انجمن انرژی

پیشرو در کارآفرینی

JOURNAL OF THE INTERDISCIPLINARY ENERGY
STUDENT SCIENTIFIC ASSOCIATION OF TABRIZ UNIVERSITY

گاهنامه انجمن علمی دانشجویی
بین رشته‌ای انرژی دانشگاه تبریز

انرژی ۴

سال اول، شماره چهارم،
پائیز ۱۴۰۲، قیمت ۱۰۰۰۰ تومان



- هوش مصنوعی و انرژی
- معرفی نرم افزار هومر و آموزش لینکدین
- مصاحبه با دکتر رنجبر، دکتر صباحی، مهندس عباسی
- بیش از ۱۰ مقاله علمی پژوهشی
- تازه‌های فناوری

- ENERGY ASSOCIATION, DESERVING OF APPRECIATION IN THE TOP ENGINEERING JOURNAL SECTION AND THE DYNAMIC SECTION OF THE SIXTEENTH INTERNATIONAL FESTIVAL OF HAREKAT
- INTRODUCTION OF HOMER SOFTWARE AND LINKEDIN TRAINING
- INTERVIEW WITH DR. RANJBAR, DR. SABAHI, ENGINEER ABBASI
- ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ENERGY
- MORE THAN 10 SCIENTIFIC RESEARCH ARTICLES
- TECHNOLOGY NEWS



«إِنَّ اللهَ فَالِقُ الْحَبِّ وَالنَّوَى يُخْرِجُ الْحَيَّ مِنَ الْمَيِّتِ وَمُخْرِجُ الْمَيِّتِ مِنَ الْحَيِّ ذَلِكُمُ اللهُ فَأَنَّى تُؤْفَكُونَ»

همانا خداوند آفریدگار دانه و هسته است، زنده را از مرده بیرون می آورد و مرده را از زنده بیرون می آورد، آن خداست، پس چگونه گم می شوید؟



شناسنامه نشریه

صاحب امتیاز:
انجمن علمی دانشجویی انرژی دانشگاه تبریز

شماره مجوز: ک.ن.ت۵۰۱/۵

استاد مشاور:
جناب آقای دکتر فرامرز رنجبر استاد تمام دانشکده مکانیک دانشگاه تبریز-جناب آقای دکتر امین حدیدی استادیار دانشکده مکانیک دانشگاه تبریز - سرکار خانم دکتر مینا سلیم استادیار دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تبریز

مدیر مسئول:
مهندس آرش نوربخش سعدآباد A_nourbakhsh@tabrizu.ac.ir

سردبیر:
مهندس سیدامیررضا عبداللهی S.a_abdollahi@yahoo.com

مدیرداخلی:
محمدمهدی رسول‌زاده Mahdi.rasoulzade1382@gmail.com

ویراستار و ناظر کیفی:
مهندس آرش نوربخش سعدآباد

طراح و صفحه آرا:
مهندس سینا جداری خوشباف

هیئت تحریریه:
دکتر محمدتقی شروانی‌تبار، دکتر سیدفرامرز رنجبر، دکتر محرم جعفری، دکتر امین حدیدی، دکتر میربیوک احقاقی، دکتر وحید نورانی، امیرعلی باقرنژاد، آرش نوربخش سعداباد، مهدی نامی خلیله‌ده، سیدامیررضا عبداللهی، سید مصطفی میرطبائی، محمدامین رحیمی جعفری، سحر عادل رزی، سیامک سیفی، امیرحسین همرنگ، امیرعلی طالبی، امین افخمی‌نیا، صغری اندریانی، محمد مهدی رسول‌زاده، آرمین شیرین بیگی، امیررضا رزمی، بهزاد مهدوی، متین وطن‌خواه، امیررضاترابی پوده، آنیتا خدادادی، هومن اسماعیل‌زاده، سارا کیانی‌نسب، هانیه ستوده، یلدا کریمی.

پل‌های ارتباطی:
energyjournal2023@gmail.com
۱-ایمیل نشریه
۲-دبیرخانه نشریه: دانشگاه تبریز، مرکز رشد و فناوری دانشگاه، ساختمان رشد فناوری، طبقه ۲، واحد اس ۵

حامی مالی نشریه:
شرکت برنا فیدار رسا

فهرست

سخن سردبیر ۶

انجمن انرژی در سال ۱۴۰۲ ۷

بررسی تجربی و عددی برای یافتن زاویه بهینه خروجی برای افزایش راندمان کلی پمپ گریز از مرکز ۹

بررسی عددی حرکت موجودات آبزی در آب ۱۳

تحلیل انرژی پتانسیل، حفظ محیط زیست و صرفه‌جویی اقتصادی در ساختمان‌های مسکونی: کلکتورهای خورشیدی در ترکیب با میکروتوربین‌ها ۱۶

نگاهی به کامپوزیت‌ها ۲۶

استفاده از v به‌منظور تولید سوخت هیدروژنی ۲۸

واسنجی چند ایستگاهه مدل ذوب برف رواناب (SRM) ۳۱

پیشرفت خارق العاده ایران در صنعت دفاعی ۳۸

تازه‌های فناوری ۴۰

آموزش لینک‌دین ۴۱

روایتی متفاوت از انرژی با حضور و گفتگوی صمیمی با دکتر صباحی ۴۴

ساخت فن بدون پره ٤٦

معرفی نرم افزار هومر ٤٨

هوش مصنوعی و انرژی ٤٩

An experimental study on the influence of the fluid viscosity on the dynamic behavior of vortices ٥٦

Groove design on the NACA 4415 airfoil to reduce drag ٦١

Effect of cool and green roofs on the thermal comfort, energy savings and carbon ... ٦٥

Insulation of all types of buildings for optimal use of energy in Iran By Dr.Amin Hadidi ٦٩

Wankel Engine Modeling and Comparison with a Conventional Internal Combustion Engine ٧٤

Offshore wind energy farms ٧٥

Interview with Dr.Ranjbar, Professor of Faculty of Mechanical Engineering ٧٦

Interview with laboratory expert at the University of Tabriz ٧٨

سخن سردبیر

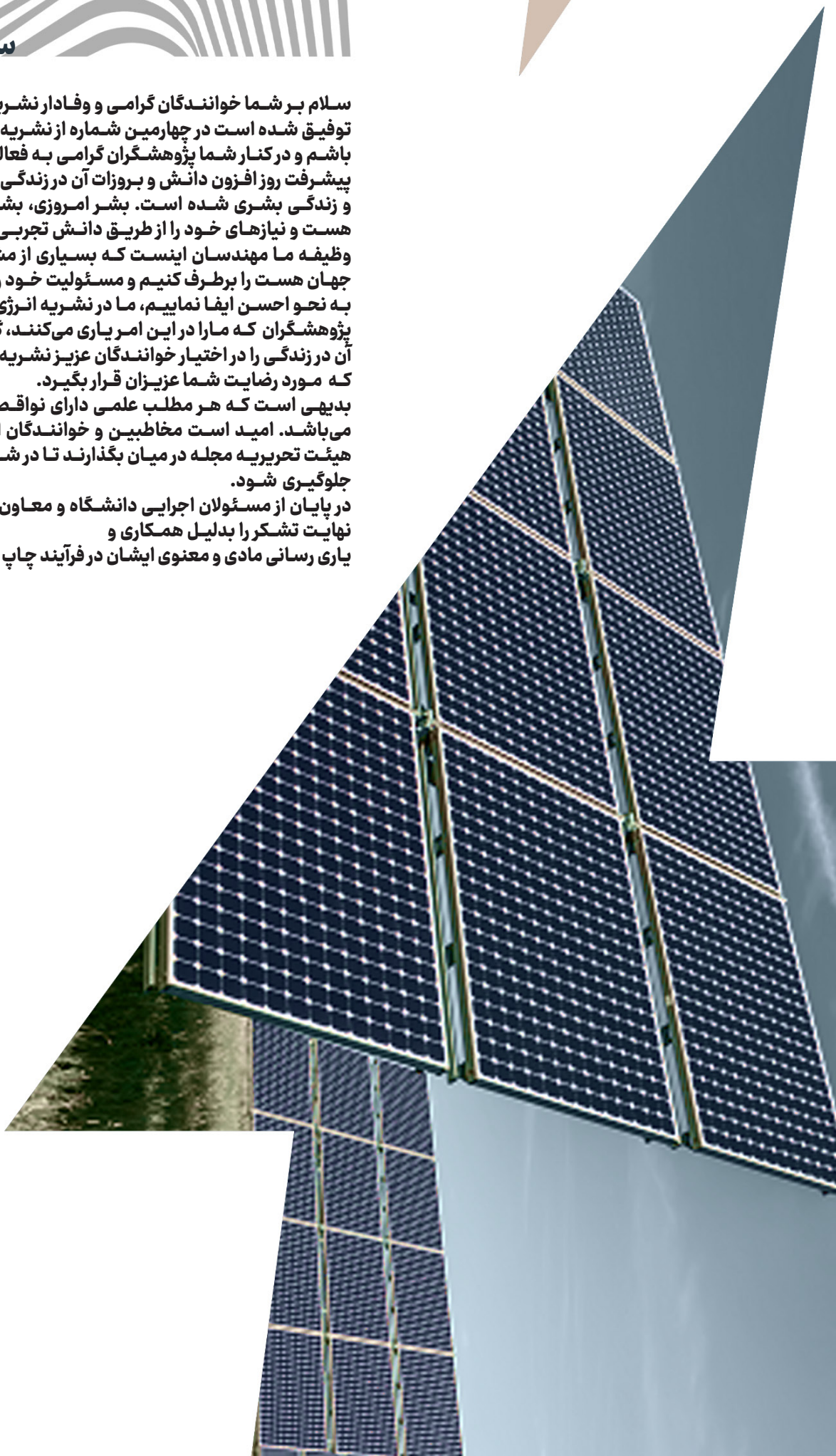
سیدامیررضاعبداللهی

سلام بر شما خوانندگان گرامی و وفادار نشریه انرژی. بسیار خرسندم که توفیق شده است در چهارمین شماره از نشریه انرژی در خدمت شما عزیزان باشم و در کنار شما پژوهشگران گرامی به فعالیت در نشریه انرژی بپردازم. پیشرفت روز افزون دانش و بروزات آن در زندگی بشرموجب دگرگونی اندیشه و زندگی بشری شده است. بشر امروزی، بشری رشد یافته با تکنولوژی هست و نیازهای خود را از طریق دانش تجربی رفع می‌کند.

وظیفه ما مهندسان اینست که بسیاری از مشکلاتی که امروزه در صنایع جهان هست را برطرف کنیم و مسئولیت خود را در قبال محیط اطراف خود به نحو احسن ایفا نماییم، ما در نشریه انرژی بر تلاشیم تا با همت همه پژوهشگران که مارا در این امر یاری می‌کنند، گوشه‌ای از این دانش و تاثیر آن در زندگی را در اختیار خوانندگان عزیز نشریه انرژی قرار دهیم و امیداست که مورد رضایت شما عزیزان قرار بگیرد.

بدیهی است که هر مطلب علمی دارای نواقص و ایرادات اجتناب ناپذیری می‌باشد. امید است مخاطبین و خوانندگان این شماره، کاستی ها را با هیئت تحریریه مجله در میان بگذارند تا در شماره‌های آتی، از این اشکالات جلوگیری شود.

در پایان از مسئولان اجرایی دانشگاه و معاون محترم فرهنگی و اجتماعی، نهایت تشکر را بدلیل همکاری و
یاری رسانی مادی و معنوی ایشان در فرآیند چاپ مجله را دارم.



انجمن علمی دانشجویی انرژی

آرش نوربخش سعدآباد
دبیر انجمن انرژی و مدیرمسئول نشریه

انجمن علمی، نمود پویایی دانشجویان است.

انجمن علمی دانشجویی مکانی است برای تمرین داوطلبانه فعالیت‌های علمی در قالب کارگروهی، دانشجویان با اهداف علمی و تخصصی گرد هم می‌آیند و با فعالیت در انجمن‌های علمی ضمن ترویج و تعمیق فضای علمی در دانشگاه‌ها، زمینه رشد خود را نیز فراهم می‌آورند.
انجمن انرژی دانشگاه تبریز برای پر کردن خلا محسوس وجود یک انجمن بین رشته‌ای در مهم‌ترین مبحث مهندسی یعنی انرژی شروع به کار کرد و در مدت زمان کوتاهی که مشغول به فعالیت بوده، توانسته است افتخارات بسیاری راکسب کند و به وظیفه‌ی خود به عنوان رابطی بین رشته‌هایی که با انرژی سر و کار دارند عمل نماید. شورای مرکزی این انجمن درسال تحصیلی۱۴۰۳-۱۴۰۲ از بین دانشجویان رشته‌های مکانیک، برق، صنایع و نقشه برداری متشکل از دانشجویان مقاطع پست دکتری،دکتری، کارشناسی ارشد و کارشناسی تشکیل شده است. فعالیت‌های این انجمن به صورت ترکیبی از رشته‌های مختلف انجام می‌شود. انجمن انرژی محور فعالیت خود را بیشتر بر روی انرژی‌های تجدیدپذیر، بهینه‌سازی انرژی برای واحدهای صنعتی در مقیاس‌های بزرگ و کوچک، انرژی پایدار و پایداری انرژی و حوزه نشریه چاپی، الکتریکی، صوتی، تالیف و ترجمه کتاب و کارآفرینی متمرکز کرده است.
فعالیت یا حتی حضور در این انجمن کارکردهاي پنهان و آشکاري دارد که باعث تقویت شخصیت علمی و اجتماعی اعضا می‌شود. از جمله ایجاد اعتماد به نفس، نظم، تبادل اندیشه، مهارت‌هاي کارگروهی و زمینه‌هاي اشتغال و ... . این‌ها همه گوشه‌اي از کارکردهاي پنهان می‌باشند که با در نظر گرفتن کارکردهاي آشکار از جمله بازدیدهاي علمی، معارفه رشته، سمینار، همایش‌ها، بازدیدها و تالیف‌ها و ترجمه‌ها می‌توان به اهمیت این تشکل پی‌برد.

افتخارات انجمن علمی دانشجویی انرژی در سال ۱۴۰۲

- انجمن برگزیده در حوزه کارآفرینی در شانزدهمین جشنواره حرکت دانشگاه تبریز
- انجمن برگزیده در حوزه اختراع در شانزدهمین جشنواره حرکت دانشگاه تبریز
- انجمن شایسته تقدیر در حوزه نشریه گروه فنی و مهندسی در شانزدهمین جشنواره بین المللی حرکت وزارت عتف
- انجمن شایسته تقدیر در حوزه انجمن پویا در شانزدهمین جشنواره بین المللی حرکت وزارت عتف

برای همکاری، انتقادات و پیشنهادات در همه امور انجمن می‌توانید با آدرس ایمیل انجمن در ارتباط باشید. امیداست با همکاری و یاری همه عزیزان درخشش‌های انجمن انرژی دانشگاه تبریز ادامه دار باشد.

آرش نوربخش سعدآباد
دبیر انجمن انرژی و مدیرمسئول نشریه









Scientific Association of Energy

Arash Nurbakhsh
The secretary of the Energy Association and the editor in chief of the publication

Scientific Association of Energy

The student scientific Association is a dynamic representation of students.The student scientific Association is a place for voluntary participation in scientific activities in the form of group work. Students with scientific and specialized goals come together and by participating in scientific societies, they not only promote and deepen the scientific atmosphere in universities, but also create opportunities for their own growth.

Energy Scientific Association of Tabriz University started its activities to fill a noticeable gap by establishing an interdisciplinary society in the most important field of engineering, which is energy. In a short period of time since its inception, the association has achieved many accomplishments and has fulfilled its role as a bridge between disciplines related to energy. The central council of this association, in the academic year 2024-2023, is composed of students from disciplines such as mechanics, electrical engineering, industrial engineering, and Mapping engineering, including students from doctoral, master›s, and bachelor›s levels. The activities of this association are carried out through a combination of various fields. The association focuses its activities more on renewable energies, energy optimization for industrial units on both large and small scales, sustainable energy, energy stability, and areas such as publishing journal magazine, audio magazine, authoring and translating books, and entrepreneurship.

An academic Association in the field of energy has various activities such as research, innovation, exchange of knowledge, and scientific collaboration. Members of this society, who have expertise in various fields such as engineering, basic sciences, and management, seem to have diverse capabilities. With the potential of its members in writing, researching, translating, managing, and presenting content, there are many opportunities for the development and advancement of the society›s activities. It is hoped that this society can achieve its goals and objectives in the field of energy development and make significant progress through the utilization of its members› capabilities.

Achievements of the Energy Scientific Student Association in 2023:

- Selected as the outstanding association in entrepreneurship at the 16th Harekat Festival of Tabriz University
- Selected as the outstanding association in invention at the 16th Harekat Festival of Tabriz University
- Commended in the technical and engineering group publication category at the 16th International Harekat Festival of the Ministry of Science.
- Commended in the dynamic association category at the 16th International Harekat Festival of the Ministry of Science

For collaboration, feedback, and suggestions on all matters related to the association, you can contact the association via email. It is hoped that with the cooperation and support of everyone, the achievements of the Energy Scientific Student Association at Tabriz University will continue to shine.

Arash NourbakhshSadabad

The secretary of the Energy Association and the editor-in-chief of the publication





بررسی تجربی و عددی برای یافتن زاویه بهینه خروجی برای افزایش راندمان کلی پمپ گریز از مرکز

آرش نوربخش ۱، سیامک سیفی ۲، میربیوک احقاقی ۳

۱- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز

۲- دانشجوی دکتری، دانشگاه یورک کانادا

۳- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز،تبریز

کلیدواژگان

پمپ های گریز از مرکز، زاویه خروجی پمپ، راندمان کلی، ضریب لغزش، طراحی هیدرولیکی

چکیده

امروزه پمپ های گریز از مرکز نقش بسیار مهمی در صنعت و کشاورزی دارند، به همین علت همواره بهبود عملکرد آن ها مورد توجه محققین بوده است. در این مقاله هدف بررسی یک نمونه پمپ گریز از مرکز در محل آزمایشگاه شرکت پمپیران و بهبود شرایط هیدرولیکی آن است. به منظور بررسی تجربی، پمپ125-EN65 به صورت عملی تست گردیده است. سپس با استفاده از روش طراحی لوبانوف پمپ طراحی شده است. در ادامه تاثیر زاویه‌ی خروجی پروانه یعنیD۲ بر روی راندمان هیدرولیکی با ثابت در نظر گرفتن قطر بیرونی پروانه یعنی D۲ بررسی شده و بامحاسبه‌ی ضریب لغزش به صورت تابعی از D۲، راندمان هیدرولیکی پمپ به صورت تابعی از D۲ مدل‌سازی شده است.برای دقت بیشتر در محاسبات تلفات نیز وارد محاسبات گردیده است. سپس زاویه D۲ بهینه، براساس بهترین نکته عملکرد از نمودار راندمان کل ارائه شده توسط نرم افزار متلب، انتخاب شده است. ابعاد طرح ارائه شده در جدولی لیست و با مدل موجود در بازار مقایسه گردیده است.همچنین پمپ ارائه شده در نرم افزار سی اف توربو، طراحی و مدل ساخت پمپ توسط نرم افزار کتیا ارائه شده است. پمپ بصورت عددی با نرم افزار انسیس ورکبنچ-توربوماشین فلوید فلو، شبیه سازی شده است. روش حل حجم محدود به همراه مدل آشفتگی کا-امگا اس اس تی برای تحلیل عددی مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج عددی و تجربی همخوانی قابل قبولی با هم دارند. نتایج بدست آمده نشان می دهد که راندمان کلی پمپ ۷،۰۷ درصد افزایش پیدا کرده است.

Exprimental and numerical investigation of finding optimized blade exit angle for increasing centrifugal pump efficiency

Arash Nourbakhsh1, siamak seyfi2,Mir Boyouk Ehgaghi1*

1- Department of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2- Department of Civil Engineering,York University, Canada

Abstract

Nowadays centrifugal pumps have an important role in industry and agriculture. So increasing their efficiency has always been in researchers interest. In the following paper our purpose was to study an example of centrifugal pumps and improving it›s efficiency. For the experimental study, EN 125_65 pump has been tested experimentally and then the pump has been designed using lobanov design method. Then the effect of beta2 (impeller exit angle) on the hydraulic efficiency by consuming constant outside diameter, D2, has been studied and by calculating slip factor as a function of beta2, pump›s hydraulic efficiency has been modeled as a function off beta2. For high accuracy in calculations, losses has also been included. Then optimized beta2 has been detected by using the best working point that achieved using a matlab code. Dimensions of presented model has been listed in a table and has been compared with an existing on sale model. Also presented model has been designed in CFTURBO and construction model has been driven using CATIA. Presented pump has been simulated numerically using workbench Ansys/ Turbomachinary Fluid Flow. Finite volume method in combination with k_omega sst turbulence model has been used for numerical study. Experimental and numerical studies are in an acceptable agreement with eachother and the results show that pump›s overall efficiency has been increased %7.07.

Keywords

Centrifugal pumps, impeller exit angle, overall efficiency, slip factor, hydraulic efficienc

۱- مقدمه

توربوماشین‌ها[1] وسایلی هستند که با استفاده از یک حرکت دورانی پیوسته، با سیالی که از آن‌ها عبور می‌کند، تبادل انرژی می کنند.

پمپ‌های گریز از مرکز[2] دسته‌ای از توربوماشین‌ها می‌باشند که زاویه‌ی ورود و خروج سیال در آن‌ها به اندازه ۹۰ درجه با هم اختلاف فاز دارد. امروزه پمپ های گریز از مرکز در زمینه های صنعتی مانند صنایع شیمیایی، نفت و گاز، داروسازی و غیره کاربردهای فراوانی دارند، در حال حاضر هدف اصلی در طراحی پمپ‌های سانتریفیوژ ، افزایش کارایی و و بهبود شرایط هیدرودینامیکی می‌باشد که برای این منظور کارها و تحقیقات مختلفی انجام گرفته است[۱].

عوامل مختلفی بر عملکرد پمپ‌ها موثر می‌باشند، که در این‌جا زاویه‌ی خروجی پروانه و تاثیر آن بر عملکرد پمپ مورد بررسی قرار خواهد گرفت. اثرات زاویه‌ی خروجی پروانه بر روی عملکرد پمپ‌های سانتریفیوژ از سال ۱۹۵۰ مورد بررسی قرار گرفته است. زمانی که پمپ های سانتریفیوژ با آب کار می‌کنند، یک آزمایش نشان می‌دهد راندمان هیدرولیکی پمپ را می توان تا ۴۰ درصد با تغییر زاویه خروجی تیغه بهبود بخشید(کامیموتو و همکاران، ۱۹۵۹)، بدیهی است، این ادعا نیاز به تایید تجربی دارد[۲].

تویوکورو و همکاران (۱۹۷۹) آزمایشاتی درمورد اثر زاویه تخلیه درعملکردپمپ سانتریفیوژ پیستونی تک مکشه با سرعت ویژه ۱۰۷ و سرعت چرخش ۱۴۰۰دور بر دقیقه ، انجام دادند. پروانه از نوع بسته با شش تیغه بود و زاویه خروجی به ترتیب ۲۳ و ۶۵ درجه بود. نتایج نشان داد که که با افزایش زاویه تخلیه هد نیزافزایش یافته است[۳].

تمامی موارد فوق نشان‌دهنده‌ی این است که راندمان هیدرولیکی یک پمپ گریز از مرکز به شدت به هندسه پروانه بستگی داشته و تغییرات کوچک در جزئیات هندسی می‌تواند منجر به تغییرات محسوسی در عملکرد پمپ شود[۴].

عبدالرحیم و همکاران با نصب ورق هایی از جنس فلز و پلاستیک در پره های پمپ های گریز از مرکز، برای بهبود عملکرد و صرفه جویی در انرژی با استفاده از ارتقاء آیرودینامیکی و کنترل پنل های داخلی تحقیقاتی انجام داده اند، که منجر به کاهش حجم فن ها گردید.همچنین بهبود عملکرد فن ها به انتخاب زاویه خروجی بستگی دارد که با انتخاب درست آن می توان بازده استاتیکی را افزایش داد[۵].

بهبود عملکرد هیدرولیک پمپ های ساتریفیوژ بر روش های طراحی و بهینه سازی پارامترها استوار است.نتایج شبیه سازی سه بعدی نشان می دهد که پره هایی با زاویه ی بزرگتر توانایی کنترل قویتری بر الگوی جریان در پروانه دارند[۶].

عملکرد پمپ های سانتریفیوژ در هنگام پمپاژ مایعات چسبناک به شدت کاهش می یابد. تغییر برخی از ویژگی های هندسه پروانه در این نوع پمپ ها عملکردخودرا بهبود می بخشد.حل عددی انجام شده زاویه خروجی و عرض عبور پروانه و تغییرهم زمان آنها نشان می دهد که در عرض ۲۱ میلیمتر و زاویه خروجی ۳۰ درجه عملکرد آنها بهبود می یابد و دلیل آن کاهش تلفات است[۷].

لی و همکاران تاثیر زاویه‌ی خروجی پره بر راندمان پمپ، را که معمولا به صورت تجربی بررسی می‌شده با بررسی مقایسه‌ای عملکرد پروانه با زاویه‌ی خروجی ۴۴ درجه و ۲۰ درجه با استفاده از شبیه‌سازی عددی با نرم‌افزار فلوئنت، انجام داده و نشان دادند زاویه‌ی خروجی بزرگ‌تر به بهبود عملکرد پمپ کمک می‌کند، تطبیق با نتایج تجربی نشان داد که شبیه‌سازی عددی در بررسی تاثیر زاویه‌ی خروجی پروانه بر عملکرد پمپ قابل استفاده می‌باشد[۸].

راجندران و همکاران از نرم‌افزار انسیس برای شبیه‌سازی جریان در داخل پروانه استفاده کرده و به این نتیجه دست یافتند که جریان‌های داخلی پیچیده داخل پروانه می‌توانند با استفاده از شبیه‌سازی به دست آیند و الگوی جریان و توزیع فشار در کانال پروانه را به دست آوردند [۹].

کووی و همکاران برای بررسی تاثیر زاویه‌ی خروجی بر عملکرد و جریان‌های داخلی پمپ، پمپ گریزازمرکز با زوایای خروجی متعدد را به روش‌های عددی و تجربی بررسی کرده و نشان دادند نتایج عددی قرابت قابل قبولی با نتایج تجربی دارد، هم‌چنین پمپ سانتریفوژ با سرعت ویژه‌ی پایین و بازاویه‌ی خروجی پره‌ی بزرگتر راندمان هیدرولیکی بالاتری خواهد داشت [۱۰].

باچارودیس و همکاران عملکرد پروانه‌هایی با قطر یکسان و زوایای خروجی مختلف را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که قطر خروجی پروانه، زاویه و تعداد پره‌های پروانه مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر راندمان هیدرولیکی پمپ می‌باشند، آن‌ها ۳ پروانه‌ی مختلف با زوایای خروجی پره‌ی ۲۰، ۳۰ و ۵۰ درجه را بررسی کرده و دریافتند که هد خروجی بررسی عددی به میزان ۱۰٪ با هد تئوری اختلاف داشته و دلیل این اختلاف را مربوط به روش طراحی پفلایدر که با فرض یک‌بعدی بودن، پیچیدگی‌های جریان ۳بعدی را مدنظر قرار نداده و از روابط تجربی برای تخمین تلفات هیدرولیکی بهره می‌گیرد، دانستند. علی‌رغم تمامی این موارد تاثیر زاویه‌ی خروجی پره بر عملکرد پمپ با بهره‌گیری از شبیه‌سازی عددی محرز شده، به طوری‌که با افزایش زاویه‌ی خروجی پره، منحنی عملکرد پمپ برای تمامی دبی‌ها نرم‌تر و پهن‌تر شده و در دبی‌های بالا منجر به افزایش قابل توجهی در راندمان هیدرولیکی می‌شود [۱۱].

با توجه به بررسی های انجام گرفته توسط محققین، تا کنون تاثیر زاویه خروجی پروانه، $\beta 2$، بر روی راندمان هیدرولیکی با رویکرد استفاده شده در این مطالعه مورد بررسی قرار نگرفته است. در پژوهش حاضر با انتخاب زاویه بهینه $\beta 2$، راندمان پمپ گریز از مرکز مورد بررسی، به روش تجربی و عددی بررسی شده و ارتقا یافته است.

۲-طراحی هیدرولیکی پمپ های گریز از مرکز

۲-۱-سرعت مخصوص۳

معیار شناسایی انواع توربوپمپ‌ها می‌باشد،که به صورت سرعت دورانی یک پمپ یک طبقه که یک متر مکعب بر ثانیه را به اندازه‌ی یک متر پمپاژ نماید، تعریف می‌شود:

$$N_s = \frac{N \times Q^{1/2}}{H^{3/4}} \qquad (1)$$

در سیستم SI ، N بر حسب rpm، Q بر حسب m^3/s و H بر حسب متر می‌باشد.

با در دست داشتن سرعت مخصوص و استفاده از جداول و فرمولهای مربوطه، به دست آوردن پارامترهای طراحی هیدرولیکی پمپ های گریز از مرکز ممکن خواهد بود.

۲-۲-به دست آوردن پارامترهای طراحی هیدرولیکی پمپ های گریز از مرکز

سرعت دورانی خروجی:

$$U_2 = \sqrt{\frac{g\ H}{\psi}} \qquad (2)$$

با فرض $\alpha 1 = 90$ سرعت دورانی ورودی را بدست می آوریم:

$$U_1 = \frac{\pi\ D_1\ N}{60} \qquad (3)$$

برای به دست آوردن عرض پروانه در ورود و خروج از روابط زیر استفاده می شود:

$$Q = \pi\ b1\ D1\ C1m\ k1 \qquad (۴)$$

$$Q = \pi\ b2\ D2\ C2m\ k2 \qquad (۵)$$

ضریب لغزش:

ضریب لغزش را با نماد σ به صورت زیر تعریف می شود:

$$\sigma = \frac{H_{th}}{H_E} \qquad (6)$$

برای محاسبه ی ضریب لغزش راه های مختلفی اوجود دارد که در این پژوهش از روش ویسنر استفاده می شود:

$$\text{if } \frac{R_2}{R_1} < \exp\left(8.16 \frac{\sin\beta_2}{z}\right)$$

$$\beta = \left(1 - \frac{\sqrt{\sin\beta}}{z^{0.7}}\right)\left[1 - \left(\frac{\frac{R_2}{R_1} exp\left(\frac{8.16\ sin\beta_2}{z}\right)}{1 - e^{\left(\frac{8.16\ sin\beta_2}{z}\right)}}\right)^3\right] \qquad (7)$$

$$\emptyset = \frac{C_{2\ m}}{U_2} \qquad (8)$$

$$\sigma = \frac{\beta - c\ \emptyset\ cot\beta_2}{1 - \emptyset\ cot\beta_2} \qquad (9)$$

برای محاسبه‌ی راندمان هیدرولیکی، محاسبه‌ی تلفات مورد نیاز خواهد بود، که در ادامه‌ی کار تلفات اصطکاکی، تلفات پخش و تلفات اختلاط به صورت تابعی از زاویه‌ی خروجی (β_2) محاسبه شده و با صرف‌نظر از تلفات حلزونی، حاصل جمع تلفات فوق به عنوان تلفات کلی پمپ مد نظر قرار خواهد گرفت[۱۲].

۲-۳-راندمان ها

راندمان هیدرولیکی٤

$$\eta_h = \frac{H_{act}}{H_{th}} = 1 - \frac{h_{losses}}{H_{th}} \qquad (10)$$

راندمان مکانیکی٥[۱۳]

[1] Turbomachinery
[2] centrifugal pump
[3] specific speed

[4] hydraulic efficiency
[5] mechanical efficiency

$$\eta_m = 1 - \frac{1.5P_d}{P} - 0.03 \quad (11)$$

$$\text{Pd}=0.5\,\text{Cm}\,\text{fgeo}\,\rho\,\omega 3\left(R_2^5 - R_w^5\right) \quad (12)$$

$$R_w = R_1 + \frac{(b_0 - b_2 - 2\,t)}{2} \quad (13)$$

$$f_{geo} = 1.21$$

$$C_M = \frac{0.0622}{R_{e2}^{0.2}} \quad (14)$$

$$R_{e2} = \frac{D_2^2\,W}{4\,\nu} \quad (15)$$

راندمان حجمی[۱۴]

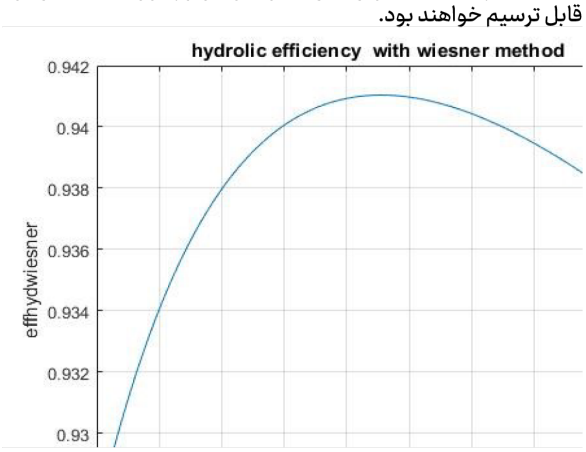
$$\eta = \frac{1}{1 + 0.6\,n_s^{-2/3}} \quad (16)$$

راندمان کل[۲]

$$\eta = \eta_h\,\eta_v\,\eta_m \quad (17)$$

۳-نتایج و بحث

با انجام محاسبات مربوطه و با بهره‌گیری از نرم‌افزار متلب[۳] نمودارهای مربوطه قابل ترسیم خواهند بود.



شکل ۱ نمودار راندمان هیدرولیکی بر حسب β_2



شکل 2 نمودار راندمان کل بر حسب β_2

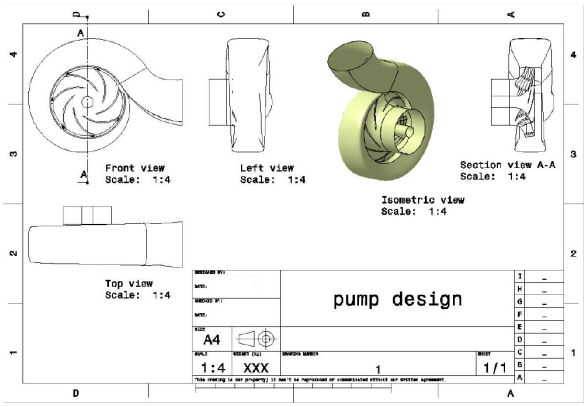
اطلاعات مربوط با طرح بهینه‌ی پیشنهادی بر اساس محاسبات فوق در جدول زیر ارائه شده است و همچنین این پارامترها با مدل موجود در بازار نیز مقایسه گردیده اند.

جدول۱ مقایسه نتایج و مدل موجود

مشخصات پمپ	مدل موجود	طرح ارائه شده
B1(mm)	33	34.1
B2(mm)	24	18.147
D1(mm)	100	98
D2(mm)	139	146.66
Thickness(mm)	5	5
z	7	7
β_2	25	29.5
η	78.2	84.15

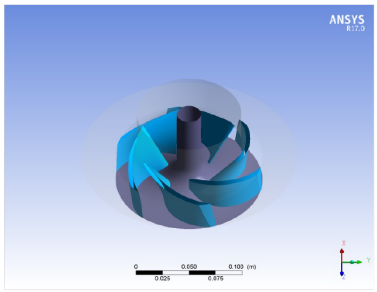
4- شبیه سازی کامپیوتری

پس از خروجی گرفتن طرح فوق در نرم افزار کتیا مدل ساختی برای آن با شکل سه نما ارائه می‌شود:

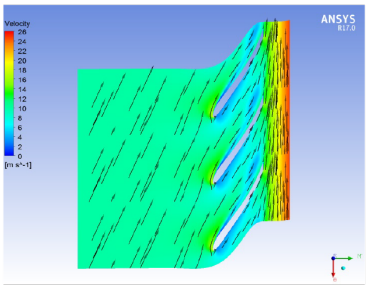


شکل3حالت سه نمای مدل ساخت در کتیا

همچنین از نرم افزار انسیس برای مدل‌سازی سیالاتی و بررسی صحت محاسبات استفاده می‌شود.

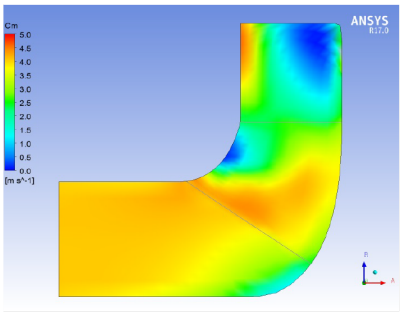


شکل 4 هندسه‌ی پروانه



شکل5 کانتور سرعت در پر

[1] volumetric efficiency
[2] total efficiency
[3] matlab



شکل 6 سرعت Cm در طول پره

جدول ۲ نتایج عملکرد در انسیس فلوئنت

Rotation Speed	303.6870	[radian s^-1]
Reference Diameter	0.1377	[m]
Volume Flow Rate	0.0291	[m^3 s^-1]
Head (LE-TE)	21.2521	[m]
Head (IN-OUT)	20.3005	[m]
Flow Coefficient	0.0367	
Head Coefficient (IN-OUT)	0.1138	
Shaft Power	6433.8700	[W]
Power Coefficient	0.0046	
Total Efficiency (IN-OUT) %	89.7351	
Static Efficiency (IN-OUT) %	76.8800	

5- نتیجه گیری کلی

پس از محاسبه ی راندمان‌های هیدرولیکی، مکانیکی و حجمی، راندمان پمپ قابل محاسبه بوده که ملاحظه می شود که با انتخاب زاویه‌ی خروجی برابر با ۲۹٫۵درجه، راندمان پمپ برابر با ۸۴٫۱۵ خواهد بود که این مقدار به اندازه‌ی ۷٫۰۷ درصد بیشتر از مدل موجود می باشد.

6- پیشنهادات برای کارهای آینده

اقداماتی جهت بالا بردن دقت محاسباتی و ارائه ی مدلی کامل تر و با کیفیت هر چه بالاتر به شرح زیر قابل انجام هستند:

۱. بررسی تاثیر صافی سطح بر روی راندمان
۲. ارائه ی نقشه ی ساخت برای طرح ارائه شده
۳. طراحی دقیق حلزونی پمپ
۴. بررسی تلفات موجود در حلزونی

7-فهرست علایم

b1	عرض ورودی (m)
b2	عرض خروجی (m)
C1m	سرعت عمودی ورودی (m/s)
C2m	سرعت عمودی خروجی (m/s)
D1	قطر ورودی (m)
D2	قطر خروجی (m)
H	هد (m)
HE	هد اولر (m)
hlosses	تلفات هد (m)
k1	ضریب دبی ورودی
k2	ضریب دبی خروجی
N	سرعت دورانی (rpm)
Ns	سرعت مخصوص
Pd	توان شفت (watt)
Q	دبی (m^3)
R1	شعاع ورودی (m)
R2	شعاع خروجی (m)
t	ضخامت (m)
u1	سرعت ورودی دورانی (m/s)
u2	سرعت خروجی دورانی (m/s)
Z	تعداد پره

علایم یونانی

μ	لزجت دینامیکی (kgm-1s-1)
ν	لزجت سینماتیکی $(m^2\ s^{-1})$
ρ	چگالی (kgm-3)
β2	زاویه خروجی پره
ϕ	ضریب بی بعد سرعت
ψ	ضریب بی بعد جریان
ηv	راندمان حجمی
ηm	راندمان مکانیکی
ηh	راندمان هیدرولیکی

منابع

J. Gülich, "Pumping highly viscous fluids with centrifugal pumps—Part ۱," World Pumps, vol. ۱۹۹۹, no. ۳۹۵, pp. ۳٤-۳۰, .۱۹۹۹

G. KAMIMoTo, Y. Matsuoka, and H. Shirai, "On the Flow in the Impeller of Centrifugal Type Hydraulic Machinery," Trans. JSME ,vol. ۲۵, pp. ۳۸۸-۳۸۳, .۱۹۵۹

T. Toyokura, J. Kurokawa, and T. Kanemoto, "Performance improvement for centrifugal pump handling high viscosity oil," J. Turbomachinery, vol. ۷, no. ۲, pp. ۱۳۳-۱۲۵, .۱۹۷۹

S. Yedidiah, "An alternate method for calculating the head developed by a centrifugal impeller," in ASME/JSME Fluids Engineering Conference, ۱۹۹۱, vol. ۱۰۷, p. .۱۳۱۱۳۸

M. A. R. Junaidi, N. L. Kumari, M. A. Samad, and G. S. Ahmed, "CFD simulation to enhance the efficiency of centrifugal pump by application of inner guide vanes," Materials Today: Proceedings, vol. ۲, no. ۵-٤, pp. ۲۰۸۲-۲۰۷۳, .۲۰۱۵

L. Tan, B. Zhu, S. Cao, H. Bing, and Y. Wang, "Influence of blade wrap angle on centrifugal pump performance by numerical and experimental study," Chinese journal of mechanical engineering, vol. ۲۷, no. ۱, pp. ۱۷۷-۱۷۱, .۲۰۱٤

M. Shojaeefard, M. Tahani, M. Ehghaghi, M. Fallahian, and M. Beglari, "Numerical study of the effects of some geometric characteristics of a centrifugal pump impeller that pumps a viscous fluid," Computers & Fluids, vol. ٦۰, pp. ۷۰-٦۱, .۲۰۱۲

W. Li, "Effect of exit blade angle, viscosity and roughness in centrifugal pumps investigated by CFD computation," Task quarterly, vol. ۵, pp. ٤۱-۲۱, .۲۰۱۱

S. Rajendran and D. K. Purushothaman, "Analysis of a centrifugal pump impeller using ANSYS-CFX," International Journal of Engineering Research & Technology, vol. ۱, no. ۳, .۲۰۱۲

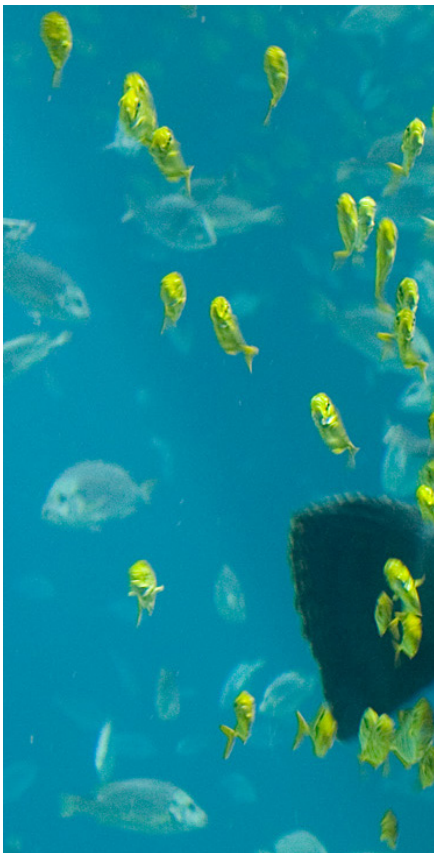
B. Cui, C. Wang, Z. Zhu, and Y. Jin, "Influence of blade outlet angle on performance of low-specific-speed centrifugal pump," Journal of Thermal Science, vol. ۲۲, no. ۲, pp. ۱۲۲-۱۱۷, .۲۰۱۳

E. Bacharoudis, A. Filios, M. Mentzos, and D. Margaris, "Parametric study of a centrifugal pump impeller by varying the outlet blade angle," Open Mechanical Engineering Journal, vol. ۲, no. ۵, pp. ۸۳-۷۵, .۲۰۰۸

L. Wen-Guang, "Blade exit angle effects on performance of a standard industrial centrifugal oil pump," Journal of applied fluid mechanics, vol. ٤, pp. ۱۱۹-۱۰۵, .۲۰۱۱

A. Nemdili and D. Hellmann" ,Investigations on fluid friction of rotational disks with and without modified outlet sections in real centrifugal pump casings," Forschung im Ingenieurwesen, vol. ۷۱, no. ۱, pp. ٦۷-۵۹, .۲۰۰۷

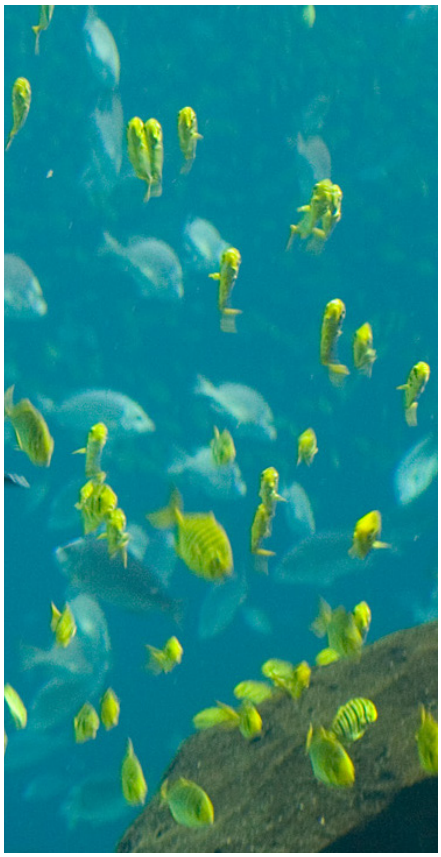
J. Kurokawa, "Simple formulae for volumetric efficiency and mechanical efficiency of hydraulic machinery," .۱۹۹۰



بررسی عددی حرکت موجودات آبزی در آب

سید امیررضا عبداللهی، دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک





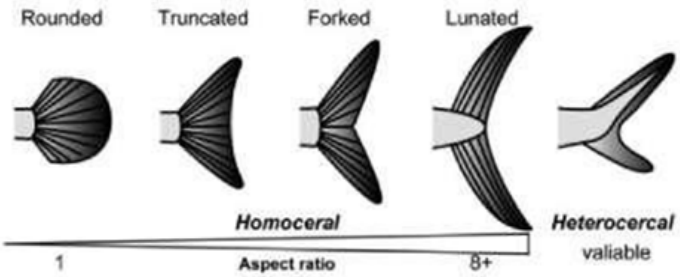
چکیده

استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی در بررسی پدیده‌هایی که بررسی آن‌ها از طریق روش‌های معمول تحلیلی که برای حل معادلات دیفرانسیل جزئی غیرممکن است. استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی می‌تواند باعث سرعت بخشیدن به شبیه‌سازی این پدیده‌ها گردد و اگر شبیه‌سازی درست صورت گیرد نتایج جالبی حاصل می‌گردد. در پروژه حاضر حرکت کوسه در آب با استفاده از نرم افزار X-FLOW و انسیس فلوئنت، به منظور بررسی میدان جریان، نیرو، فشار و سرعت جریان در اطراف کوسه و محاسبه نیروهای درگ و لیفت روی بدن کوسه صورت گرفته است. شبیه‌سازی به فرض جریان تراکم ناپذیر و در شرایط پایا صورت گرفته و نیروهای درگ و لفیت محاسبه می‌گردند.

کلمات کلیدی: دینامیک سیالات محاسباتی، روش‌های عددی، جریان تراکم ناپذیر، شرایط پایا

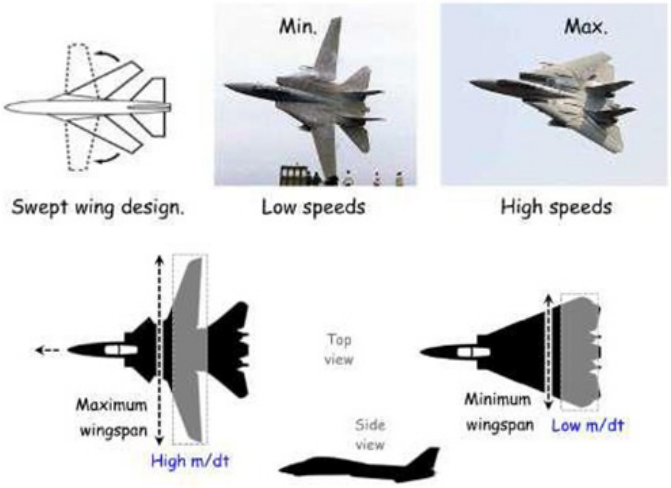
۱. مقدمه

آب به عنوان یک سیال نیوتنی، دارای تنش سطحی است که باعث ایجاد نیروی درگ بر روی جسمی که در آب حرکت می‌کند، می‌شود. نیروی لیفت نیز همانند درگ برروی جسمی که در آب حرکت می‌کند عمل می‌نماید. حرکت باله ماهی در آب باعث ایجاد نیروی مورد نیاز برای جرکت آن در آب می‌گردد اما قطعا شکل باله تاثیر زیادی بر مقدار نیروی اعمال شده دارد. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، می‌توان گفت در آبزیان شکارچی، نسبت طول به عرض باله بسیار بیشتر از آبزیان دیگر می‌باشد. این پدیده الهام بخش طراحی هواپیماهیا چنگنده مدرن بوده است.



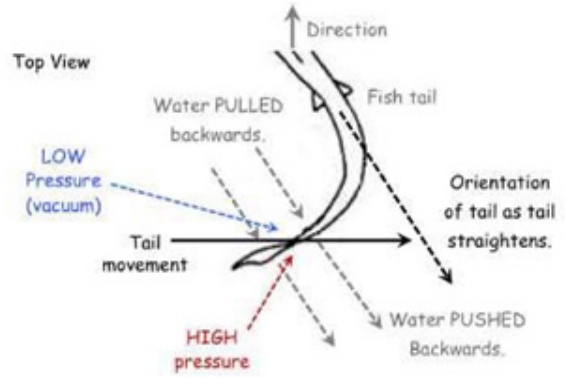
شکل ۱: ساختار باله و تاثیر آن بر سرعت حرکت

نرخ جریان عبوری از روی باله، تعیین کننده سرعت و پایداری حرکت می‌باشد. هرچه میزان دبی عبوری بیشتر باشد سرعت کمتر است اما پایداری بیشتر خواد بود وبالعکس.



شکل ۲: تاثیر نرخ دبی عبوری از روی باله بر سرعت و پایداری حرکت

باله یک ماهی به صورت متناوب حرکت می‌کند که باعث به حرکت درآوردن آب و ایجاد خلاء می‌شود، سپس خلاء ایجاد شده توسط آب موجود در اطراف باله به سرعت پر می‌شود. حرکت سیال به سمت خلاء با سرعت و نیروی زیاد باعث به حرکت درآمدن ماهی می‌شود. مشخص است که هرچه میزان سیال جابه‌جا شده بیشتر باشد، نیروی وارده سیال بر ماهی بیشتر خواهد بود که باعث سرعت بیشتر حرکت ماهی می‌شود.

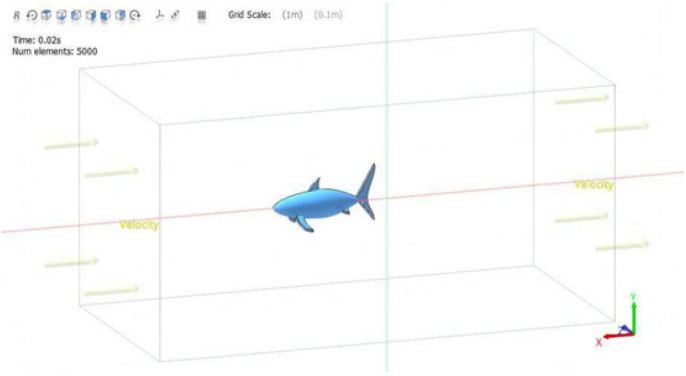


شکل ۳: نحوه حرکت باله

همانطورکه در شکل ۳ نشان داده شده است، دو ناحیه کم فشار و پر فشار که به دلیل حرکت باله ایجاد شده‌اند، باعث ایجاد جریان‌های گردابه‌ای با سرعت زیاد می‌شوند. شبیه‌سازی این گردابه‌ها هدف اصلی این کار پژوهشی است.

۲. تنظیمات اولیه و مشخصات سیال

به منظور شبیه‌سازی میدان‌های سرعت و جریان و همچنین نشان دادن گردابه‌های ایجاد شده اطراف بدن کوسه، از نرم افزار X-FLOW استفاده می‌شود. با فرض اینکه یک کوسه بالغ وزنی حدود ۳۵۰ کیلوگرم دارد و سیال دور بدن آن آب است، از این فرضیات برای شبیه‌سازی حرکت کوسه استفاده می‌شود.



شکل ٤: مدلسازی سه بعدی کوسه در آب

یک کوسه می‌تواند با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه در آب حرکت کند، بنابراین شرایط مرزی سیال عبوری از حجم کنترل مورد نظر که در شکل ٤ نشان داده شده است برابر ۱۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته می‌شود. خواص آب که برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شده‌اند در جدول ۱ آورده شده است.

چگالی [$kg.m^{-3}$]	۹۹۸
دما [°K]	۲۸۸/۱۵
ویسکوزیته [Pa.s]	۰/۰۰۱
ضریب رسانایی گرمایی [$W.(m.°K)^{-1}$]	۰/۰۲٤۳
گرمای ویژه [$].(kg.°K)^{-1}$]	۱۰٦/٤۳
جرم مولکولی [u]	۱۸/۰۱

Table 1: Properties of water applied to the simulation

به منظور شبیه‌سازی حرکت تناوبی دم کوسه، از یک تابع سینوسی حول محور z که از سر کوسه می‌گذرد، استفاده می‌شود. از آنجایی که هدف این کار پژوهشی شبیه‌سازی گردابه‌های اطراف کوسه در حال حرکت می‌باشد بنابراین جریان مرزی اطراف بدن کوسه از اهمیت بسیاری برخوردار است. به منظور محاسبه نیروهای درگ و لیفت که روی بدن کوسه اثر می‌کنند، از نرم افزار انسیس فلوئنت استفاده می‌شود. سرعت حرکت کوسه در انسیس برابر ۱۷ متر بر ثانیه در نظر گرفته می‌شود.

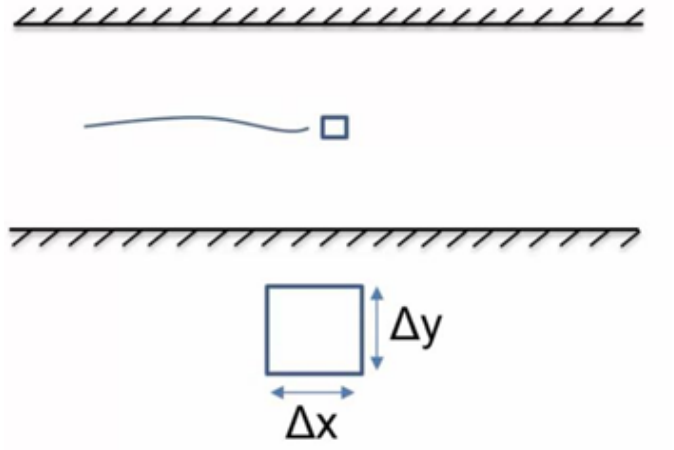
۳. مدلسازی ریاضی

همانطورکه پیشتر بیان شد، ازن کار پژوهشی از تئوری دینامیک سیالات محاسباتی به منظور شبیه‌سازی استفاده می‌نماید بنابراین توضیح مختصری درباره مدل ریاضی ارائه می‌گردد.

۳-۱- بقای جرم

قانون بقای جرم بیان می‌کند که جرم تولید نمی‌شود یا از بین نمی‌رود اگرچه، جرم می‌توان در فضا جابه‌جا شود و یا تغییر شکل دهد. یک ذره بی‌نهایت کوچک سیال را در نظر بگیرید. همانطورکه در شکل نشان داده شده است، در میدان جریان با استفاده از بسط تیلور می‌توان به معادله بقای جرم رسید.

$$u + \Delta u = u + \frac{\partial u}{\partial x}\Delta x + \frac{\partial 2u}{\partial x2}\frac{\Delta x^2}{2} + Higher\ order\ terms \quad \text{(معادله ۱)}$$



شکل ۵: ذره بی‌نهایت کوچک سیال

میزان تغییر حجم برای ذره درنظر گرفته شده مطابق معادله ۲ محاسبه می‌گردد.

$$\frac{Volume\ change}{time} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \quad \text{(معادله ۲)}$$

همانطورکه در بخش دوم نیز ذکر شده سیال تراکم ناپذیر در نظر گرفته می‌شود. شرط تراکم ناپذیر بودن سیال حکم می‌کند که در کل فضای سیال چگالی یکسان است و نباید تغییری داشته باشد.

۳-۱- بقای مومنتوم

این قانون در بیان می‌کند که در یک سیستم ایزوله، مقدار کل مومنتوم دو جسم که برهم اثر می‌کنند ثابت باقی می‌ماند مگر اینکه یک نیروی خارجی به سیستم اعمال گردد. در این قانون هر کدام از جملات معادله تعبیر فیزیکی دارند و تمام نیروهای داخلی و خارجی مانند فشار و ویسکوزیته در این قانون اعمال شده‌اند.

$$\rho(\vec{V}.\nabla)\vec{V} = -\Delta p + \mu\nabla^2\vec{V} \quad \text{(معادله ۳)}$$

۳-۳- نیروی درگ

نیروی درگ، نیرویی است که خلاف جهت حرکت نسبی هر جسم نسبت به سیال مجاور وارد می‌شود. این نیرو ممکن است بین دو لایه سیال یا بین دو صفحه جامد وجود داشته باشد. برخلاف نیروهای مقاومتی دیگر مانند اصطکاک خشک، که تقریبا مستقل از سرعت هستند، نیروی درگ به سرعت

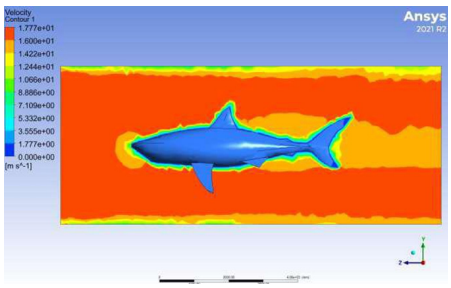
وابسته است.

$$F_D = \frac{A.\rho.V^2.C_d}{2}$$ (معادله ٤)

٤. نتایج و بحث

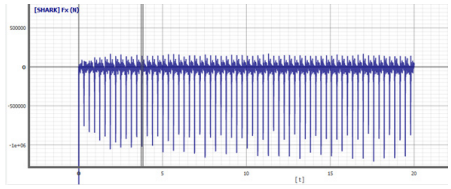
٤-١- سرعت و فشار

کانتور سرعت سیال در اطراف بدن کوسه در شکل ٦ نشان داده شده است. میزان اغتشاش سیال که توسط حرکت کوسه در سیال ایجاد شده کاملا قابل مشاهده می‌باشد.



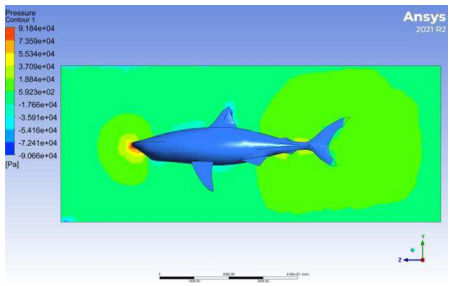
شکل ٦: نتایج میدان سرعت در اطراف بدن کوسه

میزان نیروی وارد شده بر بدن کوسه توسط آب در شکل ۷ نشان داده شده است. به علت حرکت سیکلیک بدن کوسه، شکل نمودار به صورت تناوبی درآمده است.



شکل ۷: میزان نیروهای وارده بر بدن کوسه

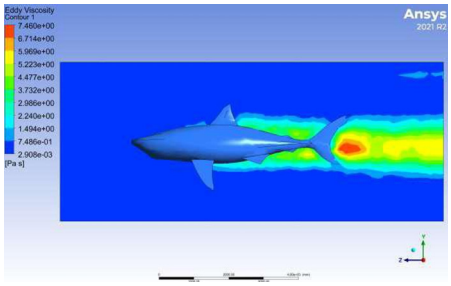
کانتورهای میدان فشار در شکل ۸ مشاهده می‌شود. همانطور که شکل ۳ نیز مشاهده می‌شود، حرکت باله کوسه دو ناحیه پرفشار وکم فشار را ایجاد می‌نماید.



