معماری گلین، گزینه صنعت ساختمان برای مدیریت بحران کم‌آبی مقایسه تحلیلی مصرف آب در یک بنای نمونه با سه سازه فولادی، بتنی و گلین

محسن عباسی هرفته*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۲۱

چکیده
آمار و ارقام دقیقی از میزان مصرف آب در صنعت ساختمان کشور (چه آبی که مستقیماً در این فرایند مصرف می‌شود و چه آب پنهان) وجود ندارد. اساساً بین سیستم‌های معمول ساخت‌وساز با سیستم‌های جایگزینی که می‌توانند مطرح باشند اولویت‌سنجی از حیث آب خواهی صورت نگرفته است. نظر به اینکه بحران کم‌آبی در ایران بسیار جدی است و صنعت ساختمان به‌عنوان یکی از آب‌خوارترین صنایع مطرح است، این مقاله با چشم‌انداز کاهش مصرف آب ازطریق انتخاب بهینه سیستم سازه‌ای ساختمان‌های عرفی که در کشور ساخته می‌شوند این هدف را دنبال می‌کند که میزان آب مصرفی سیستم‌های فولادی و بتنی مرسوم در نظام ساخت‌وساز کشور را با سیستم سازه‌های گلین، که در دنیا مجدداً مطرح شده است و البته شیوه‌های سنتی آن سابقه‌ای طولانی دارد، مقایسه نماید. لذا دو سؤال مطرح است؛ نخست آنکه میزان مصرف آب در مرحله سفت‌کاری ساختمان‌های عرفی در کشور چگونه است؟ پس‌ازاین سؤال و با هدف رسیدن به شیوه‌ای مناسب (با نیاز آبی کمتر)، سؤال اصلی مقاله مطرح شده است که نسبت مصرف آب برای اجرای سفت‌کاری سازه‌های معمول (بتنی و فلزی) در مقایسه با سازه‌های گلین (خاکی) چگونه است؟ روش کار در قالب مطالعات کتابخانه‌ای برای استخراج میزان آب مصرفی در مواردی که آمارهای معتبر وجود دارد و در موارد نبود اطلاعات معتبر به شیوه آزمایشگاهی و کارگاهی برای رسیدن به داده‌های قابل‌اطمینان بوده و در همه این موارد حذف انحراف معیارها و اصل سه سویه‌سازی لحاظ شده است. نتایج به‌دست‌آمده حکایت از آن دارد که ساختمان‌هایی با سازه گلین بین ۷ تا ۱۵ درصد نمونه‌های مشابهشان با سازه‌های فولادی و بتنی آب مصرف می‌کنند؛ به تعبیری دیگر در احداث هر مترمربع از ساختمان حداقل ۲۵۰۰ لیتر آب صرف جویی می‌شود.

کلمات کلیدی: ساختمان عرفی، معماری گلین، کم‌آبی، صنعت ساختمان، صنایع ساختمانی آب‌خوار.

* استادیار، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری دانشگاه یزد، یزد، ایران. abbasi@yazd.ac.ir

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-09]

[DOI: DOI: 10.22034/41.178.63]

مقدمه

صنعت ساختمان امروزه از صنایع مهاجم زیست‌محیطی محسوب می‌شود که با آلوده کردن آب، خاک و هوا از یک‌سو و مصرف منابع و انرژی‌های تجدیدناپذیر از سوی دیگر و همین‌طور تولید نخاله‌های ساختمانی نگرانی‌های جدی را ایجاد کرده است. مطابق آمار حدود ۳۵ درصد تولید گازهای گلخانه‌ای به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم مربوط به صنعت ساختمان است (قالیبافان، ۱۳۸۲). این صنعت پیوند قوی با دو صنعت سیمان و فولاد دارد که ازجمله بزرگ‌ترین صنایع آلاینده دنیا محسوب می‌شوند (Tapali & Papadakis, 2012; Kumar Mehta, 2001; UNIDO, 2014). صنایع فولاد و سیمان وابسته به صنعت ساختمان، حجم عمده گازهای گلخانه‌ای دنیا را تولید می‌کنند (Trudeau et al., 2011). ۷ درصد دی‌اکسید کربن اضافه‌شده به اتمسفر به ازای تولید جهانی سالانه ۱/۶ میلیارد تن سیمان است (Kumar Mehta, 2001). با هر تن سیمان، نزدیک به یک تن دی‌اکسید کربن تولید می‌شود (Bremner, 2001; Trudeau et al., 2011). همین‌طور سالانه بالغبر ۱۲ میلیارد تن از خاک طبیعی زمین به‌عنوان سنگ‌دانه‌ها بتن مصرف می‌شود (Kumar Mehta, 2001) که زمان بازگشت دوباره آن‌ها به طبیعت روشن نیست. دو صنعت فولاد و سیمان، جزء سه صنعت نخست انرژی خوار دنیا محسوب می‌شوند و درمجموع، نزدیک به ۳۰ درصد مصرف انرژی دنیا را به خود اختصاص داده‌اند (Trudeau et al., 2011). بالغبر ده درصد انرژی مصرفی صنایع جهان فقط به صنعت سیمان اختصاص دارد (Tapali & Papadakis, 2012). باید اضافه کرد که ۴۰ تا ۵۰ درصد زباله‌ها و نخاله‌های تولیدشده دنیا مربوط به صنعت ساختمان است (قالیبافان، ۱۳۸۲).

تولید سالانه نخاله‌های بنایی ساختمان‌های فولادی و بتنی رقم قابل‌توجهی است؛ فقط در اروپا، آمریکا و ژاپن سالانه ۹۰۰ (نهصد) میلیون تن نخاله ساختمانی تولید می‌شود، حال‌آنکه بیش از نیمی از تولید بتن دنیا توسط چین و هند تولید می‌شود و می‌توان حدس زد که عدد جهانی چندین برابر این عدد است (wbcsd, 2009).

ازجمله مشکلات زیست‌محیطی صنعت ساختمان، در دنیا به‌طور عام و در کشور ما به‌طور خاص، آب‌خوار بودن آن است (فولادنیوز، ۱۳۹۵)؛ به‌خصوص در ایران که با بحران کم‌آبی مواجه است. تا آنجا که دو صنعت فولاد و سیمان از آب‌خوارترین صنایع وابسته به صنعت ساخت‌وساز محسوب می‌شوند. تمرکز مقاله بر مصرف آب در ساختمان‌های عرفی در کشور است و مراد ساختمان‌های زیر سه‌طبقه‌ای است که با اسکلت فلزی و بتنی بیشتر در خارج از کلان‌شهرها ساخته می‌شود و حجم قابل‌توجهی را شامل می‌شوند. با هدف کاهش میزان مصرف آب در ساخت‌وساز ازطریق انتخاب بهینه سیستم سازه‌ای و ایفای نقش مثبت صنعت ساختمان در بحران کم‌آبی سعی می‌شود به دو سؤال پاسخ داده شود؛ نخست آنکه میزان مصرف آب در مرحله سفت‌کاری ساختمان‌های عرفی در کشور چگونه است[1]؟ پس‌ازاین سؤال و با هدف رسیدن به شیوه‌ای مناسب (با نیاز آبی کمتر)، سؤال اصلی مقاله مطرح شده است که نسبت مصرف آب برای اجرای سفت‌کاری سازه‌های معمول (بتنی و فلزی) در مقایسه با سازه‌های گلین (خاکی) چگونه است؟

ادبیات موضوع

اگرچه در خصوص مقایسه مصرف آب مربوط به ساخت ابنیه نوین خاکی با سیستم‌های معمول ساختمانی پژوهشی رؤیت نشد، اما برخی پژوهش‌ها با موضوع مصرف آب صنعت ساختمان و سیستم‌های

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-09]
[DOI: DOI: 10.22034/41.178.63]

