پوهنتون پولی تخنیک کابل
مجله علم و تکنالوژی
جلد ۵۲- شماره ۲
حوت - سال ۱۴۰۲ هـ.ش.
تاریخ دریافت اثر: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶
تاریخ قبولی اثر: ۱۴۰۲/۱۱/۱۰
KPU-IST
P-ISSN: 2305 - 896X

مرور جامع راهکارهای بهینه‌سازی مصرف آب در فرایند تولید خشت رسی: تحلیل فنی، زیست محیط ، و اقتصادی

پوهنمل دوکتور محمد عارف کوشیار [۱*]، پوهنیار ابوالقاسم راشد[۲]، پوهنمل دوکتور نثاراحمد کریمزاده[۳]، انجنیر محمدعلی قاضی‌زاده[۴]
۱. دیپارتمنت ساختمان‌های صنعتی و مدنی، پوهنځی ساختمانی
Email: arifkoshyrar@kpu.edu.af
۲. استاد دیپارتمنت رسم‌تخنیک و هندسه ترسیمی، پوهنځی ساختمانی
Email: qasem.rashed123@gmail.com
۳. استاد دیپارتمنت ساختمان‌های صنعتی و مدنی، پوهنځی ساختمانی
Email: nisarahmadkarimzada3@gmail.com
۴. لسانس انجنیر ساختمان
Email: moh.qz7070@gmail.com

خلاصه

آب یکی از منابع حیاتی در صنعت ساخت‌وساز است و مصرف قابل توجه آن در تولید خشت رسی [1] به ویژه در مناطق کم آب، چالش‌های مهم محیط زیستی و اقتصادی ایجاد می‌کند. هدف این تحقیق ارائه یک مرور جامع از راهکارهای بهینه سازی مصرف آب در فرایند تولید خشت رسی بدون کاهش یکپارچگی ساختمانی و عملکرد میخانیکی آن است. بدین منظور مطالعات علمی منتشرشده در بازه زمانی 2010 تا 2025 از پایگاه‌های معتبر علمی گردآوری و بر اساس ابعاد فنی، محیط زیستی و اقتصادی مورد تحلیل و مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که راهبردهای کاهش مصرف آب را می توان در چهار دسته اصلی شامل بهینه سازی ویژگی‌های خاک و توزیع اندازه ذرات، بهبود فرایندهای تولید به ویژه تراکم میخانیکی، استفاده از افزودنی های معدنی و الیاف طبیعی، و راهبردهای مدیریتی نظیر بازیافت و استفاده مجدد از آب طبقه‌بندی کرد. یافته‌ها بیانگر آن است که تنظیم ترکیب خاک، و به کارگیری تراکم میخانیکی می‌تواند مصرف آب را بدون کاهش کیفیت خشت حدود 15 تا 30 درصد کاهش دهد در حالی که استفاده از افزودنی‌ها و الیاف، بسته به خصوصیات خاک، انعطاف‌پذیری بیشتری در مدیریت مصرف آب فراهم می‌کند. همچنین اجرای راهبردهای مدیریتی مانند بازیافت آب قادر است مصرف آب تازه را تا حدود 25 درصد دیگر کاهش دهد. از منظر محیط‌زیستی، این رویکردها موجب کاهش برداشت منابع آب شیرین و کاهش تولید پساب می‌شوند، در حالی که از دیدگاه اقتصادی میزان کارایی آن‌ها به نوع فناوری مورد استفاده، هزینه مواد و سطح مهارت نیروی کار وابسته است. با وجود پیشرفت‌های قابل توجه، همچنان شکاف‌هایی در زمینه ارزیابی چرخه عمر، اعتبارسنجی میدانی در مقیاس صنعتی و تحلیل‌های یکپارچه فنی‌اقتصادی وجود دارد. در مجموع، این مطالعه نشان می‌دهد که دستیابی به تولید پایدار و کم‌مصرف خشت از نظر آب از طریق ترکیبی از بهینه‌سازی مواد، فرآیندهای تولید و راهبردهای مدیریت منابع امکان‌پذیر است و می‌تواند چارچوبی کاربردی برای پژوهشگران، سیاست‌گذاران و تولیدکنندگان محلی فراهم آورد.

کلمات کلیدی: افزودنی‌های معدنی و الیاف طبیعی، بازیافت آب، بهینه‌سازی خاک، خشت رسی، ساخت‌وساز پایدار، کاهش مصرف آب

1 - Adobe

۱. مقدمه

آب به عنوان یکی از منابع کلیدی در صنعت ساخت‌وساز نقش تعیین‌کننده‌ای در تولید مصالح رسی از جمله خشت دارد. خشت به دلیل دسترسی آسان به مواد اولیه سازگاری با شرایط اقلیمی متنوع و اثرات محیط‌زیستی نسبتاً پایین عمجتان به عنوان یکی از مصالح ساختمانی پرکاربرد به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک مورد توجه قرار دارد. با این حال پروسه‌های متداول تولید خشت به مصرف قابل توجهی آب وابسته اند که این امر در شرایط تشدید بحران جهانی آب چالش‌های جدی محیط‌زیستی و اقتصادی ایجاد می‌کند [1].

در مرحله تولید خشت آب نقش اساسی در آماده سازی خاک، ایجاد کار پذیری مناسب، قالب‌گیری و شکل‌دهی ایفا می‌کند. مصرف بیش از حد آب نه تنها فشار بیشتری بر منابع محدود آب شیرین وارد می‌سازد بلکه می‌تواند زمان خشک شدن را افزایش داده و موجب بروز ترک خوردگی، کاهش یکنواختی و افت کیفیت میخانیکی خشت شود. ازاین راه کاهش مصرف آب در تولید خشت بدون تأثیر منفی بر دوام و عملکرد ساختمانی آن به یکی از محورهای مهم پژوهش‌های اخیر در حوزه مصالح ساختمانی پایدار تبدیل شده است[2].

مطالعات پیشین راهکارهای متنوعی را برای کاهش مصرف آب در تولید خشت پیشنهاد کرده اند از جمله اصلاح ترکیب و دانه‌بندی خاک، کاهش نسبت آب به خاک، استفاده از افزودنی‌های معدنی و الیاف طبیعی، به‌کارگیری روش‌های تراکم میخانیکی و بهترسازی پروسه‌های انجام. با وجود نتایج، این پژوهش‌ها به صورت پراکنده ارائه شده و مقایسه جامع اثر بخشی راهکارها از منظر فنی، محیط زیستی و اقتصادی با محدودیت مواجه است. این پراکندگی انتخاب راهکارهای مناسب برای شرایط اقلیمی و اقتصادی مختلف را دشوار می‌سازد [3].

