

# فصلنامه بوم فناوری

سال اول | شماره دوم | تابستان ۱۴۰۴



|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| نگاهی به نشریه                   | 4 |
| مدیران انجمن از ابتدا            | 6 |
| مدیران انجمن از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۴ | 8 |

## میز فناوری‌های نرم

مقاله: ضمانت اجرای مناسب برای قرارداد منع افشا

مقاله: قانون کار و چالش‌های رعایت نکردن آن

مقاله: اهمیت همسویی بنیانگذاران کسب و کار در حل اختلافات داخلی

مقاله: چالش‌های ثبت اختراع در حوزه هوش مصنوعی و نرم‌افزار

مقاله: رو آوردن به شکست‌پذیری

## میز آب، محیط زیست و انرژی

مقاله: طراحی یک سیستم گرمایش خورشیدی به منظور تأمین آب

مقاله: بومی سازی موتورهای الکتریکی Brushless محرک حمل و نقل پاک در جهت حفظ محیط زیست و سلامت شهری از آلاینده های کربنی

## میز مواد پیشرفته و ساخت و تولید

مصاحبه: فیلترهایی که صنعت ایران را نفس تازه می‌دهند



10



48

50

## میز فولاد

مقاله: سیستم یکپارچه اسکرابر مرطوب پربازده و نیکتر به منظور بازیافت همزمان آب و اسلاری DRI در ناحیه احیا مستقیم

## میز سلامت و زیست فناوری

مصاحبه: پیوند فناوری و دامپروری برای آینده‌ای پایدار

## میز ساختمان

مقاله: نوآوری در مصالح ساختمانی پایدار با استفاده از ضایعات صنعت

مقاله: طراحی و ساخت سیستم هوشمند انتقال نور خورشید تکنولوایت

صاحب امتیاز: انجمن شرکت‌های دانش‌بنیان و فناور استان اصفهان

مدیرمسئول: مهندس فرید نجات‌بخش

سردبیر: دکتر سیدمهدی ابطی

هیات تحریریه:

حمیدرضا توکلی

فرید نجات‌بخش

بهزاد صادقیان

سبحان طائریان

جواد منشی

فهیمة موسوی

لیلا یزدانی

راضیه مسایلی

معصومه انصاری‌تبار

افشین پنجه‌پور

عمران محمدی

میثم صادقی

طراحی گرافیکی نشریه، جلد، صفحه‌آرایی:

آسنا فاضلی

مطالب، لزوماً انعکاس دیدگاه های مجله نمیباشد.

مجله در دخل، تصرف و تلخیص مقاله ها آزاد است.





اواخر قرن شانزدهم میلادی یعنی سال‌ها پس از تاسیس دانشگاه در غرب توسط مایکل دی مونتاین فرانسوی به قلم تحریر درآمد.

آن جایی که دانشمندان به این نتیجه رسیدند از طریق مقاله می‌توانند با دنیای پیرامونی خود زبان مشترک ایجاد کنند.

به مرور با تغییر نسل دانشگاه‌ها از آموزش محور و پژوهش محور به سمت دانشگاه‌های کارآفرین، ارتباط ایشان با شرکت‌های صاحب فناوری توسعه پیدا کرد و نتیجتاً جهت‌گیری مقالات عمدتاً به سمت مقالات کاربردی تغییر کرد. این در حالی است که ما هنوز در جایگاه اولیه مقاله نویسی در حال دست و پا زدن بوده و نتوانسته‌ایم از مقاله به عنوان زبان مشترک شرکت‌های فناوری با جامعه مخاطب استفاده لازم را ببریم و مقالات ما همچنان در بین دانشگاهیان چرخ می‌خورد.

لذا در انجمن بر آن شدیم که از این راه ارتباطی موثر و قابل توسعه استفاده بیشتری نموده و با انتشار نشریه بوم فناوری فرصتی فراهم گردد تا شرکت‌های فناوری و دانش‌بنیان و سایر بازیگران این زیست بوم بتوانند از این درگاه ارتباطی پشتوانه علمی و تجربی تولیدات خود را با جامعه هدف به اشتراک گذاشته و نهایتاً جزئی از جورچین زیست بوم اقتصاد دانش‌بنیان به این روش تکمیل گردد.



نویسنده: مهندس فرید نجات‌بخش



# مکالمی به نشریه

آنقدر در همه کارهایمان به کپی کردن از روی دست غریبه‌ها عادت کرده‌ایم که هیچگاه به سراغ فلسفه و دلیل ایجاد شدن آن‌ها نرفته‌ایم.

صرفاً چون کشورهای توسعه یافته کاری را انجام می‌دهند ما هم سعی می‌کنیم با فرسنگ‌ها فاصله پا جای پای ایشان بگذاریم و اما این عدم تفکر در ارتباط با فلسفه وجودی کارها باعث شده تا نتوانیم نتایج مطلوب را در مقایسه با مبدعین این امور داشته باشیم. چرا که آنها از نیاز به راهکار رسیده‌اند و ما بدون درک نیاز به راه افتاده‌ایم.

یکی از این کارهای تقلیدی تولید مقاله است. از زمان تاسیس اولین دانشگاه تقلیدی در ایران، بدون تفکر راجب دلیل مقاله نویسی، این مسیر را شروع کرده‌ایم.

در صورتی که وقتی تاریخچه مقاله نویسی در غرب را بررسی می‌کنیم می‌بینیم که مقاله نویسی در غرب سال‌ها پس از تاسیس دانشگاه‌ها رواج یافته و به نوعی می‌توان گفت اولین مقاله در



## تاریخچه انجمن شرکت‌های دانش‌بنیان و فناوری استان اصفهان

سال‌ها نیاز به یک تشکل در بین فعالان اقتصادی حوزه‌ی تولید فناوری حس می‌شد تا اینکه در سال ۱۳۹۳ هیات‌موسسی مشتمل بر افراد زیر؛ اقدام به بررسی و انتخاب ساختار متناسب کردند و نهایتاً مجمع موسس و اولین انتخابات هیات مدیره انجمن شرکت‌های دانش‌بنیان استان اصفهان در تاریخ ۹۴/۲/۱۵ باحضور مسوولین برگزارشد و به مدت دو سال هیات‌مدیره منتخب فعالیت خود را آغاز کردند و هم اکنون بیش از ۱۷۰ عضو فعال دارد.

آقای آرش انصاری، مدیرعامل شرکت سفیرسبز اصفهان

خانم محبوبه ایلدرآبادی، مدیرعامل شرکت راه سبز چهلستون

آقای مسعود باطنی، نایب‌رئیس هیات‌مدیره شرکت پتروسبز طوبی

آقای هادی بصیری، مدیرعامل شرکت مکترونیک آریاگستر

آقای مرتضی پارسا، مدیرعامل شرکت پردازش هوشمند ساینا

خانم اعظم مردی‌حلاج، نایب‌رئیس هیات‌مدیره شرکت نانوفراز سپاهان

آقای احمدرضا قهرمان‌فرد، مدیرعامل شرکت کیمیافرایند نقش جهان

آقای محسن سلطانی، مدیرعامل شرکت پشتیبان‌امین نقش جهان

آقای محمد علی‌آبادی فراهانی، مدیرعامل شرکت آریا پلیمر پیشگام

آقای سید یاسر معین‌الدینی، معاون مدیرعامل شرکت شاهراه فناوری قرن

آقای بابک مرتضوی‌منش، مدیرعامل شرکت ایده پردازان آموزش کنند.



## مدیران انجمن ۹۴ تا ۹۶

- مهدی گل‌محمدی، رئیس هیات‌مدیره
- مدیر فناوری اطلاعات شرکت ساخت و تجهیزات سپاهان (مپنا)
- سیدکمال فیروزه‌ای، نایب‌رئیس هیات‌مدیره
- مدیرعامل شرکت زیست فرآورده سپاهان
- مسعود باطنی، خزانه‌دار
- نایب‌رئیس هیات‌مدیره شرکت پترو سبز طوبی
- محمد علی‌آبادی فراهانی، منشی و عضو هیات‌مدیره

مدیرعامل شرکت آریا پلیمر پیشگام

- محسن سلطانی، عضو هیات‌مدیره

مدیرعامل شرکت پشتیبان‌امین نقش جهان

- حسین مجلسی، عضو هیات‌مدیره

مدیرعامل شرکت فراتحقیق سپاهان

- محبوبه ایلدرآبادی، عضو هیات‌مدیره

مدیرعامل شرکت راه‌سبز چهلستون

- سید یاسر معین‌الدینی، عضو علی‌البدل هیات‌مدیره

نایب‌رئیس هیات‌مدیره شرکت شاهراه فناوری قرن

- ابوالقاسم مرادی، عضو علی‌البدل هیات‌مدیره

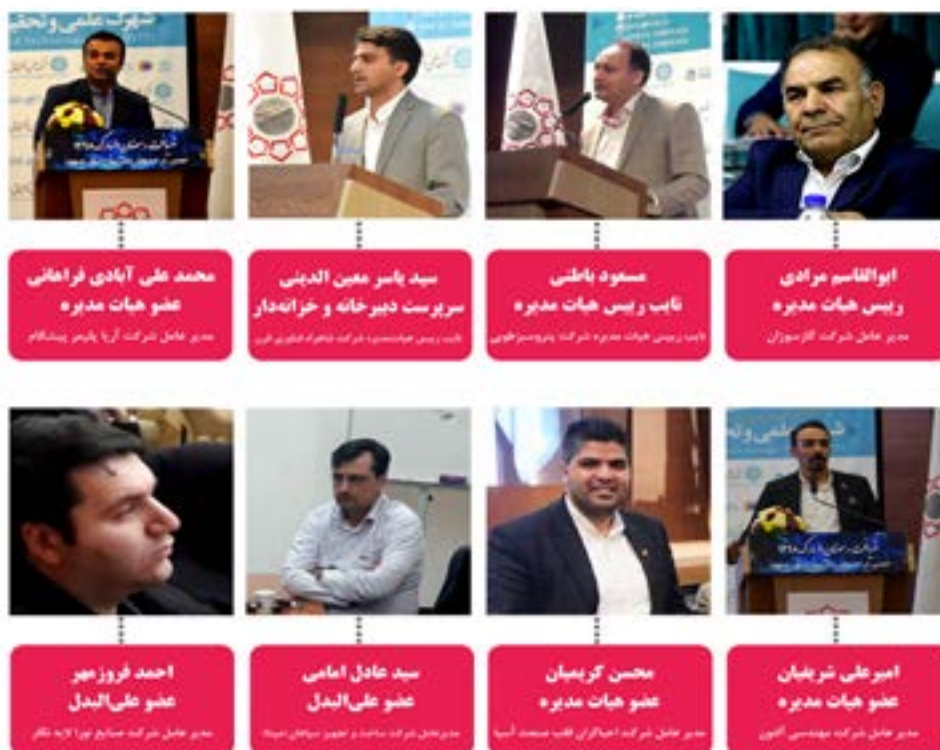
مدیرعامل شرکت گازسوزان

- مهدی خاکزاد، بازرس اصلی

مدیرعامل شرکت آبنوس سیستم آرمان



## مدیران انجمن ۹۶ تا ۹۸



## مدیران انجمن ۹۸ تا ۱۴۰۰



## مدیران انجمن ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲

|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |    |
| مسعود باطنی<br>عضو هیات‌مدیره                                                       | محمد علی آبادی<br>نایب‌رئیس هیات‌مدیره                                              | فرید نجات‌بخش<br>رئیس هیات‌مدیره                                                     |
|    |    |    |
| حمیدرضا عزیزیان<br>بازرس                                                            | میثم صادقی<br>عضو هیات‌مدیره                                                        | سعید روغنی<br>عضو هیات‌مدیره                                                         |
|   |   |   |
| بهزاد صادقیان<br>عضو هیات‌مدیره                                                     | نسیم دهقانی<br>عضو هیات‌مدیره                                                       | رضوان گودرزی<br>عضو هیات‌مدیره                                                       |
|  |  |  |
| آرش پورزرگر<br>عضو هیات‌مدیره                                                       | آسنا فاضلی<br>دبیر انجمن                                                            | مریم لاهیجانیان<br>کارشناس دبیرخانه                                                  |



سید محمدحسین حسینی‌نیا  
دبیر



فرید نجات‌بخش  
رئیس هیات‌مدیره



علی روانساز  
نایب رئیس هیات‌مدیره



حمیدرضا عزیزیان  
عضو هیات‌مدیره



وحید شمساری  
عضو هیات‌مدیره



محمد علی آبادی  
بازرس



سید ناصر عین‌الدینی  
عضو هیات‌مدیره



محسن کریمیانی  
عضو هیات‌مدیره



ماژار مومنی  
عضو هیات‌مدیره

## مدیران انجمن ۱۴۰۲-۱۴۰۴



سید ناصر عین‌الدینی  
بازرس



سعید روغنی  
عضو هیات‌مدیره



حمیدرضا عزیزیان  
نایب رئیس هیات‌مدیره



فرید نجات‌بخش  
رئیس هیات‌مدیره



امیرعلی شریانی  
عضو هیات‌مدیره



حمیدرضا عزیزیان  
عضو هیات‌مدیره و خزانه‌دار



محسن ناصر مدایی  
عضو هیات‌مدیره



سیدمحمد دخیل‌علیان  
عضو هیات‌مدیره

## ضمانت اجرای مناسب برای قرارداد منع افشا: بررسی یک

## مطالعه موردی و تبیین دیدگاه های حقوقی



نویسنده: عمران محمدی؛ وکیل پایه یک دادگستری، متخصص حقوق

تجارت داخلی و بین المللی، مشاور حقوقی شرکتهای دانش بنیان

حمیدرضا آبکار؛ کارشناس امورقراردادهای شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان

ایمیل: ١@gmail.com@mohamadi.omran

چکیده

این مقاله در ادامهء مطالب شماره ی پیشین، با محوریت بررسی ضمانت اجرای قرارداد منع افشا (NDA) به‌ویژه در زیست‌بوم شرکت‌های دانش‌بنیان تدوین شده است. در آغاز، با طرح یک مطالعه‌ی موردی واقعی از کپی شدن محصول یک شرکت فناور، اهمیت حفاظت از اسرار تجاری و اطلاعات محرمانه تبیین می‌شود. سپس مجموعه‌ای از اقدامات در چهار حوزه ی حقوقی، فناورانه، مدیریتی و بازاریابی معرفی می‌گردد که می‌تواند ریسک افشای اطلاعات و کپی‌کاری را کاهش دهد.

در ادامه، تحلیل حقوقی ضمانت اجرای قرارداد منع افشا ارائه شده است؛ تحلیلی که شامل تبیین انواع ضمانت‌اجراها (فسخ، خسارت و وجه التزام) و ارزیابی کارآمدی هر یک در عمل است. مقاله نشان می‌دهد که استفاده‌ی ترکیبی از خسارت و وجه التزام، در کنار ابزارهای فنی و مدیریتی، می‌تواند قدرت اجرایی قرارداد را تقویت کند. همچنین با اشاره به قانون جدید حمایت از مالکیت صنعتی مصوب ۱۴۰۳، ابعاد کیفری و مجازات‌های مرتبط با افشای اسرار تجاری نیز بررسی می‌شود. در نهایت، نتیجه‌گیری بر این نکته تأکید دارد که قرارداد منع افشا به تنهایی مانع افشا نخواهد شد، بلکه صرفاً ریسک آن را افزایش می‌دهد. بنابراین مدیران باید با بهره‌گیری از راهکارهای مکمل، همواره یک گام جلوتر از متخلفان حرکت کنند.

مطالعه موردی: روایت یک مشاوره

در یکی از جلسات مشاوره، یکی از مدیران شرکت‌های مستقر در شهرک، مشکل خود را این‌گونه بیان کرد:

با صرف هزینه‌های فراوان و سال‌ها تلاش، محصولی طراحی کردیم که یکی از مهم‌ترین کمبودهای صنعت نفت را برطرف می‌کرد.



پس از آزمایش‌های متعدد، توانستیم آن را در چند پالایشگاه تست و تأیید کنیم. روز امضای قرارداد فروش، با صحنه‌ای عجیب روبه‌رو شدیم: محصول ما روی میز بود، اما نه همان نمونه‌ای که نصب کرده بودیم! با توضیحات مدیر تدارکات فهمیدم محصول کپی شده و با قیمتی پایین‌تر به آن‌ها عرضه شده است. سال‌ها زحمت، یک‌شبه از بین رفت.»

این روایت، واقعیتی تلخ اما رایج است؛ خطری که هر لحظه در کمین شرکت‌های دانش‌بنیان قرار دارد. هرچند این مدیر با کمک مشاوران حقوقی و فنی شهرک در پی احقاق حق خود برآمد، اما مسیر پیش‌رو طولانی و پرهزینه است.

در شماره‌ی گذشته‌ی بوم فناوری به موضوع قراردادهای NDA و راهکارهای جلوگیری از خروج اسرار تجاری و مالی پرداختیم و همچنین گفت‌وگویی درباره‌ی ثبت اختراع داشتیم. باین‌حال تجربه‌هایی مانند این روایت نشان می‌دهد که همیشه خطر تقلید و کپی‌کاری باقی است.

به همین دلیل، در این شماره به یکی از اصلی‌ترین دغدغه‌های مدیران شرکت‌های فناور می‌پردازیم: چگونه می‌توان از محصول در برابر کپی شدن محافظت کرد؟

در ادامه به چند عامل کلیدی اشاره می‌کنیم که می‌تواند تا حد زیادی مانع کپی‌کاری شود. در شماره‌های بعدی نیز، هر یک از این موارد را جزئی‌تر بررسی خواهیم کرد تا راهکارهای عملی و اجرایی برای مدیران شرکت‌های دانش‌بنیان ارائه شود.

برای جلوگیری از کپی شدن محصولات، یک مدیر دانش‌بنیان باید همزمان چند جبهه را در نظر داشته باشد. از نظر حقوقی، ثبت اختراع و مالکیت فکری، بستن قراردادهای محرمانگی و عدم رقابت، و حتی ثبت و بایگانی روند توسعه محصول می‌تواند پشتوانه محکمی ایجاد کند. در بعد فنی، هرچه طراحی محصول پیچیده‌تر و نسخه‌ها به‌روزتر باشند، کپی کردن سخت‌تر می‌شود؛ ضمن اینکه داشتن یک برند معتبر همیشه مشتری را به سمت اصل کار جذب می‌کند. در مدیریت هم ایجاد حس تعلق و وفاداری در تیم، انتخاب دقیق شرکا و ورود سریع به بازار

اهمیت زیادی دارد. و در نهایت، برندسازی، خدمات پس از فروش و ارتباط نزدیک با مشتریان مثل سپری محکم در برابر محصولات کپی عمل می‌کنند. واقعیت این است که کپی‌برداری همیشه وجود خواهد داشت، اما شرکتی موفق است که با نوآوری و هوشمندی همیشه یک قدم جلوتر از رقیب حرکت کند.

تحلیل حقوقی:

مقدمه

در شماره قبلی مجله، موضوع قرارداد منع افشا (NDA) را آغاز کردیم. اهمیت این قرارداد بر کسی پوشیده نیست؛ همان‌طور که مطالب ارائه‌شده توسط جناب آقای آبکار نیز به‌روشنی نشان می‌دهد، حفاظت از اسرار تجاری برای شرکت‌ها حیاتی است. در تمامی مثال‌هایی که ایشان در عمل با آن‌ها مواجه شده‌اند، ضرورت توجه به این موضوع به‌خوبی خودنمایی می‌کند.

در این شماره، در پی آن هستیم که بررسی کنیم برای تضمین تعهد منع افشا چه ضمانت اجرایی مناسب خواهد بود؛ به عبارت دیگر، اگر این تعهد نقض شود، چه اقداماتی می‌توان در پیش گرفت؟

یک- ضمانت اجرا و انواع آن

ضمانت اجرا به قدرت اجرایی هر تعهدی گفته می‌شود. در واقع ضمانت اجرا خود یک تعهد است که برای تضمین تعهد دیگر پیش‌بینی می‌شود. به بیان ساده‌تر، در تعیین ضمانت اجرای یک تعهد به دنبال آن هستیم که بدانیم اگر هر یک از تعهدات توسط متعهد نقض شد، طرف مقابل چه حقی خواهد داشت و چه اقدامی می‌تواند انجام دهد.

نکته مهم آن است که ضمانت اجرا در بسیاری موارد با «چک ضمانت» اشتباه گرفته می‌شود. در حالی که چک ضمانت تنها یکی از انواع ضمانت اجراهاست و استفاده از آن باید با دقت بسیار صورت گیرد؛ زیرا در غیر این صورت، نه‌تنها تضمین محسوب نمی‌شود بلکه می‌تواند قدرت قرارداد را نیز کاهش دهد. از آنجا که در هر قرارداد معمولاً بیش از یک تعهد وجود دارد، قاعده این است که برای هر تعهد، ضمانت اجرای مناسب انتخاب شود.

بر اساس قانون ایران، سه نوع ضمانت اجرا وجود دارد: فسخ، خسارت و وجه التزام.

فسخ: حالتی است که در قرارداد به یکی از طرفین اجازه داده می‌شود در صورت وقوع شرایط خاص (مانند تخلف طرف مقابل)، قرارداد را به‌طور یک‌جانبه بر هم بزنند. هرچند فسخ موضوعات حقوقی گسترده و جالبی دارد، اما برای تعهد منع افشا کارآمد نیست. به این معنا که اگر در قرارداد NDA بگوییم «در صورت افشای اطلاعات، قرارداد فسخ می‌شود»، در عمل هیچ تضمینی ایجاد نکرده‌ایم، هیچ خسارتی جبران نشده و نتیجه ملموسی برای شرکت حاصل نخواهد شد.

جبران خسارت و وجه التزام: این دو ابزار، ضمانت اجرایهای مناسب برای قراردادهای منع افشا به شمار می‌روند و می‌توانند در عمل قدرت اجرایی قرارداد را تقویت کنند.

دو- ضمانت اجرایهای قرارداد منع افشا

به‌عنوان نمونه، اگر در قرارداد ذکر شود:

«اگر متعهد اطلاعات شرکت را افشا کند، باید خسارات وارده به شرکت را جبران کند.»

این حالت، نمونه‌ای از ضمانت اجرای خسارت است. در اینجا هیچ مبلغ مشخصی برای خسارت تعیین نشده و جبران خسارت به تشخیص دادگاه یا مرجع رسیدگی وابسته است.

اما اگر عبارت قرارداد به این شکل باشد:

«اگر متعهد اطلاعات شرکت را افشا کند، باید صد میلیون تومان خسارت به شرکت پرداخت کند.»

این نمونه، وجه التزام محسوب می‌شود. در تعریف وجه التزام می‌گوییم هر جا که طرفین برای جبران خسارت، رقم مشخصی تعیین کنند، ضمانت اجرا وجه التزام خواهد بود. به همین دلیل، کمتر دیده می‌شود که در متن قرارداد به‌طور مستقیم از واژه «وجه التزام» استفاده شود، اما هر جا عددی برای خسارت قید شده باشد، ماهیت آن وجه التزام است؛ حتی اگر با ادبیات دیگری بیان شده باشد.

از این تعریف، یک نکته مهم روشن می‌شود: چک، سفته و ضمانت‌نامه بانکی نیز در واقع نوعی وجه التزام هستند؛ زیرا در نهایت به پرداخت یک مبلغ معین برای جبران خسارت اشاره دارند. بنابراین همان محدودیت‌هایی که در وجه التزام وجود دارد، در مورد چک و سفته نیز صدق می‌کند.

حال برای درک بهتر این محدودیت‌ها، ابتدا باید به مفهوم خسارت و مسائل مربوط به آن بپردازیم.

الف- خسارت

اگر در قرارداد، از جبران خسارت به‌عنوان ضمانت اجرا استفاده شده باشد، قبل از

مراجعه به کارشناس برای ارزیابی میزان خسارت، ابتدا باید حق مطالبه خسارت خود را اثبات کنید. در حقوق، به این شرایط «ارکان دعوای خسارت» گفته می‌شود.

به بیان دیگر، هر جا سخن از خسارت به میان می‌آید، در واقع این سه رکن در دل آن مستتر است:

۱. وقوع تخلف

زیان‌دیده باید ثابت کند که تعهدی وجود داشته و این تعهد نقض شده است. اثبات وجود تعهد معمولاً دشوار نیست، زیرا خود قرارداد آن را نشان می‌دهد. اما اثبات نقض تعهد، به‌ویژه در مورد تعهد منع افشا، می‌تواند بسیار سخت باشد. پرسش اصلی این است: «چگونه می‌توان ثابت کرد چه کسی اطلاعات را افشا کرده است؟»

۲. ورود خسارت

اثبات این رکن از رکن نخست دشوارتر است. زیان‌دیده باید نشان دهد که واقعاً خسارتی به او وارد شده است. این خسارت باید ملموس باشد؛ چیزی معادل از دست رفتن سرمایه یا پول نقد. در نقض تعهد منع افشا، خسارت‌ها اغلب به‌سرعت قابل مشاهده نیستند و گاهی صرفاً به شکل «هزینه فرصت از دست‌رفته» بروز می‌کنند که قانون به‌سختی آن را خسارت قابل مطالبه می‌داند.

۳. رابطه علیت

این رکن دشوارترین بخش دعوای خسارت است. باید اثبات شود که بین تخلف از تعهد و خسارت واردشده، رابطه مستقیم وجود دارد؛ به‌گونه‌ای که اگر متعهد تخلف نمی‌کرد، زیان‌دیده متضرر نمی‌شد. هر عاملی که این رابطه را قطع کند، امکان جبران خسارت را از بین می‌برد.

حال اگر این ارکان را در زمینه‌ی تعهد منع افشا بررسی کنیم، می‌بینیم که در هر مرحله اثبات آن‌ها با دشواری‌های فراوانی همراه است. نکته کلیدی اینجااست: زمانی که در قرارداد منع افشا تصمیم داریم از ضمانت اجرای خسارت استفاده کنیم، باید از خود بپرسیم:

ب- وجه التزام

تعریف وجه التزام را دیدیم. خاصیت استفاده از وجه التزام این است که اثبات دو رکن از سه رکن دعوای خسارت را از عهده زیان دیده بر میدارد. اگر در قرارداد بگوییم که اگر متعهد تخلف کند باید صد میلیون تومان بدهد، در این حالت تنها کافی است ثابت کنیم که متعهد تخلف کرده است و نیازی نیست که ورود خسارت و رابطه علیت را هم ثابت کنیم.

وجه التزام در ظاهر بهتر از خسارت است اما یک بعد منفی نیز دارد. رقمی که به عنوان وجه التزام تعیین می شود برای همیشه ثابت می ماند. قرارداد منع افشا معمولاً یک قرارداد طولانی مدت و چندین ساله است. اگر با ارقام روز قرارداد، رقمی را برای وجه التزام تعیین کنیم این رقم برای همیشه ثابت خواهد بود و اگر تخلف متعهد خسارت بیشتری به ما وارد کند، نمی توانیم مبلغی بیش از وجه التزام را مطالبه کنیم. همچنین اگر بخواهیم رقم وجه التزام را بسیار زیاد تعیین کنیم، احتمالاً خود را از جذب استعداها در شرکت محروم می کنیم. بنابراین استفاده از هر یک از این دو ضمانت اجرا به ویژگی های اسرار شرکت و نیازهای طرفین و همچنین نوع قرارداد منع افشا (شماره قبلی مجله) بستگی دارد.

به عنوان راهنمایی نکات زیر را مدنظر قرار دهید:

نکته یک- در قرارداد منع افشا همواره به ترکیبی از خسارت و وجه التزام فکر کنید.

نکته دو- چک و سفته، چیزی به قدرت وجه التزام اضافه نمی کنند.

نکته سه- قرارداد منع افشا از افشا جلوگیری نمی کند بلکه فقط ریسک افشا را برای متخلف بالا می برد.

نکته چهار- از آنجایی که در هر دو ضمانت اجرا، اثبات افشا بر عهده زیان دیده است که در بسیاری از موارد واقعا دشوار است، از ابزارهای فرا قراردادی برای رهگیری اطلاعاتی که در اختیار هر یک از پرسنل قرار می گیرد استفاده کنید مانند سیستم گردش اطلاعات خاص در شرکت تا از این طریق بتوانید افشا کننده را شناسایی کنید. در این زمینه باید از دانش متخصصان این حوزه استفاده کنید.

سه- جرایم و مجازات ها

افشای اسرار تجاری شرکت، علاوه بر اینکه در قرارداد منع افشا تضمین می‌شود، جرم نیز محسوب می‌گردد. گرچه پیش از سال ۱۴۰۳ قوانینی برای مجازات افشای اطلاعات حساس وجود داشت — مانند ماده ۶۴۸ قانون مجازات اسلامی و ماده یک قانون مسئولیت مدنی — اما در سال ۱۴۰۳ «قانون حمایت از مالکیت صنعتی» تصویب شد که رویکردی روزآمد و یکپارچه به موضوع افشای اسرار تجاری ارائه می‌دهد. مقاله را با ذکر مواد مربوط به افشای اسرار از قانون مذکور خاتمه

می‌دهیم:

ماده ۱۳۱ ـ ارتکاب هر یک از رفتارهای زیر جرم محسوب و مرتکب، علاوه بر جبران خسارت و ضبط اموال و عوائد حاصل از جرم، به پرداخت جزای نقدی درجه پنج یا جزای نقدی معادل دو برابر خسارات وارده‌شده (هر کدام که بیشتر باشد) محکوم می‌شود:

تحصیل یا افشای اسرار تجاری متعلق به غیر بدون رضایت او یا بر خلاف مواد (۱۲۳) و (۱۲۶) این قانون.

ماده ۱۲۳ ـ دستیابی به اسرار تجاری یا افشای آنها بدون اذن مالک، نقض اسرار تجاری محسوب می‌شود.

ماده ۱۲۶ ـ حق بهره‌برداری از اسرار تجاری در انحصار صاحب آن اسرار می‌باشد و او یا اشخاص مأدون از طرف او می‌توانند اسرار تجاری را به دیگری منتقل نموده و با منتقل‌الیه، قرارداد التزام به عدم افشای اطلاعات منعقد نمایند.

تبصره ـ هر شخصی که اسرار تجاری را به هر نحو در اختیار دیگری قرار می‌دهد، باید موضوع سَر تجاری بودن آن را به طرف مقابل اطلاع دهد؛ در غیر این صورت، نقض اطلاعات از سوی شخص ثالث مشمول نقض اسرار تجاری نمی‌باشد.

هم‌بنیان‌گذار شما باید «ارزش واقعی» به تیم اضافه کند، نه فقط حضور نهادین.

ج) تعهد زمانی و انرژی

استارت‌آپ شغل پاره‌وقت نیست. بنیان‌گذار باید آماده‌ی صرف زمان‌های طولانی، تحمل استرس و مسئولیت‌پذیری بالا باشد. افراد زیادی در ابتدا مشتاق به‌نظر می‌رسند اما در عمل از عهده فشارها برمی‌آیند. شریکی انتخاب کنید که حاضر است زمان، انرژی و گاهی حتی آسایش شخصی خود را فدای پیشرفت کسب‌وکار کند.

چ) دقت در جذب سرمایه‌گذاران به‌عنوان شریک

گاهی ممکن است سرمایه‌گذاری پیشنهاد مشارکت یا هم‌بنیان‌گذاری دهد، اما این پیشنهاد همیشه به نفع استارت‌آپ نیست. ورود افراد صرفاً به‌دلیل منابع مالی‌شان، بدون در نظر گرفتن تطابق ارزشی و فرهنگی، می‌تواند در آینده منجر به کنترل‌گری، تضاد منافع یا انحراف از مسیر اصلی شود.



## قانون کار و چالش‌های رعایت نکردن آن: وقتی یک اشتباه کوچک

### میلیاردها تومان خسارت

چکیده

قانون کار ستون عدالت اجتماعی و سپر حفاظتی برای کارگران و کارفرمایان است، اما بی‌توجهی به آن پیامدهای مالی، انسانی و اعتباری سنگینی به دنبال دارد. این مقاله فلسفه وجودی قانون کار، اصول کلیدی آن و پیامدهای عدم رعایت آن را بررسی می‌کند و با ارائه چند مثال واقعی، نشان می‌دهد که حتی یک اشتباه ساده در اجرای قانون می‌تواند منجر به خسارت‌های میلیاردی و بحران نیروی انسانی شود. در نهایت راهکارهایی شامل آموزش مدیران، ثبت دقیق اطلاعات کارکنان، پیاده‌سازی کنترل داخلی و بازنگری قراردادهای ارائه شده است تا سازمان‌ها بتوانند هم عدالت اجتماعی را رعایت کنند و هم امنیت و اعتبار خود را حفظ نمایند.

مقدمه

کار همواره یکی از اساسی‌ترین عناصر زندگی اجتماعی و اقتصادی انسان‌ها بوده است. با رشد جوامع و توسعه صنایع، نیاز به چارچوب قانونی برای تنظیم روابط میان کارگر و کارفرما بیش از پیش احساس شد. این چارچوب همان چیزی است که امروز با عنوان قانون کار می‌شناسیم.

قانون کار شاخه‌ای مهم از حقوق عمومی و اجتماعی است که هدف آن ایجاد تعادل میان منافع کارگران و کارفرمایان و حمایت از نیروی کار است. اما آیا این قانون همیشه توانسته تعادل واقعی ایجاد کند، یا صرفاً به ابزاری برای محدود کردن کارفرما و ایجاد بار اضافی تبدیل شده است؟ تجربه عملی و تاریخچه قانون پاسخ‌های چالش‌برانگیزی ارائه می‌دهد.

تاریخچه قانون کار

در دوران پیشاصنعتی، روابط کاری بیشتر بر اساس سنت و عرف بود و قانون مدون وجود نداشت. با صنعتی شدن اروپا و شرایط سخت کار، قوانین اولیه مانند محدودیت ساعات کار کودکان و حقوق پایه برای کارگران شکل گرفت.

در قرن بیستم، استانداردهای جهانی برای حقوق کار تدوین شد و حق تشکیل اتحادیه، منع کار اجباری و منع تبعیض تصویب گردید. در ایران، نخستین قانون کار مدون در سال ۱۳۲۵ تصویب شد و قانون فعلی در سال ۱۳۶۹ اجرایی گردید، با تمرکز بر حمایت از کارگران، ایمنی محیط کار و تشکلهای کارگری.

فلسفه وجودی قانون کار

قانون کار برای محدود کردن کارفرما وضع نشده است؛ بلکه فلسفه آن حفاظت از جان انسان‌ها و تأمین توازن اجتماعی و اقتصادی است. این فلسفه را می‌توان در چند محور کلیدی مشاهده کرد:

حفظ کرامت انسانی و جان کارگر: کارگر نه تنها وسیله تولید، بلکه انسانی با حقوق بنیادین است .

ایجاد عدالت اجتماعی: تعادل میان قدرت اقتصادی کارفرما و نیازهای انسانی کارگر.

تضمین امنیت اجتماعی: از طریق بیمه، مستمری و حمایت از خانواده کارگر در زمان حادثه.

مدیریت ریسک برای کارفرما: رعایت قانون، کارفرما را در برابر بار مالی و حقوقی حوادث احتمالی محافظت می‌کند.

اصول و محورهای کلیدی قانون کار ایران

۱. قرارداد کار: تعریف و شرایط انعقاد قرارداد میان کارگر و کارفرما.

۲. ساعات کار و مرخصی‌ها: تعیین حداقل و حداکثر ساعات کار و حق مرخصی کارگران.

۳. حقوق زنان و نوجوانان: حمایت ویژه از زنان کارگر و منع برخی مشاغل برای افراد زیر ۱۸ سال.

۴. ایمنی و بهداشت محیط کار: الزام کارفرمایان به فراهم کردن شرایط ایمن.

۵. حل اختلافات: تشکیل شوراهای حل اختلاف برای رسیدگی به دعاوی کارگری.

چالش‌ها و نقدهای موجود

با وجود پیشرفت‌های قانونی، مشکلاتی همچنان پابرجاست که ناشی از:

اجرا نشدن کامل مفاد قانون در برخی واحدها،

رواج قراردادهای موقت و کاهش امنیت شغلی،

شکاف میان کارگران رسمی و غیررسمی.

نمونه عملی: وقتی یک اشتباه کوچک بحران می‌آفریند

یکی از مراجعانم شرکتی بزرگ داشت که در چند شهر فعالیت می‌کرد: دفتر مرکزی در یک شهر و کارخانه تولید و انبار در شهری دیگر. به ظاهر همه چیز مرتب بود؛ مدیران حقوق و مزایای قانونی را به موقع پرداخت می‌کردند، همه کارکنان بیمه شده بودند و پاداش‌ها نیز مرتباً داده می‌شد. کارکنان از مدیریت رضایت کامل داشتند و فضای سازمان پر از انگیزه و همکاری بود.

اما پشت این ظاهر منظم، یک مشکل پنهان وجود داشت. مدیران، به دلیل ناآشنایی با جزئیات قانون کار و مقررات بیمه، برخی پرسنل را به اشتباه بیمه کرده بودند. کارمندی که در دفتر مرکزی کار می‌کرد، بیمه‌اش از محل کارخانه پرداخت شده بود و کارگر کارخانه، بیمه‌اش از دفتر مرکزی ثبت شده بود.

همه چیز تا آن لحظه عادی به نظر می‌رسید... تا اینکه یک روز حادثه‌ای ناگوار رخ داد. یکی از کارگران کارخانه هنگام تخلیه بار سقوط کرد و جان خود را از دست داد. انتظار خانواده او این بود که سازمان تأمین اجتماعی هزینه درمان، دیه و مستمری را پوشش دهد، اما به دلیل مغایرت محل واقعی کار و محل ثبت بیمه، سازمان هیچ مسئولیتی نپذیرفت.

ناگهان، تمام بار مالی و مسئولیت انسانی بر دوش شرکت افتاد. پرداخت هزینه‌های درمان، جبران آسیب و مستمری بازماندگان مجموعاً به میلیاردها تومان رسید. این اتفاق نه تنها شرکت را با بحران مالی مواجه کرد، بلکه اعتبار آن نزد کارکنان و بازار کاهش یافت و مدیران تحت فشار روانی و اخلاقی شدیدی قرار گرفتند.

این حادثه نشان داد که حتی رعایت ظاهری قوانین، بدون دقت در جزئیات، می‌تواند پیامدهایی غیرقابل جبران داشته باشد؛ یک اشتباه کوچک، بحرانی بزرگ می‌آفریند.

پیامدهای بی‌توجهی به قانون کار

بی‌توجهی به قانون کار می‌تواند پیامدهای گسترده‌ای ایجاد کند:

خسارت مالی و حقوقی: پرداخت دیه، مستمری و جبران آسیب به کارکنان آسیب‌دیده.

کاهش اعتماد کارکنان: کارگران نسبت به سازمان احساس بی‌اعتمادی پیدا می‌کنند.

آسیب به اعتبار سازمان: شهرت حرفه‌ای شرکت و اعتماد بازار کاهش می‌یابد.

فشار روانی و اجتماعی: مدیران و کارفرمایان در معرض استرس و مسئولیت شدید قرار می‌گیرند.

راهکارها برای جلوگیری از بحران

برای پیشگیری از چنین حوادث و تضمین رعایت قانون کار، سازمان‌ها می‌توانند اقدامات عملی انجام دهند:

آموزش و آگاهی مدیران و کارکنان درباره جزئیات قانون کار.

ثبت دقیق اطلاعات کارکنان به گونه‌ای که محل واقعی کار، ساعات کاری و بیمه‌ها مطابق واقعیت باشد.

سیستم‌های کنترل داخلی و بررسی مستمر رعایت قوانین و ایمنی محیط کار.

گفت‌وگو و مشارکت سه‌جانبه: هماهنگی میان کارگران، کارفرمایان و دولت برای حل مشکلات عملیاتی.

بازنگری قراردادهای بیمه‌ها: تطبیق با مشاغل جدید، دورکاری و تغییرات فناوری.

چشم‌انداز آینده قانون کار

با گسترش فناوری‌های نوین و مشاغل دیجیتال، ضرورت بازنگری و به‌روزرسانی قانون کار بیش از پیش احساس می‌شود. گفت‌وگو و همکاری سه‌جانبه میان کارگران، کارفرمایان و دولت می‌تواند زمینه‌ساز اصلاحات مؤثر و پایدار باشد.

جمع‌بندی

قانون کار نه محدودیت، بلکه سپر حفاظتی برای کارگر و کارفرما است. رعایت دقیق آن پیشگیری از بحران‌های انسانی و مالی را تضمین می‌کند. تجربه شرکت‌های واقعی نشان می‌دهد که حتی یک اشتباه کوچک در اجرای قانون می‌تواند پیامدهایی میلیاردی و غیرقابل جبران ایجاد کند.

سازمان‌ها با آموزش دقیق، ثبت درست اطلاعات، کنترل داخلی و بازنگری قراردادهای می‌توانند هم عدالت اجتماعی را رعایت کنند و هم مسیر رشد و اعتبار خود را تضمین نمایند.

قانون کار ستون عدالت اجتماعی و ضامن امنیت شغلی میلیون‌ها کارگر است و همگام‌سازی آن با تحولات اقتصادی و اجتماعی، کلید حفظ کارکرد حمایتی و عدالت‌محور آن است.



## اهمیت همسویی بنیانگذاران کسب و کار

## در حل اختلافات داخلی: بررسی چند

## مطالعه موردی



بهژادصادقیان

دکتری مهندسی مواد، مدیرعامل فناوری پژوه رابید، عضو هیات مدیره

انجمن شرکت های دانش بنیان و فناوری استان اصفهان

۹۱behzadsadeghian@gmail.com

## چکیده

استارتاپ‌ها در محیطی پویا و پرسرعت با تغییرات مداوم بازار، فشار منابع محدود و رقابت شدید فعالیت

می‌کنندو موفقیت آن‌ها به شدت وابسته به کیفیت تعاملات میان بنیان‌گذاران است. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها،

اختلافات داخلی مؤسسان است که می‌تواند حتی در حضور محصول نوآورانه و سرمایه کافی، رشد شرکت را

متوقف کرده و بهره‌وری تیم را کاهش دهد. این مقاله با تحلیل نمونه‌های واقعی مانند، Zipcar، Metaversity،

Astra و CD Baby، Doppler Labs نشان می‌دهد که هم‌راستایی اهداف، ارزش‌ها و نقش‌ها میان مؤسسان،

عامل کلیدی در بقا و موفقیت استارتاپ است. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که اختلافات عملیاتی در صورت

مدیریت مناسب می‌توانند فرصت یادگیری و نوآوری ایجاد کنند، اما تبدیل آن‌ها به تعارضات عاطفی اغلب به

شکست منجر می‌شود. نتایج بر اهمیت تدوین قرارداد مؤسسان، تعریف شفاف نقش‌ها و مسئولیت‌ها و ایجاد

سازوکارهای رسمی حل اختلاف از ابتدای تأسیس تأکید دارند. این مقاله نشان می‌دهد که هم‌راستایی مؤسسان

نه تنها جلوی فروپاشی استارتاپ را می‌گیرد، بلکه ظرفیت رشد پایدار و تاب‌آوری سازمان را نیز افزایش می‌دهد.