معمول آن مثل (سازه‌های فلزی و بتنی) انجام گرفته است. اساساً توجه به مقوله مصرف آب در ساخت‌وساز در ایران موضوع جدیدی است و تاکنون ارزانی و دسترس‌پذیری آب، توجه متخصصین را کمتر به این حوزه جلب کرده است ولی در برخی کشورهای دیگر در زمینه مقادیر آب مصرفی صنعت ساختمان مطالعاتی انجام شده است؛ هرچند حتی در کشورهای توسعه‌یافته هم اطلاعات محدودی در موضوع مصرف آب در صنعت ساخت‌وساز وجود دارد (Bardhan, 2011, 94). تحقیقی در زمینه آب مصرفی در ساخت‌وساز در استرالیا صورت گرفته که در آن آب موردنیاز در ساخت یک خانه عرفی تقریباً برابر با ۱۵ سال مصرف آب در دوران بهره‌برداری محاسبه شده است (Treloar et al., 2004). مطالعه دیگری آب مصرفی ساخت یک ساختمان تجاری را حدود ۵۴ مترمکعب در هر مترمربع ساختمان دانسته است (Crawford & Treloar, 2005). مکرمک و همکاران تعدادی بنای غیرمسکونی را باز در استرالیا مطالعه کردند و آب مصرفی در ساخت‌وساز آن‌ها را حدود ۲۰ مترمکعب برای هر مترمربع زیربنا برآورد کردند (McCormack et al., 2007, 161). یک محقق انگلیسی هم آب مصرفی تولید مصالح و حین فرایند ساخت خانه‌ای نمونه را محاسبه کرده است (Brathwaite, 2009). تحقیقی دیگر بر روی یک ساختمان مسکونی و ساکنانش در استرالیا نشان می‌دهد مصرف آب حین ساخت‌وساز حدود ۳۰ مترمکعب در مترمربع است که با مصرف آب بهره‌برداری از همان ساختمان در طول ۵۰ سال برابری می‌کند (Crawford & Pullen, 2011)؛ تحقیقی دیگر در دهلی‌نو نیز که برای یک هتل صورت گرفته است این رقم را تأیید می‌کند (Choudhuri, 2015). «باردهان» در سال ۲۰۱۱ میلادی با بررسی ساختمان‌های مسکونی چندطبقه بتنی و فولادی در هند مصرف آب برای هر مترمربع در یک ساخت‌وساز معمول شهری را در حدود ۲۷ مترمکعب معرفی کرده که حدوداً با آب مصرفی ۳۴ خانواده ۵ نفره در طول یک سال در همان شهر برابری می‌کند. عمده این مصرف به فرایند تولید مصالح برمی‌گردد. نهایتاً منگ و همکاران در پیمایشی که سال ۲۰۱۴ میلادی انجام دادند آب مصرفی برای ساخت ۶ ساختمان در پکن را حدود ۲۰ مترمکعب در هر مترمربع زیربنا محاسبه کردند (شاه‌حسینی، شکوهیان و درخشان، ۱۳۹۴). این مطالعات حکایت از آن دارد که بخش عمده این آب‌خواری به فرایند تولید مصالح ساختمانی برمی‌گردد و فولاد و سیمان بیشترین سهم را در این میان دارند (Ferriz Papi, 2012).

متأسفانه در ایران علی‌رغم جدی بودن موضوع، تحقیقات بسیار کمی در این زمینه صورت گرفته است. از سوی دیگر آمار و اطلاعات دقیقی از مصرف آب در ساختمان و صنایعی که مصالح ساختمانی را تولید می‌کنند وجود ندارد و موارد در دسترس هم به علت استاندارد نبودن و کیفیت مختلف خطوط تولید کارخانه‌ها و کارگاه‌ها بسیار متنوع است.

در تحقیقی در تهران درباره آب موردنیاز تولید مصالح و ساخت دو برج مسکونی با اسکلت‌های فولادی و بتنی مشخص شد که مقدار آب مصرفی برای برج فولادی معادل ۱۱ و برای برج بتنی حدود ۶ مترمکعب در هر مترمربع زیربنا است (بهادری نژاد و فطانت دیدار، ۱۳۸۲). میزان مصرف بالای آب در این مقایسه نشان می‌دهد که می‌توان با انتخاب دقیق‌تر سیستم‌های ساختمانی و مصالح مربوط به آن نقش مؤثری در صرفه‌جویی آب ایفا کرد و از مصرف بی‌رویه آن جلوگیری نمود. در تحقیق دیگری در ایران مشخص

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-09]
[DOI: DOI: 10.22034/41.178.63]

شده که نوع سیستم‌های ساختمانی می‌تواند در مصرف آب صنعت ساخت‌وساز بسیار تأثیرگذار باشد؛ در این تحقیق به ترتیب سیستم‌های رایج کشور از منظر آب‌خواری محاسبه و معرفی شده‌اند (ضیایی و عباسی هرفته، ۱۳۹۷).

از تفاوت و کم بودن آمارهای ارائه‌شده می‌توان دریافت با وجود تحقیقات صورت‌گرفته، هنوز نیازمند محاسبه و استخراج اطلاعات بیشتر و دقیق‌تر در خصوص آب مصرفی ساختمان در ایران هستیم. از سوی دیگر ازآنجاکه روش‌های ساخت‌وساز و نحوه تولید مصالح در هر منطقه‌ای می‌تواند متفاوت باشد و باتوجه‌به اینکه فعالیت علمی و قابل‌توجهی در این زمینه در کشور صورت نگرفته است، تحقیقات بیشتر وجدی‌تر در این حوزه در کشور ما باتوجه‌به بحران جدی کم‌آبی و آب‌خواری قابل‌توجه صنعت ساخت‌وساز یک ضرورت حیاتی به شمار می‌رود.

روش تحقیق

در این پژوهش میزان متوسط آب مصرفی در فرایند ساخت‌وساز در قالب دوره سه‌ساله پژوهش میدانی در کارگاه‌های ساختمانی و کارخانه‌های تولید مصالح در کنار مصاحبه با کارشناسان صنایع موردنظر و گردآوری آمار پراکنده در منابع مکتوب استخراج شده است؛ کاری که باتوجه‌به کمبود آمار و ارقام با دشواری بسیار همراه بود و از این حیث مقاله می‌تواند برای سایر پژوهش‌های مرتبط، نقش مرجع را داشت باشد. در این مسیر اطلاعات پراکنده و خام موجود در زمینه آب مصرفی تولید مصالح ساختمانی و اجرای ساختمان (تا مرحله سفت‌کاری) گردآوری و پس از صحت سنجی، حذف انحراف معیارها و رعایت اصل سه سویه‌سازی برای استخراج میزان آب مصرفی دو سیستم رایج ساختمان‌سازی در کشور (فولادی و بتنی) مورداستفاده قرار گرفت.

برای محاسبه آب مصرفی ساختمان‌های گلین از روش شبیه‌سازی کارگاهی و آزمایشگاهی استفاده شده است و برای روایی مقادیر به‌دست‌آمده از تکنیک سه سویه‌سازی بهره گرفته شده است؛ به‌نحوی‌که در سه کارگاه مختلف و توسط سه گروه متفاوت شبیه‌سازی‌ها صورت گرفته و مقادیر به دست آمد. باتوجه‌به اینکه در داده‌های حاصل از انحراف معیار مشاهده نشد، پس از کنترل با استادکاران سنتی، میانگین مقادیر به‌دست‌آمده به‌عنوان داده نهایی مورد استناد قرار گرفت. نهایتاً بر مبنای اطلاعات به‌دست‌آمده در قالب یک ساختمان فرضی به‌عنوان نمونه موردی، آب موردنیاز برای تولید مصالح این ساختمان و همین‌طور آب موردنیاز در کارگاه برای اجرای آن، برای دو گونه رایج اجرا در کشور یعنی اسکلت فلزی و بتنی محاسبه و با دو نمونه مشابه با سازه گلین (خشتی و دیوار خاک کوبیده) مقایسه گردید.

مصرف آب در اجرای ساختمان بتنی و فولادی

امروز عمده ساخت‌وسازهای کشور با سیمان، فولاد و فراورده‌های آن‌ها است؛ مصالحی که بر اساس مستندات موجود بسیار آب‌بر بوده و صنعت ساخت‌وساز را به صنعتی «آب‌بر» بدل نموده‌اند. در ادامه مبتنی بر منابع ارائه‌شده، میزان آب مصرفی در تولید مصالح ساختمانی رایج در کشور ارائه شده است[۲].

