



مدل‌سازی و پیش‌بینی میزان مصرف انرژی در گلخانه آب دریایی با استفاده از شبکه هوش مصنوعی

طالب زارعی^{۱*}، رضا بهیاد^۲

^۱ دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
^۲ شرکت گاز خوزستان، اهواز، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۰۷
بازنگری: ۱۳۹۷/۰۴/۱۵
پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۲۶
ارائه آنلاین: ۱۳۹۷/۰۴/۲۸

کلمات کلیدی:

گلخانه آب دریایی
آب شیرین‌کن
مصرف انرژی
شبکه عصبی مصنوعی
پرسپترون چندلایه

خلاصه: گلخانه آب دریایی با استفاده از روش رطوبت‌زنی و رطوبت‌زدایی می‌تواند از آب‌های شور و لب شور نمک‌زدایی کرده و آب شیرین تولیدی را برای مصارف کشاورزی گلخانه و هم مصارف شرب مورد بهره‌برداری قرار دهد. پارامترهای زیادی بر عملکرد گلخانه آب دریایی تاثیر گذار هستند. در این مطالعه با استفاده از روش هوشمند شبکه عصبی مصنوعی به بررسی پارامترهای عرض و طول گلخانه، ارتفاع اواپراتور اول و ضریب گذردهی سقف گلخانه بر روی میزان مصرف انرژی در گلخانه آب دریایی پرداخته شده است. شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه برای مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است. ساختار مناسبی برای این روش به دست آمد و برای ارزیابی عملکرد شبکه از آمارهای ریاضی درصد میانگین مطلق خطا، ریشه میانگین دوم خطا و توان دوم ضریب همبستگی استفاده شده است. روش موجود تطبیق خوبی با داده‌های آزمایشگاهی دارد. با استفاده از شبکه بهینه ایجاد شده، تاثیر هر پارامتر بر میزان مصرف انرژی مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت گلخانه‌ای با ۱۲۵ متر عرض، ۲۰۰ متر طول، ارتفاع اواپراتور برابر ۴ متر و ضریب گذردهی ۰/۱۶ که دارای آب شیرین تولیدی ۱۶/۱۶ مترمکعب در روز و ۱/۵۵۸ کیلووات ساعت بر متر مکعب مصرف انرژی می‌باشد، به عنوان گلخانه آب دریایی بهینه معرفی شد.

۱- مقدمه

این روش‌ها به طور معمول، در مقیاس بزرگ مقرون به صرفه است. در دهه‌های اخیر تلاش‌های قابل ملاحظه‌ای برای بهبود استفاده آب برای کشاورزی به منظور ذخیره کردن هر چه بیشتر آب و جلوگیری از هدر رفت آن شده است. یکی از روش‌های مناسب و بسیار کم هزینه برای صنعت کشاورزی استفاده از سیستم آب شیرین‌کن گلخانه آب دریایی می‌باشد. در این سیستم از روش رطوبت‌زنی و رطوبت‌زدایی برای شیرین‌سازی آب دریا و استفاده از آن در گلخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش مزایای قابل ذکری از قبیل: انعطاف در ظرفیت، هزینه‌های نصب و هزینه‌های عملیاتی پایین، سادگی و استفاده از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر دارد [۱-۵].

گلخانه آب دریایی یک نوع آب شیرین‌کن است که با استفاده از نور خورشید و آب دریا، در فضای داخل گلخانه هوا را مرطوب کرده و از آن آب شیرین تولید می‌کند که از این آب هم می‌توان برای آبیاری محصولات کشاورزی و هم مصرف شرب استفاده کرد. بدین علت که این آب شیرین‌کن از انرژی خورشید استفاده می‌کند، صرفه‌جویی بالایی در مصرف انرژی دارد و به دلیل کاربرد قطعات

تا بیست سال پیش مهم‌ترین سرمایه ملی کشور ایران، انرژی بود اما در آینده‌ای نه چندان دور آب را با نفت معاوضه خواهند کرد. برای آن‌که این تصور از آینده، زیاد دور از ذهن نباشد کافی است که به این نکته توجه شود که برای انرژی، به جز نفت، جایگزین‌های نه چندان ارزان‌تر در دسترس بشر است اما جایگزینی برای آب فعلاً وجود ندارد و امروزه تاکید بر صرفه‌جویی و استفاده بهینه از منابع آبی است. مصارف کشاورزی بیشترین میزان مصرف آب را دارند. یکی از روش‌های موجود برای تامین آب در این زمینه نمک‌زدایی از آب‌های شور می‌باشد.

در حال حاضر روش‌های گوناگونی برای نمک‌زدایی از آب‌های شور و لب‌شور وجود دارد، که این راه‌حل‌ها با توجه به این واقعیت که این روش‌ها نیاز به زیرساخت‌های قابل توجهی دارند و وابسته به سوخت‌های فسیلی هستند، برای مناطق توسعه‌یافته مناسب ولی برای مناطق در حال توسعه مناسب نیستند. از طرف دیگر استفاده از

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: talebzarei@hormozgan.ac.ir

دمای نقطه شبنم جریان هوا بود، بنابراین فرآیند تقطیر در کندانسور اتفاق می‌افتد. نتایج نشان می‌داد که در بیشتر اوقات رطوبت خروجی از اواپراتور دوم به صد در صد می‌رسید. میزان تقطیر کم در کندانسور به علت سرعت‌های بالای هوای ورودی گزارش شد که زمان کافی برای تماس سطحی بین هوا و کندانسور به وجود نمی‌آورد.

داوود و همکاران [۱۰] راهکارهایی ممکن برای خنک‌کاری کندانسور آب دریایی را مورد بررسی قرار دادند. خنک‌کاری تبخیری برای آب دریایی سطحی، استفاده از یک سیکل بسته سرمایش و همچنین استفاده از آب‌های عمیق در زیر زمین به عنوان میرد کندانسور از جمله تکنیک‌های ممکن برای خنک‌کاری کندانسور هستند.

جهت بررسی امکان‌سنجی استفاده از انرژی‌های ترکیبی در آب شیرین‌کن‌های گلخانه‌ای آب دریایی، محمودی و همکاران [۱۱] تأثیر سیستم ترکیبی باد به علاوه خورشید را در این سیستم‌ها مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها از این سیستم ترکیبی استفاده کردند تا انرژی مورد نیاز برای تأمین آب شیرین را بدون استفاده از سوخت‌های فسیلی به دست آوردند. اطلاعات و نتایج آن‌ها نشان داد که در یک گلخانه با طول ۶۰ متر و عرض ۱۶ متر، روزانه در حدود ۲۹۷ لیتر آب شیرین می‌توان تهیه نمود.

تاکنون مدل‌سازی‌های گوناگونی نیز برای بررسی رفتار و بهینه کردن عملکرد گلخانه آب‌شور دریایی ارائه شده است. طاهری و همکاران [۱۲] مدل ریاضی بر اساس معادلات انرژی و جرم ارائه دادند. به منظور بررسی مدل تئوری، کندانسور یک واحد آب شیرین‌کن گلخانه‌ای آب دریایی واقع در مسقط در کشور عمان مورد مطالعه قرار گرفت. مدل پیشنهادی، دارای ۵ مرحله بود که هر مرحله قدم به قدم اطلاعات تکمیل و در گام پنجم مقدار دبی جرمی آب شیرین تولیدی محاسبه شد. طاهری و همکاران [۱۳] مدل ریاضی بر اساس انتقال جرم برای کندانسور گلخانه آب دریایی ارائه دادند. آن‌ها مقادیر تقطیر پیش‌بینی شده به وسیله دو مدل متفاوت را با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه کردند. طاهری و همکاران [۱۴] یک پژوهش تئوری برای بررسی پارامترهای رطوبت نسبی، دمای حباب خشک، دمای آب دریا، دبی هوای مرطوب و دبی آب شور دریا بر روی میزان تولید آب در کندانسور گلخانه آب دریایی مستقر در عمان انجام دادند. نتایج نشان داد با افزایش رطوبت نسبی و دمای حباب

مکانیکی کمتر در آن، هزینه ساخت، تعمیر و نگهداری نسبت به دیگر آب شیرین‌کن‌ها کمتر است. گلخانه‌ها به منظور ایجاد شرایط محیطی مناسب برای رشد گیاه در زمانی که در محیط بیرون این امکان فراهم نیست، ساخته می‌شوند. عملکرد آبیاری در گلخانه برای پرورش گیاهان نسبت به روش‌های سنتی، بهبود قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند. نکته بسیار کاربردی و کلیدی در مورد گلخانه این است که خود این ساختار می‌تواند برای تصفیه آب و کشاورزی به کمک آن به کار رود. موفقیت گلخانه آب دریا بستگی زیادی به شرایط محیطی احاطه‌کننده گلخانه دارد. این نوع گلخانه بیشتر مناسب مناطق ساحلی گرم، آفتابی و خشک با وزش باد ثابت است [۶]. گلخانه آب دریا در تولید آب شیرین برای آبیاری محصولات کشت شده در داخل یا اطراف محیط گلخانه خودکفایی دارد، پس می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب برای کشاورزی در مناطق گرم و خشک با بارش کم به کار گرفته شود.