استارتاپ‌ها به‌طور ذاتی در محیطی با عدم قطعیت بالا و پیچیدگی‌های چندبعدی فعالیت

می‌کنند. این محیط با ویژگی‌هایی مانند محدودیت منابع، فشار زمانی برای ورود به بازار،

نوسانات سریع در نیازهای مشتری و رقابت شدید مشخص می‌شود، که تصمیم‌گیری‌های

مدیریتی را با ریسک‌های بالایی مواجه می‌کند. در چنین شرایطی، بنیان‌گذاران نقش کلیدی

در هدایت استراتژی، شکل‌دهی فرهنگ سازمانی و طراحی ساختار تصمیم‌گیری دارند و

همزمان مسئول توسعه محصول و جذب سرمایه هستند. پژوهش‌های سازمانی و مدیریتی

نشان می‌دهند که کیفیت تعاملات میان بنیان‌گذاران، میزان هم‌راستایی اهداف و هماهنگی

در تصمیمات استراتژیک، به‌طور مستقیم بر بقای استارتاپ اثرگذار است و می‌تواند به عنوان عامل تمایز میان شرکت‌های موفق و شکست‌خورده عمل کند.

یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدیریتی در استارتاپ‌ها، ظهور اختلافات داخلی میان مؤسسان است. این اختلافات معمولاً ناشی از تفاوت در سبک‌های رهبری، نگرش‌های استراتژیک، انگیزه‌های شخصی یا ارزش‌های بنیادین است. تحقیقات تجربی و مطالعات موردی نشان می‌دهند که حتی در صورت وجود محصول نوآورانه و تأمین سرمایه کافی، این اختلافات می‌توانند منجر به توقف رشد، کاهش بهره‌وری تیم و از دست رفتن فرصت‌های بازار شوند. برعکس، زمانی که بنیان‌گذاران درک مشترکی از اهداف و ارزش‌ها دارند، قادر خواهند بود تعارضات را به صورت سازنده مدیریت کرده و از آن‌ها به عنوان محرکی برای بازنگری فرآیندها و اتخاذ تصمیمات استراتژیک بهینه بهره‌برداری کنند. به عبارت دیگر، مدیریت مؤثر تعارضات داخلی نه تنها مانع شکست نمی‌شود، بلکه ظرفیت یادگیری سازمانی و نوآوری را نیز افزایش می‌دهد.

هم‌راستایی بنیان‌گذاران چارچوبی مشترک برای تصمیم‌گیری و تخصیص منابع ایجاد می‌کند. زمانی که اهداف، ارزش‌ها و نقش‌ها به‌طور شفاف تعریف شده باشند، میزان سوءتفاهم کاهش یافته و ارتباطات میان مؤسسان روان‌تر و مؤثرتر خواهد شد. یافته‌های حوزه رفتار سازمانی و روانشناسی تیمی نشان می‌دهند که هماهنگی میان رهبران منجر به افزایش تاب‌آوری سازمانی در مواجهه با بحران‌ها، تسریع فرآیندهای تصمیم‌گیری و بهبود کارایی تیم می‌شود. برعکس، فقدان همسویی می‌تواند تنش‌های مزمن، کندی تصمیم‌گیری، کاهش انگیزه تیم و حتی فروپاشی کامل استارتاپ را به دنبال داشته باشد، چرا که تعارضات فردی به تعارضات ساختاری و استراتژیک تعمیم می‌یابند.



با توجه به نقش حیاتی هم‌راستایی بنیان‌گذاران، تحلیل نمونه‌های واقعی استارتاپ‌هایی که به دلیل اختلافات داخلی با چالش مواجه شده‌اند، اهمیت ویژه‌ای دارد. مطالعات موردی امکان بررسی عینی فرآیندهای تعارض، تصمیم‌گیری و اثرات آن‌ها بر رشد و بقای شرکت را فراهم می‌کنند. این تحلیل‌ها نشان می‌دهند که هم‌راستایی مؤثر بنیان‌گذاران نه تنها مدیریت تعارضات را تسهیل می‌کند، بلکه امکان بهره‌برداری از اختلافات به عنوان فرصت‌های یادگیری و بهبود فرآیندهای سازمانی را نیز فراهم می‌آورد. بنابراین، این مقاله با بهره‌گیری از چند مطالعه موردی تلاش می‌کند نشان دهد که ایجاد توافق میان بنیان‌گذاران در اهداف، ارزش‌ها و مسئولیت‌ها می‌تواند مسیر موفقیت استارتاپ را تقویت کرده و ظرفیت آن را برای رشد پایدار افزایش دهد.

## بیان مسئله

بخش اول: اهمیت همسویی بنیان‌گذاران استارتاپ

در اکوسیستم استارتاپی، بنیان‌گذاران نه‌تنها معماران اولیه محصول یا خدمت هستند، بلکه نقش کلیدی در شکل‌دهی ساختار سازمانی، طراحی مسیر رشد و تعیین استراتژی‌های کلان شرکت ایفا می‌کنند. انسجام و هم‌راستایی تیم مؤسس در تعیین اهداف، ارزش‌ها و دیدگاه‌های استراتژیک، به‌عنوان یک متغیر کلیدی در موفقیت یا شکست استارتاپ شناخته می‌شود. شواهد تحلیلی گروه Evolution Team نشان می‌دهد که کیفیت همکاری و میزان هماهنگی میان بنیان‌گذاران، یک شاخص پیش‌بینی‌کننده برای بقای سازمان در محیط‌های پرریسک، پویا و غیرقطعی استارتاپی محسوب می‌شود. هم‌راستایی بنیان‌گذاران موجب افزایش سرعت و دقت در تصمیم‌گیری‌های استراتژیک می‌شود، چرا که اعضای تیم دارای درک مشترکی از مسیر سازمان هستند و می‌توانند فرصت‌ها و تهدیدهای محیطی را به شکل بهینه تحلیل و مدیریت کنند.

یکی از مسائل رایج در مراحل شکل‌گیری اولیه استارتاپ‌ها، فقدان وضوح در تعریف نقش‌ها و مسئولیت‌های مؤسسان است. Dushnitsky و Geshkovich (۲۰۲۰) در مطالعه «Mind the Gap» نشان می‌دهند که فقدان شفافیت در حوزه‌های تخصصی و وظایف بنیان‌گذاران، حتی مسائل جزئی را به تعارضات سازمانی جدی تبدیل می‌کند. این تعارضات، علاوه بر کاهش انسجام میان مؤسسان، موجب اختلال در فرآیندهای تصمیم‌گیری و کاهش بهره‌وری تیم می‌شوند. از دیدگاه سرمایه‌گذاران خطرپذیر، تیم‌هایی که دارای ساختار نقش‌ها و استراتژی‌های روشن هستند، قابلیت جذب سرمایه بالاتری دارند؛ بنابراین، نبود هم‌راستایی و شفافیت سازمانی می‌تواند منجر به محدودیت در تأمین منابع مالی و کاهش ظرفیت رشد شرکت شود.

از منظر سازمانی، هم‌راستایی بنیان‌گذاران، فراتر از هماهنگی عملیاتی روزمره است و نقش استراتژیک در شکل‌دهی فرهنگ سازمانی دارد.

بر اساس تحلیل Evolution Team، بنیان‌گذارانی که اهداف و ارزش‌های مشترک دارند، قادرند فرهنگی سازمانی مبتنی بر شفافیت، همکاری و تعهد به هدف مشترک ایجاد کنند. این فرهنگ سازمانی، به‌طور مستقیم بر انگیزه، مشارکت و حفظ استعدادهای کلیدی تیم اثرگذار است و بهره‌وری کل سازمان را بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، هم‌راستایی بنیان‌گذاران توانمندی آن‌ها را در مدیریت تعارضات داخلی ارتقا می‌دهد، چرا که اختلافات جزئی می‌توانند به‌صورت کنترل‌شده و سازنده حل شوند و از تبدیل آن‌ها به بحران‌های سازمانی جلوگیری گردد.

یکی از ابعاد حیاتی هم‌راستایی، همسویی در چشم‌انداز و استراتژی محصول است. پژوهش‌های Dushnitsky و Geshkovich نشان می‌دهند که اختلاف‌نظر بنیان‌گذاران در مورد اهداف بلندمدت یا مسیر توسعه محصول، موجب اختلال در جو تیم، کاهش تمرکز و افت بهره‌وری می‌شود. هم‌راستایی استراتژیک به بنیان‌گذاران امکان می‌دهد تا تصمیمات هماهنگ و مبتنی بر اطلاعات اتخاذ کرده، منابع محدود را بهینه تخصیص دهند و مسیر رشد شرکت را با انعطاف‌پذیری و پاسخگویی بالا مدیریت کنند.

از دیدگاه روانشناسی سازمانی و رفتار تیمی، هم‌راستایی بنیان‌گذاران منجر به ایجاد اعتماد متقابل، کاهش تنش‌های بین فردی و افزایش انسجام تیمی می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهند که تیم‌هایی که دارای اهداف و ارزش‌های همسو هستند، در مواجهه با بحران‌ها و تغییرات محیطی تاب‌آوری بالاتری دارند و قادرند سریع‌تر و کارآمدتر به شرایط غیرقطعی بازار واکنش نشان دهند. در مقابل، نبود هماهنگی می‌تواند به شکل‌گیری تعارضات مزمن، کاهش انگیزه تیم و حتی فروپاشی ساختاری سازمان منجر شود، چرا که اختلافات فردی به تعارضات ساختاری و استراتژیک تعمیم می‌یابد.

هم‌راستایی بنیان‌گذاران همچنین یک مکانیسم کلیدی برای مدیریت ریسک در محیط‌های استارتاپی محسوب می‌شود. در اکوسیستم‌های پویا و غیرقطعی، تصمیمات استراتژیک با ریسک‌های متعدد و عدم قطعیت‌های پیچیده همراه هستند. بنیان‌گذارانی که دارای درک مشترک و اهداف همسو هستند، قادرند تصمیمات مبتنی بر داده‌ها و تحلیل‌های عمیق اتخاذ کنند و احتمال وقوع خطاهای استراتژیک را به حداقل برسانند. این هم‌راستایی موجب می‌شود تیم در مواجهه با فشارهای بازار، تغییرات فناوری و رقابت شدید، رفتار منسجم و هماهنگی از خود نشان دهد.

بطور خلاصه باید گفت اهمیت هم‌راستایی بنیان‌گذاران به‌عنوان یک متغیر پیش‌شرط برای رشد پایدار و نوآوری در مراحل اولیه استارتاپ تثبیت می‌شود. این هماهنگی، انسجام داخلی و ثبات تیم را تقویت کرده و امکان بهره‌برداری از تنوع دیدگاه‌ها و اختلافات را به‌عنوان منابع یادگیری و نوآوری فراهم می‌آورد. بنیان‌گذارانی که هم‌راستایی مؤثر دارند، قادرند با سرعت و انعطاف بالا تصمیم‌گیری کنند، فرصت‌ها را شناسایی و اولویت‌بندی کنند و تیم را به سمت اهداف استراتژیک مشترک هدایت نمایند. با توجه به نقش راهبردی هم‌راستایی بنیان‌گذاران، تحلیل تجربیات استارتاپ‌های موفق و ناموفق می‌تواند درس‌های عملی و شواهد ارزشمندی برای مدیران آینده فراهم آورد. چنین تحلیل‌هایی امکان شناسایی عوامل مؤثر بر انسجام تیم، مدیریت تعارض و بهینه‌سازی ساختار سازمانی و فرآیندهای تصمیم‌گیری را فراهم می‌سازد. در نتیجه، هم‌راستایی بنیان‌گذاران نه تنها یک ضرورت مدیریتی، بلکه یک عامل تعیین‌کننده در موفقیت بلندمدت و پایداری استارتاپ‌ها محسوب می‌شود.

بخش دوم: حل اختلافات داخلی در استارتاپ

اختلافات میان بنیان‌گذاران یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین چالش‌های سازمانی در استارتاپ‌ها محسوب می‌شود که حتی در حضور محصول نوآورانه و سرمایه کافی، می‌تواند مسیر رشد شرکت را به‌طور جدی مختل کند. محیط‌های استارتابی به دلیل محدودیت منابع، فشار زمانی و عدم قطعیت بالا، زمینه‌ای مستعد برای بروز تعارضات میان مؤسسان فراهم می‌آورند. Evgeny Shadchenko در مقاله «Navigating Co-Founder Conflicts» تأکید می‌کند که اختلاف میان بنیان‌گذاران ذاتاً مشکل محسوب نمی‌شود؛ بلکه کیفیت مدیریت و نحوه مواجهه با این اختلافات است که سرنوشت سازمان را تعیین می‌کند. وی معتقد است که انتظار نداشتن هیچ اختلافی در مسیر پرفشار استارتاپی، غیرواقعی است، اما مدیریت ناکارآمد اختلافات می‌تواند به ایجاد محیط کاری سمی، کاهش بهره‌وری تیم، تضعیف اعتماد متقابل و در نهایت شکست شرکت منجر شود.

از منظر عملی، Bryant Galindo در مقاله «Resolving Major Co-Founder Disputes: A Process for Success» یک چارچوب پنج مرحله‌ای برای مدیریت مؤثر اختلافات ارائه می‌دهد. این چارچوب ساختاریافته، بنیان‌گذاران را قادر می‌سازد اختلافات را به فرصت‌هایی برای رشد و بازنگری استراتژیک تبدیل کنند. مرحله اول این فرآیند، تعیین قوانین اولیه برای تعامل و بحث است. در این مرحله، بنیان‌گذاران با توافق بر اصولی مانند عدم قطع صحبت یکدیگر، استفاده از جملات «من» به جای «تو»، اجتناب از سرزنش مستقیم و تمرکز بر مسائل رفتاری به جای شخصیت‌ها، پایه‌ای امن و حمایتی برای گفتگو ایجاد می‌کنند. این گام، نه تنها امکان بیان نظرات و دغدغه‌ها را فراهم می‌کند، بلکه به کاهش تنش‌های اولیه و جلوگیری از تشدید تعارضات کمک می‌کند.

مرحله دوم شامل شناسایی و بیان شفاف مشکل است. بنیان‌گذاران باید اختلافات خود را به‌صورت واضح و مستند بیان کنند و از مدل‌های تحلیلی مانند OIC (Observation, Impact, Change) برای توضیح مسئله، اثرات آن بر تیم و شرکت و پیشنهاد تغییرات مشخص استفاده کنند. این رویکرد ساختاریافته، امکان تحلیل منطقی و کاهش برداشت‌های ذهنی و شخصی را فراهم می‌آورد و از ورود هیجانات به فرآیند تصمیم‌گیری جلوگیری می‌کند.

مرحله سوم بر شناسایی مسائل اصلی و ریشه‌ای تعارض تمرکز دارد. Galindo و Shadchenko هر دو تأکید می‌کنند که بسیاری از اختلافات سطحی در واقع انعکاسی از مسائل عمیق‌تر هستند، مانند تفاوت در سبک‌های رهبری، اهداف بلندمدت و ارزش‌های بنیادین. تحلیل ریشه‌ای این تعارضات، امکان طراحی راهکارهایی پایدار و جلوگیری از بازگشت دوباره منازعات را فراهم می‌کند. این مرحله از منظر رفتار سازمانی، تقویت مهارت‌های حل مسئله و تحلیل استراتژیک تیمی را نیز تسهیل می‌کند، چرا که اعضا را مجبور می‌کند تا به جای تمرکز بر علائم، به علت‌های بنیادین توجه کنند.

مرحله چهارم شامل تعیین منافع مشترک و زمینه‌های هم‌پوشانی اهداف است. بنیان‌گذاران باید فضاهایی را شناسایی کنند که منافعشان همسو است و بر اساس این نقاط تقاطع، راهکارهایی ارائه دهند که برای تمام طرف‌ها قابل قبول و پایدار باشد. این مرحله نیازمند همکاری فعال، تفکر خلاق و انعطاف‌پذیری است و به ایجاد توافقی مبتنی بر مصالح مشترک کمک می‌کند که هم‌زمان اهداف فردی و سازمانی را تأمین کند.

مرحله پنجم و نهایی، ایجاد توافق و اجرای عملی آن است. Galindo و Shadchenko تأکید دارند که توافق حاصل شده باید شامل اقدامات مشخص، مسئولیت‌ها، زمان‌بندی دقیق و شاخص‌های سنجش عملکرد باشد تا از تداوم حل اختلافات و جلوگیری از بازگشت تعارضات اطمینان حاصل شود. این مرحله، بنیان‌گذاران را قادر می‌سازد تا با ایجاد یک چارچوب اجرایی، اختلافات را به فرصت‌هایی برای بهبود فرآیندها، توسعه مهارت‌های مدیریتی و ارتقای عملکرد تیم تبدیل کنند.

شادچنف همچنین بر اهمیت فرهنگ گفتگو و ارتباط شفاف و صادقانه تأکید می‌کند. او معتقد است که بنیان‌گذاران نباید از ایجاد تنش یا بروز اختلافات خودداری کنند، بلکه باید با شفافیت و صداقت به تبادل دیدگاه‌ها بپردازند. ارتباط مؤثر و باز، موجب افزایش اعتماد متقابل، کاهش سوءتفاهم‌ها و همسویی بیشتر با اهداف سازمان می‌شود. علاوه بر این، مدیریت کارآمد اختلافات، نقش مهمی در حفظ انسجام تیم، تقویت تاب‌آوری سازمان و بهبود پاسخگویی به شرایط بحرانی ایفا می‌کند.

از منظر روانشناسی سازمانی، حل ساختاریافته اختلافات به کاهش فشار روانی، افزایش رضایت شغلی و تقویت تعاملات بین فردی کمک می‌کند. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که تیم‌هایی که فرآیندهای حل تعارض را به صورت نظام‌مند دنبال می‌کنند، از انسجام بالاتر، اعتماد متقابل قوی‌تر و توانایی واکنش سریع‌تر به تغییرات محیطی برخوردارند. فقدان چنین فرآیندهایی، می‌تواند به بروز تنش‌های مزمن، کاهش انگیزه و بازدهی، و حتی فروپاشی ساختار تیم منجر شود، چرا که اختلافات فردی به تعارضات سازمانی و استراتژیک تعمیم می‌یابند.

رویکردهای پیشنهادی Shadchenko و Galindo نشان می‌دهند که حل اختلافات داخلی در استارتاپ‌ها نیازمند یک چارچوب مرحله‌ای، سیستماتیک و آگاهانه است که بنیان‌گذاران را از برخورد احساسی و واکنشی به سمت تحلیل منطقی و مدیریت استراتژیک هدایت می‌کند. چنین فرآیندی، نه تنها کاهش تنش و بهبود روابط میان مؤسسان را تضمین می‌کند، بلکه زمینه لازم برای تصمیم‌گیری‌های مؤثر، حفظ فرهنگ سازمانی مثبت و رشد پایدار شرکت را فراهم می‌آورد.

به‌طور کل، مدیریت مؤثر اختلافات میان بنیان‌گذاران، یک عامل کلیدی در تقویت تاب‌آوری سازمان، ارتقای کارایی تیم و افزایش احتمال موفقیت بلندمدت استارتاپ‌ها محسوب می‌شود. بنیان‌ذارانی که قادر به شناسایی ریشه‌های تعارض، تعیین منافع مشترک و اجرای عملی توافقات هستند، می‌توانند اختلافات را به محرکی برای نوآوری، یادگیری سازمانی و بهبود فرآیندهای تصمیم‌گیری تبدیل کنند. از این منظر، حل ساختاریافته اختلافات داخلی نه تنها یک ضرورت مدیریتی، بلکه یک استراتژی حیاتی برای تضمین پایداری و رشد استارتاپ به شمار می‌رود.

تجزیه و تحلیل: مطالعات موردی

تجربه شتاب‌دهنده GVentures با بررسی ۹ استارتاپ

پژوهش انجام‌شده توسط Gilberto Sarfati و همکاران، روی ۹ استارتاپ تحت شتاب‌دهنده GVentures نشان می‌دهد که دو نوع اصلی اختلاف در این محیط‌ها شناسایی شده است: اختلافات عملیاتی (Operational Conflicts) و اختلافات عاطفی (Affective Conflicts). اختلافات عملیاتی عمدتاً ناشی از تفاوت در نحوه انجام وظایف، تخصیص مسئولیت‌ها و تصمیم‌گیری‌های

راهبردی درباره آینده کسب‌وکار است، در حالی که اختلافات عاطفی شامل تنش‌های بین فردی، حملات شخصی و بی‌احترامی می‌شوند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در تمامی نمونه‌ها اختلافات عملیاتی وجود داشته است، اما تنها در مواقعی که این اختلافات به شکل عاطفی در آمده‌اند، شاهد فروپاشی روابط میان بنیان‌گذاران و توقف فعالیت استارتاپ بوده‌ایم. این یافته بر اهمیت مدیریت پیشگیرانه اختلافات و جلوگیری از تبدیل تعارضات عملیاتی به تعارضات عاطفی تأکید دارد.

یکی از عوامل کلیدی شکل‌گیری اختلافات، تنوع ویژگی‌ها و مهارت‌های اعضای تیم است. تیم‌های بنیان‌گذار معمولاً از افراد با رویکردهای متفاوت تشکیل شده‌اند: برخی دارای ذهنیت تحلیلی و برنامه‌ریزی دقیق هستند و برخی دیگر گرایش عملیاتی و اجرایی بیشتری دارند. این تفاوت‌ها می‌توانند محرک نوآوری و تصمیم‌گیری بهتر باشند، اما در عین حال زمینه بروز اختلاف در نحوه انجام وظایف و فرآیندهای کاری را فراهم می‌کنند. در صورتی که اعضا فاقد مهارت مدیریت بازخورد و کنترل ایگو (ego) باشند، اختلافات عملیاتی به سرعت می‌توانند تبدیل به اختلافات عاطفی شوند. برای مثال، وقتی یکی از بنیان‌گذاران بازخورد حرفه‌ای را شخصی تلقی می‌کند، واکنش‌های هیجانی مانند عصبانیت یا کاهش احترام متقابل، کیفیت تعاملات تیمی را کاهش داده و فضای کاری را سمی می‌کند.

عدم هم‌راستایی اهداف و انتظارات میان شرکا عامل بحرانی دیگری در بروز اختلافات است. پژوهش نشان می‌دهد که در بسیاری از استارتاپ‌ها، وظایف و مسئولیت‌ها به‌وضوح تعریف نشده و هر عضو برداشت و دیدگاه خود را نسبت به اهداف بلندمدت و شیوه اجرای فعالیت‌ها دارد. این عدم هم‌راستایی، زمینه ساز اختلافات عملیاتی است و در صورت عدم مدیریت، می‌تواند به اختلافات عاطفی و حتی ترک تیم توسط یکی از اعضا منجر شود. علاوه بر این، تفاوت در موقعیت‌های زندگی، انگیزه‌ها و افق زمانی اعضا نیز می‌تواند باعث تنش شود؛ برای مثال، یک بنیان‌گذار ممکن است پروژه را به‌عنوان فعالیت کوتاه‌مدت ببیند، در حالی که دیگری دیدگاه بلندمدت دارد.

بی‌اعتمادی میان شرکا نیز به‌عنوان عامل کلیدی در تشدید اختلافات شناسایی شده است. هنگامی که یک عضو به توانایی، تعهد یا صداقت شریک دیگر شک دارد، احتمال تبدیل اختلافات عملیاتی به تعارضات عاطفی به طور چشمگیری افزایش می‌یابد. در مواردی که بی‌اعتمادی عمیق بود، حتی اختلافات عملیاتی متوسط هم باعث ترک تیم یا پایان فعالیت استارتاپ شده است. اعتماد علاوه بر کاهش تعارض، امکان بهره‌گیری از مزایای تنوع تیمی را نیز فراهم می‌کند. تیم‌های متنوع می‌توانند در محیط‌های پیچیده و غیرقابل پیش‌بینی، راهکارهای خلاقانه و مؤثر ارائه دهند، اما بدون وجود اعتماد، این مزیت به عامل تنش و تعارض تبدیل می‌شود.

فشارهای محیطی و داخلی نیز نقش مهمی در شکل‌گیری اختلافات ایفا می‌کنند. فشارهای خارجی شامل الزامات شتاب‌دهنده، نیاز به تطبیق سریع محصول با بازار و انتظارات سرمایه‌گذاران است. فشارهای داخلی ناشی از عدم قطعیت در مسئولیت‌ها، استرس مدیریت منابع محدود و پیچیدگی‌های راه‌اندازی کسب‌وکار هستند. این فشارها غالباً منجر به بروز اختلافات عملیاتی می‌شوند و در صورت مدیریت نامناسب، تشدید شده و به اختلافات عاطفی مبدل می‌گردند.

فرآیند بازخورد میان شرکا نیز نقطه حساس دیگری است. استارتاپ‌ها نیازمند بازخورد مداوم هستند تا تصمیمات راهبردی و عملیاتی بهینه اتخاذ شوند، اما برخی اعضا توانایی مدیریت بازخورد را ندارند و آن را به‌عنوان حمله شخصی تلقی می‌کنند. واکنش‌های هیجانی ناشی از بازخورد نامناسب، از جمله عصبانیت، تمسخر و کاهش احترام متقابل، مسیر تبدیل اختلافات عملیاتی به عاطفی را تسهیل می‌کند.

مکانیزم‌های مقابله با اختلاف، بر اساس پژوهش GVentures، شامل سه استراتژی اصلی هستند: کنار کشیدن (Taking a Step Aside)، تسلیم شدن در مقابل نظر شریک (Giving In) و کنار گذاشتن ایگو (Putting Ego Aside). در استراتژی کنار کشیدن، یکی از اعضا موقتاً فاصله می‌گیرد تا احساسات فروکش کند و امکان بازنگری در دیدگاه‌ها فراهم شود. در استراتژی تسلیم شدن، یکی از شرکا با پذیرش دیدگاه شریک دیگر، از تشدید اختلاف جلوگیری می‌کند. استراتژی کنار گذاشتن ایگو به معنای اولویت دادن حل مسئله و موفقیت استارتاپ بر اثبات درست بودن نظر فرد است. تیم‌هایی که این استراتژی‌ها را به‌کار گرفته‌اند، توانسته‌اند حتی در مواجهه با اختلافات عاطفی، فعالیت شرکت را ادامه دهند و از فروپاشی جلوگیری کنند.

تحلیل نمونه‌ها همچنین نشان داد که مداخلات شتاب‌دهنده‌ها اثر دوگانه دارند. از یک سو، فشار خارجی شتاب‌دهنده شدت اختلافات عملیاتی را افزایش می‌دهد، زیرا اعضا باید به‌طور هم‌زمان چندین هدف کوتاه‌مدت را مدیریت کنند و پاسخگو باشند. از سوی دیگر، فرآیندهای ساختاریافته، جلسات راهنمایی و برنامه‌های هم‌راستایی اهداف شتاب‌دهنده می‌توانند عدم هماهنگی‌ها و سوءتفاهم‌ها را کاهش دهند. در نمونه‌هایی که تیم‌ها توانستند اختلافات خود را در مراحل اولیه (مرحله I طبق مدل شش مرحله‌ای Glas) مدیریت کنند، ادامه فعالیت موفقیت‌آمیز بوده است؛ اما در مواردی که اختلافات به مرحله دوم (Loss of Face / Threat Strategies) رسید، بدون مداخله خارجی، شرکت یا یکی از بنیان‌گذاران دچار شکست شد.

این پژوهش نشان می‌دهد که اختلافات عملیاتی به‌خودی‌خود مشکل محسوب نمی‌شوند و می‌توانند به یادگیری، نوآوری و بهبود فرآیندهای تیمی کمک کنند. مشکل زمانی ایجاد می‌شود که اختلافات عملیاتی، به دلیل عدم اعتماد، ضعف در مدیریت بازخورد یا مسائل شخصی، به تعارضات عاطفی تبدیل شوند. مدیریت صحیح بازخورد، افزایش اعتماد میان شرکا و بهره‌گیری از استراتژی‌های کاهش ایگو و فاصله‌گیری موقت می‌تواند از فروپاشی تیم جلوگیری کند و امکان استفاده از ظرفیت‌های خلاقانه و متنوع تیم را فراهم سازد.

در مجموع یافته‌ها بر اهمیت روابط فعال و گوش دادن فعال (Active Listening) تأکید دارند. گوش دادن فعال شامل توجه کامل، پذیرش بدون قضاوت، همدلی و پاسخ‌دهی مبتنی بر درک احساسات طرف مقابل است و نقش مؤثری در کاهش تنش و پیشگیری از تبدیل اختلافات عملیاتی به عاطفی دارد. تیم‌هایی که بازخورد را با تکنیک گوش دادن فعال مدیریت کرده‌اند، توانسته‌اند اختلافات عملیاتی را بدون آسیب به انسجام و عملکرد تیم کنترل کنند و از آن‌ها به عنوان فرصتی برای یادگیری و رشد سازمانی بهره ببرند.

مطالعات موردی دیگری نیز گزارش شده اند که در ادامه به بررسی آن ها می پردازیم:

استارتاپ Zipcar

Zipcar، استارتاپ پیشرو در حوزه اشتراک خودرو که در سال ۲۰۰۰ توسط Antje Danielson

و Robin Chase تأسیس شد، نمونه‌ای کلاسیک از تأثیر اختلافات مؤسسان بر عملکرد سازمانی است. اختلاف اصلی میان مؤسسان ناشی از تفاوت در دیدگاه‌های استراتژیک و نحوه تقسیم سهام اولیه بود؛ Danielson بر رشد پایدار و نقش متوازن مؤسسان تأکید داشت، در حالی که Chase رویکرد توسعه سریع و گسترش بازار را دنبال می‌کرد. این تفاوت دیدگاه‌ها، هم‌زمان از بعد عملیاتی و سازمانی، منجر به کاهش هماهنگی تیم مدیریتی و تأخیر در تصمیم‌گیری‌های کلیدی شد، به‌طوری که Danielson به‌تدریج از فرآیندهای عملیاتی کنسار گذاشته شد، هرچند سهام خود را حفظ کرد. با وجود این چالش‌ها، Zipcar توانست به رشد خود ادامه دهد و در سال ۲۰۱۳ توسط Avis Budget Group خریداری شود، اما تجربه نشان می‌دهد که حتی در شرکت‌های فناوری محور موفق، اختلافات داخلی می‌تواند کارایی مدیریتی و هماهنگی استراتژیک را تحت تأثیر قرار دهد و ضرورت تدوین سازوکارهای شفاف تقسیم سهام و حل اختلافات از ابتدای راه‌اندازی استارتاپ را برجسته می‌کند.



استارتاپ Metaversity

Metaversity، پلتفرم آموزشی مبتنی بر متاورس که در سال ۲۰۲۱ توسط Manish Maheshwari (مدیر سابق تویتز هند) و Tanay Pratap (مدیر سابق مایکروسافت) تأسیس شد، به‌عنوان یکی از پروژه‌های نوآورانه در حوزه EdTech با هدف ارائه آموزش‌های آنلاین و واقعیت مجازی برای دانشگاه‌ها و دانشجویان مطرح شد. این استارتاپ با جذب سرمایه اولیه قابل توجه از سوی سرمایه‌گذاران بین‌المللی، به‌ویژه از شرکت‌های بزرگی مانند Google، Meta، و Amazon، آغاز به کار کرد. با این حال، اختلافات اساسی در چشم‌انداز و استراتژی‌های مؤسسان، به‌ویژه در مورد تمرکز بر متاورس به‌عنوان هسته اصلی پلتفرم، منجر به بروز بحران مدیریتی شد. این اختلافات به‌حدی شدت یافت که پیشنهاد سرمایه‌گذاران برای خروج یکی از مؤسسان با دریافت مبلغ تعیین‌شده، پذیرفته نشد و همکاری مؤسسان متوقف گردید. در نهایت، با وجود محصول آماده و منابع مالی، شکاف داخلی غیرقابل حل منجر به شکست کامل پروژه شد. این تجربه نشان‌دهنده اهمیت هم‌راستایی استراتژیک و هماهنگی مؤسسان در مراحل اولیه راه‌اندازی استارتاپ‌ها است.



استارتاپ CD Baby

CD Baby، پلتفرم توزیع موسیقی آنلاین تأسیس‌شده در سال ۱۹۹۸ توسط Derek Sivers، به هنرمندان مستقل این امکان را می‌داد که آثار خود را به‌صورت دیجیتال منتشر کنند. این شرکت با هدف ارائه خدماتی شفاف و منصفانه به هنرمندان، به‌سرعت رشد کرد و به یکی از بزرگ‌ترین توزیع‌کنندگان موسیقی مستقل تبدیل شد. با این حال، در طول زمان، اختلافات فرهنگی و مدیریتی میان تیم و مؤسس به‌وجود آمد. این اختلافات به‌ویژه در سبک رهبری Sivers و نحوه تعامل با کارکنان نمود پیدا کرد، به‌طوری که برخی از اعضای تیم علیه سبک مدیریتی او شورش کردند. این تنش‌ها منجر به ایجاد فرهنگی ناسالم در سازمان شد و انگیزه کارکنان را کاهش داد. در نهایت، Sivers تصمیم گرفت از مدیریت روزمره شرکت کنسار بکشد و نقش خود را محدود کند. با وجود ادامه فعالیت شرکت، این تجربه نشان داد که حتی در کسب‌وکارهای موفق، اختلافات داخلی می‌تواند تأثیرات منفی بر عملکرد و فرهنگ سازمانی داشته باشد.



استارتاپ Doppler Labs

Doppler Labs، استارتابی در حوزه فناوری صوتی مستقر در ایالات متحده، در سال ۲۰۱۳ تأسیس شد و با هدف تولید هدفون‌های پیشرفته و گجت‌های صوتی پوشیدنی با ویژگی‌های کنترل محیط، به‌ویژه محصول اصلی خود، «Here One»، شناخته می‌شد. این محصول که به‌عنوان اولین رایانه درون‌گوشی جهان معرفی شد، با قابلیت‌هایی نظیر فیلتر کردن صدا، پخش موسیقی و تقویت گفتار، توجه زیادی را جلب کرد.

با این حال، با وجود جذب سرمایه اولیه قابل توجه، مشکلات فنی و بازار، به‌ویژه تأخیر در عرضه محصول و مشکلات باتری، منجر به کاهش فروش و اعتماد سرمایه‌گذاران شد. علاوه بر این، گزارش‌ها نشان می‌دهد که اختلافات بین مؤسسان و مدیران اجرایی در مورد استراتژی محصول، اولویت‌های تیم و نحوه جذب سرمایه، تنش‌هایی را در فرآیند تصمیم‌گیری ایجاد کرد. این اختلافات داخلی، همراه با فشارهای بازار و مشکلات فنی، موجب شد تا شرکت نتواند ادامه دهد و در نهایت تعطیل شد. این تجربه نشان‌دهنده اهمیت هماهنگی مؤسسان و مدیران اجرایی در تصمیم‌گیری‌های کلیدی و ضرورت تعریف نقش‌ها و فرآیندهای حل اختلاف از ابتدا است.

استارتاپ Astra

Astra، یک استارتاپ مستقل حوزه SaaS (Software as Service) که ارائه خدمات سرویس ابری می‌داد) مستقر در بنگلور هند، در سال ۲۰۲۳ توسط Ranjan Rajagopalan و Supreet Hegde، فارغ‌التحصیلان IIT Madras، تأسیس شد. شرکت‌های SaaS نرم‌افزار را به‌صورت سرویس ابری ارائه می‌کنند، به‌طوری که کاربران بدون نیاز به نصب محلی، از طریق اینترنت به نرم‌افزار دسترسی دارند و شرکت مسئول نگهداری و به‌روزرسانی آن است. Astra با هدف ارائه پلتفرم هوش مصنوعی برای خودکارسازی وظایف نمایندگان فروش، وعده داده بود که ۸۰٪ از فعالیت‌های روزمره آنان را اتوماسیون کند. با وجود جذب سرمایه از سوی Aravind Srinivas، مؤسس Perplexity AI، و جذب دو مشتری بزرگ در مرحله بتا، Astra نتوانست از مرحله آزمایشی فراتر رود. در اوت ۲۰۲۵، Supreet Hegde در یک پست لینکدین اعلام کرد که به دلیل "اختلافات غیرقابل حل" با هم‌بنیان‌گذار خود، فعالیت‌های شرکت متوقف شده است. این اختلافات به‌ویژه در مورد سرعت رشد و استراتژی‌های کلیدی شرکت بود. علاوه بر این، چالش‌هایی مانند اعتمادسازی در میان مشتریان سازمانی و رقابت فزاینده در بازار ابزارهای هوش مصنوعی، به مشکلات موجود افزوده بود. در نهایت، این عوامل منجر به تعطیلی کامل Astra شد.

نتیجه گیری

مطالعات و شواهد موجود نشان می‌دهد که اختلافات میان مؤسسان یکی از مهم‌ترین دلایل شکست استارتاپ‌ها است، حتی در مواردی که محصول اولیه آماده و سرمایه اولیه قابل توجه وجود دارد. بر اساس تحقیق Noam Wasserman، حدود ۶۵٪ از استارتاپ‌های با پتانسیل بالا به دلیل اختلافات میان مؤسسان از بین می‌روند. این اختلافات می‌تواند شامل تضاد در دیدگاه استراتژیک، نحوه مدیریت تیم، تقسیم سهام یا اولویت‌های محصول باشد و پیامدهای آن بر عملکرد سازمان، هماهنگی تیمی و فرهنگ شرکت بسیار جدی است. تجربه استارتاپ‌هایی مانند Astra و Zipcar، Metaversity، CD Baby، Doppler Labs نشان می‌دهد که حتی شرکت‌های موفق یا دارای منابع کافی نیز می‌توانند به‌دلیل اختلافات داخلی دچار بحران شوند. بنابراین، تدوین قرارداد مؤسسان، تعریف شفاف نقش‌ها و مسئولیت‌ها و ایجاد سازوکارهای رسمی حل اختلاف از ابتدای تأسیس، از ضروریات حیاتی برای تضمین تداوم و موفقیت استارتاپ‌ها محسوب می‌شود.

|                                                                                                                                                                                         |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <div><ul style="list-style-type: none"><li>The Importance of Co-Founder Alignment for Business Success, ۲۰۲۴, evolution.team</li></ul></div>                                            |  |
| <div><ul style="list-style-type: none"><li>Mind the Gap: Why Aligning as Co-Founders is Critical for Your Company's Growth, ۲۰۲۵, By Gary Dushnitsky and Illai Gescheit</li></ul></div> |  |
| <div><ul style="list-style-type: none"><li>Resolving Co-Founder Disputes: A Process for Success, ۲۰۲۴, Bryant Galindo</li></ul></div>                                                   |  |
| <div><ul style="list-style-type: none"><li>CLASHES AMONG FOUNDING PARTNERS: HOW ENTREPRENEURS</li></ul></div>                                                                           |  |
| <div><ul style="list-style-type: none"><li>OVERCOME CONFLICTS, ۲۰۲۰, Gilberto Sarfati, Thomaz Martins de Aquino &amp; Gabriel Akel Abrahão</li></ul></div>                              |  |
| <div><ul style="list-style-type: none"><li>Important Qualities of a Co-Founder ۱۷, ۲۰۲۵, Alexis Kahe</li></ul></div>                                                                    |  |
| <div><ul style="list-style-type: none"><li>Conflict Issues in Startup Co-founders: Typology and Scale Development, ۲۰۲۵, MW Kozusznik</li></ul></div>                                   |  |
| <div><ul style="list-style-type: none"><li>The Founder's Dilemma, ۲۰۰۸, Noam Wasserman</li></ul></div>                                                                                  |  |
| <div><ul style="list-style-type: none"><li>Cofounders Need to Learn How to (Productively) Disagree, ۲۰۲۲, Evelyn Nam</li></ul></div>                                                    |  |
| <div><ul style="list-style-type: none"><li>Preventing Founder Conflict Reduce Startup Failure Risk by ۶۵٪, ۲۰۲۴, Julius Bachmann</li></ul></div>                                        |  |
| <div><ul style="list-style-type: none"><li>Why Co-Founder Conflict Can Make or Break Your Startup, ۲۰۲۵, Psychology Today</li></ul></div>                                               |  |

- Evgeny Shadchnev, ۲۰۲۳, Navigating Co-Founder Conflicts
- Mastering Conflict Resolution: Essential Skills for Startup Founders, ۲۰۲۵, MAccelerator
- Structuring Equity Splits to Mitigate Co-Founder Conflict, ۲۰۱۹, Shikhar Ghosh, Marilyn Morgan Westner, Lara O'Connor Hodgson, Matt Fischer
- Startup horror stories: When co-founders fall out, ۲۰۲۲, Vested

## مقاله



نویسنده: مریم میکلائی

مریم میکلائی، کارشناسی ارشد مهندسی مواد، سرداور

اختراعات در واحد مالکیت فکری شهرک علمی و تحقیقاتی

اصفهان

ایمیل:

#### چکیده

هوش مصنوعی و نرم‌افزار از پیشروترین حوزه‌های فناوری در جهان امروز به شمار

می‌آیند و نقشی اساسی در تحول صنایع، خدمات و زندگی روزمره انسان‌ها دارند. با

این حال، موضوع ثبت اختراع در این حوزه‌ها به دلیل ماهیت داده‌محور، وابستگی

به الگوریتم‌های ریاضی، تغییرات مداوم و پیچیدگی‌های اخلاقی و اجتماعی، یکی

از بحث‌برانگیزترین مسائل حقوق مالکیت فکری است. در قوانین ایران نیز، همانند

بسیاری از نظام‌های حقوقی جهان، برنامه‌های رایانه‌ای به‌خودی‌خود قابلیت ثبت

به‌عنوان اختراع را ندارند و تنها زمانی تحت حمایت قرار می‌گیرند که اثر فنی و

کاربردی مشخصی ایجاد کنند. این مقاله می‌کوشد چالش‌های اصلی ثبت اختراع در

زمینه هوش مصنوعی و نرم‌افزار را از سه منظر حقوقی، فنی و راهبردی بررسی کند.