از سوی دیگر کاهش مصرف آب در تولید خشت صرفاً یک مسئله فنی نیست بلکه پیامدهای محیط زیستی و اقتصادی قابل توجهی نیز به همراه دارد. کاهش برداشت از منابع آب شیرین کاهش تولید پساب و بهبود بهره‌وری منابع از جنبه‌های محیط-زیستی این راهکارها محسوب می‌شوند در حالی که هزینه‌های تولید دسترسی به فناوری‌ها و امکان پذیری اجرایی ابعاد اقتصادی آن‌ها را شکل می‌دهند. بنابراین ارزیابی همزمان این ابعاد برای دستیابی به تولید پایدار خشت ضروری است [4].

بر این اساس، هدف این تحقیق ارائه یک مرور جامع بر اساس ادبیات علمی منتشرشده در زمینه کاهش مصرف آب در تولید خشت با تمرکز بر راهکارهای فنی، محیط‌زیستی و اقتصادی است. در این مطالعه مقالات منتخب بر اساس معیارهای از پیش تعیین شده گردآوری و تحلیل شده و راهکارهای موجود از منظر میزان کاهش مصرف آب، اثرات محیط زیستی و امکان پذیری اقتصادی مورد مقایسه قرار می‌گیرند. این مقاله می‌کوشد ضمن شناسایی رویکردهای مؤثر خلأهای تحقیقاتی موجود را برجسته ساخته و مسیرهای تحقیقاتی آینده در این حوزه را ترسیم نماید. افزون بر موارد فوق اهمیت کاهش مصرف آب در تولید خشت را می‌توان در چارچوب گسترده‌تر توسعه پایدار و مدیریت بهبود ساختن منابع طبیعی مورد بررسی قرار داد. صنعت ساخت‌وساز یکی از بزرگ ترین مصرف کنندگان منابع آب و انرژی در جهان به شمار می‌رود و استفاده گسترده از مصالح پر مصرف فشار فزاینده‌ای بر اکوسیستم‌های طبیعی وارد کرده است. در این میان مصالح بومی مانند خشت در صورت بهترسازی مراحل تولید می‌تواند نقش مؤثری در کاهش ردپای محیط‌زیست ساختمان‌ها ایفا کنند. کاهش مصرف آب در تولید این مصالح گامی مهم در جهت هم‌راستایی با اهداف توسعه پایدار به ویژه در حوزه مدیریت منابع آب و کاهش اثرات محیط‌زیستی فعالیت‌های انسانی محسوب می شود. [5]

از منظر اقلیمی، بسیاری از مناطقی که خشت به طور سنتی در آنجا مورد استفاده قرار می‌گیرد با مشکل شدید آبی، کاهش منابع آب زیر زمینی و ناپایداری بارنده‌گی مواجع اند. در چنین شرایطی حتی کاهش نسبی در مصرف آب می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر پایداری ساخت و ساز محلی داشته باشد. راهکارهایی که امکان کاهش مصرف آب را بدون وابستگی به فناوری‌های پیچیده و پرهزینه فراهم می‌کنند، از اهمیت ویژه‌ای برای کشورهای در حال توسعه برخوردارند و مخصوصاً

کشورهایی که هم زمان با محدودیت منابع مالی و بحران آب رو به رو هستند. [6]
همچنین توجه به بُعد اجرایی سیاست‌های کاهش مصرف آب در تولید خشت از اهمیت بالایی برخوردار است. بسیاری از مطالعات انجام شده در این حوزه در مقیاس لابراتواری و تحت شرایط کنترول شده صورت گرفته اند، در حالی که انتقال نتایج آن‌ها به شرایط واقعی تولید با چالش‌هایی نظیر تنوع خاک‌های محلی، مهارت نیروی انسانی، شرایط اقلیمی و محدودیت‌های اقتصادی همراه است. ازاین راه بررسی قابلیت تعمیم نتایج پژوهش‌ها و تحلیل میزان انطباق آن ها با شرایط واقعی تولید، بخش مهمی از ارزیابی علمی این حوزه به شمار می رود. [7]
در نهایت یک مرور جامع و ساختارمند می‌تواند با ایجاد تصویری جامع از وضعیت موجود تحقیقات، به شناسایی روندهای غالب نقاط قوت و ضعف مطالعات پیشین و خلأهای دانشی کمک کند. چنین رویکردی نه تنها مبنایی علمی برای تحقیقات آینده فراهم می‌آورد بلکه می‌تواند به عنوان ابزاری کاربردی برای تصمیم گیری سیاست‌گذاران، تولید کنندگان و برنامه ریزان در راستای کاهش مصرف آب و ارتقای پایداری تولید خشت مورد استفاده قرار گیرد.

۲. روش تحقیق

این مقاله با استفاده از رویکرد مرور جامع ادبیات علمی [2] تدوین شده است. هدف از به کارگیری این روش گردآوری ارزیابی و تحلیل ساختار یافته مطالعات منتشرشده در زمینه کاهش مصرف آب در تولید خشت و مصالح رسی مشابه با تمرکز بر راهکارهای فنی محیط‌زیستی و اقتصادی بوده است. مرور جامع به دلیل شفافیت در انتخاب منابع قابلیت بازتولید نتایج و ارائه تحلیل جامع و قابل اعتماد یکی از روش‌های استاندارد در مطالعات مروری به شمار می‌رود و امکان ارائه تصویری دقیق از وضعیت علمی موجود و شناسایی خلأهای تحقیقاتی را فراهم می آورد.
پروسه جستجوی منابع علمی در پایگاه‌های اطلاعاتی[3] معتبر شامل انجام شده ترکیبی از کلیدواژه‌ها و عبارات جستجو برای شناسایی مطالعات مرتبط به کار گرفته شد[4]. جستجو به مطالعات منتشرشده به زبان انگلیسی و در بازه زمانی 2010 تا 2025 محدود شد تا آخرین یافته‌های علمی و رویکردهای نوین در کاهش مصرف آب در تولید خشت و مصالح رسی مشابه در نظر گرفته شود. علاوه بر این مرور مراجع مقالات منتخب و بررسی منابع فرعی به شناسایی مطالعات کمتر شناخته شده کمک کرد و از احتمال حذف مطالعات مهم جلوگیری نمود.
در این تحقیق مقالات انتخاب شدند که به طور مستقیم به مصرف آب در فرآیند تولید خشت یا مصالح رسی مشابه پرداخته و حداقل یکی از طرح‌های کاهش مصرف آب را مورد بررسی قرار داده بودند. مطالعاتی که صرفاً به جنبه‌های معماری، تاریخی یا زیبایی شناختی خشت پرداخته و ارتباط مستقیمی با مصرف آب نداشتند حذف شدند. همچنین مقالات تکراری و مطالعات فاقد اطلاعات یا تحلیل مشخص کنار گذاشته شدند تا دقت و اعتبار تحلیل افزایش یابد. این فرایند تضمین می‌کند که نتایج استخراج شده منعکس کننده شواهد علمی و کاربردی در زمینه کاهش مصرف آب باشد و تحلیل نهایی بر پایه اطلاعات معتبر شکل گیرد.
پس از انتخاب نهایی مطالعات، اطلاعات کلیدی شامل نوع روش پیشنهادی میزان کاهش مصرف آب گزارش‌شده، تأثیرات محیط-زیستی، ملاحظات اقتصادی و محدودیت‌های مطرح شده استخراج شد. سپس مطالعات منتخب بر اساس نوع روند به دسته‌های مفهومی تقسیم شده و مورد تحلیل تطبیقی قرار گرفتند. این تحلیل امکان مقایسه اثر بخشی شیوه‌شناسی الگوهای مشترک و تفاوت‌های اصلی میان مطالعات و همچنین تعیین طرح‌های مؤثر و قابل اجرا را فراهم ساخت.
برای ارزیابی جامع روش‌های کاهش مصرف آب یک چارچوب تحلیلی سه‌بعدی شامل ابعاد فنی، محیط‌زیستی و اقتصادی

