

# معماری گلین، گزینه صنعت ساختمان برای مدیریت بحران کم آبی مقایسه تحلیلی مصرف آب در یک بنای نمونه با سه سازه فولادی، بتونی و گلین

محسن عباسی هرفته\*

۱۴۰۰/۰۴/۲۶

۱۴۰۱/۰۴/۲۱

تاریخ دریافت مقاله:

تاریخ پذیرش مقاله:

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 کم آبی در ایران بسیار جدی است و صنعت ساختمان به عنوان یکی از آب‌خوارترین صنایع مطرح است، این مقاله با چشم‌انداز کاهش مصرف آب از طریق انتخاب بهینه سیستم سازه‌ای ساختمان‌های عرفی که در کشور ساخته می‌شوند این هدف را دنبال می‌کند که میزان آب مصرفی سیستم‌های فولادی و بتونی 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؟ پس از این 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 (بتونی و فلزی) در مقایسه با سازه‌های گلین (حکای) 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 قابل اطمینان بوده و در همه این موارد حذف انحراف معیارها و اصل سه سویه‌سازی لحاظ شده است. نتایج به دست آمده حکایت از آن دارد که ساختمان‌هایی با سازه گلین بین ۷ تا ۱۵ درصد نمونه‌های مشابهشان با سازه‌های فولادی و بتونی آب مصرف می‌کنند؛ به تعییری دیگر در احداث هر مترمربع از ساختمان حداقل ۲۵۰۰ لیتر آب صرف جویی می‌شود.

کلمات کلیدی: ساختمان عرفی، معماری گلین، کم آبی، صنعت ساختمان، صنایع ساختمانی آب خوار.

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

صنعت ساختمان امروزه از صنایع مهاجم زیست محیطی محسوب می شود که با آلوده کردن آب، خاک و هوا از یکسو و مصرف منابع و انرژی های تجدیدناپذیر از سوی دیگر و همین طور تولید نخاله های ساختمانی نگرانی های جدی را ایجاد کرده است. مطابق آمار حدود ۳۵ درصد تولید گازهای گلخانه ای به صورت مستقیم یا غیرمستقیم مربوط به صنعت ساختمان است (قالیافان، ۱۳۸۲). این صنعت پیوند قوی با دو صنعت سیمان و فولاد دارد که از جمله بزرگ ترین صنایع آلاینده دنیا محسوب می شوند Tapali & Papadakis, 2012; Kumar Mehta, ) به صنعت ساختمان، حجم عمدۀ گازهای گلخانه ای دنیا را تولید می کنند (Trudeau et al., 2011) ۷ درصد دی اکسید کربن اضافه شده به اتمسفر به ازای تولید جهانی سالانه ۱/۶ میلیارد تن سیمان است (Kumar Mehta, 2001). با هر تن سیمان، نزدیک به یک تن Bremner, 2001; (دی اکسید کربن تولید می شود ) Trudeau et al., 2011 همین طور سالانه بالغ بر ۱۲ میلیارد تن از خاک طبیعی زمین به عنوان سنگدانه ها بتزن صرف می شود (Kumar Mehta, 2001) که زمان بازگشت دویاره آن ها به طبیعت روشن نیست. دو صنعت فولاد و سیمان، جزء سه صنعت نخست انرژی خوار دنیا محسوب می شوند و درمجموع، نزدیک به ۳۰ درصد مصرف انرژی دنیا را به خود اختصاص داده اند (Trudeau et al., 2011). بالغ بر ده درصد انرژی مصرفی صنایع جهان فقط به صنعت سیمان اختصاص دارد (Tapali & Papadakis, 2012). باید اضافه کرد که ۴۰ تا ۵۰ درصد زیاله ها و نخاله های تولید شده دنیا مربوط به صنعت ساختمان است (قالیافان، ۱۳۸۲).

#### ادبیات موضوع

تولید سالانه نخاله های بنایی ساختمان های فولادی و بتزن رقم قابل توجهی است؛ فقط در اروپا، آمریکا و ژاپن سالانه ۹۰۰ (نهصد) میلیون تن نخاله ساختمانی تولید می شود، حال آنکه بیش از نیمی از تولید بتزن دنیا توسط چین و هند تولید می شود و می توان حدس زد که عدد جهانی چندین برابر این عدد است (wbcsd, 2009). از جمله مشکلات زیست محیطی صنعت ساختمان، در دنیا به طور عام و در کشور ما به طور خاص، آب خوار بودن آن است (فولادنیوز، ۱۳۹۵)؛ به خصوص در ایران که با بحران کم آبی مواجه است. تا آنجا که دو صنعت فولاد و سیمان از آب خوارترین صنایع وابسته به صنعت ساخت و ساز محسوب می شوند. تمرکز مقاله بر مصرف آب در ساختمان های عرفی در کشور است و مراد ساختمان های زیر سه طبقه ای است که با اسکلت فلزی و بتزن بیشتر در خارج از کلان شهرها ساخته می شود و حجم قابل توجهی را شامل می شوند. با هدف کاهش میزان مصرف آب در ساخت و ساز از طریق انتخاب بهینه سیستم سازه ای و ایفاده نقش مثبت صنعت ساختمان در بحران کم آبی سعی می شود به دو سؤال پاسخ داده شود؛ نخست آنکه میزان مصرف آب در مرحله سفت کاری ساختمان های عرفی در کشور چگونه است؟ پس از این سؤال و با هدف رسیدن به شیوه ای مناسب (با نیاز آبی کمتر)، سؤال اصلی مقاله مطرح شده است که نسبت مصرف آب برای اجرای سفت کاری سازه های معمول (بتزن و فلزی) در مقایسه با سازه های گلین (خاکی) چگونه است؟