آب مصرفی سازه‌های سیمانی

بتن پرمصرف‌ترین ماده مصنوع دنیا (wbcsd, 2009; Tapali & Papadakis, 2012) و پرکاربردترین مصالح ساختمانی در ایران به شمار می‌رود (دفتر مقررات ملی ساختمان،۱۳۹۵). آب یکی از مواد اصلی در فرایند ساخت بناهای بتنی است به‌نحوی‌که این صنعت از صنایع آب‌خوار دنیا محسوب می‌شود (Tapali &

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-09]
[DOI: DOI: 10.22034/41.178.63]

Papadakis, 2012; Kumar Mehta, 2001). در آغاز قرن بیستم در صنعت ساخت بتن در هر سال حدود یک تریلیارد لیتر آب شیرین فقط برای تولید سیمان مصرف می‌شد[3] (قالیبافان،۱۳۸۲؛ Kumar Mehta, 2001). در سال ۱۳۹۳ ایران برای تولید ۷۰ میلیون تن سیمان (ماهنامه فناوری سیمان، ۱۳۹۳)، حدود ۳۵ میلیارد لیتر آب شیرین مصرف کرد. به این میزان آب مصرفی باید آبی که بابت تولید بتن مصرف می‌شود مانند شست‌وشوی سنگ‌دانه‌ها و ماشین‌آلات، عمل‌آوری و نگهداری مرطوب بتن نیز اضافه کرد که این رقم را چندین برابر می‌کند.

مصرف آب برای تولید سیمان

آب در فرایند تولید سیمان در تولید دوغاب مواد خام، خنک‌سازی تجهیزات، مصرف آزمایشگاهی و پرسنلی کارخانه مصرف می‌شود. بخشی از این آب به چرخه برمی‌گردد و بخشی دیگر به‌واسطه تبخیر، نشت و ... مصرف می‌شود. منظور از آب مصرفی در اینجا میزان آبی است که برای تولید هر کیلوگرم سیمان، مصرف می‌شود و باید در چرخه تولید جایگزین شود. هرچند آب مصرفی برای تولید سیمان بسته به روش تولید، نوع و کیفیت ماشین‌آلات، ظرفیت تولید و سیستم‌های صرفه‌جویی می‌تواند متفاوت باشد اما به‌طور متوسط آب موردنیاز برای تولید هر کیلوگرم سیمان در کشور ما بین ۰/۴ تا ۰/۵ لیتر محاسبه شده است[4] (چهرگانی، ۱۳۹۱). آمار اخذشده از کارخانه‌های تولیدکننده نیز این عدد را تأیید می‌کند[5].

آب مصرفی برای تولید بتن

آب در چهار مرحله عمده در شکل‌گیری یک بنا با ترکیبات سیمانی مورداستفاده قرار می‌گیرد:

الف- برای شستن سنگ‌دانه‌ها (شن و ماسه)؛

ب- به‌عنوان یکی از اجزای متشکل ترکیب سیمانی؛

ج- برای عمل‌آوری؛

د- شست‌وشوی ماشین‌آلات.

در اکثر اختلاط‌ها آب مناسب بدین منظور آبی است که برای نوشیدن مناسب باشد (بروکس و نویل، ۱۳۷۴، ۸۱). هرچند میزان دقیق مواد مصرفی برای تهیه یک مترمکعب ترکیبات سیمانی به طرح اختلاط، عیار و نوع دانه‌بندی شن و ماسه بستگی دارد اما به‌طور متوسط، میزان مواد مصرفی برای تولید یک مترمکعب بتن ساختمانی در کشور که عیار متوسط ۳۵۰ را دارد[6]، شامل:

- شن و ماسه به میزان ۱۹۰۰ کیلوگرم؛
- سیمان به میزان ۳۵۰ کیلوگرم؛
- آب به میزان ۱۵۰ لیتر

است (قالیبافان، ۱۳۸۲؛ کیمیا بتن، ۱۳۹۶). میزان آب مصرفی برای عمل‌آوری هر مترمکعب بتن باتوجه‌به حداقل زمانی که باید بتن مرطوب نگه داشته شود، ۲۵۰ لیتر محاسبه گردید. نهایتاً مطابق محاسبه انجام‌شده در جدول شماره ۱، برای تولید هر مترمکعب از این ترکیب سیمانی رایج در ساخت‌وساز عرفی کشور به‌طور متوسط حدود ۱۴۰۰ لیتر آب مصرف می‌شود.

آب مصرفی سازه‌های فولادی

فولاد ازجمله صنایع آب‌خوار جهان به شمار می‌رود. در سال ۲۰۱۵، یک میلیارد و ششصد و شش میلیون تن فولاد در جهان تولید شده است (Worldsteel, 2016(a)) و اگر شاخص جهانی مصرف آب برای تولید هر کیلوگرم فولاد را بپذیریم (هشت لیتر آب برای هر کیلوگرم فولاد) این به معنای مصرف حدود ۱۳ تریلیارد لیتر آب است که البته مصرف واقعی آب در این صنعت حداقل ۲/۵ برابر این عدد است؛ از این مقدار فولاد تولیدی، حدود نیمی از آن در صنعت ساخت‌وساز مصرف می‌شود (AISI, 2015; Worldsteel, 2016(b)).

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-09]
[DOI: DOI: 10.22034/41.178.63]

تولید فولاد کشور در سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵، نزدیک به ۱۵ میلیون تن بوده که نزدیک به نیمی از آن فقط برای صنعت ساخت‌وساز استفاده شده است (بانک خاورمیانه، ۱۳۹۴؛ آداب و همکاران، ۱۳۹۹) که برای این مقدار فولاد تولیدی و نوردشده ساختمانی در یک سال حداقل ۴۵۰ میلیارد لیتر آب مصرف شده است.

در فرایند تولید آهن، از آب عمدتاً به‌عنوان خنک‌کننده، غبارزدایی مواد اولیه، تمیزکاری سطوح، تهیه محلول‌ها، منابع بخار و فیلترهای کنترل آلودگی هوا و درنهایت مصارف شست‌وشو استفاده می‌شود. بر اساس شاخص جهانی فولاد برای تولید هر کیلوگرم فولاد به ۸ لیتر آب نیاز است که این شاخص در میان فولادسازان ایرانی به خاطر استفاده از فناوری‌های گوناگونی متغیر است (طاهری‌زاده، ۱۳۹۵). همانند سیمان، میزان مصرف آب به ازای تولید هر تن فولاد به عوامل مداخله‌گر زیادی چون تکنولوژی تولید، نوع ماشین‌آلات و ... وابسته است. اما جمع‌بندی اطلاعات از منابع مختلف در کشور حکایت از آن دارد که برای تولید هر کیلوگرم شمش فولاد به‌طور متوسط بالغبر ۲۰ لیتر آب مصرف می‌شود[۷] (محمدی،۱۳۹۴؛ بهادری نژاد و فطانت دیدار، ۱۳۸۲؛ تولائیان، ۱۳۹۳)؛ عدد دقیق‌تر پس از تحقیقات تکمیلی میدانی ۲۱/۵ لیتر است. از سوی دیگر در طی فرایند نورد گرم فولاد برای تهیه پروفیل‌های آهن ساختمانی، به ازای هر کیلوگرم فولاد در منابع مختلف بین ۴/۳ لیتر (شرکت ملی فولاد ایران و همکاران، ۱۳۹۶، ۴۹۰) تا ۷ لیتر(مصاحبه با کارشناسان واحد کولینگ فولاد مبارکه اصفهان، آبان ماه ۱۳۹۵) آب ذکر شده است (جدول شماره ۲).

ج۱. نحوه محاسبه میزان مصرف آب برای تولید و گیرش یک متر مکعب بتن

مواد تشکیل دهنده یک متر مکعب بتن	نوع	شن و ماسه	سیمان	آب
	میزان (بروکس وآدام، ۱۳۷۴)	۱۹۰۰ کیلوگرم	۳۵۰ کیلوگرم	۱۵۰ لیتر
	میزان مصرف آب برای شست‌وشو و تولید هر جزء	۰/۴ (لیتر در هر کیلوگرم)	۰/۴۵ (لیتر در هر کیلوگرم)	
	میزان آب مصرفی برای تولید هر متر مکعب بتن	۷۶۰ لیتر	۱۵۷/۵ لیتر	۱۵۰ لیتر
	میزان آب مصرفی برای شست‌وشوی تراک بتن (شکرچی زاده و میرزایی، ۱۳۸۸؛ پیدایش، ۱۳۸۴؛ کیمیا بتن، ۱۳۹۶)	۱۰۰ لیتر برای هر متر مکعب		
	میزان آب مصرفی برای عمل آوری (نگهداری مرطوب) هر متر مکعب	۲۵۰ لیتر		
	کل آب مصرفی به ازای هر مترمکعب بتن	≈ ۱۴۱۷ لیتر		

ج۲. میزان مصرف آب برای تولید یک کیلوگرم آهن ساختمانی

میزان مصرف آب برای تولید هر کیلوگرم فولاد خام (در فرایند تولید شمش)	۲۱/۵ لیتر
میزان آب مصرفی برای تولید هر کیلوگرم آهن ساختمانی (در فرایند نورد)	۵ لیتر