##### مقدمه

رشد پرشتاب هوش مصنوعی و نرم‌افزار موجب شده این فناوری‌ها در قلب انقلاب

صنعتی چهارم جای گیرند. از تشخیص بیماری در پزشکی تا خودروهای خودران، و از

تحلیل کلان‌داده‌ها تا پردازش زبان طبیعی، حضور این فناوری در تمامی عرصه‌ها قابل

مشاهده است. چنین گسترشی، به‌طور طبیعی پرسش‌های حقوقی تازه‌ای را پدید

آورده است: مالک این دستاوردها چه کسی است؟ آیا می‌توان آن‌ها را به‌عنوان

اختراع به ثبت رساند؟ و اگر پاسخ مثبت است، مرز میان یک ایده انتزاعی و نوآوری

فنی در کجا قرار دارد؟

در سطح بین‌المللی، نظام‌های حقوق مالکیت فکری نسبت به ثبت اختراع در حوزه نرم‌افزار و هوش مصنوعی رویکردهای متفاوتی اتخاذ کرده‌اند. در اغلب موارد، صرف وجود یک الگوریتم یا گُد به‌تنهایی به معنای اختراع قابل ثبت نیست. با این حال، هرگاه نرم‌افزار یا سامانه هوش مصنوعی در قالب یک راه‌حل فنی و کاربردی ظهور یابد، امکان ثبت و حمایت قانونی از آن فراهم می‌شود.

## چالش‌های ثبت اختراع در حوزه هوش مصنوعی و نرم‌افزار

چالش‌های حقوقی

یکی از بزرگ‌ترین موانع در ثبت اختراع هوش مصنوعی و نرم‌افزار، چالش‌های حقوقی است.

قابلیت ثبت اختراع و معیارهای آن

چالش‌های حقوقی ثبت اختراع در حوزهٔ هوش مصنوعی و نرم‌افزار از مهم‌ترین موانعی است که این فناوری نوین با آن مواجه است. از منظر حقوقی، برای ثبت یک اختراع باید سه شرط اصلی وجود داشته باشد: «جدید بودن»، «گام ابتکاری» و «قابلیت کاربرد صنعتی».

اما در زمینهٔ نرم‌افزار و هوش مصنوعی، این معیارها با چالش‌های قابل‌توجهی روبه‌رو هستند. بسیاری از الگوریتم‌ها و مدل‌های هوش مصنوعی در واقع فرمول‌های ریاضی یا قواعد منطقی‌اند که بر اساس ضوابط ثبت اختراع به‌تنهایی قابل ثبت نیستند. برای مثال، قوانین و مقررات اروپایی تصریح می‌کنند که برنامه‌های رایانه‌ای به‌تنهایی اختراع محسوب نمی‌شوند، و در ایالات متحده نیز دادگاه‌ها بارها تأکید کرده‌اند که ایده‌های انتزاعی و قوانین ریاضی تنها زمانی قابل ثبت‌اند که به یک کاربرد عملی و فنی مشخص منتهی شده باشند. علاوه بر این، تعیین «مخترع» یکی از مهم‌ترین چالش‌های حقوقی است؛ در اغلب نظام‌های حقوقی، مخترع به‌عنوان یک انسان شناخته می‌شود و بنابراین نمی‌توان هوش مصنوعی را مخترع به‌حساب آورد، حتی اگر اختراع توسط سیستم هوش مصنوعی ایجاد شده باشد. این امر پرسش‌های حقوقی پیچیده‌ای دربارهٔ مالکیت ایجاد کرده و به‌ویژه در پروندهٔ DABUS موجب بحث‌های گسترده‌ای شده است. در نهایت، با توجه به عدم تطابق چارچوب‌های حقوقی سنتی با ماهیت فناورانه و پیچیدهٔ هوش مصنوعی، نیاز مبرم به بازنگری قوانین و مقررات احساس می‌شود تا زمینهٔ ثبت اختراعات نوآورانه، همراه با رعایت حقوق صاحبان اثر، فراهم گردد.

داده‌محوری و مالکیت

هوش مصنوعی اساساً بر پایهٔ داده‌ها آموزش می‌بیند و عملکرد آن بر تحلیل و پردازش داده‌ها استوار است. این داده‌ها ممکن است خودشان تحت حمایت حقوق مالکیت فکری — مانند کپی‌رایت — یا قوانین مرتبط با محرمانگی و حریم خصوصی باشند. بنابراین، هنگامی که اختراعی مبتنی بر هوش مصنوعی مطرح می‌شود، تفکیک میان نوآوری در الگوریتم و نوآوری در داده‌هایی که الگوریتم بر اساس آن‌ها آموزش دیده است، به یکی از چالش‌های اصلی حقوقی بدل می‌شود. از یک‌سو، داده‌ها می‌توانند شامل اطلاعات شخصی یا اختصاصی باشند که توسط افراد یا سازمان‌ها تولید شده و حقوق مشخصی بر آن‌ها حاکم است. از سوی دیگر، الگوریتم هوش مصنوعی که بر پایهٔ این داده‌ها توسعه یافته و نتایج جدیدی تولید می‌کند، می‌تواند موضوع یک اختراع یا نوآوری تلقی شود. در چنین شرایطی، تعارضی بر سر مالکیت پدید می‌آید: آیا مالک حق



اختراع، دارندهٔ داده‌هاست یا توسعه‌دهندهٔ الگوریتم؟

افزون بر این، داده‌ها می‌توانند در لایه‌های گوناگون تعریف شوند: دادهٔ خام، دادهٔ مشتقه و دادهٔ استنتاجی. حقوق مرتبط با هر یک از این دسته‌ها متفاوت است و تعیین دقیق مالکیت و حدود استفاده از آن‌ها — به‌ویژه در مورد داده‌های استنتاجی که محصول پردازش و تحلیل ماشین‌اند — پیچیدگی بیشتری دارد. چارچوب‌های حقوقی سنتی، که عمدتاً برای اموال مادی طراحی شده‌اند، در تطبیق با ماهیت ناملموس، سیال و به‌آسانی قابل‌کپی داده‌ها ناکارآمد به نظر می‌رسند. از یک‌سو، مقرراتی چون GDPR در اتحادیهٔ اروپا بر حقوق فرد نسبت به داده‌های شخصی تأکید دارند؛ و از سوی دیگر، رویکرد «مالکیت داده» این داده‌ها را کالایی قابل‌معامله و مشمول قرارداده‌ا می‌داند.

برای حل این چالش، یکی از راهکارهای مؤثر تدوین قراردادهای شفاف و دقیق است که در آن حدود استفاده، مدت‌زمان، اهداف پردازش و مسئولیت‌ها به‌روشنی تعریف شود تا از بروز اختلافات و نزاعات احتمالی پیشگیری گردد. چنین رویکردی ترکیبی از حفظ حقوق فردی و حمایت از مالکیت اقتصادی داده‌ها را فراهم می‌کند و می‌تواند چارچوب مناسبی برای مدیریت مالکیت داده‌ها در عصر هوش مصنوعی باشد. در نتیجه، مسئلهٔ مالکیت داده در هوش مصنوعی نه‌تنها یک موضوع حقوقی، بلکه مسئله‌ای مهم اقتصادی و اخلاقی نیز هست که بازنگری و توسعهٔ چارچوب‌های قانونی متناسب با فناوری‌های نوین را ضروری می‌سازد.

تعارض با آزادی استفاده

چالش تعارض میان انحصار حقوقی ناشی از ثبت اختراع و آزادی استفاده از فناوری‌های هوش مصنوعی، یکی از مسائل کلیدی و پیچیده در حوزهٔ حقوق مالکیت فکری است. بخش بزرگی از فناوری‌های هوش مصنوعی بر پایهٔ نرم‌افزارهای متن‌باز توسعه یافته‌اند؛ نرم‌افزارهایی که به‌طور گسترده و رایگان در اختیار توسعه‌دهندگان و کاربران قرار گرفته‌اند تا امکان نوآوری و پیشرفت سریع‌تر فراهم شود. با این حال، هنگامی که یک شرکت یا سازمان می‌کوشد با ثبت پتنت یا بهره‌گیری از حقوق انحصاری، کنترل استفاده از بخشی از این فناوری‌ها را به دست گیرد، ممکن است محدودیت‌های جدی برای سایر فعالان این حوزه ایجاد شود. به بیان دیگر، حقوق انحصاری می‌تواند آزادی استفاده، بهبود و تجاری‌سازی فناوری‌های هوش مصنوعی را محدود کند و مانعی در برابر رشد شتابان و مشارکت آزاد در این اکوسیستم ایجاد نماید.

این تعارض، تقابل میان منافع اقتصادی شرکت‌هایی است که قصد دارند سرمایه‌گذاری‌های خود را از طریق انحصار حقوقی حفظ کنند، و منافع عمومی

که بر دسترسی آزاد و گسترده به فناوری تأکید دارد. در صورتی که چارچوب‌های

حقوقی نتوانند تعادل میان این دو رویکرد را حفظ کنند، خطر شکل‌گیری انحصار

فناورانه وجود دارد؛ انحصاری که می‌تواند روند توسعهٔ کلی هوش مصنوعی را کند و محدود سازد.

برای کاهش این تعارض، برخی ابزارهای حقوق مالکیت فکری قابل استفاده‌اند؛ از جمله اعمال استثنائها و محدودیت‌ها در قوانین پتنت (مانند اصل استفادۀ منصفانه یا محدودیت‌های زمانی بر حقوق انحصاری)، و تشویق به گسترش مدل‌های همکاری و اشتراک آزاد دانش (از جمله مجوزهای متن‌باز). همچنین، طراحی سازوکارهای داوری و توافق‌های قراردادی میان شرکت‌ها و توسعه‌دهندگان می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد برای حل‌وفصل اختلافات احتمالی حقوقی عمل کند.

در نهایت، حفظ تعادل میان حمایت از نوآوری و تسهیل دسترسی آزاد، مهم‌ترین اصل در سیاست‌گذاری مالکیت فکری در حوزهٔ هوش مصنوعی است؛ اصلی که تنها به درنظر گرفتن منافع تمامی ذی‌نفعان می‌تواند از توسعهٔ پایدار و عادلانهٔ این فناوری حمایت کند.

چالش‌های فنی

گذشته از مسائل حقوقی، از نظر فنی نیز ثبت اختراع در حوزه هوش مصنوعی دشوار است.

توصیف دقیق و کفایت افشا

چالش فنی «توصیف دقیق و کفایت افشا» در ثبت اختراعات حوزهٔ هوش مصنوعی، یکی از مهم‌ترین موانع پیش روی حفاظت قانونی از نوآوری‌هاست. برای آن‌که یک اختراع قابلیت ثبت داشته باشد، باید به‌گونه‌ای توصیف شود که یک متخصص فنی در همان حوزه بتواند بر اساس اطلاعات ارائه‌شده، آن را بازتولید کند. با این حال، فناوری‌های هوش مصنوعی — به‌ویژه مدل‌های پیچیده‌ای مانند شبکه‌های عصبی عمیق — دارای صدها یا هزاران پارامتر، فرآیندهای آموزشی پیچیده، داده‌های گسترده و متنوع، و روش‌های متعدد پیش‌پردازش هستند؛ عواملی که ارائهٔ توصیفی کامل و دقیق از آن‌ها را بسیار دشوار می‌سازد.

حتی در صورتی که مخترع موفق به ارائهٔ تمامی این اطلاعات شود، داوران ثبت اختراع یا سایر متخصصان ممکن است به منابع محاسباتی و داده‌ای لازم برای بازتولید مؤثر اختراع دسترسی نداشته باشند. این وضعیت موجب می‌شود معیار «کفایت افشا» که یکی از اصول بنیادین قوانین ثبت اختراع است، در عمل محقق نشود. به بیان دیگر، چگونه می‌توان اختراعی را ثبت کرد که فاقد توصیفی شفاف

و بازنولیدپذیر است؟

افزون بر این، بسیاری از مدل‌های یادگیری عمیق ذاتاً ماهیتی «غیرشفاف» دارند؛ به‌گونه‌ای که حتی توسعه‌دهندگان آن‌ها نیز ممکن است درک کاملی از مکانیزم دقیق تصمیم‌گیری الگوریتم نداشته باشند. این امر چالش مضاعفی برای افشای کافی ایجاد می‌کند و نشان می‌دهد که استانداردهای کلاسیک ثبت اختراع، که بر افشای کامل و قابل‌فهم متکی‌اند، به‌تنهایی برای پوشش فناوری‌های نوین کافی نیستند. در نتیجه، بازنگری در این استانداردها و تدوین معیارهایی جدید و انعطاف‌پذیر اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد.

بدون چنین اصلاحاتی، خطر آن وجود دارد که نوآوری‌های مهم در حوزهٔ هوش مصنوعی به دلیل ناتوانی در تحقق کفایت افشا، از حمایت‌های قانونی محروم شوند. از جمله راهکارهای پیشنهادی برای کاهش این چالش می‌توان به الزام مخترعان به ارائهٔ توضیحات تکمیلی، فراهم‌سازی دسترسی محدود به داده‌ها و مدل‌ها در محیط‌های کنترل‌شده، و تدوین استانداردهای آموزشی و فنی برای توصیف بهتر اشاره کرد. این اقدامات می‌توانند گامی مهم در جهت انطباق نظام ثبت اختراع با مقتضیات ویژهٔ فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی باشند.

تغییرات مداوم و به‌روزرسانی

مدل‌های هوش مصنوعی به‌طور پیوسته در حال تحول و به‌روزرسانی‌اند و همین پویایی، چالش‌های فنی و حقوقی مهمی در فرآیند ثبت اختراع ایجاد می‌کند. این مدل‌ها معمولاً در قالب نسخه‌های مختلف منتشر می‌شوند که هر یک ویژگی‌ها، پارامترها و کارایی متفاوتی دارند. نسخه‌های جدید اغلب در فواصل کوتاه به‌روزرسانی شده و جایگزین نسخه‌های قبلی می‌شوند. از منظر ثبت اختراع، این تغییرات سریع ارزش تجاری پتنت‌ها را به چالش می‌کشد، زیرا ممکن است یک اختراع ثبت‌شده به‌سرعت قدیمی شده و نتواند پاسخ‌گوی نوآوری‌های بعدی باشد.

یکی از دشواری‌های اصلی، تعیین مرزهای دقیق حقوقی اختراع است؛ چرا که ثبت یک مدل معمولاً ناظر به پیاده‌سازی خاصی است و نسخه‌های جدید می‌توانند ویژگی‌های متفاوتی داشته باشند که مشمول پتنت موجود نشوند. در چنین شرایطی، ممکن است برای هر نسخه ارتقایافته نیاز به ثبت مستقل باشد و همین مسئله، سرمایه‌گذاری در ثبت اختراع‌های هوش مصنوعی را از نظر اقتصادی پربیسک می‌سازد؛ مگر آن‌که چارچوب‌های حقوقی به‌گونه‌ای طراحی شوند که تغییرات مستمر فناوری را پوشش دهند.

ضروری است در فرایند ثبت، سازوکارهایی برای به‌روزرسانی پتنت‌ها یا ثبت مستمر نسخه‌های ارتقایافته پیش‌بینی شود تا صاحبان اختراع بتوانند حمایت قانونی متناسب با تحولات فناوری داشته باشند. از دیدگاه فنی نیز، مدل‌های بنیادیِ هوش مصنوعی که با داده‌های عظیم آموزش دیده و قابلیت انجام وظایف متنوع

دارند، نمونه‌ای روشن از این روند تحول سریع‌اند. این مدل‌ها با تنظیمات جزئی می‌توانند برای وظایف خاصی به‌کار گرفته شوند و نسخه‌های متعدد و متفاوتی از آن‌ها ایجاد شود؛ پدیده‌ای که چالش‌های گسترده‌ای را در زمینه ثبت و مدیریت حقوق مالکیت فکری به‌وجود می‌آورد.

غیر بدیهی بودن

شرط «غیربدیهی بودن» یکی از معیارهای اساسی در ثبت اختراع است که در حوزه هوش مصنوعی اهمیت ویژه‌ای دارد. برای ثبت یک اختراع باید نشان داد که ایده ارائه‌شده برای فردی متخصص در همان حوزه، امری بدیهی یا پیش‌افتاده نیست. با این حال، در زمینه هوش مصنوعی اثبات این شرط بسیار دشوار است؛ زیرا جامعه علمی و فنی با حجم گسترده‌ای از مقالات، پروژه‌های مت‌باز و منابع آموزشی روبه‌روست که به‌سرعت منتشر و در دسترس قرار می‌گیرند. این وضعیت مرز میان یک نوآوری واقعی و صرفاً انتخاب یا تنظیم متعارف در مهندسی را بسیار باریک می‌کند.

به بیان دیگر، بسیاری از ایده‌های مطرح‌شده در حوزه هوش مصنوعی ممکن است خیلی زود توسط پژوهشگران یا توسعه‌دهندگان دیگر به کار گرفته و گسترش یابند. در چنین شرایطی، اثبات این‌که یک ایده واقعاً «خلاقانه» و «غیربدیهی» است، به موضوعی پیچیده و گاه حتی ناممکن بدل می‌شود. در عمل نیز، داوران ثبت اختراع باید تشخیص دهند که آیا راه‌حل ارائه‌شده صرفاً ترکیبی از روش‌ها و تکنیک‌های شناخته‌شده است یا گامی نوآورانه و مؤثر در پیشرفت فنی به شمار می‌رود.

این مشکل در کنار سایر چالش‌های ثبت اختراع در حوزه هوش مصنوعی، ضرورت رویکردهای نوین حقوقی و فنی را برجسته می‌سازد؛ رویکردهایی که بتوانند معیار «غیربدیهی بودن» را متناسب با ماهیت و سرعت نوآوری‌های این حوزه بازتعریف و به‌صورت عملی‌تر پیاده‌سازی کنند. برای نمونه، بهره‌گیری از تحلیل‌های مقایسه‌ای گسترده‌تر، ارزیابی هم‌زمان توسط کارشناسان متعدد، و استفاده از داده‌ها و شبیه‌سازی‌های فنی می‌تواند دقت تشخیص را افزایش دهد. افزون بر این، برخی نظام‌های حقوقی به دنبال تعریف سطوح مختلف نوآوری‌اند تا ایده‌ها به‌طور شفاف‌تری طبقه‌بندی و حمایت‌های متناسب با هر سطح ارائه شود.

چالش‌های راهبردی

چالش‌های راهبردی در ثبت اختراع هوش مصنوعی، علاوه بر مسائل حقوقی و فنی، نقش مهمی در شکل‌دهی به آینده فناوری و اقتصاد این حوزه ایفا می‌کنند.

خطر انحصار

یکی از مهم‌ترین نگرانی‌ها، انباشت پتنت‌ها در دست چند شرکت بزرگ فناوری است. این شرکت‌ها با ثبت گسترده پتنت‌های مرتبط با هوش مصنوعی می‌توانند بازار را به انحصار خود درآورند و ورود استارت‌آپ‌ها، پژوهشگران مستقل و شرکت‌های کوچک را دشوار کنند. انحصار بیش از حد منجر به کندی نوآوری خواهد شد، زیرا محدودیت‌های حقوقی می‌تواند توسعه و دسترسی آزاد به فناوری‌های کلیدی را

محدود سازد. در نتیجه، فضای رقابتی و خلاقانه هوش مصنوعی کاهش می‌یابد و بازار به تمرکز در اختیار چند بازیگر بزرگ تبدیل می‌شود که به ضرر کل اکوسیستم است.

سیاست‌های ملی و رقابت جهانی

کشورها به دلیل اهمیت استراتژیک هوش مصنوعی، سیاست‌های متفاوتی را در ثبت اختراعات اتخاذ کرده‌اند. برخی کشورها با ارائه تسهیلات، حمایت‌های مالی و تسریع در روند ثبت، سعی در جذب شرکت‌های بزرگ و سرمایه‌گذاری‌های فناورانه دارند، در حالی که برخی دیگر برای حفظ تعادل میان حمایت از نوآوری و آزادی استفاده، محدودیت‌ها و قواعد خاصی را وضع کرده‌اند. این تفاوت‌های سیاستی می‌تواند برای شرکت‌های فعال در بازار جهانی چالش‌زا باشد؛ آن‌ها باید هزینه‌های بالای تطبیق با قوانینی متنوع را تحمل کنند و ریسک‌های حقوقی متعددی را مدیریت نمایند. همچنین باعث بروز عدم‌تناسب در سطح رقابت و فرصت‌ها در بازار جهانی می‌شود.

مسائل اخلاقی و اجتماعی

ثبت اختراعات هوش مصنوعی صرفاً یک موضوع حقوقی یا فنی نیست، بلکه تبعات اجتماعی و اخلاقی گسترده‌ای دارد. تحقق انحصار حقوقی ممکن است منجر به بیکاری گسترده در برخی حوزه‌ها شود، زیرا شرکت‌های بزرگ فناوری می‌توانند کنترل کامل بر ابزارها و برنامه‌های هوشمند داشته باشند و رقابت را کنترل کنند. همچنین نگرانی‌های مربوط به نقض حریم خصوصی، سوءاستفاده از داده‌ها و تهدید امنیت اطلاعات در پس استفاده انحصاری از فناوری‌های هوش مصنوعی وجود دارد. بنابراین، سیاست‌گذاری در ثبت اختراع باید به صورت جامع ابعاد اجتماعی و اخلاقی را نیز در نظر بگیرد تا توسعه فناوری با رعایت حقوق فردی و اجتماعی هم‌راستا باشد.

مدیریت پرتفوی اختراعات

شرکت‌های فعال در حوزه هوش مصنوعی نیازمند مدیریتی هوشمندانه و منسجم بر پرتفوی اختراعات خود هستند. چنین مدیریتی باید نه‌تنها تضمین‌کننده حفاظت حقوقی مؤثر باشد، بلکه به‌گونه‌ای انعطاف‌پذیر طراحی شود که امکان به‌روزرسانی، توسعه مداوم و بهره‌برداری مشترک از پتنت‌ها و فناوری‌ها را نیز فراهم آورد. در این مسیر، شرکت‌ها باید با درک سرعت شتابان تحولات در هوش مصنوعی، سیاست‌های راهبردی دقیقی اتخاذ کنند تا توازن میان رقابت، همکاری و نوآوری حفظ شود. این رویکرد باعث خواهد شد ارزش اقتصادی پتنت‌ها به حداکثر برسد و محدودیت‌های رقابتی نیز کاهش یابد.

در مجموع، توجه به چالش‌های راهبردی این حوزه — از جمله جلوگیری از انحصار ناسام، تنظیم سیاست‌های متناسب در سطح ملی و بین‌المللی، تضمین رعایت ملاحظات اخلاقی و اجتماعی، و مدیریت هوشمندانه بر دارایی‌های فکری — برای

آینده‌ای موفق و پایدار در عرصه جهانی هوش مصنوعی نقشی حیاتی ایفا می‌کند.

منابع:

Xiao Shurui, Mo Haipeng, "Research on Legal Issues of Artificial Intelligence Intellectual Property", International Journal of Frontiers in Sociology, ۲۰۲۴.
Saleha Hosseini, "Using Intellectual Property to Regulate Artificial Intelligence", SSRN Paper, ۲۰۲۴.
Smyth et al., "Intellectual Property Protection in the Age of AI," The Scientific World Journal, ۲۰۲۴.

"چالش‌های حقوقی اختراعات ناشی از هوش مصنوعی"، فصلنامه مطالعات میان‌رشته‌ای فقه، ۱۴۰۲

"مروری بر چالش نوین حقوق مالکیت فکری در عصر فناوری"، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۴۰۳

"چشم‌اندازی از نظام حق اختراع در پرتو کاربرد هوش مصنوعی"، سیاست‌نامه علم و فناوری، ۱۴۰۲



## رو آوردن به شکست‌پذیری:

### چار چوبی برای پذیرش شکست و نوآوری در

## سازمان‌های ایرانی

|               |                                                        |
|---------------|--------------------------------------------------------|
| <span></span> | <div>میثم‌قصریان</div>                                 |
| <span></span> | مهندسی صنایع و معاونت توسعه کسب و کار شرکت نوساز محاسب |
| <span></span> | صفاهان                                                 |
| <span></span> |                                                        |
| <span></span> |                                                        |
| <span></span> |                                                        |
| <span></span> |                                                        |
| <span></span> |                                                        |
| <span></span> | چکیده                                                  |

در اقتصاد پویا و پرتلاطم امروز، سازمان‌های ایرانی با چالش‌های متعددی روبرو هستند که پذیرش شکست به‌عنوان بخشی از فرآیند نوآوری، کلید بقا و رشد آن‌ها محسوب می‌شود. مفهوم شکست‌پذیری، یعنی توانایی تحمل و یادگیری از شکست‌ها بدون ترس از سرزنش یا مجازات، نه‌تنها موانع سنتی را حذف می‌کند، بلکه بستری برای خلاقیت و پیشرفت فراهم می‌سازد. این مقاله با تمرکز بر سازمان‌های ایرانی، چارچوبی جامع شامل پنج بعد کلیدی برای پذیرش شکست ارائه می‌دهد. این چارچوب بر پایه نظریه‌های مدیریت نوآوری بنا شده و با شرایط فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی ایران تطبیق یافته است. با بررسی عمیق هر بعد، همراه با مثال‌های واقعی از سازمان‌های ایرانی و تحلیل محدودیت‌های سیستمی نوآوری در ایران، هدف این پژوهش افزایش نوآوری سازمانی از طریق نهادینه‌سازی فرهنگ شکست‌پذیری است. نتایج نشان می‌دهد که سازمان‌هایی با فرهنگ تحمل شکست، نرخ نوآوری بالاتری دارند و می‌توانند با تغییرات بازار سازگار شوند. پیشنهادات عملی برای اجرای این چارچوب ارائه شده و محدودیت‌های تحقیق بحث می‌شود.



کلمات کلیدی: پذیرش شکست، نوآوری سازمانی، شکست‌پذیری، سازمان‌های ایرانی، تحلیل سیستمی.

مقدمه

در دنیای پرتلاطم اقتصاد امروز، پذیرش شکست به‌عنوان بخشی از فرآیند نوآوری، کلید بقا و پیشرفت سازمان‌ها محسوب می‌شود. شکست‌پذیری، یعنی توانایی تحمل و یادگیری از شکست‌ها بدون ترس از سرزنش یا مجازات، نه‌تنها موانع سنتی را حذف می‌کند، بلکه بستری برای خلاقیت و پیشرفت فراهم می‌سازد. در سازمان‌های ایرانی، که اغلب تحت تأثیر فرهنگ سنتی، ساختارهای سلسله‌مراتبی و تمرکز بر حفظ وضعیت موجود هستند، این مفهوم اهمیتی دوچندان دارد. تحقیقات جهانی نشان داده‌اند که سازمان‌هایی با فرهنگ پذیرش شکست، نرخ نوآوری بالاتری دارند و می‌توانند به‌سرعت با تغییرات بازار سازگار شوند. در ایران، با توجه به تحریم‌های اقتصادی و محدودیت‌های دسترسی به فناوری‌های خارجی، نوآوری داخلی بیش از پیش ضروری است، اما موانعی مانند ترس از شکست، کمبود منابع مالی و ساختارهای بوروکراتیک مانع پیشرفت می‌شوند. بررسی‌های محلی نشان می‌دهند که نظام نوآوری ایران در عناصر ساختاری و نهادی دچار ضعف‌هایی است که بر پذیرش شکست تأثیر منفی می‌گذارد.

این مقاله با تمرکز بر سازمان‌های ایرانی، چارچوبی جامع برای پذیرش شکست و تقویت نوآوری ارائه می‌دهد که شامل پنج بعد کلیدی است. این چارچوب بر پایه نظریه‌های مدیریت نوآوری بنا شده و با شرایط فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی ایران تطبیق یافته است. در ادامه، ابتدا اهمیت شکست‌پذیری در نوآوری بررسی می‌شود، سپس چارچوب پیشنهادی تشریح شده و در نهایت، ابزارهای مدیریتی، محدودیت‌ها و پیشنهادات تحقیقاتی ارائه می‌گردد.

تحقیقات نشان می‌دهند که در سازمان‌هایی که فرهنگ تحمل شکست را نهادینه کرده‌اند، کارکنان تمایل بیشتری به ریسک‌پذیری و ارائه ایده‌های خلاقانه دارند. در ایران، سازمان‌ها اغلب با ساختارهای بوروکراتیک و تمرکز بر کنترل مواجه‌اند که پذیرش شکست را دشوار می‌کند. برای مثال، در صنعت خودروسازی ایران، که یکی از بخش‌های کلیدی اقتصاد است، پذیرش شکست در فرآیندهای تحقیق و توسعه (R&D) می‌تواند به بهبود کیفیت محصولات و رقابت‌پذیری منجر شود. بااین‌حال، عواملی مانند کمبود منابع مالی، فشارهای خارجی و فرهنگ سنتی ترس از شکست، نیاز به رویکردی سیستماتیک را برجسته می‌سازد. همچنین، عوامل زمینه‌ای شکست سیاست‌های نوآوری در ایران اغلب به نظام‌های سیاسی و اجتماعی وابسته است. تحلیل عمیق این عوامل نشان می‌دهد که شکست‌های سیستمی در نظام ملی نوآوری ایران، مانند عدم هماهنگی بین نهادها و کمبود منابع، مانع از پذیرش شکست به‌عنوان یادگیری می‌شود.

ایران اغلب به نظام‌های سیاسی و اجتماعی وابسته است. تحلیل عمیق این عوامل نشان می‌دهد که شکست‌های سیستمی در نظام ملی نوآوری ایران، مانند عدم هماهنگی بین نهادها و کمبود منابع، مانع از پذیرش شکست به‌عنوان یادگیری می‌شود.



چارچوب پنج‌گانه برای پذیرش شکست و نوآوری

این چارچوب شامل پنج بعد اصلی است که هر یک با تحلیل‌های عمیق، مثال‌های واقعی از سازمان‌های ایرانی و ارتباط با نوآوری بررسی می‌شوند. این چارچوب با الهام از مدل‌های جهانی مانند مدل تحمل شکست در سرمایه‌گذاری خطرپذیر (Venture Capital) طراحی شده، اما با توجه به ویژگی‌های فرهنگی و اقتصادی ایران بازطراحی شده است. هدف این چارچوب، کمک به سازمان‌ها برای نهادینه‌سازی فرهنگ پذیرش شکست و تقویت نوآوری در فرآیندها و ساختارهای سازمانی است.

- پذیرش شکست در فرآیندهای کوچک و بزرگ

پذیرش شکست به معنای شناسایی سریع شکست‌ها، یادگیری از آن‌ها و استفاده از این یادگیری برای بهبود فرآیندها است. این بعد شامل سه زیربخش کلیدی است:

۱.۱. تشخیص سریع انواع شکست و تحمل آن‌ها: سازمان‌ها باید شکست را به‌عنوان فرصتی برای یادگیری ببینند، نه یک ناکامی نهایی. در ایران، فرهنگ سنتی اغلب شکست را با شرم و سرزنش همراه می‌کند که مانع از گزارش‌دهی صادقانه شکست‌ها می‌شود. آموزش کارکنان برای گزارش شکست بدون ترس از مجازات، گامی اساسی است. برای مثال، در شرکت‌های دانش‌بنیان ایرانی مستقر در پارک‌های فناوری، مانند پارک فناوری پردیس، تشخیص سریع شکست در پروژه‌های تحقیق و توسعه (R&D) هزینه‌ها را کاهش داده و منابع را به سمت پروژه‌های موفق‌تر هدایت کرده است. این رویکرد چرخه نوآوری را کوتاه‌تر می‌کند و با کاهش هزینه‌های زمانی و مالی، بهره‌وری سازمان را افزایش می‌دهد. در ایران، جایی که منابع محدود است، این روش می‌تواند تأثیرات قابل توجهی داشته باشد. همچنین، یادگیری از خطا و شکست سازمانی می‌تواند بر عملکرد نوآورانه تأثیر مثبت بگذارد؛ به‌ویژه با مianجی‌گری ظرفیت جذب دانش.

۱.۲. اجرای چرخه‌های MVP (محصول حداقلی قابل عرضه) با محدودیت زمانی: استفاده از MVP به سازمان‌ها امکان می‌دهد ایده‌ها را با حداقل منابع آزمایش کنند. در ایران، که سازمان‌ها اغلب با کمبود بودجه مواجه‌اند، این روش، ریسک‌های مالی را کاهش می‌دهد. برای مثال، شرکت دیجی‌کالا در صنعت فناوری اطلاعات ایران از چرخه‌های MVP برای تست محصولات جدید مانند پلتفرم‌های فروش استفاده کرده که منجر به نوآوری‌های موفق شده است. این روش نه‌تنها شکست را زودتر شناسایی می‌کند، بلکه فرهنگ آزمایش و یادگیری را تقویت می‌کند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که شناسایی شکست‌های سیستمی در نظام نوآوری ایران، مانند ۴۳ شکست عمده در ۱۲ حوزه کارکردی، اهمیت این رویکرد در دوچندان می‌کند. در کسب‌وکارهای خانوادگی ایرانی، موانع نوآوری مانند کمبود منابع، اولویت‌بندی این روش را برجسته می‌کند.

۱.۳. حفاظت سازمانی از آزمایش‌های پرریسک در مراحل اولیه: سازمان‌ها باید محیطی امن برای ریسک‌پذیری ایجاد کنند. در ایران، با توجه به فشارهای اقتصادی، حمایت از کارکنان می‌تواند از طریق پاداش‌های غیرمالی مانند تقدیر عمومی یا فرصت‌های آموزشی فراهم شود. این حمایت، سکوت سازمانی را کاهش داده و نوآوری را در بخش عمومی افزایش می‌دهد. این رویکرد در سازمان‌های ایرانی می‌تواند اعتماد کارکنان را افزایش داده و آن‌ها را به ارائه ایده‌های خلاقانه تشویق کند.

- بهره‌برداری از تعادل در کاوش و بهره‌برداری (Ambidexterity)

این بعد بر ایجاد تعادل بین کاوش ایده‌های جدید و بهره‌برداری از منابع موجود تمرکز دارد.

۲.۱. تخصیص منابع به پروژه‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت: سازمان‌های ایرانی باید بودجه و منابع خود را بین پروژه‌های نوآورانه (کاوش) و عملیاتی (بهره‌برداری) به‌صورت متعادل تقسیم کنند. برای مثال، در بخش کشاورزی ایران، که نوآوری برای افزایش بهره‌وری ضروری است، این تعادل می‌تواند به توسعه فناوری‌های جدید مانند سیستم‌های آبیاری هوشمند منجر شود. این رویکرد به سازمان‌ها امکان می‌دهد هم از منابع موجود بهره‌برداری کنند و هم به دنبال نوآوری‌های بلندمدت باشند، که در محیط رقابتی ایران حیاتی است. سازمان‌های نوآور با این تعادل، ریسک شکست را مدیریت می‌کنند.

۲.۲. ایجاد واحدهای کاوش کوچک و مستقل: واحدهای کوچک و مستقل می‌توانند بدون تأثیر بر کل سازمان، آزمایش‌های پرریسک را انجام دهند. در فرهنگ سلسله‌مراتبی ایران، استقلال این واحدها خلاقیت را افزایش می‌دهد. برای مثال، رویکرد نوآوری باز در برخی شرکت‌های دانش‌بنیان ایرانی، مانند شرکت‌های فعال در حوزه فناوری زیستی، به بهبود عملکرد نوآورانه کمک کرده است. این استقلال، موانع بوروکراتیک را کاهش داده و سرعت نوآوری را افزایش می‌دهد.

- ارتباط ساختاری افقی و مشارکتی

۳.۱. ارتقای تعاملات واحدهای مختلف از طریق پلتفرم‌های ساده: در سازمان‌های ایرانی، ارتباطات افقی می‌تواند بوروکراسی را کاهش دهد و همکاری بین واحدها را تقویت کند. برای مثال، در شرکت‌های تولیدی، استفاده از پلتفرم‌های دیجیتال برای اشتراک دانش، نوآوری را تسریع کرده است.

۳.۲. جلسات کوتاه هفتگی برای انتقال دانش: این جلسات امکان یادگیری از شکست‌ها و اشتراک تجربیات را فراهم می‌کنند. در دانشگاه‌های ایرانی، مانند دانشگاه علوم پزشکی تهران، جلسات منظم برای بحث در مورد پروژه‌های تحقیقاتی، فرهنگ نوآوری را تقویت کرده است. این ارتباطات، موانع مدیریت دانش را کاهش داده و نوآوری سازمانی را افزایش می‌دهد.

- رهبری تحول‌گرا و رفتاری

۴.۱. آموزش و تشویق رهبران برای تصمیم‌گیری سریع و حمایت از ایده‌ها: رهبران باید شکست را به‌عنوان بخشی از یادگیری بپذیرند و از ایده‌های جدید حمایت کنند. در ایران، این می‌تواند فرهنگ سنتی مبتنی بر کنترل را تغییر دهد.

۴.۲. حمایت عمومی از آموزش‌های مداوم توسط رهبران ارشد: آموزش‌های مداوم، مهارت‌های نوآورانه کارکنان را تقویت می‌کند. برای مثال، در شرکت‌های دانش‌بنیان ایرانی، عملکرد با رویکرد نوآوری باز بهبود یافته است. رهبری تحول‌گرا ریسک‌پذیری را افزایش می‌دهد و عوامل شکست نوآوری را کاهش می‌دهد.

- پاداش‌دهی به تغییرات فرهنگی و سیستماتیک

۵.۱. استفاده از فرصت‌های فرهنگی برای پاداش‌دهی به ایده‌ها: استفاده از رویدادهای فرهنگی مانند جشنواره‌های سازمانی برای تقدیر از ایده‌های نوآورانه، فرهنگ تحمل شکست را نهادینه می‌کند. در ایران، کمبود منابع مالی می‌تواند با پاداش‌های غیرمالی مانند تقدیر عمومی جبران شود. این پاداش‌ها سکوت سازمانی را کاهش داده و اشتراک منابع دانشی را افزایش می‌دهد.

برای اجرای این چارچوب، ابزارهای زیر پیشنهاد می‌شوند که با فرهنگ و شرایط سازمان‌های ایرانی سازگارند:

جعبه نوآوری (Innovation Sandbox): فضایی محدود برای آزمایش ایده‌های جدید با حداقل ریسک. این ابزار در شرکت‌های کوچک ایرانی برای تست فناوری‌های نوین استفاده شده است.

چرخه تکراری کم‌هزینه: آزمایش سریع ایده‌ها با هزینه کم، مانند آنچه در استارت‌آپ‌های ایرانی انجام می‌شود.

شاخص‌های محوری نوآوری: معیارهایی برای اندازه‌گیری پیشرفت نوآوری و یادگیری از شکست.

دانش شکست بانکی: مستندسازی تجربیات شکست برای یادگیری سازمانی، که در سازمان‌های ایرانی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در صنایع دفاعی ایران، استفاده از این ابزارها شکست‌های شبکه همکاری را کاهش می‌دهد.

محدودیت‌ها، بحث و پیشنهادات تحقیقاتی

محدودیت‌های این پژوهش شامل تمرکز بر سازمان‌های بزرگ و عدم بررسی صنایع خاص مانند استارت‌آپ‌ها یا صنایع کوچک و متوسط است. در ایران، ترس از شکست به دلیل فرهنگ سنتی عمیقاً ریشه‌دار است، اما این چارچوب می‌تواند با ایجاد محیطی امن برای آزمایش، این مانع را برطرف کند.

پیشنهادات تحقیقاتی: تحقیقات آینده می‌توانند بر صنایع کوچک و متوسط تمرکز کنند و تأثیر بحران‌های مالی بر پذیرش نوآوری را بررسی کنند. همچنین، تحلیل لایه‌ای علت‌های شکست نظام نوآوری می‌تواند به درک بهتر چالش‌ها کمک کند.

نتیجه‌گیری

پذیرش شکست به‌عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از فرآیند نوآوری، کلید موفقیت سازمان‌های ایرانی در محیط رقابتی و پویای امروزی است. این پژوهش با ارائه چارچوبی جامع شامل پنج بعد کلیدی، راهکاری عملی برای نهادینه‌سازی فرهنگ شکست‌پذیری و تقویت نوآوری در سازمان‌های ایرانی پیشنهاد می‌دهد. این چارچوب، با تمرکز بر تشخیص سریع شکست‌ها، استفاده از چرخه‌های MVP، ایجاد تعادل بین کاوش و بهره‌برداری، تقویت ارتباطات افقی، رهبری تحول‌گرا و پاداش‌دهی به تغییرات فرهنگی، می‌تواند موانع سنتی مانند ترس از شکست و ساختارهای بوروکراتیک را برطرف کند. مثال‌های واقعی از سازمان‌های ایرانی، مانند دیجی‌کالا و پارک فناوری پردیس، نشان‌دهنده موفقیت این رویکردها در عمل هستند.

علاوه بر این، ابزارهای مدیریتی پیشنهادی، مانند جعبه نوآوری و دانش شکست بانکی، می‌توانند به سازمان‌ها کمک کنند تا شکست‌ها را به فرصت‌های یادگیری

تبدیل کنند. این ابزارها با شرایط اقتصادی و فرهنگی ایران سازگار بوده و می‌توانند

در کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری مؤثر باشند. بااین‌حال، محدودیت‌هایی مانند تمرکز بر سازمان‌های بزرگ و عدم بررسی صنایع کوچک و متوسط، نیاز به تحقیقات بیشتر را برجسته می‌کند. تحقیقات آینده می‌توانند با تمرکز بر این صنایع و تحلیل عمیق‌تر عوامل سیستمی، مانند شکست‌های نهادی در نظام نوآوری ایران، به درک بهتری از چالش‌ها و راهکارها منجر شوند.

در نهایت، اجرای این چارچوب می‌تواند فرهنگ ترس از شکست را به فرهنگ یادگیری و خلاقیت تبدیل کند، که نه تنها نوآوری سازمانی را تقویت می‌کند، بلکه به سازمان‌های ایرانی امکان می‌دهد در برابر چالش‌های اقتصادی و رقابتی مقاوم‌تر شوند. این تحول فرهنگی، همراه با حمایت‌های ساختاری و مدیریتی، می‌تواند جایگاه ایران را در اکوسیستم نوآوری جهانی بهبود بخشد و به توسعه پایدار اقتصادی کمک کند. سازمان‌های ایرانی باید با پذیرش شکست به‌عنوان فرصتی برای رشد، به سمت آینده‌ای نوآورانه‌تر حرکت کنند.

منابع

- نظری، مهدی و همکاران. (۱۴۰۳). واکاوی شکست‌های سیستمی نظام نوآوری ایران؛ رویکرد تحلیل ساختاری. فصلنامه بهبود مدیریت، دوره ۱۸، شماره ۳.
- علیزاده، پرویز. (۱۳۹۹). واکاوی عوامل زمینه‌ای شکست سیاست‌های علم، فناوری و نوآوری. فصلنامه سیاست علم و فناوری، دوره ۱۲، شماره ۴.
- محمدی، علی و همکاران. (۱۴۰۲). تحلیل ساختاری اثر یادگیری از خطا و شکست سازمانی بر عملکرد نوآورانه. نشریه مدیریت نوآوری در سازمان‌های دفاعی، دوره ۷، شماره ۱.
- فاضلی، محمد. (۱۳۹۹). تحلیل الیه‌ای علت‌های شکست نظام نوآوری: فناوری تولید همزمان. نشریه مدیریت نوآوری، سال نهم، شماره ۳.
- قیاس‌وند، نعمت‌الله. (۱۴۰۲). بررسی بحران‌های مالی بر میزان پذیرش و بکارگیری نوآوری‌های حسابداری مدیریت. کنفرانس بین‌المللی علوم انسانی و مدیریت.
- سازمان‌های نوآور شکست نمی‌خورند. ماهنامه پیوست. (۱۳۹۶).