اگرچه در خصوص مقایسه مصرف آب مربوط به ساخت اینیه نوین خاکی با سیستم های معمول ساختمانی پژوهشی رؤیت نشد، اما برخی پژوهش ها با موضوع مصرف آب صنعت ساختمان و سیستم های

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 مصرفي ۳۴ خانواده ۵ نفره در طول یک سال در همان شهر برابری می‌کند. عمدۀ این مصرف به فرایند تولید صالح بر می‌گردد. نهایتاً منگ و همکاران در پیامیشی که سال ۲۰۱۴ میلادی انجام دادند آب مصرفي برای ساخت ۶ ساختمان در پکن را حدود ۲۰ مترمکعب در هر مترمربع زیرینا محاسبه کردند (شاهحسینی، شکوهیان و درخشان، ۱۳۹۴). این مطالعات حکایت از آن دارد که بخش عمدۀ این آب‌خواری به فرایند تولید صالح ساختمانی بر می‌گردد 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 صالح 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 صالح و ساخت دو برج مسکونی با اسکلت‌های فولادی و بتنی مشخص شد که مقدار آب مصرفي برای برج فولادی معادل ۱۱ و برای برج بتنی حدود ۶ مترمکعب در هر مترمربع زیرینا است (بهادری نژاد و فطانت دیدار، ۱۳۸۲). میزان مصراف بالای آب در این مقایسه نشان می‌دهد که می‌توان با انتخاب دقیق‌تر سیستم‌های ساختمانی و صالح مربوط به آن نقش مؤثری در صرفه‌جویی آب ایفا کرد و از مصراف بی‌رویه آن جلوگیری نمود. در تحقیق دیگری در ایران مشخص

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 مصرفي 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 مصرفي 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 مصرفي 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 مصرفي در ساخت‌وساز آن‌ها را حدود ۲۰ مترمکعب برای هر McCormack et al., 2007, 161). یک محقق انگلیسی هم آب مصرفي تولید صالح و حین فرایند ساخت خانه‌ای نمونه را محاسبه کرده است (Brathwaite, 2009). تحقیقی دیگر بر روی یک ساختمان مسکونی و ساکنش 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 برابر می‌کند (Crawford & Pullen, 2011). تحقیقی دیگر در دهلی نو نیز که برای یک هتل صورت گرفته است این رقم را تأیید می‌کند (Choudhuri, 2015). «باردهان» در سال ۲۰۱۱ میلادی با بررسی

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 هرچه، ۱۳۹۷).

از تفاوت و کم بودن آمارهای ارائه شده می‌توان دریافت با وجود تحقیقات صورت گرفته، هنوز نیازمند محاسبه و استخراج اطلاعات بیشتر و دقیق‌تر در خصوص آب مصرفی ساختمان در ایران هستیم. از سوی دیگر از آنجاکه روش‌های ساخت‌وساز و نحوه تولید مصالح در هر منطقه‌ای می‌تواند متفاوت باشد و باتوجه به اینکه فعالیت علمی و قابل توجهی در این زمینه در کشور صورت نگرفته است، تحقیقات بیشتر وجدی‌تر در این حوزه در کشور ما باتوجه به بحران جدی کم‌آبی و آب‌خواری قابل توجه 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 مورد نظر و گردآوری آمار پراکنده در منابع مکتوب استخراج شده است؛ کاری که باتوجه به 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 صحبت سنجی، حذف انحراف معیارها و رعایت اصل سه سویه‌سازی برای استخراج میزان آب مصرفی دو سیستم رایج ساختمان‌سازی در کشور (فولادی و بتُنی) مورداستفاده

### قرار گرفت.

برای محاسبه آب مصرفی ساختمان‌های گلین از روش شبیه‌سازی کارگاهی و آزمایشگاهی استفاده شده است و برای روایی مقادیر به دست آمده از تکنیک سه سویه‌سازی بهره گرفته شده است؛ به نحوی که در سه کارگاه مختلف و توسط سه گروه متفاوت شبیه‌سازی‌ها صورت گرفته و مقادیر به دست آمد. باتوجه به اینکه در داده‌های حاصل از انحراف معیار مشاهده نشد، پس از کنترل با استادکاران سنتی، میانگین مقادیر به دست آمده به عنوان داده نهایی مورد استناد قرار گرفت. نهایتاً بر مبنای اطلاعات به دست آمده در قالب یک ساختمان فرضی به عنوان نمونه موردنی، 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 بتُنی محاسبه و با دو نمونه مشابه با سازه گلین (خشتشی و دیوار خاک کوبیده) مقایسه گردید.