2 - Systematic Literature Review
3 - Scopus ، Web of Science و Google Scholar
4 - Adobe brick، earthen materials، water consumption، water reduction، sustainable construction

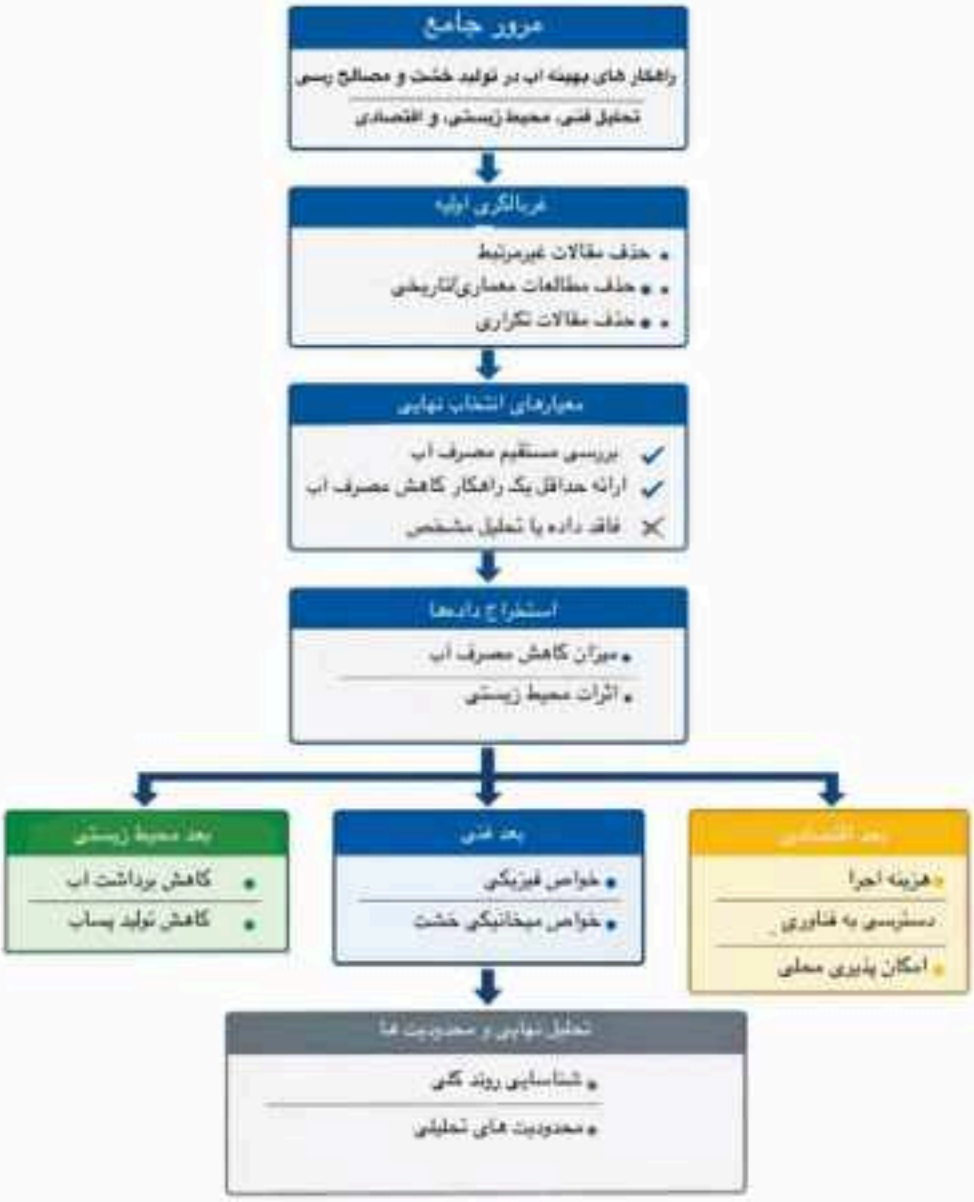
تدوین شد. در بعد فنی تأثیر رویکردها بر خواص فیزیکی و میخانیکی خشت مانند مقاومت فشاری، چسبندگی، دوام، نفوذپذیری و زمان خشک شدن مورد بررسی قرار گرفت. در بعد محیط زیستی، پیامدهای مرتبط با کاهش برداشت آب، تولید پساب، مصرف انرژی و اثرات جانبی بر اکو سیستم‌های محلی و منابع طبیعی مورد توجه قرار گرفت. بعد اقتصادی شامل شاخص‌هایی نظیر هزینه اجرای راهکار دسترسی به فناوری، مهارت نیروی کار، امکان پذیری کاربردی در مقیاس کوچک و بزرگ، و پوتانشیل صرفه جویی اقتصادی بود.

برای بهبود دقت تحلیل داده‌های استخراج شده از مقالات به صورت کد گذاری شده و در ماتریس‌های تحلیلی منظم قرار گرفتند. این ماتریس‌ها امکان همسان‌سازی شاخص‌های مختلف مقایسه میان مطالعات و شناسایی روندهای غالب تحقیقی را فراهم ساختند. علاوه بر این یک شاخص وزن دهی نسبی برای ارزیابی اهمیت هر روند در کاهش مصرف آب، تأثیرات محیط‌زیستی و هزینه اقتصادی ارائه شد که تحلیل کیفی و کمی را تلفیق نمود.