لزوم یک تغییر

محاسبات صورت‌گرفته که در شکلی حداقلی و خوش‌بینانه صورت پذیرفته[۸]، حکایت از مصرف بالای آب در ساختمان‌های بتنی و فولادی دارد. اگرچه امروزه برای کاهش استفاده از آب در فرایند تولید سیمان، بتن و فولاد، تلاش‌های قابل‌تقدیری در حال انجام است و توصیه‌نامه‌های بین‌المللی دائماً صنایع را بر اهمیت و ضرورت این مهم متذکر می‌شوند[۹]، اما این تلاش‌ها فقط می‌تواند مشکل ذاتی و خسارات این صنایع به انسان و زیست‌بوم او را کم کند و الا امکان مرتفع ساختن آن‌ها ماهیتاً امکان‌پذیر نیست و در مقابل کاهش هر متغیر آلاینده یا آسیب‌رسان، متغیری دیگر افزایش می‌یابد. برای مثال برای بازیافت آب مصرفی و مناسب‌سازی آن برای آوردن دوباره در چرخه تولید در صنعت فولاد نیاز

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-09]
[DOI: DOI: 10.22034/41.178.63]

به انرژی هست و این به معنای کاهش یک متغیر (میزان آب مصرفی) بـه قیمـت افـزایش متغیـری دیگر(میـزان مصرف سوخت) هست.

تبعـات زیسـت‌محیطـی ایـن دو صـنعت وابسـته بـه ساختمان، غیرقابل‌چشم‌پوشی است. تبعـاتی کـه باعـث شده‌اند ایران هشتمین کشور آلاینده دنیـا بـه شـمار رود (UNIDO, 2014). سیمان سومین صنعت انرژی بـر در ایران محسوب می‌شود که نزدیک به ده درصد مصـرف انرژی کشور مصروف آن می‌شـود (یزدیـان و شـکرچی زاده،۱۳۹۳؛UNIDO, 2014). در ایران هم‌اکنون حـدود ۵۵ میلیون تن سیمان تولید می‌شود و به همین مقدار نیز گاز دی‌اکسید کربن تولید می‌گردد. برای تولید آن مقدار سیمان، سالانه ۱۹۲ میلیون تـن منـابع سـنگی ارزشـمند زمین شامل، شن، ماسه و سـنگ‌دانـه‌هـای شکسـته کـه درواقع ذخایر تجدیدناپذیر خـاک در کشـور بـه شـمار می‌روند، برداشت می‌شود (دفتر مقررات ملی سـاختمان، ۱۳۹۵). صنعت فولاد نیز با تولید بالغ‌بر ۳۰ تن دی‌اکسید کربن به‌طور سالانه در ایران ازجمله صـنایع آلاینـده بـه شمار می‌آید کـه بـا حـدود ۱۵درصـد مصـرف انـرژی کشور، انرژی‌خوارترین صنعت کشور (بـدون احتسـاب نیروگاه‌ها) محسوب می‌شود (UNIDO, 2014). این دو صنعت عامل شکل‌گیری بـالاترین سـهم را بـه صـنعت ساختمان در تولید نخاله‌هـایی مـی‌دهنـد کـه بازگشـت معقولی برای آن‌ها به طبیعت متصور نیست.

در کنار این تبعات زیست‌محیطی، صـنعت سـاختمان به‌واسطه وابستگی به صنایع فولاد و سـیمان همـان‌طـور که به تفصیل اشاره شد از آب‌خوارترین صـنایع در ایـن کشور کم آب دنیا به شمار می‌رود. آمار تکـان‌دهنـده از مصرف آب در صنعت ساختمان که با لحاظ کـردن آب پنهان محاسبه‌نشده در فراینـد حمـل مصـالح و اجـرای ساختمان افزایش هم پیدا می‌کند، به همراه سایر تبعـات زیست‌محیطی این صنعت وابسته به فولاد و سیمان، کـه چون محل تمرکز مقاله نبود بـه تفضـیل بـدان پرداختـه نشد، لزوم تغییری بنیادین در صـنعت سـاخت‌وسـاز را ایجاب می‌کند.

معماری گلین، یک گزینه جایگزین

با علم به همه معایـب و آسـیب‌هـای صـنعت کنـونی ساختمان، این سؤال مطرح خواهد بـود کـه آیـا گزینـه مناسبی پـیش روی صـنعت سـاختمان اسـت؟ بـه نظـر می‌رسد این تحول می‌تواند با رجعـت بـه سـرمایه‌هـای تمـدنی ایـن کشـور در حـوزه معمـاری و آمـوختن از پیشینیانی که با حداقل آسیب به زیست‌بوم، فعل ساختن را صرف می‌کرده‌انـد، صـورت پـذیرد. معمـاری گلـین گذشـته فـلات مرکـزی ایـران، از کـم آب‌خـواه‌تـرین شیوه‌های ساخت‌وسـاز در دنیـا بـه شـمار مـی‌رود کـه مصرف آب در آن به شکل قابـل‌تـوجهی پـایین اسـت. گزینه پیشنهادی، رجوع به معماری خاک و بهره‌مندی از شیوه‌های روزآمد آن است که امروزه به مـدد مطالعـات جدیدی که در دنیا بر روی آن صورت پذیرفتـه، ارتقـاء یافته و بهینه شده است. به بیانی دقیق‌تـر، دسـت‌کـم در حوزه ساخت‌وسازهای با طبقات محدود (تـا دو طبقـه) ایـن گزینـه وجـود دارد و ازآنجاکـه حجـم عمـده ساختمان‌های کشور در خارج از کلان‌شـهرها بـا همـین تعداد طبقات است، می‌توان بـه شـکل قابـل‌تـوجهی در مصرف آب صرفه‌جویی کـرد. ضـمن آنکـه مخـاطرات زیست‌محیطی وابسته نیز کاهش می‌یابد[۱۰].

در ادامه میزان آب‌بری یک سازه خـاکی موردبررسـی قرار می‌گیرد تـا سـپس مقایسـه‌ای میـان بناهـای بتنـی، فولادی و گلین در این خصوص صورت پذیرد.

میزان آب موردنیاز ساختمان‌های گلین

تاکنون محاسـبات دقیقـی در خصـوص مصـرف آب بناهای خاکی صورت نگرفته است. در این تحقیق بـرای

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-09]

[DOI: DOI: 10.22034/41.178.63]

محاسبه میزان مصرف آب در این نوع معماری با استفاده از تجربه استادکاران سنتی از روش شبیه‌سازی، ساخت نمونه‌ها و اندازه‌گیری میزان آب مصرفی در روند اجرا در کارگاه و آزمایشگاه، بهره گرفته شده است. طبیعی است که بسته به نوع خاک، ترکیب دانه‌بندی آن، طرح اختلاط ملات‌ها و اقلیمی که بنا در آن شکل می‌گیرد، حتی تجهیزات کارگاه و دقت کارگران میزان مصرف آب در ساختمان‌های گلین متفاوت است. اما ازآنجاکه اختلاف‌ها در مقایسه با سایر روش‌های ساخت‌وساز ناچیز است از آن‌ها صرف‌نظر شده و آنچه در این تحقیق محاسبه شده میزان متوسطی است که ازطریق ساخت نمونه در چند کارگاه مختلف در یزد (حداقل برای هر مورد سه کارگاه) و با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی یزد و خاکی که در محدوده بافت تاریخی آن موجود است به انجام رسیده است و نهایتاً ارقام با اتکا به تجربه استادکاران سنتی کنترل شده است.

روش‌های متنوعی در ساخت با خاک در دنیا وجود دارد که دو مورد آنکه رایج‌تر بوده برای این تحقیق انتخاب شده است. نمونه نخست سازه‌های خشتی انتخاب شده و نمونه دوم یک سازه با سیستم خاک کوبیده موردمطالعه قرار گرفته است. برای ساخت یک دیوار یک مترمکعبی خاک کوبیده، حدود ۱۰۰ لیتر آب مصرف می‌شود (حاج میربابا، ۱۳۹۸)[11]. برای تولید هر خشت با ابعاد ۲۰*۲۰*۵ نیز ۰/۷ لیتر آب مصرف می‌شود. برای ملات گل و همین‌طور ملات شفته آهک نیز باتوجه‌به نمونه‌های ساخته‌شده و با استناد به آیین‌نامه‌های موجود به ترتیب برای هر مترمکعب ملات، ۳۰۰ و ۴۰۰ لیتر آب مصرف می‌شود (ARS:682, 1996) (جدول شماره ۳).