### مصرف آب در اجرای ساختمان بتُنی و فولادی

امروز عمدۀ 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 ارائه شده، میزان آب مصرفی در تولید مصالح ساختمانی رایج در کشور ارائه شده است.<sup>۲</sup>

### 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 بنای‌های بتُنی است به نحوی که این صنعت از صنایع آب‌خوار دنیا محسوب می‌شود (Tapali &

ج- برای عمل آوری؛  
د- شست و شوی ماشین آلات.

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<sup>۲</sup>، شامل:

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

است (قالیافان، ۱۳۸۲، کیمیا بتن، ۱۳۹۶). میزان آب مصرفی برای عمل آوری هر مترمکعب بتن با توجه به حداقل زمانی که باید بتن مرطوب نگه داشته شود، ۲۵۰ لیتر محاسبه گردید. نهایتاً مطابق محاسبه انجام شده در جدول شماره ۱، برای تولید هر مترمکعب از این ترکیب سیمانی رایج در ساخت و ساز عرفی کشور به‌طور متوسط حدود ۱۴۰۰ لیتر آب مصرف می‌شود.

#### آب مصرفی سازه‌های فولادی

فولاد از جمله 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 پذیریم (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 ساخت و ساز مصرف می‌شود (AISI, 2015; Worldsteel, 2016(b)).

(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<sup>۳</sup> (قالیافان، ۱۳۸۲؛ Kumar Mehta, 2001). در سال ۱۳۹۳ ایران برای تولید ۷۰ میلیون تن سیمان (ماهانه 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 شست و شوی سنگدانه‌ها و ماشین آلات، عمل آوری و نگهداری مرطوب بتن نیز اضافه کرد که این رقم را چندین برابر می‌کند.

#### صرف 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 به واسطه 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 ماشین آلات، ظرفیت تولید و سیستم‌های صرفه‌جویی می‌تواند متفاوت باشد اما به‌طور متوسط آب مورد نیاز برای تولید هر کیلوگرم سیمان در کشور ما بین ۰/۴ تا ۰/۵ لیتر محاسبه شده است<sup>۴</sup> (چهرگانی، ۱۳۹۱). آمار اخذشده از کارخانه‌های تولیدکننده نیز این عدد را تأیید می‌کند.<sup>۵</sup>

#### آب مصرفی برای تولید بتن

آب در چهار مرحله عمده در شکل گیری یک بنا با ترکیبات سیمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- الف- برای شستن سنگدانه‌ها (شن و ماسه)؛
- ب- به عنوان یکی از اجزای مشکل ترکیب سیمانی؛

تولید فولاد کشور در سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ 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 نورده شده ساختمانی در یک سال حداقل ۴۵۰ میلیارد لیتر آب مصرف شده است. در فرایند تولید آهن، از آب عمده‌تاً به عنوان خنک‌کننده، غبارزدایی مواد اولیه، تمیزکاری سطوح، تهیه محلول‌ها، منابع بخار و فیلترهای کترل آلودگی هوا و درنهایت مصارف شستشو 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

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

آب	سیمان	شن و ماسه	نوع	مواد تشکیل دهنده یک متر مکعب بتن
۱۵۰ لیتر	۳۵۰ کیلوگرم	۱۹۰۰ کیلوگرم	میزان (بروکس و آدام، ۱۳۹۴)	میزان مصرف آب برای شستشو و تولید هر جزء
	۰/۴۵ لیتر در هر کیلوگرم)	۰/۴ لیتر (لیتر در هر کیلوگرم)		
میزان آب مصرفی برای تولید هر متر مکعب بتن				
میزان آب مصرفی برای شستشو و تراک بتن				
(شکرچی زاده و میرزاپی، ۱۳۸۴؛ پیدایش، ۱۳۸۸؛ کیمیا بتن، ۱۳۹۶)				
میزان آب مصرفی برای عمل آوری (تکهداری مرطوب) هر متر مکعب				
کل آب مصرفی به ازای هر متر مکعب بتن				

#### ج. ۲. 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

ضرورت این مهم متنذکر می‌شوند<sup>۹</sup>، 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 امکان پذیر 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

#### لزوم یک تغییر

محاسبات صورت گرفته که در شکلی حداقلی و خوش‌بینانه صورت پذیرفته<sup>۱۰</sup>، 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 قابل تقدیری در حال انجام است و توصیه‌نامه‌های بین‌المللی دائمًا صنایع را بر اهمیت و

زیستمحیطی این صنعت وابسته به فولاد و سیمان، که چون محل تمرکز مقاله نبود به تفضیل بدان پرداخته نشد، لزوم تغییری بنیادین در صنعت ساخت‌وساز را ایجاد می‌کند.