تاکنون پژوهش‌های محدودی بر روی این سامانه‌ها صورت پذیرفته است. گاوسن و همکاران [۷] تأثیر پارامترهای مختلف گلخانه در تولید آب شیرین در واحد آب شیرین‌کن گلخانه‌ای آب دریایی را به صورت تجربی مورد مطالعه قرار دادند. یک مدل ترمودینامیکی هم بر اساس بالانس حرارت و جرم در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. آن‌ها دریافتند که ابعاد گلخانه تأثیر بسیار زیادی در آب تولیدی و هزینه انرژی دارد. دیوس و پتون [۸] یک گلخانه آب دریایی در کشور امارات را مورد بررسی قرار دادند. تأثیر سه نوع مختلف مواد برای ایجاد سایه در گلخانه به ترتیب: تخته شبه تیره، تخته سوراخ‌دار و ردیف لوله‌ها بر عملکرد تولید آب شیرین و سرما در گلخانه به طور تجربی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که به وسیله تخته شبه تیره فقط یک مقدار کمی بهبود در تولید آب و سرما به دست می‌آید، در حالی که با استفاده از تخته سوراخ‌دار به طور قابل توجهی افزایش مقدار آب شیرین را نشان می‌داد، استفاده از ردیف لوله‌ها باعث افزایش زیاد آب شیرین و کاهش اندک دما در داخل گلخانه شد.

یک نوع از این سیستم‌ها برای استفاده در مناطق گرم و خشک توسط پریت و همکاران [۹] مورد بررسی قرار گرفت. در این سیستم به منظور افزایش کارایی چگالش از دو عدد کندانسور استفاده شد. نتایج آزمایش نشان داد که پس از اواپراتور دوم رطوبت هوا تا نقطه اشباعش افزایش می‌یابد و درجه حرارت آب کندانسور همیشه کمتر از

انرژی‌های اتلافی و یا خورشیدی به گونه مناسبی استفاده کرد. یکی از بهترین و مناسب‌ترین طرح‌های ارائه شده برای روش رطوبت‌زنی و رطوبت‌زدایی، ترکیب آن در یک گلخانه می‌باشد [۱۶].

یک گلخانه آب دریایی ساده شامل دو اواپراتور خنک‌کننده تبخیری، یک کندانسور، فن، لوله‌های حاوی آب دریا و آب تقطیر شده و محصولات زراعی بین دو اواپراتور می‌باشد. در اولین مرحله، هوای گرم بیرون که توسط فن‌ها به‌درون گلخانه دمیده می‌شوند، در ورودی گلخانه از اواپراتور مرحله اول که سمت دیگر آن حاوی لوله آب دریا (که دمای پایین‌تری نسبت به هوای گرم بیرون دارد) می‌باشد، عبور می‌کند. در حین عبور هوای گرم از اواپراتور، دمای آن در اثر تبادل حرارت با آب دریا، کاهش یافته و رطوبت نسبی آن افزایش می‌یابد و این هوای خنک و مرطوب وارد فضای گلخانه می‌شود. در فضای گلخانه تابش خورشید باعث گرم شدن این هوا و در نتیجه فراهم آوردن محیط مناسب برای رشد محصولات زراعی می‌شود. در گلخانه‌ها از مواد گوناگونی برای پوشش سقف گلخانه استفاده می‌شود تا میزان تشعشع را کنترل نمایند. در این گلخانه آب دریایی از لوله‌های جاذب خورشیدی در سقف بهره گرفته شده است که هم انرژی خورشید را جذب کرده و به عنوان منبع انرژی سامانه نمک‌زدایی استفاده کرده و هم میزان تشعشع خورشیدی را کنترل می‌نمایند. ضریب گذردهی سقف گلخانه به صورت درصدی تعریف می‌شود و هرچه بیشتر باشد، بیانگر تشعشع بیشتر به درون گلخانه می‌باشد.

هوای درون گلخانه به علت آن که دارای رطوبت پایینی می‌باشد، قابلیت جدا کردن آب از آن بسیار کم می‌باشد. به همین علت این هوا از داخل اواپراتور دوم که همانند اواپراتور اول در سمت دیگر آن شامل لوله‌های آب دریا است، عبور داده می‌شود تا همانند اواپراتور اول، دمای آن کاهش و رطوبت نسبی آن افزایش یابد. نکته مهم در مورد این آب دریا که بر روی این اواپراتور ریخته می‌شود این است که این آب قبلاً در اواپراتور اول پیش‌گرم شده و سپس بر روی سقف گلخانه در درون لوله‌های جاذب خورشیدی قرار گرفته و دمای آن به اندازه کافی بالا می‌رود و پس از آن در اواپراتور دوم جریان می‌یابد. در مرحله بعد این هوای دارای رطوبت نسبی بالا و گرم با عبور از یک کندانسور، به مقدار لازم می‌تواند آب تقطیر شده تولید کند که یک مقدار از این آب برای مصرف محصولات زراعی موجود در گلخانه و

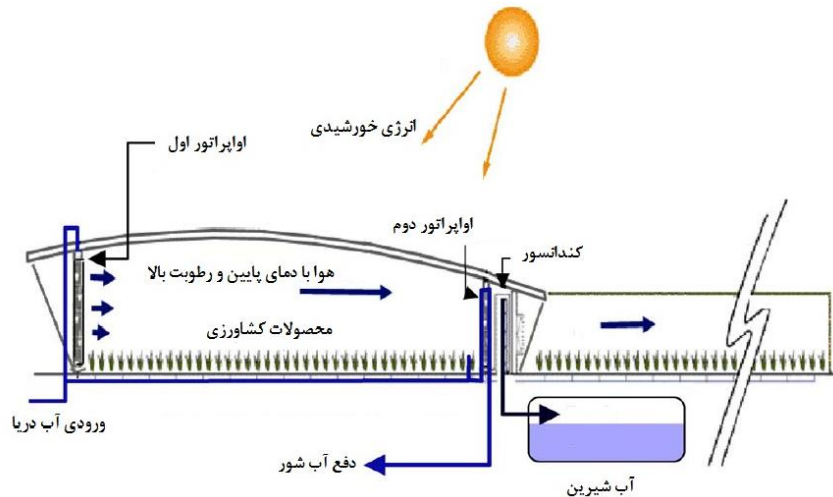
خشک و کاهش دمای آب شور دریا و همچنین دبی آن، میزان آب شیرین تولیدی افزایش می‌یابد. زارعی و همکاران [۱۵] با استفاده از روش رگراسیون بردار پشتیبان به بررسی عملکرد یک گلخانه آب دریایی پرداختند. پارامترهای مؤثر بر روی میزان تولید آب شیرین در کندانسور را بررسی کردند.

همان‌گونه که در مرور پژوهش‌های گذشته مشاهده می‌شود تاکنون مدل جامعی با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی رفتار گلخانه آب دریایی ارائه نشده است. به علت وجود متغیرهای گوناگون و نسبتاً زیاد در عملکرد گلخانه، استفاده از این روش در زمان محاسبات و پیش‌بینی پارامترها می‌تواند بسیار تاثیر گذار باشد. در این تحقیق سعی می‌شود با استفاده از روش هوشمند شبکه عصبی و روش پرسپترون چندلایه و بر پایه داده‌های در دسترس، پارامترهای مؤثر بر گلخانه آب دریایی مورد بررسی قرار گیرد. هدف کلی در این تحقیق بررسی تغییرات طول و عرض گلخانه، ارتفاع اواپراتور و ضریب گذردهی سقف گلخانه بر روی میزان تولید آب و مصرف انرژی می‌باشد و در نهایت یافتن شرایط بهینه برای داشتن بیشترین میزان تولید آب و کمترین مصرف انرژی برای یک گلخانه خاص، هدف ویژه و کاربردی این تحقیق محسوب می‌شود. در نظر گرفتن همزمان پارامترهای مؤثر در عملکرد گلخانه از جنبه مصرف انرژی و ارائه بهترین ساختار فیزیکی برای یک گلخانه آب دریایی در این زمینه، وجه تمایز و نوآوری پژوهش حاضر می‌باشد.