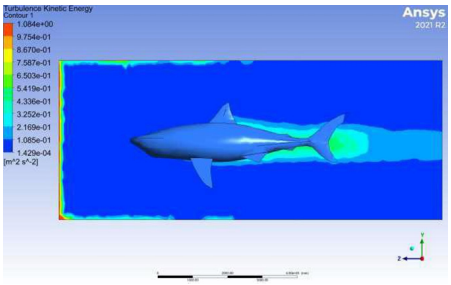
شکل ۸: میدان فشار در اطراف بدن کوسه

٤-٢- کانتورها ادی و انرژی توربولانس

نواحی فشار ایجاد شده به علت حرکت دم کوسه باعث ایجاد اغتشاش یا توربولانس در میدان جریان می‌گردد که در شکل ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.



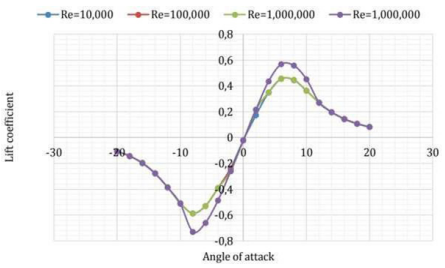
شکل ۹: کانتور ویسکوزیته ادی



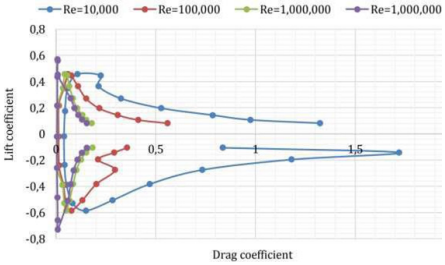
شکل ۱۰: کانتور شدت انرژی توربولانس
Figure 10 :Turbulent energy intensity contour

٤-٣- نموداری لیفت و درگ

نتایج نیروهای لیفت و درگ، بر اساس زاوی حمله بدن کوسه در اشکال ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۱: ضریب لیفت بر اساس زاویه حمله بدن کوسه



شکل ۱۲: ضریب لیفت بر اساس ضریب درگ

References

[۱] D. L. Hu, T. Goreau, J. W M Bush; Flow visualization usingto bacco mosaic virus; March ۲۰۰۹; Experiments in Fluids ٤٨٤-٤٧٧:(٣)٤٦ Follow journal; DOI: ١٠,١٠٠٧/s٦-٠٥٧٣-٠٠٨-٠٠٣٤٨.

[۲] C.K. Hemelrijk, D.A.P. Reid, H. Hildenbrandt, J.T. Padding; Theincreased Efficiency of Fish Swimming in a School, a New Computational Model; June ۲۰۱٥; Journal of Aero Aqua Bio- mechanisms ١١-٨:(١)٤; DOI: ١٠,٥٢٢٦/jabmech.٤,٨;

[۳] C.A.D. Wilga, G.V. Lauder, Biomechanics of Locomotion in Sharks, Rays, and Chimeras; -١٥١٤-٨٤٩٣ -٠X/;٠٤ ٢٠٠٤ by CRC Press.

[٤] G.V. Lauder; Function of the Caudal Fin during Locomotion inFishes: Kinematics, Flow Visualization, and Evolutionary Patterns;Vol. ٤٠, No. ١ (Feb., ٢٠٠٠), pp. -١٠١ ١٢٢; Oxford University Press; https://www.jstor.org/stable/٣٨٨٤٣٨٢.

[٥] Elizabeth Pennisi; How Sharks Go Fast, Nov. ٢٠١١ ,٢٩, AAAS,Science Mag. org; https://www.sciencemag.org/news/١١/٢٠١١/how-sharks-go-fast.

[٦] M. Gazzola, M. Argentina, L. Mahadevan, Scaling macroscopic aquatic locomotion. Nature Phys ٢٠١٤) ٧٥٨٧٦١,١٠). https://doi.org/١٠,١٠٣٨/nphys٣٠٧٨.





تحلیل انرژی پتانسیل، حفظ محیط زیست و صرفه جویی اقتصادی در ساختمان های مسکونی

کلکتورهای خورشیدی در ترکیب با میکروتوربین ها

امیرعلی طالبی، دانشجوی کارشناسی ارشد انرژی های تجدید پذیر، دانشگاه تبریز

موارد برجسته مقاله

- متمرکزسازی سیستم‌های انرژی برای گروهی از ساختمان‌ها سودبخشی را بیشتر می‌کند.
- سیستم‌های گرمای خورشیدی به لحاظ اقتصادی حتی در مکان‌هایی با تابش کم نیز جالب توجه هستند.
- مقررات اجراییِ فعلی امکان‌پذیری سیستم‌های خورشیدی با کارآمدی زیاد را مشخص می‌کنند.

چکیده

این مقاله تحلیلی از تاسیسات ترکیبی تولید برق از گرما-خورشیدی برای فراهم کردن خدمات انرژی در چهار مجموعه ساختمان مسکونی ارائه می‌دهد. پیکربندی‌های متفاوتِ مورد نظر از نظر تعداد کلکتورها و جهت‌گیری‌شان، تعداد ساختمان‌های مجاور، نوع میکروتوربین‌های مورد استفاده در سیستم تولید برق از گرما و دوره عملیات روزانه و سالانه‌شان از نقطه‌نظر حقوقی، اقتصادی و زیست‌محیطی مطالعه شده‌اند. تاسیساتی که حداقل نیازمندی‌های سیستم تولید برق از گرما و پوشش سیستم خورشیدی را به شکلی کارآمد دارند، و همزمان منجر به بیشترین حد صرفه‌جویی انرژی، اقتصادی و محیط زیست می‌شوند به ادغام هردو فناوری و متمرکزسازی تاسیسات برای چهار ساختمان با هم می‌پردازند. دوره بازپرداختِ کمتر از ۸ سال به دست آمده است که سرمایه‌گذاری را قابل توصیه می‌کند، اما نتیجه‌گیری نیز شده است که حفظ یارانه‌های موجود برای این فناوری‌ها و کاهش هزینه‌های تجهیزات، عوامل ضروری برای اطمینان از امکان‌پذیری این نوع تاسیسات است.

کلیدواژه‌ها:
ترکیب قدرت و گرما، میکروتوربین گاز طبیعی، کلکتور خورشیدی گرمایی، ساختمان مسکونی، صرفه‌جویی انرژی اولیه، کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن

۱. مقدمه

ساختمان‌های تجاری و مسکونی حدود ۴۰٪ انرژی نهایی اتحادیه اروپا را مصرف می‌کنند، و این رقم هنوز در حال افزایش است. هدف اصلی بخشنامه پارلمان اروپا EC/91/2002 و EU/31/2010 در مورد عملکرد انرژی ساختمان‌ها [1,2] افزایش کارآمدی انرژی در خانه‌های دولت‌های عضو، با توجه به شرایط آب‌وهوایی و سایر مشخصه‌های محلی، است، که هردو عامل در رابطه مقرون به صرفه متوازن ترکیب شده‌اند. همخوان با اجراء این بخشنامه‌ها، سیستم‌نامه فنی ساختمان (TBC) [3] در نوامبر ۲۰۰۶ در اسپانیا اجرایی شد. از سوی دیگر، نیاز به تاسیسات کلکتورهای خورشیدی گرمایی برای تولید آب داغ داخلی (DHW) در هر نوع ساختمان است، حداقل تولید انرژی خورشیدی سالانه بسته به شرایط آب‌وهوای منطقه و تقاضای آب داغ داخلی ساختمان است.

کلکتورهای خورشیدی گرمایی برای تولید فعلی DHW رایج‌ترین تجهیزاتِ مورد استفاده در سراسر جهان را تشکیل می‌دهند [4]. مطالعات مرجع مختلف به استفاده از این فناوری در مناطقی با تابش خورشیدی زیاد پرداخته‌اند [5-9]. با این حال، کاربردها در مکان‌هایی که تابش خورشیدی متوسط است، همانند شمال اسپانیا، که در آن وابستگی فصلی زیاد وجود دارد، زیاد مورد مطالعه قرار نگرفته است. وقتی برخی مشخصات ساختمان می‌توانند مقدار کسب انرژی خورشیدی را محدود کند، فناوری‌های دیگر نیز که تاثیر زیست‌محیطی مصرف سوخت فسیلی را کاهش دهند [10-12] می توانند تاسیسات خورشیدی را تکمیل کنند تا به حداقل تولید انرژی سالانه مورد نیاز در TBC برسند.

برق و گرمای ترکیبی (CHP) یکی از فناوری‌های بسیار رایج مورد استفاده در حال حاضر برای رفع نیازهای انرژی در ساختمان‌ها است، این رویکرد اصولاً در نتیجهٔ سیاست‌های ارتقاء تولید انرژی کارآمد و توزیع یافته است که در برخی کشورهای اروپایی اجرا شده است (می توان از این میان به اسپانیا، پرتغال، ایتالیا، دانمارک، آلمان، اتریش اشاره کرد) [13]. الزامات برای کسب صلاحیت تاسیسات برای این قواعد خاص بسته به کشور مورد نظر متفاوت است، اما به طور کل مرتبط با ظرفیت نصب شده (واحدهای مقیاس میکرو و مقیاس کوچک معمولاً مطلوب هستند) و کارآمدی واحد صنعتی هستند.

Ac	قسمت دهانه کلکتورهای (m2)	V	حجم (m3)
C	مصرف سوخت (Nm3)	W	انرژی الکتریکی (kW h)
D1, D2	ضریب روش نمودار f	$\dot{W}$	سرعت انرژی الکتریکی (kW)
EEE	کارآمدی الکتریکی هم‌تراز (%)		
f	پوشش سیستم خورشیدی	نمادهای یونانی	
F	مصرف انرژی سوخت (kW h PCI)	η	کارآیی (%)
$\dot{F}$	میزان مصرف سوخت (kW)	ρ	چگالی (kg/m3)
$F_R\tau\alpha$	عامل کارآیی نوری کلکتور خورشیدی		
F_RU_L	ضریب انتقال افت گرمایی کلکتور خورشیدی (W/m2 K)	CHP	برق و گرمای ترکیبی
g1, g2	توابع روش نمودار f برای ضرائب محاسبه D1 و D2	DHW	آب داغ داخلی
		μT	میکروتوربین
$I_{s,h}$	تابش جهانی خورشید بر سطح افقی (kW h/m2)	TBC	سیستم‌نامه فنی ساختمان
Is	تابش خورشیدی بر سطح کلکتور(kW h/m2)	زیرنویس‌ها	
LHV	ارزش گرمایی کمتر (kJ/kg)	ac	انباشت
Nc	تعداد کلکتورهای خورشیدی	amb	محیط
$N_{\mu T}$	تعداد میکروتوربین‌ها	b	دیگ بخار
P	هزینه خرید انرژی (€/kW h)	d	مورد تقاضا
PB	بازپرداخت (به سال)	e	الکتریکی
Q	انرژی گرمایی (kW h)		
$\dot{Q}$	میزان انتقال گرما(kW)	i	شاخصِ نمایش آب گرم داخلی (i = DHW) یا گرما (i = heat)
RefE	مقدار مرجع کارآمدی برای تولید الکتریسیته جداگانه	m	شاخص ماه (m = 1,... ,12)
RefH	مقدار مرجع کارآمدی برای تولید گرمای جداگانه	s	خورشیدی
T	دما (°C)	th	گرمایی
		w	سیستم توزیع آب



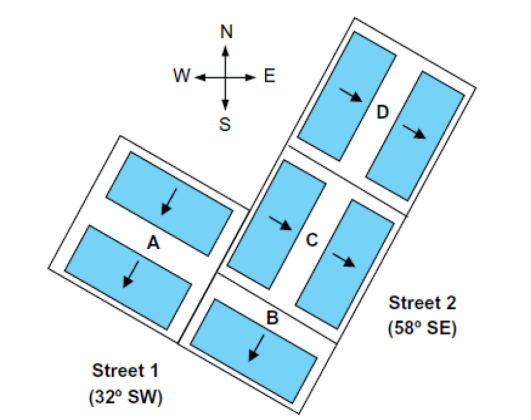
علاقه به واحدهای تولید برق از گرما در مقیاس خرد و مقیاس کوچک منتج به پیشرفت فناوری‌های جدید از جمله موتورهای گازی کوچک، توربین‌های گاز خرد، موتورهای استرلینگ، سلول‌های سوختی و چرخه‌های ارگانیک رانکین. از این میان، استفاده از توربین‌های خرد-گاز به عنوان محرک‌های اولیه در تاسیسات تولید برق از گرما اکنون، نه تنها در صنعت، بلکه در بخش ساختمان، افزایش یافته است [۱۴-۱۸]. مشخصات میزان صدای کم و قدرت کمتر واحدهای تجاری آنها را نسبت به موتورهای گرمایی برای کاربرد در هر نوع ساختمان مناسب‌تر کرده است [۱۹-۲۵].

هدف مقاله حاضر طراحی تاسیسات برای رفع نیازهای انرژی مجموعه‌ای از چهار ساختمان مسکونی است که نیازهای چارچوب حقوقی اسپانیا موثر بر فناوری‌های مورد استفاده را برآورده می‌کند. ساختمان‌ها واقع در ساحل شمالی اسپانیا هستند، منطقه‌ای که برای تابش خورشید بسیار کمتر از حد متوسط کشور معروف هستند. علاوه بر این، عوامل دیگر مرتبط با مکان ساختمان‌ها در مرکز شهر مربوط به کاهش تابشع خورشیدی موجود است: فضای محدود برای نصب کلکتورهای خورشیدی، سایهٔ ساختمان‌های مجاور و جهت‌گیری تعیین شده توسط طرح کلی شهر. به این دلیل، تاسیسات کلکتورهای خورشیدی گرمایی برای تولید آب داغ داخلی (الزامی در TBC) و میکروتوربین‌های میکرو-گاز را برای برق و گرمای ترکیبی به شبکه فروخته شده است. از آنجایی که بهترین طرح تاسیسات براساس فناوری‌های بسیار کارآمد یا قابل احیا تا حد زیادی تحت تاثیر چارچوب حقوقی است و ابعاد اقتصادی نیز گنجانده شده‌اند، پیکربندی‌های متفاوت هر دو سیستم (خورشیدی و تولید برق از گرما) تحلیل شده‌اند، هرکدام از آنها شاخص‌های متفاوت کارآمدی انرژی، سود اقتصادی و حفظ محیط زیست دیده شده‌اند.

۲. وضعیت فعلی ساختمان‌ها

این تحقیق بر مجموعه‌ای از چهار ساختمان مسکونی ۲۰ ساله، تحت نام‌های A, B, C و D در شکل ۱، واقع در تقاطع جاده شهر خیخون (استوریاس، اسپانیا، عرض 43°32′N، با دو نمای اصلی متفاوت در مقابل خیابان انجام شده است. جهت نماها برحسب زاویه جهت جنوبی با جهت معمول‌شان اظهار شده است.

شکل ۱ فضای موجود در سقف صاف ساختمان‌ها را برای نصب کلکتورهای خورشیدی گرمایی (مناطق سایه‌دار) و جهت‌شان نشان می‌دهد، این موضوع با پیکان‌هایی مشخص شده که تصویر افقی جهت معمول را با سطح کلکتور نشان می‌دهد.



شکل ۱. نمای بالای ساختمان‌ها و فضای موجود بر سقف صاف برای نصب کلکتور خورشیدی.

جدول ۱ - داده‌های عمومی بر روی ساختمان‌ها و نماهای‌شان.

Building	General data on the buildings			Data on the façade	
	No. of floors	No. of flats per floor	Total usable area (m^2)	Orientation	Façade area (m^2)
A	11	4	4950	32° SW	663.4
B	14	2	3080	32° SW	827.4
				58° SE	413.7
C	10	4	4500	58° SE	609
D	10	4	4500	58° SE	609

جدول ۲ - مصرف سالانه گاز طبیعی ساختمان‌ها برای DHW و گرما.

	C_{DHW} (m^3N gas)				C_{heat} (m^3N gas)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
January	850	541	773	773	4242.0	5156.0	3702.1	3846.1
February	830	528	755	755	4014.0	4878.8	3503.1	3639.4
March	780	496	709	709	2929.0	3560.1	2556.2	2655.6
April	750	477	682	682	2591.0	3149.2	2261.2	2349.2
May	740	471	673	673	834.0	1013.7	727.8	756.2
June	736	468	669	669	0	0	0	0
July	631	402	574	574	0	0	0	0
August	607	386	552	552	0	0	0	0
September	616	392	560	560	0	0	0	0
October	734	467	667	667	0	0	0	0
November	830	528	755	755	4055.0	4928.7	3538.9	3676.6
December	810	515	736	736	3625.0	4406.0	3163.6	3286.7
Annual	30,795				89045.2			

مشخصات اصلی ساختمان‌ها برحسب تعداد طبقه‌ها، تعداد آپارتمان‌ها در هر طبقه و کل مساحت مفید، علاوه بر جهت و مساحب نما، در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. مجموعه ساختمان‌ها از ۱۵۲ آپارتمان همراه با مساحت مفید کلی 17,030m2 تشکیل شده است.
با توجه به منبع انرژی فعلی ساختمان‌ها، هرکدام از آنها دیگ بخارگاز طبیعی مرسوم برای فراهم کردن DHW و گرما دارند، و هرکدام از آنها به منبع تامین برق وصل شده‌اند. این تحقیق براساس مصرف گاز طبیعی ساختمان‌ها با اندازه‌گیری در دوره زمانی ۱ ساله است. مقادیر ماهانه ثبت شده در هر ساختمان برای DHW، CDHW، و گرما، Cheat، در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.
با ملاحظه مقادیر جمع ارزش گرمایی کمتر، LHV، و چگالی، ρ، گاز طبیعی به ترتیب برابر با 48,060 kJ/kg و 0.84 kg/Nm3، و کارآیی دیگ بخار موجود، η_b، برابر با ۰/۹، تقاضای انرژیِ، $Q_{d,i}$، مجموعه ساختمان‌ها از داده‌های حجمیِ، Ci، اندازه‌گیری شده زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_{d,i} = C_i \eta_b LHV \rho, \quad \text{where } i = DHW, heat \qquad (1)$$

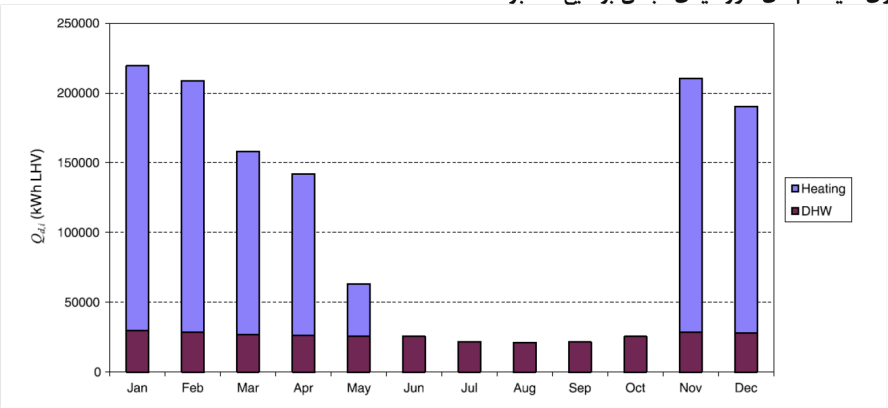
شکل ۲ تغییر تقاضای انرژی را در طی سال نشان می‌دهد. نظم ماهانه را می‌توان در تقاضای انرژی برای DHW در کل سال مشاهده کرد، در حالی که تقاضای انرژی برای گرما متمرکز بر ماه‌های خاص است و شدیداً وابسته به فصل است.

۳. توضیح تاسیسات

تاسیساتِ فراهم کنندهٔ انرژی برای ساختمان‌ها به دو سیستم تقسیم شده است: سیستم خورشیدی گرمایی، که به رفع تقاضای DHW ساختمان‌ها کمک می‌کند؛ و سیستم تولید برق از گرما، که تقاضای گرمایی ساختمان‌ها و همچنین تولید برق فروخته شده به شبکه را رفع می‌کند.
مقوله‌های اصلی برای انتخاب این فناوری‌ها عبارت بودند از: نخست، آنها منابعی با کارآیی زیاد یا تجدیدشدنی بودند، که منجر به کاهش انتشار CO2 در جو در مقایسه با فناوری‌های مرسوم می‌شد؛ و دوم، آنها صلاحیت دریافت یارانه برای کاهش هزینه سیستم‌ها را داشتند.
در این زمینه، بایستی خاطرنشان کرد کلکتورهای خورشیدی گرمایی رایج‌ترین فناوری تجدیدشدنی قابل استفاده برای تولید آب با دمای پایین هستند و از سوی دولت منطقه‌ای آستوریاس یارانه دریافت می‌کند [28] تا استفاده از سیستم‌های اینگونه را در منطقه‌ای با تابش خورشیدی کم در اسپانیا افزایش دهد. با توجه به تولید ترکیبی گرما و برق در تاسیسات تولید برق از گرما، این موارد کارایی جامع بیشتر نسبت به سیستم‌های تبدیل انرژی مرسوم داشتند، و استفاده از واحدهای مقیاس-میکرو (<1 MW) توسط دولت مرکزی اسپانیا [26] از طریق تشویق سرمایه‌گذاری بر انرژی تجدیدپذیر تشویق شده‌اند که از مقیاس برق تولید شده توسط گرما برای شبکه با قیمت‌های فوق‌العاده بیشتر نسبت به برق بازار اطمینان می‌دهد. علاوه بر این، اگر صرفه‌جویی اولیه انرژی در مقایسه با فناوری‌های مرسوم حاصل شود، این تاسیسات می‌توانند از اعطاء کارآیی بیشتر سود ببرند [27].

۳،۱. سیستم خورشیدی گرمایی

برآورد اندازه سیستم خورشیدی گرمایی براساس کسب حداکثر ارزش پوشش خورشیدی سالانه برای تقاضای DHW ساختمان‌ها بود. پوشش خورشیدی میانگین برای دوره‌ای خاص به صورت کسری از تقاضای گرمایی در طی دوره‌ای مشابه تعریف شده است که توسط سیستم خورشیدی گرمایی فراهم شده است. در این تحقیق، پوشش خورشیدی سالانه میانگین سیستم خورشیدی گرمایی مطابق با روش مشهور نمودار f محاسبه شد [۲۹]، که روش مورد توصیه در TBC نیز هست. دوره تحلیل (شاخص m در معادله‌های ذیل) ۱۲ ماه سال را، با توجه به تغییر فصلی در شرایط آب‌وهوایی، پوشش دادند. نخست، پوشش خورشیدی ماهانه میانگین، fm، به وسیله معادله (۲) محاسبه شد، این محاسبه برای سیستم‌های خورشیدی مبتنی بر مایع معتبر است:



شکل ۲. مقایسه بین تقاضای گاز طبیعی ماهانه DHW و گرمایش مجموعه ساختمان‌ها.

جدول ۳ – داده‌های آب‌وهوایی میانگین ماهانه در مکان سیستم خورشیدی (Is,h,m, Tamb,m, Tw,m) و انرژی خورشیدی موجود در سطح کلکتورها (Is,m).

		$I_{s,h,m}$ (kW h/m^2)	$T_{amb,m}$ (°C)	$T_{w,m}$ (°C)	$I_{s,m}$ (kW h/m^2)			
					A	B	C	D
ژانویه	January	45.64	8.9	6	61.94	45.64	51.27	58.35
فوریه	February	59.89	9.6	7	74.56	59.89	61.71	70.24
مارس	March	91.28	10.7	9	101.67	91.28	84.16	95.78
آوریل	April	101.67	11.8	11	99.92	101.67	82.71	94.13
مه	May	129.17	14.3	12	114.86	129.17	95.07	108.20
ژوئن	June	126.67	16.9	13	107.89	126.67	89.31	101.64
ژوئیه	July	144.67	19.2	14	128.64	144.67	106.48	121.19
اوت	August	127.44	19.7	13	126.45	127.44	104.67	119.12
سپتامبر	September	103.33	17.9	12	119.94	103.33	99.28	112.99
اکتبر	October	84.39	15	11	114.54	84.39	94.81	107.90
نوامبر	November	49.17	11.6	9	73.17	49.17	60.57	68.93
دسامبر	December	39.61	9.9	6	58.21	39.61	48.18	54.84

$$f_m = 1,029D_{1,m} - 0,065D_{2,m} - 0,245D_{1,m}^2 + 0,0018D_{2,m}^2 - 0,0215D_{1,m}^3 \quad (2)$$

که در آن $D_{1,m}$ و $D_{2,m}$ پارامترهای وابسته به متغیرهای ذیل هستند:

$$D_{1,m} = g_1(N_c, A_c, F_R\tau\alpha, I_{s,m}, Q_{d,DHW,m}) \quad (3)$$

$$D_{2,m} = g_2(N_c, A_c, F_RU_L, T_{amb,m}, T_{w,m}, V_{ac}, T_{ac}, Q_{d,DHW,m}) \quad (4)$$

سپس، انرژی ماهانه میانگین تحت حمایت سیستم خورشیدی، $Q_{s,m}$، از پوشش خورشیدی ماهانه میانگین، f_m، و تقاضای انرژی ماهانه میانگین، $Q_{d,DHW,m}$، مطابق با معادله ذیل حساب شد:

$$Q_{s,m} = f_m Q_{d,DHW,m} \quad (5)$$

در نهایت، پوشش خورشیدی سالانه میانگین، f، از معادله ذیل محاسبه شده است:

$$f = \frac{\sum_{m=1}^{m=12} Q_{s,m}}{\sum_{m=1}^{m=12} Q_{d,DHW,m}} \quad (6)$$

در معادله‌های (۳) و (٤)، برخی متغیرها از مشخصات فنی کلکتور سطح صاف ویسمان ویتوسول 100 S2.5 منتخب برای این پژوهش، از جمله مساحت دهانه، Ac = 2.5 m2، عامل کارآیی مطلوب، $F_R\tau\alpha = 0.84$، و ضریب انتقال افت گرما، $F_RU_L = 3.36\ \mathrm{W/m^2\ K}$، گرفته شده‌اند. به علاوه، داده‌های آب‌وهوایی در عرض جغرافیایی گمارش تاسیسات [۳۰] باید روش نمودار f از جمله مقادیر میانگین ماهانه تابش خورشیدی را بر سطح افقی، $I_{s,h,m}$، دمای ماهانه میانگین دمای محیط، $T_{amb,m}$، و آب سیستم توزیع، $T_{w,m}$، را اعمال کنند، مقادیر آنها در جدول ۳ فهرست شده‌اند. زمانی که زوایای جهت‌گیری و تمایلِ کلکتورها تعریف شد، افت تابش قابل برآورد است و انرژی خورشیدی موجود میانگین ماهانه در سطح کلکتورها، $I_{s,m}$، قابل محاسبه است. با توجه به مخزن ذخیره، نسبت 75 l/m2 بین حجمش،Vac، و کل مساحت مفید میدان خورشیدی، NcAc، تلقی شده بود، چرا که مقدار مرجع در روش نمودار f است. علاوه بر این، دمای ذخیرهٔ $T_{ac} = 65\ ^\circ\mathrm{C}$ برای مطابقت با مقررات فعلیِ اجرایی در اسپانیا ناظر بر تاسیساتِ ارائه دهندهٔ ریسک بیماری لژیونرها تعریف شده بود.[31].

به منظور حداکثر استفاده مفید از فضای موجود بر سقف آپارتمان ساختمان‌ها، پیکربندی‌های مختلف برحسب تعداد کلکتورهای خورشیدی و زوایای جهت‌گیری و شیب‌شان تجزیه و تحلیل شد. نتیجه‌گیری شد که بهترین طرح هم‌تراز با موردی است که Nc = 114 کلکتور، همراه با زاویه شیب 45° و همان زاویه جهت‌گیری به صورت نمای اصلی هر ساختمان، دارد، یعنی $32^\circ\ \mathrm{SW}$ برای کلکتورهای ساختمان‌های A و B و $58^\circ\ \mathrm{SE}$ برای کلکتورهای ساختمان‌های C و D . در این مورد، کل مساحت دهانه سیستم خورشیدی NcAc = 285 m2 است و حجم مخزن ذخیره می‌شود Vac = 21.375 m3.

شکل ۳ پوشش میانگین سیستم خورشیدی را به صورت درصدی از تقاضای گرمایی برای DHW از مجموعه ساختمان‌ها نشان می‌دهد. همانطور که در این نمودار قابل مشاهده است، حداکثر مقدار در طی تابستان حاصل شده است، در حدود 83%، در حالی که حداقل مقدار در طی زمستان رخ می‌دهد، کمی بیش از 30%. مقدار میانگین سالانه پوشش سیستم خورشیدی 56.6% است. در طی دوره سالانه و همچنین در سراسر سال، حداقل مقدار فراتر از 30% درTBC برای ساختمان‌های واقع در شهر تحت مطالعه است که تقاضاهای گرمایی برای DHW بین12,500–15,000 l/day دارند، همانند ساختمان‌هایی که در این تحقیق تجزیه و تحلیل شدند. بایستی در ذهن سپرد که میانگین پوشش خورشیدی سالانه برای چگالی ساختمان کوتاهتر فوق‌العاده بیشتر خواهد بود، که یکی از مشخصه‌های روند فعلی در محل تحت مطالعه است.

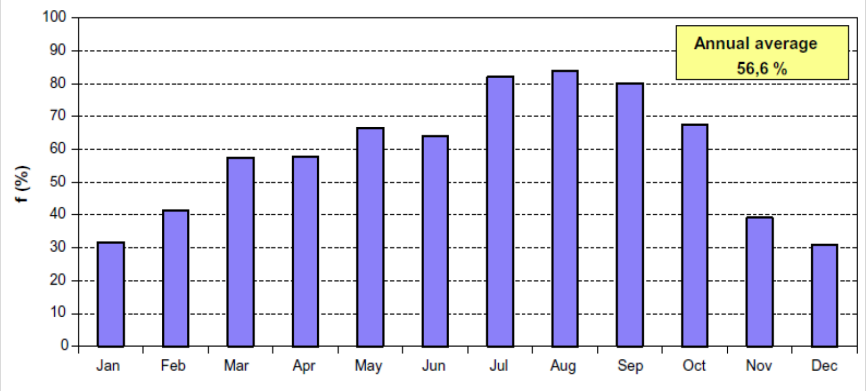
۳،۲. سیستم تولید برق از گرما

شکل ٤ طرح کلی از سیستم تولید برق از گرمای پیشنهادی در این مقاله را نشان می‌دهد تا تقاضای گرمایش مجموعه ساختمان‌ها مرتفع گردد. کمپرسور فشار گاز طبیعی را از عرضه تا فشار سوخت ورودی مورد نیاز توسط میکروتوربین‌ها افزایش می‌دهد. میکروتوربین‌ها براساس چرخه تولید مجدد برایتون هستند که در آن گازهای احتراق سوخت همراه با هوای مازاد از طریق توربین گسترش می‌یابند، متناوب‌ساز حرکت می‌کند که برق تولید می‌شود. گازهای خروجی توربین از مولد عبور می‌کنند، که در آن هوای احتراق پیش‌گرمایش شده است، بنابراین مصرف سوخت کاهش می‌یابد. قبل از انتقال به دودکش، گازهای خروجی میکروتوربین هنوز بسیار گرم هستند، حدود ۳۰۰ درجه، و بنابراین در تبادلگر گرمایی میان-جریان استفاده شده‌اند تا آب داغ تولید کنند که سیستم گرمایش ساختمان‌ها را تامین می‌کند.

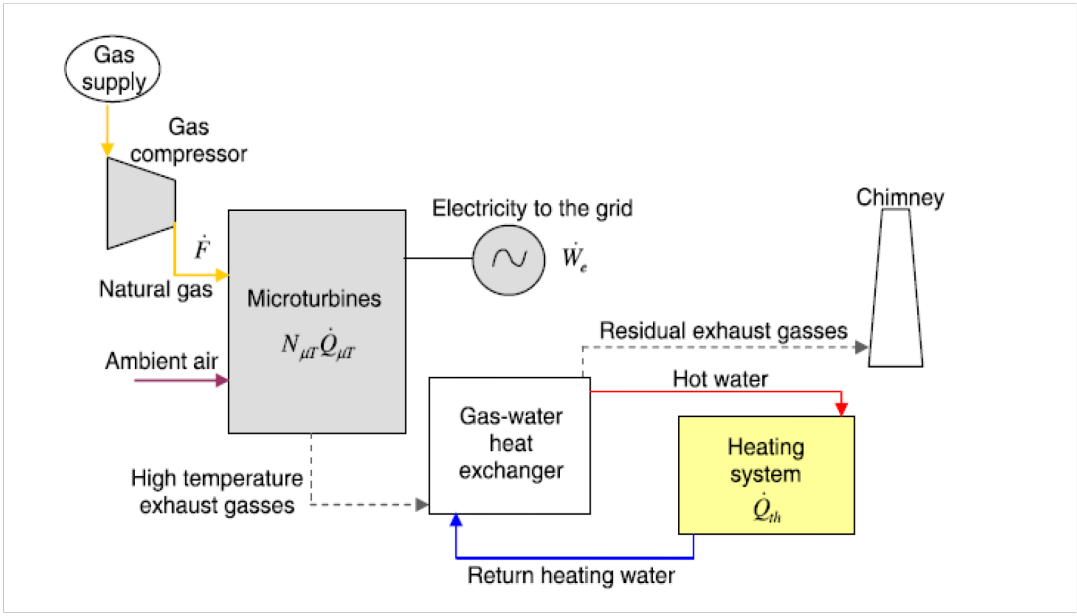
تعیین اندازه سیستم تولید برق از گرما شامل تعریف تعداد و ظرفیت میکروتوربین‌های مورد نیاز برای تولید گرمایش مورد تقاضای مجموعه ساختمان‌ها است. این وظیفه قویاً توسط چارچوب حقوقی مشروط شده است و مستلزم دشواری قابل‌ملاحظه است، همانطور که ابعاد کارآمدی و اقتصادی به شکلی پیچیده تعامل دارند. از یک سو، حداقل مقادیر پارامترهای کارآمدی تعریف شده در مقررات فعلی اسپانیا موثر بر تاسیسات تولید برق از گرما باید حاصل شود. از سوی دیگر، از میان طرح‌های مرتفع کنندهٔ این شرط، راه حل مطلوب موردی است که بیشترین مزایای اقتصادی به دست می‌آورد. علاوه بر این، ابعاد زیست محیطی را نیز می توان در نظر داشت.

در این تحقیق، ۱۰۸ مورد موجود در جدول ۵ از هر دو دیدگاه (کارآمدی و سوددهی) تجزیه و تحلیل شده‌اند تا بهترین گزینه در میان تمام آنها تعریف شود. این موارد نتیجه ترکیب پارامترهای ذیل هستند:

- نه گروه‌بندی متفاوت از چهار ساختمان در نظر گرفته شده‌اند: هر ساختمان به صورت مجزا (A, B, C, D)، و همچنین هر گروه‌بندی ممکن از دو (A + B, C + D)، سه (A + B + C, B + C + D) و چهار ساختمان مجاور (A + B + C + D).
- سه مقدار دوره عملیاتی روزانه میکروتوربین‌ها، t تعریف شدند: ۸، ۱۰ و ۱۲ ساعت.



شکل ۳. پوشش میانگین سیستم خورشیدی مطابق با روش نمودار f.



شکل ۴. طرح کلی سیستم تولید برق از گرمای پیشنهادی.

- چهار نوع میکروتوربین تجاری استفاده شد که ظرفیت کافی سیستم تولید برق از گرما برای هر مورد داشتند. مشخصات اسمی در جدول ۴ داده شده است. بایستی خاطر نشان کرد که، تحت شرایط معمول، کارآیی برقی میکروتوربین‌ها بین 26% و 34% است. با این حال، وقتی محتوای گرمایی گازهای خروجی استفاده شد، کارآمدی جامع 83%–76 قابل کسب است.

روش مورد استفاده برای محاسبه تعداد میکروتوربین‌های موردنیاز برای هر مورد و ظرفیت هم‌تراز سیستم تولید برق از گرما در ادامه شرح داده شده است:

- نخست، تقاضای گرمایی گروه‌بندی ساختمان، Qd,heat مطابق با معادله (۱) محاسبه شده بود.
- سپس، با ملاحظه دوره گرمایش از اول نوامبر تا ۱۵ مه، ظرفیت گرمایی سیستم، Qth، با نیاز به تولید تقاضای گرمایی ماهانه گروه ساختمان‌ها از معادله ذیل محاسبه شد:

$$\dot{Q}_{th} = Q_{d,heat}/t \qquad (7)$$

- در نهایت، با این فرض که میکروتوربین‌ها تحت شرایط اسمی در طی دوره عملیاتی روزانه کار می‌کنند، حداقل تعداد میکروتوربین، $N_{\mu T}$، مورد نیاز برای تولید خروجی گرمایی بیشتر یا برابر با تقاضای برق گرمایی برای گروه‌بندی ساختمان به وسیله معادله ذیل محاسبه شد:

$$N_{\mu T}\dot{Q}_{\mu T} \geqslant \dot{Q}_{th} \qquad (8)$$

جدول ۴ – مشخصات اسمی میکروتوربین‌ها.

Microturbine type	μT1	μT2	μT3	μT4
خروجی برق خالص $\dot{W}_{e,\mu T}$ (kW)	30	65	100	200
میزان انرژی گرمایی خروجی $\dot{Q}_{\mu T}$ (kW)	66	120	155	275
میزان مصرف سوخت $\dot{F}$ (kW PCI)	115	224	333	583
کارآمدی الکتریکی η_e (%)	26	29	30	34
کارآمدی جامع η_g (%)	83	82	76	81

مقدار نمایش داده شده در جدول ۵ برای متغیر $N_{\mu T}Q_{\mu T}$ ظرفیت سیستم‌های تولید برق از گرما را نشان می‌دهد که در بخش ذیل تحلیل شده‌اند. می‌توان مشاهده کرد که هرچقدر دوره عملیات روزانه بیشتر باشد، تعداد میکروتوربین‌های مورد نیاز کمتر خواهد بود و بنابراین ظرفیت مورد نیاز سیستم کمتر خواهد شد.

۴. کارآمدی و تحلیل اقتصادی نظام تولید برق از گرما

اهداف این بخش عبارتند از: نخست، ارائه ویژگی‌های اصلی مقررات اسپانیا که در حال حاضر بر سیستم‌های تولید برق از گرمای موجود در جدول ۵ اجرایی هستند؛ دوم برای تحلیل ایفاء الزامات کارآمدی؛ و در نهایت، تعیین سیستم‌هایی که بیشترین سوددهی دارند.

جدول ۵ – ترکیب‌های میکروتوربین و دوره‌های عملیاتی روزانه سیستم‌های تحلیل شدهٔ تولید برق از گرما.

Building grouping	t (h)	$\dot{Q}_{th}$ (kW)	$N_{\mu T}$				$N_{\mu T}\dot{Q}_{\mu T}$ (kW)			
			μT1	μT2	μT3	μT4	μT1	μT2	μT3	μT4
A	8	180.9	3	2	2	1	198	240	310	275
B		219.8	4	2	2	1	264	240	310	275
C		157.8	3	2	1	1	198	240	155	275
D		164.0	3	2	2	1	198	240	310	275
A + B		400.7	6	4	3	2	396	480	465	550
C + D		321.8	5	3	3	3	330	360	465	825
A + B + C		558.5	9	5	4	2	594	600	620	550
B + C + D		541.6	9	5	4	2	594	600	620	550
A + B + C + D		722.5	11	6	5	3	726	720	775	825
A	10	144.7	3	2	1	1	198	240	155	275
B		175.9	3	2	2	1	198	240	310	275
C		126.3	2	2	1	1	132	240	155	275
D		131.2	2	2	1	1	132	240	155	275
A + B		320.5	5	3	3	2	330	360	465	550
C + D		257.5	4	3	2	1	264	360	310	275
A + B + C		446.8	7	4	3	2	462	480	465	550
B + C + D		433.3	7	4	3	2	462	480	465	550
A + B + C + D		578.0	9	5	4	3	594	600	620	825
A	12	120.6	2	1	1	1	132	120	155	275
B		146.5	3	2	1	1	198	240	155	275
C		105.2	2	1	1	1	132	120	155	275
D		109.3	2	1	1	1	132	120	155	275
A + B		267.1	4	3	2	1	264	360	310	275
C + D		214.5	4	2	2	1	264	240	310	275
A + B + C		372.3	6	3	3	2	396	360	465	550
B + C + D		361.1	6	3	3	2	396	360	465	550
A + B + C + D		481.7	8	4	4	2	528	480	620	550

این تحقیق براساس این فرض است که 100% برق تولیدی توسط سیستم‌های تولید برق از گرما به شبکه فروش خواهد شد، از آنجایی که این گزینه خیلی راحت‌تر از مصرف برق در ساختمان‌ها است مشاهده این سیستم به عنوان قیمت فروش مطلوب چارچوب حقوقی اسپانیا است. مطابق با [26]، برای موارد تحت مطالعه (براساس استفاده از توربین‌های گاز طبیعی و برق الکتریکی سیستم کمتر از 1 MW)، تنها فروش الکتریسیته به شبکه از نقطه نظر حقوقی به شرطی ممکن است که کارآمدی الکتریکی هم‌تراز (EEE) بالاتر از 53.1% باشد. این پارامتر به صورت درصدی از مصرف سوخت سیستم تولید برق از گرما تعریف شده است که قابل انتساب به تولید برق است، و مطابق با معادله ذیل محاسبه شده است:

$$EEE = \frac{W_e}{F - \frac{Q_{th}}{\mathrm{Ref_H}}} \times 100 \qquad (9)$$

که در آن We تولید سالانه انرژی الکتریکی است، F مصرف سالانه انرژی اولیه است، Qth انرژی گرمایی سالانهٔ مورد استفاده است، و RefH مقدار مرجع تجهیزات مرسوم است که قبلاً برای تولید انرژی گرمایی استفاده شده بود. در مورد تحت مطالعه، مقدار RefH = 0.9 در نظر گرفته شده بود (آب داغ در دیگ‌های بخار گاز طبیعی) [32].

علاوه بر این، مطابق با [27]، سیستم های تولید برق از گرمای تحت مطالعه را می‌توان به صورت تاسیسات راندمان بالا تلقی کرد به شرطی که درصد صرفه‌جویی انرژی اولیه (PES) مثبت باشد، و بنابراین راندمان بالای بیشتر قابل ادراک باشد. این پارامتر به صورت درصدی از انرژی اولیه ذخیره شده در سیستم تولید برق از گرما با توجه به انرژی اولیه مصرف شده در تجهیزات مرسوم برای تولید مقادیر هم‌تراز برق و انرژی گرمایی تعریف شده است.

$$PES = \left(\frac{F}{\frac{Q_{th}}{\mathrm{Ref_H}} + \frac{W_e}{\mathrm{Ref_E}}} - 1 \right) \times 100 \qquad (10)$$

که در آن RefE مقدار مرجع تاسیسات برق معمول است که قبلاً برای تولید انرژی الکتریکی مصرف شد. در مورد تحت مطالعه، مقدار RefE = 0.42 در نظر گرفته شد (تاسیسات برق گرمایی تحت آتش زغال) [32].

جدول ٦ پارامترهای کارآمدی سیستم های تحلیل شده تولید برق از گرما را نشان می‌دهد. در نتیجه این فرض که میکروتوربین‌ها تحت شرایط اسمی در طی دوره روزانه مورد نیاز برای رفع نیازهای گرمایی ماهانه سنجیده شده ساختمان‌ها عمل می‌کنند، مقادیر پارامترهای کارآمدی تنها وابسته به نوع میکروتوربین است. از نقطه نظر حقوقی، استفاده از هرکدام از چهار نوع میکروتوربین در سیستم تولید برق از گرما ممکن است، با مشاهده EEE که فوق‌العاده بیشتر از حداقل مقدار مورد نیاز در هر مورد است. علاوه بر این، از آنجایی که PES نیز در هر مورد مثبت است، هرکدام از آنها را می‌توان به صورت سیستم تولید برق از گرمای راندمان بالا ثبت کرد و از نفع اقتصادی به خاطر کارآمدی‌اش سود برد.

نوع میکروتوربین منجر به بیشترین مقادیر EEE و PES، $\mu T4$ است. با این حال، علاوه بر امکان‌پذیری فنی سیستم تولید برق از گرما، تحلیل اقتصادی سیستم‌های تولید گرما از برق براساس دوره بازپرداخت (PB) سرمایه‌گذاری اجرا شده بود.

مقادیر پارامترهای مورد استفاده در تحلیل اقتصادی در جدول ۷ آمده‌اند. با توجه به محاسبه درآمد، یارانه منطقه‌ای فعلی برای سیستم خورشیدی گرمایی [28]، درآمد برق فروخته شده به شبکه [26] و اعطاء راندمان بالای سیستم تولید برق از گرما [27] در نظر گرفته شد. هنگام محاسبه هزینه‌ها، هزینه سالانه مصرف گاز طبیعی [33]، سرمایه‌گذاری و هزینه‌های حفظ و نگهداری و عملیات سالانه تجهیزات تلقی شدند.

جدول ٦ – پارامترهای کارآمدی سیستم تولید برق از گرما.

Type of microturbine	*EEE* (%)	*PES* (%)
μT1	72.0	20.8
μT2	71.6	22.5
μT3	62.2	19.2
μT4	72.1	25.7

جدول ۷ – پارامترهای تحلیل اقتصادی.

درآمد		
یارانه سیستم خورشیدی گرمایی	74885.3 € (47.3% هزینه‌اش)	
فروش برق	0.1204 €/kW h	
هزینه‌ها		
هزینه میانگین گاز طبیعی	0.045434 €/kW h (LHV)	
تجهیزات	سرمایه‌گذاری	عملیات و تعمیر و نگهداری
دیگ بخار گاز طبیعی	–	2000 €/سال به اضافه دیگ بخار
$\mu T1$	50,000 €	1.1 €/ ساعت عملیات
$\mu T2$	95,000 €	1 €/ساعت عملیات
$\mu T3$	135,000 €	0.95 €/ ساعت عملیات
$\mu T4$	230,000 €	0.9 €/ ساعت عملیات
سیستم خورشیدی گرمایی	158,300 €	–

در شکل ۵، تنها نوعی از میکروتوربین که منجر به کوتاهترین PB می شود برای هر گروه ساختمان و هر دوره عملیات روزانه سیستم تولید برق از گرما نشان داده شده است. می‌توان مشاهده کرد که گروه‌بندی ساختمان‌ها و افزایش دوره عملیات روزانه سیستم تولید برق از گرما منجر به کاهش قابل ملاحظه PB می شود. این کاهش اصولاً مربوط به دلایل ذیل است: از یک سو، متمرکزسازی سیستم تولید برق از گرما برای چند ساختمان هزینه‌های سرمایه‌گذاری را کاهش می‌دهد چرا که ظرفیت مورد نیاز کمتر از تولید برای ساختمان‌ها به صورت مجزا است، و از سوی دیگر، افزایش دوره عملیات روزانه درآمد حاصل از فروش برق را افزایش می‌دهد. مطابق با شکل ۵، گروه‌بندی دو یا چهار ساختمان با دوره عملیاتی روزانه ۱۲ ساعت سودده‌ترین موارد هستند.

برای ده عملیاتی روزانه ۱۲ ساعت، انواع میکروتوربین‌هایی که برای آنها PB به حداقل رسیده عبارتند از: نوع $\mu T2$ برای گروه‌بندی‌های یک (به جز B) و سه ساختمان، و نوع $\mu T4$ برای گروه‌بندی‌های دو و چهار ساختمان. در مورد ساختمان B استثناء وجود دارد چرا که $\mu T3$ نوعی از میکروتوربین با کمترین PB است. به این خاطر ظرفیت اسمین این نوع میکروتوربین به تقاضای گرمایی ساختمان B کاملاً نزدیک است، که به طور قابل ملاحظه‌ای بیش از تقاضاهای سایر ساختمان‌ها با توجه به سطح بزرگتر نمای بیرونی‌اش است.

در نتیجه این مطالعه، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مناسب‌ترین سیستم تولید برق از گرما گروه‌بندی چهار ساختمان‌یادگیری تحت نظارت است که از دو میکروتوربین نوع $\mu T4$ با دوره عملیاتی روزانه ۱۲ ساعت استفاده می‌کند.

۵. تحلیل سیستم‌های تولید برق از گرما-خورشیدی ترکیبی

هدف از این بخش تحلیل سوددهی و صرفه‌جویی زیست محیطی سیستم خورشیدی مشروح در بخش ۳،۱ همراه با مناسبت‌ترین سیستم تولید گرما از برق به دست آمده در بخش ٤ است (گروه‌بندی چهار ساختمان، دو میکروتوربین μT4، و دوره عملیات روزانه ۱۲ ساعت). برای نیل به این هدف، PB و همچنین چند تن CO2 در سال با توجه به صرفه‌جویی در سوخت با توجه به مصرف سنجیده‌شده سوخت ساختمان‌ها منتشر نمی‌شود سیستمی که برای پنج ترکیب سیستم انرژی متفاوت در جدول ۸ محاسبه شده بود. در این تحلیل، عوامل انتشار CO2 مرتبط با گاز طبیعی برای موارد استفاده گرمایی و همراه با احتراق زغال در تاسیسات برق به ترتیب برابر با 0.2 kg CO2/kW h و0.961 kg CO2/kW h هستند، همانطورکه در[34] مشخص شده است.

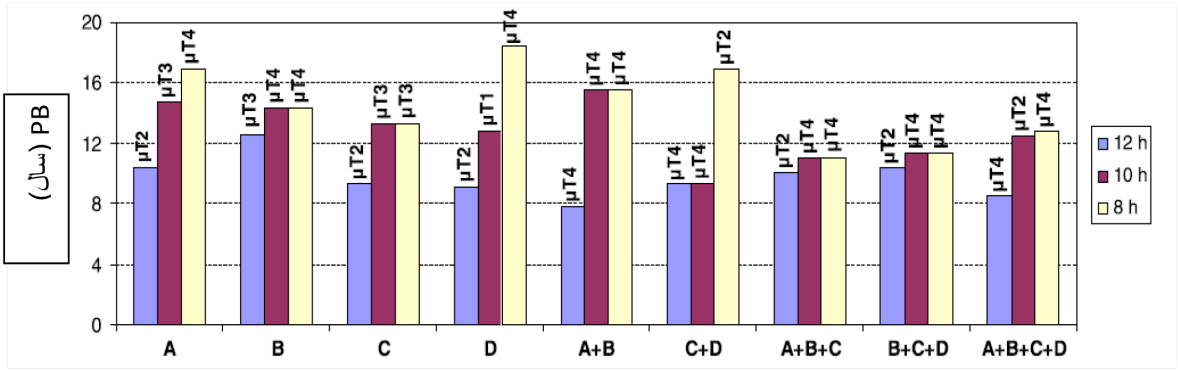
جدول ۸ -سوددهی و نجات محیط زیست از ترکیب‌های سیستم انرژی متفاوت برای گروهی از ساختمان‌ها A+B+C+D.

مورد	سیستم‌های انرژی	PB (سال)	tCO2/ (t سال)
I	خورشیدی (DHW سالانه)	9.4	39.0
II	تولید برق از گرما (گرمایش)	10.0	446.8
III	خورشیدی (DHW سالانه) تولید برق از گرما (گرمایش)	9.9	485.7
IV	خورشیدی (DHW سالانه) تولید برق از گرما (گرمایش+ کمک زمستانی DHW)	9.0	535.8
V	خورشیدی (DHW سالانه) تولید برق از گرما (گرمایش+ کمک زمستانی DHW)	7.8	544.4

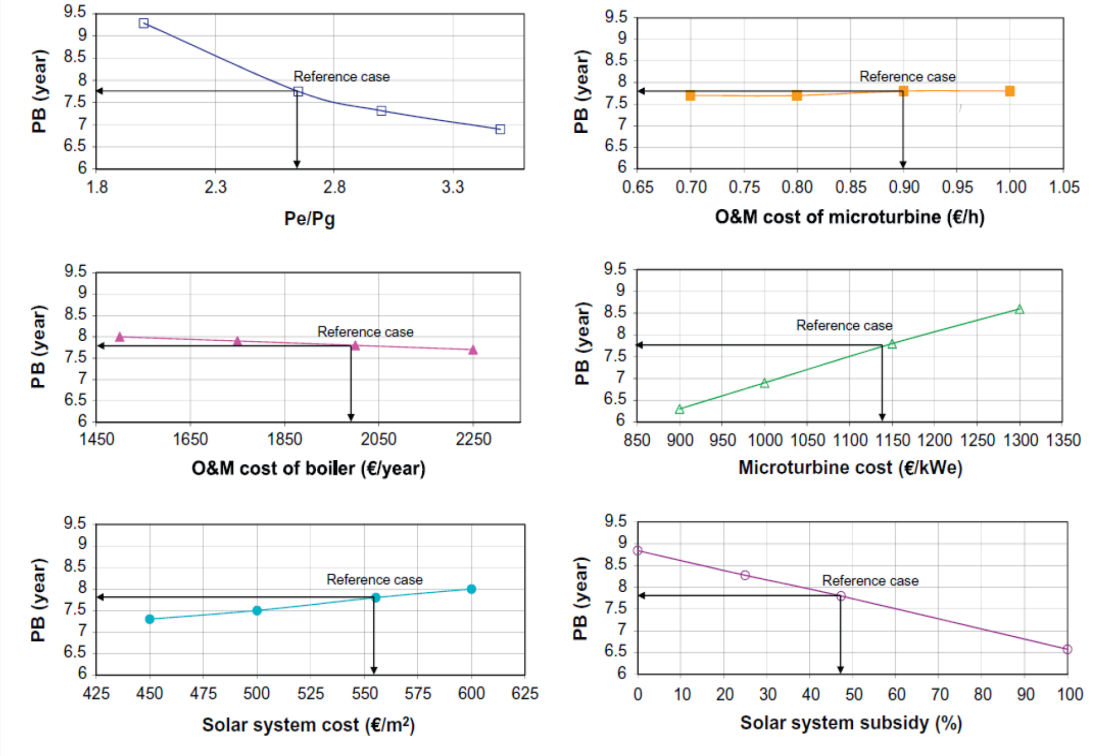
موردهای I و II به مطالعه استفاده از دو سیستم به صورت مجزا می‌پردازند. در مورد I، سیستم خورشیدی گرمایی کسری از تقاضای گرمایی برای DHW را در کل سال تولید می‌کند و با وجود دیگ‌های بخارگاز طبیعی در ساختمان‌ها تکمیل می‌شوند که نقشی کمکی بازی می‌کنند و علاوه بر این تقاضای گرمایش ایجاد می‌کنند. در مورد II، سیستم تولید گرما از برق تقاضای گرمایش سالانه تولید می‌کند و با دیگ‌های بخار موجود برای تقاضای گرمایی DHW تکمیل شده‌است.

موردهای III, IV و V به مطالعه استفاده ترکیبی از هر دو سیستم می‌پردازند: خورشیدی و تولید برق از گرما. در این سه مورد، سیستم خورشیدی در کل سال اجرا می‌شود، و تمام تقاضای گرمایی احتمالی DHW را تامین می‌کند، در حالی که سیستم تولید برق از گرما تقاضای گرمایش سالانه را تامین می‌کند. با این حال، دوره عملیاتی سالانه سیستم تولید برق از گرما و منبع انرژی کمکی برای سیستم خورشیدی در سه مورد متفاوت هستند. در موردهای III و IV ، سیستم تولید برق از گرما تنها در طی زمستان اجرا می‌شود، در حالی که در مورد V در کل سال اجرا می‌شود. در مورد III، انرژی کمکی برای سیستم خورشیدی به وسیله دیگ‌های بخار موجود در کل سال تامین شده است، در حالی که در موردIV انرژی کمکی توسط دیگ های بخار کمکی در طی تابستان و توسط سیستم تولید برق از گرما در طی زمستان تامین شده است. در نهایت، در مورد V، دیگ‌های بخار موجود حذف شده‌اند و انرژی کمکی برای سیستم خورشیدی توسط سیستم تولید برق از گرما در سراسر سال تامین شده است.

در مقایسه موردهای I و II ، می‌توان مشاهده کرد که PB سرمایه‌گذاری سیستم خورشیدی کمی کوتاهتر از سرمایه‌گذاری سیستم تولید برق از گرما است، اما منجر به حفظ بیشتر محیط زیست (تقریباً ۱۰ وجه) نسبت به سیستم خورشیدی می‌شود. اگرچه ادغام هر دو سیستم انرژی (مورد III) به ندرت PB سیستم‌های ادراکی مجزا را اصلاح می‌کند، افزایش 9% در انتشار CO2 قابل ذکر است. در مقایسه موردهای III و IV ، افزایش ساعات کار اجرایی سالانه سیستم تولید برق از گرما منجر به کاهش ۱ ساله در PB سرمایه‌گذاری می‌شود. این موضوع مربوط به درآمد بیشتر فروش برق می‌شود. همچنین برحسب حفظ بیشتر محیط زیست با توجه به کوتاه کردن دوره اجرای سالانه دیگ‌های بخار موجود تاثیرگذار است، دیگ‌هایی که کارآمدی‌شان کمتر از میکروتوربین‌ها است. در نهایت، در مقایسه موردهای III و V ، نتیجه‌گیری ذیل را می‌توان به دست آورد: جایگزینی دیگ‌های بخارگاز طبیعی با سیستم تولید برق از گرما به شکلی قابل ملاحظه PB سرمایه‌گذاری را با توجه به حذف هزینه‌های تعمیر و نگهداری بالای سالانه مورد اول کاهش داد. علاوه بر این سیستم تولید برق از گرما نقشی مهم در افزایش حفاظت از محیط زیست با توجه به استفاده بهتر از سوخت توسط میکروتوربین‌ها دارد.



شکل ۵. دوره بازپرداخت برای مناسب‌ترین نوع میکروتوربین برای هرکدام از گروه‌بندی‌های ساختمان.



شکل ۶. تغییر PB با پارامترها.

در آخر، از آنجایی که سوددهی اقتصادی سیستم‌های مبتنی بر فناوری‌های راندمان بالا و قابل تجدید تا حد زیادی به قیمت انرژی، هزینه تجهیزات و یارانه‌ها وابسته هستند، مطالعه حساسیت بر جالبترین ترکیب سیستم موجود قبلی اجرا شد (مورد ۷: مورد مرجع).
در این تحلیل، تاثیرگذاری نوسان‌ها بر PB در درآمد حاصل از فروش برق، هزینه گاز طبیعی، هزینه‌های تعمیر و نگهداری و عملیات تجهیزات، هزینه سرمایه‌گذاری تجهیزات و یارانه سیستم خورشیدی مطالعه شد. وقفه‌های تغییر این پارامترها حدود مقادیر مورد مرجع مطابق با تکامل احتمالی بازار تثبیت شد. نتایج (شکل ٦) نشان می‌دهد هزینه‌های عملیات و تعمیر و نگهداری دیگ‌های بخار و میکروتوربین‌ها و همچنین هزینه سرمایه‌گذاری سیستم خورشیدی پارامترهایی هستند که حداقل تاثیر را بر PB دارند و ارزشش در کمتر از نصف سال در مقایسه با مورد مرجع جایگزین می‌شد. با این حال، درآمد حاصل از فروش برق، یارانه موجود برای سیستم خورشیدی و هزینه سرمایه‌گذاری میکروتوربین‌ها منتج به تغییر PB بیش از دو سال در مقایسه با مورد مرجع شد.