### معماری گلین، یک گزینه جایگزین

با علم به همه معایب و آسیب‌های صنعت کنونی ساختمان، این سؤال مطرح خواهد بود که آیا گزینه مناسبی پیش روی صنعت ساختمان است؟ به نظر می‌رسد این تحول می‌تواند با رجوع به سرمایه‌های تمدنی این کشور در حوزه معماری و آموختن از پیشینیانی که با حداقل آسیب به زیست‌بوم، فعل ساختن را صرف می‌کرده‌اند، صورت پذیرد. معماری گلین گذشته فلات مرکزی ایران، از کم آب‌خواهترین شیوه‌های ساخت‌وساز در دنیا به شمار می‌رود که مصرف آب در آن به شکل قابل توجهی پایین است. گزینه پیشنهادی، رجوع به معماری خاک و بهره‌مندی از شیوه‌های روزآمد آن است که امروزه به مدد مطالعات جدیدی که در دنیا بر روی آن صورت پذیرفته، ارتقاء یافته و بهینه شده است. به بیانی دقیق‌تر، دست‌کم در حوزه ساخت‌وسازهای با طبقات محدود (تا دو طبقه) این گزینه وجود دارد و از آنجاکه حجم عملده ساختمان‌های کشور در خارج از کلان‌شهرها با همین تعداد طبقات است، می‌توان به شکل قابل توجهی در مصرف آب صرفه‌جویی کرد. ضمن آنکه مخاطرات زیستمحیطی وابسته نیز کاهش می‌یابد.<sup>۱۰</sup>

در ادامه میزان آب‌بری یک سازه خاکی مورد بررسی قرار می‌گیرد تا سپس مقایسه‌ای میان بناهای بتُنی، فولادی و گلین در این خصوص صورت پذیرد.

### میزان آب موردنیاز ساختمان‌های گلین

تاکنون محاسبات دقیقی در خصوص مصرف آب بناهای خاکی صورت نگرفته است. در این تحقیق برای

به انرژی هست و این به معنای کاهش یک متغیر (میزان آب مصرفی) به قیمت افزایش متغیری دیگر (میزان مصرف سوخت) هست.

تبعات زیستمحیطی این دو صنعت وابسته به ساختمان، غیرقابل چشم‌پوشی است. تبعاتی که باعث شده‌اند ایران هشتمنی کشور آلاینده دنیا به شمار رود (UNIDO, 2014). سیمان سومین صنعت انرژی بر در ایران محسوب می‌شود که نزدیک به ده درصد مصرف انرژی کشور مصروف آن می‌شود (یزدیان و شکرچیزاده، ۱۳۹۳). در ایران هم‌اکنون حدود ۵۵ میلیون تن سیمان تولید می‌شود و به همین مقدار نیز گاز دی‌اکسید کربن تولید می‌گردد. برای تولید آن مقدار سیمان، سالانه ۱۹۲ میلیون تن منابع سنگی ارزشمند زمین شامل، شن، ماسه و سنگ‌دانه‌های شکسته که در واقع ذخایر تجدیدناپذیر خاک در کشور به شمار می‌روند، برداشت می‌شود (دفتر مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۵). صنعت فولاد نیز با تولید بالغ بر ۳۰ تن دی‌اکسید کربن به طور سالانه در ایران از جمله صنایع آلاینده به شمار می‌آید که با حدود ۱۵ درصد مصرف انرژی کشور، انرژی خوارترین صنعت کشور (بدون احتساب نیروگاه‌ها) محسوب می‌شود (UNIDO, 2014). این دو صنعت عامل شکل‌گیری بالاترین سهم را به صنعت ساختمان در تولید نخاله‌هایی می‌دهند که بازگشت معقولی برای آن‌ها به طبیعت متصور نیست.

در کنار این تبعات زیستمحیطی، صنعت ساختمان به‌واسطه وابستگی به صنایع فولاد و سیمان همان‌طور که به تفصیل اشاره شد از آب‌خوارترین صنایع در این کشور کم آب دنیا به شمار می‌رود. آمار تکان‌دهنده از مصرف آب در صنعت ساختمان که با لحاظ کردن آب پنهان محاسبه نشده در فرایند حمل مصالح و اجرای ساختمان افزایش هم پیدا می‌کند، به همراه سایر تبعات