۲- مکانیسم گلخانه آب دریایی

در گلخانه آب دریایی از روش رطوبت‌زنی و رطوبت‌زدایی^۱ برای نمک‌زدایی از آب دریا یا آب لب‌شور بهره گرفته می‌شود. در روش رطوبت‌زنی و رطوبت‌زدایی که مانند سیکل هیدرولوژی آب در طبیعت کار می‌کند، هوا ابتدا مرطوب گشته و سپس این هوای مرطوب کندانس شده و آب شیرین تولید می‌گردد. همان‌گونه که می‌دانیم با افزایش دما ظرفیت رطوبت‌گیری هوا به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. بنابراین در این روش دمای هوا را به ۵۰ تا ۶۰ درجه می‌رسانند تا رطوبت مطلق به میزان قابل توجهی افزایش یابد. بنابراین در این روش نیاز به تبخیر آب ندارد و با یک آب حدوداً ۶۰ درجه می‌توان عملیات را انجام داد. بنابراین برای تامین منبع حرارتی آن می‌توان از

1 Humidification Dehumidification (HD)



شکل ۱: نمای شماتیک گلخانه آب دریایی و قسمت‌های مختلف آن [۷]
 Fig. 1: Schematic of the seawater greenhouse and its various parts

دلخواه انجام دهند. این نوع شبکه‌ها شامل سه لایه می‌باشند؛ لایه ورودی، لایه پنهان، و لایه خروجی. در شبکه‌های پیش‌خور نرون‌ها در لایه‌هایی که در لایه اول (ورودی)، شروع و به لایه خروجی ختم می‌شوند، آرایش می‌یابد. در یک ساختار شبکه عصبی، مجموعه‌ای از نرون‌ها دخالت دارند که هر نرون با همه نرون‌های لایه بعدی مرتبط است [۱۷]. ارتباط بین لایه‌های ورودی، پنهان و خروجی توسط وزن‌ها و بایاس که پارامترهای شبکه ام‌ال‌پی هستند، برقرار می‌شود. برای آموزش شبکه‌های عصبی ام‌ال‌پی از الگوریتم‌های یادگیری متفاوتی مانند الگوریتم پس انتشار گرادیان توأم^۳، الگوریتم کاهش گرادیان^۴، الگوریتم تنظیم بیزین و الگوریتم لونیگ-مارکوآرت^۵ استفاده می‌شود. انتخاب هر الگوریتم بر سرعت یادگیری و دقت شبکه مؤثر است [۱۸].

۳-۲- معیارهای ارزیابی و توقف شبکه‌های عصبی

برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های عصبی شاخص‌های عملکردی مختلفی وجود دارد و از تحلیل خطاهای باقیمانده و اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده استفاده می‌شود. همچنین به منظور توقف شبکه می‌توان از معیارهای اتمام زمان آموزش و تعداد تکرارهای انجام شده، استفاده نمود. در این تحقیق برای ارزیابی عملکرد شبکه از تحلیل خطا استفاده شده است. آماره‌های لازم برای

بقیه برای مصرف شرب مورد استفاده قرار می‌گیرد. نمایی از گلخانه آب دریایی (آب شیرین کن گلخانه‌ای) در شکل ۱ آورده شده است.

۳- روش تحقیق

در این پژوهش از شبکه هوش مصنوعی به منظور کنترل، بهینه‌سازی و بهبود شرایط عملیاتی، در گلخانه آب دریایی به روش رطوبت‌زنی و رطوبت‌زدایی استفاده شده است. از جمله مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های هوشمند می‌توان به پرسپترون چند لایه^۱ (ام‌ال‌پی) اشاره نمود. این روش برای حل مسائل پیچیده‌ای بکار می‌رود که دسترسی به فرمول حل آن‌ها مشکل یا غیرممکن می‌باشد. مدل‌سازی گلخانه آب دریایی که دارای متغیرهای نسبتاً زیاد و دارای روابط غیرخطی با یکدیگرند، پیچیده می‌باشد. مدل‌های عددی و ترمودینامیکی متعددی برای این فرآیند ارائه شده است. این مدل‌ها در برخی موارد بسیار پیچیده بوده و نیاز به زمان حل زیاد و کامپیوترهای قدرتمند دارند. بنابراین لزوم استفاده از روش‌های آماری پیشرفته مانند روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی گزینه‌ای مناسب برای دستیابی به این مهم است.

۳-۱- شبکه عصبی پرسپترون چند لایه

شبکه‌های عصبی مصنوعی^۲ پرسپترون چند لایه برای ایجاد نگاشت‌های غیرخطی بکار می‌روند. این شبکه‌ها قادرند با انتخاب مناسب تعداد لایه‌ها و نرون‌ها، یک نگاشت غیرخطی را با دقت

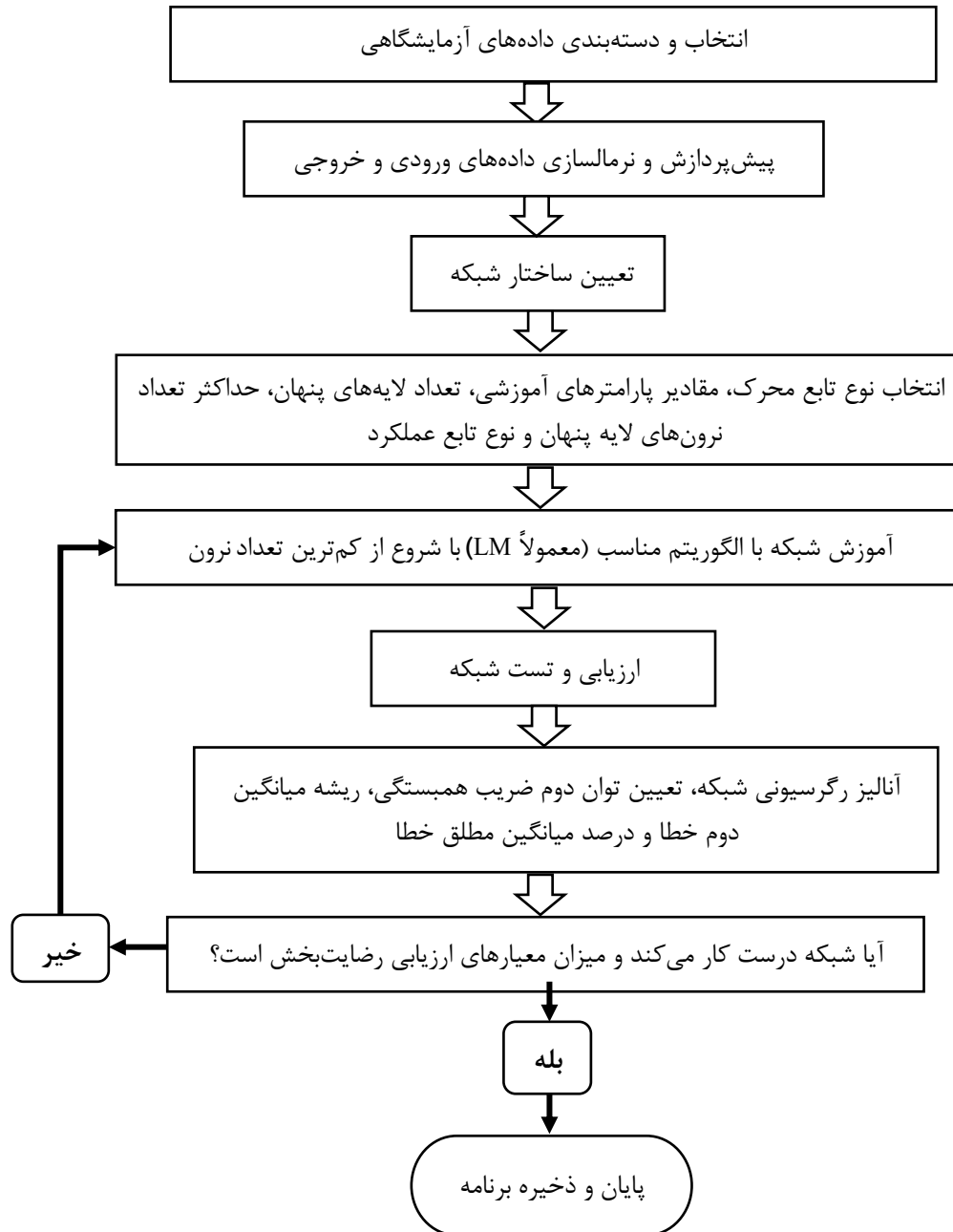
3 Conjugate Gradient

4 Gradient Descent Method

5 Levenberg-Marquardt Algorithm

1 Multi-Layer perceptron (MLP)

2 Artificial Neural Network (AAN)



شکل ۲: مراحل آموزش و تست شبکه عصبی ام.ال.پی

Fig. 2: Training and test algorithm for the MLP artificial network

استفاده می‌شود، آورده شده است. شکل ۲ مراحل مربوط به روش ام. ال. پی را به صورت فلوجارت نمایش می‌دهد. تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نرون در لایه پنهان از مهم‌ترین پارامترهای شبکه عصبی ام. ال. پی می‌باشد. این پارامترها باید به گونه‌ای انتخاب شوند که مانع از کم‌برازش و بیش‌برازش شبکه شوند. در واقع در تعیین ساختار شبکه عصبی ام. ال. پی، حداقل تعداد نرون‌ها با حفظ دقت شبیه‌سازی یک هدف مطلوب می‌باشد.

این منظور شامل؛ توان دوم ضریب همبستگی^۱، ریشه میانگین دوم خطا^۲ و درصد میانگین مطلق خطا^۳ می‌باشد.