٦. نتیجه‌گیری

در این مقاله، تاسیسات برای رفع نیاز گرمایی مجموعه‌ای از چهار ساختمان مسکونی واقع در شهری در ساحل شمالی اسپانیا طراحی شده است. این تاسیسات سیستم خورشیدی را برای تولید آب داغ داخلی و سیستم تولید برق از گرما با میکروتوربین‌های گاز طبیعی ترکیب می‌کنند که فروش برق به شبکه را ممکن می‌سازد و تقاضای گرمایش سالانه ساختمان‌ها را فراهم می‌کند. طراحی سیستم‌ها براساس داده‌های اندازه‌گیری مصرف سوخت ساختمان‌ها در طی دوره ۱ ساله بود.
پیکربندی طراحی شده سیستم خورشیدی حداکثر مقدار پوشش خورشیدی سالانه میانگین طراحی آب داغ داخلی چهار ساختمان را به دست آورد و حداکثر استفاده را از فضای موجود بر سقف پشت‌بام به عمل آورد. نتایج نشان می‌دهند حتی در مکان‌هایی با تابش خورشیدی کم، در ساختمان‌هایی با سطح محدود برای انرژی خورشیدی و در ساختمان‌هایی در مراکز شهر که جهت‌گیری‌شان با طرح کلی شهری تعیین شده است، سیستم خورشیدی طراحی شده می‌تواند تقریباً 60% از تقاضای گرمایی سالانه برای آب داغ داخلی را رفع کند. این مقدار به شکلی قابل ملاحظه بیشتر از حداقل مقدار ثبت شده در مقررات اجرایی اسپانیا (30%) است و نشان می‌دهد کلکتورهای خورشیدی گرمایی از نقطه نظر اقتصادی جالب توجه هستند، چرا دوره بازپرداخت ۹/٤ سال حاصل شد.
با توجه به تعیین اندازه سیستم تولید برق از گرما، کارآمدی و ابعاد اقتصادی در نظر گرفته شد. پیکربندی‌های مختلف در قالب روشی که در آن ساختمان‌ها گروه‌بندی شده‌اند، نوع میکروتوربین‌های مورد استفاده و دوره اجرایی روزانه‌شان تحلیل شدند. نتایج نشان می‌دهند استفاده از میکروتوربین‌های طبیعی برای گرمایش ترکیبی و تولید برق گزینه‌ای کاملاً توصیه شده در قالب ابعاد فنی است چرا که کارآمدی برقی معادل بیشتر از 70% در اغلب پیکربندی‌های تحلیل شده است. این مقدار فوق‌العاده بیش از حداقل مقدار ثبت شده در مقررات اجرایی فعلی اسپانیا (53.1%) برای کسب مجوز تاسیسات مجاز برای فروش برق به شبکه است. علاوه بر این، سیستم تولید برق از گرما منجر به صرفه جویی ابتدایی 26% انرژی با توجه به سیستم گرمایش مرسوم می‌شود. این مقدار نه تنها دسته‌بندی‌اش به صورت تاسیساتی با راندمان بالا را ممکن می‌سازد، بلکه این تاسیسات را قادر به دریافت کمک اقتصادی مربوط به حفظ کارآمدی می‌سازد، که از جمله عوامل می توان به کمکش به کاهش بازپرداخت سرمایه‌گذاری اشاره کرد.
ادغام همزمان هر دو فناوری، خورشیدی و تولید برق از گرما، و متمرکزسازی تاسیسات برای چهار ساختمان سوددهی سرمایه‌گذاری را بهبود می‌دهد و اثر زیست‌محیطی را در مقایسه با نتایج کسب شده ناظر بر فناوری‌ها و ساختمان‌ها به صورت مجزا کاهش می‌دهد. بهترین گزینه از نقطه نظر اقتصادی و زیست محیطی جایگزینی کامل دیگ‌های بخار موجود و افزایش دوره عملیاتی سالانه سیستم تولید برق از گرما با فراهم کردن انرژی کمکی برای سیستم خورشیدی در کل سال است. دوره بازپرداخت کمتر از ۸ سال و کاهش بیشتر از ٥٤٠ تن صدور CO_2 به جو در این مورد حاصل شده است، و منجر به سرمایه‌گذاری جالب شده است. سایر ساختمان‌ها همراه با تقاضای سرمایش حرارتی در طی تابستان می‌تواند دوره‌های عملیاتی سالانه بیشتر سیستم تولید برق از گرما را ممکن سازد، که بدان وسیله پارامترهای کارآمدی و حفظ محیط زیست را ممکن می‌سازد.
متاسفانه، یارانه برای این فناوری‌ها و هزینه‌های سرمایه‌گذاری تجهیزات برای اطمینان از امکان پذیری اقتصادی تاسیسات مربوط به تاثیرگذاری قابل درک درآمد حاصل از فروش برق به شبکه و یارانه سیستم خورشیدی بر بازپرداخت سرمایه‌گذاری منتج ضروری هستند.

تقدیر و تشکر
مراتب قدردانی خود را از موسسه فناوری صنعتی دانشگاه آستوریاس (IUTA) و انجمن شهر خیخون به خاطر حمایت مالی تحت بورس SV-07-GIJON-2-Project No. 6 و SV-08-GIJON-3-Project No.1 ابراز می‌کنیم که این اثر تحقیقاتی را ممکن ساخت.

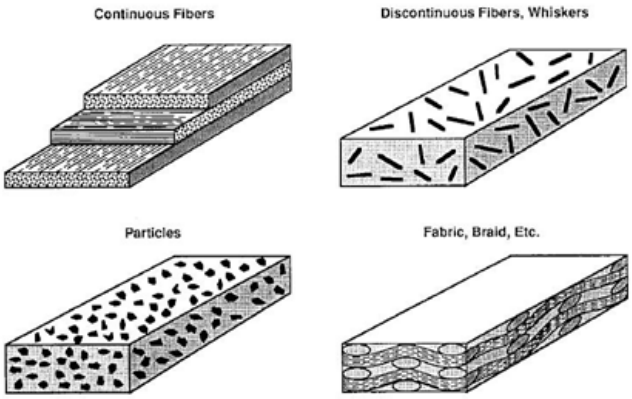
نگاهی به کامپوزیت‌ها

امیررضا ترابی‌پوده، مهندسی مکانیک گرایش ساخت‌وتولید، دانشگاه صنعتی

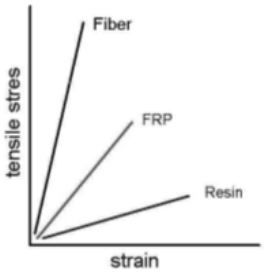
کامپوزیت به معنی ماده مرکب و مواد کامپوزیتی به معنی مواد مرکب می‌باشد. ماده مرکب از ترکیب چندین ماده با ویژگی ها و خصوصیات مختلف بوجود می‌آید. مطالعه تاریخ نشان می‌دهد که اولین بار ساخت مواد مرکب توسط بشر، در دوره پارسنگی می‌باشد و همچنین حدود ۵۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح در خاورمیانه از پلیمر برای قیراندود کردن قایق ها استفاده شده است. اما مهمترین تحولات در مواد مرکب بین سالهای ۱۸۴۷ تا ۱۹۴۶ اتفاق افتاد که دانشمندان مفهوم جدیدی از آن ارایه کردند[۱].

تا قبل از ورود کامپوزیت به صنعت، فلزات و آلیاژهای آن‌ها مورد توجه صنایع فضایی و دریایی بودند اما امروزه بخش مهمی از این صنایع به آن‌ها وابسته است. آلیاژها نمونه ای از مواد مرکب هستند منتها از ترکیب مواد در مقیاس میکروسکوپی بوجود می‌آیند، آلیاژهای فلزی در مقیاس ماکروسکوپی، بعنوان یک ماده هموژن فرض می‌شوند. مقیاس ماکروسکوپی یعنی هر کدام از مواد تشکیل دهنده ماده پس از ترکیب، با چشم غیر مسلح دیده می‌شوند. شکل (۱) ترکیب تقویت کننده و زمینه را نشان می‌دهد[۲].

در صنایع مکانیک ماده کامپوزیت به مفهوم ترکیب دو جزء تقویت کننده و زمینه می‌باشد. هر جزء متحمل وظیفه ای است که جزء اصلی یا تقویت کننده، وظیفه تحمل نیرو را دارد و در واقع خصوصیات اصلی کامپوزیت به این جزء وابسته است. جزء دیگر، زمینه نام دارد که پایه کامپوزیت است و وظیفه اصلی آن انتقال و تقسیم نیرو می‌باشد[۲]. در شکل (۲) خصوصیات مکانیکی الیاف و رزین و ترکیب این دو ماده را نشان می‌دهد.



شکل۱-شکل‌های مختلف مواد مرکب[۳]



شکل۲-خصوصیات مکانیکی کامپوزیت و اجزای تشکیل دهنده آن[۳]

از خصوصیات مواد مرکب می‌توان به توانایی در انتخاب جنس و اجزای تشکیل دهنده اشاره کرد. مواد کامپوزیتی علاوه بر خصوصیت مذکور توانایی تقویت ماده در جهت دلخواه را دارند از طرفی دیگر خصوصیات مکانیکی ماده تقویت کننده و زمینه در کامپوزیت‌ها، خصوصیات ویژه‌ای را در اختیار طراح می‌گذارد که عبارتند از:

نسبت استحکام به وزن بالا — سختی متوسط

طول عمر زیاد — مقاوم در برابر حرارت

مقاوم در برابر خوردگی — مقاوم در برابر سایش

طبیعتاً تمام این خصوصیات به صورت بهینه در یک ماده مرکب یافت نمی‌شود چرا که گاهاً بعضی از این خصوصیات اثراتی متقابل روی هم دارند. به هر حال بر اساس عملکرد یک سازه می‌توان خصوصیات را اولویت بندی و بهینه نمود[۲].

تقویت کننده‌ها بر اساس جنس و ساختار ظاهری تقسیم بندی می‌شوند. تقویت کننده‌ها بر اساس جنس به شیشه، گرافیت و آرامید دسته بندی می‌شوند و بر اساس ساختار ظاهری به دو گروه که می‌توان به کامپوزیت های تقویت شده با الیاف و کامپوزیت‌های تقویت شده با ذرات اشاره کرد. زمینه هم بر اساس جنس و نوع عملکرد به دسته بندی های گوناگونی طبقه بندی شده است. یک نمونه از گروه‌بندی مواد کامپوزیت در شکل (۳) نشان داده شده است.



انواع آرایش تقویت کننده در کامپوزیت[۳]. الف) تقویت کننده ذره ای ب) تقویت کننده با الیاف و ویسکرز ج) تقویت کننده با الیاف پیوسته

در این پژوهش از الیاف شیشه پیوسته با زمینه اپوکسی استفاده شده است. از خصوصیات الیاف شیشه می‌توان به استحکام بالا، قیمت پایین، مقاومت شیمیایی بالا و خواص عایقی مناسب اشاره کرد. از معایب آن می‌توان به مدول الاستیک پایین، پیوند ضعیف به پلیمرها، وزن مخصوص بالا، حساسیت به سایش (که باعث کاهش استحکام کششی می‌شود) و مقاومت در برابر خستگی پایین اشاره نمود. الیاف شیشه انتخاب شده در این پژوهش از خانواده (E) انتخاب شده که این حرف معرف واژه الکتریکال به این دلیل ذکر می‌شود که این نوع الیاف برای کاربردهای الکتریکی طراحی شده است. البته مصارف دیگری مانند کاربردهای تزیینی و حتی سازه‌ای نیز دارد. با این وجود استحکام کششی مناسب الیاف شیشه باعث شده تا این الیاف در مخازن تحت فشار داخلی و خارجی، موشک و دیگر سازه‌ها نیز مورد استفاده قرار گیرد. ساخت الیاف شیشه معمولا از سنگ شیشه و الیاف توسط ذوب کردن سنگ شیشه با کنترل دقیق درجه حرارت حاصل می‌شود[٤].

رزین اپوکسی نقش تقویت کننده را در نمونه‌های ساخته شده بر عهده دارد. رزین‌های اپوکسی، در دسته بندی زمینه های پلیمری قرار دارند که از سایر زمینه‌های پلیمری گران قیمت‌تر است ولی مشهورترین و پرکاربردترین نوع ماتریس‌ها در PMCها محسوب می‌شود. نزدیک به ۷۰ درصد ماتریس‌های پلیمری مورد استفاده در صنایع هوافضا، از اپوکسی تشکیل شده‌اند. دلایل اصلی کاربرد فراوان این رزین‌ها در استحکام بالا، ویسکوزیته پایین، فراریت کم در طول فرآیند پخت و نرخ انقباض کم می‌باشد. از مزایای مهم آن‌ها نیز می‌توان به بهبود در خواص الکتریکی و شیمیایی اشاره کرد[٤].

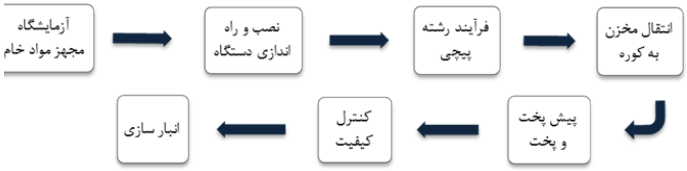
خصوصیات	واحد	الیاف شیشه	رزین اپوکسی
گرانش مخصوص[۸]	-	۲٫۵۴	۱٫۲۸
مدول یانگ[۹]	GPa	۷۲٫۴	۳٫۷۹
استحکام کششی نهایی[۱۰]	MPa	۳۴۴۷	۸۲٫۷۲

خواص الیاف شیشه و رزین اپوکسی [٤]

پوسته‌های کامپوزیتی

در بیان پوسته های کامپوزیتی باید گفت که هر ماده ای که استحکام بالا و خصوصیت مناسبی در برابر تنش های کششی داشته باشد مورد توجه صنایع لوله سازی و مخا قرار گرفته می‌گیرد. سازمان ASME طبق استانداردهای خاص لیستی از بهترین مواد با محدودیت دما و فشار را برای تولید لوله و مخازن تحت فشار ارایه کرد، که نام کامپوزیت‌ها در این لیست

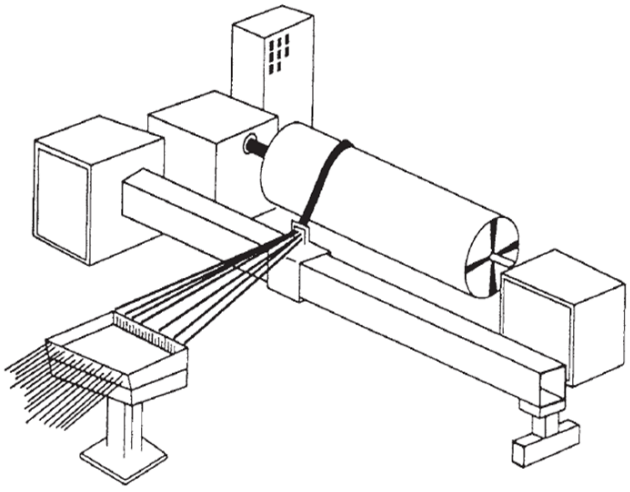
به چشم می‌خورد. پوسته‌های کامپوزیتی را می‌توان بر اساس جنس، ابعاد و فرم ظاهری طبقه بندی نمود و همچنین نسبت‌های بین طول، قطر و ضخامت در طبقه بندی آن موثر است.
امروزه یکی از کاربردهای مهم پوسته های کامپوزیتی، در تولید لوله و مخازن تحت فشار خارجی است. این لوله‌ها و مخازن علاوه بر فشار داخلی سیال در برابر فشارهای خارجی، استحکام خوبی دارند و می‌توان از آن‌ها در فشار خارجی بالا استفاده کرد. کاربرد لوله‌های کامپوزیتی در خطوط انتقال نفت از سکوها به پالایشگاه و کاربرد مخازن کامپوزیتی در صنایع دریایی و حمل نقل می‌باشد[۵]. شکل (٤) یک طرح کلی از تولید یک مخزن کامپوزیتی را نشان می‌دهد که عیوب ساخت در مراحل نصب و راه‌اندازی دستگاه و فرآیند رشته‌پیچی رخ می‌دهد.



شکل٤-طرح کلی از تولید یک مخزن کامپوزیتی

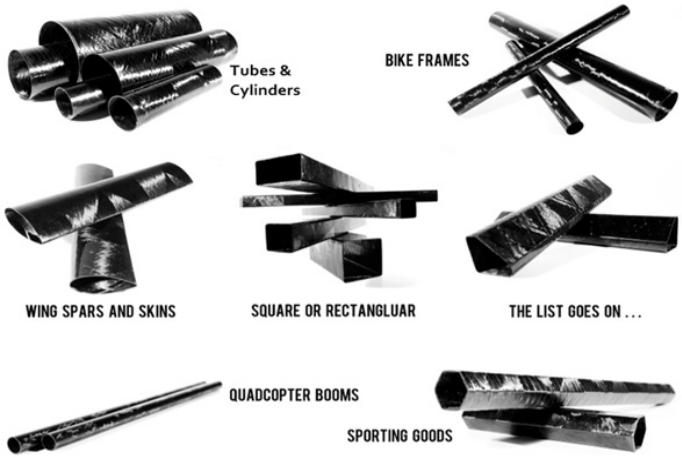
فرآیند رشته‌پیچی

امروزه دستگاه‌های پیچش الیاف، سرعت و دقت در تولید محصولات کامپوزیتی را افزایش داده‌اند. هر دستگاه پیچش الیاف دارای یک تعداد محور یا درجه آزادی مشخص است که هرچه تعداد این محورها بیشتر باشد، امکان تولید قطعات با شکل‌های پیچیده‌تر میسر خواهد شد. شکل (٥) دستگاه پیچش الیاف را نشان می‌دهد. این فرآیند نه تنها برای اشکال متقارن تک محوری بلکه برای مقاطع منشوری و حتی اشکال پیچیده نیز استفاده می‌شود. شکل (٦) نمونه‌ای از تولیدات دستگاه پیچش الیاف می‌باشد. رشته‌پیچی به دو صورت مرطوب و خشک انجام می‌شود که در ادامه توضیح داده می‌شود.
تعریف کامل تر از فرآیند رشته‌پیچی را اینگونه می‌توان مطرح کرد: پیچش الیاف به دور مندرل به صورت محیطی، مارپیچی، قطبی و طولی، که در هر بار چرخیدن، پوششی به اندازه ضخامت الیاف روی بدنه مندرل در جهت طولی ایجاد می‌شود. بعد از اتمام عمل پیچش الیاف، قطعه را جهت پخت در داخل کوره قرار می دهند.



شکل٥-دستگاه پیچش الیاف[٦]

مندرل‌ها از فلزات، پلاستیک ها، سرامیک ها و یا ترکیبی از این مواد ساخته می‌شوند. سطح خارجی آن‌ها باید صاف و سخت باشد. همچنین مندرل تحت فشار ناشی از کشش الیاف، نباید خراب شود یا تغییر فرم دهد. مندرل‌ها به دو قسمت جدا شونده و جدا نشونده تقسیم می‌شوند. در مندرل‌های جدا نشونده، مانند مخازن استوانهای، مندرل به عنوان یک لایه آب بندی عمل می‌کند. هدایت کننده‌های الیاف وظیفه کنترل نیروی کششی و نظم دهی به الیاف را به هنگام پیچیده شدن به دور مندرل دارند. بستر رزین قسمتی مهم در دستگاه پیچش الیاف است.



شکل٦- انواع قطعات تولید شده با دستگاه پیچش الیاف[٧]

رشته‌پیچی به دو صورت مرطوب و خشک انجام می‌شود که هرکدام خصوصیات مربوط به خود را دارند. دستگاه‌های رشته‌پیچی شامل دو نوع افقی و عمودی هستند که بسته به نوع فرآیند تولید، انتخاب می‌شوند. بارزترین مزایا و معایب فرآیند رشته‌پیچی در جدول (٢) آورده شده است.

مزیت ها	محدودیت ها
تولید مخازن یکپارچه و بدون درز	تولید قطعات با شکل های محدب
توجیه اقتصادی در تولیدات بالا	الیاف نمی‌تواند به راحتی در جهت طولی قطعه خوابانده شود.
رزین اضافی در سازه داخل نمی‌شود	هزینه مندرل برای قطعات بزرگ بالاست.
بخاطر استفاده از رشته های زیاد الیاف، هزینه پارچه بافی اولیه حذف می‌شود	سطح خارجی، صافی سطح مناسبی ندارد.

مزایا و معایب فرآیند رشته‌پیچی[٦]

مراجع

[۱] م.محسنی شکیب ؛ مکانیک سازه‌های مرکب؛ انتشارات دانشگاه امام حسین (ع) ؛ تهران؛ چاپ اول؛ ۱۳۸۵
[۲] ا. رجبی، م. جمالی، م. کدیور؛ مفاهیم اساسی در مواد مرکب؛ انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر؛ تهران؛ جلد اول؛ چاپ اول؛ ۱۳۸۵
[۳] M. C. Y. Niu, Airframe Structrual Design, Conmilit Press, ۱۹۸۸
[٤] کاو، ا.باوی، م.صالحی، ن.باوی؛ مکانیک مواد مرکب؛ انتشارات عابد؛ تهران؛ چاپ دوم؛ ۱۳۹۲
[٥] م. مشایخی؛ بررسی کمانش پوسته‌های متقارن و حل آن با روش اجزا محدود؛ دانشکده مکانیک؛ دانشگاه صنعتی اصفهان؛ ۱۳۷٤
[٦] S. V. Hoa, Principles of the Manufacturing of Composite Materials, DEStech publications, Inc, ۲۰۰۹
[٧] https://www.xwinder.com

استفاده از انرژی خورشیدی به منظور تولید سوخت هیدروژنی

سید امیررضا عبداللهی دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی مکانیک، تبریز، ایران
سید فرامرز رنجبر استاد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

Use of Solar Energy to Produce Hydrogen Fuel

Seyyed Amirreza Abdollahi, Master)sstudent, Tabriz University, Department of Mechanical Engineering, Tabriz, Iran
Seyyed Faramarz Ranjbar, Professor, Department of Mechanical Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran



چکیده

این مقاله مقدمه‌ای بر انرژی هیدروژنی و تولید آن را خلاصه می‌کند. تولید هیدروژن روش‌های مختلفی دارد که هم اکنون از بسیاری از روش‌های مخرب محیط زیست (مانند استفاده از سوخت‌های فسیلی) استفاده می‌شود. ما در پژوهش کنونی، به بررسی پاک ترین روش تولید سوخت هیدروژنی پرداخته ایم. همچنین در خلال پژوهش، به معرفی و بررسی پژوهش‌ها و فعالیت‌های صنعتی سایر محققان، شرکت ها، تصمیمات و کارهای آنها در مورد تولید هیدروژن توسط انرژی خورشیدی پرداخته شد و سپس به بحث فیزیک، اصول، مواد و سیستم های تولید هیدروژن به عنوان سوخت پرداخته شد. در این بین، نکاتی مربوط به مقرون به صرفه بودن از نظر اقتصادی و هزینه انواع روش‌های تولید هیدروژن ذکر و مقایسه شد. در پایان جمع بندی کلی و جزئی برای حال و آینده این سوخت و روش تولید آن از نظر مهندسی و سیاسی صورت گرفت.

واژه‌های کلیدی: انرژی هیدروژنی، انرژی پاک، انرژی خورشیدی، تولید هیدروژن، سلول های خورشیدی

Abstract

This article summarizes an introduction to hydrogen energy and its production. Hydrogen production has different methods, which are currently used in many ways that are harmful to the environment (such as the use of fossil fuels). In the current research, we have investigated the cleanest method of hydrogen fuel production. Also, during the investigation, the research and industrial activities of other researchers, companies, their decisions, and works regarding the production of hydrogen by solar energy were introduced and discussed. Then the physics, principles, materials, and systems of hydrogen production were discussed. It was paid as fuel. In the meantime, some points related to the economic efficiency and cost of various hydrogen production methods were mentioned and compared. In the end, a general and partial summary of this fuel)s present and future and its production method was made in terms of engineering and politics.

Keywords: Hydrogen energy, Green energy, Solar energy, Hydrogen production, Solar cells

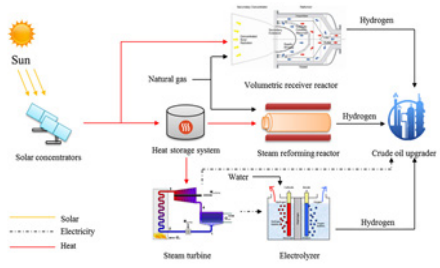
۱- مقدمه

هیدروژن سبز (GH2 یا GH۲) هیدروژنی است که توسط انرژی‌های تجدیدپذیر [۱] یا از انرژی با تولید کم کربن [۲] بدست می‌آید. هیدروژن سبز به طور قابل توجهی انتشار کربن کمتری نسبت به هیدروژن خاکستری دارد، که با اصلاح بخار گاز طبیعی تولید می شود که بخش عمده ای از بازار هیدروژن را تشکیل می‌دهد. هیدروژن سبز تولید شده توسط الکترولیز آب کمتر از ۰/۱ درصد کل تولید هیدروژن است [۳]. ممکن است برای کربن زدایی بخش هایی که به سختی برق رسانی می شوند، مانند تولید فولاد و سیمان، و در نتیجه به محدود کردن تغییرات آب و هوایی کمک کند.

بیش از ۱۲۵ سال پیش، ژول ورن درباره هیدروژن سبز به ما گفت. او در رمان جزیره اسرارآمیز خود به آن اشاره کرده است... «و به جای زغال سنگ چه چیزی می سوزانند؟... آب!... آبی که توسط الکتریسیته به عناصر اولیه خود تجزیه می شود... روزی به عنوان سوخت استفاده می شود». [۳]

هیدروژن مولکولی به عنوان یک حامل انرژی به کربن زدایی سیستم انرژی ما به منظور دستیابی به اهداف کاهش انتشار کربن کمک می‌کند، به عنوان مثال همانطور که در توافقنامه پاریس بیان شده است. برای ایجاد تفاوت معنادار و دستیابی به انتشار خالص صفر، هیدروژن باید از طریق تقسیم آب با استفاده از برق تجدیدپذیر تولید شود. برق فتوولتائیک خورشیدی (PV) یکی از ارزان‌ترین و پرکاربردترین منابع برق تجدیدپذیر با بیش از ۵۲۰ گیگاوات ظرفیت نصب شده تجمعی در سراسر جهان تا سال ۲۰۱۸ است [٤]، [٥].

به همین دلیل، به عنوان حامل اصلی انرژی برای تولید هیدروژن سبز در نظر گرفته می شود. در حالی که روش های دیگری برای تولید هیدروژن خورشیدی مانند واکنش های فوتوکاتالیستی [۶] و تقسیم آب فوتوالکتروشیمیایی مستقیم [۷]، [۸] وجود دارد، فناوری امروزی تنها برای سیستم‌های الکترولیز PV-E) PV-E) در دسترس است.

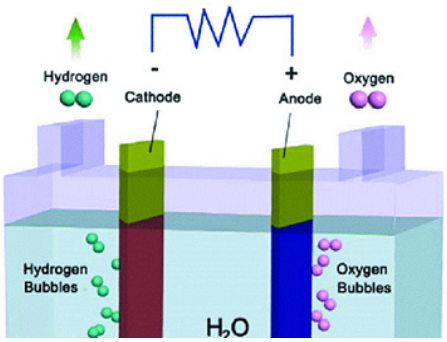


شکل ۱- شماتیک مراحل تولید هیدروژن با استفاده از انرژی خورشیدی

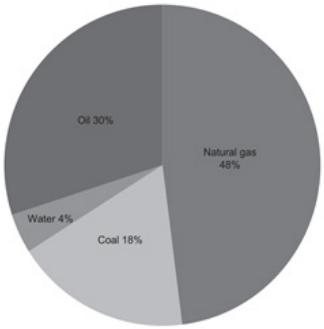
۲- مواد و روش ها

سلول‌های PV مبتنی بر سیلیکون با حدود ۹۵٪ سهم از تولید فعلی بازار را تحت سلطه خود دارند و در چند سال اخیر شاهد کاهش قابل توجه هزینه آنها بوده اند. با این وجود، هزینه تخمینی هیدروژن سبز از PV-E مبتنی بر سیلیکون هنوز برای تولید پایدار بسیار بالا است. البته این امر بسته به ماهیت و سطح مطالعات بسیار متفاوت است: ۳$-۱۷ kg-۱، [۱۰] ۱۲$ kg-۱، [۱۱] و ۱۲$-۱۶ kg-۱، [۱۲]، [۱۳]. هزینه هیدروژن سبز تولید شده به عوامل متعددی مانند هزینه‌های تجهیزات، هزینه الکترولیز، هزینه سیستم (BOS) و هزینه کارخانه (BOP)، هزینه عملیات و نگهداری (O & M) و کارایی سیستم بستگی دارد. [۱۱]، [۱۴]، [۱۵] از بین تمامی این عوامل، راندمان سیستم یا به عبارت دیگر نسبت راندمان خورشیدی به هیدروژن تولیدی (STH) مستقیماً بر سایر عوامل تأثیر می‌گذارد و می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه اندازه نیروگاه‌های PV و الکترولیز شود. [۱۶] سلول‌های PV سیلیکونی نزدیک به رسیدن به بازده تئوری خود در حدود ۳۰٪ هستند که به این معنی است که دامنه زیادی برای افزایش کارایی STH با PV سیلیکونی وجود ندارد [۱۷]. برخلاف PV سیلیکونی، سلول‌های فتوولتائیک متمرکز (CPV) مبتنی بر عناصر گروه III-V قبلاً به راندمان بسیار بالاتری در حدود ۴۷٪ (سلول ۴) رسیده‌اند و از نظر تئوری می‌توانند به راندمان بیش از ۸۰٪ برسند [۱۸]، [۱۹]. در سطح ماژولار، ۴۳٫۴٪ [۱۸] و ۴۳٪ [۲۰] ماژول های CPV کارآمد با بازده مدولار پیش بینی شده تا سال ۲۰۳۵ ۴۷٪ نشان داده شده اند [۹]. علاوه بر این، آنها می توانند در شدت‌های بالای نور (بیش از ۱۰۰۰ سان) عمل کنند که تا حد زیادی هزینه تولید بالاتر را جبران می‌کند [۲۱].

راندمان بالای سلول‌های CPV محققان را تشویق کرده است تا در سال‌های اخیر پارامترهای CPV-E (CPV-electrolysis) را بررسی کنند. به عنوان مثال، چانگ و همکارانش با استفاده از یک سلول PV GaAs تک اتصالی که با یک مبدل DC-DC به الکترولایزر مبادله پروتون (PEM) متصل شده است، بازده STH را حدود ۲۰٫۶٪ گزارش کردند [۲۲]. ناکامورا و همکارانش با استفاده از یک سیستم CPV-E، بدون استفاده از الکترونیک قدرت، راندمان STH ۲۴٫۴٪ را گزارش کردند [۲۳]. تطبیق توان با



بهینه‌سازی نسبت تعداد الکترولایزرها به سلول‌های CPV انجام شد. بالاترین راندمان STH (۳۱٪) در مقیاس آزمایشگاهی از طریق جفت مستقیم دو الکترولایزر PEM با یک سلول CPV، که در ۴۲ سان کار می‌کنند، گزارش شد [۲۴]. تمام این گزارش‌های قبلی سلول‌های CPV را با الکترولیزهای PEM که با هزینه‌ها و BOP بالا هستند همراه کردند [۱۰].



شکل ۳- فراوانی توزیع روش‌های تولید هیدروژن در جهان

انتخاب مواد فوتوالکترود مهمترین جنبه طراحی سیستم های PEC است زیرا تقسیم آب کارآمد به یک نیمه هادی مناسب برای تبدیل انرژی فوتون به هیدروژن نیاز دارد. برای تولید هیدروژن مبتنی بر PEC کارآمد، تمیز و مقرون به صرفه، یک فوتوالکترود نیمه هادی باید حداقل شرایط زیر را برآورده کند:

- بازده تبدیل: ۱۰٪
- چگالی جریان (Jpc): ۱۰e۱۵ mA/cm۲
- دوام ماده: > ۲۰۰۰ ساعت
- مقرون به صرفه بودن

از آنجایی که عملکرد تولید هیدروژن یک سیستم PEC تا حد زیادی تحت تاثیر نوع فوتوالکترود نیمه هادی است، مطالعات زیادی بر روی طراحی، آماده سازی، پردازش و اصلاح نیمه هادی های فوتواکتیو متمرکز شده است. فرآیند انتقال الکترون، انرژی شکاف طیفی و ساختار طیفی نیمه هادی ها عواملی هستند که به طور قابل توجهی بر کارایی یک فوتوالکترود تأثیر می گذارند [۱۱]. فوتوالکترودهای موجود را می توان به‌صورت زیر تغییر داد:

- افزایش پاسخ آن‌ها به نور مرئی با تغییر شکاف باند
- افزایش نرخ انتقال الکترون
- تغییر در سطوح انرژی VB/CB

برخی از تکنیک‌های موجود اصلاح فوتوالکترود عبارتند از داپینگ، حساس‌سازی رنگ، تابش سریع یون‌های سنگین (SHI)، بارگذاری یون فلزی، رسوب‌گذاری الکترود و... . برخی از مزایای استفاده از فوتوالکترودهای اصلاح‌شده به شرح زیر است:

- تولید و جداسازی کارآمد $h^+ - e^-$
- جلوگیری از ترکیب مجدد $h^+ - e^-$
- افزایش عمر مفید

۳- بحث و بررسی

انرژی هیدروژنی یک منبع پاک انرژی است که می تواند نقش مهمی در برآوردن نیازهای انرژی آینده جهان به شیوه ای سازگار با محیط زیست داشته باشد. بنابراین، رویکردهای سازگار با محیط زیست اخیر برای تولید هیدروژن که می تواند یک انتقال آرام به هزینه‌های تولید هیدروژن را امکان‌پذیر سازد، در مقایسه با رویکردهای تولید هیدروژن مبتنی بر سوخت‌های فسیلی آلاینده، تحت تحقیقات فشرده برای امکان‌سنجی و مقرون به‌صرفه بودن قرار گرفته‌اند.

واضح است که تمام رویکردهای مبتنی بر انرژی های تجدیدپذیر برای تولید هیدروژن نسبت به رویکردهای تولید هیدروژن مبتنی بر سوخت های فسیلی با



محیط زیست سازگارتر هستند. با این حال، هزینه تولید هیدروژن با استفاده از انرژی های تجدیدپذیر باید بیشتر کاهش یابد تا در مقیاس بزرگ اعمال شود. در میان فناوری های تولید هیدروژن مبتنی بر انرژی های تجدیدپذیر، فناوری تولید هیدروژن مبتنی بر زیست توده (بایومس) دارای مزایای خاصی نسبت به سایر فناوری ها از نظر اقتصادی و زیست محیطی است. به طور خاص، تحت شرایط ارزیابی مشابه با مطالعات دیگر، تأثیر زیست محیطی تولید هیدروژن از طریق الکترولیز زیست توده کوچک تر از روش های دیگر است و آن را به یک نامزد بالقوه برای یک تکنیک تولید انرژی هیدروژن دوست دار محیط زیست با مصرف انرژی کم تبدیل می کند.

بسیاری از کارهای تجربی نشان می دهند که با بهینه سازی پیکربندی سلول های CPV (۴۰٫۷ درصد کارآمد) و الکترولیزهای قلیایی موجود (۷۰ درصد کارآمد) می توان یک سیستم پایدار با راندمان STH ۲۸٪ به دست آورد. تجزیه و تحلیل دقیق TEA نشان داد که با وجود هزینه بالای این سلول های CPV، LCOH با فارم های خورشیدی CPV، امروزه می تواند به آنچه با استفاده از فارم های خورشیدی c-Si به دست می آید نزدیک شود. از آنجا که سلول های خورشیدی تجاری c-Si به حد اشباع نزدیک شده اند، ما تجزیه و تحلیل حساسیت عوامل متعددی را انجام داده ایم که بر سیستم های CPV و الکترولیز قلیایی تأثیر می گذارند. اینها شامل راندمان ماژول CPV، ظرفیت نصب شده، طول عمر اجزای دستگاه الکترولیز و چگالی جریان عملیاتی است. نتایج نشان می دهد که وقتی ظرفیت نصب شده فناوری CPV با سیلیکون مطابقت دارد و وقتی چگالی جریان عملیاتی الکترولیز به حدود ۰٫۷ Acm-۲ می رسد، هزینه سطح سازی شده H۲ از سیستم های CPV-الکترولیز می تواند به کمتر از ۲ دلار به ازای هر کیلوگرم کاهش یابد. هزینه هیدروژن ۲۰۲۱ از اصلاح کننده های متان بخار با جداسازی CO۲ بین ۱٫۲ تا ۲٫۸ دلار در هر کیلوگرم تا ۱٫۶ دلار است.

هیدروژن را می توان از آب با راندمان و نرخ تولید بالا تولید کرد. افزایش قابل توجه راندمان همانطور که در این کار مشاهده می شود راندمان STH را با سایر موتورهای کاربردی در صنعت هم تراز می کند. مانند هر فناوری دیگری، فناوری ارائه شده در اینجا با گذشت زمان و مانند هر فناوری دیگر، هزینه آن کاهش می یابد و تنها با انگیزه های قوی می توان آن را زنده کرد. در سال های اخیر، صنعت PV سیلیکون افت قیمتی بیش از ۸۰ درصدی را تجربه کرد که عمدتاً ناشی از صنایع یارانه ای بود که می توانستند محصولات را با سود کم یا بدون سود بفروشند. از سوی دیگر، CPV از فقدان یک زنجیره تامین اختصاصی رنج می برد که بسیاری از شرکت ها را مجبور کرده است که بیشتر قطعات (ردیاب ها، ماژول ها و...) را خودشان توسعه داده و تولید کنند. ما امیدواریم که این نتایج و تجزیه و تحلیل هزینه، محققان، دولت ها و شرکت ها را تشویق کند تا الکترولیز CPV برای تولید تجاری H۲ را بررسی کنند. انگیزه اصلی، در کوتاه مدت، ممکن است ثروت نباشد، بلکه محیط زیست باشد. و این امر به مرور زمان مواد لازم برای پیشرفت و شکوفایی را به همراه خواهد داشت.

۴-نتیجه گیری

مزایا و معایب مختلف از نظر بازده اگزرژی، عامل پایداری و کارایی اقتصادی مقایسه می شوند. اگرچه شاید اصلاح بخار هیدروکربن ها دارای مزایای اضافی باشد، با این حال به دلیل ویژگی انرژی فسیلی تجدید ناپذیر و اثرات زیست محیطی آنها محدود می مانند. الکترولیز آب برای کشورهای گرمسیری با پتانسیل تابش خورشیدی قوی یک گزینه جالب است که توسعه زیادی را با تجاری سازی الکترولیزهای دمای بالا در نظر می گیرد.

راندمان تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته محدودیت اصلی در بهبود بازده کلی تولید هیدروژن است. در مقایسه، فناوری های الکترولیز خورشیدی، فوتوالکتروشیمیایی و فتوشیمیایی می توانند برای ایستگاه های سوخت هیدروژن سودمندتر باشند، زیرا فرآیندهای کمتری مورد نیاز است، می توان از منابع انرژی خارجی اجتناب کرد و همچنین از سیستم های توزیع هیدروژن اضافی نیز جلوگیری کرد.

فرآیندهای دمای بالا نیاز به توسعه مواد بیشتری دارند که بر روی غشاهای دمای بالا و مبدل های حرارتی برای فرآیندهای حرارتی خورشیدی تمرکز دارد. بنابراین سیستم های استفاده از هیدروژن خورشیدی جهان عمدتاً از سیستم های هیدروژن فتوولتائیک برای حمل و نقل و کاربردهای ثابت تشکیل شده است.

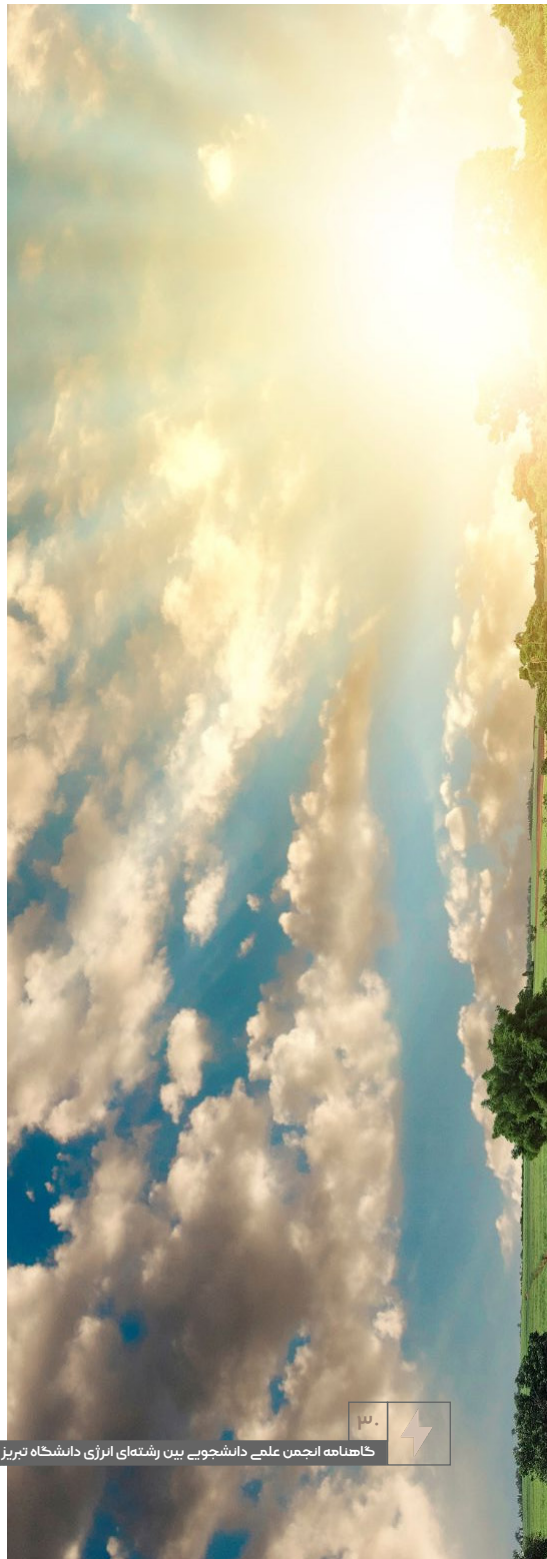
تولید هیدروژن سازگار با محیط زیست از طریق خورشید برای حفظ محیط زیست بسیار مهم است زیرا در حین تولید هیچ گونه گاز گلخانه ای منتشر نمی کند.

در حال حاضر این یک کار چالش برانگیز برای محققان و دانشمندان است زیرا راندمان اگزرژی آرایه های PV و از این رو، بازده کلی اگزرژی یک سیستم هیدروژنی خورشیدی پایین است.

بسیاری از انرژی های تجدیدپذیر دغدغه های مجامع سایسی، اجتماعی یا زیست محیطی دارند که باید بر آن ها غلبه کرد. با این حال، همه این موانع به شدت توسط دولت و صنعت مورد توجه قرار می گیرند، و باید در نظر گرفت که آیا مزایا سرمایه گذاری بیشتری را امروز تضمین می کنند یا خیر.

۵-مراجع

[۱] J. Magill, "Blue Vs. Green Hydrogen: Which Will The Market Choose?," ۲۰۲۱.
[۲] R. Cho, "Why We Need Green Hydrogen," news.climate.columbia.edu, ۲۰۲۱.
[۳] Activesustainability.com, "WHAT IS GREEN HYDROGEN?," www.activesustainability.com, ۲۰۱۹.
[٤] H. A. and S. A.-Z. M. Taylor, P. Ralon, "Renewable power, generation cost," Int. Renew. Energy Agency, ۲۰۲۰.
[٥] A. Jaeger-Waldau, "PV Status Report ۲۰۱۹," Publications Office of the European Union, ۲۰۱۹.
[٦] H. Idriss, "Hydrogen production from water: past and present," Curr. Opin. Chem. Eng., vol. ۲۹, pp. ۲۰۲۰, ۸٤-۷٤.
[۷] N. W. and H. I. M. Khan , I. Shankiti , A. Ziani, "A Stable Integrated Photoelectrochemical Reactor for H۲ Production from Water Attains a Solar-to-Hydrogen Efficiency of ٪۱۸ at ۱٥ Suns and ٪۱۳ at ۲۰۷ Suns," Angew. Chem., vol. ٥۹, pp. ۲۰۲۰, ۱٤۸۰۸-۱٤۸۰۲.
[۸] M. A. K. and H. I. A. Ziani, I. Al-Shankiti, "Integrated Photo-Electrocatalytic (PEC) Systems for Water Splitting to Hydrogen and Oxygen under Concentrated Sunlight: Effect of Internal Parameters on Performance," Energy Fuels, vol. ۳٤, pp. ۲۰۲۰, ۱۳۱۸٥-۱۳۱۷۹.
[۹] K. H. and S. K. M. Wiesenfarth , S. Philipps , A. Bett, "Current status of concentrator photovoltaic (CPV) technology," Fraunhofer Inst. Sol. Energy Syst., ۲۰۱۷.
[۱۰] M. L. and L. R. L. C. Andreani , A. Bozzola , P. Kowalczewski, "Silicon solar cells: toward the efficiency limits," Adv. Phys., vol. ۲۰۱۹, ٤.
[۱۱] D. I. Zamfirescu C, "Assessment of a new integrated solar energy system for hydrogen production.," Sol. Energy, ۲۰۱٤.
[۱۲] Ding N, Azargohar R, Dalai A K, et al (۲۰۱٤) Catalytic gasification of cellulose and pinewood to H۲ in supercritical water. Fuel, ٤۲٥-٤۱٦:(۱۳)۱۱۸
[۱۳] Boudries, Rafika (۲۰۱٦) Techno-economic Assessment of Solar Hydrogen Production Using CPV-electrolysis Systems. Energy Procedia, ۱۰۱-۹۳:۹٦
[۱٤] Boudries, R (۲۰۱۷) Techno-economic study of hydrogen production using CSP technology. International Journal of Hydrogen Energy, ۲۰۱۷:S۰۳٦۰۳۱۹۹۱۷۳۲٦٥۷
[۱٥] Rami S, El-Emam, Hasan Özcan, (۲۰۱۹) Comprehensive review on the techno-economics of sustainable large-scale clean hydrogen production. Journal of Cleaner Production,Volume ۲۲۰, Pages ٦۸۹-٥۹۳
[۱٦] Lv P, Wu C, Ma L, et al (۲۰۰۸) A study on the economic efficiency of hydrogen production from biomass residues in China. Renewable Energy, -۱۸۷٤:(۸)۳۳ ۱۸۷۹
[۱۷] Reiter G, Lindorfer J (۲۰۱٥) Global warming potential of hydrogen and methane production from renewable electricity via power-to-gas technology. The International Journal of Life Cycle Assessment, ٤۸۹-٤۷۷:(٤)۲۰
[۱۸] Ozbilen A, Dincer I, Rosen M A (۲۰۱۳) Comparative environmental impact and efficiency assessment of selected hydrogen production methods. Environmental Impact Assessment Review, ۹-٤۲:۱
[۱۹] Solli C, Stromman A H, Hertwich E G (۲۰٦) Fission or Fossil: Life Cycle Assessment of Hydrogen Production. Proceedings of the IEEE, -۱۷۸٥:(۱۰)۹٤ ۱۷۹٤
[۲۰] Utgikar V, Thiesen T (۲۰٦) Life cycle assessment of high temperature electrolysis for hydrogen production via nuclear energy. International Journal of Hydrogen Energy, ۹٤٤-۹۳۹:(۷)۳۱
[۲۱] D. C. Bobela , L. Gedvilas , M. Woodhouse , K. A. Horowitz and P. A. Basore , Economic competitiveness of III–V on silicon tandem one-sun photovoltaic solar modules in favorable future scenarios, Prog. Photovoltaics, ٤۱ , ۲٥, ۲۰۱۷ ٤۸—
[۲۲] J. E. Haysom , O. Jafarieh , H. Anis , K. Hinzer and D. Wright , Learning curve analysis of concentrated photovoltaic systems, Prog. Photovoltaics, , ۲۳ , ۲۰۱٥ ۱٦۸٦— ۱٦۷۸
[۲۳] D. Stolten and B. Emonts , Hydrogen Science and Engineering, ۲ Volume Set: Materials, Processes, Systems, and Technology , John Wiley & Sons, ۲۰۱٦, vol. vol. ۱
[۲٤] M. Steinberg and H. C. Cheng , Modern and prospective technologies for hydrogen production from fossil fuels, Int. J. Hydrogen Energy, ۷۹۷ , ۱٤, ۱۹۸۹ ۸۲۰—





واسنجی چند ایستگاهه مدل ذوب برف رواناب (SRM) با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردي: حوضه آجی چای)

وحید نورانی*۱، امین افخمی‌نیا ۲ و صغری اندریانی۳

۱-تبریز هیئت علمی دانشکده عمران، دانشگاه تبریز
۲-دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز
۳-پژوهشگر پسادکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

چکیده

منابع آبی موجود و توانایی دسترسی به آن ها روز به روز محدودتر می‌شود. به همین دلیل، اهمیت برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب بیش‌ازپیش مشخص می‌گردد. پوشش برف در نواحی کوهستانی نقش بسیار مهمی در حفظ تعادل بین ورودی و خروجی آب دارد. امروزه با توجه به مشکل کمبود آب و پیشرفت های صورت گرفته در زمینه‌ی هیدرولوژی و مدیریت منابع آب در جهت مدیریت بهتر منابع برای آیندگان باید از مدل‌های شبیه‌سازی و پیش‌بینی موجود استفاده کرد و توسعه داد. یکی از مهمترین متغیر ها برای تخمین ذوب برف، مساحت پوشش برف می‌باشد که به‌منظور محاسبه آن می‌توان از فنّاوری‌های جدید سنجش از راه دور بهره برد. در این پژوهش سعی بر آن شد که با استفاده از مدل SRM درصد تأثیرگذاری ذوب برف بر روی جریان خروجی حوضه‌ی آجی چای برآورد شود. به این منظور با استفاده از پارامترهای ضرایب رواناب برف و باران که عدم قطعیت بالاتری نسبت به پارمتر های دیگر دارند، دو روش واسنجی چند ایستگاهه و تک ایستگاهه مورد بررسی و مقایسه قرارگرفت و جهت تخمین مساحت پوشش برف از تصاویر سنجده‌ی MODIS ۸-روزه (MOD۱۰A۲) استفاده گردید. عملکرد مدل SRM بین سال‌های ۱۳۸۷ الی ۱۳۹۱ ارزیابی شد. نتایج شاخص R۲ نشان‌دهنده بهبود عملکرد مدل در حالت واسنجی چند ایستگاهه نسبت به روش تک ایستگاهه به طور میانگین ۱۵٪ در طول دوره ۵ ساله شبیه سازی می‌باشد و همچنین سهم ذوب برف در منطقه مورد مطالعه در ماه‌های فرودین و اردیبهشت به اوج خود می‌رسد و با افزایش دما سهم مذکور به تدریج کمتر می‌شود.

کلیدواژه‌ها: شبیه‌سازی رواناب ذوب برف، شبیه‌سازی چندایستگاهه، RS، SRM، MODIS.

۱- مقدمه

گرم شدن کره زمین و تغییرات اقلیمی بر روی ذخایر منابع آب موجود و محدود شدن توانایی دسترسی به منابع جدید در سالهای اخیر تأثیر گذاشته است. با توجه به این موضوع، ضرورت مدیریت منابع آب بیش از هرزمان دیگری احساس می‌شود. منابع آب یکی از مهمترین مباحث در سالهای اخیر بوده و تاکنون تحقیقات متعددی در این مورد انجام شده است. در حوضه های کوهستانی ذوب برف در اکثر مواقع به‌ویژه در فصول گرم سال، اصلی‌ترین منبع تأمین آب و تضمین آن در پایین دست حوضه است. ذوب برف تقریباً ۵۰٪ از آبهای سطحی و زیرزمینی مناطق کوهستانی را تأمین می‌کند (Vafakhah و همکاران، ۲۰۱۵). بنابراین درک فرآیند ذوب برف در مدیریت منابع آب این مناطق بسیار حائز اهمیت است. پدیده‌ی تغییر اقلیم و گرمایش زمین می‌تواند در تغییر زمان ذوب برف و مقدار رواناب ناشی از آن در حوضه‌های کوهستانی مؤثر باشد. در نتیجه، شبیه سازی دقیق این پدیده برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب بسیار مهم بوده و همچنین با پیش‌بینی درست منابع موجود، می‌توان ریسک وقوع پدیده هایی مانند سیلاب را کاهش و زیان‌های ناشی از آن که به دلیل ذوب سریع برف رخ می دهد را مدیریت کرد (نجف زاده، ۱۳۸۳).

در دهه های گذشته آبشناسان به دنبال روش هایی مناسب برای مدل‌سازی ذوب برف و تأثیر آن بر روی رواناب خروجی در پایین دست حوضه بودند و دو رویکرد اصلی برای این موضوع معرفی نموده‌اند: الف) رویکرد تعادل-انرژی ب) رویکرد درجه-روز (Zhang و همکاران، ۲۰۱۴). رویکرد تعادل- انرژی جامع‌ترین روش برای شبیه سازی و تخمین جریان سطحی با به کارگیری جریان انرژی بین برف، خاک و هوا می‌باشد. این روش تعداد داده‌ها و پارامترهای ورودی زیادی نیاز دارد و در حوضه هایی که با کمبود داده مواجه می‌باشند قابلیت اجرا ندارند (Abudu و همکاران، ۲۰۱۶). برخلاف مدل های پیچیده مبتنی بر رویکرد تعادل-انرژی، استفاده از روش درجه-روز یکی از آسان‌ترین روش‌ها برای محاسبه مقدار ذوب برف است چرا که کاربرد مدل برای شبیه‌سازی در مناطق خشک کوهستانی که با محدودیت داده مواجه هستند، مناسب می‌باشد (Rulin و همکاران، ۲۰۰۸). علیرغم موفقیت مدل‌های ذوب برف در شبیه‌سازی رواناب با رویکرد درجه-روز، برخی محققان استدلال کرده‌اند که پارامتر دما را نمی‌توان به عنوان تنها عامل مؤثر در ذوب برف در نظر گرفت و بر لزوم به‌کارگیری تابش خورشیدی و آلبدوی محیط به عنوان عوامل مؤثر در تامین انرژی ذوب برف تأکید کرده‌اند (Li and Wang، ۲۰۰۸؛ Vafakhah و همکاران، ۲۰۱۵). از طرفی چندین محقق در تحقیقات خود با استفاده از تابش خورشیدی و آلبدو به این نتیجه رسیدند که دما به تنهایی مؤثرترین عامل تأثیرگذار در ذوب برف است (Zeinivand and Smedt، ۲۰۱۰؛ Saydi و همکاران، ۲۰۱۹) مدل های این رویکرد به سادگی آنها شناخته می‌شوند و در مطالعات گذشته با موفقیت اجرا و بررسی شده است (Tekeli و همکاران، ۲۰۰۵؛ Lee و همکاران، ۲۰۰۵).

مدل ذوب برف رواناب (SRM) یک مدل مفهومی بوده و بر اساس قوانین فیزیکی شکل گرفته است و به عنوان یکی از مدلهای مبتنی بر رویکرد درجه-روز، به‌منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب روزانه در حوضه‌های کوهستانی که ذوب برف عامل اصلی تولید رواناب است، توسعه یافته است (Martinec، ۱۹۷۵).

برآورد دقیق سطح پوشیده از برف (SCA) به عنوان اصلی‌ترین ورودی مدل، یکی از عملیات پایه‌ای در زمینه مدیریت منابع آب در مناطق کوهستانی است چرا که بخش زیادی از نزولات به صورت برف می‌باشد. به این منظور در حوضه هایی که ایستگاه برف سنجی مناسبی ندارند، می‌توان از داده‌های ماهواره‌ای برای محاسبه مساحت پوشش برف استفاده نمود. سنجنده MODIS یکی از پرکاربردترین سنجنده‌های حال حاضر است که با توجه به رایگان بودن تصاویر و تفکیک زمانی بالا (روزانه) از محبوبیت بالایی بین محققین برخوردار است (Ringgs and Hall، ۲۰۱۶). در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در مورد کارایی این تصاویر و مقایسه آنها انجام شده است که دقت آنها را مناسب ارزیابی کرده‌اند (Tekeli و همکاران، ۲۰۰۵؛ Zhang و همکاران، ۲۰۱۴؛ Han و همکاران، ۲۰۱۹). لازم به ذکر است که در دو دهه اخیر با پیشرفت ماهواره‌های سنجش از دور برای برآورد سطح پوشیده از برف، این مدل در حوضه‌های مختلف به صورت موفقیت آمیز اجرا شده است که از جمله می‌توان به تحقیقات Malcher and Heidinger (۲۰۰۱) در اتزال اتریش، Seidel and Martinec (۲۰۰۲) در آلپ سوئیس، Harshburger و همکاران (۲۰۱۰) در غرب امریکا Saydi و همکاران (۲۰۱۹) در چین و مختاری مطلق و همکاران (۱۳۹۳) و فتاحی و همکاران (۱۳۹۰) در ایران اشاره کرد.

در تحقیق حاضر با استفاده از رویکرد درجه-روز، مدل SRM با بهره‌گیری از داده های زمینی و ماهواره‌ای، رواناب منطقه مورد مطالعه به دو روش واسنجی چند ایستگاهه (تقسیم حوضه به چندین زیر حوضه که دارای دبی سنج در خروجی هستند) و تک ایستگاهه (خروجی کل حوضه) شبیه‌سازی گردید. تا به امروز روش چند ایستگاهه برای واسنجی مدل SRM مورد استفاده قرار نگرفته است. در این روش واسنجی پارامترها به طور هم‌زمان و با استفاده از داده‌های چندین ایستگاه مشاهداتی صورت می‌پذیرد. تحقیقات صورت گرفته بر روی مدل‌های هیدرولوژیکی دیگر نشان می‌دهد که با استفاده از روش واسنجی چند ایستگاهه خطاها کاهش و دقت مدلسازی افزایش می‌یابد چرا که داده های جریان مشاهداتی در طی دوره‌های واسنجی و صحت سنجی مدل در حوضه‌های بزرگ از لحاظ ناهمگونی‌های قسمت‌های کوچک‌تر حوضه ناتوان می‌باشند (Andersen و همکاران، ۲۰۰۱؛ Saeidifarzad و همکاران، ۲۰۱۴). در مدل‌های دارای پایه فیزیکی، تعداد پارامترها زیاد است و مدلسازی تک ایستگاهه توانایی توصیف تغییرات مکانی در حوضه‌های بزرگ را ندارد. در کل، استفاده از روش واسنجی چند ایستگاهه امکان استفاده از تمامی داده‌های موجود در حوضه را فراهم می‌نماید که باعث کاهش عدم قطعیت در مدلسازی، مخصوصا حوضه‌های بزرگ که دارای ناهمگونی‌ها فیزیکی متعددی هستند، می‌گردد (Bai و همکاران، ۲۰۱۷؛ Bekelr and Nicklow، ۲۰۰۷).