محاسبه میزان مصرف آب در این نوع معماری با استفاده از تجربه استادکاران سنتی از روش شبیه‌سازی گرفته شده است، بهنحوی که ساده‌ترین شکل یک بنا با سیستم‌های سازه‌ای متفاوت در نظر گرفته شده است. بنابراین نقشه‌های اجرایی یک اتاق با ابعاد  $4/5 \times 4/5$  متر (تقریباً با زیربنای  $20\text{ متر مربع}$ )، در یک طبقه (ارتفاع دیوارها سه متر)، تهیه شد. نقشه‌های اجرایی اتاق بتُنی و فولادی توسط مهندسین سازه محاسبه و در مورد اتاق گلی بر اساس ضوابط مبحث هشتم مقررات ملی ساختمان تهیه و متوجه گردید. پس از مشخص شدن حجم مقادیر مصرفی سیمان، آهن‌آلات، خشت، و ملات‌ها<sup>۱۲</sup>، تا اتمام مرحله سفت‌کاری، میزان مصرف آب هر یک از سیستم‌ها مطابق جدول شماره ۴ مشاهده می‌شود. همان‌گونه که مطالعات نشان می‌دادند سیستم خاک کوییده کمترین نیاز را به آب دارد (Petrovic et al., 2017, 289) و بعدازآن ساختمان خشتنی و بعد با اختلاف زیاد ساختمان اسکلت فلزی و بتُنی 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 بتُنی و فولادی نتایج بهتری نیز دارد. ضمناً باید در نظر داشت که میزان آب مصرفی برای اتاق نمونه تحقیق با توجه به کوچک بودن مساحت آن و نامتعارف بودنش، بیشتر از یک ساختمان معمولی به دست آمده<sup>۱۳</sup> و لذا در محاسبات نمونه موردي 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 به دست آمده در جدول شماره ۴ خواهد بود؛ بدینهی است در مورد ابر پروژه‌ها و پروژه‌های خاص شرایط کاملاً متفاوت بوده و نیازمند تحقیقات مستقلی است.

**مقایسه مصرف آب بنای بتُنی، فولادی و گلین**  
برای مقایسه میزان مصرف آب در ساختمان‌هایی با

### ج.۳. محاسبه میزان مصرف آب برای تولید عناصر سازنده بناهای گلی

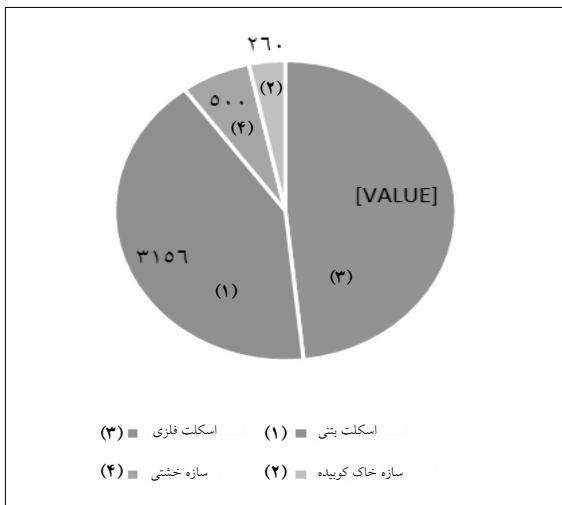
۵۰/۷ لیتر	میزان مصرف آب برای تولید هر عدد خشت
۵۰/۲ لیتر	میزان آب مصرفی برای هر کیلو گرم ملات گل و ملات گل و گچ
۳۰۰ لیتر	میزان آب مصرفی برای هر متر مکعب ملات گل
۴۰۰ لیتر	میزان آب مصرفی برای هر متر مکعب ملات شفته آهک
۱۰۰ لیتر	میزان آب مصرفی برای تولید یک متر مکعب دیوار خاک کوپیده