۳-۳- فلوجارت روش پرسپترون چند لایه

در این بخش الگوریتم روش ام. ال. پی در این مطالعه از آن‌ها

- 1 Square Correlation Coefficient
- 2 Root Mean Square Deviation (RMSE)
- 3 Average Absolute Relative Error (AARE)

جدول ۱: محدود متغیرهای موردنظر در گلخانه آب دریایی
Table 1: The variables range in the seawater greenhouse

انحراف معیار استاندارد	مقدار میانگین پارامتر	محدوده تغییرات	پارامتر مورد نظر
۴۵/۹۷۷	۱۱۰/۱۱۸	۲۰۰-۵۰ متر	عرض
۴۵/۹۷۷	۱۱۰/۱۱۸	۲۰۰-۵۰ متر	طول
۰/۸۱۶	۳	۴-۲ متر	ارتفاع اوپراتور اول
۰/۱	۰/۵	۰/۶-۰/۴	ضریب گذردهی سقف گلخانه

جدول ۲: مقادیر پارامترهای ثابت در گلخانه آب دریایی
Table 2: Value of constant parameters in the seawater greenhouse

مقدار	پارامتر مورد نظر
۴ متر	ارتفاع محفظه کاشت
۲ متر	ارتفاع اوپراتور عقب
۲ متر	ارتفاع کندانسور
۴۰ درجه شمالی	جهت گلخانه
۰/۹ متر	قطر لوله انتقال دهنده آب دریا
۰/۱ متر مکعب بر ثانیه	دبی
۰/۱ متر	ضخامت دیواره
۰/۰۰۲۵	فاصله باله
۰/۱۵ کسر بر دقیقه	تغییرات هوا

۴- نتایج و بحث

یا کم شده از فضای گلخانه تقسیم بر حجم کل فضا است. اگر این هوا به گونه یکنواخت باشد، تغییرات هوا بر واحد زمان به این معنا است که چند بار هوا در واحد زمان تعریف شده، جایگزین می‌شود. به علت وجود متغیرها و پارامترهای زیاد در این مدل، زمان و حجم محاسبات در مدل ارائه شده توسط گوسن و همکاران [۷] زیاد است. بنابراین، در این پژوهش با استفاده از روش هوشمند و با تکیه بر داده‌های موجود به شبیه‌سازی پارامترهای گلخانه آب دریایی می‌پردازیم. تا هم به نوعی دقت پیش‌بینی موارد غیرمشابه افزایش یابد و هم زمان محاسبات کاهش یابد. بدین ترتیب ۶۶ مجموعه داده برای سیستم گلخانه آب دریایی به دست آمده است که از این داده‌ها برای آموزش و تست شبکه‌ی ام‌ال‌پی استفاده می‌شود.

۴-۱- میزان مصرف انرژی گلخانه آب دریایی

همان‌گونه که اشاره شد از داده‌های تجربی گوسن و همکاران [۷] در این مطالعه استفاده شده است. برای ایجاد یک شبکه مناسب، ۶۶

در این مطالعه به منظور شبیه‌سازی پارامترهای آب شیرین‌کن گلخانه‌ای از داده‌های مربوط به گوسن و همکاران [۷] استفاده شده است. آن‌ها با استفاده معادلات موازنه جرم و انتقال حرارت مدلی ترمودینامیکی برای کل فرایند ارائه کردند. با توجه به پیکربندی ابعاد گلخانه داده شده و دما و اطلاعات آب و هوایی محل، مدل ایشان، میزان تولید آب شیرین را تخمین می‌زند. متغیرهای متنوعی را می‌توان برای برنامه تعریف نمود. این متغیرها در سه گروه طبقه‌بندی می‌شوند که شامل: گلخانه‌ای (جهت‌گیری گلخانه، شفافیت سقف هر لایه، ارتفاع از جلو و پد تبخیر عقب، ارتفاع منطقه کاشت و کندانسور)، دبی آب دریا و هوا است. اطلاعات و محدوده تغییر مربوط به متغیرهای ورودی مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده است. این محدوده‌ها براساس داده‌های موجود در کار گوسن و همکاران [۷] بوده است. همچنین مقادیر پارامترهای ثابت در جدول ۲ آورده شده است. پارامتر تغییرات هوا در جدول ۲، اندازه حجم هوای اضافه شده

جدول ۳: نتایج بدست آمده بوسیله الگوریتم‌های یادگیری

Table 3: Results of various training algorithm

الگوریتم یادگیری	تعداد تکرار	R ²	%AARE	RMSE
الگوریتم لونیبرگ-مارکوآرت	۱۸۱	۰/۹۹۲	۰/۷۷۷	۱/۱۳۶
الگوریتم نیوتنی بی.اف.جی.اس	۲۰۹۸	۰/۹۳۶	۲/۵۸۷	۳/۲۴۲
الگوریتم گرادیان توأم مزدوج	۶۶	۰/۹۱۶	۳/۲۹۸	۳/۶۸۵
الگوریتم ارتجاعی	۱۳۰	۰/۹۸۱	۱/۵۸۷	۱/۷۴۴
الگوریتم کاهش گرادیان	۵۳۶	۰/۹۲۷	۳/۱۱۷	۳/۶۱۰

نرون‌ها در لایه پنهان، تابع سیگموئید^۲ و برای لایه خروجی از تابع خطی پپورلین^۳ استفاده شده است. شبکه در تکرار ۱۷ام به ضریب میانگین دوم خطا^۴ برابر ۰/۰۱۵۸ رسیده است. مقادیر معیارهای ارزیابی درصد میانگین مطلق خطا، ریشه میانگین دوم خطا و توان دوم ضریب همبستگی برای شبکه مذکور به ترتیب برابر ۲/۰۶۰، ۰/۰۷۴۳ و ۰/۹۹۳ به دست آمد. تطابق بین داده‌های تجربی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل ام.ال.پی در شکل ۴ آورده شده است.

۴-۲- اثر پارامترهای عملیاتی بر میزان مصرف انرژی در گلخانه آب

دریایی

شکل ۵ تأثیر عرض گلخانه بر روی میزان مصرف انرژی در طول‌های مختلف از گلخانه و با ضریب گذردهی سقف گلخانه ثابت ۰/۶ و ارتفاع اواپراتور ثابت برابر ۲ متر را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل مشخص است با افزایش عرض گلخانه در یک طول ثابت (مثلاً طول ۱۵۰ متر) میزان مصرف انرژی بر واحد آب تولیدی در ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد.

شکل‌های ۶ و ۷، اثر عرض گلخانه در ارتفاع‌های ۳ و ۴ متری ارتفاع اواپراتور، برای طول‌های مختلف گلخانه بر مصرف انرژی را نشان می‌دهد. این شکل‌ها نیز روند مشابهی با شکل ۵ دارند.

در شکل‌های ۶ و ۷ برای ارتفاع اواپراتور ۳ متری و ۴ متری نیز با افزایش عرض گلخانه ابتدا میزان مصرف انرژی افزایش می‌یابد، سپس کاهش یافته و به حداقل مقدار خود می‌رسد.

