوخت مشتق شده از

زباله

۱۳۹۹/۶/۲۹

استاد راهنما: دکتر احمد حاجی نژاد

استاد مشاور: دکتر محمد حسین کیانمهر



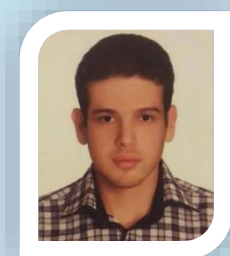
## آقای سید مجتبی واعظم

بهبود عملکرد حرارتی لوله حرارتی ترموسیفون با استفاده از نانوسیال و سورفکتانت

تاریخ دفاع: ۱۳۹۹ / ۶ / ۲۸

استاد راهنما: دکتر رقیه قاسمیپور

استاد مشاور: دکتر محمد الهویی نظری



## آقای امیر کوراوند

بررسی تجربی عملکرد نانوسیال در سامانه ی فتوولتائیک حرارتی متمرکزکننده فین دار

تاریخ دفاع: ۱۳۹۹/۱۲/۶

اساتید راهنما: دکتر علی بخش کسائیان، دکتر مهدی مهرپویا

استاد مشاور: دکتر فتح الله پورفیاض



## آقای آرمان اکراطالشیان

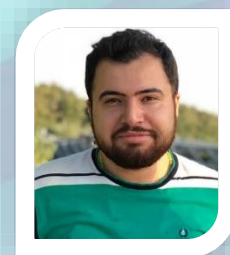
مدل سازی و بهینه سازی یک سیستم هیبریدی تولید توان، سرمایه گذاری و هیدروژن جدید

به همراه بازیافت سرمایه گذاری گاز طبیعی مایع شده

تاریخ دفاع: ۱۳۹۹/۶/۲۹

استاد راهنمای اول: دکتر فتح الله پور فیاض

استاد راهنما دوم: محمد حسین احمدی







## **Journal of Earth Science & Climatic Change**

### **Impact factor:1.16**

Earth science or geosciences is an all-embracing term for the sciences related to the planet Earth. The discipline of Earth sciences may include the study of the atmosphere, hydrosphere, oceans, and biosphere, as well as the solid Earth. The journal provides an open access platform deals with the origin, structure, and physical phenomena of earth and its parts, effect of disasters.

## **Journal of Hydrogeology & Hydrologic Engineering**

### **Impact factor:2.27**

Journal of Hydrogeology and Hydrologic Engineering (JHHE) is an international, multi/interdisciplinary Hybrid Open Access and peer-reviewed journal that focuses on hydrological sciences. The journal encompasses all aspects of hydrology: groundwater, surface water, water resource systems, hydraulics, agro hydrology, geomorphology, soil science, instrumentation and remote sensing, civil and environmental engineering, atmospheric water, snow and ice in the mode of original articles, review articles, case reports, short communications etc. To making them accessible online for the benefit of the scientific community Globally.

## **Water Resources Research**

### **Impact factor:4.31**

Water Resources Research publishes original research articles and commentaries on hydrology, water resources, and the social sciences of water that provide a broad understanding of the role of water in Earth's system.

## **Hydrology and Earth System Sciences**

### **Impact factor:4.256**

Hydrology and Earth System Sciences (HESS) is a not-for-profit international two-stage open-access journal for the publication of original research in hydrology. The discussion and peer review of submitted preprints are handled in the open-access discussion forum HESSD. Final papers, upon acceptance, appear in HESS .

## **The cryosphere**

### **Impact factor:5.516**

The Cryosphere (TC) is a not-for-profit international scientific journal dedicated to the publication and discussion of research articles, short communications, and review papers on all aspects of frozen water and ground on Earth and on other planetary bodies.

## **Desalination**

### **Impact factor:7.098**


Desalination is an inter-disciplinary journal publishing high quality papers on desalination materials, processes and related technologies. Desalination welcomes submissions detailing work that is clearly connected to water desalting including applications of desalination to seawater, groundwater and waste waters, such as thermal, membrane, sorption and hybrid processes.

## **Water Research**

### **Impact factor:9.130**

Water Research has an open access mirror journal Water Research X, sharing the same aims and scope, editorial team, submission system and rigorous peer review. Water Research publishes refereed, original research papers on all aspects of the science and technology of the anthropogenic water cycle, water...