### ج.۴. مقایسه مصرف آب بناهای بتی، فولادی و گلی (خشتشی و خاک فشرده)

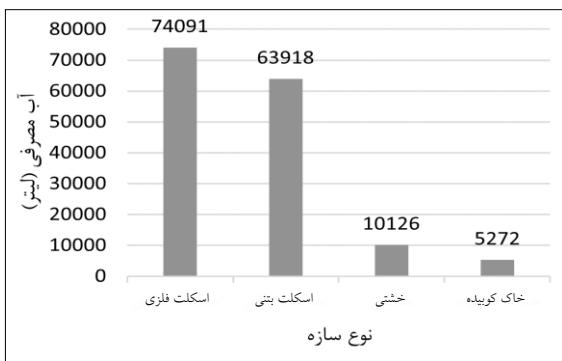
مصرف کل آب هر سیستم (لیتر)	نوع مصالح و میزان آب بزی آن ها				مشخصات اجمالی بعاد بیرونی: ۴/۵*۴/۵ متر	نوع سازه
	مصرف آب کل (لیتر)	مصرف آب در واحد مصالح (لیتر)	تعداد یا وزن (متر مکعب/کیلوگرم)	نوع مصالح		
۱۰۱۲۶	۷۱۱۶ عدد	۰/۷	۱۰۶۶ عدد	۵ *۲۰*۲۰ خشت	دیوار خشتشی ۶۰ س.م. اسپر ۲۰ س.م. طاق: گهواره ای (پر یک خشنه)	دیوار خشتشی با طاق گهواره ای سازه گلین
	۱۴۱۰ (ARS:682:1996)	۳۰۰	۴/۷	ملات گل (متر مکعب)		
	۱۶۰۰	۴۰۰	۴	ملات شفته آهک عیار ۱۵۰ (متر مکعب)		
۵۲۷۲	۱۲۳۶ عدد	۰/۷	۱۷۶۶ عدد	۵ *۲۰*۲۰ خشت	دیوار خاک کوپیده باریبر ۶۰ س.م. اسپرها ۲۰ س.م. طاق: گهواره ای (پر یک خشنه)	دیوار خاک کوپیده با سقف گهواره ای سازه گلین
	۲۰۱۶	۱۰۰	۲۰/۱۶	دیوار خاک کوپیده (متر مکعب)		
	۴۲۰ (ARS:682, 1996)	۳۰۰	۱/۴	ملات گل (متر مکعب)		
	۱۶۰۰	۴۰۰	۴	ملات شفته آهک عیار ۱۵۰ (متر مکعب)		
۶۳۹۱۸	۱۹۸۳۸	۱۴۱۷	۱۴ بنن (متر مکعب)		دیوار بلوك بتی ۴۰*۲۰*۲۰ س.م. با ملات ماسه سیمان و فندانسیون بتی	اسکلت بتی و سقف تیرچه بلوك سازه بتی
	۳۴۳۷۰	۲۶/۵	۱۲۹۷ آهن آلات (کیلوگرم)			
	۷۱۰ عدد	۵	۱۴۲ بلوك سیمانی سقف			
	۹۰۰۰ عدد	۶	۱۵۰ بلوك سیمانی دیوار			
	۱۲۲۲۷	۱۴۱۷	۸/۷ بنن (متر مکعب)			
۷۴۰۹۱	۵۱۷۵۴	۲۶/۵	۱۹۵۳ آهن آلات (کیلوگرم)		دیوار بلوك بتی ۴۰*۲۰*۲۰ س.م. با ملات ماسه سیمان و فندانسیون بتی	اسکلت فلزی و سقف تیرچه بلوك سازه فلزی
	۷۱۰ عدد	۵	۱۴۲ بلوك سیمانی سقف			
	۹۳۰۰ عدد	۶	۱۵۵ بلوك سیمانی دیوار			

است با اتخاذ شیوه‌های کم مصرف، 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 ساخت و ساز محدود است و بخشی از تلاش این مقاله صرف تولید اطلاعاتی در این زمینه از طریق مراجعات میدانی به کارگاه‌ها و کارخانه‌ها،

نتیجه میزان مصرف انرژی، تولید آلاینده‌ها و حجم فراینده 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 کم آبی مواجه است. ضروری



ت.۱. مصرف آب (لیتر) به ازای هر مترمربع زیرینتا  
سیستم های سازه ای متفاوت در پروژه نمونه موردی  
تحقيق



ت.۲. 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 عزيزی  
بندرآبادی، محمد رضا رمضانخانی و خانم اکرم شفیع  
نادری که در استخراج و محاسبه مقادیر کمک شایانی  
نمودند، سپاسگزاری می شود.

شبیه‌سازی، مصاحبه و جستجو در بین متون پراکنده با هدف رسیدن به مقادیر مصرف واقعی و معتبر شد. با تکیه بر اطلاعات به دست آمده، 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 قابل توجه در این زمینه دارد. به نحوی که یک ساختمان خشتی با مصرف ۵۰۰ لیتر در هر مترمربع حدود ۱۴ درصد و یک ساختمان با سازه دیوار خاک کوییده با مصرف ۲۶۰ لیتر آب، تنها ۷ 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 ۳۶۶۰ و ۳۱۶۰ لیتر (تصاویر شماره ۱ و ۲) با شرایط کشور ما که مواجه با بحران کم‌آبی است، قرابتی ندارند.

امروزه با توجه به نکات فوق الذکر دنیای توسعه‌یافته به سمت معماری با خاک معطوف شده است. ضروری به نظر می‌رسد ایران نیز که پشتونهای قوى 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 ساخت و ساز عرفی (ساختمان‌های غیرعمومی کمتر از ۳ طبقه با استفاده از کلافهای افقی و قائم) که درصد قابل توجهی از ساخت و ساز کشور را به خود اختصاص می‌دهد، نماید. این مهم می‌تواند راهکاری اساسی در جهت مدیریت بحران کم‌آبی در حوزه ساخت و ساز باشد.

## پی‌نوشت

۱. مراد از مرحله سفت کاری در این مقاله مشخصاً اجرای شالوده، عناصر باربر و سقف ساختمان (کلاً سازه بنا) به همراه دیوارهای جداتکننده است؛ فارغ از اینکه چه جزئیاتی از قبیل انداود، عایق، نمازی، کفسازی و ترتیبات را شامل می‌شوند.