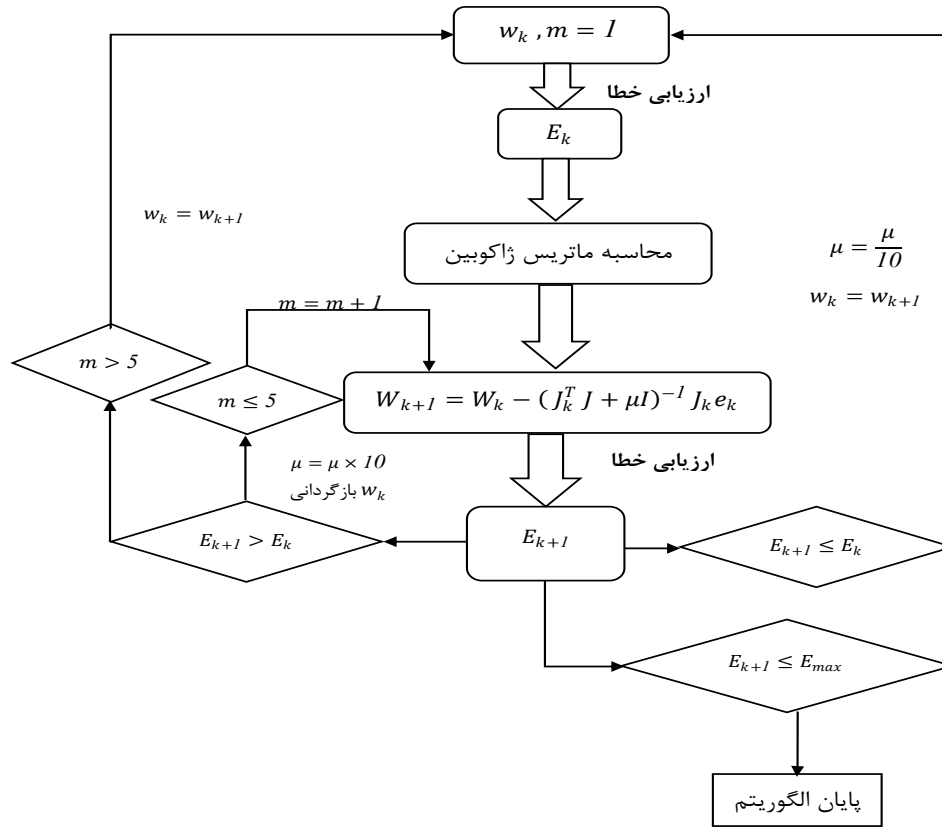
مجموعه داده به صورت تصادفی به سه دسته تقسیم شدند و دسته اول شامل ۴۶ مجموعه داده (۷۰ درصد) جهت یادگیری شبکه، ۱۰ مجموعه داده (۱۵ درصد) برای اعتبارسنجی و ۱۰ مجموعه داده برای تست (۱۵ درصد) استفاده شده است. به این ترتیب پارامترهای ورودی شبکه شامل عرض گلخانه، طول گلخانه، ارتفاع اواپراتور و ضریب گذردهی سقف گلخانه و پارامتر خروجی شبکه میزان مصرف انرژی در گلخانه آب دریایی انتخاب می‌شود. جهت آموزش شبکه عصبی ام.ال.پی از الگوریتم‌های یادگیری متفاوتی مانند الگوریتم گرادیان توأم مزدوج، الگوریتم کاهش گرادیان، الگوریتم ارتجاعی، الگوریتم نیوتنی بی.اف.جی.اس^۱ و الگوریتم لونیبرگ-مارکوآرت استفاده می‌شود. انتخاب الگوریتم مناسب بر سرعت یادگیری و دقت شبکه تأثیر می‌گذارد. در این قسمت باید بهترین الگوریتم و مناسب‌ترین ساختار برای شبکه به دست آورده شود. همان‌گونه که در جدول ۳ نشان داده شده است، بهترین ساختار به دست آمده برای مدل‌سازی، الگوریتم لونیبرگ-مارکوآرت می‌باشد. دیاگرام آموزش با الگوریتم لونیبرگ-مارکوآرت در شکل ۳ آورده شده است.

ساختارهای متنوعی با تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌های مختلف با استفاده از الگوریتم لونیبرگ-مارکوآرت مورد بررسی قرار گرفتند و در نهایت ساختار بهینه به کمک معیارهای ارزیابی انتخاب شد، با توجه به معیارهای ارزیابی، ساختاری که شامل یک لایه پنهان و ۱۰ نرون در لایه پنهان است، بهترین حالت می‌باشد.

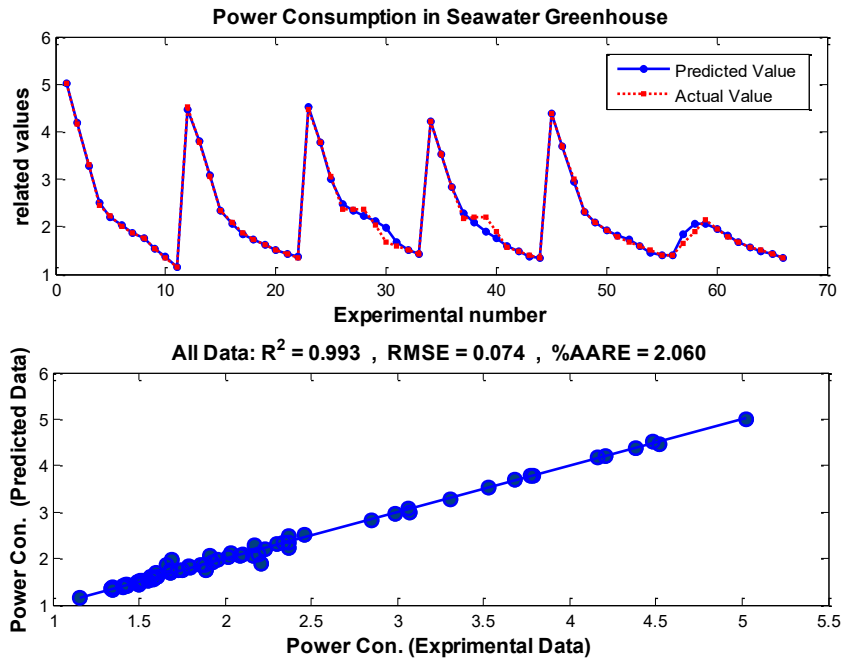
ضریب یادگیری شبکه ۰/۱، حداکثر تعداد تکرارها ۱۰۰۰۰ و ضریب مومنتم برابر ۰/۰۰۱ تنظیم شدند. تابع فعالیت برای همه

1 Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS)

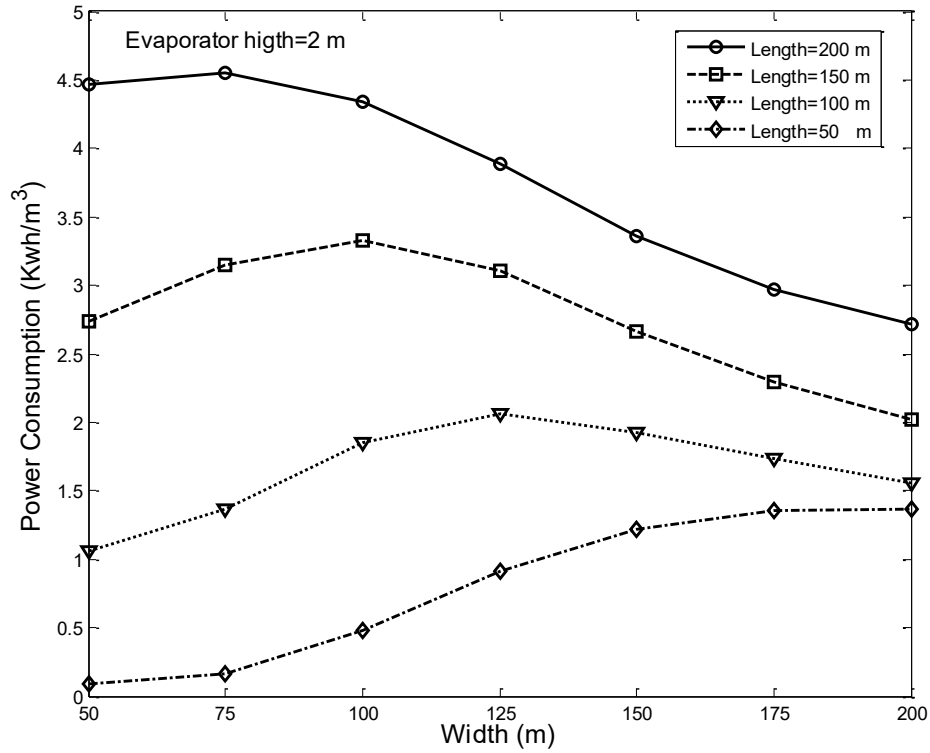
- 2 Tangent Sigmoid Function (tansig)
- 3 Purelin
- 4 Mean Squared Error (MSE)



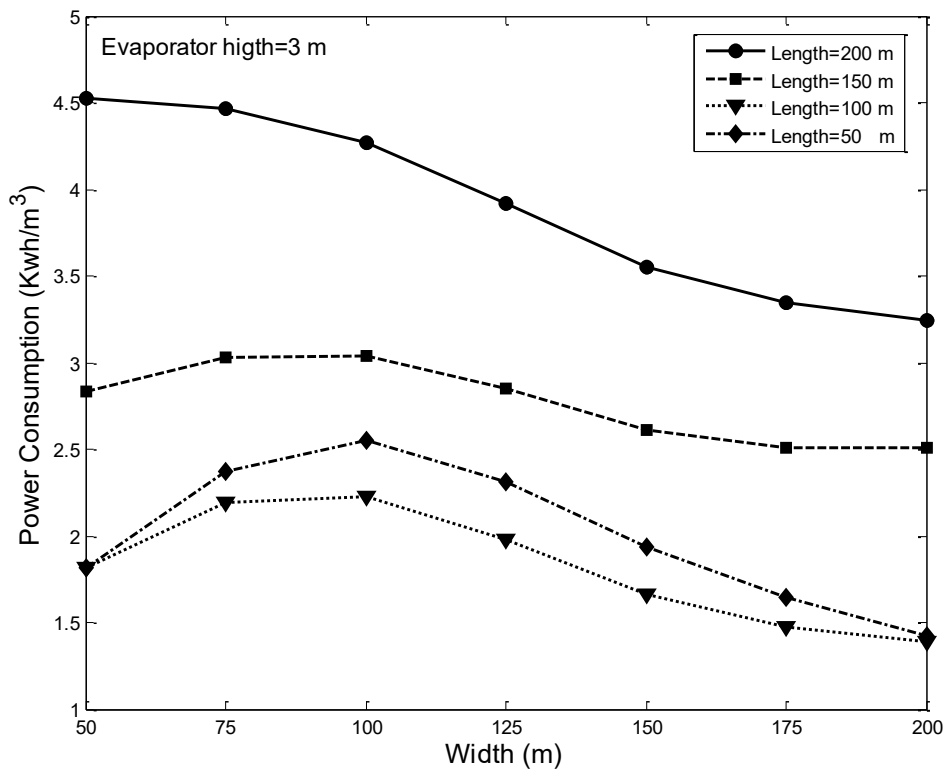
شکل ۳: دیاگرام آموزش با الگوریتم لونیبرگ-مارکوآرت: w_k وزن گام جاری و w_{k+1} وزن گام بعد، E_k خطای جاری و E_{k+1} خطای گام بعد [۱۹]
 Fig. 3: Training diagram for Levenberg-Marquardt algorithm, weight of current step, weight of next step, current error and next error step.