یکی دیگر از جنبه های توسعه یافته این مطالعه بررسی قابلیت تعمیم سیاست‌ها و انتقال آن‌ها به شرایط مختلف اقلیمی، اقتصادی و تکنالوژیکی بود. بسیاری از مطالعات لابراتواری در شرایط کنترول شده انجام شده‌اند بنابراین تحلیل قابلیت عملیاتی این میکانیزم‌ها در شرایط واقعی تولید اهمیت ویژه‌ای داشت. محدودیت‌ها، چالش‌های اجرایی و نیازمندی‌های فنی هر تدبیر مستند شدند و توصیه هایی برای تطبیق آن‌ها با تولید محلی ارائه گردید همچنین تأثیر استفاده از مواد افزودنی طبیعی و بازیافت آب پروسه در کاهش مصرف آب و هزینه تولید مورد بررسی قرار گرفت.

رویکرد مرور جامع و نظام‌مند، مزایای متعددی دارد از جمله شناسایی خلاهای تحقیقاتی، ارائه تصویری کلی از روندهای غالب، تعیین نقاط قوت و ضعف رویکرد و کمک به سیاست گذاران و تولید کننده‌گان در تصمیم‌گیری علمی و عملی این روش. همچنین امکان تحلیل مقایسه‌ای و تطبیقی بین مطالعات انجام شده در شرایط متفاوت اقلیمی، اقتصادی و تکنالوژیکی را فراهم می‌کند. با این حال ناهمگونی داده‌ها و تفاوت در شاخص‌های گزارش شده محدودیت‌هایی برای انجام تحلیل‌های کمی دقیق ایجاد کرده است.

پروسه مرور جامع و نظام‌مند منابع در این مطالعه مطابق شکل (1) انجام شده و شامل مراحل شناسایی، غربالگری، انتخاب و تحلیل نهایی است با این ساختار مرور منابع به صورت شفاف قابل باز تولید و جامع ارائه شده و پایه‌ای قوی برای ارزیابی طرح‌های کاهش مصرف آب در تولید خشت فراهم می آورد. این مطالعه نه تنها تحلیل از وضعیت موجود ارائه می‌دهد بلکه مسیرهای تحقیقات آینده و فرصت های نوآورانه در حوزه کاهش مصرف آب را نیز روشن می‌سازد از جمله کاربرد مواد جایگزین فناوری‌های بازیافت آب و روش‌های برای بهبودسازی مراحل تولید.



شکل ۱. روندنمای تحقیق

۳. نتایج

مرور جامع و نظام‌مند مطالعات نشان داد که کاهش مصرف آب در تولید خشت عمدتاً از طریق مجموعه‌ای از روندهای فنی و مدیریتی امکان‌پذیر است که هر یک دارای پیامدهای محیط‌زیستی و اقتصادی متفاوتی هستند. بر اساس تحلیل ادبیات موجود این میکانیزم را می‌توان به طور کلی در چند دسته اصلی شامل اصلاح ویژگی‌های خاک، بهینه‌سازی تولید استفاده از افزودنی‌ها و به کارگیری روش‌های بازیافت و مدیریت آب فرآیندی طبقه‌بندی کرد [8]. یافته‌های مطالعات مختلف نشان داد که اصلاح دانه‌بندی خاک و افزایش سهم ذرات درشت‌تر می‌تواند نیاز به آب را برای دستیابی به کارپذیری مناسب کاهش دهد. خاک‌هایی با توزیع دانه‌بندی پیوسته قابلیت تراکم بهتری دارند و بنابراین با نسبت آب به خاک کمتر خشت‌هایی با انسجام اولیه قابل قبول تولید می‌کنند. این رویکرد علاوه بر کاهش مصرف آب در برخی موارد موجب بهبود مقاومت فشاری و کاهش ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی نیز شده است. همچنین برخی مطالعات نشان داده اند که خاک‌های اصلاح شده با افزودن ریگ یا سنگدانه‌های ریز امکان کاهش مصرف آب تا 15 الی 20 درصد را فراهم می آورند بدون آنکه کیفیت میخانیکی محصول کاهش یابد. با این حال میزان اثربخشی این روند به نوع خاک محلی و شرایط اقلیمی وابسته، گزارش شده است و نیازمند آزمایش‌های محلی برای بهترسازی نسبت آب به خاک است [9]. در برخی تحقیقات، استفاده از خاک‌های چند منظوره با ترکیب خاک رس، ریگ و مواد افزودنی طبیعی باعث شده خشت تولیدی مقاومت بهتری در برابر رطوبت و ترک خوردگی داشته باشد، و به این ترتیب کاهش مصرف آب به طور همزمان با بهبود کیفیت محصول ممکن شود این نکته اهمیت دارد که اصلاح خاک تنها یک راهکار فنی نیست بلکه تأثیر مستقیم بر دوام، قابلیت استفاده در مناطق مختلف و هزینه‌های تولید دارد[10]. مطالعات نشان داد که استفاده از روش‌های تراکم میخانیکی و تولید خشت نیمه‌خشک نقش مؤثری در کاهش مصرف آب دارد. در این روش با اعمال فشار بیشتر در مرحله قالب‌گیری نیاز به آب برای ایجاد انسجام اولیه کاهش می‌یابد. مرور یافته‌ها حاکی از آن است که این رویکرد می‌تواند بدون افت محسوس در خواص میخانیکی خشت، مصرف آب را به طور قابل توجهی کاهش دهد. برخی تحقیقات نشان داده که استفاده از دستگاه‌های پرس ساده میخانیکی قادر است مصرف آب را تا 30 درصد کاهش دهد و همزمان مقاومت فشاری خشت را افزایش دهد [8]. با این حال اجرای این روش نیازمند کنترول دقیق طرز کار و تجهیزات مناسب است. برخی تولید کننده‌گان محلی ممکن است توان مالی یا تخصص فنی لازم برای استفاده از تجهیزات پیشرفته را نداشته باشند بنابراین امکان سنجی اقتصادی و آموزش فنی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. علاوه بر این استفاده از روش نیمه‌خشک می‌تواند زمان خشک‌شدن خشت را کاهش دهد و روند تولید را سریع تر و کارآمد تر سازد [11].