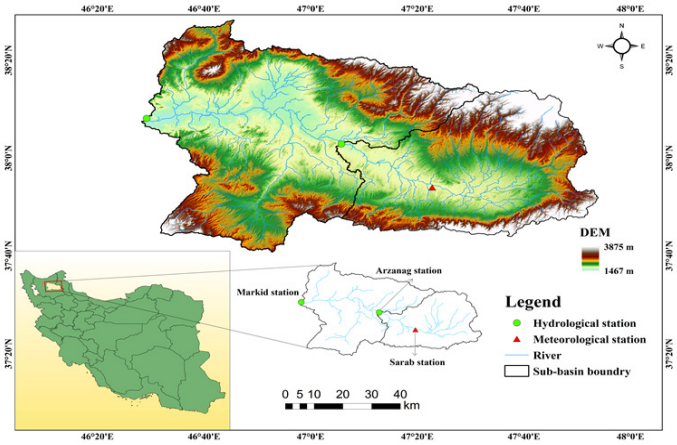
۲- مواد و روش ها

۲-۱- حوضه مورد مطالعه و داده ها

حوضه آبریز آجی چای با مساحتی حدود ۱۳۸۵۵ کیلومترمربع در شمال غربی ایران و استان آذربایجان شرقی واقع شده و یکی از بزرگترین زیرحوضه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه محسوب می‌شود. میزان ورودی سالانه آن به دریاچه ارومیه ۳۸۰ میلیون مترمکعب در سال است (Fazel و همکاران، ۲۰۱۷).

میانگین دمای سالانه و بارش به ترتیب ۹ درجه سانتی‌گراد و ۲۳۰/۷ میلی‌متر است. حوضه رودخانه آجی چای بزرگترین حوضه در آذربایجان شرقی است (Barzegar و همکاران، ۲۰۱۶). با توجه به اینکه سرشاخه‌های اصلی حوضه از دامنه کوه سبلان سرچشمه می‌گیرد، محدوده مورد مطالعه به بالادست ایستگاه هیدرومتری مرکید و بین مختصات جغرافیایی ۴۶/۴۷° تا ۴۷/۸۹° طول شرقی ۳۷/۶۸° تا ۳۸/۴۷° عرض شمالی ناحیه محدود گشته است و مساحت ناحیه انتخابی ۶۹۱۳/۵ کیلومترمربع می‌باشد. شکل ۱ موقعیت، ارتفاع، شبکه زهکشی، ایستگاه‌های مورد مطالعه و موقعیت زیرحوضه ها در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در مدلسازی حاضر از داده‌های زمینی و ماهواره‌ای به صورت همزمان استفاده شده است. داده‌های هواشناسی و هیدرومتری به‌عنوان داده های زمینی و مساحت پوشیده از برف نیز با استفاده از تصاویر ۸-روزه سنجنده MODIS به دست آمده است. آشکارسازی و تعیین ویژگی‌های مختلف برف با استفاده از داده‌های سنجش از دور که در هیدرولوژی کاربرد وسیعی دارد، روش نوینی را در به دست آوردن پارامترهای مورد نیاز هیدرولوژی از جمله مساحت تحت پوشش برف پدید آورده است. به عبارت دیگر می‌توان با داده‌های سنجش از دور توزیع مکانی برف را در سطح حوضه به دست آورد (Jain و همکاران، ۲۰۱۰؛ Saydi و همکاران، ۲۰۱۹). به منظور برآورد مساحت پوشش برف از تصاویر MOD۱۰A۲ با تفکیک زمانی ۸ روز و مکانی ۵۰۰ متر در بازه زمانی ۱۳۸۷-۱۳۹۱ و نرم افزارها ARCGIS و ENVI استفاده شد. الگوریتم NDSI به منظور ایجاد تمایز میان برف، ابر و پوشش خالی از برف به صورت اتوماتیک بر تصاویر سنجنده MODIS اعمال می‌شود (Hall و همکاران، ۲۰۰۷). مطالعات متعددی در مورد بررسی دقت تصاویر فوق در مقایسه با مشاهدات زمینی انجام شده است که عمدتا نشان داده‌اند در شرایطی که آسمان صاف و عمق برف بیشتر از ٤ سانتی‌متر باشد، ۹۰ درصد تطابق بین مشاهدات زمینی و تصاویر ماهواره ای جود دارد (Hall and Riggs، ۲۰۰۷؛ Klien and Barnett، ۲۰۰۳؛ Huang و همکاران، ۲۰۱۱).



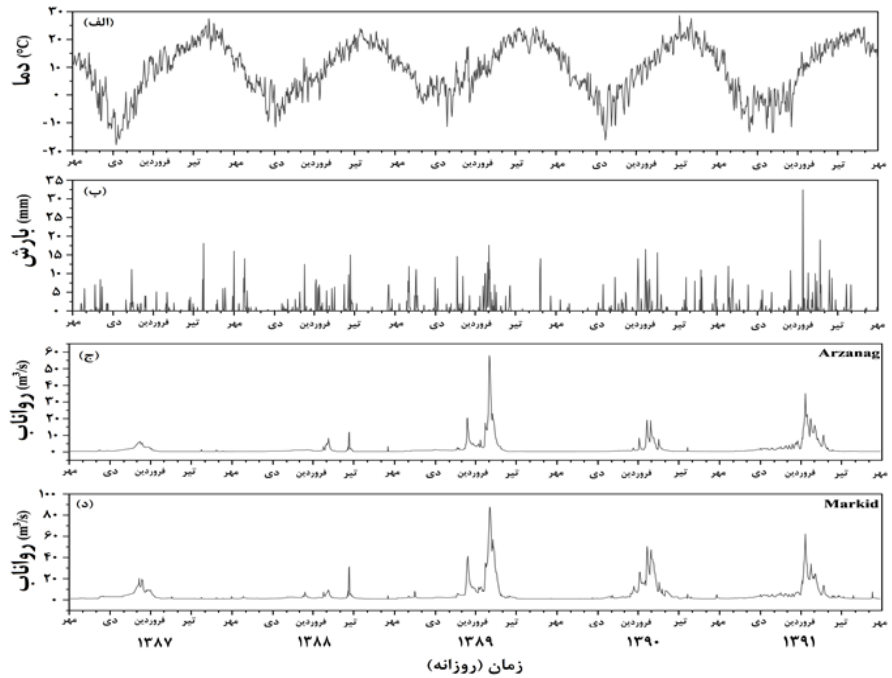
شکل ۱- موقعیت حوضه مطالعاتی و ایستگاه های مورد استفاده

تصاویر مجموع ۸-روزه (MOD۱۰A۲) (مجموع مساحت برف ۸ روز متوالی) باعث کاهش دقت تفکیک زمانی داده ها می‌شود ولی در محاسبه پوشش برف، این تصاویر در مقایسه با تصاویر MOD۱۰A۱ (روزانه) از دقت بالاتری برخوردار هستند (Abudu و همکاران، ۲۰۱۶). برای پایش مؤثر مساحت سطح برف، نیاز به تصاویری با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب می‌باشد. با توجه به اینکه این دو مقوله مهم در یک جا جمع نمی‌شود از این‌رو با توجه به هدف مطالعه از تصاویر MOD۱۰A۲ باتفکیک زمانی ۸ روز و تفکیک زمانی ۵۰۰ متر استفاده شد. همچنین تصویر ASTER به عنوان لایه رقومی ارتفاعی (DEM) و برآورد ویژگیهای فیزیوگرافی حوضه با تفکیک مکانی ۳۰ متر مورد استفاده قرار گرفت. ایستگاه هیدرومتری ارزنق به عنوان خروجی زیرحوضه بالادست و ایستگاه مرکید به عنوان خروجی کل حوضه مطالعاتی انتخاب شد و داد های مشاهداتی آنها برای ارزیابی دقت مدل مورد استفاده قرار گرفت. همچنین از داده های بارندگی و دمای ایستگاه هواشناسی سراب، استفاده گردید. سری زمانی داده‌های مذکور در شکل ۲ آورده شده است.

۲-۳- ساختار مدل SRM

مدل SRM از رویکرد درجه-روز برای مدلسازی استفاده نموده و از دما به عنوان جایگزین شار انرژی بین برف، خاک و هوا برای نمایش فرآیند ذوب برف استفاده می‌کند. طبق رابطه ۱، مدل SRM از ترکیب مقادیر برف و باران برای تخمین رواناب روزانه استفاده می‌کند (Martinec و همکاران ، ۲۰۰۸):

$$Q_{n+1} = \underbrace{C_{Sn}.a_n(T_n+\Delta T_n)S_n.A.0.116(1-k_{n+1})}_{\text{باناور بوذ قرب}} + \underbrace{C_{Rn}P_n.A.0.116(1-k_{n+1})}_{\text{باناور شراب ناراب}} + \underbrace{(Qs_n+Qr_n)k_{n+1}}_{\text{رواناب مشارکت داده شده از روز قبل}} \quad (1)$$



شکل ۲- سری زمانی ایستگاههای مورد استفاده در بازه زمانی ۱۳۸۷-۱۳۹۱،
(الف) سری زمانی دما در ایستگاه سراب، (ب) بارش ایستگاه سراب، (ج) دبی روزانه ایستگاه ارزنق و (د) دبی روزانه ایستگاه مرکید.

در رابطه ۱، Q میانگین دبی جریان روزانه $(m^3 s^{-1})$، c ضریب رواناب که تلفات را به عنوان درصدی از بارش تبدیل شده به رواناب بیان می‌کند، c_S ضریب رواناب برف و c_R ضریب رواناب باران، a ضریب درجه-روز که نشان دهنده ارتفاع ذوب برف برای هر یک درجه بالای صفر می‌باشد (cm °C^(-1) d^(-1))، T میانگین دمای روزانه حوضه (°C d)، ΔT مقدار تعدیل دما می‌باشد که با استفاده از آهنگ کاهش دما و برون‌یابی از ایستگاه هواشناسی مبنا تا میانگین ارتفاع هیپ سومتری هر منطقه ارتفاعی به دست می‌آید (°C d)، S نسبت پوشش برف به م ساحت است، P بارش روزانه شرکت کننده در رواناب (cm)، A م ساحت حوضه یا نواحی تق سیم‌شده ارتفاعی (km〗 ^2 〖)، k ضریب فروکش جریان که به صورت پارامترهای Yc و Xc وارد مدل می‌شود و نشان دهنده افت دبی رودخانه در دوره‌ای بدون حضور ذوب برف و باران می‌باشد که با استفاده از نمودار لگاریتمی داده‌های تاریخی به صورت Q_n و Q_(n+1) از طریق روابط ۲ و ۳ به دست می‌آید:

$$k = \frac{Q_{n+1}}{Q_n} \quad (۲)$$

$$k_{n+1} = x.Q_n^{-y} \quad (۳)$$

طبق رابطه تجربی ۴، مقدار پارامتر درجه-روز (a) حاصل می‌شود:

$$a = 1.1.\frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (۴)$$

که ρ_s چگالی برف و ρ_w چگالی آب می‌باشند.

داده باران با توجه به دمای روز می‌تواند به صورت باران یا برف در نظر گرفته شود که پارامتر دمای بحرانی (Tcrit) به همین منظور تبیین شده است. با توجه به توصیه های صورت گرفته از مطالعات قبلی (Zhang و همکاران، ۲۰۱۴؛ Adnan و همکاران، ۲۰۱۷) در مقاله حاضر دمای صفر درجه سانتی‌گراد برای این پارامتر در نظر گرفته شد. همچنین با توجه به تأثیر ارتفاع بر دما، یکی از مزیت‌های مدل SRM این است که از پارامتر آهنگ کاهش دما (γ) بهره می‌برد و با استفاده از میانگین ارتفاع هیسومتریک منجر به یافتن مقدار تعدیل دما در هر طبقه ارتفاعی می‌شود. به طور معمول عدد m ۰/۶۵ °C/100 برای پارامتر γ به کار گرفته می‌شود ولی طبق پژوهشی که قبلا در این حوضه انجام شده است مقدار m ۰/۶ °C/100 انتخاب گردید (Andaryani و همکاران، ۲۰۱۹). پارامتر زمان تأخیر (L) نشان دهنده زمان بین ذوب برف و ظاهر شدن تأثیر آن در ایستگاه اندازه‌گیری رواناب می‌باشد (Abudu و همکاران، ۲۰۱۶). اگرچه محاسبه دقیق این پارامتر نیازمند سری زمانی ساعتی رواناب و دما است، نبود داده‌های مورد نیاز باعث شده که روشی جایگزین ارائه شود که با استفاده از مقایسه مساحت حوضه های مدلسازی شده، به تخمین تقریبی پارامتر زمان تأخیر می‌پردازد (Martinec و همکاران، ۲۰۰۸). تأثیر بارش باران بر رواناب در دمای بالای درجه بحرانی (Tcrit) به پارامتر ناحیه مشارکت کننده باران (RCA[7]) بستگی دارد که آن را می‌توان به دو حالت در شبیه‌سازی در نظر گرفت. در حالت اول، باران باریده بر روی برف در برف ذخیره می‌شود زیرا برف خشک و عمیق است و به مقدار ذوب برف اضافه می‌شود که در این حالت RCA به عدد ۰ جایگزین می‌شود. اما در حالت دوم باران باریده شده بر روی برف به همان مقدار از برف خارج شده و در آن ذخیره نمی‌شود که در این حالت RCA با عدد ۱ نشان داده می‌شود. در مطالعه حاضر، ماه‌هایی که مساحت برف در حال افزایش بوده و دما در اکثر روزها زیر صفر درجه سانتی‌گراد را تجربه کرده بود RCA برابر با ۱ و برای بقیه ماه‌ها صفر در نظر گرفته شد.

محوری‌ترین پارامترها که تأثیر گذاری و عدم قطعیت بالایی نسبت به بقیه پارامتر ها دارند ضرایب رواناب (cr و cs) می‌باشند. ضرایب رواناب مدل بیان کننده اطلاعات مهمی در زمینه نفوذ آب می‌باشند. عواملی همچون پوشش گیاهی و ژئومورفولوژی حوضه‌ی مطالعاتی در تعیین این ضرایب دخیل می‌باشند. لازم به ذکر است که مدل SRM ضرایب باران و برف را جداگانه وارد محاسبات می‌کند. در پژوهش حاضر واسنجی مدل برای تخمین ضرایب رواناب با استفاده از روش های واسنجی چند ایستگاهه و تک ایستگاهه انجام گرفت. برای اجرای مدل از نرم افزار WINSRM استفاده شد. نحوه به کارگیری آن و همچنین مقادیر پارامترها نیز از طریق سنجش هیدرولوژیکی، روابط تجربی و ریاضی که توضیحات کامل آنها توسط Martinec و همکاران (۲۰۰۸) ارائه گردیده است و همچنین پیشنهادات مطالعات قبلی اختیار گردید (Zhang و همکاران، ۲۰۱۴؛ Adnan و همکاران، ۲۰۱۷)

۳-۲- معیار ارزیابی مدل

صحت سنجی مدل‌هاي پیش‌بینی به منظور سنجش دقت مدل‌ها در انجام شبیه‌سازی و پیش‌بینی صورت می‌گیرد. براي این منظور آماره‌هاي مختلفی تدوین شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند (Zhang و همکاران، ۲۰۱۴؛ Martinec و همکاران، ۲۰۰۸). در این پژوهش ضریب تبیین (R2) و درصد اختلاف حجمی (DV) به منظور ارزیابی مدلسازی استفاده شد. مقادیر آماره‌های مذکور توسط روابط ۵ و ۶ قابل محاسبه هستند:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - Q_i')^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \bar{Q})^2} \quad (۵)$$

$$D_v = \frac{V_R - V_R'}{V_R}.100 \quad (۶)$$

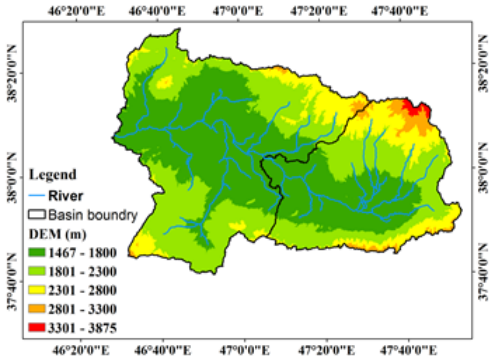
که در رابطه ۵، Q_i' داده های محاسباتی و Q_i داده های مشاهداتی، $\bar{Q}$ میانگین داده‌های مشاهداتی و در رابطه ۶، V_R حجم رواناب مشاهداتی و V_R' حجم رواناب محاسباتی می‌باشند. مقدار منفی D_v به معنی این است که مقدار رواناب محاسباتی بیشتر از مقدار محاسباتی است.

7. Rainfall Contribution Area

۳- نتایج و بحث

۳-۱- طبقات ارتفاعی و SCA

در مناطق کوهستانی بیشتر پدیده‌های هیدرولوژیکی و زمین‌شناسی برای مثال دما، هیپسومتری و برف انباشته تحت تأثیر ارتفاع قرار دارند (Zhang و همکاران، ۲۰۱۴). به منظور مدلسازی ذوب برف-رواناب برای حوضه مطالعاتی با استفاده از مدل SRM، حوضه بر اساس پایین ترین کد ارتفاعی (۱۴۶۷ متر) و بالاترین کد ارتفاعی (۳۸۷۵ متر) با استفاده از لایه رقومی ارتفاعی به ۵ طبقه دسته‌بندی شد (شکل ۳).



شکل ۳- نقشه طبقات ارتفاعی کل حوضه مورد مطالعه و زیرحوضه ها تهیه شده با استفاده از تصویر ASTER

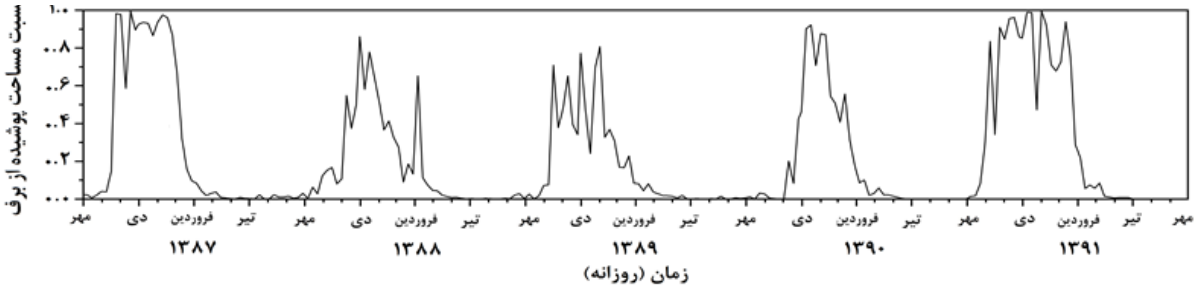
مساحت هر یک از طبقات ارتفاعی در جدول ۱ ارائه گردیده است که براساس این جدول، منطقه مورد مطالعه دارای مساحتی بیش از ۳۷۰۰ کیلومترمربع (تقریباً ۵۴ درصد) در محدوده ارتفاعی بیش از ۱۸۰۰ متر است که خود مؤید کوهستانی بودن منطقه است. دیگر پارامتر ورودی در مدل ذوب برف-رواناب، مساحت پوشش برف در منطقه مورد مطالعه است. برای استخراج مساحت برف از تصاویر سنجنده MODIS برای سال های آبی ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱ استفاده شد. با توجه به تفکیک زمانی ۸ روز و نیاز مدل به مقادیر روزانه، از درون‌یابی خطی برای محاسبه مساحت روزانه برف استفاده شد (شکل ٤).

با توجه به شکل ٤، در حوضه مورد مطالعه، ماه‌های آذر، دی و بهمن دارای بیشترین سطح برف در طول سال بوده و در ماه اردیبهشت به این مقدار به کمترین سطح خود می‌رسد. از ماه خرداد در سطح منطقه پوشش برفی مشاهده نمی‌گردد، البته این تفاسیر می‌تواند با تغییر شرایط اقلیمی دارای تأخیر یا تأخر در بازه زمانی چندروزه باشد.

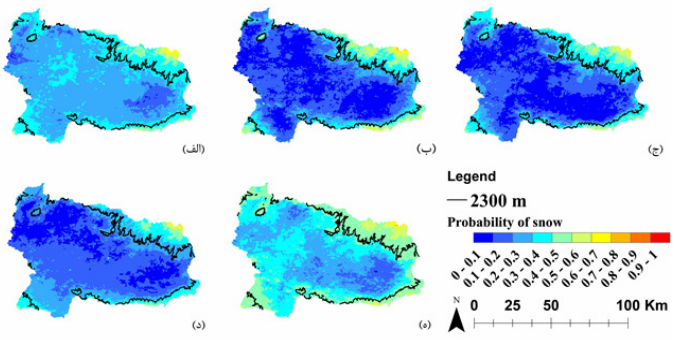
جدول ۱- مشخصات ارتفاعی و مساحتی نواحی تقسیم بندی شده

طبقه	کل حوضه			زیرحوضه بالادست	زیرحوضه پایین دست
	تغییرات ارتفاعی (m)	مساحت (km^2)	مساحت (%)	مساحت (km^2)	مساحت (km^2)
A	۱۴۶۷ – ۱۸۰۰	۳۲۰۵	۴۶/۴	۱۰۹۴/۰۱	۲۱۱۰/۹۹
B	۱۸۰۱ – ۲۳۰۰	۲۶۰۹	۳۷/۷	۹۱۲/۵۵	۱۶۹۶/۴۵
C	۲۳۰۱ – ۲۸۰۰	۸۷۴	۱۲/۶	۴۶۱/۹۲	۴۱۲/۰۸
D	۲۸۰۱ – ۳۳۰۰	۱۹۱	۲/۸	۱۵۱/۷۷	۳۹/۳۲
E	۳۳۰۱ – ۳۸۷۵	۳۴	۰/۵	۳۳/۳۳	۰/۶۷
کل	۱۴۶۷ – ۳۸۷۵	۶۹۱۳	۱۰۰	۲۶۵۳/۶	۴۲۵۹/۶

با استفاده از تصاویر استخراج شده می‌توان درصد احتمال وجود برف در یک سال آبی را محاسبه کرد. در شکل ۵ احتمال وجود برف در پیکسل های خروجی از الگوریتم NDSI برای هرسال آبی ارائه شده است. همانطورکه از شکل ۵ مشخص است، بیشترین احتمال وجود برف در کل سال (بیش از ۶۰٪) در ارتفاع بالای ۲۳۰۰ متری اتفاق افتاده است. همچنین بیشترین روزهای برفی در سال های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۱ رخ داده است که در این حالت میانگین پوشش برف نسبت به مساحت کل حوضه به ترتیب ۳٤/۳ و ۲۹/٦ درصد بوده است.

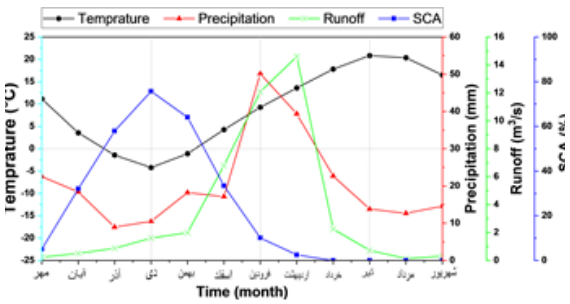


شکل ٤- سری زمانی نسبت پوشش برفی بین سال های ۱۳۸۷-۱۳۹۱



شکل ۵- مقادیر احتمال وجود برف در یک سال آبی (الف) ۱۳۸۷ (ب) ۱۳۸۸ (ج) ۱۳۸۹ (د) ۱۳۹۰ (ه) ۱۳۹۱

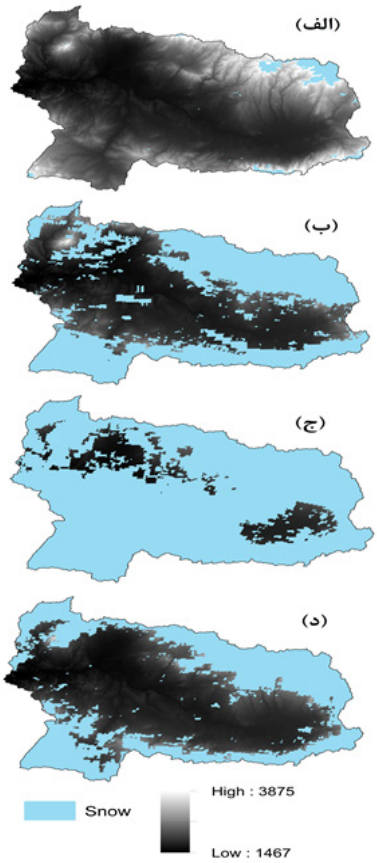
اردیبهشت رسید که در نتیجه آن، بیشترین مقدار رواناب در این ماه به ثبت رسیده است. از ماه خرداد تا اواخر مهر به جز در مرتفعترین نقاط (ارتفاع بیشتر از ۳۳۰۰ متر) پوشش برف قابل توجهی مشاهده نمی‌شود؛ در نتیجه می‌توان ابراز کرد که رابطه‌ای کاملاً مشهود میان پوشش برف و رواناب وجود دارد چرا که نقش بارش باران بر روی برف به عنوان عامل تسریع کننده در فرآیند ذوب برف است (Singh و همکاران، ۱۹۹۷) زیرا دمای قطرات باران با ذوب برف‌های کم حجم باعث کاهش مساحت پوشش برف و افزایش دبی آستانه بالا شده که متأسفانه این شرایط را مدل SRM نمی‌تواند به درستی لحاظ و محاسبه کند (Zhang و همکاران، ۲۰۱۴).



شکل ٦- مقادیر میانگین ماهانه پوشش برف، دما، باران و رواناب ایستگاه های هواشناسی سراب و هیدرومتری مرکید

شکل ٦ نشان دهنده مقادیر میانگین ماهانه مساحت پوشیده از برف، دما، باران و رواناب مشاهداتی برای سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱ می‌باشد. میانگین دما به جز در سه ماه دی، بهمن و اسفند بالای صفر درجه سانتی‌گراد بوده و ماه تیر گرمترین ماه را به خود اختصاص داده است. بارش باران در ایستگاه سراب در ماه های آذر و دی دارای کمترین در فروردین بیشترین مقدار بوده است. همچنین، ماه دی دارای بیشترین درصد پوشش برف با کمترین مقدار دما و بارش باران است و با افزایش دما و بارش باران، پوشش برف نیز کاهش یافته و به کمترین مقدار خود در ماه

در ادامه نمونه هایی از تصاویر پوشش برف در حوضه در شکل ۷ نشان داده می‌شود. هر تصویر نشان دهنده مجموع پوشش برف ۸ روزه است که واضح است با کاهش دما، پوشش برف در منطقه افزایش پیدا میکند به طوری که در تصویر ج از شکل ۷ بیشتر مساحت حوضه پوشش برف را تجربه کرده است.



شکل ۷- نمونه تصاویر پوشش برف در سال ۱۳۸۹
(الف) ۱۰ آبان (ب) ۱۱ دی (ج) ۱۳ بهمن (د) ۱۵ اسفند

۳-۱- نتایج مدلسازی SRM

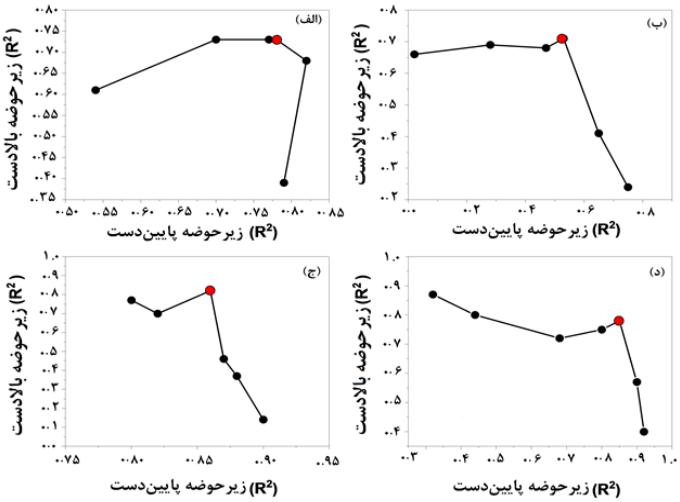
بعد از تهیه تصاویر ماهواره‌ای و نسبت مساحت پوشیده از برف برای حوضه مطالعاتی، ورودی‌های مدل SRM تکمیل می‌شود. شروع فرآیند شبیه‌سازی نیازمند یافتن پارامترهای مدل است که با از طریق روابط نظری و تجربی (فرمول های ۲، ۳ و ٤) و همچنین پیشنهادات پژوهش‌های گذشته مقادیر مربوطه اختیار گردید (جدول ۲)، درنهایت واسنجی مدل SRM از طریق دو سناریوی واسنجی چند ایستگاهه و تک ایستگاهه برای چهار سال آبی در بازه ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ انجام شد.

جدول ۲- مقادیر پارامترهای از پیش تعیین شده برای دوره واسنجی و صحت سنجی

پارامتر	مقدار	توضیحات*
Lapse rate (°C /100 m)	۰/۶	آهنگ تغییرات دما با تغییر هر ۱۰۰ متر نسبت به ایستگاه مرجع
T_{crit} (°C)	۰	دمای بحرانی (جهت تشخیص بارش به عنوان برف یا باران)
DDF (cm °C^{-1} d^{-1})	۰/۱۵	نرخ ذوب برف به ازای افزایش یک درجه سانتی‌گراد بالای دمای بحرانی
Lag time (h)	۱۸	اختلاف زمانی برف ذوب شده و حضور آن در خروجی حوضه
RCA	(فروردین-آبان) ۰ (آذر-بهمن) ۱	ناحیه مشارکت بارش باران در رواناب به صورت رواناب ناشی از باران یا برف
X_c	۰/۸۸	ضرایب داخلی فرمول ضریب فروکش رواناب
Y_c	۰/۰۵	

* Martinec و همکاران، ۲۰۰۸)

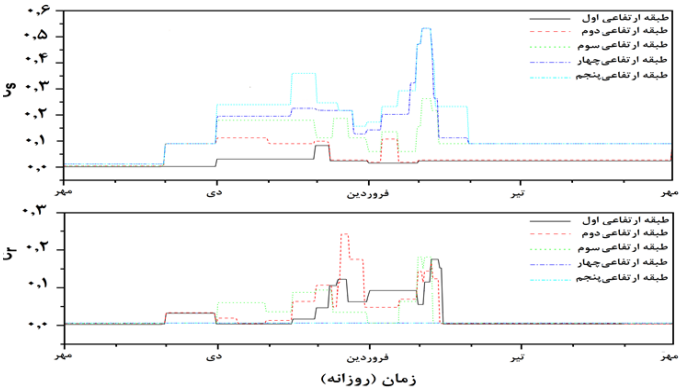
در فرآیند واسنجی مقادیر پارامترهای مدل به اندازه‌ای تغییر می‌یابند تا هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی بهترین تطابق را داشته باشند. در ادامه مدل برای سال آبی ۱۳۹۱ فرآیند صحت سنجی شد. ضرایب رواناب برف و باران به عنوان پارامترهای واسنجی شده برای هر ۵ طبقه ارتفاعی مقادیر به دست آمد و برای دوره صحت سنجی به صورت میانگین روزانه روز های متناظر دوره واسنجی به مدل اعمال شدند. در روش چند ایستگاهه، مدل برای هر دو زیر حوضه به صورت همزمان اجرا و با ایجاد تغییرات در پارامترهای ضرایب رواناب برف و باران (cs و cr)، مقدار شاخص R۲ برای هر دو زیر حوضه با پارامترهای یکسان محاسبه شد و بهترین مقادیر برای دوره صحت سنجی انتخاب شدند که در شکل ۸ نحوه تغییرات شاخص R۲ در روش واسنجی چند ایستگاهه، برای هر دو زیر حوضه نشان داده شده است. جهت صحت سنجی مدل، میانگین روزانه داده ها به دست آمده برای هر طبقه ارتفاعی، به عنوان ورودی در نظر گرفته شد که نتایج حاصل از شبیه سازی در جدول ۳ نشان داده شده است.



شکل ۸- نتایج واسنجی چند ایستگاهه مدل SRM برای دوره واسنجی (الف) ۱۳۸۷ (ب) ۱۳۸۸ (ج) ۱۳۸۹ (د) ۱۳۹۰

منحنی های ارائه شده در شکل ۸ برای سال های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ (دوره واسنجی) نشان دهنده بهترین مقادیر برای دو زیرحوضه پایین دست و بالادست است. برای دستیابی به بهینه ترین مقادیر پارامترها، با ایجاد تغییرات در پارامترهای ضرایب رواناب برف و باران(cs و cr)، مقدار شاخص R۲ نیز تغییر میکند. با ادامه همین روند شاخص R۲ برای یک زیر حوضه افزایش ولی برای دیگری کاهش می‌یابد که همین نقاط (نقاط قرمز رنگ) حالت بهینه را ارائه می‌کند. در روش واسنجی چند ایستگاهه همه تکرار ها با تغییرات ضرایب رواناب انجام شد چرا که این ضرایب بیشترین عدم قطعیت را برای حوضه‌های بزرگ (از نظر مکانی و ارتفاعی) دارا می‌باشد. همان طور که از شکل ۸ مشخص است در هر بار تلاش، شدت تغییرات در زیر حوضه پایین‌دست بیشتر از زیر حوضه بالادست می‌باشد که دلیل آن مساحت دو برابری این زیرحوضه است، زیرا ضریب رواناب بارش یکسان در هر دو زیرحوضه باعث تولید رواناب خروجی بیشتری در حوضه با مساحت بیشتر می‌شود که نمودار ب در شکل ۸ به خوبی تاثیر ضریب رواناب بارش بر شاخص R۲ را نشان می‌دهد زیرا تاثیر برف در این سال پایین ترین مقدار SCA را داشته است و بارش عامل اصلی تغییرات بوده است. ضریب رواناب برف در ارتفاعات بیشترین مقدار را اختیار می کند زیرا تاثیر این ضریب در ۳ طبقه ی ارتفاعی بالا (ارتفاعات بالاتر از ۲۳۰۰ متر) که درصد پوشش برف در هر سال آبی بیشتر از ۲ طبقه ی ارتفاعی پایین‌تر است.

مدلسازی و واسنجی همزمان دو ایستگاه منجر به انتشار اثرات و شرایط پارامترهای زیرحوضه بالادست به پایین دست و بلعکس شده که در صورت تخمین مناسب این پارامترها همراه با مقادیر رواناب خروجی از ایستگاه ها می‌توانند مفهوم و تفسیر فیزیکی پارامترهای مدل را قابل درک می‌کند. تعداد آزمون ها برای دستیابی به بهترین مقدار پارامتر های واسنجی متفاوت بوده تا به بهترین مقادیر با حداکثر مقدار شاخص R۲ دست یافت.



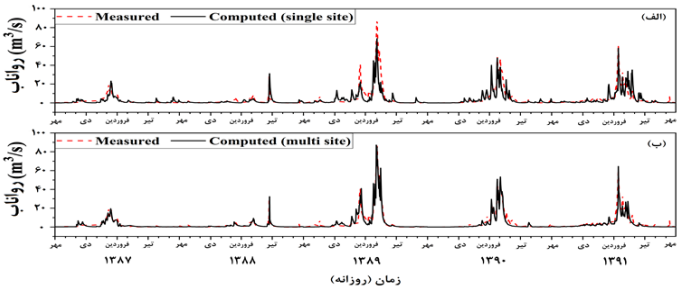
شکل ۹- ضرایب رواناب برف و باران محاسبه شده از طریق واسنجی چند ایستگاهه و مورد استفاده در دوره صحت سنجی (۱۳۹۱)

جدول ۳- نتایج دوره واسنجی و صحت سنجی برای روش تک ایستگاهه و چند ایستگاهه

	شبیه سازی تک ایستگاهه		شبیه سازی چند ایستگاهه	
سال آبی (دوره)	R^2	D_v (%)	R^2	D_v (%)
۱۳۸۷ (واسنجی)	۰/۷۱	-۷/۰۱	۰/۸۴	۸/۸۲
۱۳۸۸ (واسنجی)	۰/۵۸	۲/۷۲	۰/۶۱	۱/۱۵۵
۱۳۸۹ (واسنجی)	/۷۳ ۰	۲۲/۲۲	۰/۸۹	۰/۱۷۵
۱۳۹۰ (واسنجی)	۰/۸۳	۲۷/۲۱	۰/۹۱	۲۲/۳
۱۳۹۱ (صحت سنجی)	۰/۶۶	-۴/۳	۰/۸۰	۲۱/۱۴۶

ضرایب رواناب برف و باران (cs و cr) به دست آمده از روش واسنجی چند ایستگاهه به صورت سری زمانی در شکل ۹ ارائه شده است. طبق انتظار، ضریب رواناب برف در طبقات ارتفاعی چهارم و پنجم اعداد بزرگتری را به خود اختصاص داده و تاثیر این دو طبقه ارتفاعی را بر رواناب بالا برده است. در آن سو ضریب رواناب باران نیز در طبقه ارتفاعی اول و دوم نقش بیشتری را ایفا میکند و دلیل این امر نبود پوشش برف در این ناحیه و همچنین مساحت بیشتر نسبت به بقیه طبقات ارتفاعی. مقادیر ضریب رواناب باران تا اواخر بهمن ما تغییرات زیادی نداشته زیرا دما در اکثر روزها زیر صفر (دمای بحرانی) بوده و باران به شکل برف در نظر گرفته شده است. در مقابل با افزایش دما از ماه بهمن ضریب رواناب برف اعداد بزرگتری را در بر گرفته است و در دبی های اوج در ماه های اردیبهشت و فروردین (شکل ۱۰) تاثیر آن بیشتر می‌شود. در کل این ضرایب با استفاده از روش واسنجی چند ایستگاهه به دست آمده است و این روش باعث افزایش دقت پارامترها شده و تطابق فیزیکی با شرایط حوضه را بالا می‌برد. در دوره تابستان که دبی عددی نزدیک به صفر داشت مقادیر این ضرایب تغییری نداشته اند.

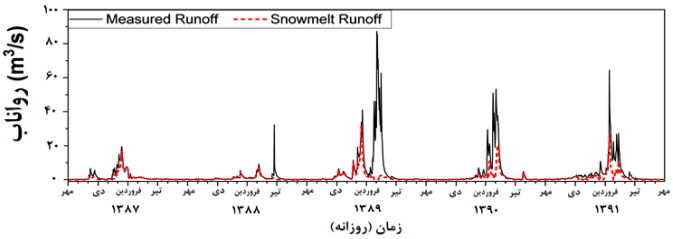
با توجه به نتایج معیارهای ارزیابی (شاخص R^2 و Dv) ارائه شده در جدول ۳ مدل SRM از دقت قابل قبولی در شبیه سازی رواناب با استفاده از ذوب برف برخوردار است. روش چند ایستگاهه با توجه به جدول ۳ نتایج بهتری را در مقایسه با مدل سازی کل حوضه ارائه می‌دهد. با توجه به اینکه کل حوضه مساحت بزرگی دارد، در واسنجی کل حوضه نمی‌توان مشخصات و ویژگی های هر زیرحوضه را لحاظ کرد. اما با تقسیم منطقه به چند زیر حوضه کوچکتر دقت نهایی افزایش می‌یابد. مقادیر شاخص R^2 در سال ۱۳۸۸ برای هر دو روش واسنجی مقداری پایین است که می‌تواند به دلیل رواناب حجمی سالانه بسیار پایین در مقایسه با سال های دیگر باشد. حجم رواناب سالانه برای سال ۱۳۸۸ عددی برابر با ۳۶/۴۱ میلیون متر مکعب است که مقداری بسیار کم نسبت به میانگین سال مورد بررسی، ۱۱۲/۱۱ میلیون متر مکعب است و با اینکه تفاوت حجمی بسیار کم بوده ولی دقت تطابق (شاخص R^2) به دلیل کوچک بودن مقادیر دبی مشاهداتی و محاسباتی، با مقداری اختلاف باعث کاهش زیادی در دقت مدلسازی مشاهده می‌شود. دلیل دیگر برای این موضوع این می‌تواند باشد که در بعضی روزها رواناب به شدت افزایش و سپس سریع کاهش پیدا کرده است و در نتیجه مدل قادر به شبیه سازی دقیق آن نبوده است، زیرا در اکثر روزهای سال مقدار رواناب تغییرات نرم تری نسبت به تک روزها داشته و مقدار ضریب فروکش (که شیب فروکش هیدرگراف با این ضریب تغییر می‌یابد) متاثر از این روزها بوده است. استفاده از یک ایستگاه هواشناسی می‌تواند باعث کاهش دقت در محاسبه دبی روزانه در مدلسازی گردد، زیرا در حوضه ای با وسعت زیاد دما در طول شبانه روز در نقاط متفاوت از حوضه تفاوت زیادی می‌تواند داشته باشد، البته با روش‌های مختلف واسنجی می‌توان این نقیصه را جبران کرد.



شکل ۱۰- هیدروگراف مشاهداتی ایستگاه هیدرومتری مرکید و محاسباتی الف) تک ایستگاهه ب) چند ایستگاهه (۱۳۹۱ - ۱۳۸۷)

شکل ۱۰ مقادیر دبی شبیه‌سازی شده با استفاده از هر دو روش تک ایستگاهه و چند ایستگاهه و مشاهداتی نشان می‌دهد طبق آن روش واسنجی چند ایستگاهه عملکرد مناسب تری در شبیه سازی دبی های پیک از خود نشان داد ولی در تخمین حجم رواناب، شبیه‌سازی به روش تک ایستگاهه (۹۷/۷۵ میلیون مترمکعب) عملکردی نسبتا بهتری در مقایسه با روش واسنجی چند ایستگاهه (۹۲/۶۱ میلیون مترمکعب) داشته و اختلاف حجمی کمتر بین دبی های محاسباتی و مشاهداتی ملاحظه می‌شود (جدول ۳). هیدروگراف رواناب ذوب برف محاسباتی و مشاهداتی در خروجی حوضه (ایستگاه مرکید) در شکل ۱۱ ارائه شده است. مدل SRM توانایی محاسبه رواناب با مشارکت برف و باران به صورت همزمان را داراست پس با حذف تاثیر بارش باران میتوان اثرگذاری ذوب برف بر رواناب را محاسبه نمود. نتایج حاکی است که مقدار میانگین حجمی تأثیر ذوب برف بر رواناب برای ۵ سال آبی در شبیه‌سازی با روش واسنجی چند ایستگاهه برابر ۳۶/۷۳ میلیون مترمکعب است که در مدت مشابه مقداری حدود ۳۳ میلیون مترمکعب برای تک ایستگاهه محاسبه شد که به ترتیب ۴۳ و ۳۶ درصد از حجم رواناب محاسباتی را تشکیل داده اند. بیشترین مقادیر تأثیر برف در یک سال به ترتیب در سال های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۱ رخ داده است (به ترتیب حدود ۶۰٪ و ۴۰٪).

با توجه نتایج و بحث ارائه شده می‌توان نتیجه گرفت که تصاویر ۸ روزه MODIS (MOD10A2) با توجه به عملکرد مدل در دوره واسنجی و صحت‌سنجی، برای حوضه مورد نظر مناسب بوده و مساحت پوشش برف با دقت بالایی به دست آمده است. در کل کیفیت داده‌های ورودی، دقت پارامترهای واسنجی شده و پارامترهای واسنجی نشده در کارایی مدل‌های هیدرولوژیکی بسیار مؤثر می‌باشد و در مدل SRM نیز کیفیت داده‌های برف و دما به‌عنوان دو ورودی مهم و همچنین تعداد طبقات ارتفاعی می‌توانند بر عملکرد مدل تأثیر بگذارد.



شکل ۱۱- رواناب خروجی کل حوضه و رواناب حاصل از ذوب برف (۱۳۹۱-۱۳۸۷)

۴- نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی و پیش‌بینی دقیق فرآیند ذوب برف و تأثیر آن بر رواناب یکی از مهمترین مسائل مدیریت منابع آبی است که در زمینه های مختلفی همچون آبیاری اراضی، کنترل سیل، تولید انرژی آبی بسیار پرکاربرد است. عمده حوضه‌های شمال غرب و غرب کشور برفگیر بوده و استفاده از مدل های مختلف در جهت پیش بینی مقدار رواناب ذوب برف بسیار اهمیت دارد. از این جهت، مدل SRM یک ابزار تأثیرگذار برای شبیه‌سازی با دقت بالا در حوضه‌های کوهستانی مورد استفاده قرار گرفت که مدیریت منابع آب و پیش بینی سیل های ناشی از ذوب برف به خوبی می‌تواند با استفاده از این مدل بهینه و کنترل شود.

مشکل کمبود و یا نبود ایستگاه‌های برف‌سنجی در حوضه های برفگیر و کوهستانی باعث شده است که استفاده از ابزار سنجش از راه دور در سالهای اخیر محبوبیت بالایی پیدا کند و در این زمینه بسیار کارگشا بوده و با هزینه کمتر نتایج مطلوبی را در اختیار محققین قرار داده است. دراین تحقیق تصاویر MOD۱۰A۲ که در بازه زمانی ۸ روزه پوشش برف در هر پیکسل را ثبت می‌کنند، برای استخراج مساحت پوشش برف به کار گرفته شدند که نتایج نشان از قابل اعتماد بودن این تصاویر دارد.

با توجه به نتایج و بحث مطرح شده، مدل SRM توانایی شبیه‌سازی رواناب حوضه‌های برفگیر را دارا می‌باشد. روش چند ایستگاهه با کاربرد گسترده داده‌ها و اطلاعات فیزیکی زیرحوضه‌ها نتایج قابل اعتمادتری را نسبت به روش خروجی کل گزارش کند که در این پژوهش دقت در دوره واسنجی به طور میانگین ۱۲ ٪ و در دوره صحت سنجی ۲۲ ٪ در مقایسه با روش واسنجی تک ایستگاهه بهبود داشته است و همچنین پارامترها را نزدیکتر به شرایط فیزیکی حوضه ارائه می‌دهد.

با توجه به بزرگی حوضه مطالعاتی، استفاده از چندین ایستگاه هواشناسی برای محاسبه دقیق پارامتر آهنگ کاهش دما و دمای روزانه حوضه اهمیت بالایی دارد. همچنین ضریب فروکش که در چنین حوضه ها که مقدار رواناب در بازه های زمانی کوتاه شدت نوسان بالایی دارند باید در گام های زمانی کوتاه تری محاسبه شود؛ این موضوعات را می‌توان در مطالعات آتی برای افزایش دقت مدلسازی لحاظ کرد به طوریکه مقادیر پارامترهای واسنجی شده به واقعیت های فیزیکی حوضه نزدیکتر گردند. همنیطور می‌توان پارامترهای درجه-روز (a) و تأخیر زمانی (L) را نیز با استفاده از روش های بهینه سازی مناسب مورد واسنجی قرار داد و همچنین با استفاده از روش های تجربی دقیق تری مانند داده برداری در محل دقت این پارامترها را افزایش داد.

آنالیز حساسیت پارامتر های مدل برای حوضه مورد مطالعه مولفه ای مهم برای یافتن متغیر های موثر در تغییرات دقت مدل است و در مطالعات آتی می‌تواند زمینه را برای واسنجی دقیق مدل SRM فراهم سازد.

۵- منابع

فتاحي، ا، دلاور، م، قاسمي، ا، «شبيه‌سازی رواناب ناشي از ذوب برف در حوضه هاي كوهستاني با استفاده از مدل SRM مطالعه موردي حوضه آبريز بازيافت»، نشريه تحقيقات كاربردي علوم جغرافيای، ۱۳۹۰، ۲۰(۲۳)، ۱۲۹-۱۴۱.

مختاری مطلق، پ، جوانی، ب، شریفان، ح، «برآورد رواناب حاصل از ذوب برف فصلی به کمک مدل SRM (مطالعه موردی: حوضه آبریز زیارت در استان گلستان)»، اولین همایش ملی چالش های منابع آب و کشاورزی، اصفهان، انجمن ملی آبیاری و زهکشی ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، ۱۳۹۲. https://www.civilica.com/Paper-CHWRA۰۱-CHWRA۰۱_۰۷۷.html

نجف زاده، ر، ابريشم چي، ا، تجريشي، م، طاهری آييني، حميد، «شبيه سازی جريان رودخانه با مدل ذوب برف»، ۱۳۸۳، ۱۵(٤)، ۲-۱۱.

Abudu, S, Sheng, Z, Cui, C, Saydi, M, Sabzi, HZ, King, JP, "Integration of aspect and slope in snowmelt runoff modelling in a mountain watershed, Water Science and Engineering", 273-265 ,(4)9 ,2016.

Adnan, M, Nabi, G, Poomee, MS, Ashraf, A, "Snowmelt runoff prediction under changing climate in the Himalayan cryosphere: A case of Gilgit River Basin", Geoscience Frontiers, 949-941 ,8 ,2017.

Andaryani, S, Trolle, D, Nikjoo, MR, Rezaei Moghadam, MH, Mokhtari, D, "Forecasting near-future impacts of land use and climate change on the Zilbier river hydrological regime, northwestern Iran". Environmental Earth Sciences, 188] ,(6)78 ,2019]. https://doi.org/10.1007/s4-8193-019-12665

Andersen, J, Refsgaard, JC, Jensen, KH, "Distributed hydrological modelling of the Senegal River Basin—Model construction and validation", Journal of Hydrology, -200 ,247 ,2001 214.

Bai, J, Shen, Zh, Yan, T, "A comparison of single-site and multi-site calibration and validation: a case study of SWAT in the Miyun Reservoir watershed", China. Frontiers of Earth Science, 600-592 ,11 ,2017.

Bekele, EG, Nicklow, JW, "Multi-objective automatic calibration of SWAT using NSGA-II". Journal of Hydrology, 176-165 ,(4-3)341 ,2007.

Hall, DK, Riggs, GA, "Accuracy assessment of the MODIS snow products". Hydrological Processes, 1547-1534 ,(12)21 ,2007.

Han, P, Long, D, Han, Zh, Du, M, Dai, L, Hao, X, "Improved understanding of snowmelt runoff from the headwaters of China›s Yangtze River using remotely sensed snow products and hydrological modelling", Remote Sensing of Environment, 59-44 ,224 ,2019.

Harshburger, BJ, Karen, SH, Von, PW, Brandon, CM, Troy, RB, Rango, A, "Evaluation of short-to-medium range stream flow forecasts obtained using an enhanced version of SRM", Journal of the American Water Resources Association (JAWRA), 1688-1752 ,(1)15 ,2010.

Huang, X, Liang, T, Zhang, X, Guo, Zh, "Validation of MODIS snow cover products using Landsat and ground measurements during the 2005-2001 snow seasons over northern Xinjiang, China", International Journal of Remote Sensing, 152-133 ,(1)32 ,2011.

Jain, SK, Goswami, A, Saraf, AK, "Snowmelt runoff modelling in a Himalayan basin with the aid of satellite data", Journal International Journal of Remote Sensing, ,(24)31 ,2011 6618-6603.

Klein, AG, Barnett, AC, "Validation of daily MODIS snow cover maps of the Upper Rio Grande River Basin for the 2001-2000 snow year", Remote Sensing of Environment, ,2003 176-162 ,(2)86.

Lee, S, Klein, AG, Over, TM, "A comparison of MODIS and NOHRSC snow-cover products for simulating streamflow using the Snowmelt Runoff Model". Hydrological Processes, ,2005 2972-2951 ,(15)19.

Li, H, Wang, J,"The snowmelt runoff model applied in the Upper Heihe River Basin", Journal of Glaciology and Geocryology, 775-769 ,(5)30 ,2008.

Malcher, P, Heidinger, M, "Processing and data assimilation scheme for satellite snow cover products in the hydrological model", Envi snow EVG-1CT, 00052 ,2001.

Martinec, J, "Snowmelt-runoff model for streamflow forcasts". Nordic Hydrology, ,6 ,1975 154-145.

Martinec, J, Rango, A, Roberts, R, "Snowmelt Runoff Model (SRM) User's Manual", USDA Jornada Experimental Range, New Mexico State University, Las Cruces, NM 88003, USA, 2008.

Ringgs, GA, Hall, DK, "MODIS Snow Products Collection 6 User Guide", https://nsidc.org/sites/nsidc.org/files/files/MODIS-snow-user-guide-C6.pdf, 2016.

Rulin, O, Liliang, R, Weiming, C, Zhongbo, Y, "Application of hydrological models in a snowmelt region of Aksu River Basin", Water Science and Engineering, 13-1 ,(4)1 ,2008.

Saeidifarzad, B, Nourani, V, Aalami, MT, Chau, KW, "Multi-site calibration of linear reservoir based geomorphologic rainfall-runoff models". Water, 2716-2690 ,(9)6 ,2014.

Saydi, M, Ding, JL, Sagan, V, Yan, Q, "Snowmelt modeling using two melt-rate models in the Urumqi river watershed, Xinjiang Uyghur Autonomous Region, China", Journal of Mountain Science, 2284-2271 ,16 ,2014.

Seidel, K, Martinec, J, "Hydrological applications of Satellite Snow Cover mapping in the swiss Alps". Proceedings of Earsel-Lissig-Workshop Observing Our Cryosphere from Space, 87-79 ,2002.

Singh, P, Spitzbart, G, Hübl, H, Weinmeister, HW, "Hydrological response of snowpack under rain-on-snow events: a field study", Journal of Hydrology, 20-1 ,(4-1) 202 ,1997.

Tekeli, AE, Akyürekb, Z, Şorman, A, Şensoy, A, Şorman, AÜ, "Using MODIS snow cover maps in modeling snowmelt runoff process in the eastern part of Turkey", Remote Sensing of Environment, 230-216 ,97 ,2005.

Vafakhah, M, Nouri, A, Alavipanah, SK, "Snowmelt-runoff estimation using radiation SRM model in Taleghan watershed", Environmental Earth Sciences, 1003-993 ,(3)73 ,2015.

Zhang, G, Xie, H, Yao, T, Li, H, Duan, S, "Quantitative water resources assessment of Qinghai Lake basin using Snowmelt Runoff Model (SRM)", Journal of Hydrology, -976 ,519 ,2014 987.

Fazel, N, Torabi Haghighi, A, Kløve, B, "Analysis of land use and climate change impact by comparing river flow records for headwater and lowland reaches", Global and Planetary Change, 56-47 ,158 ,2017.

پیشرفت خارق العاده ایران در صنعت دفاعی

آرش نوربخش سعداباد، دکتری مکانیک، دانشگاه تبریز
امیرحسین همرنگ، دانشجوی کارشناسی برق

ایران از همان ماه‌های اول پس از انقلاب اسلامی دچار تحریم‌های تسلیحاتی بود و برخلاف سایر تحریم‌ها که به مرور در این ۴ دهه علیه کشورمان اعمال شد، در حوزه تسلیحات نظامی از همان ابتدا تحریم بودیم و حتی در اوج حمله صدام به کشورمان نیز این تحریم ادامه داشت. سختی بیشتر آن جا بود که تا قبل از پیروزی انقلاب در حوزه تسلیحاتی وابستگی تقریبا صددرصدی به خارج کشور وجود داشت و هزاران مستشار غربی در کشورمان با هزینه این مردم ارتشی را فراهم ساختند که قرار بود ژاندارم منطقه شود. با این حال و در برزنگاه جنگ تحمیلی این مستشاران از کشور رفتند و ایران ماند و تسلیحاتی که حتی تعمیرشان را بلد نبود با این حال و در این ۴۴ سال ایران قبل از انقلاب که تنها قادر به تولید حدود ۳۰ خانواده از محصولات دفاعی بود امروز با رشدی عجیب و غریب به حدود ۸۰۰ خانواده رسیده است.

این پیشرفت زمانی خارق العاده توصیف می‌شود که بدانیم در شرایط تحریم صددرصد و حتی ترور دانشمندانی همچون شهید فخری زاده صورت گرفته و ایران امروز را در زمینه تولیدات دفاعی از موشک و سامانه‌های پدافند هوایی و پهپاد و تسلیحات سبک و سنگین گرفته تا ناوشکن‌های چند هزار تنی و انواع جنگنده و زیردریایی به قدرت اول منطقه بدل کرده است. همین توان در تولید و استفاده از تسلیحات و تجهیزات رزمی باعث شده است تا جمهوری اسلامی ایران از سویی در تولید امنیت خود کاملا بومی و درون زا باشد و از سوی دیگر به سطح بالایی از بازدارندگی دست یابد که بیش از سه دهه خیال خام تهاجم به ایران عزیز را از سر دشمنان منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای ما بیرون کرده است. به مناسبت چهل و چهارمین سالگرد فجر انقلاب اسلامی نگاهی داریم به دستاوردهای دفاعی انقلاب اسلامی که توانست با هزینه بسیار و جهادی عظیم معجزه‌ای را رقم بزند. گزارش پیش رو بخش کوچکی از این دستاوردهاست که سعی شده است به اجمال و در این روزهای پر خاطره تدوین شود.

خرمشهر مهلک‌ترین موشک بالستیک

قطعا مهم‌ترین و راهبردی‌ترین حوزه پیشرفت تسلیحاتی ایران که توانسته سطح بالایی از بازدارندگی را به کشور بدهد، حوزه موشکی است. در حالی که پیش از انقلاب، غربی‌ها به ایران اجازه نمی‌دادند موشک بیش از برد ۱۰۰ کیلومتر داشته باشد، جنگ تحمیلی به ما ثابت کرد که برخلاف ارتش رژیم بعث عراق، چقدر دستمان خالی است. همین تجربه تلخ، ایران را به سمت ساخت موشک سوق داد تا امروز جمهوری اسلامی ایران به تنوع بسیاری از موشک‌های بالستیک و نقطه زن دست یافته است، چنان چه مؤسسه مطالعات دفاعی و امنیتی انگلیس در گزارشی از توانمندی موشکی ایران با عنوان یک انقلاب فنی تمام عیار یاد می‌کند و می‌نویسد: «توسعه قدرت موشکی، توانایی بازدارندگی را در اختیار ایران قرار داده و این کشور را قادر کرده است با اتکای موشک‌های نقطه‌زن خود، دشمنانش را صدها کیلومتر دورتر هدف قرار دهد.»

در این سال‌ها متخصصان کشورمان توانستند موشک‌ها و راکت‌های ایرانی را با سوخت‌های جامد و مایع با برد تا ۲۰۰۰ کیلومتر بسازند و تست کنند و رعب و وحشت به دل دشمن بیندازند و حتی گفته می‌شود ایران برای رسیدن به اهداف بیشتر از ۲۰۰۰ کیلومتر هم مشکل فنی و دانشی ندارد و زمانی که نیاز باشد از این عدد هم خواهد گذشت. جمهوری اسلامی ایران تا به امروز با طراحی و ساخت بیش از ۱۶ موشک بالستیک با کاربردهای مختلف، گام‌های بلندی در مسیر دستیابی به قدرت بازدارنده بومی برداشته است و مدرن‌ترین موشک ایرانی به نام خرمشهر با ۲ هزار کیلومتر برد و حدود ۲۰ تن وزن و سر جنگی هدایت شونده می‌تواند همه اهداف دشمن ما را در اطراف کشورمان تهدید کند.

این مهلک‌ترین موشک بالستیک ایران، در زمان رونمایی از سوی نشریه آمریکایی نیوزویک به عنوان یک «سیلی» به گوش ترامپ و نتانیاهو مطرح شد. داشته‌های موشکی ایران تنها به موشک‌های بالستیک منحصر نشده و بر اساس یک اصل راهبردی کشورمان در صنعت دفاعی توانسته است طیف متنوعی از راکت‌ها و موشک‌های کروز را نیز تولید کند که شاید بتوان گفت گل سرسبد موشک‌های کروز ساخته شده در ایران «هویزه» نام دارد. امسال نیز از موشک صیاد ۴B رونمایی شد. موشکی با برد ۳۰۰ کیلومتر که برد انهدام سامانه باور ۳۷۳ را که تا پیش از این روی عدد ۱۵۲ بود به فراتر از ۳۰۰ کیلومتر ارتقا داد.