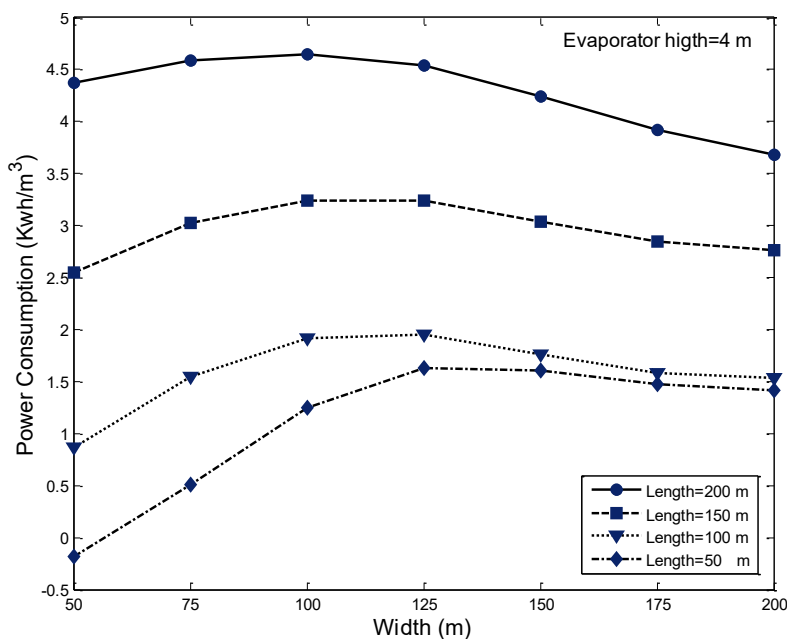
شکل ۴: مقادیر پیش‌بینی شده از میزان مصرف انرژی (kWh/m³) در مقابل داده‌های تجربی با مدل ام‌ا‌ل‌پی.
 Fig. 4: Estimated values with MLP model of energy consumption (kWh/m³) versus experimental data



شکل ۵: اثر عرض گلخانه بر روی مصرف انرژی در ارتفاع اواپراتور ثابت برابر ۲ متر و ضریب گذردهی سقف گلخانه ۰/۶
 Fig. 5: Effect of greenhouse width on energy consumption at a constant evaporator height of 2 m and roof transparency of 0.6



شکل ۶: اثر عرض گلخانه بر روی مصرف انرژی در ارتفاع اواپراتور ثابت برابر ۳ متر و ضریب گذردهی سقف گلخانه ۰/۴
 Fig. 6: Effect of greenhouse width on energy consumption at a constant evaporator height of 3 m and roof transparency of 0.4



شکل ۷: اثر عرض گلخانه بر روی مصرف انرژی در ارتفاع اواپراتور ثابت برابر ۴ متر و ضریب گذردهی سقف گلخانه ۰/۴

Fig. 7: Effect of greenhouse width on energy consumption at a constant evaporator height of 4 m and roof transparency of 0.4

روی پدها تحت تاثیر تغییر ارتفاع اواپراتور قرار می‌گیرند. این تغییرات همان‌گونه که در شکل ۸ نیز نشان داده شده، رابطه مستقیمی با تغییر ارتفاع اواپراتور ندارند.

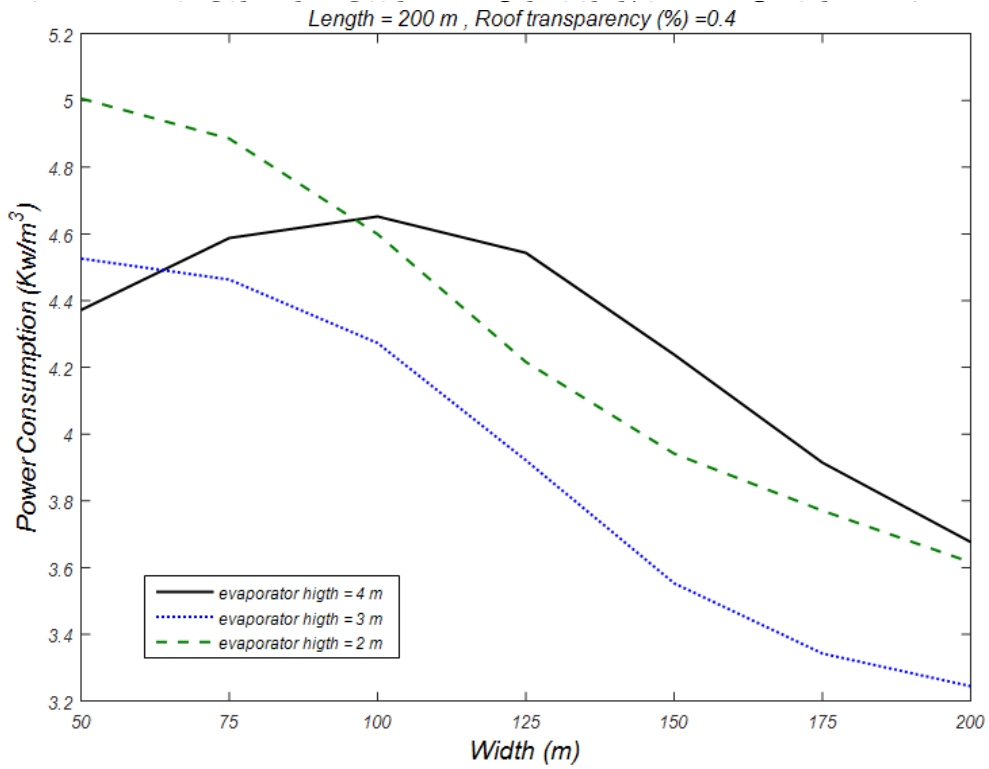
برای بهتر نشان دادن تاثیر پارامترها بر روی میزان مصرف انرژی بر واحد آب تولیدی، از نمودارهای سه بعدی که تاثیر پارامترها را با هم نشان می‌دهد، استفاده شده است.

در شکل ۹ تاثیر عرض و طول گلخانه بر روی میزان انرژی مصرفی در ارتفاع اواپراتور و ضریب گذردهی ثابت آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در سطوح ثابت طول گلخانه، با افزایش عرض گلخانه میزان مصرف انرژی کاهش می‌یابد و در حداقل مقدار مصرف انرژی در عرض و طول ۲۰۰ متری می‌باشد که برابر ۰/۰۸۶۱۵ کیلووات ساعت بر متر مکعب است.

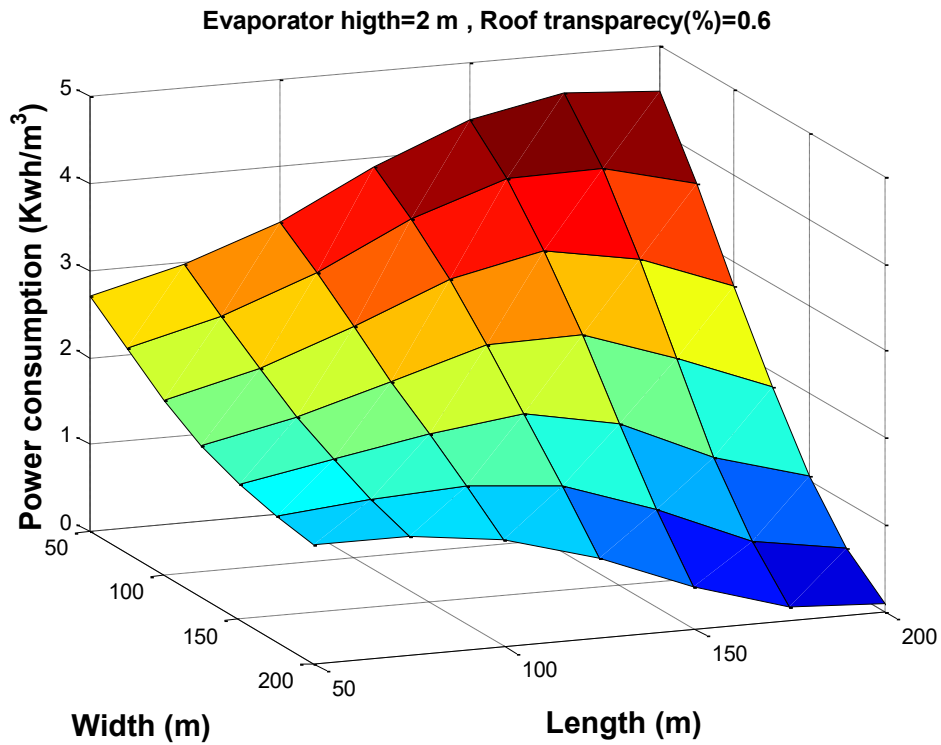
شکل ۱۰ تغییرات میزان انرژی مصرفی نسبت به تغییرات عرض گلخانه و ضریب گذردهی سقف گلخانه نشان داده شده است. در سطوح ثابت عرض گلخانه و در همه سطوح آن، با افزایش ضریب گذردهی میزان مصرف انرژی ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. این در حالی است که، در سطوح ثابت ضریب گذردهی با افزایش عرض گلخانه، میزان مصرف انرژی ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. با توجه به شکل می‌توان دریافت که بهترین ضریب گذردهی برای