# میز آب، محیط زیست و انرژی



## فرا سو سپهر آریا (فرا سا)

## چکیدہ

انتخاب صحیح سیستم گرمایش خورشیدی در کاهش هزینه تمام شده و افزایش بهره‌وری آن بسیار حیاتی است. ظرفیت این سیستم بر اساس میزان آب گرم مورد نیاز در یک ساختمان تعیین می‌شود. در صورتی که ظرفیت سیستم انتخابی کمتر از حد مورد نیاز باشد، سیستم در تأمین آب گرم ناتوان خواهد بود و چنانچه بیش از حد لازم باشد، موجب گرم شدن غیرضروری آب خواهد شد. بنابراین، استفاده از یک روش محاسباتی برای انتخاب صحیح سیستم گرمایش خورشیدی اجتناب‌ناپذیر است.

در این پژوهش، ضمن ارائه یک الگوریتم محاسباتی برای طراحی و انتخاب سیستم گرمایش خورشیدی جهت تأمین آب گرم مصرفی، به مطالعه موردی یک ساختمان اداری موقه در شهر اصفهان با جمعیت ۲۰۰ نفر پرداخته شده است. بدین منظور، ابتدا میزان آب گرم مصرفی ساختمان تخمین زده شد و سپس با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه، میزان تابش قابل استحصال با استفاده از الگوهای ریاضی و اطلاعات جغرافیایی محاسبه گردید و در نتیجه سطح کالکتور مورد نیاز تعیین شد.

بر اساس نتایج به‌دست آمده، برای تأمین آب گرم مصرفی این ساختمان اداری، یک مخزن با ظرفیت ۱۵۰۰ لیتر و ۱۴ عدد کالکتور خورشیدی صفحه تخت با سطح جذب تقریبی ۲۲ متر مربع مورد نیاز است. لازم به ذکر است کالکتور خورشیدی این پروژه در شرکت فراسو سپهر آریا تولید شده و اعتبارسنجی نتایج طراحی و تجربی، صحت طراحی و اجرا را تأیید می‌کند.

مقدمه

بهره‌برداری از انرژی خورشیدی در بسیاری از کشورهای جهان، به‌ویژه مناطق با تابش بالا، معمول و در حال پیشرفت است. امروزه بیش از ۹۹٫۹٪ از مجموع انرژی‌هایی که به زمین منتقل می‌شود از خورشید منشأ می‌گیرد که مقدار آن  $10^{15} \times 8 \times 10^8$  تراوات است ( $10^{12}$  = ترا). انرژی حاصل از تابش خورشید که در هر روز به زمین می‌رسد،  $100,000$  برابر مقدار انرژی تولید شده توسط کلیه نیروگاه‌های جهان است [۱].

«انتخاب بهینه سیستم گرمایش خورشیدی مبتنی بر تحلیل مصرف و ظرفیت‌سنجی کالکتورها»



تحقیقات نشان می‌دهد تولید آب گرم مصرفی ساختمان‌ها از اقتصادی‌ترین روش‌های استفاده از انرژی خورشید است. این مطالعه، ارائه روش محاسباتی دقیق برای طراحی و انتخاب سیستم گرمایش خورشیدی یک ساختمان اداری در اصفهان را هدف قرار داده است.

## ۲- تعریف مسئله

هدف، طراحی و انتخاب یک سیستم گرمایش خورشیدی به منظور تأمین آب گرم مصرفی یک ساختمان اداری در شهر اصفهان مشتمل بر ۷ طبقه و ۲۸ واحد است. تعداد پرسنل حاضر در این ساختمان ۲۰۰ نفر شامل پرسنل اداری و خدماتی مستقر در این ساختمان می‌باشد.

۳- محاسبه میزان آب گرم مصرفی ساختمان و بار حرارتی آن

۳-۱- دمای آب گرم مورد نیاز

دمای آب گرم مورد نیاز با توجه به موارد مصرف آن متفاوت است. برای انجام محاسبات مربوط به آب گرم ساختمان‌های معمولی، اغلب دمای آب سرد ورودی به آبگرمکن (آب شهر) برابر ۱۵ درجه سانتی‌گراد و دمای آب گرم خروجی از آن ۶۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود. در جدول ۱ دمای مورد نیاز برای آب گرم در مصارف مختلف آورده شده است [۱۳].

جدول ۱: دمای آب گرم برای بعضی از مصارف

| نوع مصرف                | دمای آب گرم مصرفی |
|-------------------------|-------------------|
| شیر دستشویی یا ظرفشویی  | ۵۰                |
| حمام                    | ۲۵-۴۰             |
| کارواش و تعمیرگاه       | ۲۵-۳۰             |
| شستشوی ماشین آلات صنعتی | ۶۰-۷۰             |
| استخر شنا               | ۲۱-۲۷             |

عباسپورثانی و همکاران[۷] در تحقیق خود به تحلیل زاویه قرارگیری گیرنده نسبت به افق و زاویه جنوبی گیرنده در شهر رامسر پرداخته و مشاهده کردند که زوایای بهینه برای حالت (۱۸۰ و ۴۱,۳ درجه) باعث افزایش ۳۱,۸۷ کیلووات ساعت و ۱,۵۲۸٪ انرژی نسبت به حالت معمول، برای حالت (۲۰۲ و ۳۶,۵۳ درجه) باعث افزایش ۶۰,۲۳ کیلووات ساعت و ۲,۸۹٪، و برای حالت (۲۱۰ و ۴۷,۵ درجه) باعث افزایش ۸۲,۴۷ کیلووات ساعت و ۳,۹۵۶٪ انرژی نسبت به حالت معمول می‌شود.

اطمینان و همکاران[۸] به مقایسه فنی و اقتصادی جایگزینی آبگرمکن‌های خورشیدی با نوع گازی و برقی پرداخته و با در نظر گرفتن ۱۵٪ افزایش سالانه بهای انرژی در دو حالت وجود یارانه و عدم آن، بررسی خود را انجام دادند. نتایج نشان داد زمان بازگشت سرمایه بین ۶ تا ۷ سال و زمان آغاز سوددهی طرح بین ۷ تا ۸ سال است، که با احتساب ۱۵٪ درآمد سالیانه ملی از اجرای طرح، زمان آغاز سوددهی به کمتر از ۵ سال خواهد رسید.

ظہیرنژاد و همکاران[۹] با توجه به شرایط جغرافیایی شهر سمنان، یک ساختمان اداری یک طبقه در دانشگاه آزاد سمنان را بررسی کرده و بارهای حرارتی در حالت‌های مختلف، از جمله جهت‌های مختلف جغرافیایی و نوع مصالح دیوارها، محاسبه و یک حالت بهینه انتخاب کردند. سپس توسط نرم‌افزار RETSCREEN، ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی انجام شد. نتایج نشان داد میزان صرفه‌جویی در سوخت گاز طبیعی ۲۳۲۲ متر مکعب در سال و میزان کاهش گازهای آلاینده برابر با ۱,۲ تن CO<sub>2</sub> در سال است.

سبحانی و رضایی[۱۰] در مطالعه خود به بررسی نحوه کار اجزای مختلف آبگرمکن خورشیدی ترموسیفونی و تحلیل اقتصادی این سیستم پرداختند. حسین‌پور[۱۱] عملکرد فنی چهار ساله یک



## ۲-۳- مقدار آبگرم مصرفی و ظرفیت آبگرمکن

میزان آب‌گرمی که در جداول استاندارد تأسیسات برای مصارف مختلف پیشنهاد شده است، حداکثر مقداری است که بر پایه استفاده مستمر در تمام ساعات روز تعیین می‌شود. ولی بدیهی است که میزان تقاضا برای آب‌گرم در تمام ساعات یکسان نیست، بلکه در ساعاتی از روز این مقدار حداکثر و در ساعاتی دیگر حداقل و حتی صفر است. ظرفیت حرارتی آب‌گرم‌کن، که عبارت است از مقدار آبی که در یک ساعت توسط آب‌گرم‌کن گرم می‌شود، حداقل برابر با مقدار واقعی مصرف آب گرم در ساختمان خواهد بود. در جدول ۲ مقادیر آب گرم مصرفی بر اساس نوع کاربری برای هر نفر در ساعت آمده است [۱۳].

جدول ۲: حداکثر آبگرم مصرفی برای هر نفر بر حسب نوع ساختمان(LPH)

| نوع ساختمان              | حداکثر آبگرم لازم برای هر نفر لیتر بر ساعت | ضریب تقاضا | ضریب ذخیره |
|--------------------------|--------------------------------------------|------------|------------|
| منازل مسکونی             | ۳۸                                         | ۰/۶۰       | ۱/۴        |
| با مخزن آپارتمان اختصاصی | ۳۸                                         | ۰/۶۰       | ۱/۴        |
| با مخزن مشترک            | ۲۷                                         | ۰/۶۰       | ۱/۴        |
| ادارات                   | ۱۲                                         | ۰/۳۰       | ۲          |

برای تعیین حجم منبع آب‌گرم مصرفی باید مقدار واقعی مصرف آب‌گرم را در ضریب ذخیره ضرب نمود. این مطلب از این جهت است که پس از مصرف حدود ۷۵٪ آب‌گرم موجود در منبع، بقیه آب منبع سرد خواهد شد و بنابراین باید حجم منبع آب‌گرم را حداقل بین ۲۵ تا ۳۵٪ بیش از میزان مصرف واقعی آب‌گرم در نظر گرفت و حتی‌المقدور باید منبع ذخیره را بزرگ‌تر در نظر گرفت، زیرا این امر باعث کاهش بار حرارتی و کوچکتر شدن اندازه سطح حرارتی آب‌گرم‌کن خواهد شد. کارخانجات، ادارات و مدارس معمولاً دارای تقاضای آب‌گرم غیر یکنواخت بوده و حداکثر تقاضای آن‌ها در مدت زمان بسیار کوتاهی رخ می‌دهد. بر پایه مطالب مذکور، می‌توانیم مقدار واقعی مصرف آب گرم و حجم منبع را با استفاده از روابط زیر محاسبه نمود [۱۳].

$$V_{st}=HWD_{\max}\times DF\times SF \qquad (۱)$$

در روابط فوق حداکثر مصرف آب گرم در ساعت، ضریب تقاضا، حجم منبع آبگرم و ضریب ذخیره منبع است. با فرض حداکثر میزان مصرف به ازای هر نفر، ۱۲ لیتر و با توجه به تعداد کل ساکنین، مقدار کل حداکثر آب گرم مصرفی۱۴۴۰ لیتر بر ساعت در نظر گرفته می‌شود. با جایگذاری مقدار کل حداکثر مصرف آب گرم در رابطه ۱ و همچنین فرض ۰/۳ به عنوان ضریب تقاضا از همان جدول، داریم:

## ۲-۴- مقدار آبگرم مصرفی و ظرفیت آبگرمکن

۱۴۴۰=۳ ۰۳ ۲۴۰۰=Vst

با توجه به حجم مخازن موجود در بازار این میزان را می‌توان ۱۵۰۰ لیتر در نظر گرفت.

۴- برآورد تعداد کلکتور خورشیدی مورد نیاز

۱۰۴- محاسبه بار حرارتی آبگرم مصرفی

پس از تعیین مقدار واقعی آب گرم مصرفی که برابر است با حداقل ظرفیت حرارتی آبگرم‌کن، بار حرارتی آب گرم مصرفی را از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$Q_s=V_{st}\times C_p\times \Delta T \qquad (۲)$$

که در آن ظرفیت حرارتی کل منبع ذخیره بر حسب کیلو وات ساعت ، حجم منبع ذخیره بر حسب متر مکعب ، ظرفیت حرارتی آب بر حسب که برای آب ۱٫۱۶ است. دمای آب ورودی شهر ۱۵ درجه سانتی‌گراد و دمای آب گرم خروجی از آن ۶۰ درجه سانتیگراد طبق جدول ۲ در نظر گرفته می‌شود.

Q =۱٫۵ ۱٫۱۶ (۱۵-۶۰) =۷۸/۳ kWh

۲۰۴- میزان تابش خورشیدی

مقدار تابش خورشیدی رسیده بر بالای جو زمین ( ) تابعی از عرض جغرافیایی است. پس از اینکه تابش‌های خورشیدی به جو زمین رسید و از آن عبور نمود، به دلیل پدیده‌های پخش و جذب اتمسفری، بخشی از تابش خورشیدی مستهلك می‌شود، به ویژه زمانی که ابرناکي آسمان و یا میزان ذرات هوا (تیرگی آسمان) بالا باشد. بنابراین، مقدار تابش وارد شده به يك سطح افقي (Hs)، در زمان‌های مختلف و به ویژه با تغییر شرایط اتمسفر تغییر می‌یابد. تاکنون پارامترهای اقلیمی مختلفی برای مدل‌سازی مقدار تابش ورودی به سطح از مقدار اولیه آن ( ) آزمون شده که بررسی‌ها نشان می‌دهد (Angstrom) مهمترین این عوامل طبق رابطه آنکستروم طول روز و ساعات آفتابی است که بر اساس رابطه (۲) محاسبه می‌شوند[۱۴] :

$$\frac{\overline{H}}{H_0}=a+b\frac{\overline{n}}{N} \qquad (۳)$$

در معادله (۲) مقدار میانگین ماهیانه تابش رسیده به سطح برحسب است. میانگین ماهیانه تابش رسیده در بالای جو برحسب ، میانگین ساعات روزانه تابش خورشید در یک ماه (یعنی طول روز در وسط ماه)، متوسط حداکثر ساعت‌های روزانه تابش خورشید در یک ماه و a و b ضرایب ثابت تجربی هستند که برای هر منطقه باید مشخص شوند. در این پژوهش این ضرایب به ترتیب ۰/۲۲ و ۰/۴۱ فرض شده است [۱۴]. هم‌چنین مقدار از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$H_0=\frac{24\times 3.6\times 10^{-3}\times I_{sc}}{\pi}\left(1+0.033\cos(360\frac{n}{365})\right)\cos\phi\cos\delta\sin\omega+\omega\sin\phi\sin\delta \qquad (۴)$$

که در آن شماره ژولپوسی روزهای وسط هر ماه، ثابت خورشیدی که معادل ، عرض جغرافیایی محل و مکان زاویه‌ای خورشید در ظهر خورشیدی برای روزهای وسط هر ماه است که از رابطه زیر به دست می‌آید [۱۴]:

محل و مکان زاویه‌ای خورشید در ظهر خورشیدی برای روزهای وسط هر ماه است که از رابطه زیر به دست می‌آید [۱۴]:

## ۲-۵- هم‌چنین زاویه ساعتی خورشید در هنگام غروب برای روزهای وسط هر ماه است که از رابطه زیر به دست می‌آید[۱۴]:

$$\delta =23.45\sin\left(360\frac{248+n}{365}\right) \qquad (۵)$$

هم‌چنین زاویه ساعتی خورشید در هنگام غروب برای روزهای وسط هر ماه است که از رابطه زیر به دست می‌آید[۱۴]:

$$\omega =\cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta) \qquad (۶)$$

طول روز نیز برای روز وسط هر ماه از رابطه زیره دست می‌آید[۱۴]:

$$\overline{N}=\frac{2}{15}\cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta) \qquad (۷)$$

در این پروژه علاوه بر محاسبه تابش از روابط فوق از اطلاعات میزان تابش و درجه حرارت ایستگاه هواشناسی شهرستان اصفهان استفاده شده است. مقدار میانگین ماهیانه ساعات آفتابی که با توجه به طول و عرض جغرافیایی برای هر ماه از داده‌های آماری منطقه مورد مطالعه از جدول ۳ بدست می‌آید.

جدول ۳: متوسط ساعات روزانه تابش خورشید متناسب با طول و عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

| N  | Jan | Feb | March | April | May | June | July | Aug | Sept | Oct | Nov | Dec |
|----|-----|-----|-------|-------|-----|------|------|-----|------|-----|-----|-----|
| ۹۹ | ۹۸  | ۱۰۰ | ۱۰۷   | ۱۱۶   | ۱۲۶ | ۱۳۴  | ۱۴۱  | ۱۴۰ | ۱۳۳  | ۱۲۴ | ۱۱۴ | ۱۰۶ |

با جایگذاری مقادیر معلوم در رابطه ۴، نتایج حل مسئله برای ماه‌های یک سال نمونه در جدول ۴ آمده است. به منظور صحه‌سنجی نتایج با مقادیر آماری ایستگاه هواشناسی اصفهان مقایسه شده است.

| محله    | مقدار میانگین تابش در طول روز (kWh/m <sup>2</sup> day <sup>-1</sup> ) | مقدار میانگین تابش در طول روز (kWh/m <sup>2</sup> day <sup>-1</sup> ) | مقدار میانگین تابش در طول روز (kWh/m <sup>2</sup> day <sup>-1</sup> ) | مقدار میانگین تابش در طول روز (kWh/m <sup>2</sup> day <sup>-1</sup> ) | مقدار میانگین تابش در طول روز (kWh/m <sup>2</sup> day <sup>-1</sup> ) | مقدار میانگین تابش در طول روز (kWh/m <sup>2</sup> day <sup>-1</sup> ) | مقدار میانگین تابش در طول روز (kWh/m <sup>2</sup> day <sup>-1</sup> ) | مقدار میانگین تابش در طول روز (kWh/m <sup>2</sup> day <sup>-1</sup> ) | مقدار میانگین تابش در طول روز (kWh/m <sup>2</sup> day <sup>-1</sup> ) | مقدار میانگین تابش در طول روز (kWh/m <sup>2</sup> day <sup>-1</sup> ) | مقدار میانگین تابش در طول روز (kWh/m <sup>2</sup> day <sup>-1</sup> ) | مقدار میانگین تابش در طول روز (kWh/m <sup>2</sup> day <sup>-1</sup> ) |
|---------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Alam    | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               |
| Aldeh   | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               |
| Aldehsh | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               |
| AlAgel  | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               |
| AlDay   | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               |
| Almar   | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               |
| AlJaly  | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               |
| AlJag   | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               |
| AlJagt  | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               |
| AlOut   | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               |
| AlNam   | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               |
| AlDae   | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.10.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               | 0.11.77                                                               |

از الگو های ریاضی ارائه شده و استفاده از مقادیر انرژی تابشی روی سطح افقی محاسبه شده در جدول فوق، این انرژی برای سطوح شیب دار محاسبه می‌شود. تابش کل میانگین ماهانه روی سطوح شیبدار، برابر با مجموع مولفه‌های تابش مستقیم، تابش پراکنده و مولفه بازتابش زمینی است [۱۶و۱۵].

## ۲-۸- روش مورد استفاده در این پروژه KT Method (۱۹۸۱)

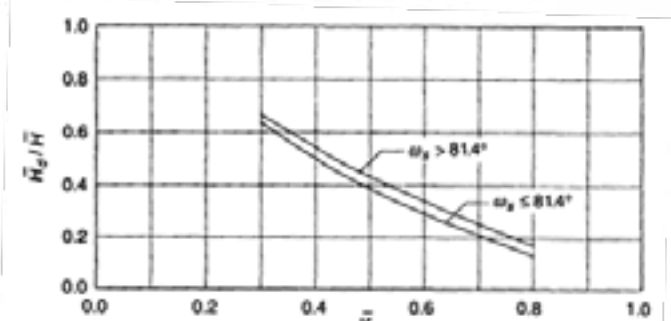
روش مورد استفاده در این پروژه KT Method (۱۹۸۱) است. این روش به دو صورت ایزوتروپیک و غیر ایزوتروپیک وجود دارد. در حالت ایزوتروپیک برای موقعیت قرارگیری پنل‌ها يك زاویه سمت ثابت در نظر گرفته می‌شود. حالت غیر ایزوتروپیک مدلی دیگر از KT Method می‌باشد که به ازای زوایای شیب مختلف پنل‌ها، زوایای سمت ممکن است تغییر کند. مقدار تابش میانگین ماهانه بر روی سطح شیبدار به شکل زیر حاصل می‌شود[۱۵و۱۶].

$$H_T=\overline{R.H} \qquad (۹)$$

میانگین تابش کل تابیده شده به سطوح شیبدار، میانگین تابش کل تابیده شده به سطوح افقی (قابل حصول از مرحله قبل) و نسبت مقدار متوسط تابش مستقیم روی سطوح شیبدار به مقدار متوسط تابش مستقیم روی سطوح افقی است که برای يك سطح با حالت ایزوتروپیک ( ) با استفاده از KT Method به صورت زیر بیان می‌شود [۱۵و۱۶]:

$$\overline{R}=\frac{\cos(\theta-\beta)}{d\cos\phi}\left[\left(a+\frac{\overline{H}_0}{H_0}\right)\left(\sin\alpha_s+\frac{\sin\phi}{\sin\alpha_s}\sin\alpha_s'\right)+\frac{\overline{H}_0}{H_0}\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right)+\rho_s\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right)\right] \qquad (۱۰)$$

در رابطه اخیر زاویه شیب پنل‌ها، ضریب انعکاس زمین (در ماه‌های ژانویه و فوریه ۰/۷ ، در ماه‌های مارس و دسامبر ۰/۴ و در بقیه ماه‌ها ۰/۲ در نظر گرفته شده است. مقدار کسر متوسط ماهانه تابش است که تابعی از شاخص متوسط وضوح آسمان در هر ماه بوده و از نمودار روابط همبستگی Erbsو همکاران (۱۹۸۲) بدست می‌آید. شاخص متوسط وضوح، ا، از جدول ۴ قابل حصول است [۱۵و۱۶].



شکل ۱: رابطه کسر پراکندگی روزانه پیشنهادی با از Erbs و همکاران (۱۹۸۲) هم‌چنین زاویه در لحظه غروب آفتاب و متغیرهای a و b، به صورت زیر بیان می‌شوند [۱۵و۱۶].

$$\omega_s=\cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta) \qquad (۱۱)$$

$$\omega_s''=\cos^{-1}(-\tan(\phi-\beta)\tan\delta) \qquad (۱۲)$$

$$\omega_s'=\min\left[\omega_s,\omega_s''\right] \qquad (۱۳)$$

$$a=0.409+0.5016\sin(\omega_s-60) \qquad (۱۴)$$

$$b=0.6609+0.4767\sin(\omega_s-60) \qquad (۱۵)$$

$$d=\sin\omega_s-\frac{\pi\omega_s}{180}\cos\omega_s \qquad (۱۶)$$

عملاً در طراحی پنل‌ها امکان تغییر زاویه روزانه میسر نیست، از آنجا که در نیمکره شمالی پنل‌های خورشیدی برای دریافت تابش بیشتر رو به جنوب یعنی ( ) قرار می‌گیرند، این زاویه از صفر (حالت افق ) تا ۹۰ درجه با حفظ جهت جنوب قادر به تغییر است. بر اساس یک تحقیق تجربی در ایران زوایای بهینه نصب در فصول مختلف سال مطابق جدول ۵ است.

جدول ۵: زاویه بهینه نصب بهینه در مرکز بر اساس نتایج یک پژوهش تجربی [۱۵و۱۶].

| فصل               | بهار  | تابستان | پاییز | زمستان |
|-------------------|-------|---------|-------|--------|
| زاویه             | ۲۲    | ۰       | ۳۷/۳۳ | ۶۵/۳۳  |
| زاویه متوسط بهینه | ۳۱٫۱۶ |         |       |        |

با محاسبه مقادیر مجهول از روابط ۱۰ تا ۱۶ و استفاده از مقدار معلوم ، میانگین تابش کل تابیده شده به سطوح افقی، از جدول ۴، مقدار ، میانگین تابش کل تابیده شده به سطوح شیبدار، مطابق جدول ۶ بدست می‌آید.

جدول ۶: متوسط ماهانه شدت تابش خورشیدی بر روی سطح شیب‌دار (کلکتور) و مولفه‌های آن برای شهر اصفهان

| <i>i</i> | <i>H<sub>T</sub></i> <sup>o</sup><br>(kWh/m <sup>2</sup> .day) | <i>H<sub>T</sub></i> <sup>o</sup><br>(kWh/m <sup>2</sup> .day) | <i>H<sub>T</sub></i> <sup>o</sup><br>(kWh/m <sup>2</sup> .day) | <i>H<sub>T</sub></i> <sup>o</sup><br>(kWh/m <sup>2</sup> .day) |
|----------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Jan      | ۱۵۳۳                                                           | ۳۷۱۴                                                           | ۱۵۳۳                                                           | ۱۵۳۳                                                           |
| Feb      | ۱۵۳۳                                                           | ۳۷۱۴                                                           | ۱۵۳۳                                                           | ۱۵۳۳                                                           |
| March    | ۲۲                                                             | ۳۷۱۴                                                           | ۳۳۰۴                                                           | ۳۳۰۴                                                           |
| April    | ۲۲                                                             | ۳۷۱۴                                                           | ۴۵۸۸                                                           | ۴۵۸۸                                                           |
| May      | ۲۲                                                             | ۳۷۱۴                                                           | ۵۸۷۲                                                           | ۵۸۷۲                                                           |
| June     | -                                                              | ۳۷۱۴                                                           | ۶۷۵۶                                                           | ۶۷۵۶                                                           |
| July     | -                                                              | ۳۷۱۴                                                           | ۷۶۴۰                                                           | ۷۶۴۰                                                           |
| Aug      | -                                                              | ۳۷۱۴                                                           | ۸۵۲۴                                                           | ۸۵۲۴                                                           |
| Sept     | ۳۳۳۳                                                           | ۳۷۱۴                                                           | ۹۴۰۸                                                           | ۹۴۰۸                                                           |
| Oct      | ۳۳۳۳                                                           | ۳۷۱۴                                                           | ۱۰۲۹۲                                                          | ۱۰۲۹۲                                                          |
| Nov      | ۳۳۳۳                                                           | ۳۷۱۴                                                           | ۱۱۱۷۶                                                          | ۱۱۱۷۶                                                          |
| Dec      | ۳۳۳۳                                                           | ۳۷۱۴                                                           | ۱۲۰۶۰                                                          | ۱۲۰۶۰                                                          |

با توجه به اینکه کلکتور انتخابی باید قابلیت گرم نمودن آب با کم‌ترین شدت تابش را دارا باشد، لذا طبق مقادیر جدول، از متوسط سه ماه با تابش کم‌تر شامل نوامبر، دسامبر و ژانویه برای محاسبات استفاده می‌شود. هم‌چنین با توجه به اینکه اکثر سیستم‌های خورشیدی فاقد مکانیزم چرخش زاویه‌ای هستند از مقادیر مربوط به زاویه بهینه سالانه میزان تابش خورشیدی بر حسب کیلو وات ساعت بر متر مربع بر روز به شکل زیر محاسبه می‌شود.

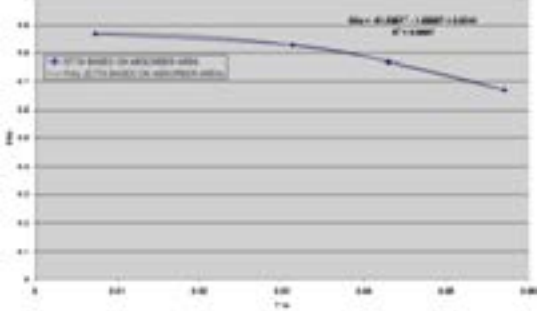
SR = (۱۷۳۱۰+۱۶۹۸۰+۱۸۲۹۰)/۲= ۱۷۵۲۶ day.Kj/m۲
۴٫۸۶ = day.Kwh/m۲

۴-۳- سطح جاذب

هرچند طبق ۴-۲ میزان تابش خورشیدی ۴٫۸۶ کیلو وات ساعت بر متر مربع بوده، اما میزان دریافت آن توسط کلکتور به عملکرد آن بستگی دارد.

$$C_y = S_R \times \eta_c \times \eta_{sys} \qquad (۱۷)$$

که در آن میزان جذب انرژی توسط کلکتور بر حسب ، راندمان کلکتور بر اساس نتایج تجربی کلکتور مورد استفاده، راندمان سیستم شامل اتصالات، لوله‌ها، مخزن ذخیره و ... است. از آنجا که در این پژوهش از کلکتورهای صفحه تخت ساخت شرکت سولار پلار استفاده می‌شود، لذا ضریب راندمان کلکتور از منحنی تجربی راندمان کلکتور آن شرکت بر اساس استاندارد En-۱۲۹۷۵ استخراج می‌شود.



شکل ۲: نمودار بازده کلکتور بر اساس سطح جاذب مقیاس شده برای

محور عمودی این نمودار راندمان کلکتور و محور عمودی دمای کاهش یافته سطح کلکتور است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$T_m^* = \frac{(T_m - T_a)}{G} \qquad (۱۸)$$

در رابطه فوق، دمای کاهش یافته سطح کلکتور، دمای متوسط ورود و خروج کلکتور، دمای هوای اطراف و نرخ تابش ورودی به کلکتور است. بر اساس استاندارد آزمایش، دمای محیط ۳۰ درجه سانتی‌گراد و نرخ تابش خورشیدی ۸۰۰ وات بر متر مربع فرض شده است. همچنین بر اساس فرضیات مسئله دمای آب سرد ورودی ۱۵ درجه و دمای آب خروجی کلتور ۶۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است. طبق استاندارد مذکور دمای هوا باید به نحوی انتخاب شود که اختلاف آن با دمای ورودی سیستم حداکثر ۳ درجه سانتی‌گراد باشد، لذا دمای هوای اطراف ۱۵ درجه سانتی‌گراد فرض می‌شود. لذا با جایگزینی مقادیر مذکور راندمان کلکتور محاسبه می‌شود. با جایگذاری اطلاعات ارائه شده در معادله ۱۸ مقدار Tm برابر با ۳۷/۵ درجه سانتیگراد و Tm\* برابر با ۰٫۲۸ خواهد شد.

با جایگزینی دمای کاهش یافته سطح کلکتور از بالا در معادله منحنی عملکرد کلکتور در شکل ۱، راندمان کلکتور بدست می‌آید.

$$= - ۵۱/۵۸۸ Tm^* - ۱/۶۸۹۸ Tm + ۰٫۹۳۴۱ = ۰٫۸۵$$

با فرض راندمان سیستم برابر با۰/۸۵، میزان جذب انرژی توسط کلکتور بر حسب بدست می‌آید.

CY = ۴/۸۶ × ۰٫۸۵ × ۰٫۸۵ = ۳/۵ kWh/m۲
از آنجا که بازده کلکتور بر اساس سطح جاذب محاسبه شده است، لذا در اینجا بر اساس میزان جذب انرژی توسط کلکتور، سطح جاذب آن از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$S_A = \frac{Q}{C_y} \qquad (۱۹)$$

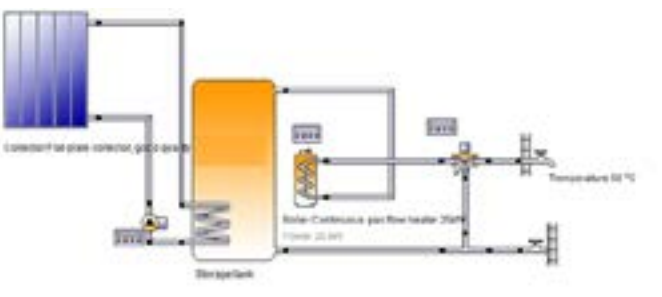
که در آن ، سطح صفحه جاذب خورشیدی، بار حرارتی آب گرم مصرفی که از قسمت ۴-۱ محاسبه شد و میزان جذب انرژی توسط کلکتور است. بر این اساس برای این پروژه مساحت صفحات جاذب بدست می‌آید. با جایگذاری مقادیر در معادله ۱۹ مقدار سطح مورد نیاز جاذب خورشیدی برابر با ۲۲/۳متر مربع خواهد شد.

۵- مشخصات سیستم انتخابی

به منظور انتخاب تجهیزات، دانستک حجم منبع ذخیره و همچنین سطح جاذب کلکتور ضروری است که در قسمت‌های پیشین برای این پروژه به‌دست آمد. در این مرحله، با در نظر گرفتن تجهیزات موجود در بازار و مقادیر محاسبه شده شامل حجم مخزن و سطح جاذب، مشخصات سیستم انتخابی در جدول ۷ خلاصه شده است.

| مقدار               | مشخصه                    | مقدار      | مشخصه                         |
|---------------------|--------------------------|------------|-------------------------------|
| ۳۱/۱۶ مترمربع متوسط | رایبه بهینه نصب کلکتورها | ۲۲٫۳       | سطح جاذب                      |
| ۷۰٪                 | ضریب جذب                 | صفحه تخت   | نوع کلکتور                    |
| ۱۵۰۰                | معمولترین ضخامت (mm)     | ۴۱۲-۵۱۰۴۰۰ | لبه هر کلکتور (mm)            |
| ۱۲۰۰                | معمولترین ضخامت (mm)     | ۱٫۲۵       | مساحت هر کلکتور (m²)          |
| ۱۰۰۰ KW             | توان سیستم کلکتور        | ۱٫۵۲       | مساحت کلی جاذب هر کلکتور (m²) |
|                     | توان سیستم کلکتور        | ۱۹         | تعداد کلکتور                  |

۶- اجراي پروژه:



۶- جمع بندی

در این پژوهش الگوریتم طراحی یک سیستم گرمایش خورشیدی به منظور تأمین آب گرم مصرفی یک ساختمان اداری ارائه شد. بدین منظور ابتدا میزان آب گرم مصرفی برای ساختمان مفروض محاسبه و سپس با استفاده از مدل‌های ریاضی میزان تابش در دسترس در منطقه مورد نظر استخراج شد. در محاسبات میزان تابش علاوه بر مدل‌های ریاضی از اطلاعات میزان تابش و درجه حرارت ایستگاه هواشناسی شهرستان اصفهان به منظور صحه‌سنجی نتایج استفاده شد. سپس با استفاده از مشخصه‌های کارایی کلکتور خورشیدی انتخابی فراسا، میزان انرژی حرارتی قابل استفاده محاسبه و در نهایت با توجه به مشخصه‌های ابعادی کلکتور خورشیدی مذکور، تعداد کلکتورهای خورشیدی و حجم مخزن مورد نیاز تعیین شد. برای تأمین آب گرم مصرفی ساختمان مذکور، ۱۴ عدد کلکتور خورشیدی ساخت شرکت فراسو سپهر آریا با سطح خالص جاذب تقریبی ۲۲ متر مربع و یک مخزن ۱۵۰۰ لیتری تحت فشار استفاده گردید.

۷- مراجع

[۱] Solar Energy Engineering Processes and Systems Book, Soteris A. Kalogirou, ۲۰۰۹.

[۲] نشریه تخصصی انجمن انرژی خورشیدی، شماره ۴۵

[۳] کتاب انرژی خورشیدی، انتشارات سازمان انرژی های نو ایران(سانا)

[۴] نشریه تخصصی انجمن انرژی خورشیدی، شماره ۴۸

[۵] بذرافشان، جعفر؛ علی تقی زاده ارمکی و مهدی بذرافشان، ۱۳۹۰، آبگرمکن خورشیدی، همایش منطقه ای مهندسی مکانیک خودرو، آمل، آموزشکده فنی و حرفه ای سما - واحد علوم و تحقیقات آیت الله آملی

[۶] پهلوانزاده، حسن؛ مجتبی باقری و مریم حسینی، ۱۳۹۳، تحلیل انرژی آبرگرمکن های خورشیدی،اولین کنفرانس و همایشگاه بین المللی انرژی خورشیدی، تهران، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

[۷] عباسپورثانی، کمال؛ امین فرزین؛ رضا رمضان پورچیرنده و علیرضا دریایی، ۱۳۹۴، تحلیل زوایای آبگرمکن خورشیدی جهت افزایش ذخیره انرژی، دومین کنفرانس ملی انرژی و توسعه پایدار، تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان.

[۸] اطمینان، جعفر و همکاران، ۱۳۹۴، تحلیل و مقایسه اقتصادی جایگزینی آبگرمکن خورشیدی با آبگرمکن های گازی و برقی در کشور ایران، پنجمین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران، دبیرخانه دائمی همایش.

[۹] ظهیرنژاد، سجاد و نادر رهبر، ۱۳۹۴، آنالیز تأثیر جهت گیری ساختمان و جنس دیوارها در کاهش مصرف انرژی آبگرمکن خورشیدی توسط نرم افزار RETSCREEN، اولین کنفره بین المللی زمین، فضا و انرژی پاک، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی.

[۱۰] سبحانی، هیوا و پیام رضایی، ۱۳۹۴، بررسی عددی و اقتصادی سیستمهای آبگرمکن خورشیدی ترموسیفون، کنفرانس بین المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی، تهران، موسسه سرآمدهمایش کارپن.

[۱۱] حسین پور، حجت، ۱۳۹۴، بررسی فنی و اقتصادی آبگرمکن خورشیدی با تحلیل عملکرد شرایط واقعی مطالعه موردی شهر زاهدان، هشتمین همایش علمی تخصصی انرژی های تجدید پذیر، پاک و کارآمد، تهران، شرکت هم اندیشان انرژی کیمیا.

[۱۲] عبدالحی، رعنا؛ مهدی محمودیان و مهدی جهانگیری، ۱۳۹۵، امکان سنجی استفاده از آبگرمکن خورشیدی در فضاهای آموزشی اصفهان (نمونه موردی: مدرسه ابتدایی دخترانه شاهد زرین شهر (سومین کنفرانس بین المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، کنفدراسیون بین المللی مخترعان جهان (IFIA)، دانشگاه جامع علمی کاربردی.

[۱۳] طباطبایی؛ سید مجتبی، ۱۳۸۲، کتاب تاسیسات محاسبات ساختمانی، چاپ نهم

[۱۴] معینی؛ سام، جوادی؛ شهرام و همکاران، ۱۳۸۹، برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده از یک مدل بهینه، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۳، شماره ۲.

[۱۵] بهرامی؛ الهه، عباسپور ثانی؛ کمال، ۱۳۹۱، تعیین زاویه شیب بهینه آرایه‌های خوشیدی در شرایط اقلیمی کرج، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۵، شماره ۲.

[۱۶] طاهری؛ یاسر، دیبا؛ مهران، مختاری؛ فرهاد، ۱۳۹۳، کتاب مهندسی خورشیدی فرایندهای حرارتی- اصول و مبانی، انتشارات نوآور، چاپ اول، ویرایش سوم.



نویسنده: عباس کریمقاسمی رابری

مدیرعامل شرکت دانش بنیان الکتروگشتاور ایرانیان

چکیده:

چالش اصلی دنیای امروز انتشار گازهای کربنی و گلخانه ای ناشی از سوختهای فسیلی مربوط به حمل و نقل و عوامل زیست تخریب پذیر و سلامت انسانی ناشی از آن می باشد که دولت‌ها را درگیر این موضوع حیاتی کرده است، و از طرفی با توجه به محدود بودن منابع سوخت فسیلی این موضوع پررنگ تر و حیاتی تر شده است. در این تحقیق کلیات مراحل طراحی،تحلیل، ساخت ،آزمون و بهره برداری موتور الکتریکی محرک دوچرخه برقی جهت حمل و نقل پاک شهری مورد بحث قرار گرفته است.

مقدمه

امروزه با پیشرفت صنایع و توسعه شهرنشینی که منجر به افزایش جمعیت و شلوغی در کلان شهرها شده است، آلودگی های زیست محیطی و صوتی به عنوان یک اثر ناخوشایند سلامت شهروندان را تهدید می کند. که این آلودگی ها اثرات منفی دراز مدت زیادی بر روی سلامت جسم و روان افراد دارد. خودروها و موتورسیکلت ها به عنوان یکی از این منابع آلایندگی شناخته شده اند. در سال های اخیر پیشرفت های زیادی در زمینه حمل ونقل صورت گرفته است. یکی از این فناوری ها، استفاده از موتور الکتریکی در خودروها و موتورسیکلت هاست. باتوجه به اینکه میزان آلایندگی زیست محیطی و صوتی تولیدی در موتورسیکلت و خودروهای الکتریکی بسیار پایین است، انتظار می رود که با جایگزینی این وسایل نقلیه الکتریکی در حمل ونقل، این آلودگیها در کلان شهرها کاهش یابد و بتوان گامهایی در جهت کم رنگ شدن ردپای کربنی و انتشار گازهای گلخانه ای دی اکسیدکربن و متان برداشت.

البته داشتن برنامه ، سیاستگزاریها و ایجاد زیرساخت های اصولی و استاندارد و همچنین حمایتهای معنوی و مادی توسط دولت‌ها می تواند کمک شایانی به تقویت و پیاده سازی حمل و نقل پاک در جهت داشتن محیط زیست بدون آلاینده کند و سلامت انسانی و محیط زیست را تضمین نماید.

## بومی سازی موتورهای الکتریکی Brushless محرک حمل و

## نقل پاک در جهت حفظ محیط زیست و سلامت شهری از آلاینده

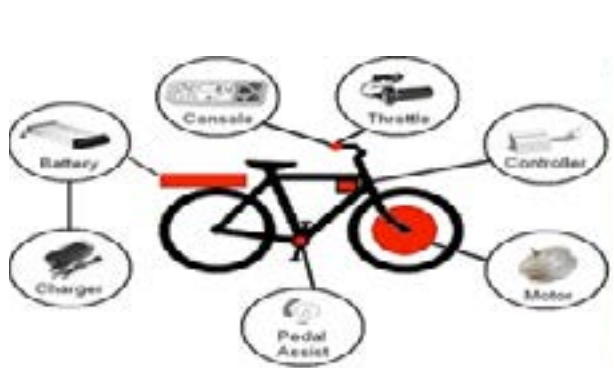
## های کربنی

استفاده از دوچرخه برقی به عنوان وسیله ای ارزان قیمت و ایمن تر نسبت به سایر موارد حمل و نقل برای شهروندان می تواند نقش بسزایی در کاهش ترافیک و تصادفات شهری داشته باشد و می تواند مدت زمان سفرهای شهری را تا حد قابل ملاحظه ای کاهش دهد. از اینرو امروزه در دنیا و به خصوص دراکثر کشورها و شهرهای بزرگ زیرساختهای شهری و جاده ای مناسب جهت استفاده از دوچرخه و حتی دوچرخه برقی ایجاد شده است تا حمل و نقل پاک در این زمینه تقویت شده تا در جهت سرعت رشد آن کمک کند.

محرک اصلی دوچرخه های برقی ،موتورهای الکتریکی بدون جاروبک Brushless می باشند که گشتاور وتوان لازم برای حرکت درآوردن دوچرخه و سرنشین را تولید می کنند و حس بسیار خوبی را برای سرنشین بوجود می آورد. البته در دوچرخه برقی علاوه بر محرک موتوری می توان از محرک و انرژی ماهیچه ای از طریق رکاب زدن برای حرکت آن استفاده کرد که قابلیتی است که سرنشین می تواند متناسب با شرایط جاده ای، سلامتی، زمانی و ... برای خود انتخاب کند.