بخش قابل توجهی از ادبیات به بررسی نقش افزودنی‌ها در کاهش مصرف آب اختصاص یافته است. افزودنی‌های معدنی نظیر پوزولان‌ها، خاکستر بادی و میکروسیلیس، با بهبود پیوستگی ذرات خاک امکان کاهش نسبت آب به خاک را فراهم می‌کنند. به عنوان مثال مطالعاتی گزارش کرده اند که افزودن 10–5 درصد خاکستربادی می‌تواند مصرف آب را تا 15–10 درصد کاهش دهد و مقاومت فشاری خشت را نیز بهبود بخشد. همچنین، استفاده از الیاف طبیعی مانند کاه، الیاف گیاهی و الیاف حیوانی در برخی تحقیقات به‌عنوان عاملی برای بهبود انسجام و کاهش نیاز به آب مورد تأیید قرار گرفته است [12]. با این وجود اثر این افزودنی‌ها به نوع خاک، درصد مصرف و شرایط تولید وابسته بوده و نتایج در مطالعات مختلف یکنواخت نیست برای مثال در برخی خاک‌های رسی با درصد بالای ذرات ریز، افزودن الیاف باعث افزایش کارپذیری و کاهش ترک خوردگی شد، اما در خاک‌های با درصد ریگ بالا اثر افزودنی کمتر مشهود بود. این ناهمگونی مقایسه مستقیم نتایج را با محدودیت مواجه می‌سازد و نشان‌دهنده نیاز به تحقیقات منطقه‌ای و آزمایش‌های محلی است [13]. یافته‌های محدود اما رو به رشدی به نقش راهکارهای مدیریتی در کاهش مصرف آب اشاره دارند. استفاده مجدد از آب، کنترول دقیق میزان آب مصرفی و کاهش تلفات آب در مراحل آماده‌سازی و قالب-گیری از جمله راهکارهایی هستند که بدون تغییر اساسی در ترکیب مواد می‌توانند به کاهش مصرف آب منجر شوند برخی مطالعات گزارش کرده اند که بازیافت

آب ناشی از مرحله خشک‌شدن و پسابهای فرایندی می‌تواند تا 25-20 درصد مصرف آب تازه را کاهش دهد[11]. با این حال، مطالعات اندکی به ارزیابی کمی اثر این راهکارها پرداخته اند و این حوزه همچنان با خلأ تحقیقاتی مواجه است. علاوه بر این، نیاز به زیرساخت‌های مناسب برای ذخیره و تصفیه آب بازیافتی، آموزش نیروی انسانی و تدوین پروتوکول‌های استاندارد وجود دارد. بنابراین توسعه فناوری‌های ساده و مقرون به صرفه برای بازیافت آب و مدیریت مصرف آن یکی از مسیرهای تحقیقاتی آینده محسوب می‌شود[9].

مرور ادبیات نشان داد که کاهش مصرف آب در تولید خشت معمولاً با پیامدهای مثبت محیط‌زیستی همراه است از جمله کاهش برداشت از منابع آب شیرین، کاهش تولید پساب و کاهش مصرف انرژی در مراحل خشک شدن و حمل و نقل. برخی مطالعات نشان داده اند که ترکیب روش‌های فنی و مدیریتی می‌تواند اثرات مثبت محیط‌زیستی را تا 30 درصد افزایش دهد.

از منظر اقتصادی برخی روندها مانند اصلاح دانه‌بندی خاک و کنترول سلسه تولید، هزینه‌های اضافی اندکی داشته و برای تولید کننده‌گان محلی قابل اجرا هستند. در مقابل بررسی مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از برخی افزودنی‌ها یا تجهیزات میخانیکی ممکن است هزینه اولیه را افزایش دهد هرچند در بلندمدت می‌تواند از طریق کاهش مصرف آب، افزایش کیفیت و دوام محصول، و کاهش ضایعات جبران شود که این موضوع ضرورت ارزیابی هم‌زمان منافع اقتصادی و محیط‌زیستی را برجسته می‌سازد و نشان می‌دهد تصمیم‌گیری در این حوزه باید مبتنی بر تحلیل جامع هزینه و شرایط محلی باشد. جدول 1 خلاصه‌ای از این دسته بندی، نمونه روش‌ها و اثرات فنی، محیط زیستی و اقتصادی هر یک از راه‌های مطرح شده در مطالعات پیشین را ارائه می کند [11].

در مجموع مرور جامع ادبیات نشان داد که کاهش مصرف آب در تولید خشت نیازمند ترکیبی از روش‌های فنی، افزودنی‌ها، بهترسازی مرحله تولید و مدیریت منابع آب است. هیچ راه واحدی به تنهایی پاسخگوی تمامی نیازها نیست و اثربخشی هر روش بستگی به نوع خاک، شرایط اقلیمی، تجهیزات تولید و منابع مالی دارد. همچنین پیامدهای محیط زیستی و اقتصادی باید هم زمان مورد توجه قرار گیرند تا تولید خشت پایدار، کم‌مصرف و با کیفیت بالا تحقق یابد. خلأهای پژوهشی شامل کمبود داده‌های کمی، عدم یکنواختی نتایج، محدودیت مطالعات میدانی و نیاز به بررسی کاربردی فناوری‌های بازیافت آب است. همان گونه که در شکل 2 مشاهده می‌شود، در نظر گرفتن هم‌زمان ابعاد فنی، محیط زیستی و اقتصادی می‌تواند به دستیابی به تولید پایدار خشت با مصرف بهتر آب منجر شود.

جدول 1: خلاصه طرح های کاهش مصرف آب در تولید خشت و اثرات فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی آن ها

راهکار	نمونه روش‌ها	اثربخشی کاهش مصرف آب	اثرات فنی	اثرات زیست‌محیطی	اثرات اقتصادی	محدودیت‌ها / نکات
اصلاح ترکیب و دانه‌بندی خاک	افزایش سهم ذرات درشت، توزیع دانه‌بندی بهینه	کاهش نیاز آب برای کارپذیری مناسب	حفظ یا بهبود مقاومت فشاری، کاهش ترک‌خوردگی	کاهش برداشت از منابع آب شیرین	هزینه کم، قابل اجرا در مقیاس محلی	اثربخشی وابسته به نوع خاک محلی
بهینه‌سازی فرآیند قالب‌گیری و تراکم	تراکم میخانیکی، تولید خشت نیمه‌خشک	کاهش قابل توجه مصرف آب	بدون افت محسوس خواص میخانیکی	کاهش مصرف آب و تولید پساب	نیازمند تجهیزات ساده، هزینه متوسط	کنترول دقیق فرآیند ضروری، بیشتر در واحدهای نیمه‌صنعتی

استفاده از افزودنی‌ها و الیاف	پوزولان‌ها، مواد ریزدانه، کاه، الیاف گیاهی یا حیوانی	کاهش نسبت آب به خاک، میزان متغیر	بهبود انسجام خشت	کاهش برداشت آب	هزینه اولیه ممکن است افزایش یابد	اثر وابسته به نوع خاک، درصد مصرف و شرایط تولید
راهکارهای مدیریتی و بازیافت آب	استفاده مجدد از آب فرایندی، کنترل میزان آب مصرفی، کاهش تلفات آب	کاهش مصرف آب بدون تغییر ترکیب مواد	بدون تغییر خواص میخانیکی	کاهش برداشت آب، کاهش پساب	کم‌هزینه، آسان برای اجرا	مطالعات کمی موجود، نیازمند ارزیابی بیشتر



شکل 2. چارچوب شماتیک پیشنهادی برای کاهش مصرف آب در تولید خشت و تأثیرات فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی.