مقایسه مصرف آب بناهای بتنی، فولادی و گلین

برای مقایسه میزان مصرف آب در ساختمان‌هایی با سیستم‌های سازه‌ای سه‌گانه رایج در کشور از روش شبیه‌سازی استفاده شده است، به‌نحوی‌که ساده‌ترین شکل یک بنا با سیستم‌های سازه‌ای متفاوت در نظر گرفته شده است. بنابراین نقشه‌های اجرایی یک اتاق با ابعاد ۴/۵ * ۴/۵ متر (تقریباً با زیربنای ۲۰ مترمربع)، در یک طبقه (ارتفاع دیوارها سه متر)، تهیه شد. نقشه‌های اجرایی اتاق بتنی و فولادی توسط مهندسین سازه محاسبه و در مورد اتاق گلی بر اساس ضوابط مبحث هشتم مقررات ملی ساختمان تهیه و متره گردید. پس از مشخص شدن حجم مقادیر مصرفی سیمان، آهن‌آلات، خشت، و ملات‌ها[12]، تا اتمام مرحله سفت‌کاری، میزان مصرف آب هر یک از سیستم‌ها مطابق جدول شماره ۴ مشاهده می‌شود. همان‌گونه که مطالعات نشان می‌دادند سیستم خاک کوبیده کمترین نیاز را به آب دارد (Petrovic et al., 2017, 289) و بعدازآن ساختمان خشتی و بعد با اختلاف زیاد ساختمان اسکلت فلزی و بتنی قرار می‌گیرد.

لازم به ذکر است که محاسبات تقریبی حکایت از آن دارد که با افزایش طبقات تا دو طبقه (زیرزمین و همکف)، کاهش مصرف آب در ساختمان‌های گلین در مقایسه با همتایان بتنی و فولادی نتایج بهتری نیز دارد. ضمناً باید در نظر داشت که میزان آب مصرفی برای اتاق نمونه تحقیق باتوجه‌به کوچک بودن مساحت آن و نامتعارف بودنش، بیشتر از یک ساختمان معمولی به دست آمده[13] و لذا در محاسبات نمونه موردی بیشتر از باب مقایسه مصرف آب سیستم‌های سازه‌ای مختلف، محلی از اعراب دارد. پیش‌بینی می‌شود برآورد متوسط مصرف آب در هر مترمربع برای ساختمان‌ها کمتر از ارقام به‌دست‌آمده در جدول شماره ۴ خواهد بود؛ بدیهی است در مورد ابر پروژه‌ها و پروژه‌های خاص شرایط کاملاً متفاوت بوده و نیازمند تحقیقات مستقلی است.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-09]
[DOI: DOI: 10.22034/41.178.63]

ج۳. محاسبه میزان مصرف آب برای تولید عناصر سازنده بناهای گلی

میزان مصرف آب برای تولید هر عدد خشت ۲۰*۲۰* ۵	۰/۷ لیتر
میزان آب مصرفی برای هر کیلو گرم ملات گل و ملات گل و گچ	۰/۲ لیتر
میزان آب مصرفی برای هر متر مکعب ملات گل	۳۰۰ لیتر
میزان آب مصرفی برای هر متر مکعب ملات شفته آهک	۴۰۰ لیتر
میزان آب مصرفی برای تولید یک متر مکعب دیوار خاک کوبیده	۱۰۰ لیتر

ج۴. مقایسه مصرف آب بناهای بتنی، فولادی و گلی (خشتی و خاک فشرده)

نوع سازه		مشخصات اجمالی ابعاد بیرونی: ۴/۵*۴/۵ متر	نوع مصالح و میزان آب بَری آن ها				مصرف کل آب هر سیستم (لیتر)
			نوع مصالح	تعداد یا وزن (متر مکعب/کیلوگرم)	مصرف آب در واحد مصالح (لیتر)	مصرف آب کل (لیتر)	
سازه گلین	دیوار خشتی با طاق گهواره ای	دیوار خشتی ۶۰ س. م اسپر ۲۰ س.م طاق: گهواره ای (پر یک خشته)	خشت ۲۰*۲۰* ۵	۱۰۱۶۶ عدد	۰/۷	۷۱۱۶ عدد	۱۰۱۲۶
			ملات گل (متر مکعب)	۴/۷	۳۰۰ (ARS:682:1996)	۱۴۱۰	
			ملات شفته آهک عیار ۱۵۰ (متر مکعب)	۴	۴۰۰	۱۶۰۰	
	دیوار خاک کوبیده با سقف گهواره ای	دیوار خاک کوبیده باربر ۶۰ س. م اسپرها ۲۰ س.م طاق: گهواره ای (پر یک خشته)	خشت ۲۰*۲۰* ۵	۱۷۶۶ عدد	۰/۷	۱۲۳۶ عدد	۵۲۷۲
			دیوار خاک کوبیده (متر مکعب)	۲۰/۱۶	۱۰۰	۲۰۱۶	
			ملات گل (متر مکعب)	۱/۴	۳۰۰ (ARS:682, 1996)	۴۲۰	
			ملات شفته آهک عیار ۱۵۰ (متر مکعب)	۴	۴۰۰	۱۶۰۰	
سازه بتنی	اسکلت بتنی و سقف تیرچه بلوک	دیوار بلوک بتنی ۲۰*۲۰*۴۰ س.م. با ملات ماسه سیمان و فندانسیون بتنی	بتن (متر مکعب)	۱۴	۱۴۱۷	۱۹۸۳۸	۶۳۹۱۸
			آهن آلات (کیلوگرم)	۱۲۹۷	۲۶/۵	۳۴۳۷۰	
			بلوک سیمانی سقف	۱۴۲ عدد	۵	۷۱۰ عدد	
			بلوک سیمانی دیوار	۱۵۰۰ عدد	۶	۹۰۰۰ عدد	
سازه فلزی	اسکلت فلزی و سقف تیرچه بلوک	دیوار بلوک بتنی ۲۰*۲۰*۴۰ س.م. با ملات ماسه سیمان و فندانسیون بتنی	بتن (متر مکعب)	۸/۷	۱۴۱۷	۱۲۳۲۷	۷۴۰۹۱
			آهن آلات (کیلوگرم)	۱۹۵۳	۲۶/۵	۵۱۷۵۴	
			بلوک سیمانی سقف	۱۴۲ عدد	۵	۷۱۰ عدد	
			بلوک سیمانی دیوار	۱۵۵۰ عدد	۶	۹۳۰۰ عدد	

نتیجه

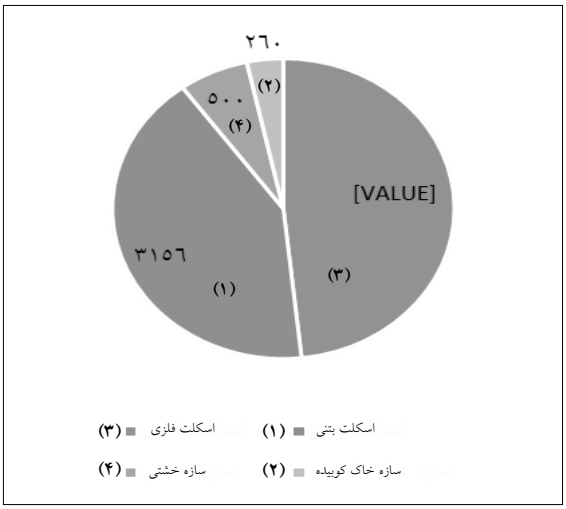
میزان مصرف انرژی، تولید آلاینده‌ها و حجم فزاینده نخاله‌های ساختمانی حکایت از فاجعه‌ای زیست‌محیطی و انسانی در حوزه صنعت ساختمان دارد. در کنار این موارد این صنعت یکی از آب‌خوارترین صنایع در کشوری است که با بحران کم‌آبی مواجه است. ضروری است با اتخاذ شیوه‌های کم‌مصرف، علاوه بر مهار مصرف آب در این صنعت، سایر تبعات ناگوار آن نیز کنترل شود. آمار و ارقام دقیق و مستند در خصوص مصرف آب ساخت‌وساز محدود است و بخشی از تلاش این مقاله صرف تولید اطلاعاتی در این زمینه ازطریق مراجعات میدانی به کارگاه‌ها و کارخانه‌ها،

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-09]
[DOI: DOI: 10.22034/41.178.63]