موشک‌های هایپرسونیک بالستیک

سردار امیرعلی حاجی‌زاده فرمانده هوافضای سپاه پاسداران خبر مهمی را اعلام کرد و از ساخت موشک هایپرسونیک بالستیک توسط ایران خبر داد. به گفته فرمانده هوافضای سپاه، این سامانه سرعت بسیار بالایی دارد و دارای قابلیت مانورپذیری در جو و بیرون جو است. سردار حاجی‌زاده یک روز پس از اعلام خبر ساخت موشک، از رونمایی موشک بالستیک هایپرسونیک این نیرو در آینده خبر داد. موشک‌های هایپرسونیک نسلی از موشک‌هاست که سرعتی بیش از ۵ برابر سرعت صوت دارند و به دلیل همین سرعت بالا، رهگیری‌شان با سامانه‌های پدافندی رایج تقریباً غیرممکن است. به غیر از روسیه، چین و آمریکا که در مراحل پیشرفته توسعه موشک‌های هایپرسونیک خود قرار دارند، کره‌شمالی، استرالیا و هند هم از ساخت یا خرید موشک هایپرسونیک گفته‌اند و حالا ایران هم با تولید موشک بالستیک هایپرسونیک به جمع معدود کشورهای جهان که دارای این فناوری پیشرفته نظامی هستند، پیوسته است.



پهپاد همچون سایه‌ای بر سر دشمن

علاوه بر موشک، موضوع پهپاد (پرنده هدایت پذیر از راه دور) از دیگر تولیدات جناب و بسیار مهم صنعت دفاعی کشورمان در سال‌های پس از انقلاب اسلامی به شمار می‌رود. تجهیزاتی مهم و راهبردی که امروز در هر ارتش مدرنی جزو واجبات بوده و به مدد تلاش متخصصان دفاعی کشورمان می‌توانیم ادعا کنیم جزو ۳ کشور سازنده پهپادهای رزمی و شناسایی در دنیا هستیم.

با عملیاتی شدن این پایگاه سری که در عمق صدها متری زمین طراحی و ساخته شده جمهوری اسلامی ایران به قدرت برتر پهپادی در منطقه تبدیل شده است. همچنین در این بازدید دو دستاورد جدید برای نخستین بار به نمایش درآمد؛ نخستین دستاورد موشک کروز حیدر-۱ است که قابل حمل توسط پهپاد کمان-۲۲ نهاجا و فطرس معرفی شده است. این موشک ۲۰۰ کیلومتر برد دارد و سرعت آن در لحظه اصابت به هدف، هزار کیلومتر بر ساعت است. حیدر-۱ اولین موشک کروزی است که قابلیت شلیک از پهپاد را دارد. دومین دستاورد، پهپاد کروز حیدر-۲ است که یک پهپاد محمول بر بالگرد است.

پیشرفت‌های خیره‌کننده جمهوری اسلامی ایران در زمینه ساخت انواع پهپاد به ویژه در حوزه دفاعی و نظامی، به خصوص در سال‌های اخیر، توجه جهان را به خود جلب کرده است. ۱۳ آذر ۱۳۹۰ ایران یک فروند هواپیمای بدون سرنشین جاسوسی فوق پیشرفته و رادارگریز آمریکا از نوع لاکهید مارتین آرکیو ۱۷۰ را که در شرق کشور در حال جاسوسی بود، تحت کنترل خود درآورد و آن را به زمین نشاند و اقدام به مهندسی معکوس روی آن کرد.

آسمانی امن با پدافندی همیشه بیدار

اما مگر می‌شود کشوری بزرگ، با موقعیتی مهم و در یک منطقه حساس، در زمینه پدافند هوایی قدرتمند نباشد؟ شاید بزرگ‌ترین نقطه ضعف ما در دوران جنگ تحمیلی همین پدافند هوایی بود. امروز ایران جزو معدود کشورها در جهان است که با اتکا به توانمندی‌های داخلی پیشرفته‌ترین سامانه‌های دفاعی ضد موشکی را تولید کرده؛ سامانه‌هایی که به عنوان سپر دفاعی کشور دشمنان را از هرگونه تجاوز احتمالی پشیمان خواهد کرد. شاهکار این سامانه‌ها، باور ۳۷۳ نام دارد که از نمونه روسی اس ۳۰۰ ساخته شده، اما بسیار پیشرفته‌تر است و کار حراست از مهم‌ترین نقاط کشور از جمله برخی سایت‌های هسته‌ای را برعهده دارد.

اس ۳۰۰ سامانه پدافندی پیشرفته روسی است که قرار بود در سال ۲۰۰۸ به ایران داده شود، اما تحریم‌های شورای امنیت و بدقولی روس‌ها این موضوع را به تعویق انداخت تا ایران خود به فکر ساخت پدافند بومی در سطح اس ۳۰۰ بیفتد. کشورمان طراحی و ساخت باور ۳۷۳ را با این شرایط شروع کرد و حتی زمانی که در سال ۹۶، چند گردان از سامانه اس ۳۰۰ از سوی روسیه به ایران داده شد باز هم کار ساخت باور ۳۷۳ را متوقف نکرد تا این که سال ۱۳۹۹ و با حضور رئیس جمهور وقت از این سامانه رونمایی شد. «باور ۳۷۳» را باید پیچیده‌ترین و مهم‌ترین سامانه پدافند هوایی موشکی ساخت داخل و حتی پیچیده‌ترین پروژه دفاعی تاریخ ایران به شمار آورد که کار طراحی، ساخت، تست و عملیاتی شدن آن در کمتر از یک دهه به دست متخصصان ایرانی در داخل کشور انجام شده است، اما ویژگی‌های این شاهکار صنعت دفاعی کشور که می‌تواند همچون گنبدی آهنین در کنار دیگر سامانه‌های بومی و غیر بومی پدافندی ایران به دفاع از حریم ایران بپردازد، چیست؟

به گزارش پایگاه اطلاع رسانی وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح، در سامانه سلاح باور ۳۷۳، دو رادار جست وجوگر و رهگیر وجود دارد که حداکثر برد رادار جست وجو و کشف بر اساس اطلاعات اعلام شده ۳۲۰ کیلومتر و حداکثر برد رادار رهگیری ۲۶۰ کیلومتر خواهد بود. رادار جست وجو و کشف سامانه باور ۳۷۳ قادر است ۳۰۰ هدف را به طور همزمان شناسایی کند؛ از سویی رادار رهگیر این سامانه نیز قادر به رهگیری ۶۰ هدف به طور همزمان است. از جمله ویژگی‌های بارز رادار رهگیر باور ۳۷۳، قابلیت کشف اهداف پنهان کار با سطح مقطع راداری بسیار کم است که با این توانایی، عملا هدف پنهان‌کاری برای این سامانه وجود نخواهد داشت.



از دیگر سامانه‌های مهم در پدافند هوایی کشور می‌توان به سامانه بومی سوم خرداد اشاره کرد که با انهدام پهپاد پیشرفته گلوبال هاوک آمریکایی در سال ۱۳۹۸ درخشید.

بزرگ‌ترین ناوگان بالگردی غرب آسیا

جمهوری اسلامی ایران با در اختیار داشتن بزرگ‌ترین صنایع بالگردی در منطقه، یکی از کشورهای پیشرو در عرصه طراحی و ساخت بالگردهای نظامی و تجاری است. ایران از سال ۱۳۷۶ و با ساخت بالگرد «شاهد» که نمونه‌ای مهندسی معکوس شده از بالگرد «بل-۲۰۵» بود، به جرگه کشورهای سازنده بالگرد پیوست. پس از بالگرد شاهد، خانواده بالگردهای شاهد در سه مدل «شاهد-۲۷۴» و «شاهد-۲۷۸» و «شاهد-۲۸۵» تولید شد که برای نخستین بار در این خانواده، روند طراحی و ساخت کاملا بومی صورت گرفت.

پیشتاز در ساخت تانک و ادوات زرهی

در جنگ‌های امروزی ادوات زرهی مثل تانک و نفربرها نقش زیادی در پیشبرد جنگ و همچنین حفظ جان سربازان دارد، از این رو کشورها سرمایه گذاری زیادی روی تانک‌ها و زره پوش‌ها می‌کنند. بر اساس آخرین آمار سایت گلوبال فایرپاور که سایت معتبری درباره تعداد و نوع تسلیحات در کشورهای مختلف است تعداد مجموع تانک‌ها و نفربرها و زره پوش‌های ایران ۲۹۳۱ عدد است. طبق این آمار، ایران در رتبه ۱۳ رده بندی کشورهای دارای بیشترین تانک قرار دارد.

متخصصان کشورمان علاوه بر بهینه سازی تانک‌های خارجی که در نیروهای مسلح کشورمان به کار گرفته می‌شوند سعی کردند وارد حوزه ساخت تانک نیز بشوند. اولین و معروف‌ترین نمونه درخور ذکر در این زمینه تانک ذوالفقار است، اما نسل جدید تانک‌های ایرانی کرار نام دارد. تانک کرار بهترین تانک ایران است که ۲۲ اسفند ۱۳۹۵ رونمایی و همزمان خط تولید انبوه در صنایع زرهی بنی‌هاشم دورود در استان لرستان افتتاح شد. این تانک در مدت سه سال توسط متخصصان سازمان صنایع دفاعی ایران طراحی و ساخته شده است. تانک کرار از موتوری جدید با ساختار بهینه شده استفاده می‌کند که توانی بین ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ اسب بخار از آن انتظار می‌رود. سامانه کنترل آتش الکترواپتیکی، سامانه فاصله‌یاب لیزری، رایانه بالستیک و قابلیت شلیک به اهداف ثابت و متحرک در شب و روز، قابلیت شلیک موشک و هدایت لیزری بسیار دقیق و امکان شلیک توپچی و فرمانده از دو سایت موازی از ویژگی‌های تانک کرار است.

جولان شناورهای بومی در آب‌های جهان

یکی از پیچیده‌ترین بخش‌های صنعت دفاعی به شناورهای آبی ارتباط دارد. در این حوزه نیز عملکرد صنایع دفاعی ایران چشمگیر و درخشان بوده، از ناوچه‌ها و ناوشکن‌های کوچک و بزرگ گرفته تا زیردریایی‌های سبک و نیمه سنگین که اوج فناوری را در دستان هوشمند ایرانی به نمایش می‌گذارد. ناوشکن جماران نخستین ناوشکن ساخت ایران است که با دانش کامل ایرانی ساخته و در ۱۳۸۸ خورشیدی تحویل نیروی دریایی ارتش شده است. در جماران از پیشرفته‌ترین نمونه‌های راداری، سامانه‌های پدافندی و موشکی از جمله موشک‌های سطح به هوا و اژدرانداز استفاده شده بود.

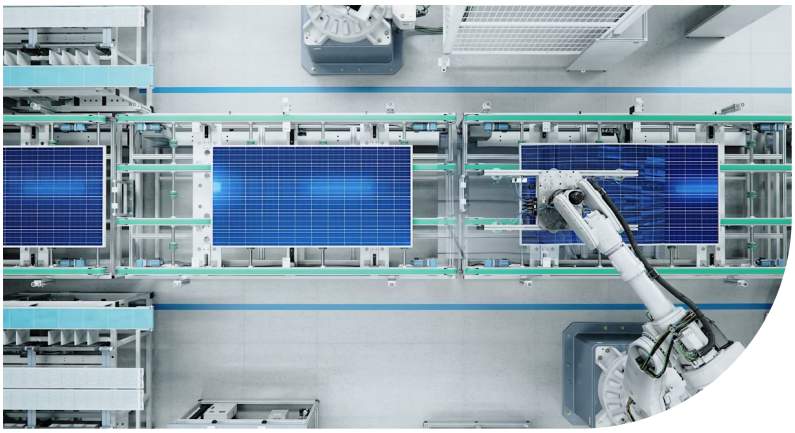
همچنین جماران نخستین ناوشکن ایرانی است که به باند فرود بالگرد مجهز شد. پس از جماران دومین ناوشکن کلاس موج به صورت کاملا مشابه با جماران ساخته شد و دماوند نام گرفت. این ناوشکن متاسفانه بر اثر یک حادثه دریایی در بندر انزلی غرق شد. سهند و دنا نمونه‌های دیگر این کلاس بودند که در سال‌های اخیر ساخته شده اند و هم اکنون چند فروند دیگر هم در حال ساخت هستند.

همچنین سال ۱۴۰۰ نیروی دریایی جمهوری اسلامی ایران توانست برای اولین بار در تاریخ نیروی دریایی کشورمان یک ناوگروه با حضور ناوشکن سهند و ناوبندر مکران به اقیانوس اطلس اعزام کند و هم اکنون ناوگروه دیگری از ایران در حال پیمایش دور دنیاست.

تصمیم برای ساخت زیردریایی در ایران، به اوایل دوران جنگ تحمیلی رژیم بعث عراق علیه ایران بازمی‌گردد. زیردریایی غدیر بر اساس یک طرح خارجی در خط تولید قرار گرفته و تعداد زیادی از آن به خدمت ارتش درآمد. در ادامه، متخصصان کشورمان برای رفع نیازهای بالاتر از دفاع ساحلی، طراحی زیردریایی بومی فاتح را در دستور کار قرار دادند. زیرسطحی ۵۲۷ تنی فاتح به‌عنوان یک زیردریایی نیمه‌سنگین تلقی می‌شود. این زیردریایی از نظر مشخصات عملیاتی بسیار برتر از غدیر است و توانایی حرکت در عمق ۲۰۰ متر را به‌صورت عادی دارد و می‌تواند به‌مدت ۳۵ روز دریانوردی کند. در ساخت زیردریایی فاتح بیش از ۴۱۲ هزار قطعه با دستیابی و بومی‌سازی ۷۶

تازه‌های فناوری

سیامک سیفی تکمه داش، دانشجوی دکتری عمران و محیط‌زیست، دانشگاه یورک کانادا



عنوان انگلیسی	عنوان فارسی
Anti-submarine warfare (ASW) capability for destroyer and cruiser surface warships	سلاح ضدزیردریایی جدید

خلاصه فناوری:

۱۵(۸۹A(V-AN/SQQ یک سیستم مبارزه با زیردریایی است که کشتی‌های جنگی را قادر می‌سازد تا امکان جستجو، تشخیص، طبقه‌بندی، موقعیت‌یابی و پیگیری اجسام زیرآب را داشته و به زیردریایی‌ها، مین‌های شناور، و اژدرهای دشمن حمله کرده و یا با حملات آن‌ها مقابله نمایند[۱].

۱۵(۸۹A(V-AN/SQQ یک سیستم قابل ارتقا است که شامل ترکیب نرم‌افزاری و سخت‌افزاری دوسالانه می‌شود. این سیستم از سونار (سنسورهای تشخیص صوت در دریا) برای ردیابی زیردریایی‌ها استفاده می‌کند. انرژی صوتی دریافتی پردازش شده و نمایش داده می‌شود تا اپراتورهای سیستم را قادر به تشخیص، طبقه‌بندی و ردیابی زیردریایی‌های تهدیدکننده نماید. این سیستم از سونار غیرفعال (از جمله سنسور صوتی) برای ارائه‌ی هشدار زودهنگام در مقابل خطر حمله‌ی اژدها استفاده می‌نماید[۲].

قرارداد پروژه:

پیمانکار اصلی این طرح، شرکت سیستم‌های ماموریتی و آموزشی لاکهیدمارتین واقع در شهر مانیساس ایالت ویرجینیا ایالات متحده‌ی آمریکا می‌باشد[۲]، مبلغ قرارداد ۷۷٫۸ میلیون دلار بوده[۳] و تا سال ۲۰۲۱ اجرای کامل طرح به پایان خواهد رسید[۱].

زیرفناوری‌ها:

سیستم مذکور مجهز به این تکنولوژی‌ها می‌باشد:

۱) سنسورهای صوتی نصب شده به بدنه‌ی کشتی از نوع چندکاره و مدل TB-۳۷ که شامل یک جزرهگیری صوتی شناخته شده و هیدروفون مرجع کالیبره شده جهت رهگیری اجسام زیرآب با فرکانس رادیویی می‌باشد[۲].

۲) از بخش‌های کاربردی برای پردازش و نمایش داده‌های فعال، غیرفعال و محیطی استفاده شده است[۲]. این سیستم با استفاده از یک مدل تجاری قابل ارتقا عملکرد سنسور را بهبود بخشیده است[٤].

۳) مجهز به سیستم حفاظتی متشکل از اژدرهای مدل MK٤٦ و MK٥٤ ، موشک‌های ضد زیردریایی عمودی و یا هلیکوپترMH٦٠R می‌باشد[۲].

٤) این سیستم بر روی یک ناوشکن کلاس DDG٥١ و یا رزم‌ناو کلاس CJ٤٧ قرار می‌گیرد[۲].

٥) این سیستم قابلیت پردازش فعال پیشرفته را از ادغام دستگاه طبقه‌بند صدا (ETC) برای هر دو سنسور بدنه و سنسور بهره برنده از آرایه‌ی چندتابعه (MFTA) به دست می‌آورد[٥].

٦) این سیستم طیف گسترده‌ای از قابلیت عملیات زیرآب را فراهم می‌کند: کنترل آتش زیرآب، یک زیرسیستم نمایشگر بسیار پیشرفته ادغام شده با سیستم نورپردازی چندمنظوره (LAMPS MK III و Block II Upgrade) برای پردازش کردن سیگنال-[٦].

کاربردها[۲]:

فرماندهان جنگ از این سیستم در جنگنده‌های سطح استفاده می‌کنند، تا قادر باشند زیردریایی‌های خطرناک را شناسایی و برآن‌ها نظارت کنند.

فرماندهان دریایی، از جنگنده‌های سطح دارای این سیستم، به عنوان محافظ برای واحدهای با ارزش بالا در برابر خطر حمله‌ی زیردریایی‌های خطرناک در طول حمل‌ونقل استفاده می‌کنند. علاوه‌براین، آن‌ها از این سلاح، برای انجام پاک‌سازی منطقه، دفاع و حمایت از سلاح ضدزیردریایی در هنگام حملات استفاده می‌کنند.

فرماندهان یگان‌ها از این سیستم برای انجام جستجو، پیگیری، تعامل و دفاع از سلاح ضد زیردریایی استفاده می‌کنند.

ناوهای مجهز به این فناوری:

این سیستم بر روی کشتی‌های Oliver Hazard Perry کلاس (FFG٧)، ناوشکن‌هایArleigh Burke کلاس (DDG٥١) و رزم‌ناوهای Ticonderogaکلاس (CG٤٧) قرارگرفته است و در آینده بر روی رزم‌ناوهای موشکی کلاس (FFG(X)) نصب خواهد گردید[۸].

منابع:

[1]:https://www.militaryaerospace.com/articles/01/2019/anti-submarine-warfare-asw-surface-warships.html
[2]:https://www.globalsecurity.org/military/library/budget/fy2016/dot-e/navy/2016ansqq89a.pdf
[3]:https://www.upi.com/Lockheed-awarded778-M-for-Navys-undersea-warfare-system/5521547815147/
[4]:https://militaryleak.com/21/01/2019/lockheed-awarded8-77-m-for-navys-undersea-warfare-combat-system-production/
[5]:https://www.navy.mil/navydata/fact_display.asp?cid=2100&tid=318&ct=2
[6]:https://defence-blog.com/news/lockheed-martin-awarded77-m-for-an-sqq-89-sonar-system.html
[7]:https://seawaves.com/02/02/2018/us-navy-contract-announcement-february2018-1-/
[8]:https://navaltoday.com/18/01/2019/lockheed-gets77-m-for-undersea-warfare-combat-system-production/

آموزش لینکدین

سیدامیررضاعبداللهی، دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد مکانیک
سارا کیانی‌نسب، دانشجوی کارشناسی مهندسی صنایع

در اغلب اوقات زمانی که صحبت از شبکه‌های اجتماعی می‌شود، ذهن به سمت فعالیت‌های سرگرم کننده کوچکی می‌افتد که باعث اتلاف زمان می‌شود، اما در این بین، نام لینکدین نه در بین شبکه‌های اجتماعی به دردنخور، بلکه به عنوان یک شبکه اجتماعی مفید آورده می‌شود. در این مطلب آموزش لینکدین قصد دارم به شما آموزش دهم که لینکدین چیست، چه مزیتی برای کسب و کار شما و همینطور یک فرد جویای کار دارد؟! بعد از آشنایی با لینکدین هم به سراغ نکات مهمی می‌روم که با رعایت آن‌ها می‌توانید به یک کاربر حرفه‌ای لینکدین تبدیل شوید. در اواسط مقاله هم آموزش نصب لینکدین به صورت تصویری در اختیارتان قرار می‌گیرد.



لینکدین یک شبکه اجتماعی است که در سال ۲۰۱۲ توسط رید هافمن ساخته شد. طبق آمار، این برنامه در سال ۲۰۱۹ بیشتر از ۶۰۰ میلیون کاربر ثبت نامی داشته است. اگر کمی دقیق‌تر بخواهیم آن را معرفی کنیم، باید بگوییم: لینکدین یک شبکه اجتماعی کسب و کار محور است! یعنی مثل اینستاگرام یا مَسِنجر تلگرام بر این پایه بنا نشده که شما ٦ ساعت از زمان روزانه را در آنها بگذرانید و دائما پست‌های شگفت انگیز و جذابی مشاهده کنید که اجازه خروج از آن را به شما ندهند. بلکه هدف از راه اندازی لینکدین "ساخت یک شبکه و ایجاد ارتباط بین کسب و کارها، افراد جویای شغل، متخصصان و..." بوده است.

در اصل در این شبکه اجتماعی دو نوع حساب کاربری وجود دارد. اولی حساب کاربری مخصوص شرکت و برندها و دومی حساب کاربری شخصی که برای افراد است.

کاربرد لینکدین چیست؟



خب، حالا به این سوال مهم می‌رسیم که کاربرد برنامه لینکدین چیست؟

۱-برندینگ

چه به عنوان یک فرد متخصص در حیطه کاری خودتان و چه به عنوان یک کمپانی و شرکت، لینکدین فضای مناسبی برای شماست که بتوانید به کمک آن به یک برند قوی تبدیل شوید. اگر نحوه کار با لینکدین و استراتژی‌های محتوایی آن را یاد بگیرید، مطمئنا در زمان مناسبی می‌توانید در میان همکاران یا مشتریان خودتان به عنوان یک برند خوب شناخته شوید.

۲-ارائه رزومه

یکی از کاربردی‌ترین خاصیت‌های لینکدین، ارائه رزومه در آن است. افرادی که در یک زمینه کاری تخصص مناسبی داشته باشند (مخصوصا زمینه‌های کاری در حیطه رایانه) میتوانند در پروفایل کاربری خود، رزومه شان را ارائه کرده و به این صورت توانایی‌های شان را به دید شرکت‌های بزرگی که به دنبال نیرو هستند برسانند. لینکدین بخش خاصی را برای نمایش رزومه‌ها برای شرکت‌ها قرار داده که با کمک آن بتوانند به این طریق به نیروهای مورد نظر برسند.

۳-جستجو مستقیم شغل

در لینکدین بخشی با نام "مشاغل" وجود دارد که کاربران با کمک آن می‌توانند فرصت‌های شغلی مرتبط به خود را پیدا کرده و برای استخدام و ارسال رزومه در شرکت‌های مربوط اقدام کنند. به این صورت اگر کمی با تکنیک-های رزومه نویسی حرفه‌ای آشنا بوده و البته کیفیت کار خوبی هم داشته باشید، احتمالا با فعالیت در لینکدین، هیچ موقع بیکار نمی‌مانید.

٤-استخدام

در همین شرایطی که دائما بسیاری از افراد از نبود شغل و... گلایه می‌کنند، اغلب شرکت‌هایی که برای مشاوره سئو به ما مراجعه می‌کنند به دنبال یک یا چند نیروی پرانرژی یا کاربلد هستند.

نیروهای فعال در زمینه:

سئو،

تولید محتوا،

بازاریابی دیجیتال

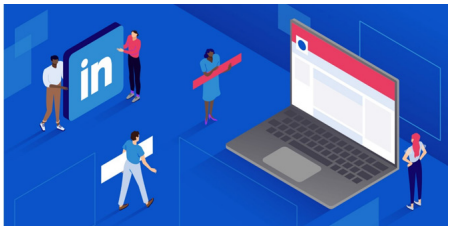
مدیریت وب سایت

که البته مطمئنا شرکت‌های فعال در زمینه‌های دیگر، فرصت‌های شغلی دیگری هم دارند. خیلی از شرکت‌ها از پتانسیل بالا و رایگان لینکدین استفاده کرده و با ارائه فرصت‌های شغلی مجموعه خود سعی در پیدا کردن نیروهای مناسب می‌کنند.

۵-ارتباط

و در نهایت لینکدین یک مکان و شبکه اجتماعی عالی برای برقراری ارتباط و شبکه‌سازی است. از طریق این پلتفرم شما می‌توانید با رقبا، همکاران، اساتید و... ارتباط برقرار کرده و یک شبکه بزرگ در زمینه‌کاری خود یا خارج از آن بسازید. خب، تا اینجا متوجه شدیم که لینکدین چه خدماتی به ما ارائه می‌دهد و چه استفاده‌هایی می‌توان از آن کرد. حالا کمی در مورد ویژگی‌ها و کاربردهای این برنامه، ریزتر می‌شویم تا ببینیم فعالیت در آن، اصلا برای ما مفید است یا نه!

آیا فعالیتم را در شبکه اجتماعی لینکدین شروع کنم؟



راستش را بخواهید، باید اول از همه به این موضوع اشاره کنم که متاسفانه در سال‌های اخیر بعضی از کاربران ایرانی به این شبکه وارد شده‌اند که اصلا جایی در آن ندارند. با توجه به اینکه خیلی از شبکه‌های اجتماعی بزرگ مثل فیسبوک و توییتر در ایران فیلتر هستند، در چند سال گذشته برخی کاربرانی به لینکدین وارد شده‌اند که از فضای کسب و کار دور هستند و گاها باعث برهم زدن این فضا با ارائه محتوای زرد می شوند.

اما در هر حال، باز هم این چیزی از مزیت‌هایی که لینکدین می‌تواند برای شما یا کسب و کارتان داشته باشد، کم نمی‌کند. اما در جواب این سوال که آیا فعالیتم را در لینکدین شروع کنم؟ قبل از اینکه برای نصب لینکدین روی تلفن همراه یا فعال‌سازی آن در مرورگر رایانه اقدام کنید، باید مطمئن شوید که فضای آن به درد فعالیت خود یا شرکت تان میخورد یا نه. بنابراین بهتر است جست‌وجویی در آن داشته باشید و به همکاران یا رقیبانی که در آن فعالیت می‌کنند نگاه کنید. شما باید مطمئن باشید که اگر زمانی را قرار است برای مدیریت شبکه لینکدین خود صرف کنید، این زمان می-تواند شما را به هدف، که افزایش مخاطبان کسب و کار یا پیدا کردن جایگاه شغلی مناسب (یا حتی برندینگ) است، برساند. اما به طور کلی همانطور که قبلا هم گفتم، اگر فعالیتی در زمینه دنیای رایانه و وب دارید، احتمالا بهترین مکان برای فعالیت شما همین شبکه اجتماعی است.

تفاوت حساب کاربری free و premium چیست؟

لینکدین دارای دو نوع حساب کاربری رایگان و پولی است البته نمی‌توان گفت که این شبکه اجتماعی یک شبکه نیمه رایگان و... است. تفاوت‌هایی که حساب‌های رایگان و غیر رایگان

دارند، نه در استفاده از قابلیت‌های و ویژگی‌های پایه‌ای برنامه، بلکه در دریافت خدمات خاص است. به عنوان مثال، اگر شما از یک حساب شخصی رایگان در این شبکه استفاده می‌کنید و حساب دوست شما پولی است و هر دو هم به دنبال شغل هستید، افراد بیشتری رزومه دوست شما را مشاهده می‌کنند. یعنی زمانی که افراد جویای نیرو در بخش رزومه‌ها یا با جستجو به دنبال پیدا کردن نیروی مناسب هستند، لینک دین به رزومه افرادی که دارای اکانت غیر رایگان باشند اولویت داده و آنها را بیشتر نمایش می‌دهد. (البته این بدان معنای نیست که رزومه شما در مقابل دید افراد قرار نمی-گیرد.) همینطور، در صورتی که اکانت شما یک اکانت شرکتی غیر رایگان باشد، اطلاعیه‌هایی که برای استخدام افراد ایجاد می‌کنید، بیشتر از اطلاعیه‌های مربوط به شرکت‌هایی با اکانت رایگان بازدید می‌شود. علاوه بر اینها اکانت‌های پولی یک سری قابلیت‌های دیگر هم دارند. از جمله ارسال پیام‌های خصوصی و مستقیم بیشتر، مشاهده تعداد بیشتر از بازدید کنندگان پروفایل خودشان، جستجو حرفه‌ای و....

آموزش نصب لینکدین

برای نصب لینکدین، نسخه بروزرسانی شده آن را از یک مارکت معتبر اندرویدی دانلود کنید. دقت داشته باشید که نسخه‌های بروزرسانی نشده آن اغلب در میان نصب و... با مشکلاتی مواجه میشوند. پس مطمئن شوید که نسخه دانلود شده، آخرین نسخه نرم افزار است. بعد از نصب، این اولین صفحه‌ای است که در برنامه با آن روبرو می‌شوید:



اگر قبلا در لینکدین حساب کاربری داشتید از گزینه sign in در غیر اینصورت گزینه join استفاده کنید. بعد از انتخاب گزینهjoin وارد صفحه پایین شده و ثبت نام خود را تکمیل کنید.



۱-تکمیل پروفایل لینکدین

اولین نکته نشان دهنده حرفه‌ای بودن یا نبودن یک اکانت در لینکدین، پروفایل آن است. بنابراین به عنوان اولین قدم برای تبدیل شدن به یک کاربر حرفه‌ای، به بهترین شکل پروفایل کاربری خودتان را تکمیل کرده، یک تصویر با کیفیت از خودتان یا لوگو شرکت در آن قرار داده و به خوبی خود را معرفی کنید. بهتر است علاوه بر عکس پروفایل، یک کاور حرفه ای هم برای آن در نظر بگیرید.

باید در بخش پروفایل یک اکانت شخصی:

نام و نام خانوادگی،
حیطه فعالیت،
شغل فعلی،
شغل قبلی،
تحصیلات،
سوابق کاری،
و....

را تعیین کنید تا یک پروفایل تکمیل شده داشته باشید. علاوه بر اینها نوشتن متن عنوان و خلاصه لینکدین هم ضروری است که در ادامه آنها را به شما توضیح می‌دهم. دقت کنید که کامل نبودن پروفایل شما میتواند امتیازتان را در جستجوهای لینکدین پایین آورده و بازدید رزومه یا فرصت‌های شغلی‌تان را کاهش دهد.

در ضمن یک اکانت حرفه‌ای که به دنبال شغل، استخدام یا شبکه‌سازی و... است، باید در حالت غیرخصوصی و باشد تا همه بتوانند ببینند.

۲-آدرس پروفایل لینکدین

شما میتوانید در لینکدین آدرس خودرا شخصی‌سازی کنید. البته الزامی در انجام این کار نیست اما به شدت پیشنهاد می‌کنم که از آن استفاده کنید. به این ترتیب کاربران راحت‌تر شما را پیدا می‌کنند، آدرس تان را با دردسر کمتری در شبکه‌های اجتماعی دیگر و سطح وب به اشتراک گذاشته و حتی این موضوع می‌تواند باعث "سئو شدن اکانت شما در گوگل" روی نام کاربری و ...تان شود.

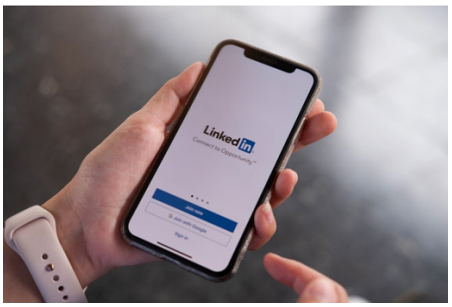
۳-عنوان جذاب بنویسید

در پایین پروفایل شما، بخشی با نامِ عنوان یا وجود دارد. متنی که در این بخش می‌نویسید اول از همه روی نظر مخاطبان بازدیدکننده شما تاثیر دارد و بعد از آن هم روی امتیازی که لینکدین برایتان در نظر گرفته و طبق آن برای نمایش دادن و ندادنتان در نتایج جستجو لینکدین تصمیم میگیرد. بنابراین در نوشتن هدلاین لینکدین به جذاب نویسی و... دقت زیادی داشته باشید.

٤-فعال باشید

درست است که لینکدین یک فضای عالی برای پیدا کردن شغل و همینطور نیرو است؛ اما این بهانه مناسبی نیست که آن را با یک وب سایت نیازمندی‌های استخدامی اشتباه بگیرید!

قرار نیست تنها هدف شما از فعالیت در این شبکه رسیدن به یک شغل مناسب باشد. حتی اگر همین هدف را هم داشته باشید، الگوریتم‌های لینکدین به دلیل فعالیت کم این فرصت را از شما می‌گیرند. بنابراین باید برای حرفه-ای شدن، فعالیت داشته باشید. بهترین فعالیت ممکن، ایجاد محتوا است. شما باید بتوانید برای مخاطبان مرتبط به حیطه فعالیت‌تان، پست‌های جذابی تولید کنید. به این صورت علاوه بر برندینگ ایجاد شده، می‌توانید به لینکدین ثابت کنید که شما یک کاربر فعال هستید و به این صورت شانس بیشتری برای دیده شدن در جستجوها و... به دست بیاورید.



البته فعالیت در لینکدین صرفا به نوشتن محتوا محدود نمی‌شود. یک فعالیت مناسب دیگر، مشارکت در بخش نظرات پست‌های دیگران است. زمانی که یک محتوای مربوط به فعالیت خودتان را در اکانت رقبا، همکاران، افراد معروف و... مشاهده می‌کنید، این بهترین زمان برای مشارکت و فعالیت است. در این شرایط می‌توانید با ارائه نظرهای مفید، فعالیت خودتان را به الگوریتم‌ها ثابت کنید، مخاطبان جدید جذب کرده و با افراد جدید آشنا شوید.

نکته: لطفا در فعالیت کردن کمی حساس باشید! دقت کنید که در لینکدین هرچیزی را که لایک کنید به مخاطبانتان اطلاع داده می‌شود. بنابراین کمی روی رفتارتان در این شبکه اجتماعی حساسیت نشان دهید.

گروه‌های لینکدین

لینکدین قابلیت ایجاد گروه را دارد. شما می‌توانید با عضویت و فعالیت در این گروه‌ها، با افراد جدید بسیاری آشنا شوید. البته پیشنهاد می‌کنم در گروه‌هایی عضو شوید که مربوط به حیطه فعالیت شماست و هدفتان از عضویت، یادگیری و یاددهی باشد نه اینکه صرفا به قصد افزایش دنبال کننده در آنها وارد شوید.

۵- شبکه سازی را فراموش نکنید



شبکه اجتماعی لینکدین یک فضای عالی برای شبکه‌سازی و ایجاد ارتباطات مناسب است و اینکه از قابلیت و پتانسیل آن در این زمینه

استفاده نکنید، صرفا باعث از دست رفتن هزینه و فرصت‌های مختلف می‌شود. بنابراین سعی کنید در هر فرصت مناسب، با افراد همکار و مرتبط به خودتان ارتباط برقرارکرده و یک شبکه عظیم از دوستان و همکاران را ایجاد کنید.

۶-تکمیل بخش توصیه‌نامه ها در لینکدین

قسمت دیگری در لینکدین با نام وجود دارد. در این بخش شما میتوانید همکاری با دوستان خودتان را به بقیه توصیه کنید. همینطور دوستان شما میتوانند شما را به بقیه توصیه کنند که آنها هم در این بخش نمایش داده می‌شوند. پیشنهاد می‌کنم از نوشتن توصیه‌های تبلیغاتی و غیرواقعی چه برای خودتان و چه برای دیگران خودداری کنید.

۷- آموزش لینکدین: استراتژی محتوا خودتان را تعیین کنید

یک موضوع بسیار مهم! لطفا استراتژی محتوایی لینکدین خودتان را تعیین کنید. این یک کار کاملا غیر حرفه‌ای است که امروز به بهانه روز ولنتاین یک پست عاشقانه در لینکدین منتشر کنید و فردا در مورد یک رویداد دیگر اطلاع رسانی داشته باشید. اینها رفتارهایی است که به درد اینستاگرام و تلگرام میخورند، نه یک شبکه اجتماعی کسب و کار محور. در لینکدین برای اینکه به یک انسان حرفه‌ای تبدیل شده و بتوانید به خوبی با بقیه تعامل برقرار کنید، باید یک ارزش به مخاطبان ارائه دهید! این ارزش می‌تواند از میان نکات مختلفی انتخاب شود. یکی علاقه مند به این است که اطلاعات جدید و اخبار مربوط به حیطه فعالیت خودش را با مخاطبان به اشتراک بگذارد، یکی دوست دارد به آموزش مشغول شود و دیگری هم یک فعالیت مفید دیگر را در قالب پست ها و مقالات این شبکه اجتماعی جلو می‌برد.

در کل باید با یک استراتژی ارزش آفرین به جلو بروید تا مخاطبان مطمئن باشند که در صورت دنبال کردن شما، به یک سری اطلاعات مناسب دست پیدا می‌کنند. همینطور در این روند پیشنهاد می‌کنم که از انتشار هر نوع اخبار بی اعتبار و... مرتبط به کسب و کارتان خودداری کنید. قبل از انتشار خبری که از جایی آن را شنیده یا در پستی دیده اید، این دو سوال را بپرسید: این خبر منبع معتبری دارد؟

انتشار آن واقعا برای کاربران من ارزش آفرین است؟

۸- حساب کاری شخصی و شرکتی را جدا کنید

راستش این موضوع، یک تکنیک حرفه‌ای لینکدین نیست! یک خواهش و تمنا است... بیشتر کاربران حرفه‌ای لینکدین نسبت به این موضوع گلایه دارند که چرا باید مخاطبان، برای شرکت خودشان یک حساب شخصی ایجاد کنند؟ خودتان تصور کنید با پروفایل شرکتی در لینکدین روبرو شوید که حتی در بخش "تحصیلات" هم اطلاعاتی در مورد تجربه ها و... خود ارائه کرده! لینکدین قابلیت حساب‌های شرکتی را در اختیار مخاطبان قرار داده تا آنها بتوانند برای کمپانی و مجموعه خود از این نوع حساب استفاده کنند. بنابراین به شدت به این موضوع دقت کنید و این فعالیت غیر حرفه‌ای را انجام ندهید.

۹-تجربه‌ها را به اشتراک بگذارید

لینکدین فضای مناسبی برای راه اندازی یک شبکه تبلیغاتی نیست، اما میتوانید در آن در مورد تجربه‌های کسب و کار خود صحبت کنید. مقاله‌ای که امروز برای فلان شرکت بزرگ منتشر کردید، یک لینک‌هایی که برای فلان وب سایت خریدید، جلسه مشاوره‌ای که با فلان کسب و کار داشتید و....

اینها همه از جمله راه‌هایی هستند که بتوانید به صورت غیر مستقیم به مخاطبانتان یادآوری کنید که شما در حیطه کاری خود فعال هستید و حرفی برای گفتن دارید. این موضوع مطمئنا در استخدام شما یا جذب نیرو جدید و حتی خرید خدمات و محصولاتتان تاثیر دارد. این نوع تبلیغ در حالی انجام می‌شود که کسی از شما گلایه نمیکند، چون شما در حال اشتراک گذاری تجربه‌هایتان هستید.



روایتی متفاوت از انرژی با حضور و گفتگوی صمیمی با دکترصباحی

محمد مهدی رسول‌زاده، آرمین شیرین بیگی، هانیه ستوده
دانشجویان کارشناسی مهندسی برق دانشگاه تبریز



مهران صباحی متولد ۱۳۴۷ شهر تبریز، تحصیلات را تا گرفتن دیپلم در شهر تبریز بوده و سال ۶۶ در کنکور سراسری، مهندسی برق الکترونیک دانشگاه تبریز قبول شده؛ و بعد اون بدون وقفه تحصیلات ارشد را خوانده و در مقطع ارشد مهندسی برق قدرت دانشگاه تهران قبول شده، از سال ۷۳ در سازمان پژوهش‌های علمی صنعتی ایران هیات علمی بوده و در آنجا خیلی از پروژه‌های صنعتی را کار کرده است. از سال ۸۸ تا الان در دانشگاه تبریز هیات علمی بوده و الان استاد تمام هست.

خوب آقای دکتر چی شد که برق رو انتخاب کردین؟

دوران راهنمایی به برق علاقه خاصی داشتم. در زمان راهنمایی بیشتر کارهای برق انجام می‌دادم و بردهای آمپلی فایر را درست می‌کردم و از روی علاقه اومدم برق را انتخاب کردم و سال ٦٥ از برق الکترونیک دانشگاه تبریز قبول شدم. از همون اول دوست داشتم که الکترونیک بخونم. چون برق الکترونیک زیر شاخه خیلی از رشته هاست. خیلی کاربردی هست و سیستم‌های دیگر هم بر اساس الکترونیک هستند. چون تمام مدارهای کنترل و مخابراتی از سیستم‌های الکترونیکی پیروی می‌کنند و من تو جواب این سوالم باید بگم که بله بر اساس علاقه شخصی اومدم.

تبریز تداعیگر چه چیزی برای شما بوده است؟

دانشگاه تبریز برام تداعیگر دوران شیرین جوانی و آرزوهای جوانی و کلاً دوستانی که اون زمان بودن هست. فضا و محیطی که اون زمان بود غیرقابل وصف هست. در زمان ما سال ۶۵ که وارد دانشگاه شدیم زمان جنگ بود ولی سال ۶۸ که صلح رو اعلام کردن، وضعیت بهبود پیدا کرد. یکی از خاطرات بدی که داشتم زمانی که تو ساختمان شماره هشت بودیم بمباران دانشکده فنی بود. خاطره خیلی بدی بود برام و هیچ وقت تلخی اون واقعه از یادم نمیره.
از خاطرات خوش بگم که اون زمان اساتید خیلی بزرگی داشتیم. خاطرات اساتید مثل آقای دکتر حسینی که الان هم دارن تدیس میکنند، اقای دکتر طینتی الکترونیک تدریس میکردند و آقای دکتر فیضی که درس خوندن و نشستن تو کلاس این اساتید برام خیلی شیرین بود. زمانی که این اساتید را می‌بینم واقعا افتخار می‌کنم که شاگرد چنین اساتیدی بودم. برخلاف الان، اون زمان موبایل و اینا نبود و زمان فعلی و اون زمان خیلی تفاوت داره، چون در زمان خیلی کمی انقلاب بزرگی در صنعت و تکنولوژی اتفاق افتاد. عرصه تکنولوژی خیلی زود و به صورت اتفاقی پیشرفت کرد.
زمان ما این امکانات نبود، مثلاً ما اون زمان کارت‌هایی رو پانچ می‌کردیم در مین فریم میذاشتیم. دستگاه اون برنامه‌هایی که نوشته بودیم را می‌خواند و یه پرینتی بعنوان خروجی تحویل می‌داد. ولی الان همه کامپیوتر شخصی دارن و با چند تا کلیک راحت برنامه نویسی میکنند. به خاطر همین توصیه‌ام اینه که قدر تکنولوژی الان رو بدونید.

به نظرتون یه دانشجوی موفق چه ویژگی‌هایی داره؟

خوب این به خیلی چیزا وابسته است. موفقیت یک دانشجو، پارامترهای خیلی زیادی رو می‌طلبد. یکی از این پارامترها علاقه به مهندسی برق هست. شما باید با عشق و علاقه یاد بگیری تا اون چیزی که یادگرفتی به دردت بخوره. باید به آینده امیدوار باشی. حالا به نظر خودم اگه از همون روز اول بیاد بگه که همه جا مهندس برق وجود داره و کار نیست و.....، به نظر خودم اون فرد هیچ وقت نمی‌تونه موفق باشد.
اون شخصی که واقعاً به مهندسی برق علاقه داره و تلاش میکنه، واقعاً یه مهندس فارغ‌التحصیل میشه و هیچ وقت بیکار نمی‌ماند و همیشه کار داره. چرا کار داره؟ چون نیاز صنعته. صنعت بهش نیاز داره. جامعه بهش نیاز داره. ولی خب خیلیای دیگه هم هستند از دانشجوها که صرفاً به خاطر مدرک اومدن دانشگاه که شب امتحان جزوه رو باز می‌کنن، یکم می‌خوانند و در امتحان یه ۸ یا ۹ می‌گیره. آخرشم یه ۱۲۱۰ بهش میدیم و پاس میشه. خب معلومه اینی که با ۱۰،۱۲ پاس شده فردا روز نمیتونه از درسی که خونده تو صنعت استفاده کنه و برای جامعه مفید باشد. به خاطر همون من به همه توصیه می‌کنم، که اگه علاقه ندارین هیچ وقت و تاکیدا هیچ وقت وارد مهندسی برق نشید چون کاریه که واقعاً علاقه می‌طلبد.
واسه اینکه موفق بشی باید خودت ذاتاً مهندس باشی و نمیشه فقط با دانشگاه و ۱۴۰ واحد درس پاس کردن مهندس شد. اینجا تو صرفاً فقط مدرک مهندسی برق رو می‌گیری ولی مهندس برق واقعی اون کسی که ذاتاً مهندسه. تو خونش یه آزمایشگاهی داره، همه چیز رو خلق می‌کنه. به دنبال ساختن هستش، مثلا میاد میگه یه پنل خورشیدی می‌خرم یه شارژکنترلری می‌سازم. یه اینورتری می‌سازم. سیم‌کشی‌هاشو می‌کشم و میشه سیستم برق خورشیدی واسه خونه و ازش استفاده میکنم. در مهندسی برق واقعا باید علاقه داشته باشی تا موفق باشی.
اون زمانی که ما مهندسی برق قبول شده بودیم خودم از روی علاقه مهندسی برق رو زده بودم و خیلیای دیگه هم مثل من از روی علاقه اومده بودن، یعنی اون زمان اینطوری نبود که شانسی بیای نه، بلکه از روی علاقه میومدی. ورودی سال ٦٥ که ما هستیم همه از روی علاقه اومده بودن و واقعاً همه اون دانشجوهایی که بودن همشون موفق شدن. خیلیا جذب صنعت شدن. الان از مهندسین واقعی صنعت هستند. خیلی‌ها جذب نیروگاه و پالایشگاه شدند و الانم خیلی موفق هستن.
در این مورد یه پارامتر دیگه‌ای هم هست، اینه که به کتاب‌های درسی قانع نباشه. کتاب های درسی صرفاً یه سرنخی میدن ولی عملاً چیزی بهت یاد نمیدن و اون به خود دانشجو وابسته است که چطوری بره اونو پیگیر بشه و واسه خودش چه کاری جور کنه از اون. مخصوصاً، مخصوصاً دوران کارآموزی رو خیلیا با خونه نشستن اونو رد می‌کنن و خیلیای دیگه که این دسته از آدما واقعاً موفق هستند میرن دنبال کار یاد گرفتن. میرن به صاحبان مشاغل و صاحبان صنعت التماس می‌کنند که به اونا کار بدن یا میرن توی بخش ابزار دقیق پالایشگاه کار می‌کنند یا بخش تحقیق و توسعه شرکت‌های تولیدی. بخش آراند دی یا بخش ریسرچ و قلب سیستم

صنعتی هست. وقتی شما اونجا باشی می‌تونی یه چیزی یاد بگیری، خارج از اونجا کارکنی و احتمال اینکه یه چیزی رو یاد بگیری خیلی خیلی کمه. در بخش لحیم کاری تو صرفاً لحیم کار بودن رو یاد می‌گیری نه مهندسی برق بودن.

درس هایی که الان می‌خونین صرفا پایه و اساس رو بهتون یاد میدن و جوابگوی صنعت الان نیستن. صنعت الان خیلی پیشرفت کرده و این درس‌هایی که می‌خونیم فقط درس‌های پایه هستند که صنعتم از اینا ناشی می‌شه ولی خیلی خیلی پایه هستند. این درس‌ها نمی‌تونه نیاز صنعت رو جواب بده. شاید بتونه بخشی از نیاز صنعت رو جواب بده ولی به صورت کامل نه. صحبت‌های قبلی هم گفتم که علاوه بر این درس‌ها، باید بری دنبال کنی این درس‌ها رو ببینی به کجا ختم می‌شه چون صنعت روز خیلی خیلی پیشرفت کرده. بنابراین اون دانشجویی که می‌خواد موفق بشه میره دنبال این درس‌ها و دوره‌های پیشرفته مربوط به اونا را می‌بینند. نوعی باعث پیشرفت خودش میشه در اون درس و خودش رو حرفه‌ای می‌کند، مثلاً دوره میکروکنتورولر، دوره مدارهای چند لایه و برخی نرم افزارهای تخصصی.
اینا وابسته با رشته و دانشگاه نیست و بیشتر وابسته به علاقه‌ی فرد هستش برای مثال یکی از دانشجوهای ما در مقطع دکتری هست که اتوماسیون صنعتی بلد هست با یکی دو ساعت کار کردن ۱۰ میلیون درمیاره و شناخته شده هستش و فرد مقابل که دستگاهش نیازمند راه اندازیه حتی در برخی مواقع حاضر به پرداخت مبالغ بیشتر هم هست. اینا فقط به بلد بودن و دوره دیدن نیست. باید خلاقیت هم داشته باشی و طوره که گفتم ذات مهندسی رو داشته باشی. در نتیجه کسی موفقمیشه که از بقیه چند پله جلو تر باشه نه از لحاظ علم دانشگاهی فقط، بلکه از لحاظ علم صنعتی در رشته‌ی خودش.

پروژه‌ای بوده که بعد از اتمام آن خواستید در آن فعالیت داشته باشید؟

من قبلا در سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی حضور داشتم. در انجا برخی طرح ها را اجرا کردیم مانند سنسورهای مولد اوزون و علاقه داشتم که وارد خط سیستم‌های مولد اوزون شوم. در سال ۷۴ و ۷۵ ولی چون سرمایه کافی نداشتم و مقطع دکتری رو شروع کردم فرصت اینکار ایجاد نشد وگرنه علاقه خاصی به این موضوع داشتم. اینکه یکی از نیازهای کشور بود من را بیشتر ترغیب میکرد به این سمت بروم.

نظرتون در رابطه با نیروگاه تبریز چیه؟

در رابطه با نیروگاه تبریز ببینید در حالت کلی نیروگاه‌های ما باید از لحاظ محیط زیستی و از لحاظ خروج آلاینده باید بررسی شود، چون الاینده‌های حاصل از سوختن سوخت‌های فسیلی یکی از عوامل بیماری‌هایی همچون سرطان هست و از طرفی خیلی از نیروگاه‌ها و خطوط انتقال کشور ما فرسوده هستند و باید بازسازی و بازنگری بشن.

تغییرات و نوآوری‌های اخیر در زمینه تولید انرژی رو چطور میبینید؟

در دنیای امروزی دانشمندان در حال تلاش برای کارامد تر کردن سیستم‌های انرژی هستند، مثلا شما کشورهای حاشیه خلیج فارس رو ببینین سرمایه‌گذاری‌های زیادی در این حوزه می‌کنند. در حوزه انرژی‌های تجدید پذیر در ایران نیز تغییراتی در حال صورت گرفتن می‌باشد. شاید بگیم ما دارای منابع زیاد نفت می-باشیم چرا از انرژی‌های تجدید پذیر استفاده کنیم؟ ولی باید بگم ممکن است نفت نسل ما را کفایت کند ولی نسل-های بعدی از استفاده آن بهره‌مند نخواهند شد. برای این اگر میزان تجدید پذیر زیاد شود نسل‌های بعدی نیز از این انرژی بهره‌مند خواهند شد و یکی از بحث‌های مهم مطرح شده در جهان خودروهای الکتریکی میباشد که اگر بتواند جایگزین خودروهای سوخت فسیلی شود اتفاق بزرگی است و اگر اینکار جا بیوفتد در کلانشهرهایی مانند تهران بجای اینکه هوا آلوده باشد هوای پاک و صاف میبینیم. پس سوخت‌های تجدید پذیر سوای مزایای اقتصادی برای محیط زیست و زندگی روزمره تاثیرات مثبتی خواهد داشت پس باید بسمت انرژی‌های خدادادی برویم.
در کل در کشور ما تولید انرژی‌های تجدید پذیر خیلی کم هست شاید این اواخر افزایش یافته باشد. روند رو به رشد هستش ولی با شیب ضعیف که امیدواریم بیشتر بشه.

چه پتانسیلی در زمینه ذخیره سازی انرژی میبینید؟

ببینین اون پروفایل باری که ما در ۲۴ ساعت داریم در بعضی جاها بار ما بصورت پیک افزایش یافته و برای یک مدتی بار زیاد داریم و برخی کم یعنی پروفایل بار ثابت و مشخصی نداریم. از طرفی تولید نیروگاه‌ها زمانی صرفه‌ی اقتصادی دارد که چرخه‌ی تولید فلت باشد یعنی همون یکسان باشد. در سیستم استوریج وقتی درخواست بار مصرف کننده‌ها پایین است تو رفتگی‌ها را پر کرده و وقتی به پیک میرسد توان را برگشت داده و باعث یکسان بودن خرچه تولید انرژی میشن که به این عملکرد پیک سایی هم میگن. نه تنها در نیروگاه-ها، در سیستم‌های انرژی خورشیدی هم سیستم های ذخیره انرژی بدلیل ناتوانی در استفاده انرژی خورشیدی در شب از اهمیت بالایی برخورد دار است و این حوزه نه تنها در ایران بلکه در کل دنیا جزو پژوهش‌های عمده میباشد و هرکس در این زمینه کار کند شانس موفقیت و بازاریابی خواهد داشت.

تکنولوژی انرژی‌های تجدید پذیر می‌تواند در حفظ تعادل و پایداری شبکه‌های برق و جلوگیری از نقصان احتمالی کمک کند؟

این سوال در ارتباط با گرایش سیستم می‌باشد ولی بصورت کلی جزو تحقیقات روز بحث شبکه‌های هوشمند مطرح هست. تنها شبکه انتقال توان مطرح نیست. مدیریت توان انتقال با اطلاعات تولید کننده نیز مطرح است. انگار گره‌های مصرف داریم و یک سری نقاط تولید داریم، اینها را بررسی میکنیم و انرژی بادی نیز همیشه ثابت نیست و همواره در حال تغییر و خورشیدی نیز همانند هاله‌های زنگوله وار طی شبانه و روز ساطع میگردد و این سیستم‌ها طوری عمل می‌کند که بیشترین راندمان و بهره‌وری را داشته باشیم و پروفایل ولتاژ تا حد امکان ثابت باشد و آینده شبکه‌ی برق به سمت سیستم‌های هوشمند میرود.
یکی از دلایل قطعی و ناپایداری سراسری برق در کشور کلاپس ولتاژ می‌باشد چون نقاط بار انقدر بار میکشند که ژنراتکرها توانایی تامین ندارند و بسمت ناپایداری سوق می‌دهد، اصطلاحا میگوییم ولتاژ مانند دیودزنر سقوط میکند و شبکه قطع می‌شود و دلیل اصلی آن بهره برداری بالا از ظرفیت خطوط میباشد و برای کم کردن فشار از نیروگاه‌ها باید سیستم‌های محلی گذاشت یا همان تولیدهای پراکنده که باعث ایجاد تعادل در شبکه می‌شود. ۱۰۰ درصد در تعادل و پایداری شبکه تبریز میتونه موثر باشه
در آلمان برنامه ریزی تا سال ۲۰۳۰ انجام گرفته تا ۶۰ درصد انرژی های مصرفی از انرژهای تجدیدپذیر باشند که در دانمارک و اسپانیا و چین نیز پیشرفت‌های زیادی در این زمینه شده است.
باید واقع بین باشیم انرژی خیلی خیلی با ارزش هست ولی متاسفانه ما اون رو بیش از حد مصرف میکنیم.
روستاها و شهرهای دور افتاده برق ندارند در حالی که ما بیش از حد مصرف میکنیم. در این رابطه باید از شرکت‌های دانش بنیان که در زمینه انرژی‌های تجدید پذیر کار می‌کنند حمایت کنیم. همچنین کار و گسترش مشاغل در این زمینه می‌تواند برای جوانان فرصت‌های شغلی زیادی ایجاد نماید. وام های کم بهره به شرکت‌ها داده شود و حمایت معنوی شوند کسانی که در زمینه پیشرفت انرژی خورشیدی کار میکنند و خانوارها را به سمت استفاده از انرژی خورشیدی سوق دهند. کار بعدی نیز فرهنگ سازی دولت در این زمینه باید باشد
حمایت دولت از شرکت‌های خارجی و داخلی برای ارزان تمام شدن قیمت محصولات انرژی تجدیدپذیر از جمله پنل های خورشیدی، بنابراین می توان از کنترهای دوطرفه استفاده کرد، یعنی شبها ما از شبکه برق بگیریم و روزها با استفاده از پنل‌های خورشیدی در منازل به شبکه برق بفروشیم. به نیروگاه ها هم فشار کمتری وارد میشود.
در ساخت منازل هم با روش های ساخت عایق بندی می‌توان از اتلاف انرژی جلوگیری کرد.
استفاده از دیوارهای ترام در ساخت منازل برای استفاده از ذخیره انرژی خورشیدی و انتقال آن به داخل منزل.
در دنیا از تکنولوژی ساخت خانه‌های سبز استفاده می‌کنند که ما هم باید از آن بهره بگیریم.

ساخت فن بدون پره

۱-امیررضا رزمی، دانشجوی دکتری در کانادا
۲-بهزاد مهدوی، دانش آموخته مکانیک، دانشگاه تبریز

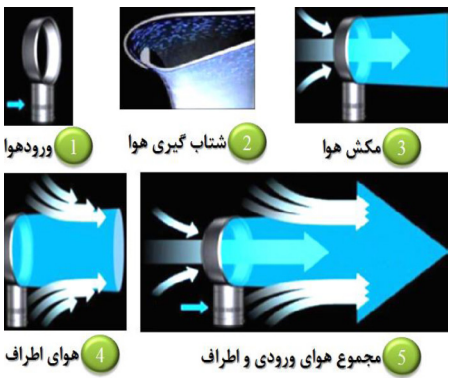
فن‌های بدون پره چگونه کار می‌کنند؟

اولین باری که این وسیله را می‌بینید اصلاً تصور نمی‌کنید که بتواند شما را خنک کند چون هیچ بخش متحرکی در آن دیده نمی‌شود. ولی وقتی که پنکه را روشن می‌کنید، از حلقه آن باد خارج می‌شود. حال سؤال اینست که این پنکه بدون پره چگونه کار می‌کند؟



-مکانیزیم دستگاه و اصول سیّالاتی

طراحی این گونه از فن‌ها تلفیقی از فن‌های محوری و شعاعی است و خصوصیات هر دو دسته فن‌ها را دارا هستند. مکانیزم عملکرد اینگونه فن‌ها، بدین شکل است که چرخش‌های پره‌های شعاعی، سبب مکش هوا به داخل فن می‌شود. سپس هوای ورودی با عبور از قسمت دایره‌ای دارای مقطعی ایرفویل شکل، شتاب می‌گیرد. این فن به خاطر هندسه خاصی که دارد، مانند اجکتور عمل کرده، هوای خارج شده از فن سبب مکش هوای پشت فن و هوای اطراف فن می‌شود. حرکت مجموع جریان هوای ورودی، هوای پشت فن و هوای اطراف فن به سمت جلوی فن سبب می‌شود دبی هوای خروجی چند برابر دبی هوای ورودی فن باشد. این افزایش دبی به واسطه مکش هوای پشت فن از ویژگی‌های متمایز این فن نسبت به فن‌های دیگر است. در شکل زیر مکانیزیم ورود و خروج هوا از این فن به صورت شماتیک و به ترتیب نمایش داده شده است:



مکانیزیم ورود و خروج هوا از فن بدون پره

Air Multiplier دقیقاً یک پنکه بدون پره نیست. این پنکه دارای پره می‌باشد ولی درون استوانه پایه آن قرار گرفته است. یک موتور الکتریکی پره‌های درونی این وسیله را می‌چرخاند تا هوا را به درون دستگاه بکشد. وقتی هوای مکش شده به درون حلقه بالایی می‌رسد، حلقه همانند یک سطح شیب‌دار عمل کرده و جریان هوا را به سمت سوراخ‌های خروجی هدایت می‌کند. برای اینکه فرآیند مکش و فوت کردن باد قابل توجهی ایجاد کند، باید موتور بسیار قدرتمند باشد که مصرف برق زیادی می‌طلبد و صدای زیادی هم ایجاد می‌کند. به همین دلیل باید مکانیزمی برای افزایش هوای خروجی در نظر گرفته شود. این مشکل به لطف قوانین فیزیکی inducement and entrainment برطرف می‌شود. وقتی موتور هوا را به داخل می‌کشد، در پشت پنکه خلاء ایجاد شده که موجب هجوم هوا به درون پنکه می‌شود. در هنگام خروج هم مولکول‌های هوا حرکت یکدیگر را هم‌افزایی می‌کنند. بدین طریق حجم هوای خروجی ۱۵ برابر توان مکش موتور است. این مسأله موجب می‌شود که هوای خروجی پنکه بدون پره یکنواخت و مطبوع‌تر از هوای چرخشی پنکه‌های سنتی باشد.