۲. محاسبات صورت گرفته در این مقاله به واسطه

- متنوع بودن فرایند تولید بتن و سیمان

- تفاوت شیوه‌های تولید

- تنوع سطح فناوری ماشین‌آلات

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

- تنوع مصرف کارخانه‌ها و کارگاه‌های تولیدی به واسطه نبود نظام استاندارد یکپارچه

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

- پرهیز از ارائه آمارهای واقعی به واسطه نگرانی از سیاه نمایی در باب صنعت موجود با توجه به شرایط بحرانی آب

دو چندان دشوار است. با این حال ارقام ارائه شده 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  $5/1$  میلیارد مترمکعب است که به  $1/56$  میلیارد تن سیمان مصرف می‌شود. با احتساب نسبت متوسط آب به سیمان به میزان  $0/5$ ، آب اختلاط مصرفی فقط برای تولید سیمان بتن بالای یک تریلیارد لیتر می‌شود.

$1/56/0/5*$  میلیارد تن آب در سال به این مقدار اگر آب لازم برای شست و شوی سنگدانه‌ها، شستن وسایل و عمل آوری بتن را اضافه کرد در شکل خوش‌بینانه میزان مصرف آب تا دو برابر افزایش پیدا خواهد کرد (قالیافان، 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 برنامه‌ویوچه (سابق)، برای ساختمان‌های معمول ساخته شده 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، عدد

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.

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

۷. برای تولید فولاد در کشور ارقام متنوعی اعلام می‌شود، آمار از ۲۸ مترمکعب (طاهری‌زاده، ۱۳۹۵) و ۲۵ مترمکعب (فرونجی، ۱۳۹۳) تا ۱۰ مترمکعب (تولاییان، ۱۳۹۳؛ س سبحانی، ۱۳۹۳ الف و ب؛ سبحانی، ۱۳۹۴) ذکر می‌شود. مصاحبه با دستادر کاران 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 بر حسب دقت آمار و میزان تولید، عددی حدود ۲۱۵۰ 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 حداتکننده از آن‌ها، بازیافت نخاله‌های ساختمانی به عنوان مواد خام کارخانه‌ها، اصلاح خط تولید و ماشین‌آلات با نیاز به آب کمتر، بازیافت آب کارخانه‌ها و تغییر شیوه‌های تیرید 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، پرتو، بربیل و ... مجوز ساخت گرفته و رو به گسترش است (Guillaud, 1994؛ کشورهایی که برخی از آن‌ها به لحاظ وضعیت استقرار در پهنه‌بندی زلزله شیبیه ایران هستند).

۱۱. بر مبنای اندازه‌گیری میزان آب مصرفی در ساخت نمونه موردنظر در قالب یک کارگاه پژوهشی توسط گروه معماری کلین پژوهشکده معماری بومی دانشگاه یزد در شهرستان تفت یزد که به سرپرستی دکتر نریمان فرجزا در روزهای ۱۸-۲۱ لغایت خردامدah ۱۳۹۳ برگزار شد. در این کارگاه چهار روزه برای دیواری با طول ۶ متر، ارتفاع ۵/۲ متر 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