۴. بحث

تحلیل یافته‌های مرور ادبیات نشان داد که اگرچه روش‌های متعددی برای کاهش مصرف آب در تولید خشت پیشنهاد شده اند اما اثربخشی و امکان پذیری آن‌ها به شدت وابسته به شرایط فنی، اقلیمی و اقتصادی است. هیچ روش واحدی به‌عنوان گزینه‌ای جامع و قابل تعمیم به تمامی شرایط معرفی نشده و اغلب مطالعات بر خوب سازی یک یا چند مؤلفه محدود تمرکز داشته اند. این محدودیت نشان می‌دهد که تولید خشت پایدار و کم مصرف نیازمند یک رویکرد جامع و یکپارچه است که همزمان ابعاد فنی، محیط زیستی و اقتصادی را در نظر گیرد [14].

از منظر فنی اصلاح دانه بندی خاک و کاهش نسبت آب به خاک بیشترین توافق میان مطالعات مختلف را نشان می‌دهد. بسیاری از محققین بیان کرده اند که خاک‌های با دانه‌بندی مناسب علاوه بر کاهش نیاز به آب باعث افزایش انسجام و کاهش ترک خوردگی خشت می‌شوند. به عنوان نمونه مطالعه‌ای در هند نشان داد که افزودن ریگ‌های با دانه‌بندی

کنترول شده به خاک رس باعث کاهش قابل توجه مصرف آب در حدود 20-15 درصد و افزایش مقاومت فشاری در حدود 15-10 درصد شد. این رویکرد بدون نیاز به فناوری‌های پیچیده قابل اجرا است و برای تولید کننده گان محلی مناسب می باشد[15].

در مقابل استفاده از افزودنی ها از جمله خاکستر زغال سنگ، کاه گندم، کاه جو و سایر الیاف طبیعی و روش‌های تراکم میخانیکی اگرچه در کاهش مصرف آب مؤثر گزارش شده اند اما نتایج آن ها به شدت به نوع خاک، شرایط تولید و میزان کنترول پروسه وابسته است. به عنوان مثال استفاده از پوزولان و میکروسیلیس در برخی خاک‌های رسی باعث کاهش مصرف آب شد ولی در خاک‌های با درصد بالای ریگ تأثیر چندانی نداشت بر اساس گزارش‌های مقایسه‌ای در مطالعات مختلف از سوی دیگر تراکم میخانیکی نیازمند تجهیزات دقیق و نیروی متخصص است که ممکن است هزینه‌های اولیه را افزایش دهد. بنابراین هرچند این روش‌ها اثرگذار هستند اما قابلیت تعمیم آن‌ها به تولید سنتی محدود می‌باشد [16].
از منظر محیط‌زیستی اغلب مطالعات به مزایای کاهش مصرف آب اشاره داشته اند، مانند کاهش برداشت از منابع آب شیرین و کاهش تولید پساب. با این حال ارزیابی‌های جامع چرخه عمر[5] به ندرت انجام شده است. به عنوان مثال مصرف انرژی لازم برای تراکم میخانیکی یا تولید افزودنی ها اثرات زیست‌محیطی غیرمستقیم ایجاد می‌کند که به طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته است. برخی تحقیقات اشاره کرده اند که در صورت عدم ارزیابی کامل ممکن است برخی روش‌ها با وجود کاهش مصرف آب اثرات محیط‌زیستی کلی بیشتری ایجاد کنند این نکته اهمیت دارد که بررسی یکپارچه پایداری باید شامل همه مراحل تولید منابع انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و اثرات محلی بر اکوسیستم باشد [17].
در بعد اقتصادی شکاف قابل‌توجهی در ادبیات علمی مشاهده می‌شود. بیشتر مطالعات به بررسی عملکرد فنی محدود شده و تحلیل‌های هزینه فایده یا امکان سنجی اقتصادی به صورت نظام‌مند گزارش نشده اند. این در حالی است که قابلیت اجرای این سیاست‌ها به ویژه در مقیاس محلی و در مناطق دارای محدویت آبی، وابستگی زیادی به هزینه‌ها، دسترسی به مواد و سطح مهارت نیروی کار دارد. برای نمونه استفاده از افزودنی‌های معدنی یا تجهیزات میخانیکی ممکن است هزینه اولیه را افزایش دهد اما مطالعات پیشین به پوتانسیل ایجاد منافع اقتصادی بلندمدت اشاره کرده اند. بنابراین تحلیل همزمان فنی، محیط زیستی و اقتصادی برای تصمیم گیری صحیح ضروری است [18].
مرور ادبیات همچنین نشان می‌دهد که طرح‌های مدیریتی مانند کنترول دقیق مصرف آب و استفاده مجدد از آب علی‌رغم پوتانسیل بالای آن‌ها کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته اند. این طرز کارها می‌توانند بدون تغییر اساسی در ترکیب مواد یا تجهیزات، کاهش قابل توجهی در مصرف آب ایجاد کنند و از این رء زمینه مناسبی برای تحقیقات آینده را فراهم می‌سازند. برای نمونه بررسی استفاده مجدد از آب ناشی از خشک شدن خشت در مراحل قالب‌گیری نشان داده است که می‌تواند منجر به کاهش چشمگیر مصرف آب تازه شود در حالی که هزینه سرمایه‌گذاری اندک است و قابلیت اجرا در واحدهای سنتی وجود دارد[19].
خلاء های تحقیقاتی و مسیرهای آینده
تحلیل انتقادی مطالعات پیشین بیانگر آن است که ارزیابی اثربخشی سیاست‌های کاهش مصرف آب نیازمند توجه همزمان به ابعاد فنی، محیط زیستی و اقتصادی بوده و شکاف‌های تحقیقاتی موجود ضرورت توسعه چارچوب‌های یکپارچه و انجام مطالعات میدانی در مقیاس واقعی تولید را برجسته می سازد. خلا های پژوهشی شامل:

1. کمبود اطلاعات کمی و تجزیه و تحلیل‌های کمی دقیق: بسیاری از مطالعات اثر روش‌ها را به صورت کیفی یا با نمونه های محدود گزارش کرده اند.
2. عدم ارزیابی چرخه عمر کامل: اثرات غیرمستقیم مانند انرژی مصرفی برای تولید افزودنی‌ها و تجهیزات میخانیکی

5 - Life Cycle Assessment

نادیده گرفته شده است.

3. محدودیت مطالعات میدانی: اغلب تحقیقات در شرایط لابراتواری انجام شده و قابلیت تعمیم به تولید واقعی هنوز بررسی نشده است.
4. کم توجهی به مدیریت آب و بازیافت: راه‌های مدیریتی با پوتانشیل بالای کاهش مصرف آب کمتر مورد بررسی قرار گرفته اند.