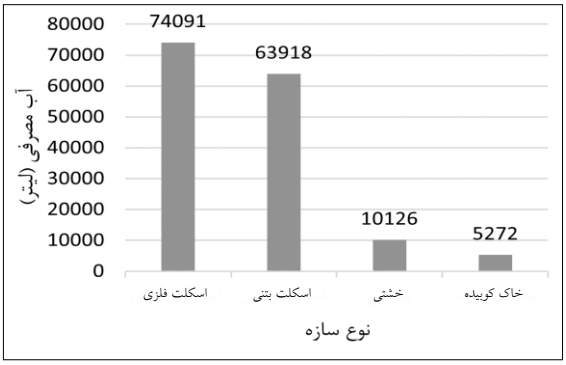
شبیه‌سازی، مصاحبه و جستجو در بین متون پراکنده با هدف رسیدن به مقادیر مصرف واقعی و معتبر شد. با تکیه‌بر اطلاعات به‌دست‌آمده، مقایسه مصرف آب ساختمان‌های بتنی و فولادی از یک‌سو و ساختمان‌های گلین از سوی دیگر، نشانگر کسر ناچیزی از نیاز بناهای گلین به آب و صرفه‌جویی قابل‌توجه در این زمینه دارد. به‌نحوی‌که یک ساختمان خشتی با مصرف ۵۰۰ لیتر در هر مترمربع حدود ۱۴ درصد و یک ساختمان با سازه دیوار خاک کوبیده با مصرف ۲۶۰ لیتر آب، تنها ۷ درصد یک ساختمان اسکلت فلزی و به ترتیب ۱۵ و ۸ درصد یک ساختمان بتنی مشابه آب مصرف می‌کند (تصاویر شماره ۱ و ۲). این در حالی است که اجرای سیستم‌های سازه‌ای بتنی و اسکلت فلزی یک ساختمان به همراه دیواره‌های جداکننده آن در نمونه موردی پژوهش با آب‌خواری هر مترمربع حدود ۳۱۶۰ و ۳۶۶۰ لیتر (تصاویر شماره ۱ و ۲) با شرایط کشور ما که مواجه با بحران کم‌آبی ست، قرابتی ندارند.

امروزه باتوجه‌به نکات فوق‌الذکر دنیای توسعه‌یافته به سمت معماری با خاک معطوف شده است. ض

روری به نظر می‌رسد ایران نیز که پشتوانه‌ای قوی و داشته‌های تمدنی ارزشمندی در این زمینه دارد، با پرهیز از باورهای غلط معاصر در این حوزه، شروع به شناخت و بهره‌مندی از قابلیت‌های این نوع معماری دست‌کم در حوزه ساخت‌وساز عرفی (ساختمان‌های غیرعمومی کمتر از ۳ طبقه با استفاده از کلاف‌های افقی و قائم) که درصد قابل‌توجهی از ساخت‌وساز کشور را به خود اختصاص می‌دهد، نماید. این مهم می‌تواند راهکاری اساسی در جهت مدیریت بحران کم‌آبی در حوزه ساخت‌وساز باشد.



ت۱. مصرف آب (لیتر) به ازای هر مترمربع زیربنا با سیستم های سازه ای متفاوت در پروژه نمونه موردی تحقیق



ت۲. مصرف آب (لیتر) تا اتمام مرحله سفت کاری در پروژه نمونه موردی با سیستم های سازه ای متفاوت تا اتمام مرحله سفت کاری

تشکر و قدردانی

از آقایان سید محسن رضوانفر، حامد عزیزی بندرآبادی، محمد رضا رمضانخانی و خانم اکرم شفیع نادری که در استخراج و محاسبه مقادیر کمک شایانی نمودند، سپاسگزاری می‌شود.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-09]

[DOI: DOI: 10.22034/41.178.63]

پی‌نوشت

۱. مراد از مرحله سفت‌کاری در این مقاله مشخصاً اجرای شالوده، عناصر باربر و سقف ساختمان (کلاً سازه بنا) به همراه دیوارهای جداکننده است؛ فارغ از اینکه چه جزئیاتی از قبیل اندود، عایق، نماسازی، کف‌سازی و تزیینات را شامل می‌شوند.

۲. محاسبات صورت‌گرفته در این مقاله به‌واسطه

– متنوع بودن فرایند تولید بتن و سیمان

– تفاوت شیوه‌های تولید

– تنوع سطح فناوری ماشین‌آلات

به‌صورت متوسط تقریبی محاسبه شده است. دستیابی به این آمار و اطلاعات در کشور ما به دلیل:

– تنوع مصرف کارخانه‌ها و کارگاه‌های تولیدی به‌واسطه نبود نظام استاندارد یکپارچه

– عدم وجود آمار دقیق و علمی حتی در نزد تولیدکنندگان و متولیان این صنایع

– پرهیز از ارائه آمارهای واقعی به‌واسطه نگرانی از سیاه نمایی در باب صنعت موجود باتوجه‌به شرایط بحرانی آب

دو چندان دشوار است. بااین‌حال ارقام ارائه‌شده از دو بابت قابل اعتبار است، نخست اینکه هم از طریق محاسبه و هم از طریق پرسش‌های میدانی و چندباره غیررسمی از کارشناسان متعدد تهیه شده است و دوم اینکه به شکل متوسط حداقلی محاسبه شده است.

۳. محاسبه این عدد کار دشواری نیست. همان‌طور که گفته شد مصرف سالانه بتن در جهان ۵/۱ میلیارد مترمکعب است که به ۱/۵۶ میلیارد تن سیمان مصرف می‌شود. با احتساب نسبت متوسط آب به سیمان به میزان ۰/۵، آب اختلاط مصرفی فقط برای تولید سیمان بتن بالای یک تریلیارد لیتر می‌شود.

۱/۵۶*۰/۵=۰/۷۸ میلیارد تن آب در سال

به این مقدار اگر آب لازم برای شست‌وشوی سنگ‌دانه‌ها، شستن وسایل و عمل‌آوری بتن را اضافه کرد در شکل خوش‌بینانه میزان مصرف آب تا دو برابر افزایش پیدا خواهد کرد (قالیبافان،۱۳۸۲).

۴. باید توجه داشت که این آب مربوط به روش خشک است و در روش تر میزان آب مصرفی تا حدود دو برابر افزایش می‌یابد.

۵. مصاحبه با کارشناسان سیمان ممتازان کرمان و اخذ آمارهای مصرف ماهیانه آب این کارخانه در آذرماه ۱۳۹۵ نیز گویای همین عدد است.

۶. به استناد نشریه ۲۸ دفتر تحقیقات و استانداردهای فن سازمان برنامه‌وبودجه (سابق)، برای ساختمان‌های معمول ساخته‌شده در کشور که بین دو الی شش طبقه احداث می‌شوند با لحاظ نسبت وزنی هر یک از ترکیبات و نوع سازه بنا، عیار متوسط سیمان در این ترکیبات، ۴۰۰ کیلوگرم در هر مترمکعب و در نشریه ۵۵، عیار متوسط ۳۵۰ کیلوگرم برای پی و ستون‌ها و تیرها و پوشش سقف در نظر گرفته شده است. مصاحبه با کارخانه‌های تولید بتن ساختمانی، استادکاران و مهندسین مجری در این خصوص نیز نشان می‌دهد که عیار ۳۵۰، بالاترین فراوانی مصرف را دارد.

محل استفاده ترکیبات سیمان در ساختمان‌های تا چهار طبقه	عیار سیمان
بتن در سازه بنا	۳۵۰–۴۰۰
ملات ماسه سیمان (برای چیدن دیوارها، فرش و کف)	۳۵۰
دوغاب‌ها (پشت سنگ و کاشی)	۴۰۰
اندودهای سیمانی	۳۰۰
بندکشی نما	۳۰۰

۷. برای تولید فولاد در کشور ارقام متنوعی اعلام می‌شود، آمار از ۲۸ مترمکعب (طاهری‌زاده،۱۳۹۵) و ۲۵ مترمکعب (فرونچی،۱۳۹۳) تا ۱۰ مترمکعب (تولاییان،۱۳۹۳؛ سبحانی، ۱۳۹۳ الف و ب؛ سبحانی، ۱۳۹۴) ذکر می‌شود. مصاحبه با دست‌اندرکاران و کارشناسان کارخانه‌های فولاد (برای مثال مصاحبه با کارشناسان واحد کولینگ فولاد مبارکه اصفهان در آبان ماه ۱۳۹۵) و همین‌طور محاسبات عددی و وزن دهی به آمار موجود برحسب دقت آمار و میزان تولید، عددی حدود ۲۱۵۰۰ لیتر برای هر مترمکعب شمش فولاد را عدد متوسط واقعی مصرف آب در ایران نشان می‌دهد (برای مثال مصاحبه با کارشناسان واحد کولینگ فولاد مبارکه اصفهان در آبان ماه ۱۳۹۵)

۸. برای مثال، برای تولید هر تن فولاد، حدود چهار تن جابه‌جایی اعم از سنگ‌آهن، سایر مواد خام، قطعات، توزیع و ... صورت می‌پذیرد.