بیشتر بیاموزیم 



## چاپ سه بعدی آئروژل های گرافن برای تصفیه آب

یک چاپگر سه بعدی، ورق آئروژل گرافن شش ضلعی سمت راست، آئروژل (اکنون) این مطالعه - " چاپ سه بعدی گرافن-بیوپلیمر آئروژل ها برای حذف آلاینده های آبی: اثبات مفهوم در سری مجله های علوم محیط زیستی در یک مطالعه اخیر دانشگاهی در بوفالو مهندسان یک فرآیند جدید چاپگر سه بعدی گرافن آئروژل را گزارش دادند آنها می گویند غلبه بر دو مشکل کلیدی مقیاس پذیری و ایجاد یک ورژن از موادی که به اندازه کافی برای استفاده مکرر تصفیه آب پایداراند. هدف این است که با خیال راحت آلاینده ها را از آب خارج کنید و هیچ ماده شیمیایی باقیمانده ای آزاد نکنید.

دکتر Nirupam Aich همیار مطالعه، استادیار مهندسی محیط در دانشکده مهندسی و علوم کاربردی UB می گوید. " آئروژل هایی که ایجاد کرده ایم هنگام قرار دادن در سیستم های تصفیه آب ساختار خود را حفظ می کنند و می توانند در کاربردهای مختلف تصفیه آب استفاده شوند.





این مطالعه، چاپ سه بعدی آئروژل های گرافن-بیوپلیمر برای حذف آلودگی آب، اثبات یک مفهوم است. منتشر شده توسط محقق نوظهور سری های مجله علوم محیط زیستی : نانو. دکتر Arvid Masud دانشجوی سابق در آزمایشگاه Aich's، نویسنده اصلی هست. دکتر Chi Zhou ; استادیار صنعتی و سیستم های مهندسی در UB، هم نویسنده است. آروژل یک نور هست. جامد بسیار متخلخل بوسیله جایگزینی مایع در یک ژل با یک گاز تشکیل شده است. بنابراین نتیجه جامد مشابه سایز اصلی است. آنها از لحاظ شکل ساختاری به پلی استایرن شباهت دارند. بسیار متخلخل و سبک وزن اما قوی و ارتجاعی. گرافن یک (ماده از جنس نانو) است که توسط کربن بنیادی تشکیل شده است و از یک صفحه مسطح از اتمهای کربن که در یک شبکه شش ضلعی تکراری مرتب شده اند. گرافن فوق العاده سبک است. این آروژل برای فیلتر کردن آب استفاده می شود، در بالای یک بافت قرار دارد. تولید کننده: توسط دانشگاه برای ایجاد سازگاری مناسب جوهر بر پایه گرافن، محققان به طبیعت نگاه کردند. آنها به دو پلیمر الهام گرفته از طبیعت - پلی دوپامین اضافه کردند. (یک ماده مصنوعی، اغلب به عنوان PDA نامیده می شود، که مشابه ترشحات چسبی صدف ها و آلبومین سرم گاوی است. ( پروتئینی که از گاو گرفته شده است). در این آزمایش، آروژل پیکربندی شده فلزات سنگین خاص مانند سرب و کروم را حذف کرده، که باعث آفت سیستم های آب آشامیدنی در سراسر کشور می شود. همچنین رنگهای آلی مانند آبی متیلن کاتیونی، آبی آنیونی ایوانز و همچنین حلالهای آلی مانند هگزان، هپتان و تولوئن را از بین برد. برای نشان دادن پتانسیل استفاده مجدد از آروژل، محققان حلال های آلی را از طریق این ۱۰ بار اجرا کردند. هر بار ۱۰٪ حلالها را از بین می برد. محققان همچنین گزارش کردند که توانایی آروژل در گرفتن متیلن بلو پس از چرخه سوم تا ۲-۲۰٪ کاهش یافت. آروژل ها همچنین می توانند از نظر اندازه بزرگتر شوند، آبیچ می گوید، زیرا برخلاف ورق های نانو، آروژل ها را می توان در اندازه های بزرگتر چاپ کرد. او می گوید این یک مشکل قبلی موجود در تولید در مقیاس بزرگ را از بین می برد و فرآیند موجود برای استفاده در امکانات بزرگتر فراهم می کند. همانند تصفیه خانه های فاضلاب. وی اضافه می کند که می توان آروژل ها را از آب خارج کرد و در مکان های دیگر مورد استفاده مجدد قرار داد و اینکه آنها هیچ نوع پسماندی را در آب باقی نمی گذارند. آبیچ بخشی از همکاری بین UB و دانشگاه پیتسبورگ است به رهبری استاد شیمی UB، دکتر دیانا آگا، برای یافتن و روش ها و ابزارهایی برای تخریب مواد پلی فلئوروآلکل (PFAS). تجزیه مواد سمی به قدری دشوار است که به عنوان "مواد شیمیایی برای همیشه" شناخته می شوند. آبیچ شباهت های کار خود را با آروژل های سه بعدی یادداشت می کند و وی امیدوار است نتایج حاصل از این دو پروژه بتواند برای ایجاد روشهای موثرتر برای از بین بردن آلاینده های منتقل شده در آب جمع شود. آبیچ می گوید ما می توانیم از این آروژل ها نه تنها برای داشتن ذرات گرافن بلکه همچنین ذرات نانومتری استفاده کنیم که می توانند به عنوان کاتالیزور عمل کنند. "هدف آینده این است که ذرات نانومتری در دیواره ها و سطح این آروژل ها جاسازی شده باشد و آنها بتوانند نه تنها آلاینده های بیولوژیکی، بلکه همچنین آلاینده های شیمیایی را تخریب یا از بین ببرند." آبیچ چی و مسعود حق ثبت اختراع گرافن آروژل را که در مطالعه توصیف شده، دارند و آنها به دنبال شرکای صنعتی برای تجاری سازی این فرآیند هستند.