بر این اساس، تحقیقات آینده می‌توانند بر توسعه چارچوب‌های یکپارچه‌ای متمرکز شوند که ابعاد فنی، محیط‌زیستی و اقتصادی را به‌طور همزمان ارزیابی کنند همچنین انجام مطالعات میدانی در مقیاس واقعی تولید به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می-تواند به افزایش قابلیت تعمیم نتایج و ارائه طرح‌های کاربردی تر منجر شود. یکی دیگر از مسیرهای مهم بررسی ترکیب از بخش-های فنی و مدیریتی است به عنوان مثال ترکیب اصلاح دانه بندی خاک با بازیافت آب و کنترل دقیق مراحل قالب گیری می‌تواند اثر سینرژیک داشته و کاهش مصرف آب بیشتری ایجاد کند. تحلیل مقایسه‌ای این رویکردها در مقیاس واقعی تولید و ارزیابی هزینه فایده آن‌ها می‌تواند راهنمای تولید کننده‌گان و سیاست گذاران باشد.همچنین توسعه فناوری‌های مقرون به صرفه برای بازیافت آب و استفاده از افزودنی‌های طبیعی با تأثیر کم بر هزینه و محیط‌زیستی از دیگر مسیرهای تحقیقاتی آینده محسوب می شود. بررسی اثرات اجتماعی اقتصادی این روش‌ها، مانند اشتغال زایی محلی، کاهش هزینه انرژی و بهبود کیفیت زندگی در جوامع محلی نیز می‌تواند ارزش افزوده قابل توجهی برای مطالعات آتی ایجاد کند.

در نهایت، در شکل 3 نشان داده شده است که تحلیل انتقادی ادبیات موجود نشان می‌دهد که تولید خشت پایدار و کم مصرف تنها با ترکیب راهکارهای فنی، مدیریتی و اقتصادی قابل تحقق است و تحقیقات آینده باید با رویکردی جامع، داده‌های کمی دقیق و مطالعات میدانی، خلاهای موجود را پر کرده و مسیرهای کاربردی برای کاهش مصرف آب در تولید خشت ارائه دهند.



شکل3. نمایش مفهومی نتایج تحلیل انتقادی مطالعات پیشین درباره راهکارهای کاهش مصرف آب در تولید خشت و پیامدهای آن‌ها

۵. نتیجه گیری

مرور جامع ادبیات علمی نشان داد که کاهش مصرف آب در تولید خشت امکان پذیر است و با روش‌های فنی، محیط زیستی و اقتصادی متنوعی قابل دستیابی است. اصلاح دانه بندی خاک، کاهش نسبت آب به خاک، بهتر سازی پروسه قالب گیری و تراکم، استفاده از افزودنی ها و الیاف طبیعی و به کارگیری رویکردهای مدیریتی و بازیافت آب از جمله

روش‌هایی هستند که در مطالعات مختلف به اثربخشی آن ها تأکید شده است.
از منظر فنی بسیاری از این راهکارها می‌توانند بدون افت کیفیت میخانیکی و دوام خشت مصرف آب را کاهش دهند. از لحاظ محیط زیستی کاهش برداشت از منابع آب شیرین و کاهش تولید پساب مهم‌ترین پیامد مثبت این اقدامات است. همچنین برخی طرح ها با هزینه‌های کم و قابلیت اجرای آسان به ویژه در مقیاس محلی از منظر اقتصادی نیز مطلوب ارزیابی شده اند هرچند برخی افزودنی ها یا تجهیزات میخانیکی ممکن است هزینه اولیه را افزایش دهند.
بررسی ها همچنین نشان داد که خلأ های پژوهشی مهمی وجود دارد از جمله کمبود ارزیابی های جامع چرخه عمر، تحلیل‌های اقتصادی دقیق و مطالعات میدانی در شرایط واقعی تولید. پژوهش‌های آینده می‌توانند با تمرکز بر توسعه چارچوب‌های یکپارچه بررسی هم زمان ابعاد فنی، محیط زیستی و اقتصادی و اجرای آزمایش‌های میدانی قابلیت تعمیم نتایج و کاربرد عملی روش‌های کاهش مصرف آب در تولید خشت را افزایش دهند.
در مجموع این تحقیق نشان می‌دهد که دستیابی به تولید پایدار خشت با مصرف آب نه تنها امکان پذیر است بلکه با رویکردهای صحیح می‌تواند به کاهش فشار بر منابع آب، بهبود عملکرد فنی مصالح و کاهش هزینه‌های تولید منجر شود. ارائه چنین چارچوبی می‌تواند راهنمایی عملی و علمی برای تولید کننده‌گان، پژوهشگران و سیاست گذاران در حوزه مصالح ساختمانی پایدار فراهم آورد.

۶. مآخذ

[1] R. E. A. Elhady, D. Tarek, M. M. Ahmed, A. Yousef, and A. Ragab, "Energy efficiency and economic feasibility of bio-waste-enhanced clay bricks in hot-arid climates," J. Eng. Appl. Sci., vol. 72, no. 1, p. 67, 2025, doi: 10.1186/s44147-025-00636-6.

[2] S. Ngaram, "Effects of Moisture Content on Thermal Properties of Adobe Bricks as a Sustainable Building Material," Am. J. Appl. Sci., vol. 17, pp. 50–55, Jan. 2020, doi: 10.3844/ajassp.2020.50.55.

[3] A. Alnahar, K. Abolkhair, H. Albrithen, and A. Altassan, "The Effect of Timing Polymer Fiber Addition on the Compressive Strength of Adobe Bricks: Towards an Approach Compatible with Sustainable Architecture," Buildings, vol. 15, p. 4565, Dec. 2025, doi: 10.3390/buildings15244565.

[4] A. Detho et al., "Improvement of engineering properties and environmental impact of fired clay bricks utilizing industry sludge waste," Sci. Rep., vol. 15, Feb. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-89147-1.

[5] M. Masloumi, O. Nassiri, A. Abbassi, H. Ghouate, and M. Belaqziz, "Development of ecoefficient composite bricks from river sediments and snail shell waste," Discov. Environ., vol. 3, p. 263, Dec. 2025, doi: 10.1007/s44274-025-00437-x.

[6] T. Ashour, A. Korjenic, A. Abdelfattah, E. Sesto, and W. Wu, "Shrinkage Behavior of Stabilized Earth Bricks Reinforced with Wheat and Barley Straw," Sustainability, vol. 15, p. 16254, Nov. 2023, doi: 10.3390/su152316254.

[7] W. Abbass et al., "Manufacturing of Sustainable Untreated Coal Ash Masonry Units for Structural Applications," Materials (Basel)., vol. 15, p. 4003, Jun. 2022, doi: 10.3390/ma15114003.

[8] R. Cruz, J. Bogas, A. Balboa, and P. Faria, "Water Resistance of Compressed Earth Blocks Stabilised with Thermoactivated Recycled Cement," Materials (Basel)., vol. 17, p. 5617, Nov. 2024, doi: 10.3390/ma17225617.