در شکل شماره ۱ سیستم محرکه الکتریکی دوچرخه برقی شامل موتور الکتریکی Brushless، درایور کنترل سرعت و گشتاور، منبع تغذیه یا باتری، پدال ، کنسول، ترانل و شارژر نشان داده شده است.

شکل ۱ - اجزای دوچرخه برقی



نسل جدید موتورهای الکتریکی که از تکنولوژی آهزبای دائم برای تولید گشتاور استفاده می کنند، تحت عنوان موتورهای مغناطیس دائم براشلس شناخته می شوند. هم‌زمان با پیشرفت جهانی، کاربرد این نوع موتورها در کشور ایران نیز روز به روز در حال گسترش است. به گونه‌ای که موتورهای آهزبای دائم سنکرون بدون جاروبک، اعم از PMSM و BLDC جای خود را در حمل و نقل الکتریکی پاک اعم از موتور سیکلت برقی، دوچرخه برقی، خودرو برقی، اتوبوس برقی، صنایع اتوماسیون، لوازم خانگی، آسانسور و... باز کرده اند. موتورهای مغناطیس دائم بدون جاروبک به دلیل مزایایی ازجمله: چگالی توان و گشتاور بالا، تلفات توان پایین و راندمان بالا، ایزسی پایین و پاسخ دینامیکی بالا، کنترل دقیق سرعت و گشتاور، رنج وسیع تغییرات سرعت، جایگزین مناسبی برای موتورهای القائی و موتورهای DC جاروبک‌دار می باشند.

شرکت الکتروگشتاور ایرانیان مستقر در ناحیه نوآوری دانشگاه اصفهان با عنایت خداوند منان و همت جوانان خلاق ایران اسلامی موفق به بومی سازی چرخه کامل ایده تا محصول موتور الکتریکی براشلس پیشران دوچرخه برقی و پرنده های بدون سرنشین، موتورهای سنکرون صنعتی شامل مراحل نیازسنجی، امکان سنجی، طراحی، آنالیز، شبیه سازی، انتخاب قطعات استاندارد و مورد نیاز، ساخت قطعات، مونتاژ و یکپارچه سازی، تست، صحه گذاری، بهره برداری و بازاریابی شده است تا شرکتهای مرتبط با ساخت دوچرخه برقی و حمل و نقل پاک را از وابستگی به شرکتهای خارجی و چینی مرتفع سازد و مانع از خروج قابل توجه ارز از کشور شود. این شرکت محصولات خود را تحت عنوان برند تجاری MOTORIVE عرضه می کند.

پیشینه پژوهش

ساختار موتور الکتریکی دوچرخه برقی:

موتور الکتریکی به عنوان اصلی ترین جزء دوچرخه برقی وظیفه ایجاد حرکت دوار چرخ عقب و ایجاد توان و گشتاور لازم برای حمل دوچرخه و دوچرخه سوار را دارد. از آنجایی که توان الکتریکی دوچرخه، توسط باتری تامین می‌شود و مدت زمان شارژ آن محدود می باشد، لذا موتور الکتریکی محرک بایستی دارای بهره وری بالایی برای افزایش مدت زمان استفاده از دوچرخه برقی باشد. نسل جدید موتورهای الکتریکی که به عنوان موتورهای بدون جاروبک Brushless شناخته می شوند با بهره‌بری از آهزباهای دائم با قابلیت تولید چگالی شار بالا، به جای استفاده از سیم پیچی تحریک برای تولید میدان مغناطیسی و به دنبال آن تولید گشتاور، گزینه مناسبی برای محرک دوچرخه برقی می باشند. در حمل و نقل الکتریکی و به ویژه دوچرخه برقی به دلایل زیر از موتورهای براشلس استفاده می شود.

حذف جاروبک و مشکلات ناشی از آن از قبیل( ایجاد جرقه و تداخلات مخابراتی، خوردگی زغال در بلند مدت و نیاز به سرویس دوره ای).

نسبت گشتاور به وزن بالا

حذف تلفات مسی قسمت دوار

افزایش راندمان

مصرف بهینه توان

نسبت حجم به توان کم

حجم و وزن کم

پاسخ دینامیکی سریع

کنترل پذیری سرعت و گشتاور

چگالی توان بالا

موتورهای بدون جاروبک آهزبای دائم با توجه به ساختار داخلی و نوع تغذیه به دو نوع PMSM و BLDC، تقسیم می‌شوند. همچنین براساس توپولوژی قرار گیری قسمت دوار و ثابت به دو نوع رتور داخلی Inner Runner و رتور خارجی Out Runner تقسیم بندی می شوند. در این موتورها سیم پیچی بر روی قسمت ثابت یا استاتور و آهزباهای دائم بر روی قسمت دوار یا رتور قرار می گیرند. در موتورهای نوع رتور داخلی ، رتور داخل استاتور سیم پیچی شده قرار گرفته و با اعمال ولتاژ تغذیه مناسب به سیم پیچی موتور ، رتور شروع به چرخش می کند. اما در موتورهای نوع رتور خارجی ، رتور حامل آهزباهای دائم، قطر خارجی استاتور سیم پیچی شده را احاطه می کند. در موتورهای رتور خارجی یا Out Runner به دلیل افزایش شعاع چرخش، امکان تولید گشتاور بالاتر نسبت به نوع رتور داخلی Inner Runner وجود دارد. علاوه بر این این نوع موتور، قابلیت تولید گشتاور و سرعت بالا در ولتاژ تغذیه پایین و ایمن را دارند و نیز از آنجایی که قاب خارجی متصل به رتور می چرخد، بهترین گزینه برای استفاده در کاربردهای محرکه دوچرخه و موتور سیکلت برقی می باشند.

روش پژوهش

طراحی و شبیه سازی موتور براشلس محرک دوچرخه برقی

توان تولیدی موتورهای براشلس محرک دوچرخه برقی متناسب با سایز و کاربری دوچرخه متفاوت بوده که در جدول شماره ۱ نشان داده شده است و موتورهای با توانهای بالاتر ا بمقادیر ذکر شده در این جدول برای موتو رسیکلت استفاده می شوند.

جدول ۱- دسته بندی توان تولیدی موتورهای براشلس محرک دوچرخه برقی

| سایز دوچرخه     | کاربری                                  | توان موتور |
|-----------------|-----------------------------------------|------------|
| ۲۴ اینچ         | شهری – راکب نوجوان تا ۵۰ کیلوگرم        | ۳۰۰ وات    |
| ۲۶ اینچ         | شهری- راکب افراد عادی تا ۹۰ کیلوگرم     | ۵۰۰ وات    |
| ۲۶ اینچ به بالا | کوهستان لاستیک پهن- افراد تا ۹۰ کیلوگرم | ۸۰۰ وات    |

از آنجایی که بیشترین کاربرد و حتی تولید دوچرخه مربوط به دوچرخه های سایز ۲۶ اینچ بوده ،لذا موتور مورد بحث در این گزارش مربوط به موتور براشلس با توان ۵۰۰ می باشد. به دلیل نوع ساختار چرخ دوچرخه و نحوه ی کوپل آن با موتور الکتریکی برای حرکت ، بایستی موتور براشلس از نوع رتور خارجی و به عبارت تجاری هاب موتور باشد. در ساختار هاب موتور ،قسمت متحرک کل موتور را احاطه می کند که این ساختار به دلیل افزایش شعاع چرخش می تواند به تولید گشتاور بالاتر کمک کند.

طبق توضیحات داده شده موتور مورد تحلیل در این گزارش از نوع هاب موتور براشلس ۵۰۰ واتی با مشخصات فنی قید شده در جدول شماره ۲ می باشد.

جدول ۲ - مشخصات فنی موتور براشلس محرک

| تعداد فاز موتور    | ۳                       |
|--------------------|-------------------------|
| سرعت کاری          | صفر تا ۲۸۰ دور بر دقیقه |
| جریان نامی         | ۱۴ آمپر                 |
| گشتاور تولیدی      | ۱۸ نیوتن متر            |
| توان مکانیکی خروجی | ۵۰۰ وات                 |
| ولتاژ لینک DC      | ۴۸ ولت                  |

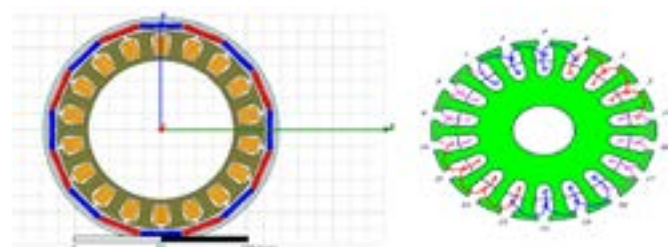
برای طراحی هندسی موتور از روابط طراحی موتورهای سنکرون براشلس آورده شده در کتب و مقالات علمی مرتبط معتبر استفاده شده که بخشی از روابط اصلی و کلیدی در شکل شماره ۲ آورده شده است و بر این اساس موتور مورد پیاده سازی و تحلیل قرار گرفته است.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $n_s = 1200/f$<br>$n_s = 3600/f_{mech}$<br>$f = \omega/(2\pi)$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Mechanical speed, rad/s<br>Electrical speed, rad/s<br>Fundamental electrical frequency (Hz)                                                                                                                                                                                                                                 | $k_p = n_p$<br>$k_r = 1 - n_p/(2p)$<br>$C_p = \frac{2p}{p - 1 + n_p}$<br>$P_f = I_a(q/c)$<br>$k_{ap} = 2 + \frac{B_p}{\mu_0 \mu_r k_p} \ln \left[ 1 + \pi \frac{g}{(1 - n_p/k_p)} \right]$<br>$g = g / \pi$                                                                                                                                                                               | Peak factor<br>Pole factor<br>Pole concentration factor<br>Polarization coefficient<br>Magnet leakage factor |
| $T = 9.5493 P_{out} / \omega_m$<br>$P_f = P_{fe} / P_{out}$<br>$P_{me} = P_{me} / P_{out}$<br>$P_{cu} = I_a^2 R_a / P_{out}$<br>$k_p = \text{int}(B_p / B_r)$<br>$k_r = \text{int}(B_r / B_r)$<br>$k_a = \text{int}(B_a / B_r)$<br>$k_d = k_p + g$<br>$k_s = B_p / B_r$<br>$k_t = B_r / B_r$<br>$k_l = \frac{\text{int}(B_l / B_r)}{\text{int}(B_l / B_r)}$<br>$k_d = \frac{P_{fe}}{P_{out}}$<br>$k_r = \frac{P_{me}}{P_{out}}$ | Torque from horsepower<br>No. of slots<br>No. of slots per pole per phase<br>No. of slots per pole<br>Cyl-pole fraction<br>Angular pole pitch<br>Slot pitch, electrical radians<br>Inside stator radius<br>Pole pitch<br>Cyl-pole<br>Slot pitch of air gap<br>Tooth width of air gap<br>Distribution factor<br>Pitch factor | $k_p = 2 + \frac{B_p}{\mu_0 \mu_r k_p} \ln \left[ 1 + \pi \frac{g}{(1 - n_p/k_p)} \right]$<br>$k_r = \left[ 1 + \frac{1}{\pi} \left( \frac{B_r}{B_r} - 1 \right) \right]^{-1}$<br>$k_a = \frac{B_a}{B_r}$<br>$k_d = \frac{B_d}{B_r}$<br>$k_s = \frac{B_s}{B_r}$<br>$k_t = \frac{B_t}{B_r}$<br>$k_l = \frac{B_l}{B_r}$<br>$k_d = \frac{P_{fe}}{P_{out}}$<br>$k_r = \frac{P_{me}}{P_{out}}$ | Effective air-gap factor<br>Coefficient<br>Air gap area<br>Air gap flux density<br>Air gap flux              |

|                            |                                                                                           |          |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Tooth width                | $A_t = d(d/R_d - d/2D - w_a)$                                                             | Conduct  |
| Stator back iron radius    | $r_b = \text{int} \left( \frac{E_{max}}{N_s k_p k_r k_a B_r L R_{st} N_{st} n_p} \right)$ | No. of t |
| Rotor inside radius        | $r_{in} = N_s k_p k_r k_a B_r L R_{st} N_{st} n_p$                                        | Peak bu  |
| Slot bottom width          | $s_{bot} = \frac{I_a}{N_s k_p k_r k_a B_r L R_{st} N_{st} n_p}$                           | Peak al  |
| Slot width inside shoes    | $I_s = \frac{I_a}{N_s k_p k_r k_a B_r L R_{st} N_{st} n_p}$                               | Phase c  |
| Slot fraction inside shoes | $I_{st} = \frac{I_a}{N_s k_p k_r k_a B_r L R_{st} N_{st} n_p}$                            | Peak on  |
| Total slot depth           | $I_{st} = \frac{I_a}{N_s k_p k_r k_a B_r L R_{st} N_{st} n_p}$                            | Peak al  |
| Phase inductance           | $J_r = \frac{I_a}{k_p k_a}$                                                               |          |
| Stator steel volume        | $J_{st} = \frac{P_{fe}}{B_r}$                                                             |          |
| Ohmic power loss           | $J_{st} = \frac{P_{fe}}{B_r}$                                                             |          |
| Copper loss                | $J_{st} = \frac{P_{fe}}{B_r}$                                                             |          |

شکل ۲- روابط پایه طراحی موتورهای سنکرون براشلس

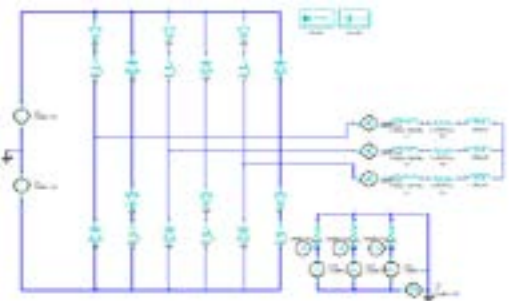
برای مدلسازی و تحلیل این موتور از نرم افزار تخصصی طراحی موتورهای الکتریکی تحت عنوان Ansys Electronic Desktop استفاده شده است. بعد از محاسبه ی ابعاد هندسی و فرضیات طراحی طبق روابط شکل ۲ ، موتور طراحی شده درنرم افزار ذکر شده در حالتهای تحلیل دائم و ۲ بعدی مطابق شکل شماره ۳ پیاده سازی شده است.



شکل ۳ - مدل پیاده سازی شده موتور در نرم افزار

یقابل ذکر است که شبیه سازی بر اساس توپولوژی درایور ۶ سوئیچ به ولتاژ تغذیه سینوسی غیر پیوسته سوئیچینگ، با ولتاژ باس ۴۸ ولت DC طبق

شکل ۴ انجام شده است.



شکل ۴- تغذیه موتور مورد تحلیل توسط درایور ۳ فازه سوئیچینگ

یافته های پژوهش

نتایج شبیه سازی

در این شبیه سازی رفتار موتور در شرایط بار واقعی ۵۰۰ وات توان خروجی با سرعت ۱۲۵۰ دور بر دقیقه در سمت محور موتور مطابق تنظیمات جدول شماره ۳ مورد تحلیل قرار گرفته است.

جدول ۳- تنظیمات شبیه سازی هابموتور برای توان خروجی ۵۰۰ وات

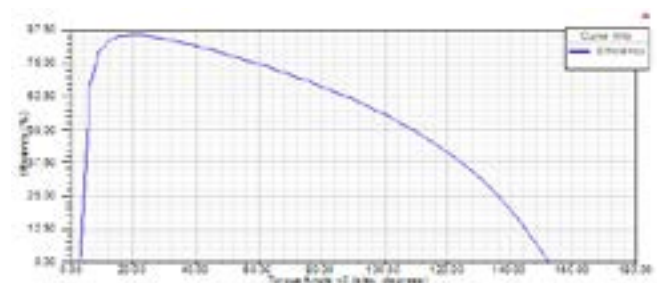
| Name                  | Value         |
|-----------------------|---------------|
| Name                  | Simu1         |
| Enabled               |               |
| Operation Time        | None          |
| Load Type             | Control Power |
| Rated Output Power    | 500           |
| Rated Voltage         | 48            |
| Rated Speed           | 1250          |
| Operating Temperature | 25            |

نتایج حاصله از شبیه سازی موتور، در جدول شماره ۴ آورده شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می شود، نتایج شبیه سازی موتور به صورت همگرا و پایدار می باشد. طبق این جدول این هاب موتور در توان خروجی ۵۰۰ وات در سرعت ۱۲۵۰ دور بر دقیقه گشتاوری حدود ۳٫۸ نیوتن متر تولید می کند. راندمان موتور در این شرایط برابر ۸۵ درصد می باشد. قابل توجه است که مقدار توان الکتریکی ورودی موتور ۵۸۸ وات و توان مکانیکی خروجی برابر ۵۰۰ وات می باشد که حدود ۸۸ وات هدررفت توان مشاهده می شود که سهم تلفات آهنی حدود ۸٫۵ وات و سهم تلفات مسی ۷۳ وات بوده و مابقی تلفات مربوط به تلفات اصطکاکی و بادخوری می باشد. این اتلاف توان، عامل داغ شدن موتور دوچرخه برقی در توان و سرعت نامی می باشد. که این حرارت زیاد ممکن است در طول زمان کار زیاد دوچرخه برقی در شرایط بار نامی منجر به اختلال در عملکرد حلقه بسته موتور شود.

جدول ۴- نتایج عملکرد موتور براشلس در حالت بار نامی

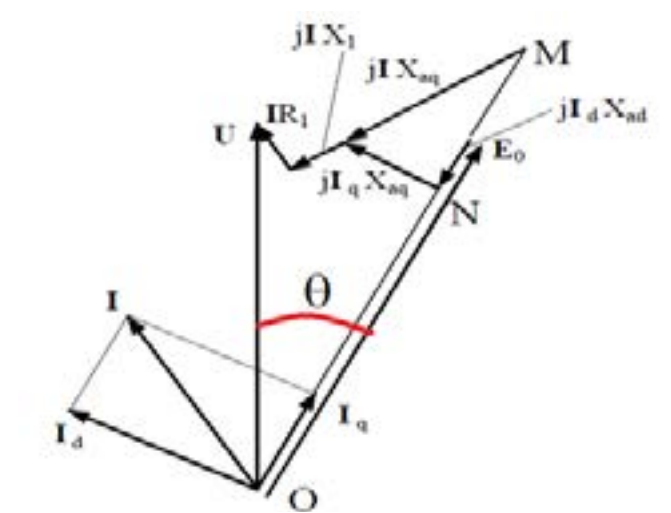
| Name                          | Value    | Units                              | Description |
|-------------------------------|----------|------------------------------------|-------------|
| 1 Peak Line Induced Voltage   | 30.7300  | V                                  |             |
| 2 Input DC Current            | 12.2501  | A                                  |             |
| 3 RMS Phase Current           | 15.304   | A                                  |             |
| 4 Armature Thermal Load       | 212.496  | A <sup>2</sup> ohm <sup>2</sup> /J |             |
| 5 Specific Electric Loading   | 21886.4  | A <sub>q</sub> per_m2              |             |
| 6 Armature Current Density    | 10724880 | A <sub>q</sub> per_m2              |             |
| 7 Fractional and Winding Loss | 7.06319  | W                                  |             |
| 8 Iron-Core Loss              | 8.40200  | W                                  |             |
| 9 Armature Copper Loss        | 72.9377  | W                                  |             |
| 10 Transistor Loss            | 0        | W                                  |             |
| 11 Diode Loss                 | 0        | W                                  |             |
| 12 Total Loss                 | 88.3639  | W                                  |             |
| 13 Output Power               | 500.229  | W                                  |             |
| 14 Input Power                | 588.250  | W                                  |             |
| 15 Efficiency                 | 85.0300  | %                                  |             |
| 16 Synchronous Speed          | 1250     | rpm                                |             |
| 17 Rated Torque               | 3.82147  | NewtonMeters                       |             |
| 18 Torque Angle               | 26.2239  | deg                                |             |
| 19 Maximum Output Power       | 1037.86  | W                                  |             |

شکل ۵ نمودار راندمان بر حسب زاویه گشتاور موتور را نشان می دهد و دیده می شود که در زاویه گشتاور ۲۶ درجه راندمان موتور حدود ۸۵ درصد می باشد. زاویه گشتاور اختلاف زاویه الکتریکی بین ولتاژ اعمالی به موتور و نیروی ضد محرکه القایی در دیاکرام فازوری ولتاژ فازی موتور می باشد.



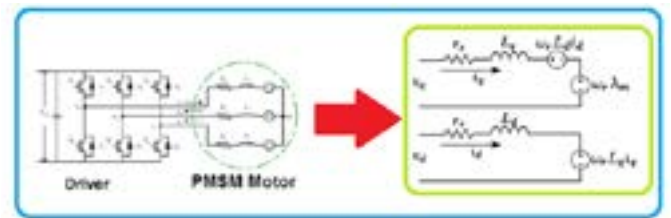
شکل ۵- نمودار راندمان بر حسب زاویه گشتاور موتور

برای فهمیدن زاویه گشتاور از دیاکرام فازوری موتورهای آهنربای دائم بدون جاروبک PMSM که به صورت شکل ۶ می باشد کمک می گیریم:



شکل ۶ - دیاکرام فازوری موتور سنکرون براشلس

دیاکرام فازوری موتور PMSM از مدار معادل سه فاز سیم پیچی موتور و انتقال آن از مختصات ۳ محوری به مختصات ۲ محوری با استفاده از تبدیلات پارک و کلارک طبق شکل ۱۲ به دست می آید.



شکل ۷- مدار معادل ۳ فاز موتور سنکرون براشلس و مدل ۲ محوری آن

در دیاکرام فازوری شکل ۱۱ ، R۱ و X۱ مقاومت و راکتانس نشتی سیم پیچی Xad و Xaq به ترتیب راکتانس سلفی محورهای d q می باشند. در این دیاکرام Xad پارامتر غیر خطی، خطی شده و Xaq پارامتر خطی می باشد. راکتانسهای سنکرون محورهای d و q به صورت روابط زیر محاسبه می شوند.

$$X_d = X_1 + X_{ad}$$

رابطه ۱

$$X_q = X_1 + X_{aq}$$

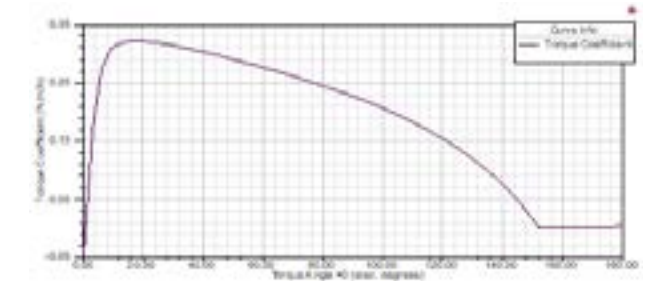
زاویه گشتاور اختلاف زاویه بین ولتاژ فازی U و BEMF فازی یا E۰ طبق دیاکرام فازوری شکل ۱۱ می باشد که ارتباط بین زاویه گشتاور و ولتاژ فازی به صورت رابطه ۲ می باشد.

$$I_d X_d + I_q R_1 = \pm (U \cos \theta - E_0)$$

رابطه ۲

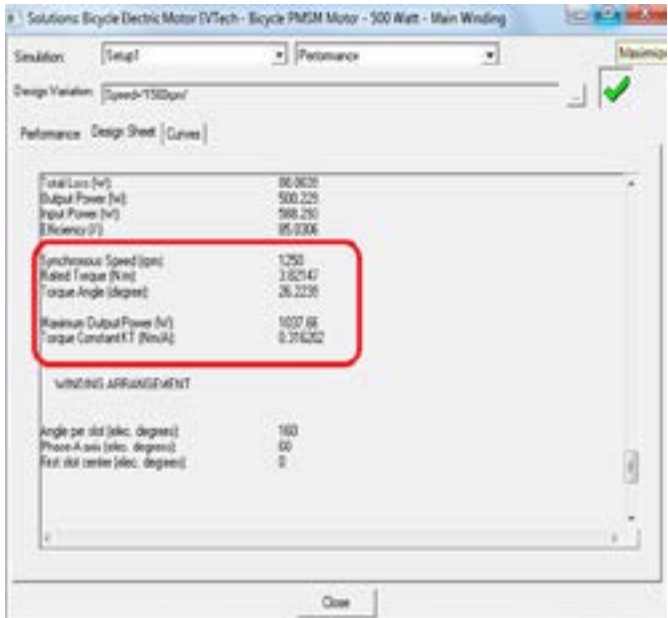
$$-I_d R_1 + I_q X_q = U \sin \theta$$

شکل ۸ نمودار ثابت گشتاور موتور بر حسب زاویه گشتاور را نشان می دهد. ثابت گشتاور مبین میزان گشتاور تولیدی به ازای جریان عبوری از لینک DC می باشد. برای این موتور به ازای زاویه گشتاور ۲۶ درجه مقدار ثابت گشتاور حدود ۰٫۳۱ نیوتن متر بر آمپر می باشد و این بدین معنی است که به ازای عبور ۱ آمپر از لینک DC، گشتاور تولیدی موتور ۰٫۳۱ نیوتن متر می باشد. (ثابت گشتاور بر حسب نیوتن متر بر آمپر است).



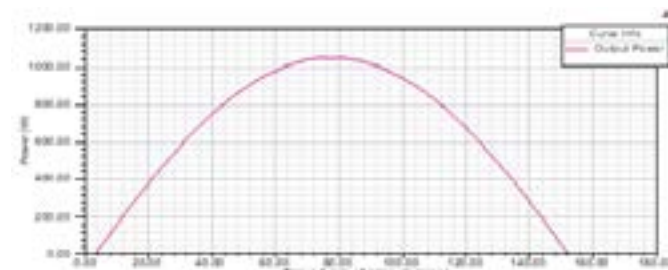
شکل ۸- نمودار ثابت گشتاور موتور بر حسب زاویه گشتاور

در نتایج عددی شبیه سازی مقدار دقیق ثابت گشتاور برابر ۰,۳۱ نیوتن متر بر آمپر در کادر قرمز رنگ آورده شده است.



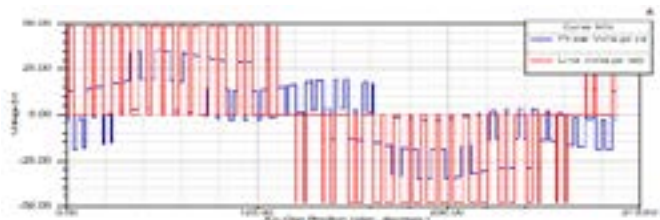
شکل ۹- نتایج عددی شبیه سازی

شکل ۱۰ نمودار توان بر حسب زاویه گشتاور موتور را نشان می‌دهد و دیده می‌شود که در زاویه گشتاور ۲۶ درجه توان موتور حدود ۵۰۰ وات می‌باشد و در زاویه گشتاور ۸۰ درجه حداکثر توان موتور برای حالت لحظه ای یا گزرا تا حدود ۱۰۳۷ وات می‌رسد.



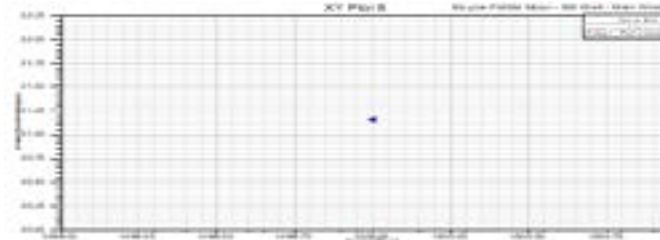
شکل ۱۰- نمودار توان بر حسب زاویه گشتاور موتور

شکل ۱۱ نمودار ولتاژهای خط و فاز اعمالی به موتور بر حسب زاویه الکتریکی فاصله هوایی که توسط درایور شکل ۴ ساخته شده را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که ولتاژ به صورت گسسته و پالسی، ناشی از الگوریتم سوئیچینگ SPWM می‌باشد. (نمودار آبی رنگ مربوط به ولتاژ اعمالی به سیم پیچ هر فاز و نمودار قرمز رنگ مربوط به ولتاژ اعمالی خروجی درایور به ۲ فاز موتور می‌باشد و اتصال سیم پیچی به صورت ستاره می‌باشد).



شکل ۱۱- نمودار ولتاژهای خط و فاز اعمالی به موتور

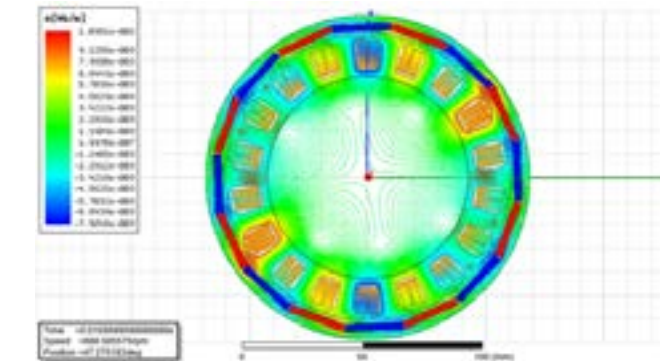
از آنجایی که نمودار شکل ۱۱ به صورت پالسی بر اساس الگوریتم SPWM می‌باشد لذا مقدار RMS ولتاژ خط اعمالی به موتور قابل تشخیص نیست که مقدار دقیق آن توسط نرم افزار طبق شکل ۱۷ در سرعت سنکرون ۱۵۰۰ دور بر دقیقه برابر ۳۱,۲ ولت محاسبه شده است.



شکل ۱۲- مقدار rms ولتاژ خط موتور

تحلیل مغناطیسی موتور طراحی شده

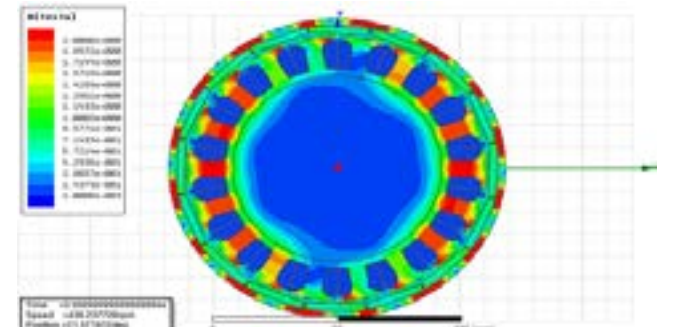
در شکل ۱۳ مسیر پخش شار مغناطیسی در مسیر مغناطیسی یوغ استاتور، فاصله هوایی، آهنرباها و یوغ رتور را در یک لحظه خاص تحریک موتور نشان داده شده است.



شکل ۱۳- پخش شار مغناطیسی در موتور طراحی شده

شکل ۱۴ پخش چگالی شار عبوری از موتور در مسیر مغناطیسی بین یوغ استاتور، فاصله هوایی، آهنرباها و یوغ رتور را در یک لحظه خاص تحریک موتور نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل دیده می‌شود، مقدار چگالی شار عبوری در بعضی از نقاط موتور از جمله بازوی شیار، لبه تیز دندانه ها، یوغ رتور از حد مجاز فراتر رفته و پدیده اشباع مغناطیسی رخ داده است که این امر می‌تواند به دلیل مناسب نبودن عدد چگالی جریان سیم‌پیچی، بهینه نبودن ابعاد شیار و بازو باشد که این پدیده باعث داغ

شدن موتور و هدر رفت تلفات توان و کاهش راندمان می‌شود. مقادیر چگالی شار مغناطیسی بر حسب تسلا به صورت شاخص رنگی در این شکل نشان داده شده است.



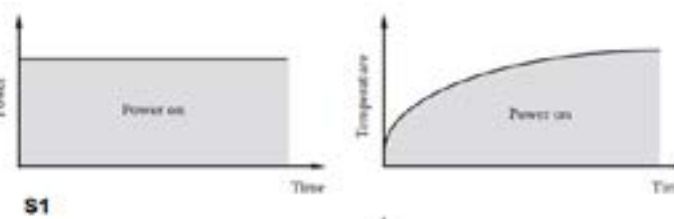
شکل ۱۴- پخش چگالی شار موتور

تحلیل حرارتی موتور طراحی شده

تحلیل حرارتی موتور سنکرون براشلس بعد از وارد کردن داده های هندسی و عملکردی در نرم افزار MotorCAD انجام شده است. در این تحلیل دمای قسمتهای مختلف موتور درحالت تعادل و پایدار حرارتی در شرای بار نامی ۵۰۰ آورده شده است، لازم قبل از بررسی نتایج این تحلیل با انواع کارکردهای موتورهای الکتریکی آشنابشویم:

- کارکرد پیوسته نوع S۱

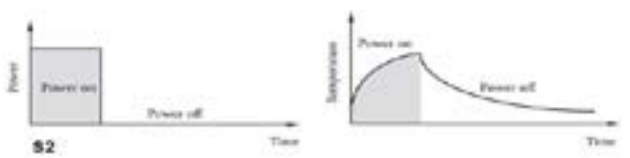
در این نوع کارکرد طبق شکل ۱۵، بار و توان نامی به طور ثابت در مدت زمان طولانی به ماشین اعمال می‌شود تا به تعادل حرارتی برسد.



شکل ۱۵ - کارکرد پیوسته نوع S۱

- کارکرد کوتاه مدت نوع S۲

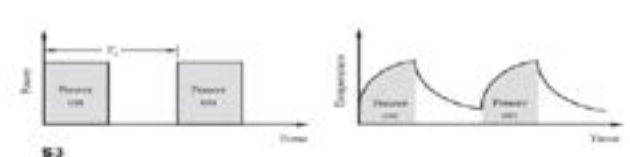
در این نوع کارکرد طبق شکل ۱۶، بار ثابت در توان نامی موتور برای مدت زمان معین (N) همراه با یک دوره استراحت (R) به موتور اعمال می‌شود که مدت زمان بارگذاری آن از زمان مورد نیاز برای ایجاد تعادل حرارتی کمتر بوده و زمان استراحت به اندازه ای است که ماشین به حالت سرد باز می‌گردد.



شکل ۱۶- کارکرد کوتاه مدت نوع S۲

- کارکرد دوره ای نوع S۳

در این نوع کارکرد طبق شکل ۷، مدت زمان بارگذاری در توان نامی و استراحت که برای کارکرد کوتاه مدت تعریف شد، متناوباً تکرار می‌شود.



شکل ۱۷- کارکرد دوره ای نوع S۳

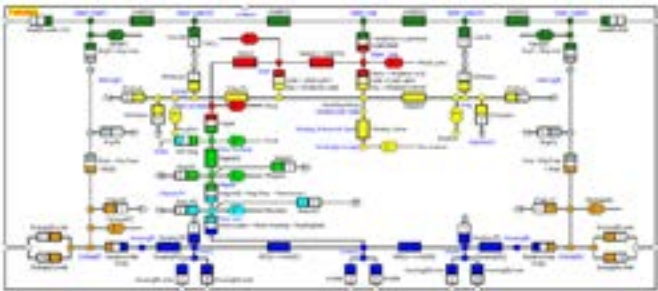
در این گزارش تحلیل حرارتی در حالت عملکرد S۱ با فرض اینکه راکب یا سرنشین برای مدت طولانی از موتور الکتریکی برای حرکت دوچرخه در شرایط بار نامی استفاده می‌کند، مطابق تنظیمات جدول شماره انجام شده است.

جدول ۵- تنظیمات و فرضیات تحلیل حرارتی موتور

| پارامتر        | واحد           | مقدار |
|----------------|----------------|-------|
| گشتاور خروجی   | نیوتن متر      | ۳,۸   |
| سرعت مکانیکی   | دور بر دقیقه   | ۱۲۵۰  |
| نوع کارکرد     | --             | S۱    |
| مدت زمان تحلیل | ساعت           | ۵     |
| دمای محیط      | درجه سانتیگراد | ۳۰    |

به طور کلی گرما بوسیله هدایت، تابش و همرفت از یک قسمت ماشین به قسمت دیگر و به محیط اطراف منتقل می‌شود. انتقال گرما از طریق هدایت در موتورهای الکتریکی عمدتاً در مواد جامد مثل مس، فولاد و عایق صورت می‌گیرد، در حالی که انتقال گرما در هوا و سایر سیالات اساساً بر روش همرفت می‌باشد و معمولاً روش انتقال حرارت از طریق تابش در موتورهای الکتریکی اهمیت چندانی ندارد.

شکل ۱۸ مدل حرارتی به دست آمده از نرم افزار را برای موتور مدنظر نشان می‌دهد. در این شکل مدل حرارتی موتور شامل منابع تولید گرما و مقاومت حرارتی مسیرهای مختلف از سمت مرکز موتور به سمت بدنه خارجی موتور نشان داده شده است.



شکل ۱۸- مدل حرارتی موتور

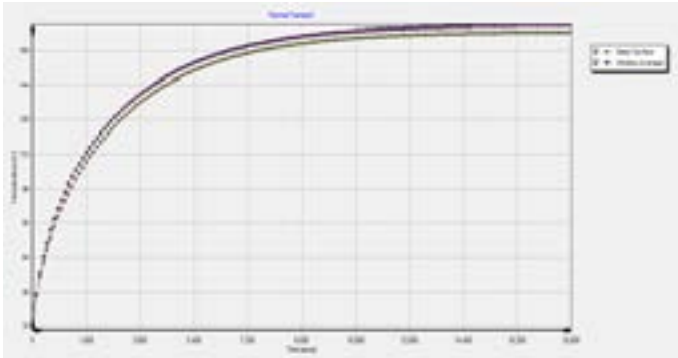
در شکل ۱۹ مدل محوری و شعاعی موتور برای درک بهتر مدل شکل ۸ آورده شده است و طبق شکل ۹ مسیر و مدل حرارتی بدنه استاتور با رنگ سبز، استاتور بارنگ قرمز، سیم پیچی با رنگ زرد، مگنتها با رنگ سبز روشن، رتور با رنگ فیروزه ای، بدنه رتور با رنگ آبی، درپوشهای ۲ طرف موتور با رنگ قهوه ای، بیرینگها با رنگ خاکستری و فاصله هوایی با رنگ سفید نشان داده شده است. در مدل حرارتی علامت  با هر رنگی نشان دهنده ی مقاومت حرارتی، علامت  با هر رنگی نشان دهنده مقاومت رابط، علامت  با هر رنگی نشان دهنده ی منبع تلفات توان، علامت  با هر رنگی نشان دهنده ی گره و علامت  با هر رنگی نشان دهنده ی اتصال یا بندها، مشترک (سمت حله با عقب مته) م، باشد.



شکل ۱۹ - تطابق مدل‌های محوری و شعاعی موتور با مدل حرارتی

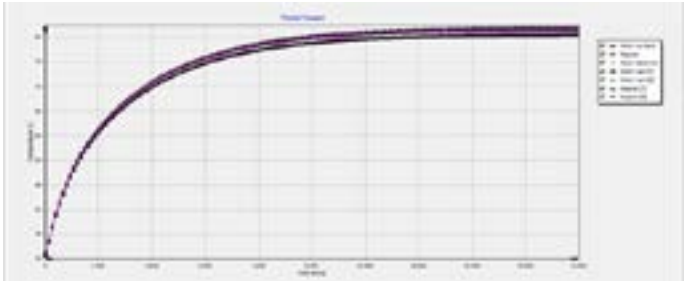
در طول فرآیند تبدیل انرژی در ماشین الکتریکی مقداری از انرژی به صورت گرما تلف می شود. که می توان این تلفات را به تلفات ثابت که در بی باری تولید می شود، و تلفات تحت بار که تقریباً متناسب با مربع جریان سیم پیچی می باشد تقسیم بندی نمود. تلفات ثابت شامل تلفات آهنی، اصطکاک، بادخوری و تلفات مسی که به جریان وابسته است، می باشد. تلفات بار عمدتاً ناشی از تلفات مسی سیم پیچی می باشد. در موتورهای الکتریکی برای آنکه دمای اجزای مختلف ماشین در محدوده تعیین شده توسط کلاس حرارتی عایقها باقی بماند، از سیستم خنک کاری استفاده می شود. در شکل ۱۰ دمای سیم پیچی موتور و استاتور بعد از ۵ ساعت کاری پیوسته معادل ۱۸۰۰۰ ثانیه آورده شده است و دیده می شود که دمای این قسمت‌ها از دمای ۳۰ درجه محیط به دمای نزدیک و کمتر از ۱۸۰ درجه می رسد. سیم پیچی مهمترین عامل تلفات توان و افزایش دما می باشد. قابل

ذکر است که افزایش دمای سیم پیچی از زمان شروع به کار موتور تا حدود ۳,۵ ساعت به صورت افزایشی بوده و از این زمان به بعد دما به حالت پایدار کمتر کمتر از ۱۸۰ درجه می رسد و دمای استاتور هم حدود ۱۷۰ درجه پایدار می ماند، البته اگر کلاس عایقی ماشین H باشد اتفاقی برای سیم پیچی و موتور نمی افتد.



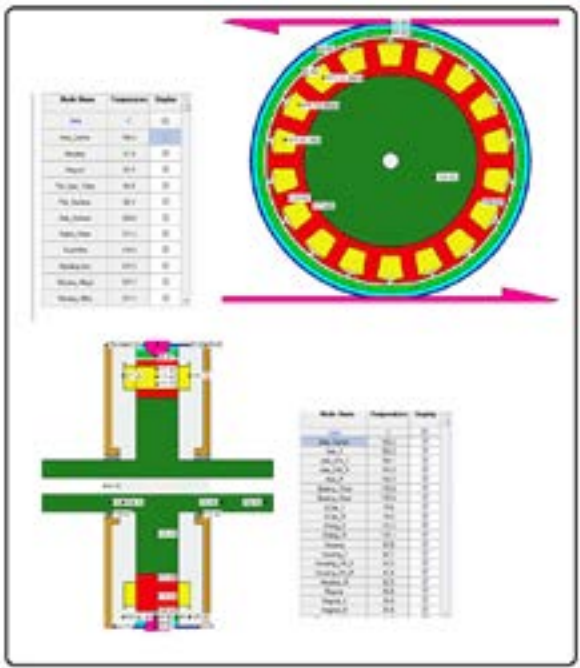
شکل ۲۰- نمودار دمای سیم پیچی و استاتور موتور در ۵ ساعت کاری پیوسته

در شکل ۱۱ رتور و مگنتها از نمای محوری، سطحی، سمت جلو و عقب موتور بعد از ۵ ساعت کاری پیوسته معادل ۱۸۰۰۰ ثانیه آورده شده است و دیده می شود که دمای این قسمت‌ها از دمای ۳۰ درجه محیط به دمای نزدیک و کمتر از ۹۰ درجه می رسد. دمای مگنتها به دلیل نزدیک بودن سیم پیچی ها حدود ۵ درجه با دمای رتور و بدنه آن تفاوت دارد. همچنین افزایش دمای مگنتها و رتور از زمان شروع به کار موتور تا حدود ۳,۵ ساعت به صورت افزایشی بوده و از این زمان به بعد دما به حالت پایدار کمتر کمتر از ۹۰ درجه می رسد. دمای ۹۰ درجه برای مگنتها دمای قابل قبولی بوده و با توجه به درجه حرارتی مگنت، این دما می تواند کمتر از دمای کوری آن باشد. دمای سطح رتور، ۲ سطح جلویی و عقب هم در حدود ۸۰ درجه پایدار می ماند.