۹. افزایش دوام سازه‌ها، حفاظت حداکثری از آن‌ها، بازیافت نخاله‌های ساختمانی به‌عنوان مواد خام کارخانه‌ها، اصلاح خط تولید و ماشین‌آلات با نیاز به آب کمتر، بازیافت آب کارخانه‌ها و تغییر شیوه‌های تبرید از اهم این راهکارها هستند (Kumar Mehta, 2001).

۱۰. هم‌اکنون این نوع از معماری در کشورهای بسیاری چون آلمان، فرانسه، اسپانیا، پرتغال، نیوزلند، استرالیا، آمریکا، پرو، برزیل و ... مجوز ساخت گرفته و رو به گسترش است (Houben & Guillaud, 1994)؛ کشورهایی که برخی از آن‌ها به لحاظ وضعیت استقرار در پهنه‌بندی زلزله شبیه ایران هستند.

۱۱. بر مبنای اندازه‌گیری میزان آب مصرفی در ساخت نمونه موردنظر در قالب یک کارگاه پژوهشی توسط گروه معماری گلین پژوهشکده معماری بومی دانشگاه یزد در شهرستان تفت یزد که به سرپرستی دکتر نریمان فرحزا در روزهای ۱۸ لغایت ۲۱ خردادماه ۱۳۹۳ برگزار شد. در این کارگاه چهار روزه برای دیواری با طول ۶ متر، ارتفاع ۲٫۵متر و ضخامت ۴۰ سانتیمتر مقدار ۲۵۰۰ لیتر آب مصرف شده که بخش عمده این آب (حدوداً سه‌چهارم) شامل آب مصرفی نیروی انسانی (شست‌وشو، خوردن و ...) بوده است که با یک تناسب، عدد

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-09]
[DOI: DOI: 10.22034/41.178.63]

مستند مرکز کراتر در ایران نیز صدق می‌کند.

۱۲. در مورد ملات‌ها محاسبه آب مصرفی کار آسانی نیست چون مقدار آب موردنیاز در درجه اول به مواد تشکیل‌دهنده ملات بستگی دارد (ASTM, 2003)، ضمن اینکه عواملی نظیر وضعیت آب‌وهوایی، دقت کارگران، شرایط و تجهیزات کارگاه و... بر این میزان تأثیر می‌گذارند. همواره گفته می‌شود ملات‌ها باید حاوی حداکثر مقدار آبی باشند که مطلوب‌ترین حالت کارایی حاصل شود (همان) و بر همین اساس اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی برای تعیین آب مصرفی ملات‌ها رایج نیست (خدابنده، ۱۳۷۴). نهایتاً با انجام آزمایش‌هایی که به سفارش نگارنده در سه کارگاه مختلف در سال ۱۳۹۸ و همین‌طور شبیه‌سازی مشابهی که توسط خانم فرناز ضیایی دانشجوی کارشناسی ارشد معماری در آزمایشگاه مواد و مصالح دانشگاه یزد در سال ۱۳۹۷ صورت گرفت این میزان به‌طور تقریبی و متوسط در حدود ۳۰ درصد حجم ملات معادل ۳۰۰ لیتر برای هر مترمکعب ملات گل و حدود ۴۰ درصد حجم ملات معادل ۴۰۰ لیتر آب برای شفته آهک به دست آمد.

در مورد ملات ماسه سیمان۶:۱، مبتنی بر نتایج به‌دست‌آمده در آزمایشگاه و کارگاه به ازای هر مترمکعب ملات، ۱۸۰ لیتر آب به‌طور متوسط مصرف شد که نتایج تحقیقات مشابه نیز آن را تأیید می‌کند (ضیایی و عباسی هرفته، ۱۳۹۷). باتوجه‌به مشابهت زیاد این عدد با عدد به‌دست‌آمده برای بتن در جدول شماره ۱، در محاسبات جدول شماره ۴، حجم بتن و ملات ماسه سیمان با یکدیگر تجمیع شده‌اند.

۱۳. دلیل اصلی هم برمی‌گردد به اینکه سازه پروژه نمونه موردی تحقیق به علت کوچک بودن، به نسبت سنگین‌تر از یک سازه متعارف محاسبه می‌گردد.

فهرست منابع

– آداب، ابوالفضل؛ قاضی نوری، سید سپهر؛ قاضی نوری، سید سروش؛ شاهوردی، حمیدرضا؛ احمدپور، کیومرث. (۱۳۹۹)، واکاوی زنجیره ارزش صنعت فولاد ایران با استفاده از تحلیل اقتصادی زنجیره ارزش و جریان مواد. پژوهش‌های مدیریت عمومی، ۴۸ (۱۳) :۵۹–۸۵ (تابستان ۱۳۹۹).

– بهادری نژاد، مهدی؛ فطانت دیدار، توحید. (۱۳۸۲)، آب موردنیاز تولید مصالح و ساخت دو برج مسکونی در تهران با اسکلت‌های فولادی و بتنی. ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان.

– بروکس، جی. جی؛ نویل، آدام. (۱۳۷۴)، تکنولوژی بتن. ترجمه علی‌اکبر رمضانیانپور و محمدرضا شاه نظری. تهران: انتشارات پرهام.

–پیدایش، منصور. (۱۳۸۴)، بتن و تعامل آن با محیط‌زیست. دومین کنفرانس بین‌المللی بتن و توسعه. ۱۰–۱۲ اردیبهشت ۱۳۸۴.تهران.

– تولائیان، مهدی. (۱۳۹۳)، فولاد مبارکه اصفهان، رکورددار جهانی صرفه‌جویی در مصرف آب. مصاحبه با مدیر ارشد خدمات فنی و پشتیبانی فولاد مبارکه. https://www.msc.ir/ (آخرین دسترسی در۱۳۹۳/۹/۲۵).

–دفتر مقررات ملی ساختمان. (۱۳۹۵)، مبحث پنجم: مصالح و فرآورده‌های ساختمانی. تهران: نشر توسعه ایران.

– حاج میربابا، مجید. (۱۳۹۸)، مصاحبه‌ای منتشرنشده با محسن عباسی هرفته: درباره مصرف آب سازه‌های خاک کوبیده بر اساس تجربه بیست‌ساله کار تجربی وی. گرونوبل (فرانسه).

– خدابنده، ناهید. (۱۳۷۴)، بررسی ملات‌های معمولی ایران. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

– فرونچی، مجتبی. (۱۳۹۳)، مصاحبه با مجتبی فرونچی مدیرعامل شرکت فولاد شرق کاوه در تاریخ۱۳۹۳/۱۲/۲۰. easteelco.com (آخرین دسترسی در آبان ۱۳۹۵).

– فولاد نیوز (پایگاه جامع اطلاع رسانی صنعت فولاد ایران). (۱۳۹۵)، بحران کم‌آبی در ایران: سهم بالای فولاد در مصرف انرژی. دوشنبه ۱۳ مهر ۱۳۹۵.

– قالیبافان، مهدی. (۱۳۸۲)، بتن و محیط‌زیست. فصلنامه انجمن بتن ایران. سال سوم، شماره۱۱، پاییز ۱۳۸۲.

– چهرگانی، حسین. (۱۳۹۱)، نکات فنی و علمی کوتاه از صنعت سیمان. ماهنامه علمی– تخصصی فن‌آوری سیمان،۵۲: ۸۹–۹۵ (تیر ۱۳۹۱).

– سبحانی، بهرام. (۱۳۹۳الف)، مصرف ۱۰ مترمکعب آب به ازای هر تن فولاد. مصاحبه خبرگزاری ایمنا با مدیرعامل فولاد مبارکه در تاریخ ۱۳۹۳/۴/۹www.imna.ir. (آخرین دسترسی ۹۸/۳/۱۰).

– سبحانی، بهرام. (۱۳۹۳ب)، اتخاذ سیاست‌های مناسب و راهبردی، کاهش رکود در صنعت فولاد. مصاحبه روزنامه دنیای اقتصاد با مدیر عامل فولاد مبارکه اصفهان در تاریخ ۱۳۹۳/۱۰/۲۳. سایت خبری تحلیلی صنعت فولاد (مرجع فولاد):steelpedia.ir (آخرین دسترسی ۹۸/۵/۲۰).