عرض گلخانه، پارامتر بسیار مهمی در عملکرد و میزان مصرف انرژی گلخانه آب دریایی است. با افزایش عرض گلخانه، پدهای اواپراتور و کندانسور نصب شده دارای سطح بیشتری خواهند بود. به بیان دیگر عرض گلخانه، تاثیر مستقیم بر سطح تماس بین دو فاز هوا و آب در اواپراتورها و کندانسور خواهد داشت. با افزایش این سطح، انتقال حرارت و انتقال جرم بیشتری صورت پذیرفته و میزان آب تولیدی بیشتر خواهد شد. بنابراین با افزایش آب تولیدی، این پارامتر میزان مصرف انرژی بر واحد آب تولید کاهش می‌یابد. از طرف دیگر در عرض‌های کم گلخانه، با افزایش عرض گلخانه، میزان مصرف انرژی بر واحد آب تولیدی افزایش یافته است. علت این امر می‌تواند، عدم توزیع مناسب جریان هوا و تداخل آب و هوا در پدها باشد.

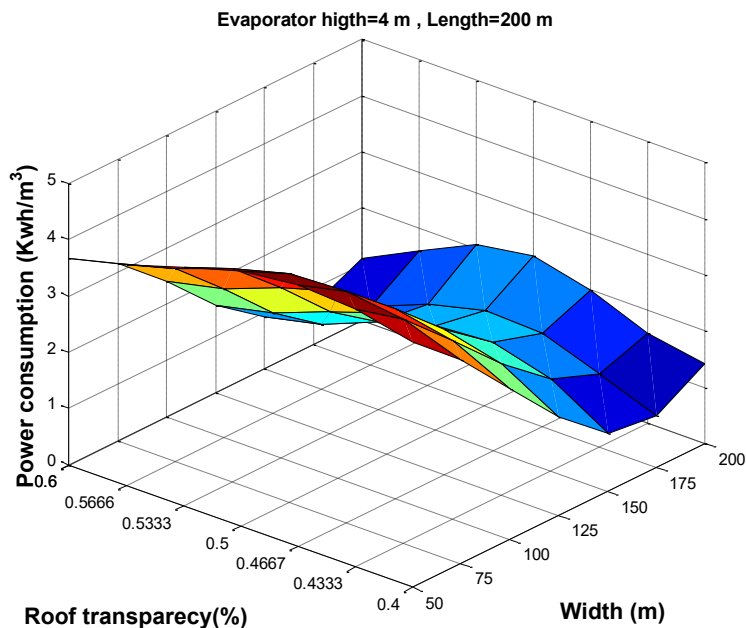
شکل ۸، تاثیر ارتفاع اواپراتور را بر روی میزان مصرف انرژی را نشان می‌دهد. شکل نشان می‌دهد، مصرف انرژی بر واحد آب تولیدی در اواپراتور با ارتفاع ۳ متر، از ارتفاع اواپراتور ۲ متر کمتر است. اما ارتفاع اواپراتور ۴ متر رفتار متفاوتی دارد و میزان مصرف انرژی در آن از ارتفاع ۲ و ۳ متر بالاتر است. علت این امر می‌تواند در این باشد که تغییر ارتفاع اواپراتور بر روی پارامترهای گوناگونی تاثیر می‌گذارد. به عنوان مثال، چگونگی توزیع جریان هوای عبوری از پدهای اواپراتور، چگونگی توزیع آب شور بر روی این پدها و سرعت هوای ورودی از



شکل ۸: تاثیر ارتفاع مختلف اواپراتور و عرض گلخانه بر روی مصرف انرژی در گلخانه آب دریایی
 Fig. 8: Effect of different evaporator height and greenhouse width on energy consumption



شکل ۹: تاثیر طول و عرض گلخانه بر روی آب شیرین تولیدی در ارتفاع اواپراتور و ضریب گذردهی ثابت
 Fig. 9: Effect of height and width of greenhouse on fresh water production at constant evaporator height and roof transparency



شکل ۱۰: تاثیر تغییرات عرض گلخانه و ضریب گذردهی بر روی مصرف انرژی در ارتفاع اواپراتور و طول گلخانه ثابت
Fig. 10: Effect of variation of the greenhouse width and roof transparency in energy consumption at constant evaporator height and greenhouse length

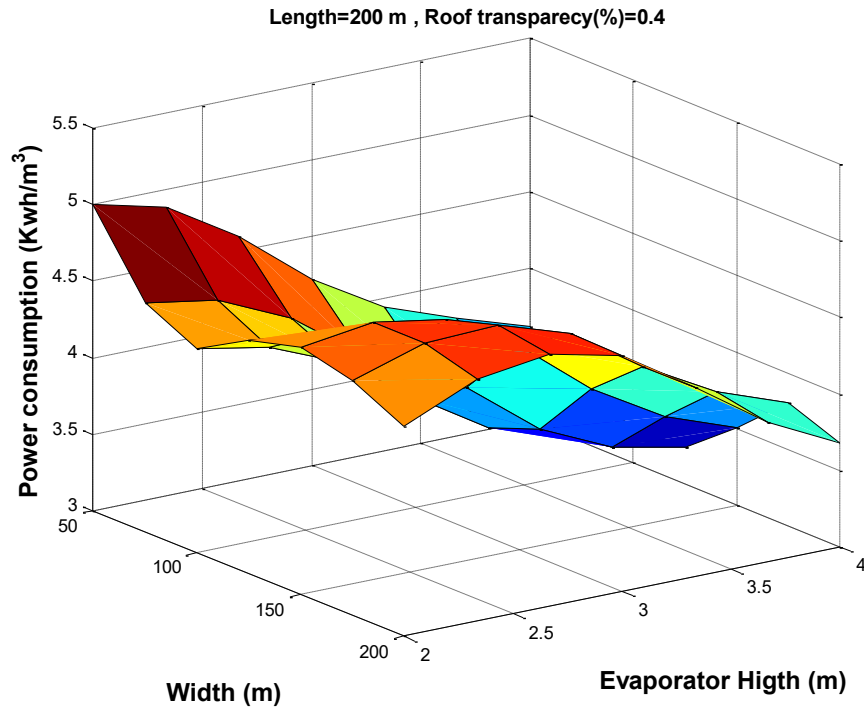
متری از نظر مصرف انرژی مناسب تر است و بنابراین به عنوان گلخانه بهینه از جنبه انرژی در نظر گرفته می شود. بدیهی است برای انتخاب مناسب ترین گلخانه از جنبه اقتصادی باید محاسبات اقتصادی صورت پذیرد.