شکل ۲۱ - نمودار دمای مگنتها و رتور در ۵ ساعت کاری پیوسته

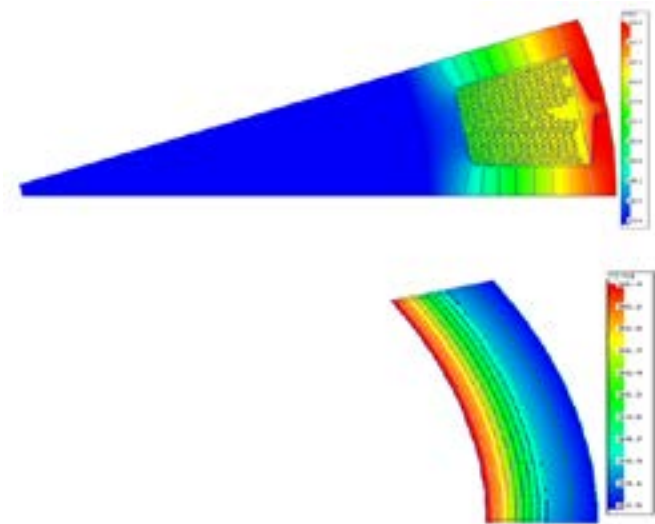
در شکل ۲۲ دمای قسمت‌های مختلف موتور در راستای شعاعی و محوری موتور اعم از سیم پیچی، مگنت، بیرینگها، درپوشها، شافت و کوپلینگها به صورت رنگ بندی جداگانه د شرایط تعادل حرارتی بعد از ۵ ساعت مداوم کاری آورده شده است.



شکل ۲۲-نمودار دمای اجزای مختلف موتوردر راستای شعاعی و محوری

شکل ۱۸ پخش شار گرمایی یک تکه از استاتور و رتور به اندازه یک شیار و بازوهای اطراف آن را نشان می دهد، طبق این شکل نواحی نزدیک به سیم پیچی دمای بالاتری نسبت به سایر نواحی دارند، دمای سیم پیچی حدود ۱۶۶ درجه، نوک شیارها به دلیل چگالی بالای شار گرمایی و مغناطیسی دمایی حدود ۱۶۹ درجه و نواحی دورتر از سیم پیچی دمای ۱۵۵ درجه را بعد از ۵ ساعت کاری پیوسته تجربه می کنند. طبق این شکل نواحی نزدیک به استاتور و فاصله هوایی دمای بالاتری نسبت به سایر نواحی دارند، دمای مگنت در راستای شعاعی بین ۸۵ تا ۸۶,۵ درجه و دمای بدنه رتور حدود ۸۴ درجه را بعد از ۵ ساعت کاری پیوسته تجربه می کنند.

شکل ۲۳- پخش شار گرمایی یک تکه از استاتور، رتور و مگنتها



طراحی مکانیکی موتور

موتور براشلس شامل اجزای متفاوتی می باشد که اصلی جزء موتور، استاتور سیم پیچی شده و رتور مگنت دار می باشد و این ۲ جزء هستند که باعث چرخش موتور و تولید گشتاور می شوند. برای نگه داشتن استاتور و رتور دوار نیاز به سایر اجزا از قبیل بدنه، درپوش ها، شافت، بیرینگ هم می باشد. موتور طراحی شده قابلیت تولید توان ۵۰۰ وات در سرعت ۱۴۰۰ دور بر دقیقه با گشتاور حدود ۳,۶ نیوتن متر را دارد که برای حرکت دوچرخه،مقدار سرعت خیلی زیاد و مقدارگشتاور تولیدی خیلی کم می باشد ،لذا برای حل این موضوع از یک مجموعه گیربکس در داخل موتور با نسبت تبدیل ۱:۵ برای کاهش سرعت به مقدار ۲۸۰ دور بر دقیقه و افزایش گشتاور به مقدار ۱۸ نیوتن متر استفاده شده است. اجزای مکانیکی طراحی شده در نرم افزار در شکل ۲۴ آورده شده است.



شکل ۲۴ - طراحی اجزای مکانیکی موتور

ساخت موتور

بعد از طراحی و تحلیل و تهیه نقشه های ساخت اجزای مکانیکی نوبت به ساخت موتور و مونتاژ اجزای آن می رسد. تمامی مراحل ساخت و مونتاژ در شهر اصفهان و توسط شرکت دانش بنیان الکتروگشتاور ایرانیان صورت گرفته است. اجزای مکانیکی دارای تلرانسهای دقیق در ساخت و مونتاژ هستند، شکل ۲۵ قطعات و موتور کامل مونتاژ شده را نشان می دهد.



شکل ۲۵- موتور براشلس و اجزای ساخته شده

تست و ارزیابی و تجاری سازی موتور ساخته شده

بعد از ساخت و مونتاژ موتور براشلس نوبت به تست آن می رسد، برای این کار قبل از بسته شدن موتور روی دوچرخه، آن را با ستاپ استاندارد ساخته شده مطابق شکل شماره ۲۶ از حالت بی باری تا بار نامی در سرعت‌های مختلف مورد ارزیابی قرار می گیرد، این ستاپ شامل نشیمنگاه نصب موتور، گشتاورسنج دینامیکی، بار الکترومغناطیسی و زنجیر انتقال توان می باشد.



شکل ۲۶- ستاپ تست موتور

در جدول شماره ۶ نتایج تست موتور با استفاده از ستاپ شکل ۲۶ در سرعت و گشتاور از بی باری تا بار کامل آورده شده است.

جدول ۶- نتایج تست موتور روی ستاپ آزمون

| نتایج تست موتور BLDC توسط ترکمتر عکس المعنی |            |             |               |               |               |
|---------------------------------------------|------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
| توان ورودی                                  | توان خروجی | سرعت (RPM)w | گشتاور (N.M)T | جریان آمپک DC | ولتاژ آمپک DC |
| 119.5                                       | 10.52      | 335         | 0.3           | 2.5           | 47.8          |
| 219.9                                       | 92.98      | 329         | 2.7           | 4.6           | 47.8          |
| 286.8                                       | 150.4      | 323         | 4.45          | 6             | 47.8          |
| 368.1                                       | 217.6      | 315         | 6.6           | 7.7           | 47.8          |
| 429.3                                       | 262        | 298         | 8.4           | 9             | 47.7          |
| 500.9                                       | 309.4      | 287         | 10.3          | 10.5          | 47.7          |
| 553.3                                       | 350.4      | 279         | 12            | 11.6          | 47.7          |
| 615.3                                       | 382.9      | 271         | 13.5          | 12.9          | 47.7          |
| 682.1                                       | 479.8      | 265         | 17.3          | 14.3          | 47.7          |

بعد از موفق بودن تست موتور روی ستاپ آزمون برای مدت عملکردی طولانی، موتور مطابق شکل ۲۷ روی چرخ عقب دوچرخه نصب و از آن استفاده عملیاتی شده است. این موتو رقابلیت حمل راکب تا وزن ۹۰ کیلوگرم در شیبهای تند مشابه خیابان هزار جریب را تا سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت را دارد. از این موتور حدود ۵۰ عدد ساخته و روی دوچرخه های شهری در تهران و اصفهان نصب و مورد استفاده قرار گرفته است.

شکل ۲۷- هاب موتور براشلس نصب شده روی دوچرخه شهری





## فیلترهایی که صنعت ایران را نفس تازه می دهند

## گفت‌وگو با دکتر کیوان نادری، مدیرعامل شرکت

## دانش‌بنیان مهان مدیا صنعت نویان

مصاحبه کننده: دکتر بهزاد صادقیان، عضو هیات مدیره انجمن شرکت

های دانش بنیان استان اصفهان



### چکیده

در سال‌های اخیر، نیاز صنایع استراتژیک کشور به تجهیزات پیشرفته و بومی بیش از هر زمان دیگری احساس شده است. یکی از حوزه‌های کلیدی در این میان، فیلترهای صنعتی است که نقش مهمی در پایداری خطوط تولید و ارتقاء کیفیت محصولات نهایی ایفا می‌کنند.

شرکت دانش‌بنیان «مهان مدیا» به مدیریت دکتر کیوان نادری، از جمله مجموعه‌هایی است که با اتکا به دانش بومی توانسته محصولات نوآورانه و استراتژیک را به بازار عرضه کند. دستاوردهای این شرکت نه تنها وابستگی به واردات را کاهش داده، بلکه با ایجاد صرفه‌جویی اقتصادی و ارتقاء استانداردهای صنعتی، گامی مؤثر در مسیر خودکفایی کشور برداشته است.

در ادامه، گفت‌وگوی ما با مدیرعامل این شرکت را می‌خوانید.



آقای دکتر سلام، خوشحالیم در خدمت شما هستیم. لطفاً ابتدا شرکت مهان مدیا را معرفی کنید.

شرکت مهان مدیا یک مجموعه دانش‌بنیان فعال در حوزه طراحی و تولید فیلترهای صنعتی و مدیای فیلتر است. تمرکز ما بر تولید محصولاتی با تکنولوژی بالا است؛ محصولاتی که بتوانند در شرایط سخت و استراتژیک صنعتی مانند دماهای بالا و محیط‌های اسیدی و خورنده عملکرد مطلوب داشته باشند. از ابتدای تأسیس، تلاش کرده‌ایم با تکیه بر دانش داخلی و تیم تحقیق و توسعه قدرتمند، نیازهای حیاتی صنایع کشور را پوشش دهیم و وابستگی به واردات را کاهش دهیم.

ایده ورود به حوزه فیلترهای مقاوم چگونه شکل گرفت؟

در صنایع بزرگ مانند فولاد، سیمان، پتروشیمی و ذوب فلزات، پایین بودن طول عمر فیلترها و تعویض‌های زود هنگام همواره یک چالش بزرگ بود. فیلترهای داخلی دوام کافی نداشتند و نمونه‌های خارجی به دلیل تحریم‌ها و هزینه‌های بالا، به‌سختی وارد می‌شدند یا هزینه‌های زیادی را بر صنایع تحمیل می‌کردند. این کمبود ما را به سمت توسعه محصولی بومی هدایت کرد که جایگزینی مقرون به صرفه برای فیلترهای خارجی باشد.

نخستین محصول شاخص شما چه بود؟

ما موفق شدیم فیلترهایی بر پایه پلی‌استر بی‌بافت با پوشش تفلون (PTFE) طراحی کنیم. این محصول در برابر دما و پوسیدگی ناشی از محیط‌های اسیدی و قلیایی مقاومت بسیار بالایی دارد و نسبت به نمونه‌های داخلی موجود، طول عمر و پایداری بیشتری ارائه می‌دهد. خوشبختانه این فیلتر اکنون وارد فاز تجاری‌سازی در یکی از بزرگ‌ترین واحدهای تولیدی کشور شده است.

چه تفاوتی بین این فیلتر و نمونه‌های مشابه وجود دارد؟

فیلترهای رایج در بازار معمولاً پس از مدت کوتاهی کارایی خود را از دست می‌دهند و صنایع مجبور به تعویض مداوم آن‌ها هستند. محصول ما به دلیل پوشش PTFE در برابر اسیدها، حرارت و شرایط خورنده مقاومت بیشتری دارد که این موضوع باعث کاهش توقف خطوط تولید و صرفه‌جویی اقتصادی قابل توجه برای مشتریان می‌شود.

نسل جدید فیلتر مقاوم به حرارت چه ویژگی‌هایی دارد؟

در ادامه تحقیقات، محصولی توسعه دادیم که تا دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد تحمل حرارت دارد. این فیلتر با فرمولاسیون خاص بر پایه مواد معدنی ساخته شده و حدود ۳۰ درصد ارزان‌تر از نمونه‌های تفلونی است. این ویژگی آن را به گزینه‌ای اقتصادی و کارآمد در صنایعی که دما بالاترین عامل است، تبدیل می‌کند.

این دستاوردها چه نقشی در کاهش وابستگی به واردات داشته است؟

پیش از این، بسیاری از صنایع برای تأمین فیلترهای خاص به واردات متکی بودند. اکنون با بومی‌سازی این فناوری، نه تنها وابستگی کاهش یافته، بلکه امکان تأمین پایدار و مطمئن برای صنایع داخلی فراهم شده است. این موضوع در شرایط تحریم اهمیت استراتژیک دارد.

یکی از محصولات شما فیلترهای تهویه قطارهای شهری است. در این زمینه توضیح دهید.

فضای مترو و قطارهای شهری به دلیل تردد بالا و آلودگی‌های ناشی از ترمز و گردوغبار، نیازمند فیلترهای بسیار کارآمد است. ما توانستیم فیلتر کابین مترو را با ساختار چندلایه و مبتنی بر الیاف مصنوعی بومی‌سازی کنیم. این فیلترها بدون مواد شیمیایی مضر ساخته می‌شوند، راندمان بالایی دارند و افت فشار کمی ایجاد می‌کنند و گزینه مناسبی برای تهویه مطبوع کابین، سالن و سایر بخش‌ها هستند.

آیا این فیلترها قابلیت ارتقاء و سفارشی‌سازی دارند؟

بله. بسته به نیاز مشتری می‌توان پوشش‌های ضدآب، ضدآتش و آنتی‌باکتریال به آن‌ها اضافه کرد. این ویژگی باعث شده محصول ما برای شرایط مختلف انعطاف‌پذیری بالایی داشته باشد. ضمن اینکه این فیلترها در آزمون‌های میدانی نیز عملکرد مطلوبی نشان داده‌اند و قابلیت تولید انبوه دارند.

تحقیق و توسعه چه جایگاهی در فعالیت‌های مهان مدیا دارد؟

حقیق و توسعه قلب تپنده شرکت ماست. تمام دستاوردهای امروز حاصل تلاش تیم تحقیق و توسعه داخلی است. ما همواره با پایش نیازهای صنایع، محصولات جدید طراحی می‌کنیم و برنامه‌های آتی نیز بر توسعه فناوری‌های نوین در همین حوزه متمرکز خواهد بود.

در مسیر تجاری‌سازی این محصولات با چه چالش‌هایی مواجه بودید؟

یکی از مهم‌ترین چالش‌ها، فرهنگ‌سازی و جلب اعتماد صنایع بزرگ به محصولات داخلی بود. در ابتدا بسیاری از شرکت‌ها نسبت به عملکرد محصولات بومی تردید داشتند، اما پس از اجرای آزمون‌های میدانی و مشاهده عملکرد واقعی، این اعتماد به‌تدریج ایجاد شد. همچنین تأمین مواد اولیه خاص نیز از دیگر چالش‌ها بود که خوشبختانه با راهکارهای داخلی بر آن غلبه کردیم.

برنامه شما برای توسعه بازار و صادرات چیست؟

در حال حاضر تمرکز ما بر تأمین کامل نیاز صنایع داخلی است، اما با توجه به مزیت رقابتی محصولات، برنامه جدی برای ورود به بازارهای منطقه‌ای داریم. بازار کشورهای همسایه که شرایط صنعتی مشابهی دارند، مقصد نخست ما در صادرات خواهد بود.

چشم‌انداز آینده مهان مدیا چیست؟

هدف ما این است که مهان مدیا به مرجع اصلی تأمین مدیای فیلترهای استراتژیک در کشور و منطقه تبدیل شود. معتقدیم این مسیر نه تنها به کاهش هزینه‌ها و ارتقاء کیفیت صنایع داخلی کمک می‌کند، بلکه جایگاه ایران را در بازار جهانی فیلترهای صنعتی ارتقاء خواهد داد.





## سیستم یکپارچه اسکرابر مرطوب پربازده و تیکنر به منظور بازیافت همزمان آب و اسلاری DRI در ناحیه احیا مستقیم: راهکاری پایدار برای مدیریت زیست‌محیطی صنایع فولاد



چکیده

کنترل آلاینده‌های هوا در صنایع فولادی یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی و ایمنی در جهان به‌شمار می‌رود. غبارات حاصل از فرآیند احیای مستقیم آهن (DRI) ماهیتی فعال دارند و در تماس با اکسیژن یا سطوح داغ مستعد واکنش‌های گرمازا و آتش‌سوزی هستند. استفاده از غبارگیرهای خشک (بگ‌هاوس) به‌رغم راندمان بالا در حذف ذرات، به دلیل ویژگی‌های ذرات DRI با محدودیت‌های جدی مواجه است. مشکلاتی چون آتش‌سوزی مکرر کیسه‌ها، انتشار مجدد غبار جمع‌آوری‌شده به صورت خشک و دشواری انتقال خشک مواد، کارایی این سیستم‌ها را در واحدهای احیا مستقیم به‌شدت کاهش می‌دهد.

در این مقاله تجربه طراحی و اجرای دو اسکرابر مرطوب پربازده با راندمان ۹۹/۹۹٪ و ایجاد یک چرخه کامل بازیافت آب و اسلاری ارائه می‌شود. این سیستم شامل طراحی نخستین تیکنر اختصاصی DRI است که قادر به جداسازی روزانه ده‌ها تن اسلاری آهن اسفنجی و بازگردانی مجدد آن به چرخه تولید گندله می‌باشد.

بدین ترتیب، علاوه بر رفع مشکلات زیست‌محیطی، ارزش اقتصادی قابل‌توجهی نیز ایجاد می‌شود. نتایج این پروژه نشان می‌دهد که ترکیب اسکرابر مرطوب پربازده و سیستم بازیافت اسلاری و آب، یک راهکار جامع و پایدار برای صنایع فولادی محسوب می‌شود و قابلیت تعمیم به سایر واحدهای DRI را نیز دارد.

کلیدواژه‌ها: اسکرابر مرطوب پربازده، غبارات DRI، تیکنر، بازیافت آب و اسلاری، کنترل آلودگی هوا

۱. مقدمه

کنترل آلودگی هوا به‌ویژه در صنایع فولادی، از اوایل قرن بیستم به یکی از دغدغه‌های اصلی در توسعه فناوری‌های صنعتی بدل شد. در دهه‌های نخست، با افزایش تولید فولاد و گسترش کوره‌های ذوب و فرآیندهای احیای مستقیم، حجم زیادی از غبار و ذرات ریز وارد هوا می‌شد که پیامدهای جدی زیست‌محیطی و ایمنی به همراه داشت. نخستین تلاش‌ها برای مهار این ذرات، به‌کارگیری غبارگیرهای خشک بود که در قالب بگ‌هاوس‌ها (Baghouses) از حدود دهه ۱۹۲۰ میلادی توسعه یافتند. این سیستم‌ها با استفاده از کیسه‌های پارچه‌ای، راندمان بسیار بالایی در جداسازی ذرات داشتند و به‌سرعت در صنایع سیمان، نیروگاه‌ها و سپس فولاد رایج شدند.

با این حال، تجربه نشان داد که در صنایع فولادی محدودیت‌های مهمی برای غبارگیرهای خشک وجود دارد. به‌ویژه در فرآیند احیای مستقیم آهن، غبار تولیدی (DRI Dust) ماهیتی فعال داشته و مستعد واکنش‌های گرمازا و آتش‌سوزی در تماس با کیسه‌های پارچه‌ای بود. این موضوع منجر به خطرات ایمنی، توقف تولید و هزینه‌های بالا می‌شد. در نتیجه، از نیمه دوم قرن بیستم به‌تدریج توجه صنعت فولاد به سوی فناوری‌های غبارگیری مرطوب (Wet Scrubbers) جلب گردید.

سیستم‌های مرطوب از دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ میلادی به‌کار گرفته شدند و اساس آن‌ها بر تماس جریان گاز با آب یا مایعات دیگر استوار بود. نسل‌های اولیه بیشتر برای جمع‌آوری ذرات درشت مناسب بودند، اما در صنایع فولاد، نیاز به کنترل ذرات بسیار ریز و هم‌زمان حذف گازهای آلاینده نیز وجود داشت. این ضرورت، مسیر توسعه را به سمت اسکرابرهای مرطوب پربازده (High Efficiency Wet Scrubbers) سوق داد.

در دهه‌های پایانی قرن بیستم و اوایل قرن بیست‌ویکم، طراحی‌های پیشرفته‌ای همچون ونچوری اسکرابر (Venturi Scrubber) معرفی شدند. در این فناوری، جریان گاز با سرعت بالا از گلوگاه عبور کرده و آب تحت فشار زیاد تزریق می‌شود. برخورد شدید میان گاز و مایع سبب تشکیل قطرات بسیار ریز و افزایش سطح

تماس می‌گردد و در نتیجه حتی ذرات زیر میکرون نیز جمع‌آوری می‌شوند. از سوی دیگر، این سیستم‌ها علاوه بر حذف ذرات جامد، قابلیت جذب هم‌زمان برخی از آلاینده‌های گازی را نیز دارند که در فولادسازی اهمیت ویژه‌ای دارد. مهم‌تر آنکه غبارهای فعال مانند DRI پس از تماس با آب غیرفعال شده و خطر آتش‌سوزی و انفجار که در بگ‌هاوس‌ها مطرح بود، برطرف می‌شود.

امروزه در بسیاری از واحدهای فولادسازی، به‌ویژه در خطوط DRI، استفاده از اسکرابرهای مرطوب پربازده به یک راه‌حل استاندارد برای دستیابی به الزامات زیست‌محیطی، افزایش ایمنی و کاهش هزینه‌های نگهداری تبدیل شده است. سیر تکاملی این فناوری نشان می‌دهد که حرکت از بگ‌هاوس‌های اولیه به سمت اسکرابرهای پیشرفته، پاسخی مستقیم به چالش‌های خاص صنایع فولادی و نیاز به کنترل ذرات ریز فعال بوده است. این فناوری به‌عنوان یک استاندارد زیست‌محیطی در کشورهای پیشرفته شناخته می‌شود.

۲. معرفی پروژه و روش کار

در واحد احیای مستقیم فولاد مبارکه، مشکلات ناشی از بگ‌هاوس‌ها شامل آتش‌سوزی‌های متعدد، پراکنده شدن مجدد غبارات جمع‌آوری و دپو شده به‌صورت خشک در اثر وزش باد و همچنین مشکلات متعدد در انتقال غبار جمع‌آوری شده به‌صورت خشک به نقطه بحرانی، موجب بروز نارضایتی‌های زیست‌محیطی گردیده بود.

به منظور رفع این مشکلات، شرکت دژپاد صنعت سازه اقدام به جایگزینی بگ‌هاوس موجود با ۲ عدد اسکرابر مرطوب High Efficiency با بازده بسیار بالا (مناسب برای غبارات فاین DRI) و ظرفیت هرکدام نمود. برای بازیابی آب خروجی از اسکرابرها، استفاده مجدد از آن و همچنین تغلیظ اسلاری DRI، تیکنری با ویژگی‌های منحصر به فرد طراحی و مورد استفاده قرار گرفت که مناسب این کاربرد خاص باشد. شایان ذکر است تیکنر طراحی شده نه تنها پشتیبانی از ۲ عدد اسکرابر مرطوب پروژه را بر عهده دارد، بلکه عملیات تغلیظ اسلاری و بازیافت آب از ۸ عدد اسکرابر مرطوب موجود در مجموعه نیز در این تیکنر انجام می‌گیرد.

با توجه به حجم بالای اسلاری ورودی به تیکنر، فاین بودن ذرات DRI و در نتیجه پایین بودن سرعت ته‌نشینی و همچنین محدودیت زمان ماند اسلاری، از سیستم دوزینگ و تزریق مواد افزودنی برای انعقاد سریع‌تر استفاده شده است. فرمول اختصاصی این سیستم با برداشت نمونه‌های واقعی، ساخت تیکنر پایلوت و انجام تست‌های متعدد آزمایشگاهی تولید شده و در مالکیت شرکت دژپاد صنعت سازه قرار دارد.

مزیت دیگر این پروژه، امکان ارسال اسلاری تغلیظ شده از طریق خطوط لوله به سایت گندله‌سازی بدون ایجاد هرگونه مشکل زیست‌محیطی است. با توجه به

اینکه مسیر انتقال حدود ۲ کیلومتر است، از پمپ‌های لجن سانتریفیوژ با آرایش سری استفاده گردید که از جمله چالش‌های اصلی این پروژه محسوب می‌شد.

### ۳- اجزا مهم مورد استفاده در سیستم

در زیر به اختصار مهم‌ترین ویژگی‌های هریک از زیر سیستم‌های مورد استفاده قرار گرفته در این پروژه به اختصار بیان می‌گردد.

#### ۳-۱- اسکرابر مرطوب

دو عدد اسکرابر مرطوب از نوع HIGH EFFICIENCY VENTURY WET SCRUBBER هریک به ظرفیت ۱۰۰,۰۰۰ h<sup>۳</sup>/m<sup>۳</sup> طراحی و جایگزین بگهوس های موجود گردیده است. از جمله پیچیدگی های اسکرابرهای فوق و خاص بودن آن ها می توان به ظرفیت بالا، سیستم کنترلی پیشرفته و راندمان بسیار بالای آن اشاره کرد. افزایش ظرفیت در اسکرابرهای مرطوب پیچیدگی های فنی بسیار زیادی را به دنبال خواهد داشت بطوریکه ظرفیت های بالا (۱۰۰,۰۰۰ h<sup>۳</sup>/m<sup>۳</sup> و بیشتر) تنها در نمونه‌های خارجی قابل مشاهده است. سرعت بسیار بالای سیال در گلوگاه ونتوری (بیش از ۹۰ m/s) و عبور از پرده آبی ۱۵۰ h<sup>۳</sup>/m<sup>۳</sup> با افت فشار بیش از ۱۰۰۰ mgH<sub>2</sub>O باعث می گردد غبار خروجی به کمتر از ۳۰ mg/m<sup>۳</sup> رسیده و از نظر راندمان با غبارگیرهای خشک رقابت کند. همچنین جهت کنترل میزان آب مورد نیاز در رینگ های آب بالا و پائین ونتوری، از سیستم‌های کنترلی پیشرفته و تجهیزات ابزار دقیق مانند فلوترانسمیتر و ولوهای کنترلی مجهز به پوزیشنر استفاده گردیده است. اسکرابر مرطوب طراحی شده توسط شرکت دژپاد صنعت سازه با خروجی ۳۰ mg/m<sup>۳</sup>، دارای راندمان ۹۹.۹۹٪ است و از این منظر مشابه آن در کشور وجود ندارد. لازم به ذکر است که در نمونه‌های رایج اسکرابر مرطوب غبار خروجی در حدود ۱۵۰ mg/m<sup>۳</sup> است و اسکرابرهای طراحی شده توسط شرکت دژپاد صنعت سازه قادر به کاهش این میزان تا ۵ برابر هستند.



#### ۲.۳. تیکتر

جریان خروجی از اسکرابرها حاوی ذرات ریز آهن اسفنجی (DRI fines) با اندازه ذرات غالباً زیر ۵۰ میکرومتر است. این جریان، که به صورت اسلاری است، نیازمند جداسازی جامد-مایع با کارایی بالا است؛ تا هم آب فرآیندی بازیابی شود و هم ذرات آهن با ارزش اقتصادی بالا به چرخه تولید بازگردند. تیکتر به عنوان یکی از تجهیزات کلیدی، مکانیزم ته‌نشینی ثقلی را با بهره‌گیری از نیروهای جاذبه و فلوکولاسیون شیمیایی به‌کار می‌گیرد. جریان ورودی از طریق چاهک مرکزی (Feed Well) به منظور آرام کردن جریان و کاهش انرژی جنبشی و آشفتگی تلاطمی وارد تیکتر می‌گردد.

برای جلوگیری از فشرده‌سازی بیش از حد بستر و تشکیل مناطق غنی از جامدات در کف مخزن (Dead Zones)، تیکترها مجهز به بازوی جاروب‌کننده چرخشی (Rake Mechanism) هستند که ذرات ته‌نشین را به مخروط خروجی هدایت می‌کنند و امکان تخلیه کنترل‌شده لجن با غلظت جامد بالا فراهم می‌شود.

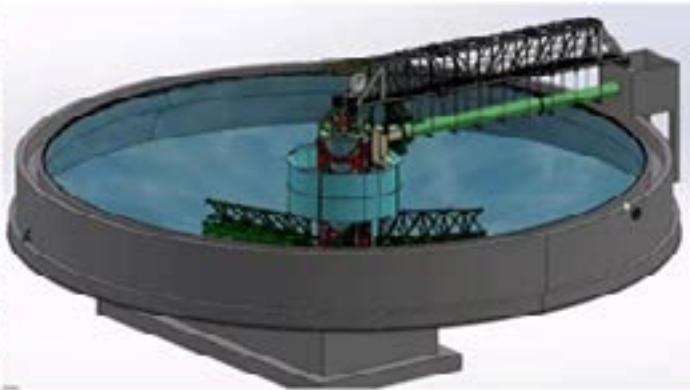
جریان بالایی (Overflow) شامل آب زلال است. کیفیت سرریز معمولاً دارای غلظت جامد کمتر از ۱۰۰ ppm است و می‌تواند به طور مستقیم به سیستم اسکرابر بازگردد یا برای مصارف آب فرآیندی مورد استفاده قرار گیرد.

ته‌ریز (Underflow) لجن غلیظ حاوی ذرات DRI از مخروط کف مخزن جمع‌آوری شده و به فیلترپرس (Filter Press)، نوار نقاله‌های فشرده‌سازی یا حوضچه‌های خشک‌سازی هدایت می‌شود. ته‌ریز با غلظت بالا امکان بازیابی کامل مواد و کاهش حجم پسماند را فراهم می‌کند.

تیکتر DRI یا فاین آهن اسفنجی طراحی شده توسط شرکت دژپاد صنعت سازه تنها تیکتر اختصاصی DRI در ایران می‌باشد که جهت فرآوری اسلاری آهن اسفنجی طراحی شده و اسلاری تغلیظ شده حاصل به عنوان مواد اولیه به واحد گندله‌سازی ارسال می شود.



در این طرح اسلاری خروجی دو اسکرابر مرطوب پروژه با اضافه شدن اسلاری ۸ اسکرابر دیگر با ظرفیت ورودی در مجموع ۱۵۰۰ h<sup>۳</sup>/m<sup>۳</sup> وارد تیکتر شده و اسلاری DRI بازیافت شده به ظرفیت ۷۵ h<sup>۳</sup>/m<sup>۳</sup> به واحد گندله سازی پمپاژ شده و به عنوان مواد اولیه ضروری در تولید گندله به کار می‌رود. به این ترتیب هم مشکل زیست محیطی ناحیه برطرف شده و هم با بازیافت محصول، تولید افزایش خواهد یافت، همچنین آب مصرفی مجدداً به چرخه بازمیگردد. با توجه به عدم وجود تیکتر مشابه و اختصاصی آهن اسفنجی می بایستی پارامترهای فنی فرآیندی تیکتر، فرآوری لجن و بازیافت آهن اسفنجی و همچنین بازیابی آب تعیین گردد. به دلیل پیچیدگی‌های فنی این پروژه مواردی نظیر آنالیز دانه بندی، آنالیز شیمیایی غبار، آنالیز XRD (جهت تعیین کانی‌های تشکیل دهنده فاین)، آنالیز SEM و EDS (جهت تعیین ابعاد ذرات غبار)، تست‌های ته‌نشینی آزمایشگاهی پالوت، تاثیر فلوکولانت‌های کاتیونی و آنیونی و میزان مصرف آن‌ها، تست‌های آزمایشگاهی اثر PH، میزان دما، میزان درصد جامد، تاثیر کوآگولانت‌های مختلف بر روی نرخ ته‌نشینی، انجام آزمایش پالوت در شرایط واقعی اسلاری با محتوای ورودی TSS بیشینه ۲۰,۰۰۰ mg/lit و میزان خروجی سرریز تیکتر زیر ۲۰۰ mg/lit و ... مورد آزمایش و آنالیز قرار گرفت.



### ۳-۳- سیستم دوزینگ و مواد افزودنی منعقدکننده با فرمول مخصوص

رفتار ته نشینی یک ذره درون سیال به عوامل متعددی از جمله شکل، ابعاد، چگالی ذره، ویسکوزیته و چگالی سیال بستگی دارد. ذرات فوق‌ریز DRI به تهابی نرخ ته‌نشینی بسیار پایین دارند و بدون کمک افزودنی شیمیایی نمی‌توانند با سرعت کافی ته‌نشین شوند. بنابراین معمولاً از پلیمرهای فلوکولانت با وزن مولکولی بالا و بار الکتریکی مثبت یا خنثی استفاده می‌شود که ذرات نانو تا میکرون را به هم متصل کرده و فلوک‌های بزرگ‌تری تشکیل می‌دهند. این فرآیند باعث افزایش سرعت ته‌نشینی مؤثر (Effective Settling Velocity) ذرات مطابق با قانون استوکس می‌گردد. سیستم دوزینگ این مواد افزودنی را با فرمولی کاملاً اختصاصی که در مجموعه شرکت دانش‌بنیان دژپاد صنعت سازه طراحی شده است، با میزان مورد نیاز به سیال اضافه خواهد کرد. انتخاب نوع فلوکولانت با آزمایشات پالوت متعدد صورت گرفته انجام شده است بطوریکه این موضوع از پیچدگی های خاصی برخوردار است. از مهم ترین فعالیت‌هایی که در این بخش میبایست صورت پذیرد می‌توان به مواردی نظیر بررسی های آزمایشگاهی و محاسبات، بررسی ماهیت ذرات و سیال، بررسی غلظت پالپ، بررسی اثر PH، دما و درصد جامد، تاثیر انواع فلوکولانت های آنیونی و کاتیونی، میزان فلوکولانت مصرفی، محاسبات سایزینگ پمپ دوزینگ و نهایتاً بررسی‌های دقیق آزمایشگاهی با ساخت تیکتر پالوت اشاره کرد.

#### ۳-۴- پمپخانه لجن

اسلاری تغلیظ شده توسط تیکتر به ظرفیت ۷۵ h<sup>۳</sup>/m<sup>۳</sup> و با محتوای جامد ۳۰٪ به کمک پمپخانه اسلاری به میزان طول مسیر ۱۱۰۰ m به واحد گندله سازی ارسال می گردد. از جمله مواردی که در طراحی پمپخانه اسلاری میبایست لحاظ شود می توان به دانسیته و ویسکوزیته لجن، مسیر انتقال و سرعت حدی لجن اشاره کرد.





پمپخانه آب وظیفه آبرسانی به نازل‌های پاشش آب دو دستگاه اسکرابر مرطوب پروژه به همراه ۸ دستگاه اسکرابر ناحیه را دارد. طراحی پمپ‌های اصلی بگونه‌ای است که بر اساس نیاز و تعداد اسکرابرها در مدار قرار می‌گیرند و یا خارج می‌گردند. به دلیل ظرفیت بالای پمپ‌های آب از سافت استارتر جهت راه اندازی استفاده گردیده است. پمپ‌های فلاشینگ هم جهت شست وشوی خطوط لجن کاملاً به صورت اتوماتیک طراحی شده‌اند، بگونه‌ای که پس از قطع پمپ‌های اسلاری بطور اتوماتیک و به مدت چند دقیقه خطوط را شست و شو می‌دهند تا از انباشت و ته‌نشینی لجن جلوگیری نمایند. پمپ‌های سرپکینگ از نوع فشار بالا جهت ایجاد فشار لازم پکینگ‌های پمپ‌های اسلاری نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین لازم به ذکر است که یک مجموعه بیسین با ظرفیت ۷۵۰ m<sup>۳</sup> نیز برای پمپخانه در نظر گرفته شده است.

#### ۶. نتایج و بحث

اجرای این پروژه نتایج چشمگیری از قبیل کاهش غبار خروجی به میزان کمتر از ۳۰ mg/ Nm<sup>۳</sup>، راندمان بالا تا میزان ۹۹٫۹۹٪ در شرایط عملیاتی واقعی، بازیافت مقادیر زیادی اسلاری DRI و ارسال به واحد گندله‌سازی، گردش مجدد آب سرریز تیکر به اسکرابرها و کاهش مصرف آب، حذف کامل خطر آتش‌سوزی‌های ناشی از بگ‌هاوس‌ها و افزایش ایمنی را در پی داشته است.

این پروژه استفاده از اسکرابرهای مرطوب High Efficiency همراه با چرخه جامع بازیافت لجن و آب را به عنوان یک راهکار پایدار و اقتصادی برای صنایع فولاد مطرح می‌سازد و ضمن دستیابی به استانداردهای زیست‌محیطی سختگیرانه، ایجاد ارزش اقتصادی از طریق بازیافت اسلاری DRI می‌تواند با کاهش مصرف منابع آب نویدبخش حرکت به سمت توسعه پایدار باشد. این راهکار قابلیت تعمیم به سایر واحدهای احیای مستقیم -که با مشکلات مشابه مواجه هستند- را دارا بوده و می‌تواند به‌عنوان یک مدل ملی در مدیریت آلاینده‌ها در صنایع فولادی مطرح شود.



گفت و گو با آقای مهندس محمد وکیلی

مدیرعامل شرکت مدیران تحلیلگر سپاهان و دبیر کمیته دامپروری

هوشمند انجمن شرکت های دانش بنیان و فناور استان اصفهان

مصاحبه کننده: دکتر بهزاد صادقیان، عضو هیات مدیره انجم شرکت

های دانش بنیان و فناور استان اصفهان

چکیده

کمیته دامپروری هوشمند در انجمن شرکت‌های دانش‌بنیان اصفهان با هدف پاسخ به تهدیدات

جدی صنعت دامپروری کشور، از تغییرات اقلیمی و کمبود منابع گرفته تا فرسودگی زیرساخت‌ها

و کمبود نیروی انسانی، شکل گرفت. این کمیته تلاش می‌کند با بهره‌گیری از توان فناوران، حمایت

مستولان و همراهی مصرف‌کنندگان، مسیری نو برای نوسازی و بهینه‌سازی صنعت دامپروری

ترسیم کند. مهم‌ترین دستاوردهای کمیته تاکنون شامل تدوین نقشه‌راه و نقشه جامع دامپروری

هوشمند و همچنین ایجاد بستر همکاری میان شرکت‌های دانش‌بنیان و فعالان صنعت بوده

است. هرچند چالش اصلی این مسیر بیش از آنکه فنی یا مالی باشد، فرهنگی و مدیریتی است،

اما چشم‌انداز آینده نشان می‌دهد فناوری‌های بومی می‌توانند ضمن کاهش هزینه‌ها و افزایش

بهره‌وری، حتی به بازارهای صادراتی نیز راه پیدا کنند. مأموریت اصلی کمیته، تسهیل و تسریع

روند تجاری‌سازی ایده‌ها و توانمندی‌های فناورانه در حوزه دامپروری است. در این مصاحبه، آقای

مهندس محمد وکیلی، مدیرعامل شرکت مدیران تحلیلگر سپاهان، به پرسش‌های مادر باره گذشته،

حال و آینده دامپروری هوشمند پاسخ می‌دهند.

## کمیته دامپروری هوشمند؛ پیوند فناوری

## و دامپروری برای آینده‌ای پایدار

معرفی و انگیزه‌ها

کمیته دامپروری هوشمند چطور شکل گرفت و چه نیازی باعث شد به فکر ایجاد آن بیفتید؟ در واقع، شما شخصاً چه انگیزه‌ای برای ورود به این حوزه داشتید و مهم‌ترین دستاوردی که کمیته تاکنون داشته چیست؟

اگر بخواهم بگویم کمیته دامپروری هوشمند از کجا شکل گرفت، باید به پنج سال قبل بازگردم. من عادت دارم هر چهار سال یک بار، تمامی اهداف چهار سال بعد را تنظیم و آماده کنم و سپس طبق همان خط حرکت کنم. ما در شرکت مدیران، در سال ۱۳۹۸ به اهداف تعیین شده رسیده بودیم و در دوران کرونا فرصت مناسبی برای تنظیم اهداف بعدی پیدا کردیم. بنابراین مشکلات صنف دامپروری را مجدداً تحلیل کردم و سعی کردم راه‌حل‌های آن را پیدا کنم.

در آن زمان متوجه شدیم که صنف دامپروری در معرض تهدیداتی قرار دارد که از جنس صنایع دیگر نیستند. به‌عنوان مثال، در صنایع دیگر، اقتصاد، تحریم و جنگ عوامل خطرساز محسوب می‌شوند، اما صنف دامپروری وظیفه تأمین پروتئین را بر عهده دارد، یعنی غذای مردم، و مردم در هر شرایطی محصولات آن‌ها را تهیه خواهند کرد.

متوجه شدیم که برای صنعت دامپروری، تهدیدات به ترتیب اهمیت عبارتند از:

۱. تغییرات اقلیمی و کمبود منابعی مانند آب

۲. کمبود انرژی‌هایی مانند برق و سوخت

۳. کمبود منابع انسانی که به دلیل تغییر نسل و سطح سواد رخ داده است.

۴. و در نهایت فرسودگی صنعت به دلیل قدمت و بی توجهی

که بالطبع آخرین مورد ، به زودی باعث می شود که قدرت حل مسائل قبلی را نداشته باشد.

بنابراین ما باید راه حلی را پیدا می‌کردیم که ابزار لازم صنعت برای حل این مشکلات باشد.

۱.استفاده درست از منابع مانند آب و سوخت

۲. حل مشکل نیروی کار

۳. نوسازی یا بازسازی صنعت دامپروری با کمترین هزینه و بیشترین بازده

ما با بازنگری در تمامی محصولات خود ، کار را شروع کردیم ، سپس به سراغ فناوران دیگر رفتیم و آنها را هم به مشارکت تشویق نمودیم.

اما جلو رفتن در یک صنعت اگر با خود صنعت طرف باشید یک سری مشکلات دارد ولی اگر تصمیم بگیرید یک کشور را تحت تاثیر قرار بدهید نیاز به همراهی دارد.

این همراهی از سه بخش تشکیل می‌شود:

۱- مصرف کنندگان

۲- فناوران

۳- مسئولان

در اینجا بود که ما با بررسی تصمیم گرفتیم کمیته دامپروری هوشمند در انجمن شرکت‌های دانش‌بنیان اصفهان را نقطه اتصال این سه بخش قرار دهیم. با این ایده به سراغ انجمن آمدیم و با استقبال این عزیزان، موفق شدیم شروع خوبی داشته باشیم.

