نشریه معماری اقلیم گرم و خشک
سال ششم، شماره هشتم، پاییز و زمستان ۱۳۹۷

تاثیر نوع سیستم ساختمانی بر میزان آب مصرفی ساخت‌وساز در مسکن عرفی معاصر یزد

فرناز ضیائی[۱]، محسن عباسی هرفته[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه یزد
۲- استادیار دانشکده هنر و معماری، دانشگاه یزد

(تاریخ دریافت مقاله: : ۱۳۹۷/۰۶/۱۵، تاریخ پذیرش نهائی: ۱۳۹۷/۱۲/۲۵)

چکیده

صنعت ساختمان از صنایع آب‌بر محسوب می‌شود و ساخت‌وساز در کشور، بخش قابل‌توجهی از مصرف آب شرب را به خود معطوف می‌کند. یکی از عوامل تاثیرگذار بر مصرف آب در ساختمان‌سازی، نوع سیستم ساختمانی است. برای بهینه‌سازی مصرف آب در ساختمان‌سازی لازم است سیستم ساختمانی به نحوی انتخاب شود که علاوه بر تامین خصوصیات سازه‌ای مورد نظر، به لحاظ مصرف آب در مرحله ساخت نیز بهینه باشد. تاکنون عمده فعالیت‌ها برای کاهش مصرف آب در ساختمان، معطوف به مرحله بهره‌برداری از ساختمان بوده و کمتر به مرحله ساخت توجه شده است. در این مقاله از بین شمار خانه‌های عرفیِ شهر یزد، به عنوان نمونه حاد در اقلیم گرم‌وخشک کشور که با بحران بی‌آبی مواجه است، ، نمونه‌ای با سیستم سازه‌ای دیوار باربر انتخاب شد و به روش کمی، میزان مصرف آب در مرحله ساخت سازه آن محاسبه گردید. این مقدار شامل مصرف آب حین اجرا در کارگاه و آب مصرفی برای تولید مصالح ساختمانی مورد نیاز در کارخانه است. سپس سازه ساختمان برای نمونه مذکور با دو سیستم متداول دیگر یعنی اسکلت فلزی و اسکلت بتنی طراحی شد و با در نظر گرفتن سایر تغییرات وابسته به سیستم ساختمانی، مانند ابعاد پی، ابعاد تیرها و ستون‌ها، ضخامت دیوارها و... مصرف آب مجددا محاسبه گردید. نتیجه محاسبات و بررسی‌ها نشان می‌دهد که از بین سیستم‌های متداول ساختمانی، سیستم ساختمانی دیوار باربر نسبت به دو سیستم دیگر مصرف آب کمتری دارد که بخش عمده این کاهش مصرف به سبب کاهش استفاده از فولاد است. با این وجود پس از بررسی سیستم ساختمانی خشکِ "قاب فولادی سبک[۱] به عنوان سازه نوینی که به تازگی در یزد رواج پیدا کرده است، این نتیجه حاصل شد که به کارگیری این سیستم ، نسبت به سازه‌های متداولی که در حال حاضر در یزد استفاده می‌شود مصرف آب کمتری را به دنبال دارد.

کلید واژه‌ها: مصرف آب، ساخت‌وساز، سیستم ساختمانی، مسکن عرفی یزد

* نویسنده مسئول: Email: abbasi@yazd.ac.ir

پرسش‌های پژوهش

مقاله ارائه شده، بر مصرف آب در مرحله ساخت مسکن عرفی یزد با توجه به نوع سیستم‌های ساختمانی رایج در این شهر تمرکز دارد؛ لذا از این منظر، سوالات این پژوهش به قرار زیر است:

- از بین سیستم‌های ساختمانی متداول در ساخت مسکن عرفی شهر یزد کدام یک به لحاظ مصرف آب بهینه هستند؟
- سیستم ساختمانی بهینه از منظر مصرف آب چگونه به کاهش مصرف آب در ساخت مسکن عرفی یزد کمک می‌کند؟