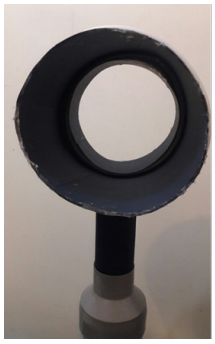
حال به بررسی فن ساخته شده خودمان می پردازیم:

قطر خارجی حلقه ۲۴ سانتی متر و قطر داخلی ۲۲ سانتی متر و اندازه سوراخ فن که هوا وارد شده به حلقه از آن خارج می‌شود ۲ سانتی متر است، عرض فن ۳۰ سانتیمتر و ارتفاع آن حدود ۶۰ سانتیمتر است.

برای ساخت پایه فن از لوله پلیکا استفاده کرده‌ایم و فن پره‌ای که هوا را به داخل حلقه انتقال می‌دهد داخل لوله پلیکای ۴ اینچی قرار داده‌ایم و در قسمت پایین این لوله سوراخ‌هایی ایجاد کرده‌ایم تا هوا وارد لوله شده و توسط فن پره ای به داخل حلقه منتقل شود.

عکس‌هایی از قسمت‌های مختلف فن:





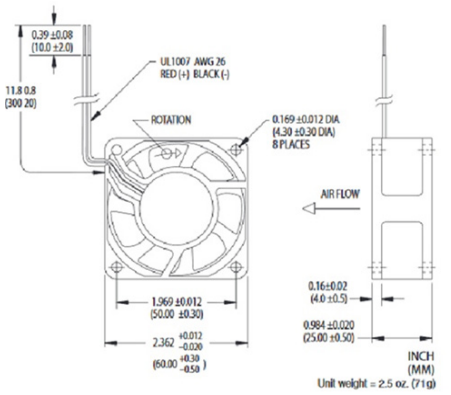


مشخصات فن پره‌ای

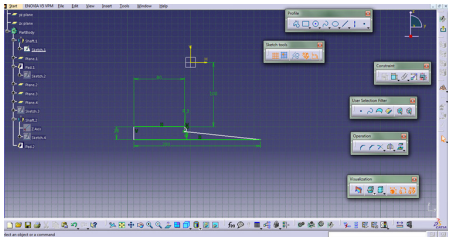


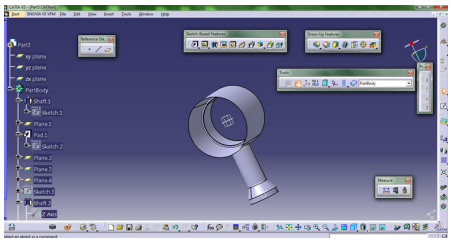
مشخصات فنی

مشخصات فنی	
پارت نامبر مدل	TA225DC TA225DC B35441-94
شرکت سازنده	Nidec
ابعاد	۶cm * 6cm * 3.8cm
وزن	100 gr
ولتاژ	12V
جریان	1.5A
توان	3.8W
سرعت	RPM 4300
تعداد پین	سه سیمه
نوع موتور	Brushless
سیستم	Ball Bearing

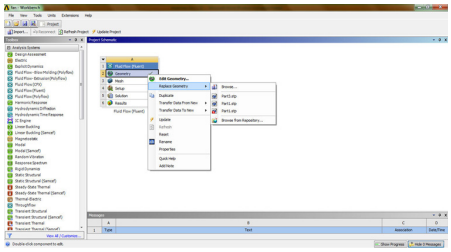


حال به بررسی فن در برنامه CatiaوFluent می‌پردازیم، ابتدا شکل را در محیط Catia رسم می‌کنیم، پروفیلی که ما در انجام پروژه آن را به کار بردیم بدین شکل می‌باشد:

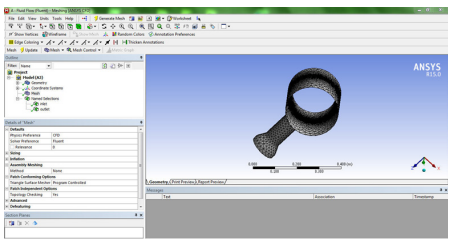


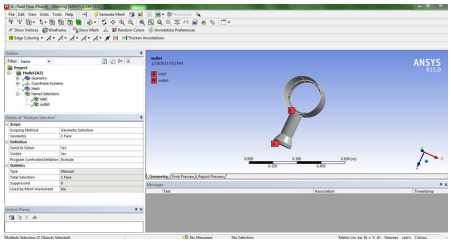


پس از رسم هندسه آن را در نرم افزار Fluent در محیط geometry فراخوانی می‌کنیم:

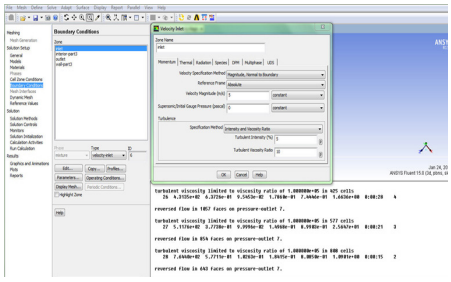


سپس وارد محیط mesh شده و در آنجا مش بندی و نام گذاری سطح ورودی و خروجی را انجام می دهیم:

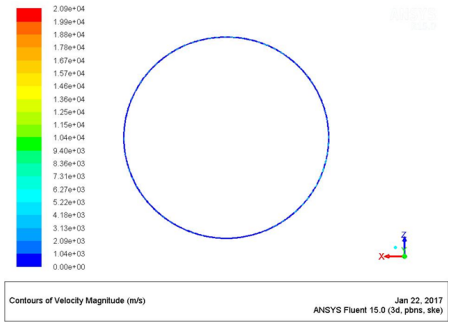




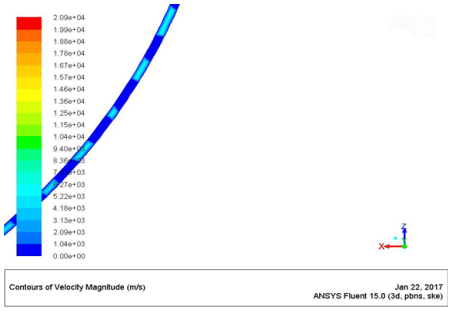
همانطورکه از شکل مشخص است یک سطح ورودی با نام inlet و یک سطح خروجی با نام outlet داریم که در محیطsetup برای به دست آوردن خروجی به آنها نیاز داریم، حال وارد محیط setup شده و پس از فعال کردن گزینه سرعت(چون برای ما سرعت در این حالت مهم است) به boundary conditions رفته و سرعت ورودی inlet را ۵ m/s در نظر می‌گیریم:



بعد از طی مراحل حال نتایج را از results به دست می‌آوریم که به صورت زیر می‌باشد، البته کل شکل مد نظر ما نیست و فقط سرعت قسمت خروجی مد نظر می‌باشد، که به صورت یک دایره می‌باشد.



البته این شکل کاملاً گویا نیست، با زوم کردن بهتر نتیجه را درک می‌کنیم.



همانطورکه از شکل پیداست سرعت خروجی به چیزی حدود ۴۰ m/s می‌رسد که ۸ برابر سرعت ورودی می-باشد که نتیجه قابل قبولی می‌باشد.



مروری بر نرم‌افزار هومر

سیدامیررضاعبداللهی، دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک، دانشگاه تبریز
متین وطن خواه، دانشجوی کارشناسی برق

معرفی نرم‌افزار

نرم افزار هومر به عنوان یک شبیه‌سازی سیستم‌های سیکل ترکیبی و انرژی‌های نو مشهور می‌باشد. این نرم افزار می‌تواند حالت‌های امکان پذیر بازآرائی سیستم های تولید به ازای بارهای تعریف شده در سیستم را ارائه دهد. در حالت کلی نرم افزار هومر برای تحلیل ریزشبکه‌های مستقل قدرت یا همان میکروگریدها کاربرد دارد. در این نرم افزار می‌توان یک مدل از سیستم ریزشبکه مورد استفاده را ارائه داد که در آن انواع مولدهای انرژی نو شامل توربین‌های بادی، سلول خورشیدی، پیل سوختی، الکترولایزر، تانک هیدروژن و باتری در کنار منابع متداول فسیلی همچون نیروگاه‌های گازی، دیزلی، هیدروژنی، CHP و ... را به صورت هیبریدی مورد استفاده قرار داد. نرم افزار هومر با هدف صرفه‌جویی در مصرف انرژی، انتقال تجهیزات به بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای طراحی شده است و به مهندسین کمک می‌کند تا با ارائه طرح‌های هوشمند و بهینه‌سازی تجهیزات فعلی بتوانند ضمن حفظ محیط زیست، هزینه‌های شبکه‌بندی را تا حد چشم‌گیری کاهش دهند. این نرم افزار از سه بخش اصلی تشکیل شده است:

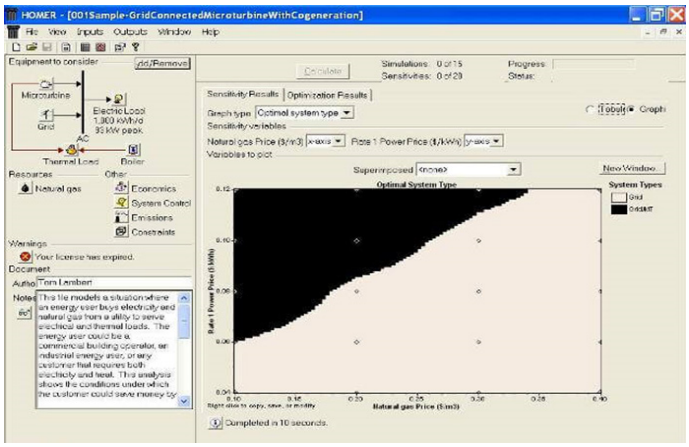
1.Simulation: هسته شبیه‌ساز نرم افزار از کلیدی‌ترین بخش‌های این نرم افزار بوده که قادر است تا بیش از ۱۰۰۰ دستگاه را به واسطه Microgridها مورد شبیه‌سازی قرار دهد. از نتایجی که در این مرحله استخراج می‌شود می‌توان به هزینه‌های جاری و نهایی پروژه، میزان مصرف انرژی، راندمان کاری واحد صنعتی و ساخت جریان کاری برای اجرای پروژه‌ها اشاره نمود.

2.Optimization: در این مرحله طرح‌های برنامه‌ریزی شده یا طرح‌های از پیش آماده شده مورد بررسی و بهینه‌سازی عمیق قرار گرفته تا میزان حداکثری صرفه‌جویی در انرژی و هزینه به دست آید. در واقع در این فاز، نرم افزار به دنبال ترکیب و بستن Microgrid ها به صورتی است که حداکثر صرفه‌جویی در هزینه و انرژی‌های تجدید ناپذیر حاصل گردد؛ همچنین امکان ارائه راهکارهای تغذیه تجهیزات از انرژی‌های تجدیدپذیر وجود دارد.

3.Sensitivity Analysis: آنالیز حساسیت در انجام پروژه‌های مرتبط با انرژی از مهم‌ترین فازهای کاری می‌باشد. تا زمانی که بیش از صدها یا هزاران شبیه‌سازی انجام ندهید، نمی‌توانید بگویید که کدام مسیر برای حل مشکل به صرفه‌تر خواهد بود. این قسمت از نرم افزار وظیفه بررسی مواردی را دارد که از کنترل نیروی انسانی خارج است که برای مثال می‌توان به سرعت باد، هزینه‌های سوخت و غیره اشاره نمود.

ساختار هومر چگونه است؟

هومر، مدل بهینه‌سازی میکرو پاور(شبکه خرد)، ارزیابی طرح‌های سیستم‌های تولید برق متصل به شبکه یا مستقل از شبکه را در انواع



شکل۱: محیط نرم افزار HOMER

کاربردها ساده و قابل فهم می‌کند. هنگام طراحی یک سیستم تولید برق، با پیکره بندی‌های مختلفی از سیستم برخورد می‌کنید که کار تصمیم‌گیری برای انتخاب طرح‌ها را مشکل می‌سازد.

اینکه چه پارامترهایی در طراحی سیستم حساس بوده و تغییرات آنها سیستم را متغیر می‌کند؟ چه تعداد و اندازه از هر مؤلفه‌ای از سیستم باید مورد استفاده قرار بگیرد. تعداد زیاد گزینه‌های فن‌آوری و تعمیرات و هزینه‌های فن‌اوری و دسترسی به منابع انرژی، تصمیم گیری را مشکل تر می‌کند. الگوریتم‌های بهینه‌سازی و تحلیل حساسیت هومر، امکان ارزیابی تمام پیکره بندیهای قابل قبول سیستم را تسهیل می‌کند.

چگونگی بکارگیری هومر

برای بهره‌گیری از هومر، مدلی را با ورودی‌های مختلف خواهید داشت که گزینه‌های فن‌اوری، هزینه‌های اجزاء و دسترسی به منابع را در بر می‌گیرد. از طرف دیگر، هومر نتایج شبیه‌سازی را در جداول و نمودارهای مختلف نشان می‌دهد که به مقایسه پیکره بندی‌های مختلف کمک کرده و بر اساس رتبه بندی‌های فنی و اقتصادی آنها را مقایسه می‌کند و امکان استخراج جداول و نمودارها در گزارش‌ها و ارایه‌ها را فراهم می‌کند. هنگامی که می‌خواهید تأثیر تغییرات عواملی همانند دسترسی به منابع و شرایط اقتصادی بر اثربخشی و کارایی اقتصادی پیکره‌بندی‌های سیستم‌های مختلف را بررسی نمایید از قابلیت تحلیل‌های حساسیت هومر بهره می‌گیرند. برای انجام تحلیل‌های حساسیت، لازم است مقادیر تحلیل حساسیت برای دسترسی به منابع و یا هزینه‌ها را در محیط هومر وارد کنید. هومر پیکره بندی از سیستم را برای تمام مقادیر شبیه‌سازی می-کند. از نتایج تحلیل‌های حساسیت برای تعیین و شناسایی عواملی که بیشترین تأثیر را بر طراحی و بهره برداری سیستم برق دارند، شناسایی کنید. همچنین هومر از نتایج تحلیل حساسیت برای جواب دادن به معادلات عمومی گزینه‌های فن‌اوری به منظور برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری استفاده کنید.

هومر چگونه کار می‌کند؟

هومر روش بهره برداری از یک سیستم را با ایجاد معادلات تراز در هر ۸۷۶۰ ساعت از سال شبیه‌سازی می-کند. هومر تقاضای الکتریکی و حرارتی را در هر ساعت که باید توسط سیستم تأمین شود، را فراخوان کرده و جریان انرژی تحویلی و یا دریافتی به/از اجزای سیستم را محاسبه می‌کند. همچنین هومر برای سیستم‌های شامل باتری‌ها یا ژنراتورهای تولید برق از سوخت، تصمیم می‌گیرد که در چه زمان‌هایی راه اندازی ژنراتورها اقتصادی بوده، و یا در چه زمان‌هایی باتری‌ها را شارژ و یا تخلیه نماید. سپس تصمیم می‌گیرد که چه پیکره بندی امکان پذیر است یعنی در حالیکه این پیکره بندی تقاضای الکتریکی را تحت شرایط مدنظر کاربر تأمین می‌کند، هزینه‌های نصب و بهره برداری از سیستم را در طی عمر پروژه محاسبه می‌کند. محاسبات هزینه سیستم برای هزینه‌هایی نظیر سرمایه گذاری، جایگزینی، بهره برداری و نگهداری، سوخت و بهره انجام می‌دهد.

بهینه‌سازی: بعد از شبیه‌سازی پیکره بندی‌های ممکن سیستم، هومر فهرستی از پیکره بندی‌های چیده شده بر اساس خالص هزینه کنونی(بعضی اوقات به هزینه چرخه عمر موسوم است) نشان می‌دهد که شما می‌توانید گزینه‌های مختلف طراحی سیستم را مقایسه کنید.

تحلیل‌های حساسیت: زمانیکه شما متغیرهای حساسیت را به عنوان ورودی تعریف می‌کنید، هومر فرایند بهینه‌سازی را برای هر متغیر حساسیت که تعیین کردید، تکرار می‌کند. برای نمونه، اگر سرعت باد به عنوان یک متغیر حساسیت تعریف شود، هومر پیکره بندی‌های سیستم را برای دامنه ای از سرعت‌های که تعیین کرده‌اید، شبیه‌سازی می‌کند.

هوش مصنوعی و انرژی

آنیتا خدادادی، هومن اسماعیل‌زاده
کارشناسی مهندسی برق، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تبریز

در حال حاضر و در سطح جهانی یکی از کاربردهای هوش مصنوعی استفاده آن در صنعت انرژی است. صنعتی که بسیار حیاتی است و نیاز به فناوری‌های مختلفی برای مدیریت تولید، پخش و مصرف دارد. با توجه به این حساسیت‌ها هوش مصنوعی می‌تواند دقت بالایی در زمینه‌های مختلف برای شما به ارمغان آورد. به طور کلی، بخش انرژی جهانی حجم غیرقابل باوری از داده‌ها را تولید می‌کند. برای انسان‌ها عملا غیرممکن است که به‌طور دستی تعداد کافی از این ذخیره‌های داده را استخراج و تجزیه و تحلیل کنند تا به نتایج و پیش‌بینی‌های معنادار برسند. هوش مصنوعی، به ویژه یادگیری ماشینی، نقشی حیاتی در درک مقادیر عظیم داده های مرتبط با انرژی ایفا می‌کند. پلتفرم‌های نرم‌افزاری تقویت‌شده با هوش مصنوعی و ابزارهای هوشمند می‌توانند داده‌های انرژی را بررسی کنند تا پیش‌بینی‌هایی درباره قطعی‌های احتمالی و خرابی تجهیزات ایجاد کنند و شرکت‌های انرژی را کارآمدتر و سودآورتر اداره کنند. در اینجا، ما به برخی از روش‌های استفاده از هوش مصنوعی در صنعت انرژی، از جمله در بخش نفت و گاز و بخش انرژی‌های تجدیدپذیر نگاه می‌کنیم:



۱. هوش مصنوعی به شرکت‌های انرژی کمک می‌کند تا عیوب را قبل از اینکه منجر به شکست شوند، کشف کنند.
خرابی تجهیزات یک نگرانی رایج و پرهزینه در سراسر بخش انرژی جهانی است و یکی از مشکلات با عواقب بالقوه فاجعه بار می‌باشد. ابزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند به شرکت‌ها کمک کنند تا با تجزیه و تحلیل داده‌های حسگرهایی که برای نظارت بر تجهیزات و تشخیص خرابی‌های پیش از بلایا استفاده می‌شوند، برنامه‌های نگهداری ایده‌آل ایجاد کنند. در نهایت، این پیشرفت‌ها باعث صرفه‌جویی میلیون‌ها دلاری شرکت‌ها و افزایش کارایی و قابلیت اطمینان به تولید و مصرف انرژی می‌شود.
شرکت هایی مانند ABB از هوش مصنوعی برای کشف ایرادهایی مانند ترک در خطوط لوله و ماشین آلات از طریق تجزیه و تحلیل تصویر استفاده می کنند. به عنوان مثال، این شرکت به یک پروژه آزمایشی با یکی از بزرگترین شرکت های برق آبی جهان اشاره می‌کند. پس از استفاده از پلتفرم ABB، این شرکت کاهش ۱۰ درصدی در تعمیر و نگهداری معمول و افزایش ۲ درصدی در تولید را نشان داد، ارقامی که شرکت می گوید میلیون‌ها دلار در هزینه صرفه جویی می کند.
اشنایدر الکتریک از یادگیری ماشینی از طریق مایکروسافت برای نظارت و پیکربندی پمپ‌های نفت و گاز در میدان برای تشخیص زودهنگام خرابی پمپ ها استفاده می‌کند. یکی از بزرگترین مشتریان این شرکت، تاتا پاور، بزرگترین ژنراتور برق هند، ۳۰۰۰۰۰ دلار پس انداز کرد که این فناوری در مراحل اولیه مشکل تعمیر و نگهداری پیدا کرد.
اشنایدر الکتریک از قابلیت‌های یادگیری ماشینی مایکروسافت برای نظارت و پیکربندی پمپ‌ها در میدان نفت و گاز از راه دور استفاده می‌کند، زیرا تشخیص زودهنگام خرابی پمپ می‌تواند از هفته‌ها از کار افتادن تجهیزات و هزینه تعمیر تا ۱ میلیون دلار جلوگیری کند.
۲. اتوماسیون با استفاده از هوش مصنوعی هزینه‌های نفت را کاهش می‌دهد و بازیافت نفت را افزایش می-دهد.
هوش مصنوعی اتوماسیون را در طیف وسیعی از صنایع، از جمله بخش انرژی، تقویت می‌کند. علاوه بر خودکارسازی کارهای روزمره و تکراری که به طور سنتی توسط کارگران انسانی انجام می‌شد، بینش‌های هوش مصنوعی به شرکت‌های نفتی کمک می‌کند تا دقیقاً محل حفاری را شناسایی کنند و در ساعات کاری بی‌شمار و میلیون‌ها دلار صرفه‌جویی کنند.
شرکت‌هایی مانند BP روی پلتفرم‌های یادگیری ماشینی سرمایه‌گذاری می‌کنند تا سریع‌تر فروشگاه‌های نفت جدید را پیدا کنند و روغن بیشتری را به طور کلی از طریق حسگرهای اینترنت اشیا (IoT) بازیابی کنند. در نهایت، BP بهبود سودآوری را گزارش کرده است که مستقیماً با این پیشرفت‌ها مرتبط است.
۳. ابزارهای مصرف برق "هوشمند" در حال تغییر نحوه استفاده مصرف کنندگان و صرفه جویی در مصرف انرژی هستند.
اداره اطلاعات انرژی ایالات متحده (EIA) گزارش می‌دهد که تقریباً نیمی از کاربران انرژی ایالات متحده دارای کنتورهای برق هوشمند نصب شده هستند که معمولاً توسط شرکت‌های برق محلی در خانه‌های خود قرار می‌گیرند. این کنتورها داده‌هایی را درباره مصرف انرژی شخصی ارائه می‌کنند که شرکت‌های برق می‌توانند از آن برای پیش‌بینی بهتر در مورد سطوح مصرف انرژی آتی استفاده کنند و مشتریان می‌توانند از آن برای تنظیم بهتر مصرف خود استفاده کنند.
طبق EIA، مصرف برق هوشمند از طریق راه حل‌های خانه‌های هوشمند مبتنی بر هوش مصنوعی از طریق شرکت‌هایی مانند گوگل و آمازون نیز بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این دستگاه‌ها برای شناسایی اتلاف انرژی با سایر وسایل خانگی ارتباط برقرار می‌کنند. برای مثال، مصرف‌کنندگان می‌توانند بفهمند که ارزان‌ترین زمان شارژ وسایل نقلیه الکترونیکی یا روشن کردن کولرهایشان چه زمانی است.
٤. هوش مصنوعی به مصرف کنندگان کمک می‌کند تا بهترین تامین کنندگان انرژی خود را انتخاب کنند.
در بازارهای انرژی غیرقانونی مانند ایالات متحده، مصرف کنندگان می‌توانند تامین کنندگان انرژی خود را انتخاب کنند. ابزارهایی مانند Lumator که توسط دانشگاه کارنگی ملون طراحی شده است، داده‌های مربوط به ترجیحات و مصرف مشتری را تجزیه و تحلیل می‌کند و آن را با پیشنهادات ارائه‌دهنده انرژی موجود، از جمله نرخ‌های تبلیغاتی با زمان محدود، مقایسه می‌کند. مصرف کنندگان می‌توانند از Lumator برای انتخاب شرکت‌های انرژی استفاده کنند که بهترین معامله را در مورد نوع منابع انرژی که بیشترین استفاده را دارند ارائه می‌دهند.
با گذشت زمان، همانطور که Lumator در مورد مشتریان بیشتر می‌آموزد، می‌تواند به‌طور خودکار برنامه‌های انرژی را تغییر دهد زیرا معاملات بهتری بدون وقفه در خدمات ایجاد می‌شود. علاوه بر صرفه جویی در هزینه، ابزارهایی مانند Lumator می‌توانند با تجزیه و تحلیل ترجیحات مصرف کننده برای منابع انرژی تجدیدپذیر و گزارش در مورد تقاضا به تولیدکنندگان انرژی که می‌توانند منابع را بر این اساس تنظیم کنند، به افزایش سهم انرژی تجدیدپذیر استفاده شده کمک کنند.
۵. ربات‌های مجهز به هوش مصنوعی در حال بهبود ایمنی کارگران در بخش انرژی هستند
یکی از نمونه‌های آینده‌نگرتر هوش مصنوعی در انرژی، ایجاد ربات‌های مستقلی است که می‌توانند جای انسان‌ها را در موقعیت‌های خطرناک مرتبط با قدرت بگیرند. ماشین‌های خودران می‌توانند وظایفی مانند بررسی خطوط برق فشار قوی یا حتی جستجو در بستر دریا برای یافتن منابع ارزشمند، در مقابل فرستادن غواصان انسانی به آب‌های عمیق خطرناک را بر عهده بگیرند.
ExxonMobile با MIT Energy Initiative برای توسعه قابلیت‌های روبات‌های مستقل، سرمایه‌گذاری روی فناوری‌هایی که توانایی روبات‌ها را برای انجام وظایف پیچیده افزایش می‌دهد، شریک می‌شود. تیم MIT ربات‌های هوش مصنوعی خودآموز خود را از روی مریخ‌نورد کنجکاوی مدل‌سازی کردند و به معنای واقعی کلمه فناوری‌هایی را که در حال کاوش در افق‌های جدید در سیاره‌ای دوردست و در انتهای اقیانوس‌های زمین هستند، به یکدیگر پیوند می‌دهند.
با نگاهی به آینده، واضح است که هوش مصنوعی به ایفای نقش محوری در

بخش انرژی جهانی ادامه خواهد داد، نقشی که می‌تواند به رسیدگی به مسائل زیست محیطی جاری مرتبط با مصرف برق در سراسر جهان کمک کند.
در ادامه به تشریح کارکردهای هوش مصنوعی در دسته انرژی‌های تجدید پذیر از کاربردهای هوش مصنوعی در صنعت انرژی پرداخته می‌شود.

۱.۱. کاربردهای هوش مصنوعی در صنعت انرژی، بخش انرژی خورشیدی

یکی از منابع انرژی تجدید پذیر، خورشید است. در هر ثانیه، هر مترمربع زمین حدود ۱۳۶۷ ژول، انرژی از خورشید دریافت می‌کند که مقدار قابل‌توجهی می‌باشد. بخشی از انرژی خورشید، صرف گرم کردن زمین و اجسام روی آن و مقداری از آن برای فتوسنتز در گیاهان استفاده می‌شود. بیشترین بخش از انرژی خورشید به هدر می‌رود. به همین سبب سال‌هاست دانشمندان در تلاش‌اند تا به کمک سلول‌های خورشیدی، انرژی خورشید را به انرژی الکتریکی و گرمایی تبدیل کنند و از آن برای مصارف خود استفاده نمایند.
هوش مصنوعی به کمک فناوری‌هایی چون داده‌کاوی می‌تواند در بهینه‌سازی چیدمان صفحات سلول‌های خورشیدی یا آینه‌های متمرکز، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و همچنین پیش‌بینی مواردی چون الگوی مصرف برق یک منطقه و یا میزان توان تولیدی یک مزرعه خورشیدی یا نیروگاه متمرکز مفید واقع شود تا بتوان با صرف هزینه کمتر، توان تولیدی مزرعه‌های خورشیدی و نیروگاه‌های متمرکز را افزایش داد.

پیش‌بینی میزان تولید انرژی برق

در زمینه تولید انرژی برق به کمک سلول‌های خورشیدی و آینه‌های متمرکز، نیاز است عوامل بسیار زیادی مانند الگوی مصرف برق در مناطق مختلف، میزان تابش خورشید، آب‌وهوا، میزان انرژی کسب‌شده در هر بازه زمانی و سایر موارد از این دست را پیش‌بینی کرد. سپس به کمک این پیش‌بینی‌ها می‌توان مدیریت درستی در زمینه تولید و ذخیره انرژی برق داشت. در این راستا، هوش مصنوعی از طریق دنبال کردن الگوهای مصرف پیشین و پردازش داده‌هایی که در هر لحظه از منابع مختلف مانند گزارش‌های هواشناسی و یا میزان گردوخاک نشسته بر روی صفحات خورشیدی به دست می‌آید، میزان برق تولیدشده را پیش‌بینی می‌نماید.



بهینه‌سازی چیدمان صفحات خورشیدی و آینه‌های نیروگاه‌های متمرکز

زاویه، تعداد و نوع چیدمان سلول‌های خورشیدی و آینه‌ها در نیروگاه‌های متمرکز، تأثیر بسیار زیادی در میزان انرژی به‌دست‌آمده دارد. بیشترین میزان انرژی از خورشید، زمانی دریافت می‌شود که تابش نور بر سطح آینه‌ها در نیروگاه‌های متمرکز و یا تابش به صفحه‌های پنل‌های خورشیدی به‌صورت عمود صورت بگیرد.
امروزه شرکت‌های بسیاری فعالیت خود را در زمینه کاربردهای هوش مصنوعی در صنعت انرژی شروع کرده‌اند و در تلاش هستند تا با بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در طراحی چیدمان بهینه سلول‌ها و آینه‌ها می‌توان به بیشترین مقدار انرژی ممکن از سلول‌های خورشیدی دست یابند. این سیستم‌ها، آینه‌ها و پنل‌های خورشیدی را در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز با تغییر زاویه خورشید به‌گونه‌ای می‌چرخانند که تابش بر سطحشان عمود باشد تا بیشترین میزان انرژی را دریافت کنند.

بهینه‌سازی مدیریت مصرف و ذخیره انرژی در باتری‌ها

شارژ کردن باتری‌ها با انرژی تولیدشده به ولتاژ، جریان و توان بستگی دارد. یک پلتفرم هوش مصنوعی، تمام اطلاعات موردنیاز خود را از منابع مختلف دریافت کرده و تجزیه و تحلیل می‌نماید. سپس بر اساس این اطلاعات، زمان بهینه برای ذخیره انرژی، میزان ذخیره‌شده و بهترین زمان مصرف آن را تعیین می‌کند.



۱.۲. کاربردهای هوش مصنوعی در صنعت انرژی، بخش انرژی باد

انرژی باد، یک منبع سوخت پاک محسوب می‌شود و می‌توان برای تولید الکتریسیته از آن استفاده کرد. هر نیروگاه بادی جهت تولید الکتریسیته به‌طورمعمول حدود ۴۰ تا ۱۰۰ توربین بادی دارد. برآوردهای کارشناسان حاکی از آن است که می‌توان ۵۰ درصد انرژی موردنیاز جهان را از باد تأمین نمود.
دانشمندان در تلاش‌اند تا به کمک فناوری هوش مصنوعی، تولید انرژی الکتریسیته از انرژی باد را بهینه کنند. به کمک فناوری‌های کاربردی هوش مصنوعی، توان خروجی توربین‌های بادی افزایش و هزینه‌های تولید انرژی از این منبع تجدید پذیر تا حد زیادی کاهش می‌یابد که این مهم از طریق موارد ذیل قابل پیاده‌سازی است.

طراحی چیدمان مزارع بادی

طراحی چیدمان مزارع بادی یکی از کلیدی‌ترین نکات در تعیین میزان توان خروجی توربین‌های بادی است. هنگام طراحی مزارع بادی لازم است به جایابی توربین‌ها و عدم قرارگیری آن‌ها در مسیر یکدیگر در هنگام وزش باد توجه شود. هوش مصنوعی می‌تواند نحوه چیدمان توربین‌های بادی را طوری طراحی کند تا کمترین توربینی در سایه‌ی باد دیگری قرار بگیرد.

بهینه‌سازی توان خروجی توربین‌ها

پره‌های توربین‌های بادی باید در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز با توجه به جهت و سرعت وزش باد بچرخند تا بتوان از آن‌ها بیشترین میزان خروجی انرژی الکتریسیته را دریافت کرد. به همین دلیل می‌توان از فناوری-های هوش مصنوعی کمک گرفت تا این چرخش‌ها به‌صورت کارآمدتری صورت بگیرد و انرژی الکتریسیته بیشتری توسط توربین‌ها تولید شود.

پیش‌بینی خرابی توربین‌ها

اگر توربین‌ها در جهت درست و مناسب نسبت به وزش باد قرار نگیرند، طول عمر پایه‌های توربین کاهش می‌یابد. همچنین آخرین تاریخ نگهداری و تعمیرات، شرایط آب‌وهوایی مانند میزان بارندگی‌ها و گردوخاک، همگی عواملی هستند که در خرابی یک توربین بادی تأثیرگذارند. پلتفرم‌های هوش مصنوعی می‌توانند خرابی توربین‌ها را با توجه به شرایط موجود آن‌ها پیش‌بینی کنند. این سبب می‌شود تا بتوان قبل از خرابی و قطع کار توربین آن را تعمیر کرد؛ لذا هزینه‌های نگهداری، تعمیرات و خواب توربین‌ها تا حد زیادی کاهش پیدا می‌کند.

کشف محل و نوع خرابی

همان‌طور که مشخص است صنعت انرژی یک صنعت بسیار گسترده است و به دنباله آن کاربردهای هوش مصنوعی در صنعت انرژی نیز دامنه بسیاری دارند. از مهم‌ترین مزایای هوش مصنوعی در این صنعت، کشف محل و نوع خرابی سیستم‌های تولیدکننده انرژی است. به‌عنوان‌مثال پره توربین‌های بادی نیازمند بررسی مکرر هستند تا شدت و نوع خرابی را در زودترین زمان، تشخیص داد. هزینه نگهداری و تعمیر پره‌های توربین‌های بادی بسیار بالاست؛ لذا می‌توان به‌جای این‌که در فاصله‌های زمانی مشخص، اقدام به بازکردن پره‌ها و انجام عملیات تعمیر و نگهداری کرد، با استفاده از فناوری بینایی ماشین، تصاویر گرفته‌شده توسط پهپادها را بررسی نمود و محل، شدت و نوع عیب پره‌ها را تشخیص داد. سپس بر اساس آن برای عملیات نگهداری و تعمیرات، تصمیمات لازم گرفته شود که درنتیجه آن، تنها در هنگام ضرورت اقدام به بازکردن پره‌ها و انجام عملیات تعمیر و نگهداری می‌شود.

ادامه دارد...

An experimental study on the influence of the fluid viscosity on the dynamic behavior of vortices

Mohammad Taghi Shervani-Tabar[1]*, Amirali Baghernezhad[2]
1- prof. of mechanical Engineering, University of Tabriz, Iran
2- Phd student of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Iran

Abstract
Fluid viscosity has significant influence on initiating and strengthening of vortices. The aim of this research is to clarify the influence of the fluid viscosity on the dynamic behavior of the vortices which initiate and get strength in the environment or in the fluid machineries and devices. For this purpose, an experimental apparatus has been designed and constructed for rotating of liquid filled tank in a circular path with different radiuses and different angular velocity. Pure water and pure paraffin and different mixtures of paraffin and water with different percentages of them have been used for investigating the influence of the fluid viscosity on the dynamic behavior of vortices. Colored fine grains are used for visualization of the liquid flow stream lines inside the tank and a high-speed video camera has been employed for capturing experimental videos and shots from initiation and development of the vortices. Experimental results show that decreasing the fluid viscosity results in increasing of strength of vortices. Experimental results also show that the fluid viscosity has significant effect on the initiation and dynamic behavior of the vortices generated inside the liquid filled tank during its uniform, accelerated and decelerated rotation along a circular path.
Keywords: Dynamics of vortices, Fluid viscosity, Environment, Fluid Machineries and devices, Experimental apparatus.

Introduction

Dynamic behavior of the rotational fluid flows and vortices are of great importance due to their significant effects in rural and urban environmental issues and due to their significant importance in the performance of fluid machineries and devices. Viscosity of the fluid flows is one of the great important physical parameters of fluid which affects the dynamic behavior of fluid vortices. Viscosity of fluid flows decays the vortex strength due to the friction of shear forces and may elongate vortices and transfer a circular vortex to an elliptic one.

O. Agullo and A. Verga [1] have obtained an exact solution for the two-dimensional Navier-Stokes equations for the flow generated by two point vortices. They have introduced viscosity as a Brownian motion in the Hamiltonian dynamics of point vortices. The source vortices execute a stochastic motion whose probability density can be computed from a Fokker-Plank equation, equivalent to the original Navier-Stokes equation. They have thoroughly investigated the viscosity effects by an asymptotic analysis of the solution. Results of their exact solution show that when the viscous effects are dominant, the vortices (in the sense of the averaged vorticity given by the probability distribution) remain relatively localized around two peaks, which directly collide to form a unique structure. T. Colonius et al. [2] have investigated the effects of compressibility on free (unsteady) viscous heat-conducting vortices analytically. Their analysis shows that the spreading of the vortex causes a radial flow. They have shown that this radial flow is given by the solution of an ordinary differential equation (valid for any Mach number), which gives the dependence of the radial velocity on the tangential velocity, density and temperature profiles of the vortex. R. R. Long [3] has studied three-dimensional vortex in a viscous fluid theoretically. He has outlined a theory that leads to the reduction of the steady-state Navier-Stokes equations of an incompressible fluid to three ordinary, nonlinear, differential equations. He concludes that the vertical velocity is of the same order of magnitude as the horizontal velocity. J. Nordstrom and B. Lonn [4] have investigated the energy decay of vortices in viscous fluids by using the compressible Navier-Stokes equations. They show that the main reason for slow decay is that zero eigenvalues exist in the matrix related to the dissipative terms. They have checked the validity of the theoretical result in practice, by numerical computation of the Navier-Stokes equations by using a stable high order finite difference. Henrik Tryggeson [5] has investigated the vortex structure by treating mainly the analytical vortex solution to the Navier-Stokes equations. He has considered a conical vortex phenomenon because of its significant importance to building engineers. Conical vortex phenomenon is responsible for very low pressures on buildings with flat roofs. He has shown that analysis of the -2D and -3D Navier-Stokes equations leads to the opportunity to construct linear solutions. S. L. Dizes and A. Verga [6] have investigated viscous evolution of two co-rotating vortices using direct two-dimensional numerical solutions of the Navier-Stokes equations. They have focused on vortex interaction regimes before merging. They have identified two distinct relaxation processes. The first one is non-viscous and corresponds to rapid adaptation of each vortex to the external (strain) field generated by the other vortex. The second relaxation process is a slow diffusion phenomenon. P. J. Folz and K. K. Nomura [7] have investigated the interactions of two equal co-rotating vortices under the influence of both viscosity and uniform background shear by using two dimensional numerical simulations. They show that the primary effect of viscosity is to increase the core size in time while the primary effect of shear is to vary the separation distance in time. Their simulations show that for a viscous

symmetric vortex pair, there are two distinct flow regimes, merger and separation, with the boundaries separating these regimes well-predicted by the point vortex model and largely independent of circulation Reynolds number over the range tested (5000-1000). C. Barbier and G. Chahine [8] have investigated the effects of viscosity and viscoelasticity on a line vortex cavitation experimentally. Their measurements and observations show that cavitation inception at the vortex center was delayed when polymer and corn syrup solutions are used as compared to the experiments in water. Their experimental results also show that, contrary to the reported observations with tip vortices, here the large-scale vortex is found to rotate faster in the polymer and corn syrup solutions. S. Topayev et al. [9] have studied the Taylor-vortex flow in shear-thinning fluids. In this study they have focused on the first principals understanding the influence of viscosity stratification and the nonlinear variation of the effective viscosity with the shear rate on the flow structure in the Taylor-vortex flow regime. Their results indicate that the flow field undergoes a significant change as shear-thinning effects increase. C. Wang et al. [10] have studied effects of temperature-dependent viscosity on fluid flow and heat transfer in a helical rectangular duct with a finite pitch. In this investigation they have considered both cases of one wall heated and four walls heated. The aspect ratio of the rectangular duct is 0.5 and Reynolds number is varied in the range of 400-100. Their results show that the secondary flow with temperature-dependent viscosity is enhanced markedly as compared to the constant viscosity. Their results also show that an additional pair of vortices is obtained near the center of the outer wall at Re=400 for the model of four walls heated with temperature-dependent viscosity, while for constant viscosity, the appearance of two additional vortices near the outer wall cannot be found. A. Soroureddin et al. [11] have investigated the effect of viscosity on the dynamic behavior of a vapor bubble in a narrow channel. They have used a boundary integral equation method and the procedure of viscous correction of viscous

potential flow for obtaining the vapor bubble profiles during its pulsations inside the narrow channel filled with a viscous liquid. Their numerical results show that, by increasing the viscosity of the liquid around the vapor bubble, the bubble lifetime increases. Their numerical results also indicate that for Reynolds numbers with the order of O(103), the viscosity effects are extremely reduced.

Problem Explanation, Innovations & Aims of Paper

In this research an experimental investigation has been carried out for investigating the effects of fluid viscosity on the inception and strengthening of vortices inside a liquid filled tank during its uniform and accelerated rotational movements on a circular path. An experimental apparatus together with a high-speed camera have been employed for taking experimental videos and shots from the inception and strengthening of vortices inside the liquid filled tank. Experimental results show that the liquid viscosity has significant effect on the inception and strengthening of vortices inside the liquid filled tank and also has significant effect on the movement patterns of these vortices.

Research Method and Assumptions

Experimental setup

The experimental apparatus in this experiment designs of different parts with the ability of rotate at circular paths in the clockwise and counter clockwise directions to create a vortex. The one horsepower DC motor is responsible for providing the necessary force for this type of movement. This apparatus uses a spiral gearbox to transmit the output power of DC motor. Also the metal structure includes rods and movable rails with the ability to change height is installed on the solid surface. As shown in figure 1, there is a liquid tank on one side of the rods and on the other side there are weights to establish the static balance in the system. This apparatus has a suitable place on top of the liquid tank to place the camera for capture the behavior of created vortex inside the liquid tank. The rotational velocity of this apparatus varies from 10 to 70 rpm with the control box. The control box with different components inside it, can create uniform and acceleration movement at the different situations. Finally, this experimental apparatus that shown in figure 1, can produce vortices in the liquid tank and photograph them.

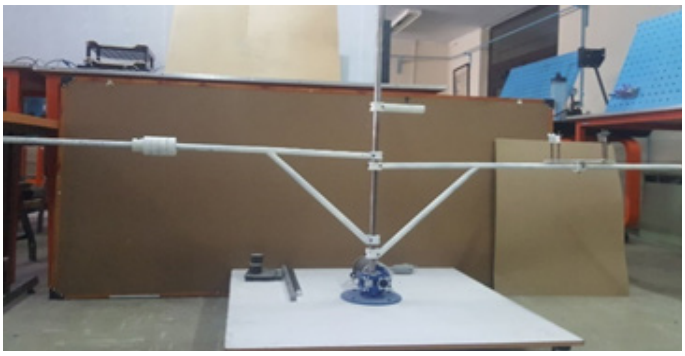


Figure 1: Schematic representation of the experimental apparatus.

Experimental methods

In this experimental study to investigate the effect of the fluid viscosity on the strength of the created vortices, paraffin and water are used in pure and different mass ratios mixtures in the liquid tank. This experimental investigation is performed in the rotational radius of 50 cm and rotational velocity of 50 rpm. In order to flow visualization, fine colored grains are poured into the liquid tank. This experimental investigation is performed in seven different stages, as follows:

Case 1; one kilogram of pure water,
Case 2; mixture of 600 gr water and 400 gr paraffin,
Case 3; mixture of 500 gr water and 500 gr paraffin,
Case 4; mixture of 400 gr water and 600 gr paraffin,
Case 5; mixture of 250 gr water and 750 gr paraffin,
Case 6; mixture of 150 gr water and 850 gr paraffin, and
Case 7; one kilogram of pure paraffin, in the liquid tank. The output of this experimental investigation is seven videos of the vortex behavior in the fluids with different viscosities. It should be noted that, the mixtures of paraffin and water are mixed with a high speed mixer in a closed container to prevent settling and then, they are used in the liquid tank with the fine color grains.

Vortex strength calculation

In this experimental study, to calculate the strength of vortices in the liquid tank, equivalent circle of the created vortices are identified. The equivalent circles are determined for each sequential processed frame. The equivalent circle is a circle with the largest radius that includes all the rotating visualization grains around an axis. The sequential processed images are obtained from the high-speed camera videos by using image processing technics. Based on the vortices quasi-linear velocity distribution, the rotational displacement of the visualization grains in the middle radius of the equivalent circle are calculated to find the average linear velocity. The average linear velocity is calculated with dividing the rotational displacement of the grains by the time interval of the sequential frames (that is 30/ 1 sec). According to the non-rotating behavior of free vortex, equation 1 and 2 are obtained as below:

$$\vec{\omega} = \frac{\Gamma}{A} = \frac{(rv_\theta + v_\theta dr)d\theta}{rdrd\theta} = \frac{v_\theta}{r} + \frac{dv_\theta}{dr} \quad (1)$$

$$v_\theta = \frac{cons.}{r} \quad (2)$$

In equation 1, is vorticity vector and the constant value in equation 2 is the vortex strength, which is also defined as below:

P = V.r^*.h (3)

In equation 3, P is the vortex strength m2/sec, V is the average linear velocity of vortex flow m/sec and h is unit depth of vortex flow. As a result, the vortex strength is obtained from equation 3.

Results and Discussion

In the following, first the results obtained from the effects of viscosity changes on the vortex parameters in uniform movement at constant rotational velocity and then in acceleration movement are presented.

Uniform movement

The purpose of this section is to investigate the vortex behavior in the fluids with different viscos$\vec{\omega}$s. This experimental study is performed at the rotational radius and rotational velocity of 50 cm, 50 rpm. For this study, pure water and paraffin and mixtures of them with different mass ratios, is performed. Figures 7 ,6 ,5 ,4 ,3 ,2 and 8 show the processed images of the liquid tank uniform movement to calculate the created vortex parameters. Figures 8 -2, represent the created vortex in one kilogram of pure water, a mixture of 600 gr water and 400 gr paraffin, a mixture of 500 gr water and 500 gr paraffin, a mixture of 400 gr water and 600 gr paraffin, a mixture of 250 gr water and 750 gr paraffin, a mixture of 150 gr water and 850 gr paraffin and one kilogram of pure paraffin in the liquid tank, respectively. Tables 7-1, show the calculations obtained from figures 8-2, respectively. According to tables 7-1, it is concluded that, the average linear velocity of the vortex flow, decreases with increasing the fluid viscosity from the pure water to a different mass ratios of mixtures and finally in pure paraffin. The vortex strength is reduced by reducing the vortex average linear velocity, because the viscosity losses are very high in the viscous fluid. As a result, the vortex is not clearly formed in pure paraffin fluid, even for the rotational velocity of 60 rpm. According to an important principle

about fluids, in the viscous fluid more energy is needed to deform and move the fluid elements, because in the viscous fluid there are strong shear stresses between fluid elements compared to low viscosity fluid, which make them more resistant to deformation and movement. The viscous friction force is in the opposite direction of the Coriolis force. Thus, it prevents the formation of the strong vortices in the liquid tank.

Video images show that, the vortex development velocity decreases with increasing the paraffin mass ratios of mixtures in the liquid tank, so that, the vortex development velocity in a mixture of 850 gr of paraffin and 150 gr of water and pure paraffin is close to zero.

The video images reveal that, the created vortex is focused on the outermost part of the liquid tank. According to the uneven distribution of mass in the core and around of the vortex, the mass accumulates in the vortex core. As a result, the vortex is concentrated on the outermost part of the liquid tank due to the high centrifugal force. Eventually, the created vortex destroyed by colliding with the liquid tank wall.

Tables 7-1 show that, the linear velocity of displacement of the vortex core decreases with increasing the mass ratios of paraffin in the liquid mixtures due to decreasing of the vortex strength. So that, in pure paraffin, the linear velocity of vortex core displacement is negligible.

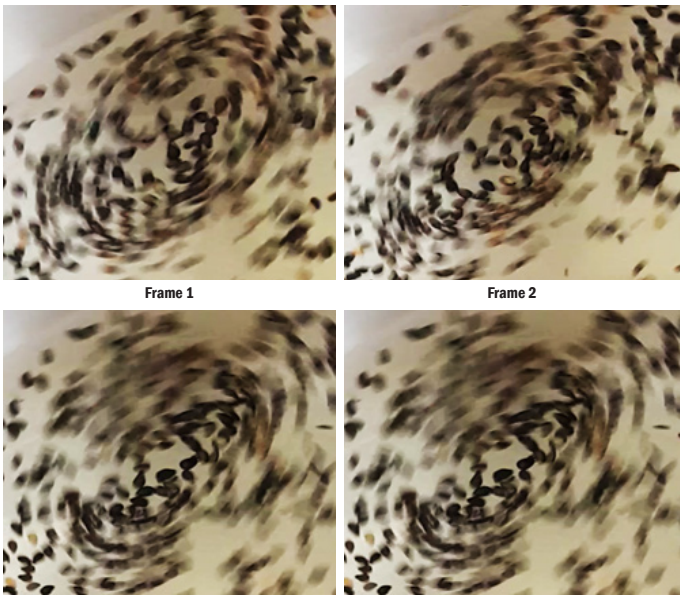


Figure 2: Cut processed images from created vortex in pure water with a time interval of 30/1 sec between the sequential frames.

	Vortex radius (*mm*)	Rotational displacement (*rad*)	Average linear velocity (m/sec)	Vortex strength (m^2/sec)
Frames 1, 2	22.5	0.6280	0.2119	4.7688×10^{-3}
Frames 3, 4	18	0.8722	0.2355	4.2390×10^{-3}
Average vortex strength (m^2/sec)		$4.5039\times10^{-3}\ m^2/sec$		
Linear velocity of vortex core displacement from frame 1 to frame 4 (mm/sec) at $\Delta t=3\times 1/30$ (sec)		V_x=65.62 V_y=-71.87 $\lvert V_{net}\rvert$=97.32 mm/sec		

Table 1: Calculation results of vortex parameter in pure water.

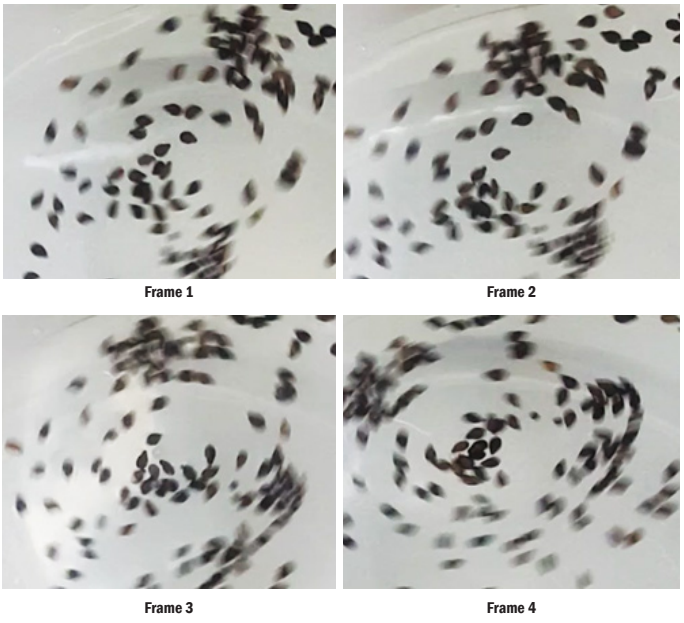


Figure 3: Cut processed images from created vortex in the mixture of 600 gr water and 400 gr paraffin with a time interval of 30/1 sec between the sequential frames.

	Vortex radius (*mm*)	Rotational displacement (*rad*)	Average linear velocity (m/sec)	Vortex strength (m^2/sec)
Frames 1, 2	19	0.6977	0.1988	3.7784×10^{-3}
Frames 3, 4	20	0.6803	0.2041	4.0820×10^{-3}
Average vortex strength (m^2/sec)		$3.9320\times10^{-3}\ m^2/sec$		
Linear velocity of vortex core displacement from frame 1 to frame 4 (mm/sec) at $\Delta t=3\times 1/30$ (sec)		V_x=44.44 V_y=-77.77 $\lvert V_{net}\rvert$=89.57 mm/sec		

Table 2: Calculation results of vortex parameter in the mixture of 600 gr water and 400 gr paraffin.

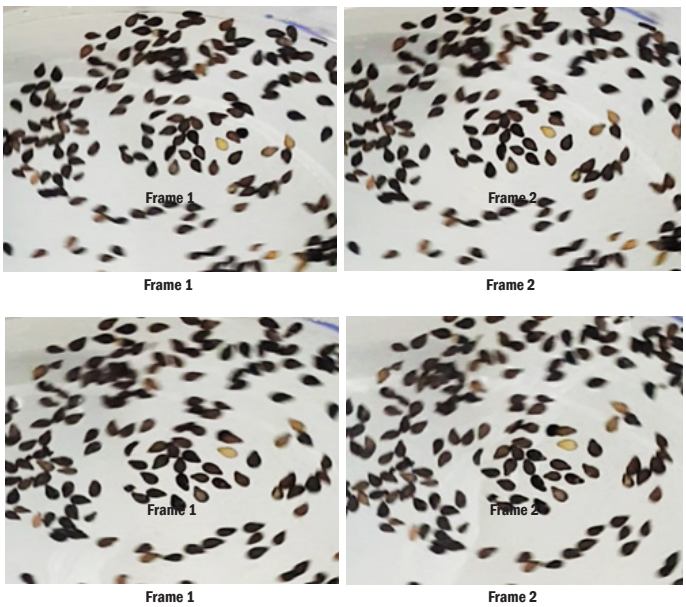
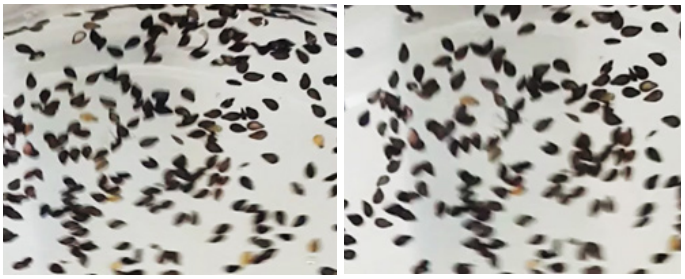


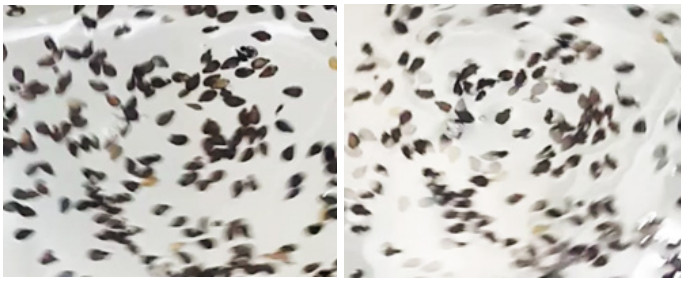
Figure 4: Cut processed images from created vortex in the mixture of 500 gr water and 500 gr paraffin with a time interval of 30/1 sec between the sequential frames.

	Vortex radius (*mm*)	Rotational displacement (*rad*)	Average linear velocity $(^{m}/_{sec})$	Vortex strength $(^{m^2}/_{sec})$
Frames 1, 2	26	0.3314	0.1293	3.3603×10^{-3}
Frames 3, 4	26	0.2791	0.1088	2.8301×10^{-3}
Average vortex $(^{m^2}/_{sec})$ strength		$3.0952\times10^{-3}\ ^{m^2}/_{sec}$		
Linear velocity of vortex core displacement from frame 1 to frame 4 $(^{mm}/_{sec})$ at $\Delta t=3\times {}^{1}/_{30}$ (sec)		V_x=-66.66 V_y=-33.33 $\lvert V_{net}\rvert$=74.53 $^{mm}/_{sec}$		

Table 3: Calculation results of vortex parameter in the mixture of 500 gr water and 500 gr paraffin.

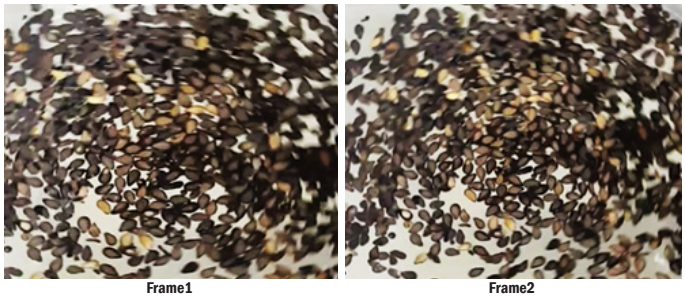


Frame 1 Frame 2



Frame 3 Frame 4

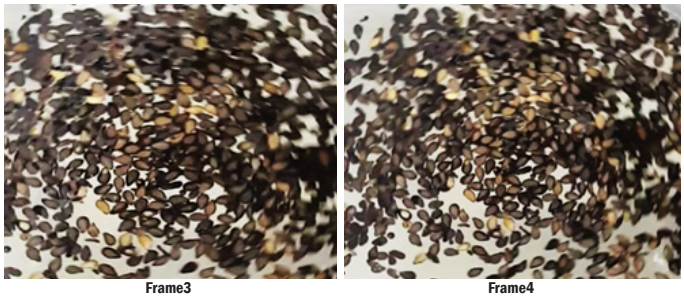
Figure 5: Cut processed images from created vortex in the mixture of 400 gr water and 600 gr paraffin with a time interval of 30/1 sec between the sequential frames.



Frame1 Frame2

	Vortex radius (*mm*)	Rotational displacement (*rad*)	Average linear velocity $(^{m}/_{sec})$	Vortex strength $(^{m^2}/_{sec})$
Frames 1, 2	22	0.3314	0.1093	2.4062×10^{-3}
Frames 3, 4	22	0.3663	0.1208	2.6595×10^{-3}
Average vortex $(^{m^2}/_{sec})$ strength		$2.5328\times10^{-3}\ ^{m^2}/_{sec}$		
Linear velocity of vortex core displacement from frame 1 to frame 4 $(^{mm}/_{sec})$ at $\Delta t=3\times {}^{1}/_{30}$ (sec)		V_x=44.44 V_y=-44.44 $\lvert V_{net}\rvert$=62.85 $^{mm}/_{sec}$		

Table 4: Calculation results of vortex parameter in the mixture of 400 gr water and 600 gr paraffin.