فعالیت‌ها و دستاوردها

تاکنون کمیته دامپروری هوشمند چه پروژه‌ها و طرح‌های مشخصی را اجرا کرده است؟ همکاری با شرکت‌های دانش‌بنیان در این مسیر چگونه پیش رفته است؟ چه نوآوری‌هایی تاکنون توانسته‌اید وارد صنعت دامپروری کنید و چه تأثیری داشته‌اند؟

بزرگ‌ترین موفقیت کمیته دامپروری هوشمند، ترسیم مسیر کمیته در قالب نقشه راه است که قدم‌به‌قدم و طبق مراحل پیش‌بینی‌شده در حال اجراست. موفقیت دوم ترسیم نقشه جامع دامپروری هوشمند بود که ابعاد مختلف نیازهای صنعت دامپروری را به زبان فناوران ترجمه می‌کند و محل هر یک از محصولات فناوران را به‌عنوان یک جزء از پازل اصلی نشان می‌دهد.

همکاری با شرکت‌های دانش‌بنیان در این مسیر تا حدود زیادی مثبت بوده، اما هنوز جای بهبود دارد. بسیاری از شرکت‌ها به دلیل تمرکز بر ایده‌های محوری خود، در همراهی با کمیته با چالش مواجه بودند، اما نکته مثبت این است که توانستیم انعطاف و سازگاری محصولات آنها با نیازهای صنعت دامپروری را مطرح کنیم و در برخی موارد نیز اجرا کنیم. برای این منظور جلسات متعدد آنلاین، بازدیدهای حضوری و معرفی صنف به فناوران و بالعکس انجام شده و همچنان ادامه دارد.

در زمینه نوآوری، به سختی می‌توان مسئله‌ای کاملاً جدید که در دنیا حل نشده باشد مطرح کرد، اما بررسی تکنولوژی‌های فعلی جهانی انجام شده و امید است در صورت موفقیت، ظرف یکی دو سال آینده بتوانیم این تکنولوژی‌ها را حتی در مرحله صادرات نیز به کار ببریم.

چالش‌ها و راهکارها

به نظر شما بزرگ‌ترین چالش‌های دامپروری هوشمند در ایران چیست؟ موانع ورود تکنولوژی

به مزرعه‌های دامپروری بیشتر از جنس فنی است یا فرهنگی و مدیریتی؟ و چه راهکارهایی

برای عبور از این موانع پیشنهاد می‌کنید؟

بزرگ‌ترین چالش دامپروری هوشمند در ایران نه پول است، نه نیازسنجی و نه حتی ارائه راه‌حل، بلکه فرهنگ است. فرهنگ‌سازی باید نه از سمت دامدار، بلکه از سمت مسئولان آغاز شود.

مسئولان غالباً منتظر می‌مانند که در لایه‌های زیرین اتفاقاتی رقم بخورد تا خود از نتایج بهره‌مند شوند. این موضوع به خودی خود بد نیست و می‌تواند جای امیدواری داشته باشد، زیرا نشان‌دهنده عملکرد اقتصاد آزاد است. اما متأسفانه از سوی دیگر، شاهد دخالت برخی مسئولان هستیم که نه در همراهی بلکه در توقف روندها تأثیر می‌گذارند و در خوشبینانه‌ترین حالت، این رفتار ناشی از عدم شناخت است. با توجه به این شرایط، در تیم خود یا کمیته دامپروری هوشمند می‌توانیم سرشاخه‌های حل مسئله را ببینیم، اما مشکلات در لایه‌های بالاتر از دسترس ما هستند و بنابراین راهی جز حرکت گام‌به‌گام در لایه خود صنعت و پیگیری مستمر نیازها از سوی مسئولان نداریم.

آینده و چشم‌انداز

آینده دامپروری هوشمند در ایران را چطور می‌بینید؟ چه فناوری‌هایی را برای چند سال آینده در این حوزه کلیدی می‌دانید؟ آیا امکان صادرات فناوری یا خدمات ایرانی در این زمینه وجود دارد؟

در خصوص نیاز آینده به دامپروری هوشمند، می‌توان گفت که این موضوع مشابه پرسیدن این سؤال است که آیا تمایل به خوردن غذا دارم یا نه؟ ممکن است در این لحظه به دلایلی تمایلی نداشته باشم، اما مطمئناً تا فردا میل شدیدی به غذا پیدا خواهم کرد، چرا که زنده ماندن یک ضرورت است. صنعت دامپروری نیز با تهدیدات متفاوتی مواجه است و ما راه‌حل‌های خاص و مطمئن برای این صنعت طراحی کرده‌ایم تا زنده ماندن آن با حداقل هزینه ممکن باشد. امروز خوشحالیم که تکنولوژی‌هایی که دیروز بسیار گران و به دلیل تحریم‌های ایران غیرقابل پشتیبانی بودند، امروز توسط متخصصان ایرانی با حداکثر پشتیبانی عرضه می‌شوند و با فرهنگ ایرانی، محصولات ارائه می‌شوند. در زمینه صادرات محصولات نیز باید گفت که نرم‌افزارهای شرکت مدیران هم‌اکنون در هشت کشور حضور دارند و ما کمک خواهیم کرد که دیگر فناوران نیز بتوانند محصولات خود را به آسانی صادر کنند.

توصیه و الهام‌بخشی

به شرکت‌های دانش‌بنیانی که می‌خواهند وارد این حوزه شوند چه توصیه‌ای دارید؟ نقش جوانان و دانشجویان در توسعه دامپروری هوشمند را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ اگر بخواهید در یک جمله مأموریت کمیته را بیان کنید، چه می‌گویید؟

در سال‌های گذشته در جمع‌های متعددی حضور داشته‌ام و از دانش‌آموزان گرفته تا دانشجویان، اساتید و فناوران عزیز را تشویق کرده‌ام که به این صنعت ملحق شوند، چرا که این صنعت آغوش خود را برای آن‌ها باز کرده است. برای سرعت بخشیدن به روند تجاری شدن ایده‌ها در این صنعت، آن‌ها می‌توانند در کمیته حضور پیدا کنند، سؤال بپرسند، اطلاعات کسب کنند و با حداقل ریسک فعالیت خود را آغاز کنند. مأموریت ما در کمیته، تسریع فرآیند تجاری شدن ایده‌ها و توانمندی‌های فناوران است.



## نوآوری در مصالح ساختمانی پایدار با استفاده از ضایعات صنعت سنگبری

چکیده

ضایعات صنعتی به‌ویژه پسماندهای صنعت سنگ‌بری به دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاص، پتانسیل بالایی برای جایگزینی در تولید مصالح ساختمانی دارند. در این پژوهش، امکان‌سنجی استفاده از ضایعات سنگ در تولید آجر نما سازگار با محیط‌زیست بررسی شد. بدین منظور فرمولاسیون مواد بر پایه ترکیب درصد‌های مشخص از ضایعات کارخانه‌ای تهیه و فرآیند تولید شامل قالب‌گیری و عمل‌آوری انجام گرفت. نتایج حاصل نشان داد محصول نهایی فاقد مشکلات متداول آجرهای رایج از جمله سفیدک و شوره بوده و از نظر جذب رطوبت و مقاومت فشاری قابلیت کاربرد در شرایط متنوع اقلیمی را داراست. وزن کمتر، رنگ‌پذیری بالا، قابلیت شست‌وشو و کاهش هزینه تولید از دیگر مزایای این آجر محسوب می‌شود. علاوه بر ارتقای پایداری زیست‌محیطی از طریق کاهش دفن ضایعات، تحلیل اقتصادی نیز نشان داد هزینه نهایی تولید به دلیل کاهش مصرف آب، انرژی و حمل‌ونقل به‌طور چشمگیری کمتر از آجر معمولی است.

واژه‌های کلیدی: آجر، پسماند، محیط زیست، جذب رطوبت، مقاومت فشاری.

۱- مقدمه:

۱- ۲- بیان مسئله

رشد جمعیت جهان از ۳ میلیارد نفر در سال ۱۹۶۰ به حدود ۸/۷ میلیارد نفر در سال ۲۰۲۰ و افزایش شهرنشینی از ۳۴ به ۵۶ درصد در همین دوره (Worldometer, ۲۰۲۰) منجر به رشد چشمگیر تولید پسماند در مقیاس جهانی شده است. در ایالات متحده هر فرد به‌طور متوسط سالانه ۸/۸ کیلوگرم زباله تولید می‌کند (Sensoneo, ۲۰۲۰) و برآوردها نشان می‌دهد حدود ۹۰ درصد مواد خام مصرفی در صنایع پیش از عرضه محصول نهایی به ضایعات صنعتی تبدیل می‌شوند و نزدیک به ۸۰ درصد از محصولات تولیدشده نیز ظرف شش ماه نخست استفاده به زباله شهری بدل می‌گردند. گزارش بانک جهانی (۲۰۱۸) پیش‌بینی کرده است که در صورت عدم اقدام فوری، حجم زباله جهانی تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۷۰ درصد افزایش خواهد یافت. این شرایط، ضرورت توسعه راهکارهای پایدار برای بازیافت و استفاده مجدد از پسماندها را دوچندان می‌کند.

در حال حاضر، دفع پسماند در محل‌های دفن همچنان رویکرد غالب مدیریت زباله است، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، در حالی‌که بازیافت و استفاده مجدد می‌توانند علاوه بر کاهش اثرات زیست‌محیطی، ارزش اقتصادی قابل‌توجهی ایجاد کنند (Simao et al, ۲۰۲۱). در بخش ساخت‌وساز، تخریب ساختمان‌های قدیمی و استفاده گسترده از مصالحی نظیر آجر سفال، سنگ پلاک، گچ، سیمان و فولاد حجم عظیمی از نخاله ساختمانی ایجاد می‌کند که اغلب به‌طور نامناسب دفع شده و موجب آلودگی هوا، خاک و مناظر شهری می‌شود (اکرمی و علیپور، ۱۳۹۵). علاوه بر این، گسترش استفاده از مصالح صنعتی و شیمیایی مانند آلومینیوم، پلاستیک و مصالح مرکب نظیر آّبست‌ها می‌تواند اثرات منفی زیست‌محیطی آینده را تشدید کند.

از میان ضایعات ساختمانی، پسماندهای صنعت سنگ‌بری به دلیل حجم بالا و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاص اهمیت ویژه‌ای دارند. تنها در صنعت سنگ‌های زینتی، بین ۳۰ تا ۳۵ درصد مواد اولیه در فرآیند برش و صیقل به ضایعات تبدیل می‌شوند که دفع نامناسب آن‌ها پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی گسترده‌ای به همراه دارد (Atitta et al, ۲۰۲۴). بررسی‌ها نشان داده است که این ضایعات قابلیت استفاده در تولید بتن، سرامیک، آسفالت، مصالح کشاورزی و همچنین تولید مصالح ساختمانی نوین مانند سنگ مصنوعی و آجر را دارند (سپهوند و بیرانوند، ۱۳۹۷؛ Stefanidou, ۲۰۱۵).

افزایش تقاضا برای مصالح ساختمانی در کشورهای در حال توسعه، به‌ویژه در اثر رشد شهرنشینی و ارتقای سطح زندگی، موجب شده است استخراج و

فرآوری سنگ‌های ساختمانی تزئینی به فعالیتی پرونق بدل شود (Nayaka et al, ۲۰۲۲). برای نمونه، در برزیل تنها در سال ۲۰۲۰ بیش از ۹ میلیون تن سنگ تزئینی استخراج شد که بخش بزرگی از آن به ضایعات تبدیل گردید (Gomes et al, ۲۰۲۲). در ایران نیز وضعیت مشابهی وجود دارد. در استان اصفهان، ضایعات پودر سنگ و گلسنگ حاصل از کارخانه‌های سنگ‌بری به شکل توده‌های بزرگ در حاشیه شهرها انباشته می‌شوند. برای نمونه، در شاهین‌شهر کوه‌هایی از این ضایعات تجمع یافته‌اند که با پراکندن گردوغبار در فضا موجب آلودگی هوای شهری شده‌اند.

بر این اساس، استفاده مجدد از ضایعات سنگ نه تنها به کاهش مشکلات زیست‌محیطی کمک می‌کند بلکه راهکاری اقتصادی و پایدار برای تولید مصالح ساختمانی نوین فراهم می‌آورد. در همین راستا، هدف پژوهش حاضر تولید آجر نما سازگار با محیط زیست از ضایعات سنگ کارخانه‌های اصفهان است. این رویکرد علاوه بر کاهش حجم ضایعات و آزادسازی فضای کارخانه‌ها، موجب صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی شده و می‌تواند الگویی دانش‌بنیان برای مدیریت پایدار پسماند در صنعت سنگ کشور باشد.

۱- ۲- پیشینه پژوهش

پیشینه پژوهش

انباشت نخاله‌های ساختمانی و ضایعات مصالح، هم به لحاظ زیست‌محیطی و هم به دلیل محدودیت فضا در کارخانه‌ها، به یکی از چالش‌های مهم صنایع ساختمانی تبدیل شده است. همین امر موجب شده تا پژوهشگران در سراسر جهان به دنبال یافتن راهکارهایی برای تولید مصالح ساختمانی جدید و به‌ویژه آجرهای سازگار با استانداردهای جهانی از این ضایعات باشند.

Simao et al (۲۰۲۱) در پرتغال مطالعه‌ای روی ضایعات سنگ کارخانه‌های فرآوری سنگ طبیعی انجام دادند. آن‌ها به کمک روش‌هایی نظیر طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس، پراش پرتو ایکس و آنالیزهای حرارتی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ضایعات سنگ را بررسی کردند. نتایج نشان داد که این ضایعات قابلیت استفاده به‌عنوان ماده اولیه در تولید سیمان و سرامیک را دارند.

بارانی و اسماعیلی (۲۰۱۶) با استفاده از پودر لجن حاصل از فرآیند برش سنگ‌های گرانیتی و مرمری، به همراه پودر کوارتز، خرده‌شیشه و رزین، موفق به تولید اسلب‌های سنگ مصنوعی شدند. یافته‌های آنان نشان داد

که افزایش میزان پودر لجن سبب افزایش جذب آب و دانسیته و کاهش مقاومت مکانیکی سنگ می‌شود؛

نویسنده: نسیم دهقانی

مدیرعامل شرکت نقش نور آروند، شهرک

علمی تحقیقاتی اصفهان

eng.nasimdehghan@gmail.com

اما با ترکیب بهینه (۵۰٪ پودر لجن، ۲۰٪ کوارتز، ۲۵٪ شیشه، ۱۳٪ رزین) امکان تولید سنگ‌های مصنوعی با خواص مطلوب وجود دارد.

Bagherpour et al (۲۰۱۹). ضایعات سیلیس کارخانه فرآوری سیلیس البرز را بازیافت و به سنگ مصنوعی جدید تبدیل کردند. محصول نهایی دارای مقاومت فشاری (۱۰۰ مگاپاسکال)، مقاومت کششی (۳۷ مگاپاسکال) و مقاومت خمشی (۹۸ مگاپاسکال) بود که نسبت به سنگ طبیعی عملکرد بهتری نشان داد. علاوه بر این، خواص وزنی، جذب آب و مقاومت در برابر خوردگی اسیدی سنگ مصنوعی تولیدی از مزایای برجسته آن گزارش شد.

Ikechukwu et al (۲۰۲۱). در تحقیق خود از زباله‌های پلاستیکی و شیشه خردشده برای تولید آجر استفاده کردند. نتایج حاکی از آن بود که آجرهای تولیدی دارای مقاومت فشاری و کششی بالاتری نسبت به آجرهای رسی معمولی هستند. همچنین، به دلیل ویژگی‌های آب‌گریز ضایعات پلاستیک و شیشه، این آجرها پایداری بهتری در برابر چرخه‌های خیس‌شدن و خشک‌شدن از خود نشان دادند.

Gomes et al (۲۰۲۲). نیز با هدف کاهش اثرات زیست‌محیطی، از ضایعات سنگ‌های زینتی برای تولید سنگ مصنوعی استفاده کردند. آن‌ها با ترکیب ۸۵٪ ضایعات گرانیت و ۱۵٪ پلی‌اورتان گیاهی حاصل از روغن کرچک، موفق به ساخت سنگی با جذب آب و تخلخل کم و مقاومت خمشی مطلوب شدند که قابلیت کاربرد در پوشش‌های ساختمانی را دارا بود.

Attia et al (۲۰۲۴) در پژوهش خود دال‌های سنگ مرمر مصنوعی را با استفاده از قطعات خردشده سنگ و پودر رزین پلی‌استر تولید کردند. نتایج نشان داد که نسبت ۲۵٪ رزین در ترکیب و فشرده‌سازی در فشار ۱۵ مگاپاسکال بهترین شرایط برای دستیابی به استانداردهای ASTM در زمینه مقاومت فشاری و خمشی بوده است.

به طور کلی، مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که استفاده از ضایعات معدنی و صنعتی در تولید آجر و سنگ‌های مصنوعی می‌تواند راهکاری مؤثر برای کاهش مشکلات زیست‌محیطی، صرفه‌جویی در منابع طبیعی و ارتقای خواص مکانیکی مصالح ساختمانی باشد. در این زمینه، پژوهشگران از مواد زائد متنوعی همچون پودر لجن سنگ‌بری، سیلیس، شیشه خردشده و پلاستیک در ترکیب‌های مختلف استفاده کرده‌اند. خواصی همچون مقاومت فشاری، چگالی ظاهری و جذب آب از جمله مهم‌ترین ویژگی‌هایی بوده‌اند

که در اغلب مطالعات مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Al-fakih et al, ۲۰۱۹).

۲- مواد و روش‌ها:

مواد و روش‌ها

هدف اصلی طرح حاضر در شرکت \*\*نقش نورآروند\*\*، استفاده از ضایعات صنعتی در حوزه معماری به‌منظور تولید آجرها و تلفیق آن با اصول معماری سبز و معماری بوم‌آورد بوده است. در این طرح چرخه بازآفرینی مصالح در بستر معماری، همراه با به‌کارگیری تکنیک‌های نوین، به‌صورت همزمان دنبال شد.

در گام نخست، \*\*فرمولاسیون مواد اولیه\*\* طراحی شد. بدین منظور، ضایعات معدنی با نسبت‌ها و مقادیر مشخص با یکدیگر ترکیب گردیدند. حدود \*\*۵۰ درصد ترکیب آجرها از ضایعات معدن (اصطلاحاً گل‌سنگ)\*\* تأمین شد. سایر ترکیبات به‌منظور دستیابی به ویژگی‌های استاندارد شامل \*\*مقاومت خمشی، مقاومت فشاری و میزان جذب رطوبت\*\* انتخاب شدند.

پس از آماده‌سازی، ترکیب به‌دست‌آمده در \*\*قالب‌های مخصوص\*\* ریخته شد و فرآیند \*\*عمل‌آوری\*\* انجام گرفت.

این پژوهش اجرا شده و بخشی از فرآیند تحقیق و توسعه (R&D) نیز بر روی ضایعات حاصل از فعالیت‌های متمرکز بوده است.

| شماره | مواد و مشخصات ضایعات (درصد)                                             | روش تولید                                                                                                                    | اندازه آجر (اصلی/متر) | چگالی ظاهری (کلوگرم بر متر مکعب) | مقاومت فشاری و خمشی | جذب آب (درصد)                                            | منبع                         |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------|
| ۱     | الاف چوب، پوسته برنج و پوست سنگ آهک (۲۵٪)                               | قالب‌گیری و آبی‌دهی به مدت ۱ دقیقه، پرس و سپس در دمای ۵۰ تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد و ۵ تا ۵.۵ درصد رطوبت به مدت ۲۸ روز           | ۱۵۰×۱۵۰×۵۰            | ۱۲۰۰                             | ۱۵۰۰                | ۹.۲۶ تا ۹.۳۶ درصد                                        | Torkaman et al., ۲۰۱۹        |
| ۲     | خاکستر موچین، پوست لنده و خاکستر چوب‌پا (۱۰۰٪)                          | فشرده‌شده به مدت ۲۹ ساعت در دمای ۵۰ تا ۵۰.۵ درجه سانتی‌گراد و ۵ تا ۵.۵ درصد رطوبت خشک شد و سپس به مدت ۲۸ روز به عمل آمد.     | ۱۰۰×۱۰۰×۵۰            | ۱۲۰۰                             | ۱۵۰۰                | جذب آب: ۱۰٪<br>تلفاتی باقیه است                          | Chah et al., 2017            |
| ۳     | مسکله‌های بارشگاهی بتن، بارشگاهی و بارشگاهی مخلوط (۵۰-۹۰٪)              | توسط پرسگر کم‌سر به سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه پرس می‌شود، تحت فشار آب به مدت ۱ ساعت قرار گرفته و سپس در محیطه آب به عمل می‌آید. | ۲۰۰×۲۰۰×۱۵۰           | ۱۵۹۱ و ۱۵۹۲                      | ۲۰۰۰                | از ۱۰۳۹.۵ تا ۱۰۴۲.۵ درصد                                 | Martín-Morales et al., ۲۰۱۹  |
| ۴     | خاکستر زیست‌توده (۱۰۰٪) و قهوه (۵۰-۱۰۰٪)                                | قالب‌گیری و فشرده‌شده به مدت ۱ روز هوا خشک شده به مدت ۲۸ روز در دمای اتاق                                                    | ۱۵۰×۱۵۰×۵۰            | ۱۴۴۰                             | ۱۴۴۹                | جذب آب از ۱۹.۵ تا ۲۱.۵ درصد و تخلخل از ۲۹.۴ تا ۳۷.۹ درصد | Elliche-Oquendo et al., ۲۰۱۹ |
| ۵     | گود و قمار آجر، سیمان ۴۰۰ و ۱۵۰-کلوگرم بر متر مکعب، سیمان پرتلند معمولی | هوا خشک کردن به مدت ۱ روز و سپس اسپری آب دو بار در روز به مدت ۲۸ روز                                                         | ۲۰۰×۲۰۰×۱۵۰           | ۱۴۴۰                             | ۱۴۴۰                | جذب آب از ۱.۴ درصد تا ۱.۶ درصد                           | El-Ammar et al., ۲۰۱۹        |
| ۶     | پوست آجر (۵۰٪) و دانه‌های برنج (۳۰٪)                                    | خشک شده با کیت‌های خیس پوشیده می‌شود و سپس به مدت ۲۸ روز آب شده می‌شود.                                                      | ۲۰۰×۲۰۰×۱۵۰           | ۱۴۵۰                             | ۱۴۵۰                | از ۹.۴ تا ۹.۴۵ درصد                                      | Kumar et al., 2017           |
| ۷     | خاکستر دیگ (۲۰٪) و پهل (۲۰٪)                                            | در آب در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۸ روز به عمل آمده                                                                   | ۲۰۰×۲۰۰×۱۵۰           | ۱۴۴۰                             | ۱۴۴۰                | از ۱.۱ تا ۱.۵ درصد                                       | Prince et al., 2018          |

ادامه جدول (۱). آجرهای پخته نشده همراه با مواد زائد

| شماره | مواد و مشخصات ضایعات (درصد)                        | روش تولید                                                                                       | اندازه آجر (اصلی/متر) | چگالی ظاهری (کلوگرم بر متر مکعب) | مقاومت فشاری و خمشی | جذب آب (درصد)                                                                              | منبع                       |
|-------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| ۸     | پوست آهسته و درمدا و روغن لقال (۲۵-۴۰٪)            | قالب‌گیری شده، چوب روز هوا خشک شده و سپس در مدت ۲۸ روز به عمل آمده                              | ۱۰۰×۱۰۰×۵۰            | ۱۴۳۰                             | ۱۴۳۹                | جذب آب: ۱۱.۸۵ درصد و تخلخل از ۱۹ تا ۲۷ درصد                                                | Raut et al., ۲۰۱۹          |
| ۹     | سیمان آبی (۳۰-۵۰٪) گود و قمار (۳۰-۴۰٪) و آهک (۲۰٪) | فشرده‌شده با کوبی پوشانده شده و به مدت ۲۸ روز در آب اسپری شده                                   | ۷۵×۷۵×۲۲۰             | ۱۲۰۰                             | ۱۲۰۰                | مقاومت فشاری: ۳.۷۱ تا ۳.۷۲ مگاپاسکال و خمشی بین ۱.۲۱ تا ۱.۲۲ مگاپاسکال                     | Nagari et al., 2007        |
| ۱۰    | خاک (۲۰ درصد)، خاکستر چوب (۱۰-۲۰٪) و گل آهک (۵٪)   | در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۸ روز به عمل شد                                               | ۲۰۰×۲۰۰×۱۴۰           | ۱۴۴۰                             | ۱۴۴۰                | از ۰.۳۳ تا ۰.۳۵ درصد                                                                       | Madrid et al., 2007        |
| ۱۱    | خرد لاندینگ (۱۰-۴۰٪) (درصد)                        | فشار ۳۸ کلو پاسکال به مدت ۵ دقیقه، و سپس به هوا در در دمای اتاق به مدت ۲۸ روز قرار گرفته خشک شد | ۲۰۰×۲۰۰×۱۴۰           | ۱۴۴۰                             | ۱۴۴۰                | جذب آب: ۱۹.۴۴ تا ۲۵.۴۵ درصد                                                                | Sodipo-Ortega et al., 2006 |
| ۱۲    | خاکستر (۵۵٪) و پوست لنده (۵۰٪)                     | با فشار ۱۹ مگاپاسکال، به مدت ۲ روز خشک شده، به مدت ۲ روز آب‌پاشی شد و سپس به مدت ۲ روز خشک شد   | ۸۵×۸۵×۲۲۰             | ۱۱۷۰                             | ۱۴۴۰                | مقاومت بین: ۳.۱۹ تا ۳.۳۹ مگاپاسکال                                                         | Sakhar et al., 2006        |
| ۱۳    | خاک (۱۰-۲۰٪) (درصد)                                | ۴۰٪ خاکستر باکی و ۱۵٪ توده سیمانی به‌جای مواد سیمانی اضافه شده است                              | -                     | -                                | -                   | مقاومت فشاری: ۱۰-۲۲ مگاپاسکال و خمشی از ۰.۰۰۴ تا ۰.۰۰۶ مگاپاسکال تا ۰.۰۰۲۱۷۸ مگاپاسکال بود | Mohammed et al., 2016      |
| ۱۴    | سرباره فولاد و سرباره آجر (۵۰٪)                    | قالب‌گیری و پرس در ۱۴۵ مگاپاسکال و ۲۴ ساعت                                                      | ۲۲۲-۲۲۲               | ۱۴۴۰                             | ۱۴۴۰                | جذب آب از ۵.۵ تا ۶.۷ درصد و خمشی ۰.۵ تا ۰.۹ درصد                                           | Mahoutian et al., 2006     |

۱۴                      سرباره فولاد و سرباره کوره بلند (۱۰۰٪)                      قالب گیری و پرس در ۱۲/۵ مگاپاسکال، و کربناتسیون برای ۲ یا ۲۴ ساعت                      متغیر                      ۵   ۲   ۲   ۲- ۲۵۴۵                      محدوده مقاومت فشاری از ۴/۱ تا ۳۵/۹ و خمشی ۰/۵ – ۸/۹ مگاپاسکال                      جذب آب از ۵/۵ درصد به ۶/۷ درصد افزایش یافته است.

Mahoutian et al, ۲۰۱۶

### ۳- نتایج و بحث

آجرهای تولید شده در طرح حاضر در ابعاد ۲۴۰×۶۵×۲۰ تولید می‌شود. شکل ۱ تصویری از آجر تولید شده از ضایعات گل سنگ را نشان می‌دهد. این آجر مشکلات آجرهای موجود در بازار شامل سفیدک، شوره و جلبک زدن را ندارد. جذب آب آجر تولید شده پایین است بنابراین آب به میزان کمی در آن نفوذ کرده و این امر باعث جلوگیری از ریش جلبک، شوره و سفیدک روی سطح این محصول و در نهایت باعث طول عمر بالای این محصول می‌شود. همچنین با توجه به میزان جذب رطوبت و مقاومت فشاری این محصول قابلیت استفاده در شرایط آب و هوای مختلف را دارد. حسینی و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیق خود بیان کردند تفاوت ناچیزی بین تخلخل ظاهری، جذب آب و وزن مخصوص آجرهای حاوی ضایعات ریخته‌گری در مقایسه با آجرهای تجاری تولیدی آن‌ها وجود داشت. حداقل میانگین مقاومت فشاری ۳/۳ مگاپاسکال و حداکثر میانگین جذب آب ۱۲/۶ درصد برای آجرهای حاوی ۵۰ درصد ضایعات شن و ماسه ریختگری، هنگام پخت در دمای ۹۰۰ درجه

سانتی‌گراد به دست آمد. افزودن ضایعات باعث کاهش چگالی ظاهری آجرها شده که باعث کاهش مقاومت فشاری نیز شده است. از دیگر مزایای آجرهای تولیدی در طرح حاضر وزن پایین نسبت به سایر آجرها، رنگ پذیر و قابل شستشو بودن، مقاومت بالا و کاهش هزینه‌های تمام شده است. در محصول حاصل علاوه بر پایداری زیست محیطی و خساراتی که ضایعات این کارخانه‌ها به محیط وارد می‌نماید، بحث اقتصادی نیز مورد توجه قرار گرفته شده است. زیرا هزینه آجر تولید شده به دلیل کاهش در مصرف آب، کاهش هزینه حمل و نقل و انرژی در مجموع بسیار کمتر از آجر معمول است. Siva Prasad et al (۲۰۱۵). در تحقیق خود به این نتیجه رسیدن که آجر حاصل از کاغذهای باطله برای ساخت و ساز ساختمان، هزینه کل را از ۲۰ درصد به ۲۵ درصد کاهش می‌دهد. Mamta Rajgor et al (۲۰۱۳) نیز بیان کردند که استفاده از ضایعات سنگ در تهیه آجر می‌تواند مشکل دفع زباله‌ها را حل، هزینه تولید را کاهش و باعث تولید آجر سبز سازگار با محیط زیست برای ساخت و ساز گردد.

شکل (۱). تصویر آجر تولید شده



#### ۴- نتیجه‌گیری

مطالعات پیشین نشان داده‌اند که انواع مختلف ضایعات صنعتی و ساختمانی می‌توانند به‌عنوان مواد اولیه در تولید آجر بازیافت شوند. آزمایش‌های متعدد بر روی آجرهای تولیدشده از ضایعات حاکی از آن است که \*\*خواص فیزیکی و مکانیکی آجر\*\* تحت تأثیر مثبت مواد اضافه‌شده از ضایعات قرار می‌گیرد.

استفاده از ضایعات در تولید آجر علاوه بر کاهش اثرات زیست‌محیطی، به حفظ منابع طبیعی، صرفه‌جویی در زمین و کاهش هزینه‌های استخراج و جابجایی مواد اولیه\*\* کمک می‌کند. به‌ویژه تولید آجرهای نپخته از مواد زائد، زمانی مقرون به صرفه‌تر خواهد بود که \*\*مصرف انرژی گسترده در پخت آجرهای سنتی\*\* و انتشار گازهای آلاینده مانند CO، CO، NH و در برخی موارد کلر و فلوئور در نظر گرفته شود. در آجرهای نپخته، انتشار این آلاینده‌ها به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌یابد که به پایداری زیست‌محیطی کمک می‌کند.



Prasad, G. S., Reddy, P. P., Swathi, M., Kumar, P. K., Praveenraja, T., & Naveen, M. (۲۰۱۵). Study and Behaviour of some Properties of Paper Crete Brick with Modular Brick. International Journal of Engineering Research, ۳(۲), ۲۶۷-۲۷۵.

Stone sludge: Economical solution for manufacturing of bricks. International journal of innovative technology and exploring engineering, ۲(۵), ۱۶-۲۰.

Development of thermally efficient fibre-based eco-friendly brick reusing locally available waste materials. Construction and Building Materials, ۱۳۳, ۲۷۵-۲۸۴.

The Biggest Waste Producers Worldwide: Sensoneo, ۲۰۲۰. Global Waste Index [WWW Document].

Development of bricks from waste material: A review paper. Australian Journal of basic and applied sciences, ۷(۸), ۸۱۲-۸۱۸.

Simao, L., Souza, M. T., Ribeiro, M. J., Montedo, O. R. K., Hotza, D., Novais, R. M., & Raupp-Pereira, F. (۲۰۲۱). Assessment of the recycling potential of stone processing plant wastes based on physicochemical features and market opportunities. Journal of Cleaner Production, ۱۲۸, ۶۷۸.

Use of bio-briquette ash for the development of bricks. Journal of cleaner production, ۱۱۲, ۶۸۴-۶۸۹.

Sánchez-Martínez, J., Felipe Sesé, M. Á., & Infantes-Molina, A. (۲۰۱۷). Silica-Calcareous Non Fired Bricks Made of Biomass Ash and Dust. Filter from Gases Purification.

Sodupe-Ortega, E., Fraile-Garcia, E., Ferreiro-Cabello, J., & Sanz-Garcia, A. (۲۰۱۶). Evaluation of crumb rubber as aggregate for automated manufacturing of rubberized long hollow blocks and bricks. Construction and Building materials, ۱۰۶, ۳۰۵-۳۱۶.

۲۰۵۰ Percent by ۷۰ Global Waste to Grow by unless Urgent, The World Bank (۲۰۱۸).

Action Is Taken: World Bank Report [WWW Document]. Sept ۲۰.

Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks. Construction and building materials, ۵۰, ۴۳۲-۴۳۶.

[Current World Population [WWW Document], Worldometer, ۲۰۲۰].

In-plant production of bricks containing waste foundry sand—a study with Belgaum foundry industry. Case Stud Constr Mater, ۹, ۱۷۰-۱۷۰e.

Strength and durability performance of masonry bricks produced with crushed glass and melted PET plastics. Case Studies in Construction Materials, ۱۴, ۵۴۲e.

Experimental studies on cement stabilized masonry blocks prepared from brick powder, fine recycled concrete aggregate and pozzolanic materials. Journal of Building Engineering, ۱۰, ۸۸-۸۸.

The effects of products incorporated in low-strength concrete for concrete masonry units. Construction and Building Materials, ۱۱۷, ۱۵۳-۱۲۸.

Production of cement-free construction blocks from industry wastes. Journal of cleaner production, ۱۳۷, ۱۳۳۹-۱۳۴۶.

Martín-Morales, M., Cuenca-Moyano, G. M., Valverde-Espinosa, I., & Valverde-Palacios, I. (۲۰۱۷). Effect of recycled aggregate on physical-mechanical properties and durability of vibro-compacted dry-mixed concrete hollow blocks. Construction and Building Materials, ۱۴۵, ۳۰۳-۳۱۰.

August). Properties and structural behavior of sawdust interlocking bricks. In Proceedings of ۲rd International Conference on Civil, Offshore and Environmental the Engineering, Kuala Lumpur-Malaysia (pp ۴۳۷-۴۴۲).

Naganathan, S., Mohamed, A. Y. O., & Mustapha, K. N. (۲۰۱۵). Performance of bricks made using fly ash and bottom ash. Construction and Building Materials, ۹۶, ۵۷۶-۵۸۰.

Compressed stabilized earth blocks using iron mine spoil waste-An explorative study. Procedia Engineering, ۱۲۰۳-۱۲۱۲.

Use of waste marble and granite dust in structural applications: A review. Journal of Building Engineering, ۴۶, ۳۷۴۲-۱۰.

Poinot, T., Laracy, M. E., Aponte, C., Jennings, H. M., Ochsendorf, J. A., & Olivetti, E. A. (۲۰۱۸). Beneficial use of boiler ash in alkali-activated bricks. Resources, Conservation and Recycling, ۱۲۸, ۱-۱۰.

پژوهش‌های آینده باید به توسعه آجرهایی با \*\*مصرف انرژی پایین و انتشار آلاینده حداقلی\*\* متمرکز کنند تا هم از منظر اقتصادی و هم از نظر زیست‌محیطی، گزینه‌ای پایدار و کارآمد برای صنعت ساختمان فراهم شود.

##### ۵- منابع مورد استفاده

اکرمی، غلامرضا، و علی پور، لیلا. (۱۳۹۵). نقش مصالح بومی در معماری پایدار از دیدگاه زیست محیطی. مسکن و محیط روستا، ۳۵(۱۵۶)، ۲۹-۴۸.

سیهوند، زهرا و بارانی بیرانوند، کیانوش. (۱۳۹۷). تولید سنگ مصنوعی از ضایعات سنگ تزئینی. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر. ۵۰(۳)، ۴۶۰-۴۵۳.

جعفرآذری، اکبر، ارومیه‌ای، علی، و نیکودل، محمدرضا. (۱۳۹۶). تولید سنگ مصنوعی از دیدگاه زیست محیطی. سی و ششمین گردهمایی و سی و سومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین.

For Sustainability and a Green Environment: Artificial Marble-Granite as a Value-Added Product from Marble and Granite Waste Residue. Journal of Al-Azhar University Engineering Sector, ۱۹(۷۲), ۲۴۱-۲۵۳.

Bagherpor, Z., Nazari, S., Bagherzadeh, P., & Fazlavi, A. (۲۰۱۹). Description and effective parameters determination of the production process of fine-grained artificial stone from waste silica. SN Applied Sciences, ۱, ۱-۱۰.

Use of fly ash in production of light-weight building bricks. Construction and Building Materials, ۹۴, ۵۲۱-۵۲۷.

The long term engineering properties of cementless building block work containing large volume of wood ash and coal fly ash. Construction and building materials, ۵۲۲-۵۳۶.

Recycling of high volumes of cement kiln dust in bricks industry. Journal of cleaner production, ۱۴۳, ۵۰۶-۵۱۵.

Gomes, M. L. P. M., Carvalho, E. A. S., Barreto, G. N. S., Rodriguez, Development of sustainable artificial stone using granite waste and biodegradable polyurethane from castor oil. Sustainability, ۱۴(۱۱), ۶۳۸۰.

## طراحی و ساخت سیستم هوشمند انتقال نور

## خورشید تکنولایت با ردیابی دومحوره خورشید

## برای افزایش روشنایی طبیعی، کاهش

چکیده

افزایش مصرف انرژی در بخش ساختمان و اثرات منفی ناشی از وابستگی به نور مصنوعی بر سلامت ساکنان، ضرورت بهره‌گیری نوین از نور

خورشید را برجسته کرده است. در این پژوهش، سامانه‌ای فعال برای انتقال نور خورشید طراحی و ساخته شد که از مکانیزم ردیابی دومحوره

و الگوریتم نجومی با دقت ۰,۱۶ درجه بهره می‌برد. این سیستم با توان مصرفی تنها ۱۰ وات و تأمین انرژی خودکفا از طریق پنل خورشیدی ۲۰

وات، در محفظه‌ای شیشه‌ای ایزوله و مقاوم در برابر عوامل محیطی قرار گرفت. آزمایش‌های میدانی در یک ساختمان هفت طبقه در شهر کربلا

نشان داد که میانگین روشنایی طبیعی در اتاق‌ها تا ۴۰۰ درصد افزایش یافت و با استفاده از رفلکتور، شدت روشنایی به ۲۲۰۰ لوکس نیز رسید.

این سیستم با حذف ۵ چراغ ۶۰ وات، صرفه‌جویی سالانه حدود ۱۰۹۵ کیلووات‌ساعت را به همراه داشت. نتایج نشان می‌دهد که این فناوری،

علاوه بر کاهش چشمگیر مصرف انرژی، با تأمین نور طبیعی پایدار، می‌تواند اثرات مثبتی بر تنظیم ریتم شبانه‌روزی، کیفیت خواب و بهبود خلق

و خوی ساکنان داشته باشد.

### مقدمه

مصرف انرژی در بخش ساختمان یکی از چالش‌های اساسی در مسیر تحقق اهداف توسعه پایدار

به‌شمار می‌آید. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که این بخش حدود ۴۰٪ از کل مصرف انرژی

جهانی و نزدیک به ۲۴٪ از انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص داده است [۱]. در این

میان، روشنایی مصنوعی به‌تنهایی سهمی بین ۲۰ تا ۴۵٪ از مصرف انرژی ساختمان‌ها را شامل

می‌شود [۲]. با توجه به رشد شهرنشینی و افزایش زمان حضور افراد در فضاهای بسته، پیش‌بینی

می‌شود این سهم در سال‌های آینده همچنان روندی صعودی داشته باشد.

بهره‌گیری مؤثر از نور روز به‌عنوان منبعی پاک، رایگان و تجدیدپذیر، نه‌تنها می‌تواند مصرف

انرژی برای روشنایی را تا ۶۰٪ کاهش دهد [۳]، بلکه مزایای قابل‌توجهی برای سلامت و رفاه

ساکنان به‌همراه دارد. پژوهش‌های علمی متعددی نشان داده‌اند که نور طبیعی با طیف کامل،

نقش مهمی در تنظیم ریتم شبانه‌روزی بدن ایفا می‌کند و بر ترشح هورمون‌هایی مانند ملاتونین

و سروتونین تأثیرگذار است [۴، ۵].

الجاروسزی و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی جامع نشان دادند که قرارگیری در معرض

نور طبیعی با شدت بیش از ۲۵۰۰ لوکس، به‌ویژه در ساعات ابتدایی روز، می‌تواند

ترشح ملاتونین را تنظیم کرده و موجب افزایش هوشیاری، بهبود خلق‌وخو و ارتقاء

عملکرد شناختی شود [۶]. همچنین مطالعه اخیر توسط کیم و همکاران (۲۰۲۴)

رابطه معناداری بین دسترسی به نور طبیعی در فضاهای مسکونی و کاهش میزان

افسردگی در دوران همه‌گیری کووید-۱۹ را نشان داده است [۷].

سیستم‌های انتقال نور روز به دو دسته اصلی پسیو (غیرفعال) و اکتیو (فعال)

تقسیم می‌شوند. روش‌های پسیو مانند پنجره‌ها، نورگیرهای سقفی و تونل‌های

نوری، به‌دلیل سادگی و هزینه کم، متداول‌ترین راهکارهای بهره‌گیری از نور طبیعی

هستند. با این حال، این سیستم‌ها عمدتاً تا عمق حدود ۴ متر از پوسته خارجی

ساختمان مؤثر بوده و در فضاهای عمیق‌تر یا ساختمان‌های فشرده شهری، کارایی

آن‌ها به‌شدت کاهش می‌یابد [۸].

در مقابل، سیستم‌های اکتیو با ردیابی مستمر خورشید و هدایت پرتوهای آن،

می‌توانند روشنایی یکنواخت و با شدت بالا را به عمق ساختمان منتقل کنند.

مطالعه گسترده‌ای توسط ژانگ و همکاران (۲۰۲۳) نشان داده است که این سامانه‌ها

می‌توانند تا ۸۲٪ در مصرف انرژی روشنایی صرفه‌جویی کنند [۹]. هلیواستات‌ها نوع

پیشرفته‌ای از سیستم‌های اکتیو هستند که با استفاده از آینه‌های متحرک دومحوره،

امکان انتقال نور تا بیش از ۷۰ متر و ایجاد ۲۰-۸۰ کیلولوکس، روشنایی روز را فراهم

می‌سازند [۱۰].