[9] I. Bouchefra, H. Er-radi, F. Z. El Wardi, H. Chehouani, and B. Benhamou, "A brief review of earth materials stabilization," Clean. Waste Syst., vol. 12, p. 100345, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100345.

[10] A. W. Bruno, B. Scott, Y. D'Offay-Mancienne, and C. Perlot, "Recyclability, durability and water vapour adsorption of unstabilised and stabilised compressed earth bricks," Mater. Struct., vol. 53, no. 6, p. 149, 2020, doi: 10.1617/s11527-020-01585-7.

[11] V. Mora-Ruiz, J. Soto, S. Attia 阿提亚 沙帝, and C. Mejía Parada, "Sustainable Earthen Construction: A Meta-Analytical Review of Environmental, Mechanical, and Thermal Performance," Buildings, vol. 15, p. 918, Mar. 2025, doi: 10.3390/buildings15060918.

[12] J. Ambrose, G. V, R. Geethan, M. Gobirajan, and M. Venkatesh, "Earthen blocks with natural fibres - A review," Mater. Today Proc., vol. 45, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.01.434.

[13] H. Danso, "Improving Water Resistance of Compressed Earth Blocks Enhanced with Different Natural Fibres," Open Constr. Build. Technol. J., vol. 11, pp. 433–440, Dec. 2017, doi: 10.2174/1874836801711010433.

[14] T. Ramos and S. Caeiro, "Meta-performance evaluation of sustainability indicators," Ecol. Indic., vol. 10, pp. 157–166, Mar. 2010, doi: 10.1016/j.ecolind.2009.04.008.

[15] P. Dhandhukia, D. Goswami, P. Thakor, and J. Thakker, "Soil property apotheosis to corral the finest compressive strength of unbaked adobe bricks," Constr. Build. Mater., vol. 48, pp. 948–953, Nov. 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.07.043.

[16] C. Turco, A. Campos de Paula Junior, C. Jacinto, J. Fernandes, E. R. Teixeira, and R. Mateus, "Influence of Particle Size on Compressed Earth Blocks Properties and Strategies for Enhanced Performance," Appl. Sci., vol. 14, p. 1779, Feb. 2024, doi: 10.3390/app14051779.

[17] D. Arduin, L. Caldas, R. Paiva, and F. Rocha, "Life Cycle Assessment (LCA) in Earth Construction: A Systematic Literature Review Considering Five Construction Techniques," Sustainability, vol. 14, p. 13228, Oct. 2022, doi: 10.3390/su142013228.

[18] S. Ria, Sustainable Construction Materials for Rural Development Projects. 2025. doi: 10.2139/ssrn.5575390.

[19] D. Pandey, Challenges and Sustainable Solutions in Semi-Arid Environments. 2025. doi: 10.13140/RG.2.2.24190.09281.

بیوگرافی مؤلفین

محمدعارف کوشیار فارغ‌التحصیل دوکترای رشته انجنیری ساختمانی با تخصص در بخش استرکچر از پوهنتون سمنان کشور ایران می‌باشد. وی اسناد ماستری را در (2014) و لسانس را در (2007) خود را نیز در رشته ساختمانی از پوهنتون پولی‌تخنیک کابل اخذ کرده است. در حال حاضر، ایشان به عنوان استاد در پوهنتون پولی‌تخنیک کابل فعالیت دارند.
وی دارای تجربه گسترده در حوزه‌های علمی و حرفه‌ای می‌باشد. او سابقه کار به عنوان انجنیر ناظر و معاون پروژه در وزارت دفاع ملی افغانستان، آمر پروژه اقامتگاه رئیس‌جمهور پیشین افغانستان حامد کرزی با شرکت هربرود را دارد. ایشان همچنان کارشناس ساخت و ساز در ادارهٔ امور ریاست جمهوری افغانستان و انجنیر دیزاین در وزارت شهرسازی و مسکن و دیگر پروژه‌های سطح بالا بوده است. وی تاکنون 10 مقاله در نشریات ملی و بین‌المللی منتشر کرده است که سهم قابل توجهی در پیشبرد دانش در حوزه تخصصی خود داشته است.

ابوالقاسم راشد در حال حاضر دانشجوی دوکترای رشته در پوهنتون پولی‌تخنیک کابل می‌باشد. ایشان مدرک ماستری خود را در رشته ساختمانی در سال 2025 و مدرک لسانس خود را نیز در همین رشته از پوهنتون پولی‌تخنیک کابل اخذ کرده است.
وی هم‌اکنون به عنوان استاد در پوهنخی ساختمانی، دیپارتمنت رسم و تخنیک و هندسی ترسیمی، پوهنتون پولی‌تخنیک کابل فعالیت می‌کند. آقای راشد پیش‌تر به عنوان انجنیر ساختمانی در وزارت فواعد عامه افغانستان مشغول به کار بوده و از طریق همکاری با شرکت‌های مختلف انجنیری در سراسر افغانستان، تجربه حرفه‌ای گسترده‌ای در بخش ساخت و ساز کسب نموده است.

نثاراحمد کریم‌زاد فارغ‌التحصیل دوکترای رشته انجنیری ساختمان با تخصص استرکچر از انستیتوت تکنالوژی ازمیر کشور ترکیه می‌باشد. ایشان مدرک ماستر خود را در سال 2015 از همین انستیتوت دریافت کرده و مدرک لسانس خود را نیز در سال 2009 از پوهنتون پولی‌تخنیک کابل اخذ کرده است. وی در حال حاضر به عنوان استاد در پوهنتون پولی‌تخنیک کابل فعالیت می‌کند. علاوه بر وظایف علمی، ایشان سابقه همکاری با چندین شرکت خصوصی و سازمان‌های غیر دولتی به عنوان انجنیر ساختمانی را نیز دارد. تاکنون پنج مقاله در نشریات ملی و بین‌المللی منتشر کرده است که سهم قابل توجهی در پیشبرد دانش در حوزه تخصصی وی داشته است.

محمد علی قاضی‌زاده فارغ‌التحصیل رشته انجنیری ساختمانی(صنعتی و مدنی) از پوهنتون پولی‌تخنیک کابل می‌باشد. وی دارای سند تصدیق CNS (مخابرات، ناوبری طیاره و نظارت) از انستیتوت هوانوردی ملکی افغانستان می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی محمد علی قاضی‌زاده بیشتر بر مصئونیت پروژه‌های ساختمانی متمرکز بوده و وی در تحقیقات خود تحلیل تخنیکی خطرات را با عوامل رفتاری و روانی کارگران ترکیب نموده است. وی دارای یک مقاله علمی بین‌المللی بود که در توسعه دانش مصئونیت پروژه‌های ساختمانی سهم قابل توجهی داشته است.