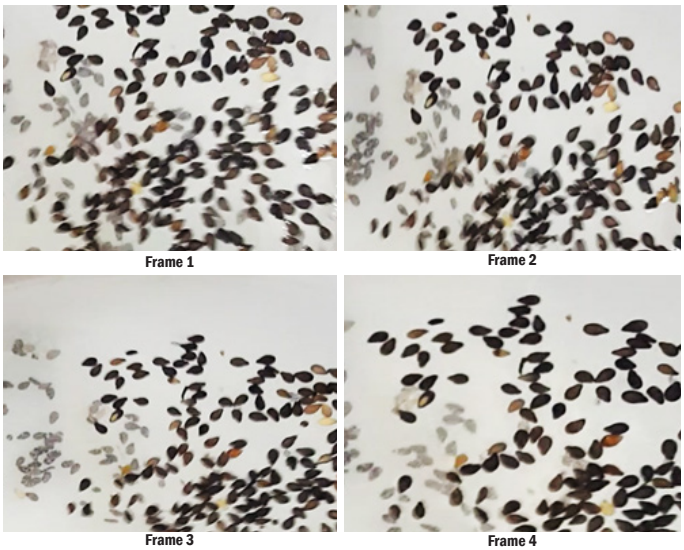


Frame3 Frame4

Figure 6: Cut processed images from created vortex in the mixture of 250 gr water and 750 gr paraffin with a time interval of 30/1 sec between the sequential frames.

	Vortex radius (*mm*)	Rotational displacement (*rad*)	Average linear velocity $(^{m}/_{sec})$	Vortex strength $(^{m^2}/_{sec})$
Frames 1, 2	25	0.2267	0.0850	2.1260×10^{-3}
Frames 3, 4	21	0.2616	0.0824	1.7309×10^{-3}
Average vortex $(^{m^2}/_{sec})$ strength		$1.9284\times10^{-3}\ ^{m^2}/_{sec}$		
Linear velocity of vortex core displacement from frame 1 to frame 4 $(^{mm}/_{sec})$ at $\Delta t=3\times {}^{1}/_{30}$ (sec)		V_x=11.11 V_y=-44.44 $\lvert V_{net}\rvert$=45.81 $^{mm}/_{sec}$		

Table 5: Calculation results of vortex parameter in the mixture of 250 gr water and 750 gr paraffin.



Frame 1 Frame 2

Frame 3 Frame 4

Figure 7: Cut processed images from created vortex in the mixture of 150 gr water and 850 gr paraffin with a time interval of 30/1 sec between the sequential frames.

	Vortex radius (*mm*)	Rotational displacement (*rad*)	Average linear velocity $(^{m}/_{sec})$	Vortex strength $(^{m^2}/_{sec})$
Frames 1, 2	16	0.2442	0.0586	0.9378×10^{-3}
Frames 3, 4	18	0.2616	0.0706	1.2717×10^{-3}
Average vortex $(^{m^2}/_{sec})$ strength		$1.1047\times10^{-3}\ ^{m^2}/_{sec}$		
Linear velocity of vortex core displacement from frame 1 to frame 4 $(^{mm}/_{sec})$ at $\Delta t=3\times {}^{1}/_{30}$ (sec)		V_x=11.11 V_y=11.11 $\lvert V_{net}\rvert$=15.71 $^{mm}/_{sec}$		

Table 6: Calculation results of vortex parameter in the mixture of 150 gr water and 850 gr paraffin.

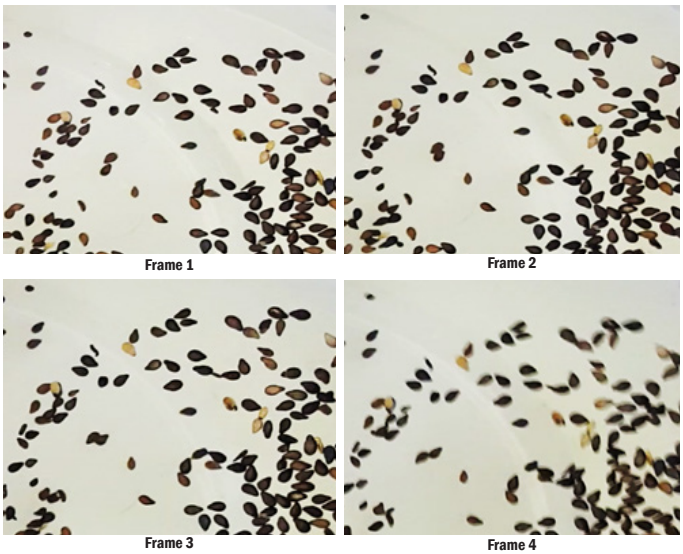


Figure 8: Cut processed images from created vortex in pure paraffin with a time interval of 30/1 sec between the sequential frames.

	Vortex radius (*mm*)	Rotational displacement (*rad*)	Average linear velocity (m/sec)	Vortex strength (m^2/sec)
Frames 1, 2	22.5	0.6280	0.2119	4.7688×10^{-3}
Frames 3, 4	18	0.8722	0.2355	4.2390×10^{-3}
Average vortex strength (m^2/sec)		$4.5039\times10^{-3}\ m^2/sec$		
Linear velocity of vortex core displacement from frame 1 to frame 4 (mm/sec) **at** $\Delta t=3\times 1/30$ **(sec)**		$V_x\sim0$ $V_y\sim0$ $\lvert V_{net}\rvert\sim0\ mm/sec$		

Table 7: Calculation results of vortex parameter in pure paraffin.

Acceleration movement

In this section, the rotational velocity of liquid filled tank increased in the time intervals of 8 sec from 0 to 50 rpm at R=50 cm. Figures ,10 ,9 11 and 12 show the processed images of the liquid tank acceleration movement to calculate the created vortex parameters. Figures 12-9, represent the created vortex in one kilogram of pure water, a mixture of 600 gr water and 400 gr paraffin, a mixture of 500 gr water and 500 gr paraffin and a mixture of 250 gr water and 750 gr paraffin, respectively. The experimental results of the vortex parameters based on figures ,16 20 ,18 and 22 are shown in tables 11-8, respectively.

The experimental results show that, the strength of the created vortex inside the liquid filled tank is increased with reduction of fluid viscosity. The vortex strength in acceleration movement is greater than the uniform movement due to the increasing of magnitude of the total fluid acceleration. The acceleration movement created by the velocity changes, is in the same direction of the Coriolis acceleration. Consequently, the total acceleration of the liquid filled tank increases with increasing the created acceleration by the velocity changes, and the vortex strength increases compared to the uniform movement.

The results also show that, the linear velocity of vortex core displacement decreases with increasing the mass ratios of paraffin in the mixtures due to decreasing the vortex strength. The magnitude of vortex core linear velocity in acceleration movement is higher than uniform movement, because the vortex strength in acceleration movement is greater than uniform movement.

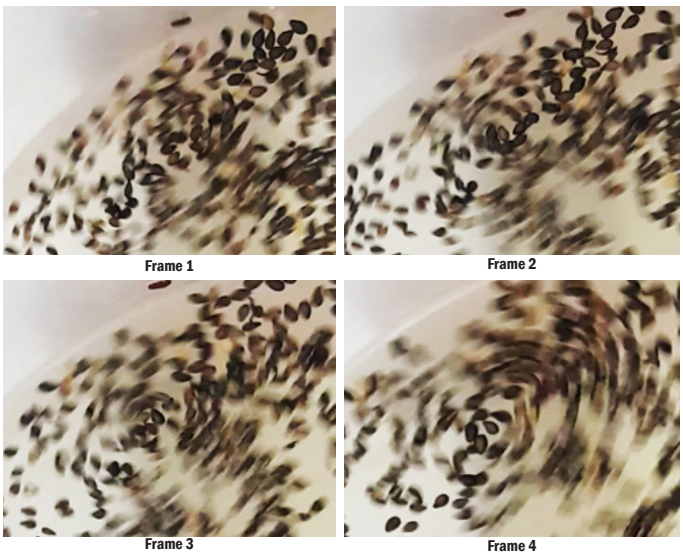


Figure 9: Cut processed images from created vortex in pure water in acceleration movement with a time interval of 30/1 sec between the sequential frames.

	Vortex radius (*mm*)	Rotational displacement (*rad*)	Average linear velocity (m/sec)	Vortex strength (m^2/sec)
Frames 1, 2	22	0.6450	0.2360	5.2066×10^{-3}
Frames 3, 4	23	0.6450	0.2472	5.6867×10^{-3}
Average vortex strength (m^2/sec)		$5.4466\times10^{-3}\ m^2/sec$		
Linear velocity of vortex core displacement from frame 1 to frame 4 (mm/sec) **at** $\Delta t=3\times 1/30$ **(sec)**		$V_x=100$ $V_y=111.11$ $\lvert V_{net}\rvert=149.48\ mm/sec$		

Table 8: Calculation results of vortex parameter in the pure water in acceleration movement.

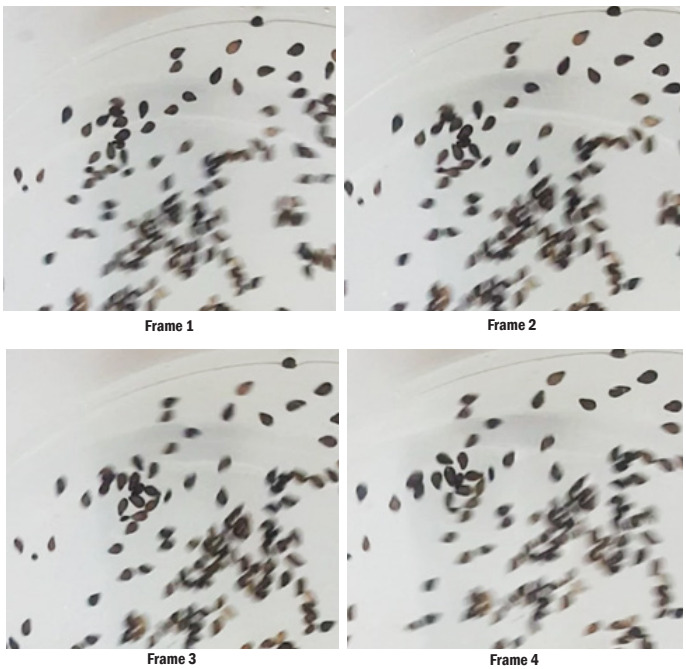
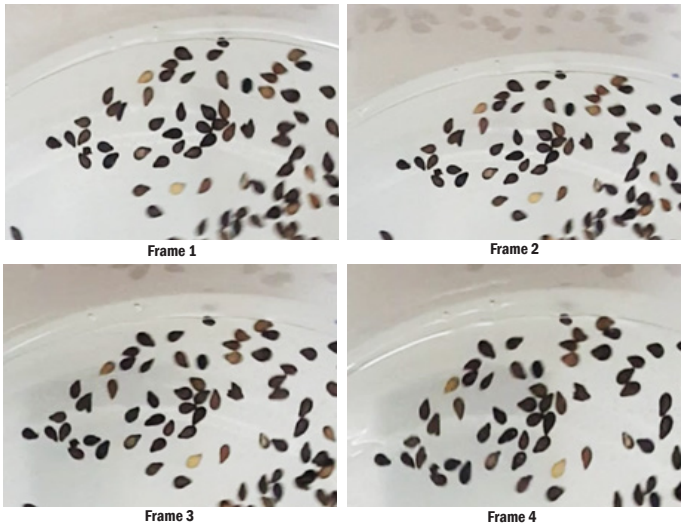


Figure 10: Cut processed images from created vortex in the mixture of 600 gr water and 400 gr paraffin in acceleration movement with a time interval of 30/1 sec between the sequential frames.

	Vortex radius (*mm*)	Rotational displacement (*rad*)	Average linear velocity $(^{m}/_{sec})$	Vortex strength $(^{m^2}/_{sec})$
Frames 1, 2	20	0.6977	0.2325	4.6518×10^{-3}
Frames 3, 4	20	0.6977	0.2325	3.6518×10^{-3}
Average vortex $(^{m^2}/_{sec})$ strength		$4.6518\times10^{-3}\ ^{m^2}/_{sec}$		
Linear velocity of vortex core displacement from frame 1 to frame 4 $(^{mm}/_{sec})$ at $\Delta t=3\times {}^{1}/_{30}$ (sec)		$V_x=33.33$ $V_y=88.88$ $\lvert V_{net}\rvert=94.93\ ^{mm}/_{sec}$		

Table 9: Calculation results of vortex parameter in the mixture of 600 gr water and 400 gr paraffin in acceleration movement.

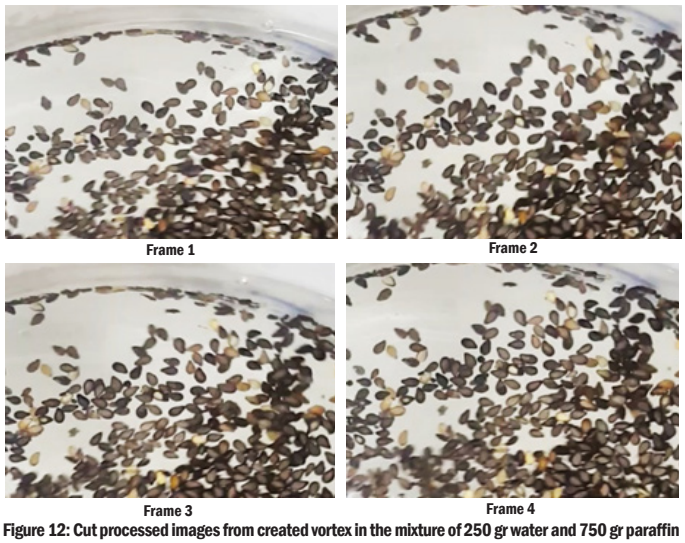


Frame 1 Frame 2 Frame 3 Frame 4

Figure 11: Cut processed images from created vortex in the mixture of 500 gr water and 500 gr paraffin in acceleration movement with a time interval of 30/1 sec between the sequential frames.

	Vortex radius (*mm*)	Rotational displacement (*rad*)	Average linear velocity $(^{m}/_{sec})$	Vortex strength $(^{m^2}/_{sec})$
Frames 1, 2	27	0.3314	0.1491	4.0270×10^{-3}
Frames 3, 4	28	0.2965	0.1384	3.8750×10^{-3}
Average vortex $(^{m^2}/_{sec})$ strength		$3.9509\times10^{-3}\ ^{m^2}/_{sec}$		
Linear velocity of vortex core displacement from frame 1 to frame 4 $(^{mm}/_{sec})$ at $\Delta t=3\times {}^{1}/_{30}$ (sec)		$V_x=11.11$ $V_y=55.55$ $\lvert V_{net}\rvert=56.65\ ^{mm}/_{sec}$		

Table 10: Calculation results of vortex parameter in the mixture of 500 gr water and 500 gr paraffin in acceleration movement.



Frame 1 Frame 2 Frame 3 Frame 4

Figure 12: Cut processed images from created vortex in the mixture of 250 gr water and 750 gr paraffin in acceleration movement with a time interval of 30/1 sec between the sequential frames.

	Vortex radius (*mm*)	Rotational displacement (*rad*)	Average linear velocity $(^{m}/_{sec})$	Vortex strength $(^{m^2}/_{sec})$
Frames 1, 2	24	0.2267	0.0907	2.1770×10^{-3}
Frames 3, 4	23	0.2616	0.1002	2.3064×10^{-3}
Average vortex $(^{m^2}/_{sec})$ strength		$2.2417\times10^{-3}\ ^{m^2}/_{sec}$		
Linear velocity of vortex core displacement from frame 1 to frame 4 $(^{mm}/_{sec})$ at $\Delta t=3\times {}^{1}/_{30}$ (sec)		$V_x=10.11$ $V_y=11$ $\lvert V_{net}\rvert=14.94\ ^{mm}/_{sec}$		

Table 11: Calculation results of vortex parameter in the mixture of 250 gr water and 750 gr paraffin in acceleration movement.

Concluding Remarks

This study is performed to investigate the effect of the fluid viscosity on the vortex behavior with a laboratory apparatus. According to the above purposes, the following results are obtained:

- The vortices created in the liquid tank will disappear after a while, so the vortices are caused by the Coriolis Effect and are free vortex type.
- The fluid viscosity increases with increasing the paraffin mass ratio in the mixture.
- The strength of the created vortex in the liquid tank, decreases with increasing the fluid viscosity.
- In pure paraffin and at the experiment velocity, a strong visible vortex is not formed.
- In all parts of study, the linear velocity of the vortex core displacement increases with increasing the vortex strength due to decreasing paraffin ratio in the liquid tank or decreasing the viscosity.
- In acceleration movement, the created vortex strength inside the liquid tank decreases with increasing the mass ratios of paraffin in mixtures.
- In acceleration movement, the vortex strength is greater than constant rotational velocity movement due to Coriolis effect.
- In acceleration movement, the linear velocity of vortex core displacement is greater than constant rotational velocity movement and the vortices develop faster.

The central point of the vortex core deviates downward and to the right-hand side during sequential frames and form a counter clockwise movement in the liquid tank.

References

[1] O. Agullo and A. Verga, «Effect of viscosity in the dynamics of two point vortices: Exact results,» Physical Review E, vol. 63, no. 5, p. 2001 ,056304.

[2] T. Colonius, S. K. Lele, and P. Moin, «The free compressible viscous vortex,» Journal of Fluid Mechanics, vol. 230, pp. 1991 ,73-45.

[3] R. R. Long, «Vortex motion in a viscous fluid,» Journal of Meteorology, vol. 15, no. 1, pp. 1958 ,112-108.

[4] J. Nordström and B. Lönn, «Energy decay of vortices in viscous fluids: an applied mathematics view,» Journal of Fluid Mechanics, vol. 709, pp. 2012 ,609-593.

[5] H. Tryggeson, «Analytical vortex solutions to Navier-Stokes equation,» Växjö University Press, 2007.

[6] S. Le Dizes and A. Verga, «Viscous interactions of two co-rotating vortices before merging,» Journal of Fluid Mechanics, vol. 467, pp. 2002 ,410-389.

[7] P. J. Folz and K. K. Nomura, «Interaction of two equal co-rotating viscous vortices in the presence of background shear,» Fluid Dynamics Research, vol. 46, no. 3, p. 2014 ,031423.

[8] C. Barbier and G. Chahine, «Experimental study of the effects of viscosity and viscoelasticity on a line vortex cavitation,» 2009.

[9] S. Topayev, C. Nouar, D. Bernardin, A. Neveu, and S. Bahrani, «Taylor-vortex flow in shear-thinning fluids,» Physical Review E, vol. 2019 28/08 ,100, doi: 10.1103/PhysRevE.100.023117.

[10] C. Wang, S. Liu, J. Wu, and Z. Li, «Effects of temperature-dependent viscosity on fluid flow and heat transfer in a helical rectangular duct with a finite pitch,» Brazilian Journal of Chemical Engineering, vol. 31, no. 3, pp. 2014 ,797-787.

[11] M. T. Shervani-Tabar, A. Sorourreddin, and H. Aminfar, «Numerical investigation of the effect of viscosity on bubble dynamics in a narrow channel,» Scientia Iranica, 2019.

Groove design on the NACA 4415 airfoil to reduce drag

Seyed Mostafa Mirtabaei , Mohammad Amin Rahimi Jafari

Drag reduction in airfoils and aircraft is very important for various reasons such as reducing fuel consumption and increasing maneuverability and agility. Various methods have been proposed to reduce the drag force in airfoils during the past decades. In the current research, a NACA 4415 airfoil has been investigated at angles of attack between 0 and 16 degrees. In order to reduce the drag created on the airfoil, grooves on the end part of the airfoil were used for this purpose. The cross-section of grooves is circular and three variables of groove depth, number of grooves, and angle of attack have been studied in order to investigate their effect on the drag force. Finally, it was found that the created grooves were able to reduce the drag force on the airfoil to a reasonable extent, but this reduction was mostly at attack angles above 8 degrees.

I. Introduction

Airfoil drag reduction refers to the use of various techniques to reduce the amount of drag experienced by an airfoil. Drag reduction techniques can be applied to airfoils of different shapes and sizes, and can be used to improve the aerodynamic performance of aircraft. One approach to drag reduction is to locally reduce friction on the airfoil surface. This can be achieved through the use of control mechanisms that modify the shock wave and improve the aerodynamic efficiency of the airfoil [1]. Another method for reducing drag at low speeds is through the use of truncated airfoils. Studies have shown that using truncated airfoils can result in a significant reduction in drag [2].

Adaptive airfoil concepts have been explored for drag reduction at transonic speeds. Aerodynamic optimization algorithms are used to assess and optimize the shape of the airfoil for improved performance [3]. Flow control techniques can be applied to airfoils to reduce turbulent skin-friction drag. These techniques aim to manipulate the flow around the airfoil to minimize drag and improve aerodynamic performance [4]. Research has shown that using wavy geometries on the trailing edge of an airfoil can reduce drag by reducing shear stress over parts of the airfoil surface. This can lead to improved aerodynamic performance and drag reduction [5].

There are several methods to reduce drag on an airfoil, including flow control, suction and blowing, and the use of novel devices. Flow control for turbulent skin-friction drag reduction is applied to a transonic airfoil to improve its aerodynamic performance [6]. Dielectric Barrier Discharge based turbulent drag reduction methods are used to reduce the total drag on a NACA 0012 airfoil at low angles of attack [7]. A hybrid flow control method using suction and loaded leading edge is used to overcome the huge drag on an airfoil in transonic flow [8]. There are several reviews of wave drag reduction techniques by use of active, passive, and hybrid flow control [9], chemicals that reduce drag are known as drag-reducing agents [10] and suction and blowing flow control on airfoil for drag reduction in subsonic flow [11].

Srinivasarao et al. has observed an experimental study on drag reduction over an airfoil [12]. Miura et al. and Eto et al. observed drag reduction effect by uniform blowing on the pressure surface of an airfoil is investigated through wind-tunnel experiments [14] ,[13]. Suzuki et al. has done research about laminar airfoil modification attaining optimum drag reduction [15]. Actively Reduced Airfoil Drag by Transversal Surface Waves has done by Albers et al [16]. Zhang et al. has done some researches on the experimental Investigation of Lift Enhancement and Drag Reduction of Discrete Co-Flow Jet Rotor Airfoil [17].

Based on the search results, it can be concluded that there are several methods to reduce drag on an airfoil, including flow control, suction and blowing, and the use of novel devices. These methods can be applied to different types of airfoils and at different angles of attack. Researchers have used numerical simulations, wind tunnel experiments, and other techniques to study the effectiveness of these methods. The results show that these methods can significantly reduce drag and improve the aerodynamic performance of airfoils. To minimize the total drag on a NACA 0012 airfoil at low angles of attack, turbulent drag reduction techniques based on Dielectric Barrier Discharge (DBD) are employed. Drag reduction studies were carried out based on SU et al.›s investigation of the interaction of DBD with turbulent boundary layer. The findings indicate that while steady impinging discharge is unable to complete the task (i.e., drag increase), unidirectional steady discharge is more effective than oscillating discharge in terms of drag reduction. In the ideal situation, a drag reduction of %13.7 remains at a freestream velocity of 20 m/s, while a maximum relative drag reduction of %64 is reached at a velocity of 5 m/s. The two main factors influencing the efficacy of unidirectional discharge are the dimensionless actuator spacing and the jet velocity ratio. The dimensionless actuator spacing has a threshold value of 540, or roughly five times the low-speed streak spacing, above which the drag increases. The size of the drag reduction changes inversely with the dimensionless spacing. Marginal drag fluctuation is seen when the jet velocity ratio is less than 0.05. On the other hand, depending on the value of dimensionless actuator spacing, the experimental data bifurcates when the jet velocity ratio is greater than 0.05, one into the drag increase zone and the other into the drag reduction zone. The jet velocity ratio causes an increase in the magnitude of the drag variation in both zones. The decrease in turbulent friction drag and pressure drag as well as the rise in friction drag caused by transition promotion make up the total drag reduction. A significant portion of the overall drag reduction is attributed to the decrease in turbulent friction drag [7].

Elsayed et al. examined how multi-suction jets affected the aerodynamic properties of the NACA 0012 airfoil at a Reynolds number of 105 × 0.54. To this end, numerical simulations and experiments are conducted. Because the airfoil›s surface has several suction slots, the aerodynamic forces are monitored. To depict the flow structures on the modified and unmodified airfoils, numerical simulations are used. Their investigation looks at the effects of suction pressure values, the number of suction slots, and the placement of the airfoil surface suction jets on the lift coefficient, drag coefficient, stall angle, and flow separation. The study also looks into flow reattachments in an effort to determine the best control case. The findings showed that the optimum lift coefficient increment performance is achieved by the numerous suction jets located around the upper surface of the airfoil blade. Specifically, utilizing numerical simulation with the suction slot, the

results demonstrated that maximal improvements in lift coefficient, CL, are obtained as %480 at a stall angle of attack (AOA) equal to °22 and flow speed of 8 m/s. The experimental findings demonstrated that suction holes at a stall AOA of °16 and a flow rate of 8 m/s may increase the lift coefficient by %55.7. Furthermore, the placement of the suction jet and the simultaneous use of the multi-suction technique have a significant impact on the CL, CD, CL/CD, and separation flow [18].

Another approachto increase airfoil performance is to investigate the characteristics of the laminar separation bubble formed over the airfoil geometry [19]. Significant variation in drag characteristics and lift-curve linearity was reported due to changes in transitional flow features across the airfoil surface. When laminar boundary-layer separation was seen without reattachment, lift-curve linearity decreased the most and drag increased. However, a laminar separation bubble that developed at the airfoil leading edge quickly returned to lift linearity and parabolic drag behaviors.

Another method is to design and simulate airfoils with inclined trailing edges, which can improve the lift/drag ratio and lift coefficient [20]. All of the designed airfoils with inclined trailing edges showed higher lift coefficients compared to the baseline airfoil, according to the study on the impact of changed trailing edges on the aerodynamic performance of wind turbine airfoils. The maximum lift coefficient improvement for the inclined airfoil was %74. The lift coefficient increased with the angle of the inclined trailing edge. Nevertheless, because of an increase in drag, any additional inclination angle rise led to a fall in the lift-drag ratio. Additionally, the usage of a correct winglet can enhance wing performance, as shown in the case of the spiroid winglet for the NACA 4412 airfoil [21]. According to the study, the spiroid winglet had the highest lift-to-drag ratio at a °10 angle of attack, improving performance by %5.53, but it lacked stability. For the airfoil NACA 4412, the spiroid winglet was found to be the most effective winglet, resulting in a %2 increase in average performance to %3.92.

The influence of camber on airfoil aerodynamic performance has also been studied, with results showing that increasing the airfoil bending degree can increase the lift coefficient and lift-drag ratio [22]. Furthermore, modifying the airfoil with a sinusoidal leading edge and an outward dimpled upper surface has been found to improve performance, particularly with an increase in turbulence [23]. In coclusion, the modified airfoil model performed better with increased turbulence; however, the overall aerodynamic efficiency for a lower angle of attack was impacted more by the increase in lift coefficient than by the significant decrease in drag coefficient with an increase in Reynolds number.

Kim et al. presented the design of wind turbines in the 10 kW class. The turbines have three blades, a 6.4 m rotor diameter, a 200 r/min rated rotation speed, and a 10 m/s rated wind speed. Since trailing edge noise from the outer %25 of a wind turbine blade is its primary source, the optimum airfoil is designed for the %75 spanwise location. Incompressible flow, Mach number at 0.145, Reynolds numbers at 106×1.02, and lift performance that is immune to turbulence intensity and surface contamination are all calculated numerically. The goal of the design procedure is to maintain high aerodynamic efficiency while minimizing noise emissions. Semi-empirical models based on the work of Lowson and Brooks et al. predict dominant broadband noise sources under typical wind turbine operating circumstances. In order to minimize wind turbine power loss, the aerodynamic performance of the airfoil is examined during the redesign process. Using a commercial 10 kW class wind turbine blade airfoil as a foundation, the design method›s results demonstrate that it can create airfoils with lower noise. Consequently, improved aerodynamic performance and 2.9 dB reductions in the total sound pressure level (SPL) are demonstrated by the newly optimized airfoil [24].

$$\frac{1}{Drag\ force} = 81.58 - 49.56 \times A - 2.55 \times B - 2.07 \times C + 2.31 \times AB + 2.59 \times AC - 2.35 \times BC$$

$$- 10 \times A^2 - 1.47 \times B^2 - 0.0261 \times C^2$$

Where the variables A, B and C are defined as follows:

A: angle of attack (degrees)

B: number of grooves

C: depth of grooves

In the following, the details of the ANOVA table have been mentioned.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	45226.98	9	5025.22	752.42	< 0.0001	significant
A-angle of attack	44208.16	1	44208.16	6619.24	< 0.0001	
B-number of slot	117.47	1	117.47	17.59	0.0006	
C-slot depth	77.32	1	77.32	11.58	0.0034	
AB	63.79	1	63.79	9.55	0.0066	
AC	80.39	1	80.39	12.04	0.0029	
BC	66.31	1	66.31	9.93	0.0058	
A^2	600.53	1	600.53	89.92	< 0.0001	
B^2	13.00	1	13.00	1.95	0.1809	
C^2	0.0041	1	0.0041	0.0006	0.9806	
Residual	113.54	17	6.68			
Cor Total	45340.52	26				

The statistical variable F-value with the value of 752.42 indicates the appropriateness of the quadratic mathematical model for the purpose of interpolation. There is only a %0.01 chance that this high F-value is due to statistical noise.

The statistical variable P-value is less than 0.05, which is another proof of the acceptability of the selected mathematical model. In the current model, sentences with coefficients A, B, AB, AC, BC, and A2 have the greatest effects on drag force changes. The two expressions of the square of the number of grooves and the square of the groove depth are less important.

The graph below shows the normal distribution of the data. According to the diagram, the data extracted from the simulation (square points) have a good match with the normal line (solid line). This indicates the correctness of data collection in simulations.

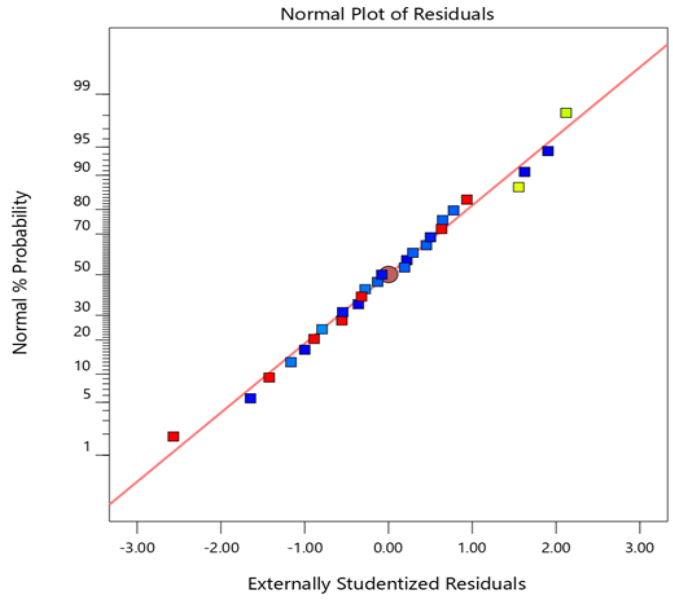


Figure 1 Normal distribution of data extracted from simulation

The following diagram also shows the agreement of the test data (square points) with the selected mathematical model (solid line). The way of distribution and deviation of the simulation data and the results obtained from the selected mathematical model have an acceptable agreement with each other.

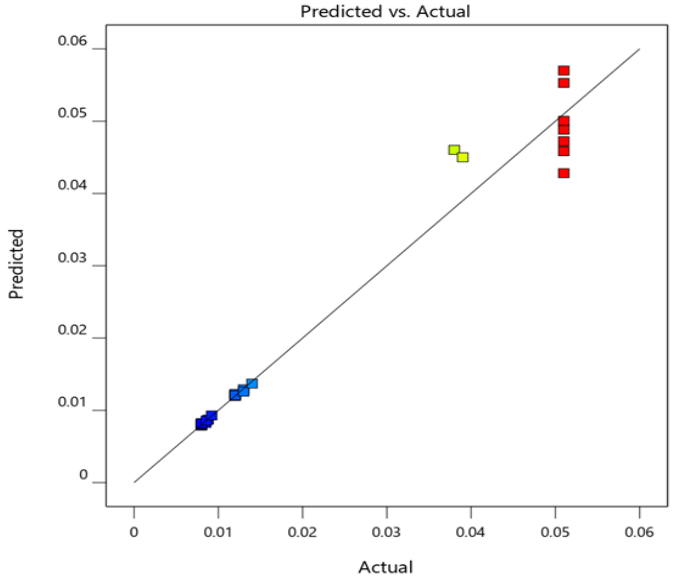


Figure 2 The diagram of matching the test data with the results of the selected mathematical model

In order to check the drag force on the airfoil by changing different variables, the extracted mathematical model can be used, but for a more detailed check, first, the results of the simulation and the three-dimensional contour levels of the extracted model are observed and checked.

The limits of the selection interval for the variable number of grooves were considered equal to 0 and 6 numbers. Assuming the absence of grooves (zero number of grooves) on the airfoil, the relationship between the angle of attack, groove depth, and drag force was obtained in the form of the following diagram.

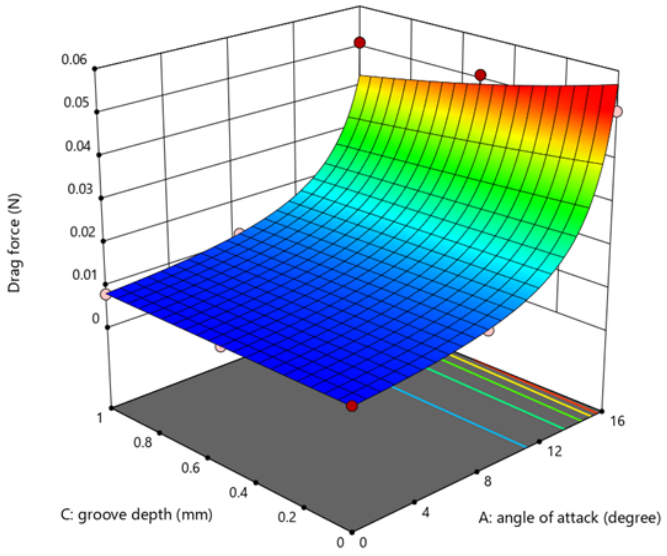


Figure 3 Drag force values in terms of AOA and grooves depth (grooves number = 0)

By applying 6 grooves on the airfoil, the above image is transformed into the following.

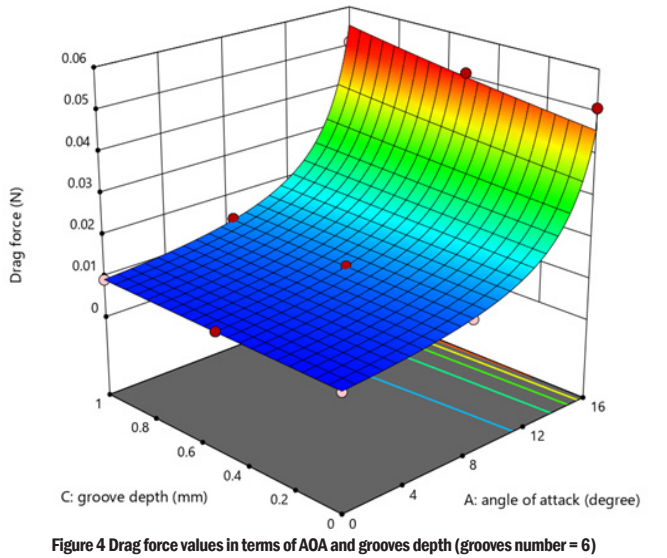


Figure 4 Drag force values in terms of AOA and grooves depth (grooves number = 6)

It should be noted that considering the number of grooves to be zero, the depth of the grooves is automatically considered to be zero, so the model was chosen in such a way that the two mentioned variables have the same answer at zero values.

The process of changes in drag force according to the number of grooves and the angle of attack is largely the same as above, because the two variables, the number of grooves and the depth of the groove, act somewhat similar to each other in the areas close to the limits and in the limit state. The following graphs show the relationship of

drag force according to the number of grooves and the angle of attack in airfoils with groove depths of 0 and 1 mm.

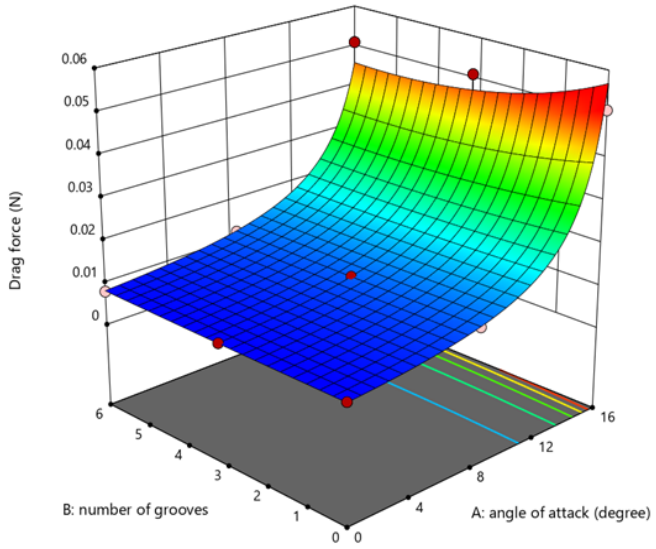


Figure 5 Drag force values in terms of AOA and grooves number (groove depth = 0 mm)

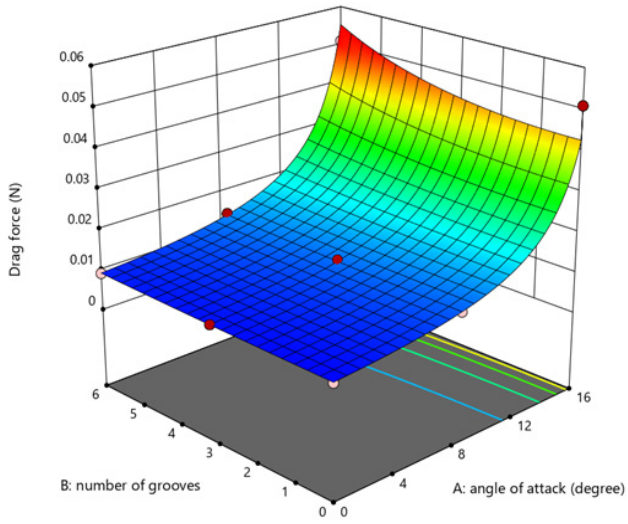


Figure 6 Drag force values in terms of AOA and grooves number (groove depth = 1 mm)

By keeping the angle of attack constant and then checking the drag force diagram in terms of the two variables of depth and number of grooves, the process of changing the diagrams is slightly different. The upper and lower limits for the angle of attack variable were equal to 16 and 0 degrees respectively, so the graphs below show the spatial function of the relationship between the other two variables at the angles of attack 8 ,0, and 16 degrees, respectively.

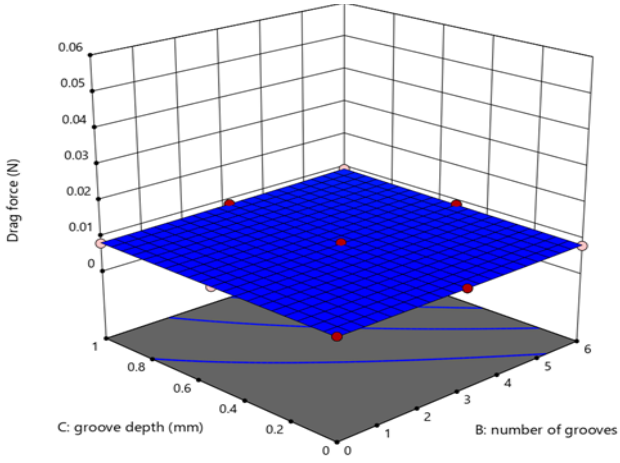


Figure 7 Drag force values in terms of grooves number and depth (AOA = 0 deg)

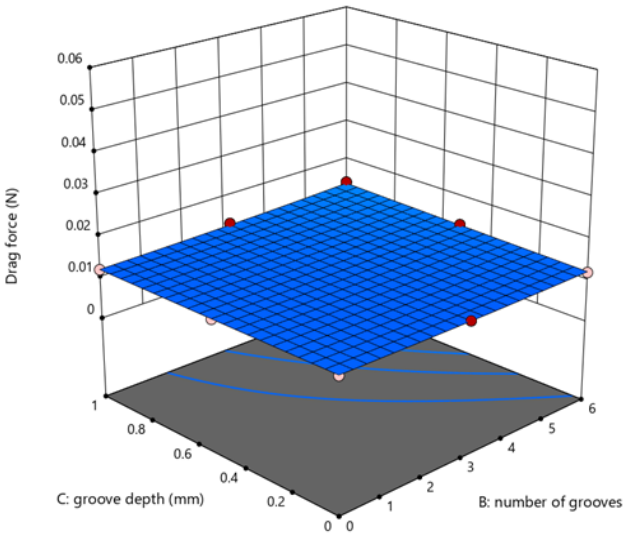


Figure 8 Drag force values in terms of grooves number and depth (AOA = 8+ deg)

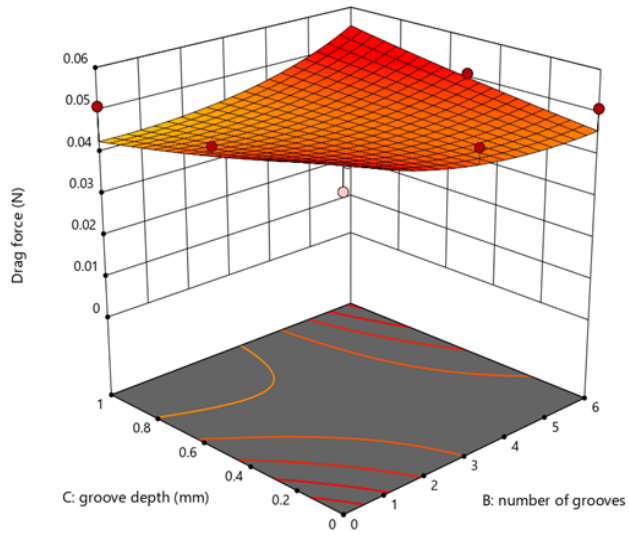


Figure 9 Drag force values in terms of grooves number and depth (AOA = 16+ deg)

According to the graphs, with the increase of the angle of attack, the changes of the drag force in different values of the variables of depth and number of grooves have significant changes, which indicates the fact that with the increase of the angle of attack, the importance of the number and depth of the grooves becomes much greater.

B. Optimization

After determining the previous steps and choosing the appropriate interpolator function, it is possible to optimize the values of the variables. The purpose of this section is to propose values of the two variables of groove number and groove depth, which minimize the amount of drag force on the airfoil at different angles of attack. It should be noted that the variable number of grooves is only able to receive discrete and correct values, therefore, among the selected optimization results, cases where the number of grooves is an integer number were selected.

Table 2 Table of recommended optimal values of variables at each angle of attack

Angle of attack (degrees)	Number of grooves	Depth of grooves	Drag force (newton)	Desirability
0	0	0	0.008	100%
1	0	0	0.008	99%
2	0	0	0.008	97%
3	0	0	0.009	94%
4	1	0.12	0.009	91%
5	2	0.11	0.010	88%
6	2	0.1	0.010	85%
8	2	0.1	0.011	82%
8	2	0.1	0.012	78%
9	3	0.1	0.013	77%
10	3	0.1	0.014	76%
11	5	0.1	0.016	77%
12	2	0.4	0.018	73%
13	2	1	0.021	80%
14	3	0.3	0.024	70%
15	2	0.8	0.032	69%
16	3	0.5	0.04	60%

By plotting the values of the drag forces in the above table according to the angle of attack, the following diagram is obtained. In this diagram, the dashed line curve is the force diagram in terms of the angle of attack of the airfoil at angles between 0 and 16 degrees, which was extracted in the case of airfoil without grooves. The solid curve is the drag force value in terms of the angle of attack for the airfoil optimized with the groove.

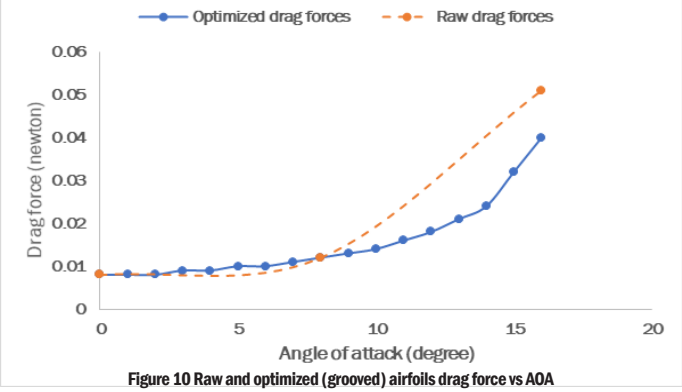


Figure 10 Raw and optimized (grooved) airfoils drag force vs AOA

According to the above diagram, it can be concluded that grooves can be very effective for attack angles higher than 8 degrees, but no significant change in drag forces was observed at attack angles between 0 and 8 degrees.

Since there is no significant difference in the difference of drag forces in two types of airfoils at angles of attack less than 8 degrees, therefore, a more detailed investigation of the percentage of drag force reduction in airfoils at angles of attack of 8 to 16 degrees has been done.

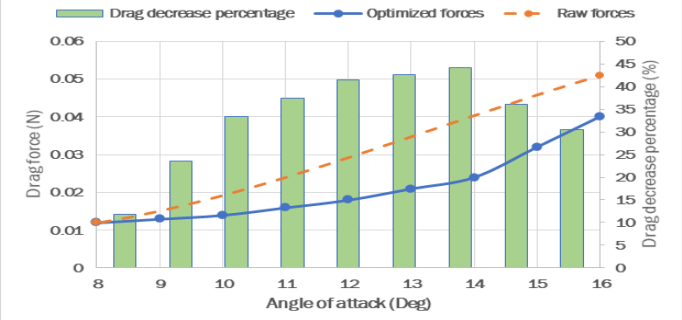


Figure 11 Drag reduction percentage on the optimized airfoil compared to the raw one

According to the figure 11, the maximum amount of drag reduction occurs at the angle of attack of 14 degrees and is equal to %44.2. On the other hand, the lowest amount of drag reduction is equal to %11.8 and occurs at an angle of attack of 9 degrees.

IV. Conclusions

In this research some grooves created on NACA 4415 airfoil to reduce drag force exerted on it. Three parameters of grooves depth, number of grooves and angle of attack where used to analyse their effects on drag force. Brief conclusions conclude in the paper mentioned as below:

- Grooves could reduce drag applied on the airfoil successfully.
- There isn't much difference in drag force between a grooved airfoil and a simple one below 8 degrees angle of attack.
- Maximum drag reduction force was acquired on a -14degree angle of attack and is equal to %44.2.
- Minimum drag reduction force was acquired on a -14degree angle of attack and is equal to %11.8.
- The analytical relation extracted from the analysis can estimate the drag force applied on the NACA 4415 airfoil accurately.

References

[1] M. Quadrio, «Drag reduction on a transonic airfoil,» Journal of Fluid Mechanics, vol. ,942 2022.
[2] I. Stephenson, «Reduction of low speed drag through the use of truncated airfoils,» Master of Science (MS), California State University, Sacramento, 2016.
[3] D. W. Zingg, «Adaptive Airfoils for Drag Reduction at Transonic Speeds,» American Institute of Aeronautics and Astronautics.
[4] M. Quadrio, «Drag reduction on a transonic airfoil,» Fluid Dynamics, Cornell University publications, 2022 .
[5] T. A. Smith, «Airfoil trailing-edge noise and drag reduction at a moderate Reynolds number using wavy geometries Editor's Pick,» Physics of fluids, vol. 2022 ,34.
[6] M. Quadrio, «Drag reduction on a transonic airfoil,» Journal of Fluid Mechanics, vol. ,942 2022.
[7] Z. SU, «Minimizing airfoil drag at low angles of attack with DBD-based turbulent drag reduction methods,» Chinese Journal of Aeronautics, vol. 36, no. 4, pp. 2023 ,119-104.
[8] J. Li, «Transonic Airfoil Drag Reduction Using Suction and Loaded Leading Edge Control,» Journal of Thermal Science, vol. 32, p. 2022 ,277–264.
[9] S. Rashid, «Review of wave drag reduction techniques: Advances in active, passive, and hybrid flow control,» Journal of Aerospace Engineering, vol. 236, no. 2022 ,14.
[10] J. Fink, «Drag Reduction,» Petroleum Engineer›s Guide to Oil Field Chemicals and Fluids (Third Edition), 2021.
[11] S. S. Baljit, «Suction and Blowing Flow Control on Airfoil for Drag Reduction in Subsonic Flow,» Journal of Physics, vol. 2017 ,914 .
[12] T. Srinivasarao, «An experimental study on drag reduction over an airfoil,» Fluid mechanics, 2019.
[13] S. Miura, «Drag reduction by uniform blowing on the pressure surface of an airfoil,» AIAA journal, vol. 60, no. 4, pp. 2022 ,2250-2241.
[14] K. Eto, «Friction drag reduction on a clark-Y airfoil using uniform blowing,» American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc, AIAA, 2018.
[15] H. Suzuki, «Laminar airfoil modification attaining optimum drag reduction by use of airfoil morphing,» Journal of Aircraft, vol. 47, no. 2010 ,4.
[16] M. Albers, «Actively Reduced Airfoil Drag by Transversal Surface Waves,» Flow, Turbulence and Combustion, vol. 102, p. pages2019 ,886–865.
[17] S. Zhang, «Experimental Investigation of Lift Enhancement and Drag Reduction of Discrete Co-Flow Jet Rotor Airfoil,» Appl. Sci., vol. 11, no. 20, p. 2021 ,9561.
[18] A. M. Elsayed, «Experimental and numerical investigations of aerodynamic characteristics for wind turbine airfoil using multi-suction jets,» Energy, vol. 2023 ,275.
[19] Y. Patel, «Airfoil Performance Sensitivity to Laminar Separation Bubble Topology,» AIAA Aviation, 2023.
[20] R. K. Jaafar, «Modified Trailing Edge Impact on the Aerodynamic Performance of Wind Turbine Airfoil,» Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, vol. 91, no. 2, p. 144–133, Reham K. Jaafar.
[21] M. A. Bramantya, «Airfoil Performance Due To Winglet Configuration On NACA 4412,» International Journal of Scientific and Technology Research, vol. 9, no. 2020 ,10.
[22] S. Wang, «Influence of camber on aerodynamic performance of airfoil based on CFD technology,» J. Phys.: Conf. Ser., vol. 2276 , p. 2022 ,012027.
[23] M. T. Islam, «The effect of Reynolds number on the performance of a modified NACA 2412 airfoil,» AIP Conf. Proc., vol. 1980, p. 2018 ,040015.
[24] T. Kim, «Design of low noise airfoil with high aerodynamic performance for use on small wind turbines,» Science in China Series E: Technological Sciences, vol. 53, p. 2010 ,79–75.

Effect of cool and green roofs on the thermal comfort, energy savings and carbon emissions under dry desert climate

Seyyed Amirreza Abdollahi[1], Seyyd Faramarz Ranjbar[1], Moharram Jafari[1]

[1]Department of Mechanical Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran

Abstract

With the growth of cities, roads and buildings have gradually replaced the vegetation of the region, which has caused a significant increase in air temperature of urban areas compared to rural regions. This phenomenon affected the thermal comfort of the indoor and outdoor environment, final energy consumption and the health of society. Considering that the roofs of buildings consist a large part of urban surfaces, it is evident that using suitable roof techniques can improve both the environmental conditions of cities and building's thermal performance. In this article, the impact of cool and green roofs on the thermal comfort, energy saving and carbon emission is investigated for a dry desert climate. For this purpose, the thermal performance of a common residential building with two types of insulated and non-insulated designs was simulated in EnergyPlus. Three types of cool roofs with albedos of 0.5, 0.7 and 0.9 and two types of green roofs, one naturally exposed to atmospheric precipitation and the other always kept moist, were considered. The results indicated that roof coating can reduce the average and maximum operative temperature on the hottest day of the year by 14.2 and 12.9%, respectively. It was shown that while wet green roof provides savings in energy consumption and environmental emission, dry green roof has not a positive environmental impact under the dry desert climate. Overall, the optimal roof techniques reduced the annual thermal loads and carbon emissions by 19.6-34.5% and 45.3-56.5%, respectively.

Keywords: Building energy simulation, EnergyPlus, Passive techniques, Cool roof, Green roof

Introduction

Cool roofs are known for their general characteristics of high solar reflectance and thermal emittance. The high solar reflection coefficient of these roofs causes the most of the solar radiation entering the roof be reflected to the sky during the day and therefore the roof is kept cool. Moreover, their high thermal emissivity causes the heat absorbed in the roof be radiated to the sky during night.

The simplified roof energy balance for a roof is given in the following equation:

$$Q_R=\dot{Q}+Q_C+Q_S+Q_L \quad (1)$$

where Q_R is the net radiant flux entering the roof, $\dot{Q}$ is the rate of energy stored in the roof, while Q_C, Q_S and Q_S are the conduction, sensible and latent heat flux leaving the roof. According to this equation, in cool roofs, the reduction of the net radiation entering the roof, due to the increase of solar reflection and thermal emission, results in the reduction of the net energy stored in the roof, which consequently reduces the cooling loads of building.

The green roof is a multi-layered system consisting of vegetation and soil, plant growth environment, on a waterproof membrane. Vegetation layer reduces the cooling loads of the building as the plant absorbs part of the heat of solar radiation and the surrounding ambient air in order to continue life by activities such as photosynthesis and evapotranspiration. Therefore, in these roofs, in addition to reducing the absorption of solar radiation by the building materials of the roof, the latent heat flux has also increases, and in Equation (1), the two terms of solar radiation and latent heat lead to a further reduction in the energy stored in the roof. In addition, in this type of roof, the soil acts as an additional thermal insulation layer and its high humidity also helps to increase the thermal resistance of the roof due to the high heat capacity of water. These characteristics have made green roofs as an ideal passive roof technique to improve the building's thermal efficiency under different climates. In Figure 1, the main components of the green roof are shown along with other materials used in this research for the roof.

Literature Review

Extensive research have been conducted in the last few years to investigate the thermal performance of buildings with cool and green roofs. Zingre et al. [1] modeled heat transfer in cool roof for a tropical climate. They reported that cool coating with solar reflectance of 0.74 reduces the peak roof temperature, indoor air temperature and daily heat gain by up to 14.1 °C, 2.4 °C and 0.66 kWh/m², respectively. Baneshi & Maruyama [2] investigated the effect of two types of cool roof coating with solar reflection coefficients of 0.66 and 0.54 on the thermal performance of a residential building in six cities of Iran. The results of this research showed that according to the coating reflectance and the climate of the region, the cool roof decreases the cooling load between 4-36%, while it increases the heating load increases 1.7-15%, compared to the conventional asphalt roof.

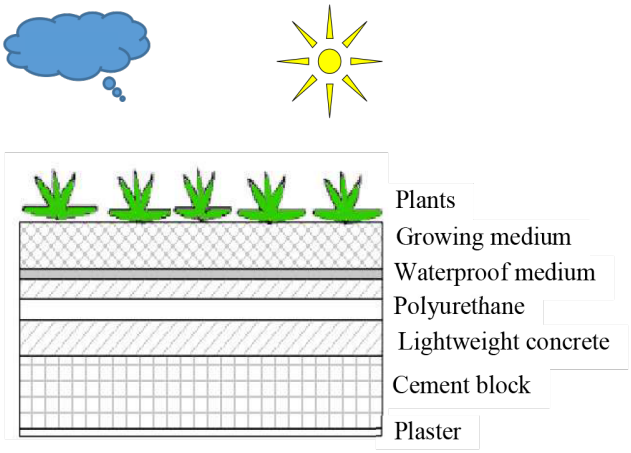


Figure 1. The main components of green roof along with other roof materials

Ebadati & Ehyae [3] investigated the effect of using a green roof with continuous irrigation of vegetation instead of an asphalt roof in a two-story residential building for three different climates of Iran. The results of this research showed that the reduction of annual electricity consumption for space

cooling and heating for the three cities of Bandar Abbas, Tehran and Tabriz is 23.0, 16.3 and 12.5%, respectively. Arghavani et al. [4] analyzed the effect of constructing green surfaces on summer urban heat island and thermal comfort for different urban morphologies in a megacity. They observed daytime cooling (up to −0.83 °C) and nighttime warming (up to +0.63 °C) in all selected metropolitan areas; however, their findings indicated that overall averaged impact of urban greenery on thermal comfort level is positive.

There are some studies that compare thermal performance of buildings with cool roofs and green roofs to choose the best roofing solution for different regions. Yang et al. [5] carried out a comparative analysis between these two roof techniques for a summer design day using EnergyPlus. The results showed that green roofs are less efficient than cool roofs in reducing sensible heat flux through roof during peak hours. In another study, Zinzi and Angoli [6] investigated annual heating and cooling loads of residential buildings with cool and green roofs for different Mediterranean regions. They confirmed that green roofs can reduce heating energy demand compared with conventional roofs as well, and also they reported that total energy demand in air-conditioned buildings with green roofs could be less or more than cool roofs depending on the climatic conditions, however, when green roof is kept wet, it always has lower total energy demand compared to cool roof in all climates of research.

Aim and Contribution

According to the fact that few studies conducted on the investigation and comparison of the effect of cool and green roofs in improving the thermal comfort, energy performance and carbon impact of buildings in dry and desert climates, the purpose of this research is to investigate the thermal performance of a standard one-story residential building, using cool and green roofs with two types of design, namely insulated and uninsulated, in Kerman, Iran.

Material and Methods

In order to perform thermal calculations, a common one-story residential building in Kerman city is modeled in the EnergyPlus with two types of non-insulated and insulated designs. The east and west facades of the building were considered adiabatic (in contact with the adjacent building, while the north and south fronts were in contact with the outside environment.

Three different cool coatings with the reflectance of 0.55, 0.7 and 0.85 and two types of green roof, namely dry and wet green roof were modeled. The wet green roof is regularly irrigated and vegetation is kept at maximum humidity state.

Architectural specifications of the building is specified in Table 1. Also, Table 2 provides thermal properties of material types used in the building. It is worth to mention that the infiltration rate of non-insulated and insulated buildings were considered as 1.82 and 0.61 ACH, respectively.

Table 1. Architectural specifications of the reference building

Type	Unit	Value
Roof area	m^2	139
Floor area	m^2	127
Conditioned floor area	m^2	116
Area of north/south walls	m^2	39
Area of east/west walls	m^2	32
Window-to-wall ratio, north	%	12
Window-to-wall ratio, south	%	15.8

Table 2. Thermal properties for different part of the building

Type	Thermal resistance – Uninsulated building (m^2k/W)	Thermal resistance – Insulated building (m^2k/W)
External wall	0.67	1.72
Internal wall	0.46	0.46
Roof	0.83	1.75
Floor	1.79	1.79
Window	0.17	0.37

As mentioned before, EnergyPlus software was used for the energy simulation of the building. Because this software has been previously evaluated and good matching between empirical and numerical data has been obtained, it can be concluded that the numerical results of this study are dependent on the modeling assumptions outlined as follows [2, 7]:

- The number of people in the building was taken four with the minimum fresh air of 8 l/s for each person.
- Maximum heat gain form lighting and other electricity equipment was assumed to be 4.2 W/m^2, which changes with occupancy schedule.
- The comfort temperature was set to be 21 °C during heating period and 26 °C during cooling period.

To focus on the roof thermal behavior, energy efficiency of different roofing techniques were compared based on the annual thermal loads of the building. However, for environmental impact assessment of different roof coverings, a typical HVAC system was modeled to obtain the actual air-conditioning energy consumption of the building. In this regard, a natural gas heating system with efficiency of 85%, and an electric cooling equipment with COP of 3 were considered for air-conditioning, in order to compute building energy consumption from thermal loads. The average emission factor was assumed to be 187.6 g/kWh and 638.555 g/kWh, for natural gas and electricity, respectively [8].

Results and Discussion

Thermal performance, energy savings and carbon impact of cool and green roofs are compared in the following sections.

It is worth mentioning that, in order to find a correct understanding of the annual thermal loads of the building due to the effects created by the cool and green roofs, the total energy, which is the sum of the cooling and heating loads without taking into account the efficiency of the air conditioning systems, is chosen as a criterion for finding the optimal roof solution.