لی و همکاران (۲۰۲۳) نشان داده‌اند که به‌کارگیری الگوریتم‌های پیشرفته هوش

مصنوعی می‌تواند دقت ردیابی خورشید در سیستم‌های هلیواستات را به‌طور

قابل‌توجهی افزایش دهد [۱۱]. همچنین، پیشرفت‌های اخیر در فناوری سنسورها و

سامانه‌های کنترلی، زمینه‌ساز توسعه هلیواستات‌های هوشمند با مصرف انرژی کمتر

و قابلیت اطمینان بالاتر شده است [۱۲].

با این حال، علی‌رغم مزایای چشمگیر این سامانه‌ها، چالش‌هایی همچون نیاز به

نگهداری مستمر و پیچیده، آسیب‌پذیری در برابر عوامل محیطی (گردوغبار، باران و

باد)، مصرف انرژی قابل‌توجه و دشواری نصب و راه‌اندازی، همچنان مانع گسترش

فراگیر آن‌ها به شمار می‌رود [۱۳].

مطالعه اخیر لیو و همکاران (۲۰۲۴) نشان می‌دهد که طراحی محفظه‌های محافظ

مقاوم و به‌کارگیری الگوریتم‌های ردیابی کم‌مصرف می‌تواند بسیاری از چالش‌های

عملیاتی سامانه‌های هلیواستات را به شکل قابل‌توجهی کاهش دهد [۱۴].

در همین راستا، در این پژوهش سامانه‌ای کم‌مصرف (۱۰ وات) و خودکفا با بهره‌گیری

از الگوریتم نجومی و دقت ۰,۱۶ درجه طراحی و ساخته شده است. در این سامانه،

تمامی اجزای مکانیکی و اپتیکی درون محفظه‌ای شیشه‌ای ایزوله قرار گرفته‌اند تا

دوام و پایداری عملکرد در شرایط محیطی سخت تضمین شود. این طراحی با هدف

رفع محدودیت‌های موجود، امکان انتقال مؤثر نور طبیعی به عمق ساختمان‌های

مسکونی را با حداقل نیاز به نگهداری و مصرف انرژی فراهم می‌کند.

اهداف اصلی این پژوهش شامل طراحی، ساخت و ارزیابی عملکرد سیستم هوشمند

ردیابی دومحوره خورشید با تمرکز بر سه معیار کلیدی زیر است:

۱. افزایش شدت و کیفیت روشنایی طبیعی در عمق ساختمان‌های مسکونی

۲. کاهش مصرف انرژی الکتریکی بخش روشنایی

۳. ارتقای شاخص‌های سلامت و رفاه ساکنان از طریق بهینه‌سازی دسترسی به نور

طبیعی

مواد و روش‌ها

۱,۱. طراحی و ساختار کلی سیستم

سیستم طراحی‌شده از چهار بخش اصلی تشکیل شده است: مکانیزم ردیابی

دومحوره، سیستم کنترل و پردازش، آینه انعکاس‌دهنده و محفظه محافظ. شکل ۱

نمای اینفوگرافی و اجزای اصلی سیستم را نشان می‌دهد.

شکل ۱: اینفوگرافی اجزا سیستم هوشمند انتقال نور خورشید



|                                                                                                                          |                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| ۱,۱,۱                                                                                                                    | مکانیزم آینه دومحوره |
| <p>مکانیزم ردیابی از دو محور حرکتی تشکیل شده است:</p>                                                                    |                      |
| <p>محور اول (آزیموت): با استفاده از تسمه و پولی تایمینگ با نسبت کاهنده ۳:۱، حرکت افقی با دقت ۰٫۰۹ درجه فراهم می‌شود.</p> |                      |

|                                                                                                                                |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| محور دوم (ارتفاع): به کمک پیچ لید اسکرو با گام ۱ میلی‌متر و نسبت انتقال ۱:۱۰، حرکت عمودی با همان دقت ۰٫۰۹ درجه امکان‌پذیر است. |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| انتخاب نسبت‌های کاهنده ۳:۱ برای محور آزیموت و ۱۰:۱ برای محور ارتفاع، با هدف ایجاد تعادل میان گشتاور، سرعت حرکت و دقت موقعیت‌یابی انجام شده است. موتورهای گیربکس‌دار ۱۲ ولت DC با دورهای پایین (۳ rpm برای محور آزیموت و ۱۰ rpm برای محور ارتفاع) به همراه انکودرهای ۱۰۲۴ پالس، امکان کنترل دقیق موقعیت و دریافت بازخورد مستمر را فراهم می‌کنند. |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| ۱,۱,۲                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | محفظه شیشه‌ای ایزوله |
| <p>محفظه محافظ از شیشه سکوریت ۶ میلی‌متری ساخته شده و تمامی درزها با استفاده از چسب سیلیکون UV مقاوم کاملاً آب‌بندی شده‌اند. این طراحی، حفاظت کامل در برابر گردوغبار، باد، باران و سایر عوامل محیطی را تضمین می‌کند. محفظه دارای سیستم خنک‌کننده پسیو با استفاده از فن‌های آلومینیومی برای انتقال حرارت بوده که حداکثر دمای داخلی را حتی در شرایط تابش شدید خورشید، زیر ۶۰ درجه سانتی‌گراد نگه می‌دارد.</p> |                      |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| ۱,۱,۳                                                                                                                                                                                                                                                                               | آینه انعکاس‌دهنده |
| <p>آینه استفاده‌شده در سیستم، تخت با ابعاد حدودی ۱۰۵×۱۰۵ سانتی‌متر و با پوشش بازتابی نقره‌ای با ضریب انعکاس بالای ۹۰٪ است. با توجه به محاسبات انجام‌شده و موقعیت جغرافیایی محل نصب، این ابعاد برای تأمین روشنایی کافی در عمق ساختمان هفت طبقه مورد آزمایش، بهینه تشخیص داده شد.</p> |                   |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| ۱,۲                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | سیستم کنترل و الگوریتم ردیابی |
| <p>الگوریتم ردیابی نجومی در محیط C++ پیاده‌سازی شده و بر روی میکروکنترلر STM۳۲F۴ با فرکانس کاری ۱۶۸MHz اجرا می‌شود. این الگوریتم با استفاده از معادلات استاندارد NOAA برای محاسبه موقعیت دقیق خورشید در هر لحظه از روز با توجه به تاریخ، زمان و موقعیت جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) استفاده می‌کند. دقت محاسبه موقعیت خورشید در این سیستم ۰٫۱۶ درجه است که برای کاربردهای روشنایی، مطلوب ارزیابی می‌شود. الگوریتم ردیابی نجومی انتخاب‌شده، بر خلاف سیستم‌های مبتنی بر سنسور نوری، به شرایط آب و هوایی وابسته نبوده و حتی در روزهای نیمه‌ابری نیز با دقت بالا عمل می‌کند. همچنین، بهینه‌سازی‌های انجام‌شده در کد، امکان اجرای آن را روی میکروکنترلر کم‌مصرف فراهم می‌آورد.</p> |                               |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| ۱,۲,۲                                                                                                                                                                                                                                                                                      | سیستم کنترل موقعیت |
| <p>سیستم کنترل موقعیت از الگوریتم PID با حلقه بسته استفاده می‌کند که با دریافت بازخورد از انکودرهای متصل به محورها، خطای موقعیت را محاسبه و تصحیح می‌نماید. فرکانس به‌روزرسانی موقعیت خورشید هر ۳۰ ثانیه یک‌بار انجام می‌شود که تعادل مناسبی بین دقت ردیابی و مصرف انرژی ایجاد می‌کند.</p> |                    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| ۱,۲,۳                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | منبع تغذیه و مصرف انرژی |
| <p>سیستم توسط یک پنل خورشیدی ۲۰ وات با ولتاژ خروجی ۱۸ ولت تغذیه می‌شود. انرژی تولیدی در یک باتری ۹ آمپر ۱۲ ولت ذخیره می‌شود که عملکرد سیستم را حتی در روزهای ابری یا شرایط نوری نامساعد تضمین می‌کند. مصرف انرژی کل سیستم در حالت عملیاتی عادی حدود ۱۰ وات است که عمدتاً شامل مصرف موتورهای DC (۳×۲ وات)، مدار کنترل (۲ وات) و سنسورها (۲ وات) می‌شود.</p> |                         |

|              |                                 |
|--------------|---------------------------------|
| ۱,۳          | آزمایش میدانی و روش اندازه‌گیری |
| <p>۱,۳,۱</p> | موقعیت و مشخصات ساختمان آزمایشی |

|                                                                                                                                                                                                                                                               |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| سیستم در ضلع شمالی یک ساختمان مسکونی هفت‌طبقه در شهر کربلا، عراق (عرض جغرافیایی ۳۲٫۶° شمالی، طول جغرافیایی ۴۴٫۰° شرقی) نصب شد. این ساختمان دارای داکت نورگیر مرکزی با ابعاد ۱٫۵×۳ متر بود که نور را به سه پنجره در هر طبقه (شرقی، غربی و راهرو) هدایت می‌کرد. |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

|       |                         |
|-------|-------------------------|
| ۱,۳,۲ | روش اندازه‌گیری روشنایی |
|-------|-------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| اندازه‌گیری‌های شدت روشنایی با استفاده از لوکس‌متر دیجیتال مدل UNI-T UT۳۸۳ با دقت ±۵٪ انجام شد. اندازه‌گیری‌ها در سه نقطه اصلی هر طبقه (اتاق شرقی، اتاق غربی و راهرو) و در فواصل زمانی یک ساعته از ساعت ۸ صبح تا ۱۶ بعدازظهر صورت گرفت. در هر نقطه، پنج اندازه‌گیری در ارتفاع ۸۰ سانتی‌متری از کف (ارتفاع استاندارد سطح کار) انجام شد و میانگین آن‌ها ثبت گردید. |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| آزمایش‌ها در سه حالت مختلف انجام شد:  |  |
| ۱. بدون سیستم انتقال نور (وضعیت پایه) |  |

|                                                                          |  |
|--------------------------------------------------------------------------|--|
| ۲. با سیستم انتقال نور فعال                                              |  |
| ۳. با سیستم انتقال نور فعال به همراه رفلکتور آینه‌ای شیشه‌ای در طبقه اول |  |

|                                                                                   |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--|
| اندازه‌گیری‌ها در تاریخ ۱۵ اسفند (۵ مارس) در شرایط آسمان صاف و بدون ابر انجام شد. |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--|

|                                                                                                                        |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| در شکل شماره ۲ تصاویر قبل و بعد از نصب سیستم انتقال نور خورشید را در طبقه اول در اتاق شرقی و اتاق غربی مشاهده می‌کنید. |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

|                     |  |
|---------------------|--|
| Before installation |  |
| <span></span>       |  |

|                    |  |
|--------------------|--|
| After installation |  |
| <span></span>      |  |

|       |  |
|-------|--|
| نتایج |  |
|-------|--|

|     |                      |
|-----|----------------------|
| ۲,۱ | افزایش روشنایی طبیعی |
|-----|----------------------|

|                                                                                                                                                                                       |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی از ساعت ۸ تا ۱۶ در طبقه اول و دوم در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است. در همه فضاهای مورد بررسی، افزایش قابل‌توجهی در شدت روشنایی با استفاده از سیستم مشاهده شد. |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

|                                                                              |  |
|------------------------------------------------------------------------------|--|
| جدول ۱: اندازه گیری شدت روشنایی (لوکس) در طبقه اول از ۸ صبح الی۱۶ بعد از ظهر |  |
|------------------------------------------------------------------------------|--|

|                                                                                       |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--|
| شکل ۲: تصاویر اتاق های شرقی و غربی طبقه اول در زمان روشن شدن دستگاه انتقال نور خورشید |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--|

|                            |  |
|----------------------------|--|
| روش محاسبه صرفه‌جویی انرژی |  |
|----------------------------|--|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| برای محاسبه میزان صرفه‌جویی انرژی، ابتدا تعداد چراغ‌های مورد نیاز برای تأمین روشنایی استاندارد (حداقل ۳۰۰ لوکس برای فضاهای مسکونی طبق استاندارد CIE ) در حالت بدون سیستم تعیین شد. سپس، با توجه به میزان روشنایی تأمین‌شده توسط سیستم، تعداد چراغ‌های قابل حذف محاسبه و مصرف انرژی روشنایی مصنوعی در هر دو حالت مقایسه گردید. در این مطالعه، برای محاسبه میزان روشنایی مورد نیاز |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| در فضای هر پنجره، ابتدا مساحت اتاق ها (۱۲ مترمربع) و میزان روشنایی استاندارد برای فضاهای مسکونی (۳۰۰–۵۰۰ لوکس) در نظر گرفته شد. سپس، برای تأمین این میزان روشنایی، تعداد لامپ‌های ۶۰ وات محاسبه گردید. بر اساس اطلاعات موجود، هر لامپ ۶۰ وات قادر به تأمین حدود ۷۰۰ لوکس روشنایی است. با تقسیم میزان روشنایی مورد نیاز (۳۰۰ تا ۵۰۰ لوکس) بر شدت نور تولیدی هر لامپ، تعداد لامپ‌ها برای هر پنجره به دست آمد. در نهایت، برای ۹ پنجره در سه طبقه پایین، |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

|                                                                                                                                                                                        |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| تعداد کل لامپ‌ها به حدود ۵ لامپ ۶۰ وات رسید. مصرف انرژی سالانه هر لامپ نیز با فرض کارکرد ۱۰ ساعت در روز محاسبه شده و برای ۵ لامپ، مصرف کل انرژی سالانه به ۱۰۹۵ کیلووات‌ساعت برآورد شد. |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

|   |       |
|---|-------|
| ۲ | نتایج |
|---|-------|

|     |                      |
|-----|----------------------|
| ۲,۱ | افزایش روشنایی طبیعی |
|-----|----------------------|

|                                                                                                                                                                                       |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی از ساعت ۸ تا ۱۶ در طبقه اول و دوم در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است. در همه فضاهای مورد بررسی، افزایش قابل‌توجهی در شدت روشنایی با استفاده از سیستم مشاهده شد. |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

|                                                                              |  |
|------------------------------------------------------------------------------|--|
| جدول ۱: اندازه گیری شدت روشنایی (لوکس) در طبقه اول از ۸ صبح الی۱۶ بعد از ظهر |  |
|------------------------------------------------------------------------------|--|

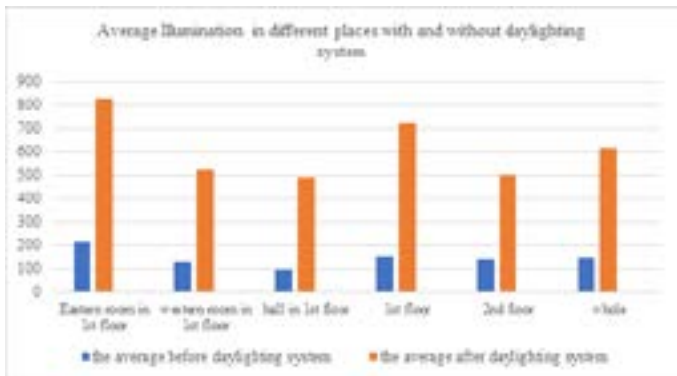
|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| بوم فناوری، سال اول، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴ | ۶۷ |
|--------------------------------------------|----|



شکل ۲: شدت روشنایی در طول روز در طبقه اول برای سه قسمت مختلف

با استفاده از رفلکتور آینه‌ای شیشه‌ای در طبقه اول، شدت روشنایی در اتاق شرقی تا ۲۲۰۰ لوکس نیز ثبت گردید که بیش از هفت برابر حالت بدون رفلکتور است.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان روشنایی در فضاهای مختلف ساختمان، قبل و بعد از نصب سیستم انتقال نور خورشید، نشان‌دهنده تغییرات قابل توجهی در سطح روشنایی است. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، تحلیل میانگین‌های افزایش نور بیانگر الگوهای مشخصی در عملکرد این سیستم است.



شکل ۳: میانگین شدت روشنایی (لوکس) در فضا های مختلف قبل و بعد از نصب سیستم انتقال نور

میانگین افزایش روشنایی در اتاق‌های شرقی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بیشتر از اتاق‌های غربی بود؛ موضوعی که می‌تواند ناشی از موقعیت جغرافیایی ساختمان و زاویه تابش خورشید در طول روز باشد. همچنین، راهروها که پیش از نصب سیستم کمترین میزان نور طبیعی را دریافت می‌کردند، بیشترین بهره‌مندی نسبی را از سامانه انتقال نور نشان دادند.

به‌طور کلی، تحلیل میانگین‌ها بیانگر آن است که سامانه انتقال نور خورشید توانسته به شکل مؤثری سطح روشنایی را در تمامی فضاهای مورد مطالعه افزایش دهد؛ بیشترین تأثیر نیز در فضاهای داخلی با دسترسی محدودتر به نور طبیعی مشاهده شد. این نتایج کارآمدی سامانه طراحی‌شده را در بهبود بهره‌وری انرژی و

| hour | Eastern room without device 1st floor | Eastern room with device 1st floor | western room without device 1st floor | western room with device 1st floor | hall without device 1st floor | hall with device 1st floor |
|------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| ۸    | ۱۹۷                                   | ۹۰۹                                | ۱۲۵                                   | ۶۰۵                                | ۱۰۰                           | ۱st floor                  |
| ۹    | ۲۰۰                                   | ۹۳۰                                | ۱۲۷                                   | ۶۲۵                                | ۱۰۵                           | ۵۸۰                        |
| ۱۰   | ۲۲۰                                   | ۹۳۷                                | ۱۲۷                                   | ۶۲۴                                | ۱۰۷                           | ۶۳۰                        |
| ۱۱   | ۲۳۰                                   | ۹۴۰                                | ۱۳۲                                   | ۶۳۳                                | ۱۱۵                           | ۶۵۵                        |
| ۱۲   | ۲۵۵                                   | ۹۹۰                                | ۱۳۳                                   | ۶۴۵                                | ۱۲۵                           | ۶۶۰                        |
| ۱۳   | ۲۲۲                                   | ۹۴۵                                | ۱۳۰                                   | ۶۴۰                                | ۱۲۴                           | ۶۴۵                        |
| ۱۴   | ۲۱۲                                   | ۹۳۰                                | ۱۲۵                                   | ۶۱۵                                | ۱۱۵                           | ۶۴۰                        |
| ۱۵   | ۱۹۰                                   | ۹۱۲                                | ۱۲۲                                   | ۶۱۲                                | ۱۰۸                           | ۵۸۷                        |
| ۱۶   | ۱۸۸                                   | ۹۰۷                                | ۱۱۹                                   | ۶۱۱                                | ۱۰۴                           | ۵۴۰                        |

| hour | Eastern room without device ۲nd floor | Eastern room with device ۲nd floor | western room without device ۲nd floor | western room with device ۲nd floor | hall without device ۲nd floor | hall with device ۲nd floor |
|------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| ۸    | ۲۰۰                                   | ۷۱۷                                | ۱۳۰                                   | ۴۲۲                                | ۷۸                            | ۳۳۵                        |
| ۹    | ۲۰۲                                   | ۷۱۴                                | ۱۳۲                                   | ۴۲۳                                | ۸۵                            | ۳۷۹                        |
| ۱۰   | ۲۱۵                                   | ۷۳۰                                | ۱۳۷                                   | ۴۲۰                                | ۹۲                            | ۳۸۴                        |
| ۱۱   | ۲۱۷                                   | ۷۵۰                                | ۱۳۸                                   | ۴۳۳                                | ۹۴                            | ۳۹۰                        |
| ۱۲   | ۲۲۵                                   | ۷۵۵                                | ۱۴۰                                   | ۴۴۴                                | ۹۹                            | ۳۹۶                        |
| ۱۳   | ۲۲۰                                   | ۷۴۰                                | ۱۳۰                                   | ۴۲۵                                | ۸۵                            | ۳۷۲                        |
| ۱۴   | ۲۱۷                                   | ۷۱۸                                | ۱۲۹                                   | ۴۱۸                                | ۸۴                            | ۳۵۳                        |
| ۱۵   | ۲۰۴                                   | ۷۰۰                                | ۱۲۷                                   | ۴۱۸                                | ۸۰                            | ۳۴۵                        |
| ۱۶   | ۱۹۷                                   | ۶۹۵                                | ۱۲۲                                   | ۴۱۵                                | ۷۵                            | ۳۴۱                        |

جدول ۲: اندازه گیری شدت روشنایی (لوکس) در طبقه دوم از ۸ صبح الی ۱۶ بعد از ظهر

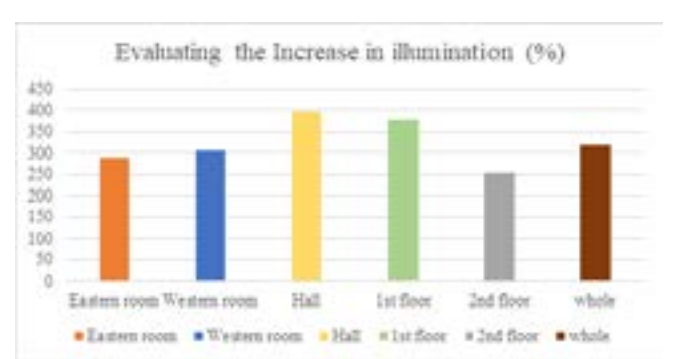
با داده های جدول یک و دو نمودار های شکل ۲ و ۳ ترسیم شد. شکل سه نشان دهنده میزان شدت نور در طبقه اول را نشان می دهد. شدت روشنایی در سه فضای دارای پنجره به نورگیر اندازه گیری شده و اندازه گیری ها در هر ساعت در دو حالت بدون دستگاه و با دستگاه انتقال نور خورشید اندازه گیری شده است.

الگوی مشاهده‌شده در شکل ۳ نشان می‌دهد که بیشترین افزایش روشنایی در فضاهای داخلی که دسترسی کمتری به نور طبیعی داشته‌اند (مانند راهروها) رخ

و ارتقای کیفیت روشنایی طبیعی فضاهای داخلی تأیید می‌کند.

در شکل ۴ درصد تغییرات در چهار حالت مختلف نشان داده شده است. محاسبات

بر اساس میانگین شدت روشنایی در طول روز انجام گرفته تا دقت نتایج افزایش یافته و میزان بهبود روشنایی در کل ساعات روز محاسبه شود. بر این اساس، در اتاق شرقی افزایش ۲۹۱ درصدی نور پس از نصب سامانه هوشمند انتقال نور خورشید ثبت شد و بیشترین تغییر در فضای راهرو با افزایش ۳۹۶ درصدی مشاهده گردید.



۲,۲. صرفه‌جویی انرژی

با صرفه‌جویی انرژی و حذف ۵ چراغ ۶۰ واتی در سه طبقه پایینی و با فرض ۱۰ ساعت کارکرد روزانه، میزان صرفه‌جویی انرژی به شرح زیر محاسبه گردید:

صرفه‌جویی روزانه: ۵ چراغ × ۶۰ وات × ۱۰ ساعت = ۳۰۰۰ وات‌ساعت = ۳ کیلووات ساعت

صرفه‌جویی سالانه: ۳ کیلووات‌ساعت × ۳۶۵ روز = ۱۰۹۵ کیلووات‌ساعت

میانگین قیمت برق در سطح جهانی در سال ۲۰۲۴ حدود ۰٫۱۶ دلار به‌ازای هر کیلووات‌ساعت است. با توجه به این قیمت متوسط جهانی، سیستم‌های ردیابی نور خورشیدی که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند، قادرند میزان قابل‌توجهی از هزینه‌های مصرف انرژی را کاهش دهند.

به‌عنوان نمونه، اگر یک سیستم سالانه ۱۰۹۵ کیلووات‌ساعت صرفه‌جویی در مصرف برق ایجاد کند، با توجه به قیمت جهانی برق، این صرفه‌جویی معادل ۱۶۴٫۲۵ دلار در سال خواهد بود. این میزان در کشورهایی با هزینه بالاتر انرژی ـ مانند کشورهای اروپایی یا آمریکای شمالی ـ بسیار چشمگیرتر خواهد بود.

همچنین، صرفه‌جویی سالانه ۱۰۹۵ کیلووات‌ساعت در مصرف برق، منجر به کاهش انتشار حدود ۷۶۶٫۵ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن ( CO ) در سال می‌شود.

۲,۳. تحلیل دقت ردیابی

آزمایش‌های انجام‌شده نشان داد که سیستم ردیابی با دقت میانگین ۰٫۱۶ درجه عمل می‌کند که منجر به انتقال پایدار و یکنواخت نور در طول روز می‌شود. خطای تعقیب در ساعات مختلف روز اندازه‌گیری شد و به شرح زیر است:

- خطای میانگین در محور آزیموت: ۰٫۱۲ ± ۰٫۰۳ درجه

- خطای میانگین در محور ارتفاع: ۰٫۱۵ ± ۰٫۰۴ درجه

این دقت بالا در ردیابی، حفظ موقعیت بهینه آینه و در نتیجه انتقال حداکثری نور به داخل ساختمان را تضمین می‌کند.

۲,۴. مصرف انرژی سیستم

مصرف انرژی سیستم در شرایط مختلف عملیاتی اندازه‌گیری شد:

- میانگین مصرف در حالت عادی: ۱۰٫۲ ± ۰٫۵ وات

- حداکثر مصرف (در زمان تغییر شدید موقعیت): ۱۲٫۸ ± ۰٫۷ وات

- مصرف در حالت آماده‌به‌کار (standby): ۱٫۱ ± ۰٫۱ وات

با توجه به تولید متوسط روزانه ۱۲۰ وات‌ساعت توسط پنل خورشیدی ۲۰ واتی (با فرض متوسط ۶ ساعت تابش مؤثر)، سیستم قادر به عملکرد کاملاً خودکفا بوده و حتی در روزهای ابری، باتری ذخیره انرژی کافی برای تداوم عملکرد را تأمین می‌کند.

۳. بحث

۳,۱. بهبود عملکرد نوری

نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه، افزایش روشنایی قابل‌توجه‌تری را نسبت به پژوهش‌های مشابه نشان می‌دهد. به عنوان مثال، ژو و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از سیستم ردیابی خورشیدی مشابه، افزایش ۳٫۲ برابری روشنایی را گزارش کرده‌اند [۱۵]، در حالی که سیستم حاضر توانسته است در شرایط مشابه تا ۴ برابر افزایش روشنایی را تأمین کند. مقایسه نتایج با استانداردهای روشنایی نشان می‌دهد که سطح روشنایی تأمین‌شده توسط سیستم (متوسط ۶۰۰ لوکس) فراتر از حداقل استاندارد برای فضاهای مسکونی (۳۰۰ لوکس طبق CIE) بوده و برای اکثر فعالیت‌های معمول در منزل مانند مطالعه (۵۰۰ لوکس) نیز کافی است [۱۶]. با

با استفاده از رفلکتورهای داخلی، این میزان تا ۲۲۰۰ لوکس نیز افزایش یافت که برای فعالیت‌های نیازمند دقت بصری بالا مناسب است.

نکته قابل‌توجه دیگر، یکنواختی توزیع نور در فضاهای هدف است. بر خلاف روشنایی طبیعی از پنجره که با افزایش فاصله از منبع کاهش شدیدی می‌یابد، سیستم انتقال نور طراحی‌شده توانسته است توزیع نسبتاً یکنواختی در کل فضا ایجاد کند. ضریب یکنواختی (نسبت حداقل به متوسط روشنایی) در اتاق شرقی ۰٫۷۶ محاسبه شد که بسیار بالاتر از مقدار ۰٫۴ توصیه‌شده توسط استانداردهای روشنایی است [۱۷].

۳,۲. صرفه‌جویی قابل‌توجه انرژی

کاهش ۱۰۹۵ کیلووات‌ساعتی مصرف برق سالانه، نشان‌دهنده پتانسیل بالای این فناوری در کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان است. بر اساس آمار منتشرشده توسط آژانس بین‌المللی انرژی (IEA)، مصرف متوسط سالانه برق یک خانوار در خاورمیانه حدود ۵۰۰۰ کیلووات‌ساعت است [۱۸]؛ بنابراین، صرفه‌جویی حاصل معادل حدود ۲۲٪ از کل مصرف برق یک خانوار متوسط است که رقمی قابل‌توجه به‌شمار می‌رود.

مطالعه اخیر محمدی و همکاران (۲۰۲۴) نشان داده است که در اقلیم‌های گرم و خشک، سیستم‌های انتقال نور طبیعی علاوه بر کاهش مصرف انرژی روشنایی، می‌توانند با کاهش بار حرارتی ناشی از روشنایی مصنوعی، تا ۱۵٪ در مصرف انرژی سرمایشی نیز صرفه‌جویی ایجاد کنند [۱۹]. با در نظر گرفتن این اثر جانبی، میزان صرفه‌جویی کل انرژی می‌تواند به‌مراتب بیشتر باشد.

با لحاظ کردن هزینه تقریبی ساخت و نصب این سیستم (حدود ۵۰۰ دلار آمریکا) و صرفه‌جویی سالانه‌ای در حدود ۱۶۴ دلار، دوره بازگشت سرمایه کمتر از ۳٫۱ سال خواهد بود. این میزان در مقایسه با سایر فناوری‌های تجدیدپذیر ـ مانند سیستم‌های فتوولتائیک که دوره بازگشت ۵ تا ۸ ساله دارند ـ بسیار مناسب ارزیابی می‌شود [۲۰].

۳,۳. تأثیر بر سلامت جسمی و روحی

گرچه در این پژوهش، سنجش مستقیم تأثیرات سیستم بر سلامت ساکنان انجام نشده است، اما شواهد علمی متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد دسترسی به نور طبیعی با طیف کامل و شدت مناسب، مزایای متعددی برای سلامت به همراه

دارد.

مطالعات علمی متعددی نشان داده‌اند که نور طبیعی با طیف کامل، نقش مؤثری در تنظیم ریتم شبانه‌روزی بدن دارد و می‌تواند بر ترشح هورمون‌هایی مانند ملاتونین (مرتبط با خواب) و سروتونین (مرتبط با خلق‌وخو و تمرکز) اثرگذار باشد [۴, ۵].

تحقیقات نشان می‌دهد قرارگیری در معرض نور طبیعی با شدت بیش از ۲۵۰۰ لوکس (که با سیستم طراحی‌شده و رفلکتور قابل دستیابی است)، به‌ویژه در ساعات ابتدایی روز، می‌تواند ترشح ملاتونین را مهار کرده و موجب افزایش هوشیاری، بهبود خلق‌وخو و ارتقاء عملکرد شناختی شود [۶].

پژوهش جدید وانگ و همکاران (۲۰۲۴) ارتباط معناداری بین افزایش سطح روشنایی طبیعی در فضاهای مسکونی و کاهش ۱۸٪ در نشانه‌های افسردگی را نشان داده است [۲۱]. همچنین، مطالعه گسترده‌ای توسط اشمیت و همکاران (۲۰۲۳) نشان می‌دهد که افزایش دسترسی به نور طبیعی در محیط‌های مسکونی می‌تواند کیفیت خواب را تا ۲۳٪ بهبود بخشد و زمان به خواب رفتن را تا ۱۸ دقیقه کاهش دهد [۲۲].

۳,۴. مزایای فناورانه

سیستم طراحی‌شده از چند جنبه، پیشرفت قابل‌توجهی نسبت به فناوری‌های موجود نشان می‌دهد:

۳,۴,۱. مصرف انرژی بهینه

مصرف بسیار پایین (۱۰ وات) و تأمین انرژی خودکفا با پنل خورشیدی، این سیستم را در زمره کم‌مصرف‌ترین سیستم‌های هلیواستات قرار می‌دهد. در مقایسه، سیستم‌های مشابه گزارش‌شده در ادبیات فنی مصرفی بین ۲۰ تا ۵۰ وات دارند [۲۳]. استفاده از الگوریتم نجومی به‌جای سیستم‌های ردیابی مبتنی بر سنسور که نیازمند تنظیمات مداوم هستند، نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی داشته است.

دقت ردیابی بالا

دقت ردیابی ۰٫۱۶ درجه تضمین‌کننده انتقال ثابت و یکنواخت نور است. این دقت در مقایسه با سیستم‌های مشابه که دقتی بین ۰٫۵ تا ۱ درجه گزارش کرده‌اند [۲۴]، پیشرفت قابل‌توجهی محسوب می‌شود. استفاده از لید اسکرو و تسمه تایمینگ با نسبت‌های کاهنده مناسب، همراه با موتورهای دارای انکودر، امکان کنترل دقیق حرکت را فراهم آورده است.

محفظه ایزوله برای دوام و پایداری

طراحی محفظه شیشه‌ای کاملاً ایزوله، مقاومت بالایی در برابر شرایط محیطی

سخت ایجاد می‌کند. در بسیاری از سیستم‌های موجود، مکانیزم‌های حرکتی در معرض مستقیم عوامل محیطی قرار دارند که منجر به فرسایش زود هنگام و نیاز به نگهداری مستمر می‌شود [۲۵]. محفظه طراحی‌شده در این پژوهش، با حفاظت کامل از قطعات مکانیکی و الکترونیکی، طول عمر و قابلیت اطمینان سیستم را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد.

۳,۵. محدودیت‌ها و چالش‌های آینده

علی‌رغم نتایج امیدبخش، سیستم فعلی محدودیت‌هایی دارد که می‌تواند موضوع تحقیقات آینده قرار گیرد. در این راستا، پیشنهاد می‌شود:

۱. بررسی تأثیر شرایط جوی: پژوهش‌های آینده به مطالعه عملکرد سیستم در روزهای ابری و شرایط آلودگی هوا بپردازند و راهکارهایی همچون توسعه سیستم‌های ترکیبی با قابلیت فعال‌سازی هوشمند روشنایی مصنوعی در زمان کاهش روشنایی طبیعی را مورد آزمون قرار دهند.

۲. ارزیابی اثرات سلامتی: تحقیقات آتی به‌طور کَمّی تأثیرات سیستم بر سلامت روان و فیزیولوژیک ساکنان را بررسی کنند و با انجام مطالعات میدانی دقیق‌تر، شواهد علمی در این زمینه فراهم آورند.

۳. بررسی مقیاس‌پذیری: مطالعات آینده امکان به‌کارگیری سیستم در ساختمان‌های بلندمرتبه را ارزیابی کنند و راهکارهایی برای طراحی سیستم‌های چندگانه یا پرتوان به‌منظور رفع چالش‌های هماهنگی و کنترل ارائه دهند.

۴. تحلیل سازگاری معماری: پژوهش‌های آتی قابلیت به‌کارگیری سیستم در انواع مختلف معماری را بررسی کنند و راهکارهای طراحی ویژه برای ساختمان‌های فاقد نورگیر مرکزی ارائه دهند.

۴. نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف طراحی و ارزیابی سیستم هوشمند ردیابی دومحوره خورشید برای انتقال نور طبیعی به عمق ساختمان‌های مسکونی انجام شد. نتایج نشان داد که سیستم طراحی‌شده با مصرف تنها ۱۰ وات انرژی و با دقت ردیابی ۰٫۱۶ درجه، قادر است روشنایی طبیعی را تا پنج برابر افزایش دهد و صرفه‌جویی سالانه‌ای در حدود ۱۰۹۵ کیلووات‌ساعت در مصرف انرژی روشنایی به‌همراه داشته باشد.

نوآوری‌های اصلی این پژوهش شامل طراحی محفظه شیشه‌ای ایزوله برای حفاظت از قطعات مکانیکی و اپتیکی، الگوریتم ردیابی نجومی کم‌مصرف و سیستم تأمین انرژی خودکفا است که در مجموع سامانه‌ای با عملکرد بالا، نیاز نگهداری پایین و

طول عمر زیاد ایجاد کرده‌اند.

علاوه بر مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی، سیستم طراحی‌شده با تأمین نور طبیعی با طیف کامل در فضا‌های داخلی می‌تواند نقش مهمی در بهبود سلامت جسمی و روانی ساکنان ایفا کند. کاربرد گسترده این فناوری، به‌ویژه در مناطق با شدت تابش خورشید بالا - مانند خاورمیانه - می‌تواند گامی مؤثر در جهت توسعه ساختمان‌های پایدار و کاهش مصرف انرژی در بخش مسکونی باشد.

تحقیقات آینده می‌تواند بر این موارد متمرکز شود:

۱. بهینه‌سازی شکل و ابعاد آینده‌ها برای کاربردهای خاص؛

۲. ارزیابی دقیق‌تر تأثیرات سلامتی با استفاده از شاخص‌های زیستی مانند سطح ملاتونین و اختلالات خواب؛

۳. توسعه سیستم‌های ترکیبی هوشمند که در شرایط نوری نامناسب، امکان تکمیل روشنایی با منابع مصنوعی کم‌مصرف را فراهم آورند.

سپاسگزاری

نویسنده از همکاری و حمایت مرکز کارآفرینی و نوآوری شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان در اجرای این پژوهش قدردانی می‌کند. همچنین از ساکنان ساختمان مورد مطالعه در شهر کربلا برای همکاری در مراحل آزمایش میدانی، تشکر ویژه به عمل می‌آید.

منابع

۱. International Energy Agency (IEA). World Energy Outlook ۲۰۲۳.

IEA Publications, Paris ۲۰۲۳.

۲. Wong, I.L. A review of daylighting design and implementation in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews ۲۰۲۲;۹۵۹:۸۰۰-۹۶۸.

۳. Xie, L., Wang, Y., Chen, H., Sun, Y. Review of Active and Passive Daylighting Technologies for Sustainable Building. Renewable and Sustainable Energy Reviews ۲۰۲۴;۱۱۲۲۹۴:۱۴۶.

۴. Zafeirakou, A., Markoulis, A., Ioannidis, P. The relevance of daylight for humans: Physical and mental health implications. Life Sciences ۲۰۲۰;۱۱۷:۲۵۶-۱۲۴.

۵. Chellappa, S.L., Steiner, R., Blattner, P., Oelhafen, P., Cajochen, C. The impact of daytime light exposures on sleep and mood in office workers. Journal of Sleep Research ۲۰۲۲;۳۰:(۱)۱۳۰۷۴.e.

۶. Aljarousha, T., Abueidda, M., Johnson, K. Natural light exposure and psychological wellbeing: A systematic review of the recent literature. Building and Environment ۲۰۲۳;۱۱۰۰۹۶:۲۳۲.

۷. Kim, J., Lee, S., Park, K., Yoon, C. Associations between natural lockdowns in residential ۱۹-daylight access and depression during COVID buildings. Journal of Environmental Psychology ۲۰۲۴;۲۰۲:۱۰۲۱۶۲-۹۲.

۸. Li, K., Wang, Z., Zhang, X. Performance assessment of daylighting systems: A comprehensive review of methods and indicators. Energy and Buildings ۲۰۲۲;۱۱۱۸۱۰:۲۵۸.

۹. Zhang, T., Wang, Y., Liu, H., Lin, Y. Daylight-responsive systems for energy efficiency in buildings: A comprehensive review and future prospects. Applied Energy ۲۰۲۳;۲۶۸:۱۲۰۰۳۳.

۱۰. Song, J., Luo, G., Li, L., Zhao, J. Application of heliostat in interior sunlight illumination for large atrium. Renewable Energy ۲۰۲۲;۲۹۱:۱۲۰۰۳۰۱.

۱۱. Li, R., Yang, H., Pan, Y., Wu, Y. Machine learning approaches for optimizing solar tracking systems: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews ۲۰۲۳;۱۱۳۱۶۲:۱۷۸.

۱۲. Mousavi, S.M., Bagheri, A., Shirmohammadi, R. IoT-based smart daylighting control systems: A review of current technologies and future directions. Applied Energy ۲۰۲۳;۴۹۳:۱۲۰۳۳۲.

۱۳. M. E. Cholette, G. Picotti, C. B. Anderson, T. A. Steinberg, and

G. Manzolini, Heliostat-field soiling predictions and cleaning resource optimization for solar tower plants. Renewable Energy, vol ۱۸۸, pp. ۱۰۸۶-۱۰۹۷, ۲۰۲۳. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.renene/۱۰.۲۵۰۷,۲۰۲۲.

۱۴. Liu, J., Chen, X., Zhang, W., Wang, S. Encapsulation technologies for solar tracking systems: Improving durability and reducing maintenance requirements. Solar Energy Materials and Solar Cells ۲۰۲۴;۱۱۲۴۸۶:۲۶۲.

۱۵. Zhou, S., Liu, Y., Chen, J., Zhuo, H. Solar tracking heliostat system for deep-plan building spaces: Field measurements and performance evaluation. Solar Energy ۲۰۲۲;۲۳۴:۷۸۰-۸۹.

۱۶. Commission Internationale de l'Éclairage (CIE). Lighting of Indoor Work Places. ISO ۸۹۹۵:۲۰۰۲ S)/CIE ۸۰۸ E/۰۱:۲۰۰۱. CIE, Vienna ۲۰۲۱.

۱۷. European Committee for Standardization (CEN). Light and lighting of work places - Part ۱: Indoor work places. EN ۱۲۴۶۴-۱:۲۰۲۱, CEN, Brussels ۲۰۲۱.

۱۸. International Energy Agency (IEA). Electricity Information ۲۰۲۳. IEA Publications, Paris ۲۰۲۳.

۱۹. Mohammadi, K., Saad, A., Eicker, U. Integrated lighting and cooling energy savings: Case studies in hot and dry climates. Energy and Buildings ۲۰۲۴;۳۹۰:۱۱۳۳۹۸.

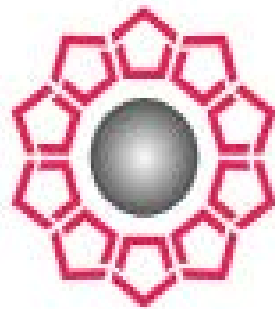
۲۰. Timilsina, G.R., Kurdgelashvili, L., Narbel, P.A. Solar energy: Markets, economics and policies. Renewable and Sustainable Energy Reviews ۲۰۲۲;۱۶:(۱)۴۴۹-۴۶۵.

۲۱. Wang, Y., Li, M., Chen, K., Yang, Y. Natural light exposure improves mental wellbeing in residential environments: A longitudinal study. International Journal of Environmental Research and Public Health ۲۰۲۴;۲۱:(۴)۱۶۹۸.

۲۲. Schmidt, J., Mueller, A., Zhao, W. Daylight exposure and sleep quality in residential buildings: Evidence from a multi-country study. Sleep Health ۲۰۲۳;۹:(۲)۱۵۴-۱۶۲.

# زیست بوم فناوری





انجمن شرکت های دانش بنیان و فناوری استان اصفهان

Isfahan Technology Companies Association (ITCA)



 isfahantech\_ir

 isfttech.ir

 09134046840

 031-33932133

[www.isfttech.ir](http://www.isfttech.ir)



Isfahan, Industrial University Blvd, Isfahan Scientific And Research Town, 12th Street, Faratahghigh Building  
اصفهان، بلوار دانشگاه صنعتی اصفهان، شهرک علمی و تحقیقاتی، خیابان دوازدهم، ساختمان فراتحقیق، طبقه اول