- انتشارات پرهام.
- پیدایش، منصور. (۱۳۸۴)، بتن و تعامل آن با محیط‌زیست. دومین کنفرانس بین‌المللی بتن و توسعه. ۱۰-۱۲ اردیبهشت ۱۳۸۴. تهران.
- تولانیان، 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 در ۱۳۹۳/۹/۲۵).
- دفتر مقررات ملی ساختمان. (۱۳۹۵)، مبحث پنجم: مصالح و فرآورده‌های ساختمانی. تهران: نشر توسعه ایران.
- حاج میربای، مجید. (۱۳۹۸)، مصاحبه‌ای منتشرنشده با محسن عباسی هرفته: درباره مصرف آب سازه‌های خاک کوییده 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 تاریخ ۱۳۹۳/۱۲/۲۰. ([eaststeelco.com](http://eaststeelco.com) (آخرین دسترسی در آبان ۱۳۹۵)).
- فولاد نیوز (پایگاه جامع اطلاع رسانی صنعت فولاد ایران). (۱۳۹۵)، بحران کم آبی در ایران: سهم بالای فولاد در مصرف انرژی. دوشنبه ۱۳ مهر ۱۳۹۵.
- قالیافان، مهدی. (۱۳۸۲)، بتن و محیط‌زیست. فصلنامه انجمن بتن ایران. سال سوم، شماره ۱۱، پاییز ۱۳۸۲.
- چهرگانی، حسین. (۱۳۹۱)، نکات فنی و علمی کوتاه از صنعت سیمان. ماهنامه علمی - تخصصی فناوری سیمان، ۵۲: ۸۹-۹۵.
- سبحانی، بهرام. (۱۳۹۳)، مصرف ۱۰ مترمکعب آب به ازای هر تن فولاد. مصاحبه خبرگزاری ایمنا با مدیرعامل فولاد مبارکه در تاریخ ۱۳۹۳/۴/۹. ([www.imna.ir](http://www.imna.ir)). (آخرین دسترسی ۹۸/۳/۱۰).
- سبحانی، بهرام. (۱۳۹۳)، 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](http://steelpedia.ir). (آخرین دسترسی ۹۸/۵/۲۰).
- سبحانی، بهرام. (۱۳۹۴)، سرانه مصرف ۳۰۰ کیلوگرمی فولاد مستند مرکز کراتر در ایران نیز صدق می‌کند.
۱۲. در مورد ملات‌ها محاسبه آب مصرفی کارآسانی نیست چون مقدار آب مورد نیاز در درجه اول به مواد تشکیل‌دهنده ملات بستگی دارد (ASTM, 2003)، ضمن اینکه عواملی نظری وضعیت آب‌وهایی، دقت کارگران، شرایط و تجهیزات کارگاه و... بر این میزان تأثیر می‌گذارد. همواره گفته می‌شود ملات‌ها باید حاوی حداقل مقدار آبی باشند که مطلوب ترین حالت کارایی حاصل شود (همان) و بر همین اساس اندازه‌گیری های آزمایشگاهی برای تعیین آب مصرفی ملات‌ها رایج نیست (خدابنده، ۱۳۷۴). نهایتاً با انجام 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 به طور 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 سیمان، می‌بینی بر نتایج به دست آمده در آزمایشگاه و کارگاه به ازای هر مترمکعب ملات، ۱۸۰ لیتر آب به طور متوسط مصرف شد که نتایج تحقیقات مشابه نیز آن را تأیید می‌کند (ضیایی و عباسی هرفته، ۱۳۹۷). با توجه به مشابهت زیاد این عدد با عدد به دست آمده برای بتن در جداول شماره ۱، در محاسبات جدول شماره ۴، حجم بتن و ملات ماسه سیمان با یکدیگر تجمعی شده‌اند.
۱۲. دلیل اصلی هم بر می‌گردد به اینکه سازه پروره نمونه موردی تحقیق به علت کوچک بودن، به نسبت سنگین تر 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 (۱۳۹۹/۰۹-۰۵).
- بهادری نژاد، مهدی؛ فاطنت دیدار، توحید. (۱۳۸۲)، آب مورد نیاز تولید مصالح و ساخت دو برج مسکونی در تهران با اسکلت‌های فولادی و بتی. ششمين کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- بروکس، جی. جی؛ نویل، آدام. (۱۳۷۴)، تکنولوژی بتن.
- ترجمه علی‌اکبر رمضانی‌نپور و محمد رضا شاه نظری. تهران:

- فولاد). تاریخ انتشار ۹ دی ۱۳۹۴. <https://steelpedia.ir/fa/article/23208/> (آخرین دسترسی ۱۳۹۸/۱۲/۱۳).
- یزدیان، مهدی؛ شکرچی زاده، محمد. (۱۳۹۳)، بررسی روش های کاهش اثرات زیست محیطی بتن در ایران. هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، بابل، ۱۷ و ۱۸ 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/EC\\_O11/ECO11008FU1.pdf](https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/EC_O11/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)
- ایران تا ۱۴۰۴. مصاحبه با رئیس انجمن تولیدکنندگان فولاد ایران و مدیرعامل گروه فولاد مبارکه اصفهان در تاریخ ۱۳۹۴/۳/۱۱ پایگاه اطلاع رسانی انجمن تولیدکنندگان فولاد ایران (استیل ایران): [steeliran.org/](http://steeliran.org/) (آخرین دسترسی ۱۳۹۸/۱۲/۲۰)
- شاهحسینی، احمد؛ شکوهیان، محمد و درخشان، سهیل. (۱۳۹۴)، آب مجازی در صنعت ساخت و ساز (با بررسی کشورهای چین، هند و استرالیا). پوستر ارائه شده در سومین سمپوزیوم بین المللی مهندسی محیط‌زیست و منابع آب، تهران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- شکرچی زاده، محمد؛ میرزاپی، 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 معدن و صنایع معدنی ایران و شرکت مهندسی بین المللی 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 ساخت و ساز در مسکن عرفی معاصر یزد. معماری اقلیم گرم و خشک. ۱-۲۱: ۶(۸)
- طاهری زاده، 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](http://fooladnews.com) (آخرین دسترسی ۱۳۹۷/۵/۴)
- ماهنامه فناوری سیمان. (۱۳۹۳)، آمار تولید و تحويل سالانه سیمان و کلینکر. شماره ۷۱-۷۰. فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۳ [cementtechnology.ir/Statistics/Production.1392-12.Months.pdf](http://cementtechnology.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](http://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

- 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\\_EmbodiedWater\\_in\\_Construction\\_Materials](https://www.researchgate.net/publication/277716798_Water_Consumption_in_Buildings_EmbodiedWater_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>