Thermal Comfort

Evaluation of thermal comfort in buildings without air-conditioning systems, such as some warehouses and workshops as well as residential buildings which are uninhabited most of the year, is of paramount importance.

Figure 2 shows the operative temperature, as a measure of indoor comfort conditions, for different roofing techniques under the hottest day of the year for two types of non-insulated and insulated buildings. As shown, it is clear that in addition to reducing the maximum temperature, the thermal insulation of the building has also moderated the indoor temperature fluctuations. For the non-insulated building design, the maximum operative temperature is between 29.6-35.4 °C, while for the insulated building, this value is between 28.7-33.8 °C according to the type of roof coating. Also, the difference between the maximum and minimum operative temperature for two types of non-insulated and insulated buildings is between 2.6-3.3 and 1.5-1.6 °C, respectively, depending on the type of roof technique used. In the following, the

potential of different roof coverings in reducing the average and maximum operative temperature is reported.

The wet green roof has the best thermal performance on the hottest day of the year for both types of non-insulated and insulated building designs by reducing the indoor operative temperature as 4.7 °C (14.2%) and 4.2 °C (13.1%) on average basis and 5.1 °C (14.6%) and 4.2 °C (12.9%) on maximum basis, respectively. Meanwhile, the dry green roof caused an increase of nearly 0.8 °C (2%) for both types of buildings. It is known that in a dry green roof, the effect of increasing solar absorption by the vegetation for biological activities causes a significant increase in its temperature compared to a conventional roof, however, for a wet green roof, the effect of increasing the sensible and latent heat losses as a result of watering the vegetation is more dominant respect to solar absorption.

For cool roofs with an increase in the solar reflection coefficient, the mean and maximum operative temperature reduces between 1.1-3.5 °C (3.4-10.6%) and 1.2-3.9 °C (3.5-11.4%) for non-insulated building and between 1.0-3.2 °C (3.1-10.0%) and 1.0-3.3°C (3.1-10.0%) for the insulated building, respectively, compared to the conventional roof.

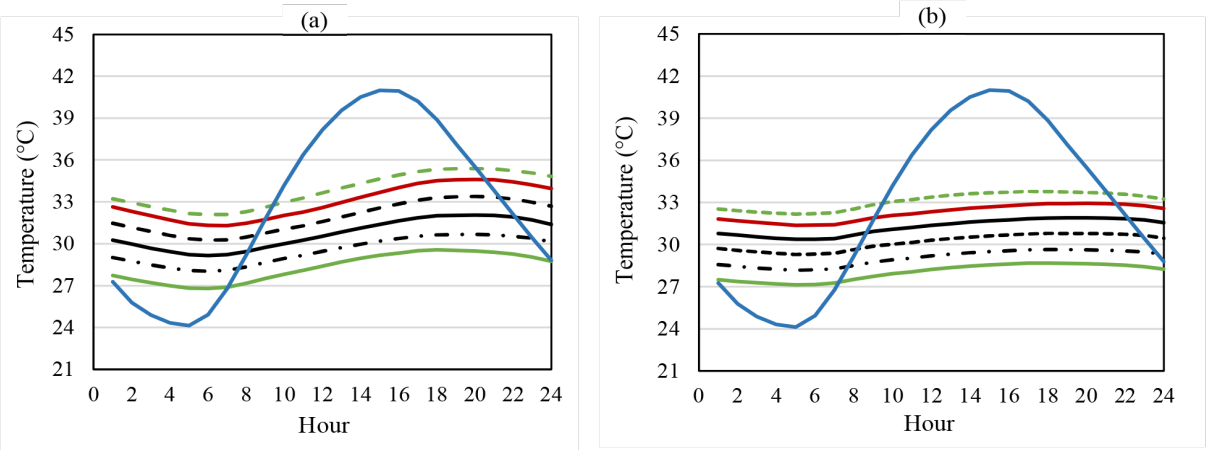


Figure 2. Variations in operative temperatures of the (a) uninsulated and (b) insulated buildings for the hottest day in Kerman

Energy Savings

The results of thermal dynamic simulation related to the heating load, cooling load and the total air-conditioning energy requirement of the building for the studied roofs, related to two are depicted in Figure 3.

Due to high reflectance, cool roofs return a major part of the solar radiation incident on the roof which increases space heating energy between 11-52% according to the solar reflection and the type of building design. Meanwhile, in the summer, the high solar reflection coefficient of these coatings has a positive impact by reducing the cooling energy demand by 22-65. Overall, for non-insulated buildings, cool roofs with albedos of 0.5 and 0.7 have the same thermal performance as conventional roofs in terms of the total annual energy requirement, while the cool roof with reflectance of 0.9 increases the total energy requirement by 4.5% for the case study. However, applying the insulated cool roof reduces the total annual energy requirement between 3-5% depending on the solar reflection coefficient of the coating.

The wet green roof has the best thermal performance for both types of non-insulated and insulated buildings with 19.6 and 34.5% of total annual energy reduction, respectively. For these types of roofs, the heating load is almost the same as the conventional roof, but their cooling effect in summer has reduced the cooling load by about 75% for both types of building designs. The dry green roof is the only roof techniques that saves energy in the winter due to the enhanced insulation effect of the dry soil layer. However, due to the low water content of vegetation in the summer in this climate and also the increased absorption of solar radiation, this roof has increased the demand for cooling energy between 18-23% according to the type of building design.

Environmental Impact

The aim of this section is the environmental impact assessment of applying the different roof solutions for the case study. For this purpose, the annual CO_2 production per conditioned floor area associated with both cooling (electricity) and heating (natural gas) energy consumptions as well as watering green determined and compared with conventional roof. Figure 4(a) shows the possible reduction in CO_2 emissions to atmosphere from a residential building located in Kerman by retrofitting roof technique based on this study. These results are also provided in percentage deviation in Figure 4(b). As can be seen, roof techniques in uninsulated building result in higher reduction in CO_2 releases than insulated building, however the latter one has higher percentage reduction potential due to lower reference air-conditioning energy consumption (carbon emission). The wet green roof is the most environmental friendly roof technique, as it can decrease the operational CO_2 emissions by up to 56.5%. Also, cool roofs can save 11.3-36.6% carbon release in building. However, dry green roof has negative environmental impact due to higher cooling energy requirements than conventional roof for the case study.

Conclusions

This paper evaluates the thermal comfort, energy savings and carbon emissions of cool and green roofs in a dry and desert area of Iran. The main results obtained from this research are as follows:

- The use of suitable roof technique can reduce the average and maximum operative temperatures on the hottest day of the year by 3.1-14.2% and 3.1-12.9%, respectively, according to the type of roof solution and building design.
- For the case study, cool roofs reduce the cooling load by 22-63%, while they increase heating load by 11-52% compared to the conventional roof. Considering this conflicting effect and the predominance of heating loads in Kerman, the use of cool roofs for non-insulated buildings does not have a significant effect on the total annual energy savings (less than 1%).
- From the energy and environmental perspectives, the wet green roof is the optimal roof technique for the case study. It reduces the total annual thermal loads by 19.6 and 34.5%, and carbon emissions by 45.3 and 56.5%, for uninsulated and insulated buildings, respectively.

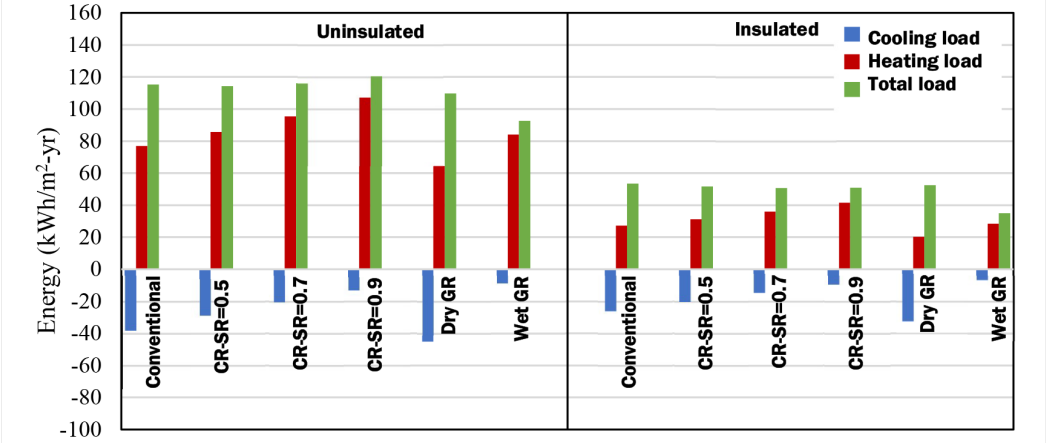


Figure 3. Thermal loads of the uninsulated and insulated buildings for different roof techniques

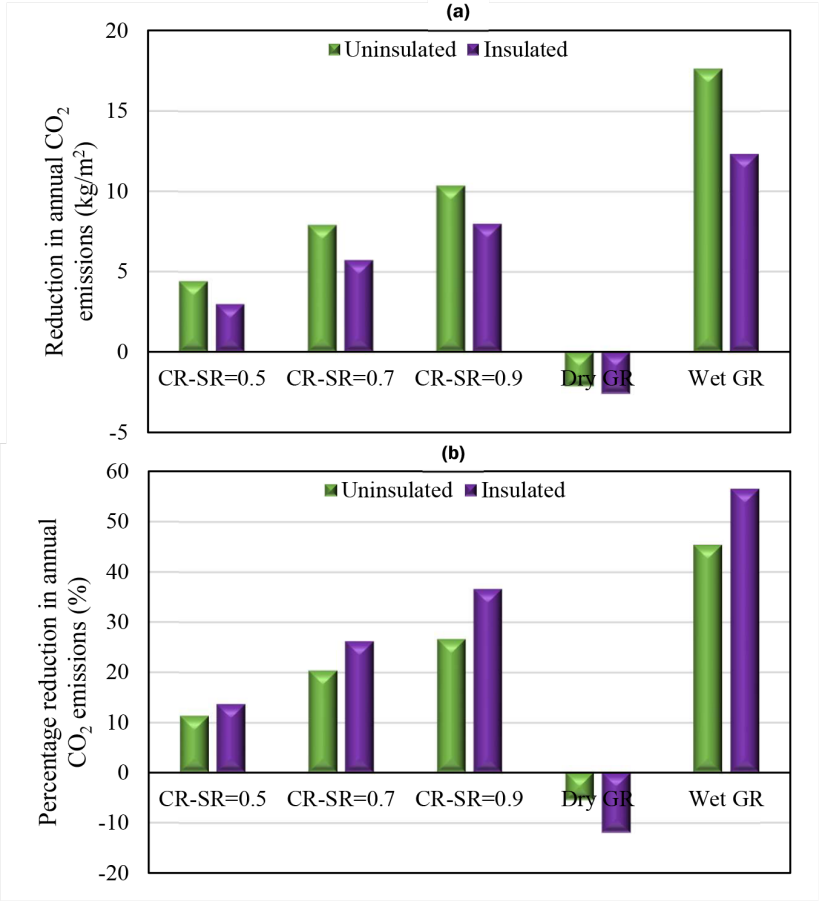


Figure 4. The reduction in annual CO_2 emissions of the reference building by applying different roof techniques in Kerman: (a) absolute and (b) percentage values

References

[1] Zingre, K. T., Wan, M. P., Tong, S., Li, H., Chang, V. W. C., Wong, S. K., Toh, W. B. T., and Lee, I. Y. L., 2015. "Modeling of cool roof heat transfer in tropical climate". *Renewable Energy*, 75, Mar, pp. 210-223.

[2] Baneshi, M., and Maruyama, S., 2016. "The impacts of applying typical and aesthetically–thermally optimized TiO2 pigmented coatings on cooling and heating load demands of a typical residential building in various climates of Iran". *Energy and Buildings*, 113, Feb, pp. 99-111.

[3] Ebadati, M., and Ehyaei, M. A., 2020. "Reduction of energy consumption in residential buildings with green roofs in three different climates of Iran". *Advances in Building Energy Research*, 14(1), Jan, pp. 66-93.

[4] Arghavani, S., Malakooti, H., and Bidokhti, A. A. A. A., 2020. "Numerical assessment of the urban green space scenarios on urban heat island and thermal comfort level in Tehran Metropolis." *Journal of cleaner production*, 261, Jul, pp. 121183.

[5] Yang, J., Pyrgou, A., Chong, A., Santamouris, M., Kolokotsa, D., and Lee, S. E., 2018. "Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in tropical climate". *Solar Energy*, 173, Oct, pp. 597-609.

[6] Zinzi, M., and Agnoli, S., 2012. "Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region". *Energy and Buildings*, 55, Dec, pp. 66-76.

[7] Solgi, E., Memarian, S., and Moud, G. N., 2018. "Financial viability of PCMs in countries with low energy cost: A case study of different climates in Iran". *Energy and buildings*, 173, Aug, pp. 128-137.

[8] Stats & Information Network. Ministry of Energy of Iran.

Insulation of all types of buildings for optimal use of energy in Iran

By Dr.Amin Hadidi

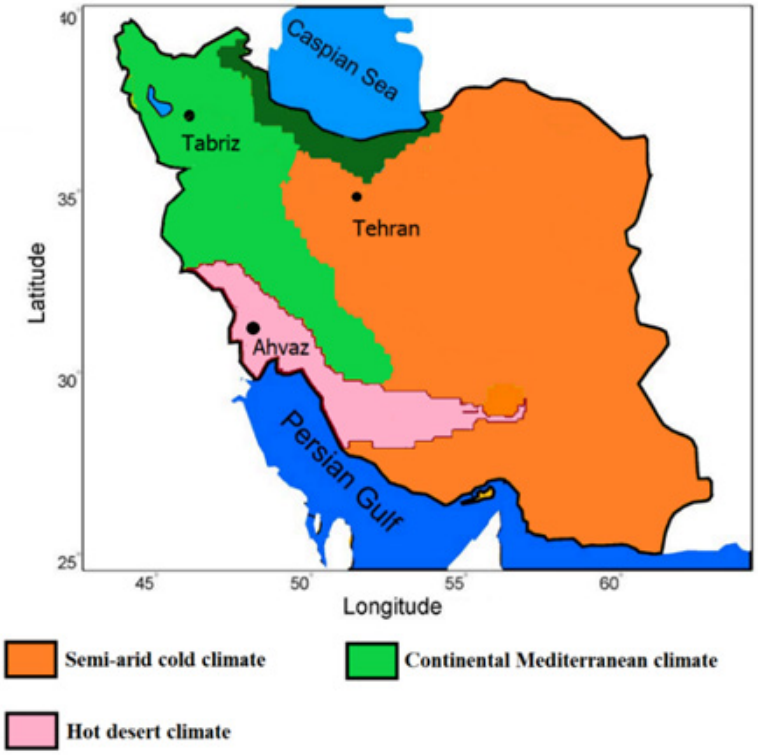


Fig. 1: Climate map and three representative cities used in this study

Table 1: Geographical and location data (design temperature based on %99.6)

No.	Climate conditions	City		
		Ahvaz	Tehran	Tabriz
1	Climate condition	Hot desert climate	Semi-arid cold climate	Continental Mediterranean climate
2	Latitude (°)	31.33	35.68	38.08
3	Longitude (°)	48.67	51.32	46.28
4	Elevation above sea level (m)	21.94	1191	1361
5	WMO[1] station identifier	408110	407540	407060
6	ASHRAE climate type	1B	3B	4B
7	Maximum DBT[2] (°C)	47.8	38.7	35.7
8	Coincident WBT[3] (°C)	28.2	22.2	18.4
9	Minimum DBT (°C)	4.8	-3.4	-11

1 World Meteorological Organization
2 Dry Bulb Temperature
3 Wet Bulb Temperature

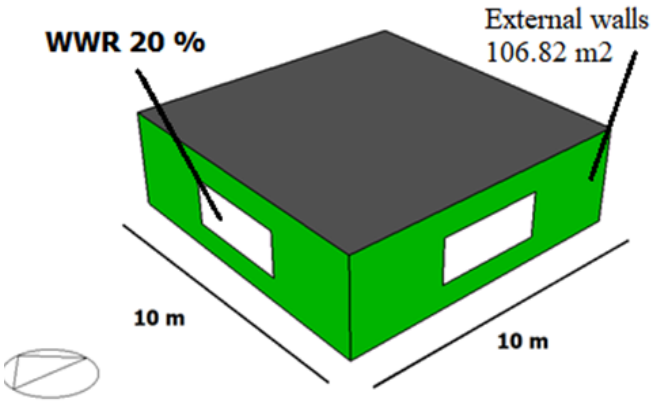


Fig. 2: Building's architectural plan

Zone	Occupied floor area (m^2)	Occupied Volume (m^3)	Fresh Air Ventilation (l/s)	Occupancy Density (people/m^2)	External walls Area (m^2)
Building	89.1	250	7.5	0.02	106.82

Table S2-: Basic characteristics of the zone

Construction	Layer (layer 1 is outside)	Thickness (m)	Thermal conductivity (W/(mk))	Specific heat Capacity(J/kgk)	Density (kg/m^3)
Roof	(1) Humidity insulation	0.01	0.23	1000	1100
	(2) Mortal	0.02	1.8	840	2100
	(3) Piece brick	0.05	0.04	1400	15
	(4) MW stone wool	0.15	0.46	840	1300
	(5) Ferro Concrete	0.02	1.1	1000	1600

Table 3: Physical properties of roof materials

Glazing type	U (W/m^2 K)	SHGC
Double, 6 mm 13 mm are clear (UPVC frame)	2.51	0.704

Table 4: Physical properties of the window

Type Wall	Layer	Thickness (m)	Thermal conductivity Provided by manufacturer (W/m.k)	Thermal conductivity measured (W/m.k)	Specific heat (J/kg.k)	Density (kg/m^3)	R (m^2k/w)
A	(1) Facade Brick	0.03	0.74	-	840	1850	1.65
	(2) Mortal	0.02	1.8	-	840	2100	
	(3) Extruded Polystyrene	0.05	0.04	0.039	1400	8.3	
	(4) Brick Block	0.15	0.46	-	840	1300	
	(5) Clay Plaster	0.02	1.1	-	1000	1600	
B	(1) Facade Brick	0.03	0.74	-	840	1850	1.19
	(2) Mortal	0.02	1.8	-	840	2100	
	(3) Brick Block	0.1	0.46	-	840	1300	
	(4) Extruded Polystyrene	0.03	0.04	0.039	1400	8.3	
	(5) Block Brick	0.07	0.46	-	840	1300	
	(6) Clay Plaster	0.02	1.1	-	1000	1600	
C	(1) Facade Brick	0.03	0.74	-	840	1850	0.5
	(2) Mortal	0.02	1.8	-	840	2100	
	(3) Brick Block	0.2	0.46	-	840	1300	
	(4) Clay Plaster	0.02	1.1	-	1000	1600	
D	(1) Facade Brick	0.03	0.74	-	840	1850	0.15
	(2) Mortal	0.02	1.8	-	840	2100	
	(3) Ferro Concrete	0.2	2.5	-	1000	2400	
	(4) Clay Plaster	0.02	1.1	-	1000	1600	
E	(1) Facade Brick	0.03	0.74	-	840	1850	0.94
	(2) Mortal	0.02	1.8	-	840	2100	
	(3) LECA Block	0.2	0.23	0.21	1000	900	
	(4) Clay Plaster	0.02	1.1	-	1000	1600	
F	(1) Facade Brick	0.03	0.74	-	840	1850	1.25
	(2) Mortal	0.02	1.8	-	840	2100	
	(3) AAC Block	0.2	0.17	0.119	840	515	
	(4) Clay Plaster	0.02	1.1	-	1000	1600	

Table 5: Physical properties of wall materials

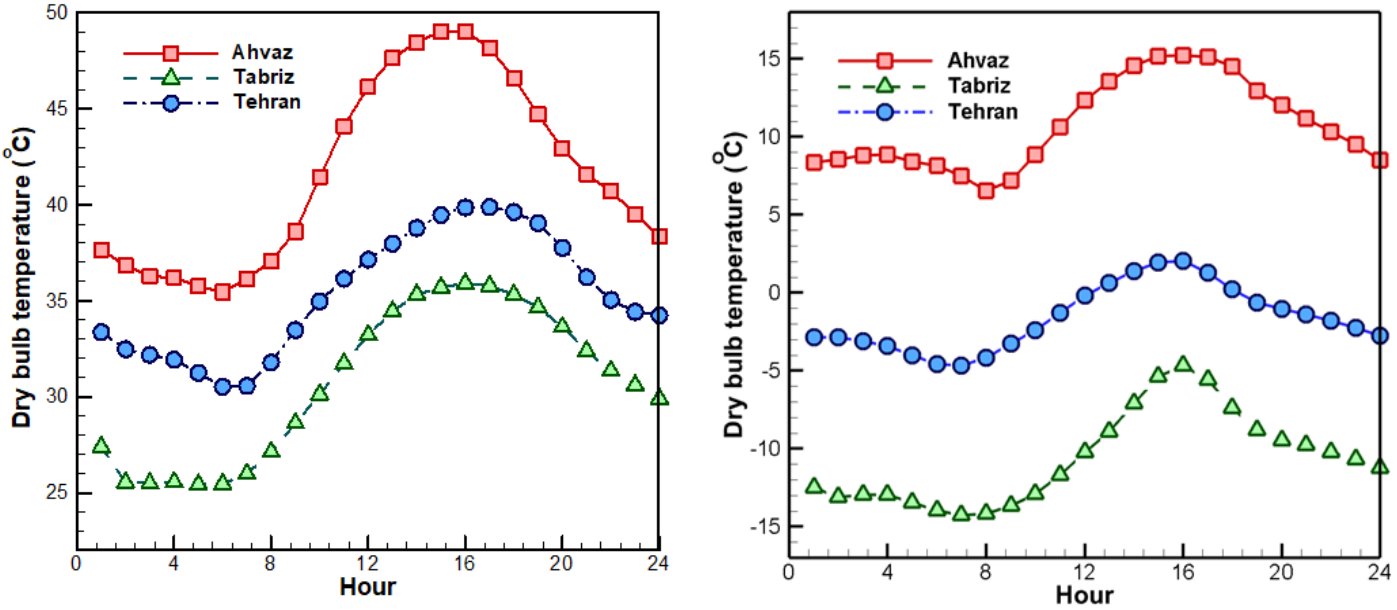


Fig. 3: Ahvaz, Tehran, and Tabriz meteorological information: a) hottest days; b) coldest days

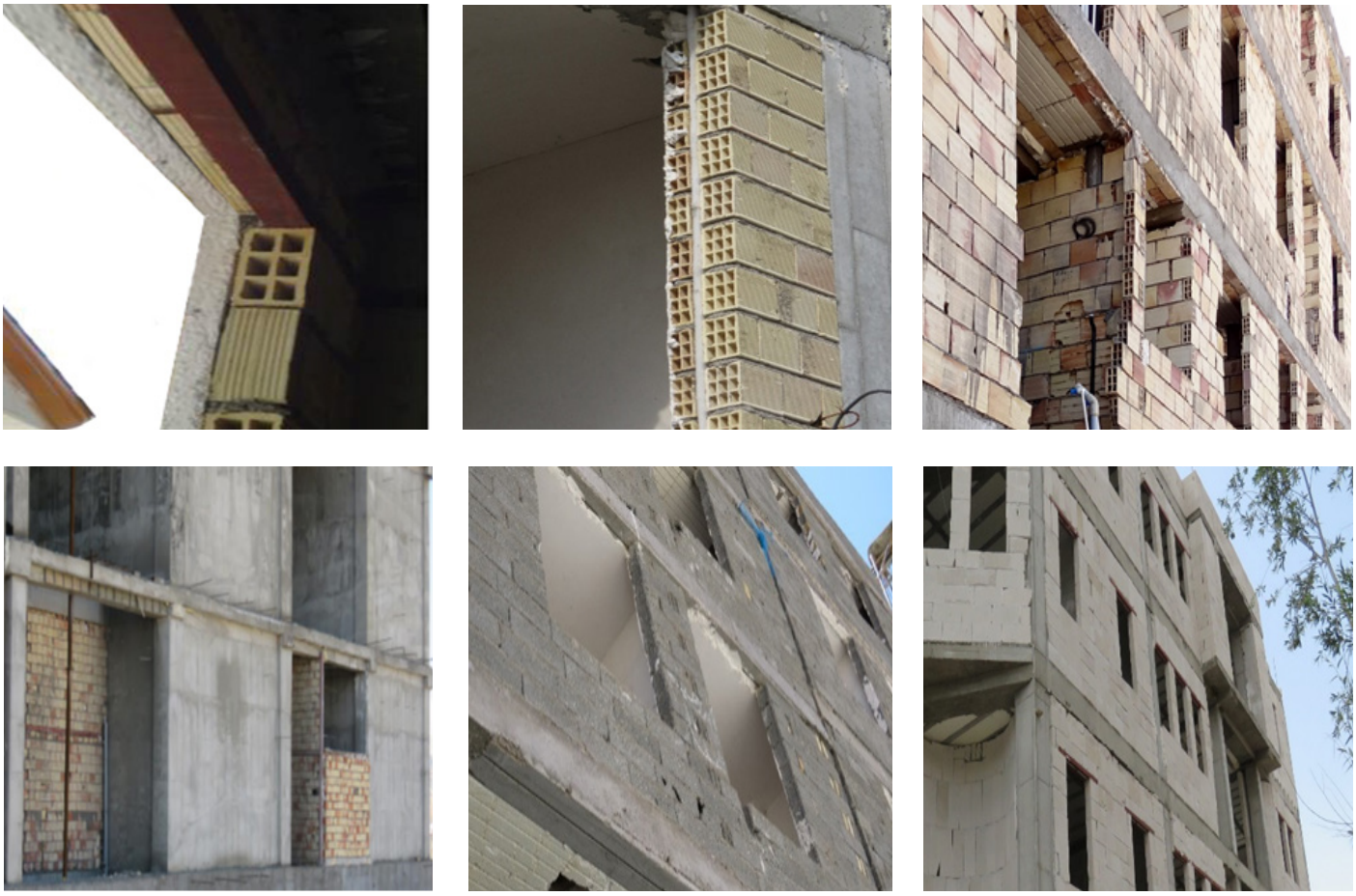


Fig. 4: Materials used in the building simulation

Type	This study	Study of Heydari et al. [41]	Error %
Cooling Load (kWh/year)/m²	40.1	42.17	-4.9
Heating Load (kWh/year)/m²	168.2	176.37	-4.68
Total Load (kWh/year)/m²	208.3	218.54	-4.71

Table 6: Validation of the simulation using Design-Builder for the city of Tabriz

Energy Source*	Cost Per KWh Energy ($)
Heating Load (Natural Gas)	0.011
Cooling Load (Electricity)	0.018

Table 7: Cost of energy in Iran

* In Iran, the most common type of consumable fuel in cooling systems is electricity and natural gas in heating systems.

Wall Type	Construction	Thickness (m)	Cost ($/m²)	Cost of the external walls ($)
A	Extruded Polystyrene Brick Block	0.05 0.15	6.8	726.37
B	Brick Block Extruded Polystyrene Brick Block	0.1 0.03 0.07	7.5	801
C	Brick Block	0.2	5.8	620
D	Ferro Concrete	0.2	43.6	4657.35
E	LECA Block	0.2	10.6	1132.3
F	AAC Block	0.2	8.4	897.3

Table 8: The cost of the proposed insulations

Climate	Wall Type	Heating load (kWh/year)	Heating load saving %	Heating load cost ($)	Cooling load (kWh/year)	Cooling load saving %	Cooling load cost ($)	Total saving energy cost ($/year)	External walls cost ($)	Payback (year)
Hot desert climate (Ahvaz)	A	3004.8	10	33	11417	22.3	205.5	62.8	726	1.7
	B	3049.4	8.7	33.5	12146.3	17.4	218.6	49.3	801	3.7
	C	3340.7	-	36.74	14699.6	-	264.6	-	620	-
	D*	3839.7	**	42.2	19970.9	**	359.5	-	4657	-
	E	3126.1	6.4	34.4	12698.9	13.6	228.6	38.3	1132	13.3
	F	3061	8.4	33.6	12012.3	18.3	216.2	51.5	897	5.4
Cold semi-arid climate (Tehran)	A	7233.9	21.2	79.6	6652.4	19	119.7	49.7	726	2.1
	B	7613.8	17	83.75	7012.4	14.7	126.2	39	801	4.6
	C	9179.8	-	101	8220.6	-	148	-	620	-
	D*	11967.8	**	131.6	10672.6	**	192.1	-	4657	-
	E	7987.6	13	87.9	7269.4	11.6	130.8	30.3	1132	17
	F	7570.9	17.5	83.3	6941.5	15.5	125	40.7	897	6.8
Mediterranean continental climate (Tabriz)	A	13634.1	23	150	2844.3	12.8	51.2	52.3	726	2
	B	14470.9	18.3	159.2	2943.5	9.8	53	41.3	801	4.4
	C	17711.5	-	194.8	3263.5	-	58.7	-	620	-
	D*	23620.4	**	260	3948.6	**	71	-	4657	-
	E	15233	14	167.5	3003.5	8	54	32	1132	16
	F	14350.8	19	157.8	2921.4	10.5	52.6	43.1	897	6.4

Table 9: Annual savings on heating and cooling loads due to the use of various walls

* Because wall type D has large energy losses and much greater installation costs than other walls, its payback period is unreasonable. It results in drastically different energy losses than other types of walls.
** Higher energy consumption than wall type C

Wankel Engine Modeling and Comparison with a Conventional Internal Combustion Engine

Arash NourbakhshSadabad[1], Mahdi Nami Khalilehdeh [1], Seyyed Faramarz Ranjbar[1]

1. Department of Mechanical Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Abstract

Conventional internal combustion engines are a major cause of pollution and major source of emission of gases such as NO_x, CO and other major greenhouse gases such as CO_2 and NO_2. In order to reduce the emission of pollutant gases, innovative ways are utilized like; injecting water or steam in the combustion chamber in order to reduce the temperature of the combustion and reduce the production rate of gases like NO and CO, which their production rate highly depends on temperature. In the current study a Wankel engine is modeled and compared to a conventional internal combustion engine. In Wankel motor the time that gasses spend in the combustion chamber is reduced so the time for formation of pollutants are limited. Thus, emission is controlled. Wankel engines have less combustion temperature and pressure ratio comparing to 4 stroke reciprocating internal combustion engines.

Keywords: Wankel Engine, Internal Combustion Engine, four stroke engines, combustion temperature.

1. INTRODUCTION

Wankel engine is a rotary internal combustion engine. Most common emission of these internal combustion engines are NO_x, CO, volatile organic compounds (VOC), and unburned hydrocarbons (UHC). The amount of NO_x emission is highly dependent on the temperature of combustion chamber. Higher temperature causes more production rate of the pollutants. But care shall be taken regarding the excessive decrease of the combustion chamber temperature, because too much decrease of temperature causes incomplete combustion, Knocking and Coke formation.

Nitrogen oxides are formed within two basic reactions known as Zeldovich reaction. Most of the nitrogen oxide formed within the combustion chamber is a resultant of these reactions. Also, some NO is formed at the primary stages of combustion due to bonding of oxygen and nitrogen molecules, but the amount produced is negligible.

So based on the explanation provided, it seems there can be three ways of controlling the pollution. First is controlling the temperature, second is controlling the pressure and third is controlling the reaction time which combustion gases spend in the combustion chamber.

2. PRINCIPALS OF COMBUSTION

In order to model a combustion chamber thermodynamic principals such as first and second law of thermodynamic, Conservation of atomic species and combustion kinetic is used.[1, 2]

- Conservation of atomic species

$$\sum_{i=1}^{n} \nu_i' M_i \rightarrow \sum_{i=1}^{n} \nu_i'' M_i \quad (1)$$

In eq.1, M_i represents the ith chemical component, ν_i', is the stochiometric index of the ith chemical component and i is the number of chemical component present in the reaction.

- First law of thermodynamic

The first law of thermodynamic states that in a steady-state, steady-flow system, the amount of enthalpy balance at inlet and outlet shall be equal.

$$\sum_{inlet} n_i \bar{h}_i = \sum_{outlet} n_i \bar{h}_i \quad (2)$$

In eq.2, n_i represents the mole of chemical components of each species and h_i represent the enthalpy of the respective species.

-second law of thermodynamic

Using second law of thermodynamic and assuming the reaction to be equilibrium, the reaction constants can be calculated.

$$ln\, K_p = \frac{-\Delta G^o}{\bar{R}T} \quad (3)$$

$$\Delta G^o = \sum_{i=1}^{n} (\nu_i'' - \nu_i')\overline{g_i^o} \quad (4)$$

$$K_p = \left[\prod_{i=1}^{n} X_i^{\nu_i'' - \nu_i'}\right]\left(\frac{P}{P_o}\right)^{\Sigma \nu_i'' - \nu_i'} \quad (5)$$

In eq.3 to eq.5, ΔG^{o} is the Gibbs free energy, g_i^{o} is Gibbs function. X_i represents the mole fraction of each chemical component of reaction and P is the pressure.

3. REACTION MECHANISMS

Different reaction mechanisms have been proposed for methane oxidization with air, but the most commonly know mechanism is GRI-Mech 3.0 which was developed at Berkley university. This mechanism includes 53 chemical component and 325 equilibrium reactions (650 reaction in total). Other mechanisms such as Konnov, C2-NO_x, C1-C3 and zeldovich can be utilized to predict the amount of NO_x production and the rate at which it is produced.[3]

3. ZELDOVICH MECHANISM

this mechanism is one of the simplified mechanisms in order to predict the amount of NO_x emission and includes three equilibrium reaction which are shown in figure 1.

$$O + N_2 \Leftrightarrow NO + N$$
$$N + O_2 \Leftrightarrow NO + O,$$
$$N + OH \Leftrightarrow NO + H.$$

Figure 1. equilibrium reactions of zeldovich mechanism

4. MODELLING

In order to model the Wankel engine, first complete combustion is modeled. then assuming the reaction in equilibrium state, the combustion is modeled for instantaneous combustion. Also using the results of equilibrium code, the NO_x emission is predicted using zeldovich mechanism. In order to study the effect of residue time of the combustion gases in combustion chamber on the NO_x formation, the combustion chamber is considered as a Perfectly stirred chemical reactor and continuity, energy and momentum equations are applied to the reactor. In order to model the combustion in equilibrium state a 10-reaction mechanism is utilized which is provided in figure 2.[4-6]

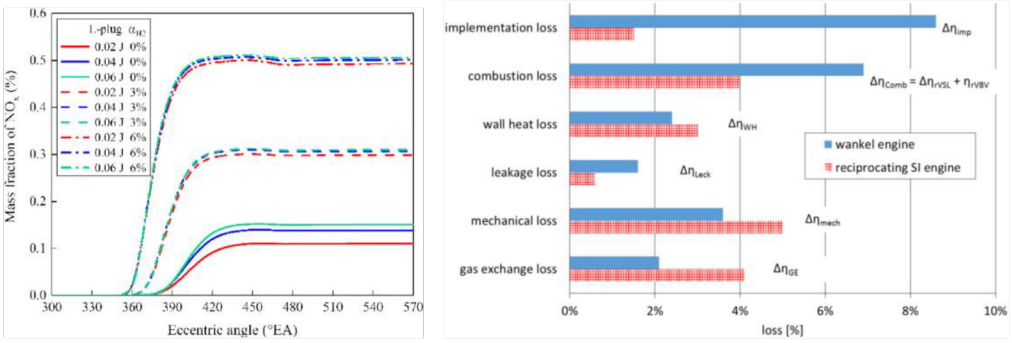
$$N_2 \leftrightarrow 2N$$
$$O_2 \leftrightarrow 2O$$
$$H_2 \leftrightarrow 2H$$
$$O_2 + H_2 \leftrightarrow 2OH$$
$$O_2 + 2CO \leftrightarrow 2CO_2$$
$$O_2 + 2H_2O \leftrightarrow 4OH$$

Figure 2. equilibrium reactions mechanism

5. LITERATURE REVIEW

Many CFD simulations have been conducted on Wankel engines. Studying these simulations gives a good understanding of what to expect and how the out come of the modelling using the fundamentals mentioned in sections 2 to 4 should be. The likelihood of NO_x formation and the region of NO_x formation whereabout will be clearly visible in CFD studies.

Figure 3. equilibrium reactions mechanism[7]



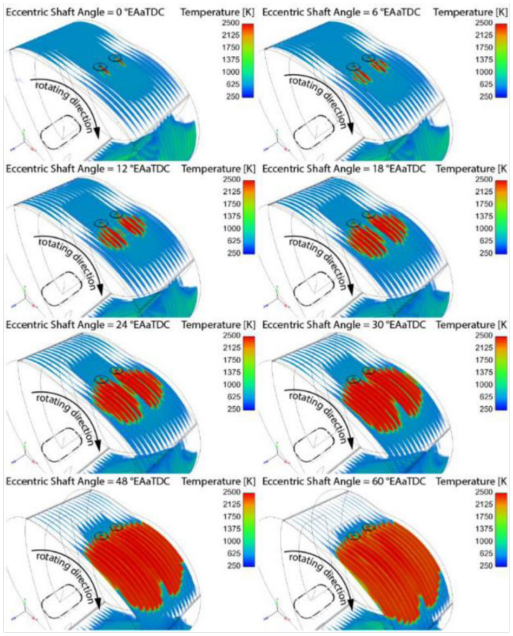


Figure 4. CFD Simulation of a Wankel Engine[4]

As Can be Seen in figure 4, pollutants at the end region of the engine is way up higher than the other regions of the engine. It is due to the prolonged interaction of gases being in reaction with each other more than they should be which gives them enough time to react and form pollutant gases.

6. INPUT DATA

Input data in order to model the Wankel engine is provided in table 1.

Table 1- input data for modeling Wankel engine

Input data	amount
Combustion chamber working pressure	3.9 (bar)
Mass flow rate of fuel (100% Methane)	0.0712 (kg/s)
Flame region temperature	1800 (K)
Reactor cross sectional Area * Length	0.0471 (m^2) * 120 (mm)

7. RESULTS

The amount of NO_x estimated to be produced based on Zeldovich Reaction is specified in table 2. Also based on calculations done for PSR, the amount of NO_x during the length of the PSR is shown in figure 5.

Table 2- NO_x Emission estimation based on Zeldovich mechanism

	NOx Emission estimation (Zeldovich Mechanism)	NOx Emission estimation (GRI Mech 3.0)	Error
NOx_{PFR1} (PPM)	29.25	29.20	0.17 %

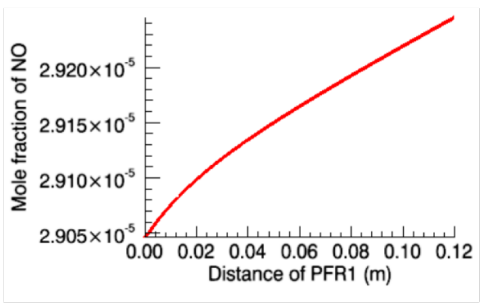


Figure 5. NO_x Formation vs. the length of the PSR

8. parametric Studies

As shown in section 7, results indicated that the temperature of the combustion chamber can play a vital role in reducing the

emission of pollutant gases resulting from combustion. In order to find the optimized temperature of the combustion chamber a parametric study is conducted in order to find the optimum temperature. It is evidently clear that the combustion chamber temperature can be controlled by the amount of excess air entered in the combustion chamber. So, the parametric study is based on the air mass flow rate.

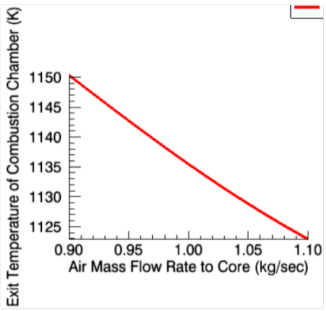


Figure 6. Combustion chamber exit temperature vs. inlet air mass flow rate

As was predicted, the amount of inlet air mass flow rate has invers effect on the combustion chamber outlet temperature which is a measure of the combustion temperature.

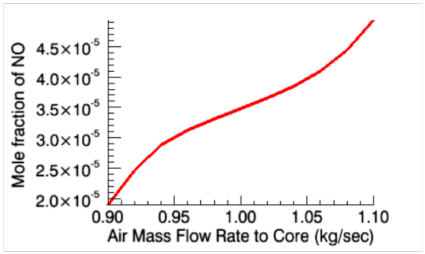


Figure 7. NO mole fraction vs. inlet air mass flow rate

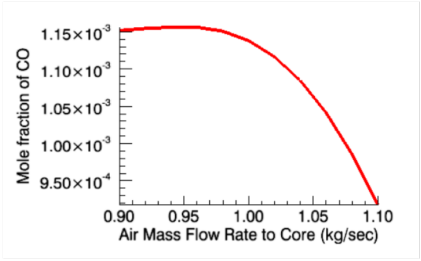


Figure 8. CO mole fraction vs. inlet air mass flow rate

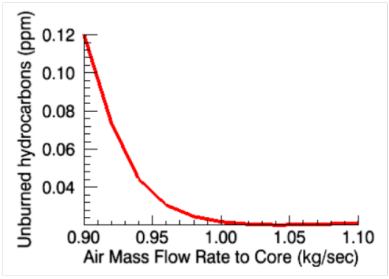


Figure 8. Unburned hydrocarbons mole fraction vs. inlet air mass flow rate

As can be seen in figure 7, with increasing the inlet air mass flow rate the zeldovich reaction behaved proliferatively and NO emission actually increased. So, this method could not be feasible. Another way of controlling the combustion temperature is to insert air in the after-flame region and cool the gases resulting from combustion. The results are provided as follow:

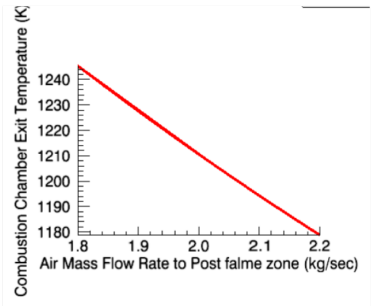


Figure 7. NO mole fraction vs. inlet air mass flow rate

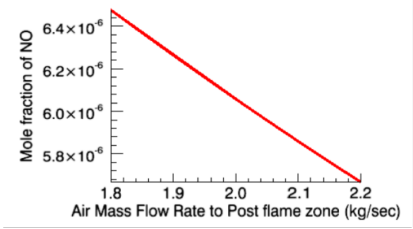


Figure 8. CO mole fraction vs. inlet air mass flow rate

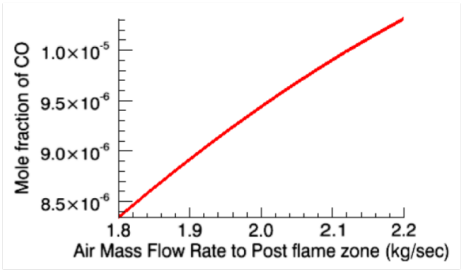


Figure 8. Unburned hydrocarbons mole fraction vs. inlet air mass flow rate

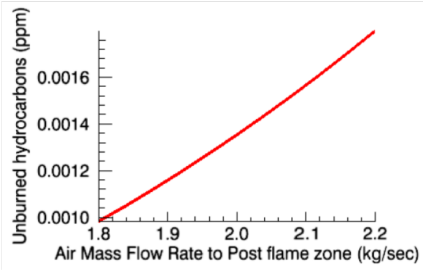


Figure 8. Unburned hydrocarbons mole fraction vs. inlet air mass flow rate

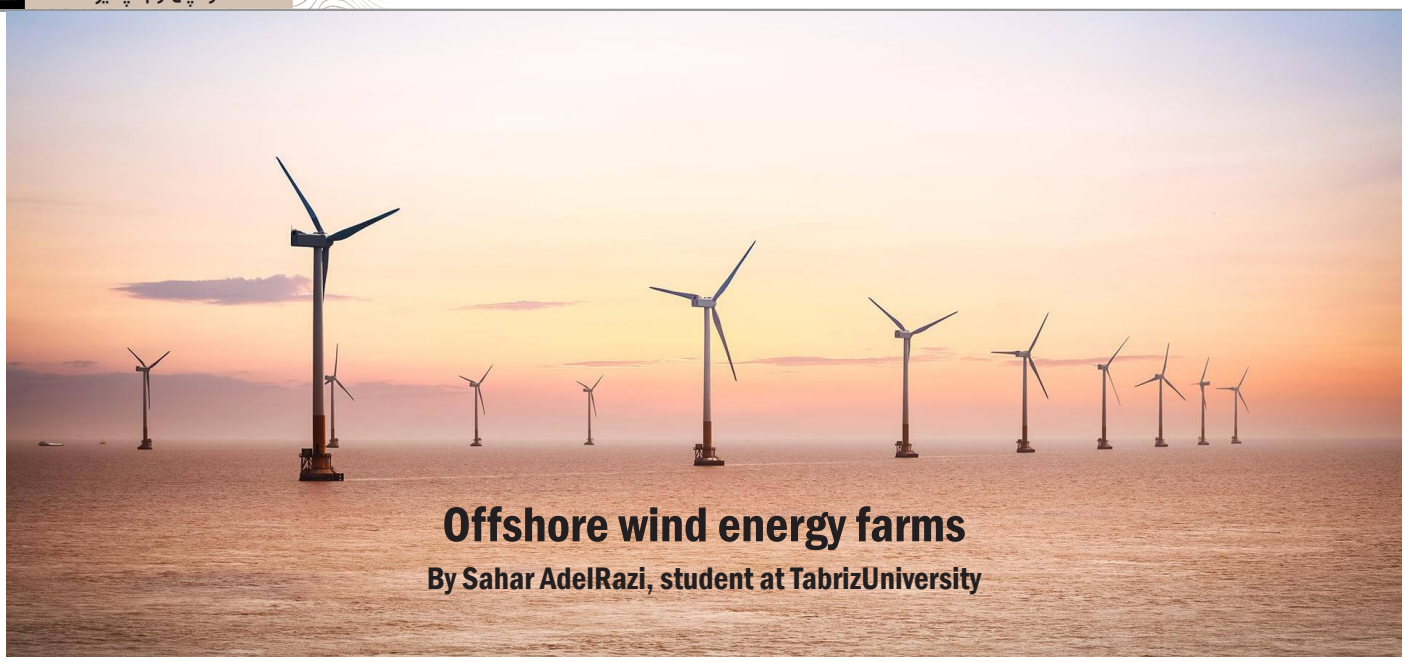
As was shown, this method is more productive in controlling NO emission but UHC emission is now an issue. So based on Emission regulation of each region each of the design can be utilized.

9. CONCLUSIONS

In this article a internal combustion Wankel engine has been modeled, using thermodynamic and combustion fundamentals. To achieve this, first and second law of thermodynamic, conservation of atomic species, chemical equilibrium and chemical reactor have been utilized. The aim was to estimate the emission of pollutant gases such as NO, CO and UHC. It was concluded that due to lower pressure ratio of the Wankel engines and reaction gases having less time to react together comparing to conventional internal combustion engines, the amount of emission in Wankel engines are lower. But according to the parametric studies performed on temperature of combustion, it is evidently clear that, it is a double-sided deal regarding the temperature of the combustion chamber. The lower the temperature of combustion the lower the emission of NO and CO but the stability of combustion is lower thus the UHC emission will be higher. In order to lower the UHC at the outlet the combustion temperature shall be increased which will increase the production rate of pollutant such as NO and CO. so according to the parametric study conducted in this article an optimization between these parameters shall be done.

10. REFERENCES

1. Shi, C., et al., *Combined experimental-numerical analysis of hydrogen as a combustion enhancer applied to Wankel engine.* Energy, 2023. **263**: p. 125896.
2. Finkelberg, L., et al., *Improvement of combustion process of spark-ignited aviation Wankel engine.* Energies, 2019. **12**(12): p. 2292.
3. Sierens, R., et al., *A comprehensive study of wankel engine performance*. 1983, SAE Technical Paper.
4. Spreitzer, J., F. Zahradnik, and B. Geringer, *Implementation of a rotary engine (Wankel engine) in a CFD simulation tool with special emphasis on combustion and flow phenomena*. 2015, SAE Technical Paper.
5. Boretti, A., S. Jiang, and J. Scalzo, *A novel wankel engine featuring jet ignition and port or direct injection for faster and more complete combustion especially designed for gaseous fuels*. 2015, SAE Technical Paper.
6. Danieli, G.A., et al., *Predicting the emissions and performance characteristics of a Wankel engine.* SAE Transactions, 1974: p. 805-820.
7. Shi, C., et al., *Assessment of spark-energy allocation and ignition environment on lean combustion in a twin-plug Wankel engine.* Energy Conversion and Management, 2020. **209**: p. 112597.



Offshore wind energy farms

By Sahar AdelRazi, student at TabrizUniversity

Introduction

The development of new energy sources is necessary to sustain our current lifestyle. This occurs due to the fact that fossil fuels have a limited life span. Hence, the use of renewable energies, the use of which is unlimited, will be of utter importance. Moreover, in 2009 the European Union (EU) has established that %20 of final energy consumption should come from renewable sources in 2020.

In relation to renewable energies, the future will be directed toward its use in the marine environment. In this sense, offshore wind will make a substantial contribution to meeting the EU›s energy policy requirements through a sharp increase – in the order of 40–30 times by 2020 and 100 times by 2030 – in installed capacity compared to present day. Otherwise, the distance to the shore and the depth are the main constraints in this technology. Thus, thet next step is to develop floating structures, which can operate in deep waters. In this context, two different floating platforms prototypes have already been installed: spar substructure called Hywind in Norway and the WindFloat semisubmersible platform in Portugal.

However, one of the most important difficulties in the development of a new technology is the absence of procedures which allow us to evaluate the costs of the floating structures. In this sense, there is an approximation to the cost of a spar system which describes the general costs, but which has not taken into account the relationships between variables . Furthermore, other studies are focused on technical or theoretical aspects. Considering that the availability of knowledge in relation to floating wind farms is scarce, cost experiences of fixed offshore wind energy or onshore wind energy can be used as a starting point, being useful to determine tariffs in the future

Therefore, the main objective of this article is to become aware of what the main costs are involved in a floating offshore wind farm and which are the fundamental variables involved in each phase of their life cycle. In addition, three different floating platforms will be considered: semisubmersible, Tensioned Leg Platform (TLP) and spar. Results allow us to be conscious of what the most important costs are and minimize them in the future improving the competitiveness of floating wind farms.

Methodology

The study of the life-cycle can be considered in several ways: the economic, the environmental, among others. Nevertheless, the methodology used for the present analysis is based on the Cost Breakdown Structure (CBS), which is part of the life-cycle cost system of the floating offshore wind farm .CBS defines the main costs and sub-costs taking into account the disaggregation of the process.

Firstly, the main phases in the process of the floating offshore wind farm are defined.

Definition phase

The definition phase is composed by all the preliminary studies needed to carry out the floating offshore wind farm as, for instance, the economic viability of the project, the environmental and wind resource studies which indicate the best exploitation area, etc. In this sense, the definition cost) will be composed of three main sub-costs: market study cost, legislative factors cost and farm design cost. In this sense, the legislative factors.

Results

Several types of results will be analysed according to each type of floating platform considered: the percentage of the costs, the value of the cost of each phase of the life-cycle and the value of the total cost in each point of the coast.

Firstly, the percentage of the cost of each life-cycle phase will be useful to determine in the future the main stages to consider when a floating offshore wind farm is to be developed. It has been calculated as equation indicates and where Ci is the...

Conclusions

The present study has formulated the costs involved in a floating offshore wind farm taking into account the six phases of its life-cycle: definition, design, manufacturing, installation, exploitation and dismantling. Furthermore, their main dependences, whose influences will be developed in future studies, have been defined: wave height, speed of the current, wave period, scale parameter, shape parameter, depth, distance to shore, distance from farm to shipyard, distance from farm to port.





Interview with Dr.Ranjbar, Professor of Faculty of Mechanical Engineering

Arash Nourbakhsh:
Mr. Dr. Ranjbar, thank you very much for taking the time to meet with me. Please introduce yourself briefly.

Dr. Ranjbar:
Hello and respect to you, dear friend and esteemed host. I have thirty-five years of experience in the field of mechanical engineering. I have carried out various executive works in different parts of Azerbaijan, especially in the areas of rural water supply, street paving, and road construction. Due to my interest in the university, I came here.
for the past 20 years, I have designed and built mechanical laboratories for various universities.

Arash Nourbakhsh:
Thank you very much. Dr. can you explain an experimental experience for me?

Dr. Ranjbar:
It is a vast and diverse experience, but in terms of interdisciplinary fields and activities, I have been involved in measuring pressure, flow rate, temperature, etc., using new and electronic methods. We have equipped all of these with electronic gauges and used three software interfaces - LabTech, LabView, and AdamView - for measuring and transferring data that can be visualized and observed on a computer.

Arash Nourbakhsh:
In your opinion, Dr., what positive features do these software have, and based on your experience, what additional features did these software provide for you, and how could their performance be improved?

Dr. Ranjbar:
Well, you know, the field of mechanics is very diverse. In fact, it can be said that the computer program was very compact and simple. It›s not about me coming up with fancy graphics or 3D images from calculations. What I want to say is that all the equipment that I have worked with in the field of engine testing, including diesel and marine engines, is actually uploaded with these three software or computer programs and then connected to measurement gauges and sensors for temperature, flow rate, etc.They are simple. Very easy, there is no need to study heavy software as I mentioned before. They all come on paper and in articles. What we need to do is to have a simple operator bring very suitable and more accurate results quickly and be able to examine different modes of results.

Arash Nourbakhsh:
Thank you, Dr.

Interview with laboratory expert at the University of Tabriz

By Yalda Karimi, Student of Tabriz University

Yalda: Well, Mr. Engineer Abbasi, please introduce yourself. Tell us about your academic background and what you are currently working on.

Abbasi: I am Mohammadreza Abbasi. I have a Bachelor›s degree in Manufacturing Engineering and a Master›s degree in Mechanical Engineering with a focus on energy conversion. For many years, I have been involved in research and production work with my Bachelor›s degree in manufacturing. After joining the university as the head of the Fluid Mechanics laboratory, I pursued my Master›s degree in the field of Fluid Mechanics, Two-Phase Heat Transfer, and so on.

Yalda: Could you share a few examples of your experimental work and experiences in this field?

Abbasi: Since 2000, I have been a laboratory research and educational heat and fluid mechanics specialist. During my more than twenty years here, we have conducted various research projects and purely research-based projects. Our work areas have been very diverse; we even measured the vibration of the pen lathe here using specialized tools that our colleagues had. We conducted experiments related to two-phase flows, such as liquid flows and gas bubbles, liquid flows and gas flows, liquid flows and solid particles, both in the fields of heat transfer and hydrodynamics in terms of pressure drop in bends over length, and so on. We tested electrochemical pumps here. By testing, I mean that we both modeled them, collected data, tested them, and optimized them. We had numerous projects, and one of the other works we did here was related to rotary machines. We worked on all the pump turbines currently used in the industry, almost as a research project here, alongside completing postgraduate and doctoral supplementary education projects. We worked on axial pumps and centrifugal pumps.

Yalda: Could you tell us about a project that you were fully involved in?

Abbasi: Here our main focus is on fluid hydrodynamics and heat transfer. Because one of the current topics in the industries worldwide and even one of the common problems in industrial sectors is the discussion of heat transfer in all equipment, whether they are small and intricate or large. If the heat from these equipment is not dissipated, they will not function at their full capacity. Due to this issue, we conducted a large number of specialized experiments to dissipate heat from all the tools we had here. One of the most important tasks we performed here was spring cooling. It is crucial because when the flow becomes two-phase, especially at very high temperatures, the heat transfer behavior changes and becomes unpredictable. Furthermore, simulating this task with software is quite challenging. When we experimentally perform this task, it becomes extremely difficult, and the difficulty arises from the fact that we need specialized tools for measurement, measurement instruments, and even specialized tools for observing



the phenomenon. All of these factors are interrelated, making the execution of such projects really challenging.

Yalda: Could you tell us about the tools you used here for this work?

Abbasi: When we started the spring cooling, we didn›t have many tools available, so in the first step, we began spring cooling without boiling. This means that the temperature on our surface did not rise high enough for the fluid to start boiling. The maximum temperature of our surface was only ninety degrees Celsius, which, of course, can be a common issue in many industries in Iran and even outside of Iran today. In the next step, we performed the same spring cooling with boiling. This means that the surface temperature increased to one hundred and fifty, two hundred, two hundred and fifty, three hundred and fifty degrees, as far as the measurement instruments allowed. When boiling occurs, the whole situation changes significantly. All your tools must be suitable for this situation, meaning they should be able to withstand high temperatures without getting damaged. While enduring this high temperature, they should also be able to perform the necessary measurements accurately. This was one of our challenges. Acquiring such a data logger was expensive, so we decided to build it ourselves. We thought, let›s make it ourselves and reduce the cost because we had the specialized knowledge, and we only needed to buy the equipment. We built the necessary data logger. Alongside this, we use high-speed cameras to observe the phenomena that occur at high temperatures. One common issue in industries is the Leidenfrost point. When, for example, we are working with water for cooling, when the surface temperature rises above one hundred and fifty degrees Celsius, the water that comes into contact suddenly starts to evaporate and jump up on the surface, and this is called the Leidenfrost point, which is a significant problem. For observation, we use these high-speed cameras to capture a thousand frames per second, and by processing the images with Matlab, we analyzed this issue. Through this image processing and photography, we can measure the speed of particles or spray droplets.

Yalda: What was the result of the work? What happened as a result?

Abbasi: The result was a couple of articles and a doctoral thesis.

Yalda: What did the practical work lead to? What was your output?

Abbasi: We achieved very good results that could help us identify the mechanisms to solve the existing problems. This could potentially address one of the common issues in industries.

Yalda: What software did you use? What were the features of the software?

Abbasi: We utilized Ansys for fluid flow and heat transfer analysis. We worked with Fluent and Workbench. Additionally, we used SolidWorks and CFX. These two software have great capabilities for two-phase flow and heat transfer. For single-phase flow without heat transfer, we used Star-CCM+. We also used a bit of Comsol in the early stages.

Yalda: How did you validate your work?

Abbasi: The work we did, especially with boiling, had no external samples in that temperature range. We collected the best articles that were close to our work, whether experimental or numerical. We derived a unified output from these results and compared them with our work, noticing that our results were very close to theirs, with minimal differences. We used this for the validation of our work.

Yalda: Can you tell us about some of the challenges you faced in the experimental work? What did you personally encounter?

Abbasi: The term «experimental work challenges» is a small phrase to describe the difficulties in experimental work. It is a path full of ups and downs, but you must enter it with passion, have a lot of patience, and acquire a significant amount of knowledge.

Yalda: You mentioned using multiple different software, couldn›t all the analyses be done in one software?

Abbasi: I mentioned that the work we were doing was not being done by anyone we had access to, no one was doing two-phase flow at that temperature and everyone we asked didn›t have precise information. That›s why we took the initiative with trial and error, meaning I started with Fluent, then moved on to CFX, Comsol, and so on until I found that CFX had the best performance.

Yalda: What features convinced you to use CFX?

Abbasi: The user interface of CFX was much easier for me. Additionally, its set of equations was much more comprehensive. Moreover, the heat transfer discussion in CFX was much easier to handle and provided me with more accurate results even compared to Fluent. However, for example, Comsol does not provide much response in terms of heat transfer.

Yalda: Is there anyone you recommend we interview to discuss these experimental works?

Abbasi: One of these respected professors is Dr. Jafari, who is truly excellent and experienced in experimental work and student projects.

ENERGY

Journal of the Interdisciplinary Energy Student Scientific Association of Tabriz University
Secound Year, Forth Issue, Autumn 1402

Sponsored by Borna Fidar Rasa Company



دبیرخانه نشریه:
دانشگاه تبریز، مرکز رشد و فناوری، ساختمان رشد فناوری، واحد اس ۵