– سبحانی، بهرام. (۱۳۹۴)، سرانه مصرف ۳۰۰ کیلوگرمی فولاد

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-09]

[DOI: DOI: 10.22034/41.178.63]

ایران تا ۱۴۰۴. مصاحبه با رئیس انجمن تولیدکنندگان فولاد ایران و مدیرعامل گروه فولاد مبارکه اصفهان در تاریخ ۱۳۹۴/۳/۱۱. پایگاه اطلاع‌رسانی انجمن تولیدکنندگان فولاد ایران (استیل ایران): steeliran.org (آخرین دسترسی ۱۳۹۸/۱۲/۲۰)

– شاه‌حسینی، احمد؛ شکوهیان، محمد و درخشان، سهیل. (۱۳۹۴)، آب مجازی در صنعت ساخت‌وساز (با بررسی کشورهای چین، هند و استرالیا). پوستر ارائه‌شده در سومین سمپوزیوم بین‌المللی مهندسی محیط‌زیست و منابع آب، تهران، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

– شکرچی زاده، محمد؛ میرزایی، زانیار. (۱۳۸۸)، آموزش مهندسی بتن و سیمان با رویکرد توسعه پایدار و حفظ محیط‌زیست. نشریه دانشکده فنی. دوره ۴۳. شماره ۳ (پیاپی ۱۲۱). (ویژه کنفرانس آموزش مهندسی در ۱۴۰۴). ۱۱۳-۱۲۳.

– شرکت ملی فولاد ایران، سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران و شرکت مهندسی بین‌المللی فولاد تکنیک (۱۳۹۶)، مطالعات طرح جامع فولاد کشور: پایش سال ۱۳۹۶.

– کیمیا بتن. (۱۳۹۶)، بازدید و مصاحبه با مسئولین و کارشناسان شرکت کیمیا بتن یزد. ۹۶/۱۱/۱۶.

– ضیایی، فرناز؛ عباسی هرفته، محسن. (۱۳۹۷)، تأثیر نوع سیستم ساختمانی بر میزان آب مصرفی ساخت‌وساز در مسکن عرفی معاصر یزد. معماری اقلیم گرم و خشک. (۸)۶ :۲۱-۱

– طاهری‌زاده، ابوذر. (۱۳۹۵)، راهکارهای بهینه‌سازی مصرف آب در صنعت فولاد. مصاحبه با معاون آموزشی پژوهشکده فولاد دانشگاه صنعتی اصفهان در تاریخ ۱۳۹۵/۹/۴. سایت شرکت فولاد مبارکه: fooladnews.com (آخرین دسترسی ۱۳۹۷/۵/۴)

– ماهنامه فناوری سیمان. (۱۳۹۳)، آمار تولید و تحویل سالانه سیمان و کلینکر. شماره ۷۰-۷۱. فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۳. cementechnology.ir/Statistics/Production.1392-12.Months.pdf (آخرین دسترسی در ۱۳۹۸/۱۲/۲۰)

– بانک خاورمیانه، گروه تحقیقات اقتصادی. (۱۳۹۴)، بررسی صنعت فولاد ایران. www.middleeastbank.ir (آخرین دسترسی در ۱۴۰۰/۹/۲۰)

– محمدی، محسن. (۱۳۹۴)، تحلیلی بر تأمین و مصرف آب در صنعت فولاد. مرجع فولاد (سایت خبری تحلیلی صنعت فولاد). تاریخ انتشار ۹ دی ۱۳۹۴. https://steelpedia.ir/fa/article/23208/ (آخرین دسترسی ۱۳۹۸/۱۲/۱۳).

– یزدیان، مهدی؛ شکرچی زاده، محمد. (۱۳۹۳)، بررسی روش‌های کاهش اثرات زیست محیطی بتن در ایران. هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، بابل، ۱۷و۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۳.

- AISI (American Iron and Steel Institute). 2015. Market Applications in Steel. http://www.steel.org/about-aisi/statistics/market-applications-in-steel.aspx (accessed Nov. 30, 2016).
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2003). Standard specification for mortar for unit masonry. Annual book of ASTM standards, C 270 – 03b.
- ARS 682. 1996. Compressed earth blocks-code of practice for the assembly of compressed earth block masonry. Center for the development of industry ACP-EU/CRAterre-BASIN. http://www.nzdl.org/ (accessed Jan. 10, 2020).
- Bardhan, S. 2011. Assessment of water resource consumption in building construction in India. In Ecosystems and sustainable development VIII, ed. Y. Villacampa and C.A. Brebbia, 93-101. Southampton,UK: WITpress. https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/ECO11/ECO11008FU1.pdf (revision: 8/11/2018)
- Brathwaite, Ruel. 2009. The embodied water within the construction of a UK sustainable home, MPhil in engineering for sustainable development: Global challenges, engineering solutions. University of Cambridge. https://www-esdmphil.eng.cam.ac.uk/about-the programme /dissertations/ students/ brathwaite 2009 (revision: 8/11/2018)
- Bremner, T. W. 2001. Environmental aspect of concrete: Problems and solutions. Invited Paper for the Plenary Session of the first All-Russian Conference on Concrete and Reinforced Concrete, 9-14 September 2001.
- Crawford, Robert H. Pullen, Stephen. 2011. Life cycle water analysis of a residential building and its occupants. Building Research and Information, 39 (6): 589-602.
- Choudhuri, Indraneel R. 2015. Assessment of Embodied Water of Construction: Case Study of a Four Star Rated Hotel in New Delhi, India. International Journal of Emerging Engineering Research and Technology, 3(8): 195-199.
- Crawford, Robert H., & Treloar, Graham J. 2005. An assessment of the energy and water Embodied in commercial Building construction, in Australian Life Cycle Assessment Conference, Sydney, Australia. http://dro.deakin.edu.au/eserv/DU:30005640/crawford-anassessment-2005.pdf (revision: 8/11/2018)

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-09]

[DOI: DOI: 10.22034/41.178.63]

- Ferriz Papi, J.A. (2012). Water consumption in buildings: Embedded water in construction materials. In Water, Waste and Energy Management International Congress,Salamansa,Spain.https://www.researchgate.net/publication/277716798_Water_Consumption_in_Buildings_EmbeddedWater_in_Construction_Materials (revision: 8/11/2018)
- Kumar Mehta, P. 2001. Reducing the environmental impact of concrete. Concrete International. October 2001:61-66
- McCormack, Michael; Treloar, Graham J.; Palmowski, Laurence & Crawford, Robert. 2007. Modeling direct and indirect water requirements of construction. Building Research and Information, 35 (2): 156-162.
- Petrovic, Emina K., Vale, Brenda. Zari, Maibritt P. 2017. Materials for a Healthy, Ecological and Sustainable Built Environment.
- Tapali, J.; Papadakis, V.G.2012. An optimum design of reinforced concrete structures for prolongation of service lifetime at the lowest environmental cost. Third International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE 2012), Vienna, Austria, 3-6 October 2012.
- Treloar, Graham J.; McCormack, Michael; Palmowski, Laurence & Fay, Roger. 2004. Embodied water of construction, BEDP Environment Design Guide, GEN 58, May.
- Trudeau, N., Tam, C., Graczyk, D., and Taylor, P. 2011. Energy transition for industry: India and global context. Paris: International Energy Agency.
- UNIDO (United Nations industrial development Organization). 2014. Industrial Energy Efficiency in Iran. http://en.ieeiran.ir (accessed Nov. 5, 2016).
-Worldsteel (World Steel Association). World steel in figures. 2016(a). https://www.worldsteel.org/publications/Infographics.html (accessed Nov. 30, 2016).
-Worldsteel (World Steel Association). Construction hidden. 2016(b). https://www.worldsteel.org/publications/Infographics.html (accessed Nov. 30, 2016).
-Wbcsd (world business council for sustainable development) .2009. The cement sustainability initiative: recycling concrete. Washington D.C.: WRI. http://www.wbcsdcement.org/pdf/CSI-RecyclingConcrete-FullReport.pdf (accessed Nov. 10, 2016).
-Houben, H. Guillaud H. 1994. Earth Construction, A comprehensive Guide. London: Intermediate Technology Publications.
- https://doi.org/10.22034/41.178.63

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-09]

[DOI: DOI: 10.22034/41.178.63]