<https://phys.org/news/2021>





خبرنامه داخلی، ضمیمه نشریه علمی "حفاظت آب، خاک و هوا"

## آبنوس

انجمن علمی دانشجویی اکوهیدرولوژی دانشگاه تهران

دوره ۲، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰



تعداد صفحات : ۱۵

شماره: دوره ۲، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰

همکاران این فصل: دکتر علیبخش کسائیان، سیده آمنه سجادی (طراحی، برنامه ریزی، مشارکت و اجرا خبرنامه)، محمد امین وزیرری راد (طراحی و مشارکت)، لیلا قره داغی، ندا رضایی، فهیمه سلیمی، سپیده عارفی کیا، علیرضا صالحی

آدرس دبیرخانه: دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران، طبقه همکف، اتاق ۱۱۳

[UT.ABNOUS@gmail.com](mailto:UT.ABNOUS@gmail.com)

خبرنامه داخلی "آبنوس" ضمیمه نشریه علمی "حفاظت آب، خاک و هوا" با

شماره مجوز: ۱۳۲/۷۱۹۹۱ و تاریخ تایید: ۱۳۹۹/۰۹/۲۲ می باشد.

تمامی حقوق معنوی متعلق به افراد فوق و حقوق مادی خبرنامه متعلق به انجمن علمی دانشجویی اکوهیدرولوژی دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران می باشد

با تشکر از تمامی همکاران نشریه علمی دانشجویی "حفاظت آب، خاک و هوا"

انجمن علمی دانشجویی اکوهیدرولوژی گروه انرژی های نو و محیط زیست

دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران

			
دکتر یونس نوراللهی	دکتر حسین یوسفی	دکتر سید جواد ساداتی نژاد	دکتر علیبخش کسائیان
			
دکتر فاطمه راضی آستارایی	دکتر افشین هنربخش	دکتر محمد میرزاوند	دکتر سیده آمنه سجادی
			
مهندس فهیمه سلیمی کوچی	مهندس نغمه اقتصادی	مهندس آرمین زرفشانی	مهندس محمدامین وزیری راد
			
مهندس سیده مهسا موسوی	مهندس لیلا قره داغی	مهندس شقایق دانه کار	مهندس سیدامیرعلی سجادیان







حفاظت آب، خاک و هوا

License Number: 132/71991

Approval Date: 1399/09/22



Volume Two, Issue: 1

Spring 1400

# Student Scientific Journal of Water, Soil and Air Protection

## List of Articles:

**1. Investigating the role of ISO international standards in reducing climate change**

Mohammad Sadegh Rohbani; Hamideh Nikbin

**2. Simulation of gray water treatment systems to produce non-potable quality water**

Sina Labbafi; Fatemeh Razi Astarai; Moein Khaloi

**3. Design of hydrogen production system using parabolic trough solar collector and thermal energy storage tank**

Marzie Karimi; Mehdi Mehrpooya; Fatollah Pourfayaz

**4. Comparative study of SSI and RAI index in the west of Urmia watershed in 2019 by using of GIS**

Fatemeh Asghari Kolshani; Katayoon Sataryan Asil

**5. Investigation of geomorphologic effects of land subsidence and its effects on ecosystem using ArcGIS software (Case study: Tehran)**

Parisa serati; Seyedeh Ameneh Sajjadi

**6. A Review on Hybrid Renewable Energy Systems (Hydro, Wind and Solar) and Related Novel Studies, Focusing on Power Generation Worldwide**

Shaghayegh Danehkar; Hossein Yousefi

Student Scientific Journal of University of Tehran  
Ecohydrology Association