۵- نتیجه گیری

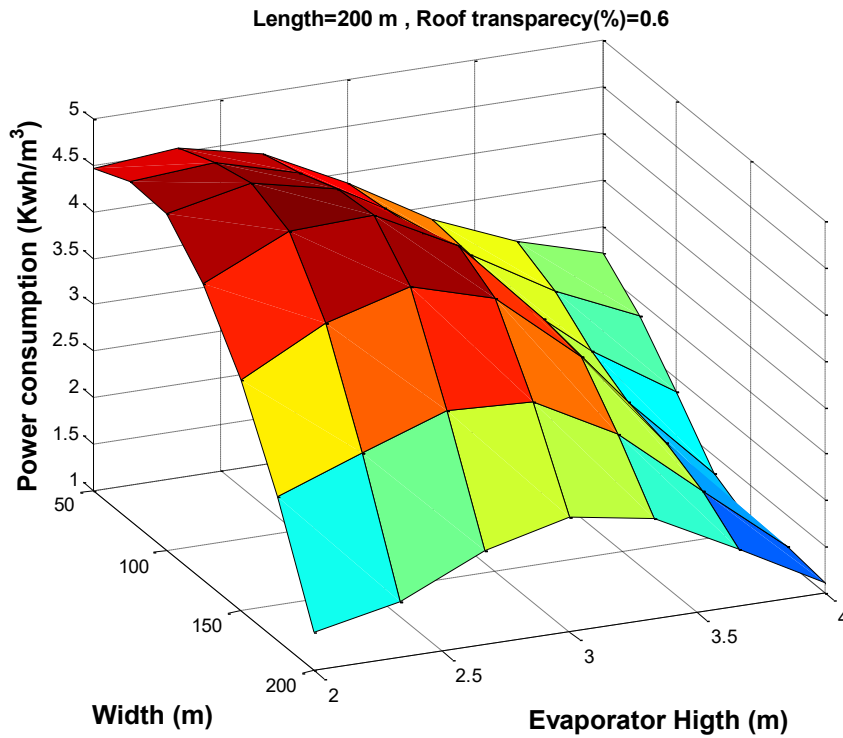
در این مطالعه اثر پارامترهای طراحی گلخانه از قبیل عرض، طول، ارتفاع اواپراتور و ضریب گذردهی سقف گلخانه بر روی میزان مصرف انرژی گلخانه با استفاده از شبکه هوش مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، ابعاد هندسی گلخانه از قبیل عرض، طول، ارتفاع اواپراتور در میزان مصرف انرژی بر واحد آب تولیدی بسیار تاثیر گذار هستند. با افزایش عرض گلخانه در یک طول ثابت میزان مصرف انرژی در ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد. در سطوح ثابت عرض گلخانه و در همه سطوح آن، با افزایش ضریب گذردهی سقف گلخانه میزان مصرف انرژی ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد با افزایش ارتفاع اواپراتور میزان مصرف انرژی ممکن است افزایش یا کاهش یابد. گلخانه ای با ۱۲۵ متر عرض، ۲۰۰ متر طول، ارتفاع اواپراتور برابر ۴ متر و ضریب گذردهی ۰/۶ دارای آب شیرین تولیدی ۱۶۱/۶

گلخانه آب دریایی ۰/۶ می باشد. شکل های ۱۱ و ۱۲ میزان مصرف انرژی را با تغییرات عرض گلخانه و ارتفاع اواپراتور برای دو ضریب گذردهی متفاوت نشان داده است. در این شکل نیز در سطوح ثابت ارتفاع اواپراتور، با افزایش عرض گلخانه میزان مصرف انرژی کاهش یافته است. همچنین مشاهده می شود که با افزایش عرض گلخانه از ۵۰ متر به ۲۰۰ متر، مصرف انرژی از ۴/۵ به ۱ کیلووات ساعت بر متر مکعب می رسد که در نوبه خود مقدار قابل توجهی است. این شکل نشان می دهد، عرض گلخانه یکی از مهم ترین پارامترهای تاثیر گذار در عملکرد گلخانه است. با افزایش عرض گلخانه، سطح تماس بین دو فاز آب و هوا افزایش می یابد که می تواند در تبخیر سطحی آب نقش مهمی ایفا کند.

با مقایسه شکل ها، می توان نتیجه گرفت که گلخانه ای با ۲۰۰ متر عرض، ۲۰۰ متر طول، ارتفاع اواپراتور برابر ۴ متر و ضریب گذردهی ۰/۶ از نظر مصرف انرژی، بهترین حالت برای گلخانه آب دریایی می باشد. ولی در کنار این مورد گلخانه ای با ۱۲۵ متر عرض، ۲۰۰ متر طول، ارتفاع اواپراتور برابر ۴ متر و ضریب گذردهی ۰/۶ دارای آب تولیدی ۱۶۱/۶ مترمکعب در روز و ۱/۵۵۸ کیلووات ساعت بر متر مکعب مصرف انرژی است که نسبت به گلخانه ای با ابعاد ۲۰۰



شکل ۱۱: تاثیر تغییرات عرض گلخانه و ارتفاع اواپراتور بر روی مصرف انرژی در طول گلخانه ۲۰۰ و ضریب گذردهی ۰/۴
Fig. 11: Effect of variation of the greenhouse width and roof transparency in energy consumption at a constant greenhouse length of 200 m and roof transparency of 0.4



شکل ۱۲: تاثیر تغییرات عرض گلخانه و ارتفاع اواپراتور بر روی مصرف انرژی در طول گلخانه ۲۰۰ و ضریب گذردهی ۰/۶
Fig. 12: Effect of variation of the greenhouse width and roof transparency in energy consumption at a constant greenhouse length of 200 m and roof transparency of 0.6

ternational Conference on Heat Powered Cycles, Larnaca, Cyprus, 2004.

- [9] J. Perret, A. Al-Ismaïli, S. Sablani, Development of a humidification–dehumidification system in a quonset greenhouse for sustainable crop production in arid regions, *Biosystems engineering*, 91(3) (2005) 349-359.
- [10] B. Dawoud, Y. Zurigat, B. Klitzing, T. Aldoss, G. Theodoridis, On the possible techniques to cool the condenser of seawater greenhouses, *Desalination*, 195(1) (2006) 119-140.
- [11] H. Mahmoudi, S. Abdul-Wahab, M. Goosen, S. Sablani, J. Perret, A. Ouagued, N. Spahis, Weather data and analysis of hybrid photovoltaic–wind power generation systems adapted to a seawater greenhouse desalination unit designed for arid coastal countries, *Desalination*, 222(1) (2008) 119-127.
- [12] T. Tahri, S. Abdul-Wahab, A. Bettahar, M. Douani, H. Al-Hinai, Y. Al-Mulla, Simulation of the condenser of the seawater greenhouse: part I: theoretical development, *Journal of thermal analysis and calorimetry*, 96(1) (2009) 35-42.
- [13] T. Tahri, M. Douani, S. Abdul-Wahab, M. Amoura, A. Bettahar, Simulation of the vapor mixture condensation in the condenser of seawater greenhouse using two models, *Desalination*, 317 (2013) 152-159.
- [14] T. Tahri, M. Douani, M. Amoura, A. Bettahar, Study of influence of operational parameters on the mass condensate flux in the condenser of seawater greenhouse at Muscat, Oman, *Desalination and Water Treatment*, 57(30) (2016) 13930-13937.
- [15] T. Zarei, R. Behyad, E. Abedini, Study on parameters effective on the performance of a humidification–dehumidification seawater greenhouse using support vector regression, *Desalination*, 435 (2018) 235-245
- [16] H. Mahmoudi, N. Spahis, M.F. Goosen, S. Sablani, S.A. Abdul-wahab, N. Ghaffour, N. Drouiche, Assessment of wind energy to power solar brackish water greenhouse desalination units: A case study from Al-

مترمکعب در روز و ۱/۵۵۸ کیلووات ساعت بر متر مکعب مصرف انرژی است که به عنوان مقدار بهینه از جنبه مصرف انرژی برای گلخانه آب دریایی در نظر گرفته شده است.

منابع

- [1] F.A. Al-Sulaiman, M.I. Zubair, M. Atif, P. Gandhidasan, S.A. Al-Dini, M.A. Antar, Humidification dehumidification desalination system using parabolic trough solar air collector, *Applied Thermal Engineering*, 75 (2015) 809-816.
- [2] A. Giwa, H. Fath, S.W. Hasan, Humidification–dehumidification desalination process driven by photovoltaic thermal energy recovery (PV-HDH) for small-scale sustainable water and power production, *Desalination*, 377 (2016) 163-171.
- [3] M. Zamen, S. Soufari, S.A. Vahdat, M. Amidpour, M. Zeinali, H. Izanloo, H. Aghababaie, Experimental investigation of a two-stage solar humidification–dehumidification desalination process, *Desalination*, 332(1) (2014) 1-6.
- [4] H. Sharon, K. Reddy, A review of solar energy driven desalination technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41 (2015) 1080-1118.
- [5] M. Zamen, M. Amidpour, M.R. Firoozjaei, A novel integrated system for fresh water production in greenhouse: Dynamic simulation, *Desalination*, 322 (2013) 52-59.
- [6] A.M. Al-Ismaïli, H. Jayasuriya, Seawater greenhouse in Oman: A sustainable technique for freshwater conservation and production, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54 (2016) 653-664.
- [7] M. Goosen, S. Sablani, C. Paton, J. Perret, A. Al-Nuaimi, I. Haffar, H. Al-Hinai, W. Shayya, Solar energy desalination for arid coastal regions: development of a humidification–dehumidification seawater greenhouse, *Solar energy*, 75(5) (2003) 413-419.
- [8] P. Davies, C. Paton, The seawater greenhouse and the watermaker condenser, in: *Proc. HPC2004—3rd In-*

- [18] J. Qiao, L. Wang, C. Yang, K. Gu, Adaptive Levenberg-Marquardt Algorithm Based Echo State Network for Chaotic Time Series Prediction, IEEE Access, (2018).
- [19] E.K. Chong, S.H. Zak, An introduction to optimization, John Wiley & Sons, 2013.
- geria, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(8) (2009) 2149-2155.
- [17] P.J. Kumar, Multilayer Perceptron Neural Network Based Immersive VR System for Cognitive Computer Gaming, in: Progress in Advanced Computing and Intelligent Engineering, Springer, 2018, pp. 91-102.