۱- مقدمه

در حوزه ساخت‌وساز ساختمان‌ها در کشور ما از آب شرب استفاده می‌شود که این یکی از مسائل تاثیرگذار در شدت بحران کم‌آبی است و رفع این معضل تنها با نظارت دقیق دستگاه‌های دخیل در امر ساخت‌وساز میسر می‌باشد (بی نام، ۳۳:۱۳۹۵). مصرف بالا و بی‌رویه آب شرب و شهری به ویژه در صنعت ساختمان، چه در مرحله ساخت‌وساز و چه در مرحله بهره‌برداری، هزینه‌های هنگفتی را به بودجه عمومی کشور وارد می‌سازد در حالی‌که اگر ساختمان به شیوه‌های درستی ساخته شود، در مرحله ساخت و در دوره بهره‌برداری نقش موثری در جلوگیری از هدررفت آب خواهد داشت. آمارها حکایت از آن دارند که کاهش مصرف آب و بهبود بهره‌وری آب در ساختمان‌ها قدم بزرگی در مدیریت پایدار منابع آب می‌باشد (Bardhan, 2011:96).

نظر به مصرف بالای آب در ساخت‌وسازهای کنونی که عمده آن به مصالحی چون فولاد و بتن برمی‌گردد، انتخاب یک سیستم ساختمانی مناسب با در نظر گرفتن اولویت‌ها، می‌تواند تاثیر بسزایی در جلوگیری از هدررفت آب داشته باشد. شناخت دقیق سیستم‌های رایج ساختمانی و مصالحی که در آن‌ها استفاده می‌شود و نیز توجه به میزان مصرف آب حین اجرای سیستم و همچنین طی فرایند تولید مصالح مورد نیاز آن، برای انتخاب مناسب سیستم ساختمانی، اقدام موثری است که لازم است در شرایط بحران کنونی آب، مورد توجه سازندگان ساختمان‌ها قرار گیرد و نقش معماران و مهندسین ساختمان در این انتخاب بسیار حائز اهمیت است.

تحقیق حاضر در جهت پاسخ به پرسش‌های پژوهش، هدف‌گذاری شده، تا با نیل به اهداف ۱) شناسایی سیستم ساختمانی بهینه از منظر مصرف آب حین فرایند ساخت در مسکن عرفی یزد و ۲) تعیین عامل یا عواملی که در سیستم ساختمانی بیش‌ترین تاثیر را بر میزان مصرف آب دارد، پاسخی برای سوالات خود پیدا کند. لذا ابتدا به روش کمی میزان آب مصرف شده سیستم ساختمانی در یک نمونه مسکن عرفی در یزد (مساکنی با بیش‌ترین درصد ساخت‌وساز که طبق استعلام از "سیستم سرای شهرداری یزد" و استناد به گزارش طرح تفضیلی شهر یزد، به صورت ۱ طبقه (همکف و اول)، با سیستم‌ساختمانی دیوار باربر و شناژ در زمینی با مساحت حدود ۲۰۰ مترمربع می‌باشد) محاسبه می‌شود؛ سپس با تغییر سیستم ساختمانی، با استفاده از نرم‌افزار ETABS و

جایگزینی مصالح مصرفی و اعمال تغییر ابعاد و اندازه اجزای ساختمانی وابسته و همچنین با در نظر گرفتن تفاوت در شیوه اجرا، به بررسی تغییرات مصرف آب در سیستم‌های ساختمانی مختلف پرداخته می‌شود.

ذکر این نکته لازم است که تعریف‌های مختلفی برای سیستم ساختمانی، ارائه شده است؛ که همه به نوعی به ترکیب مصالح و تکنیک‌ها برای ساخت ساختمان اشاره دارند. آنچه در این مقاله تحت عنوان سیستم ساختمانی مورد نظر است، در واقع سیستم سازه‌ای ساختمان است که بارهای ثقلی و جانبی را تحمل می‌کند و بسته به نوع سیستم، مصالح و تکنیک‌های اجرا، متفاوت می‌باشد. لذا طبق این تعریف چون دیوارهای اصلی در سیستم دیوار باربر متحمل بار می‌شوند پس جزئی از این سیستم ساختمانی هستند. در این تحقیق عوامل وابسته به سیستم ساختمانی نظیر دیوارهای اصلی نیز در نظر گرفته شده‌اند؛ بنابراین علی‌رغم اینکه این دیوارها در سیستم‌های اسکلتی جز سیستم سازه‌ای به حساب نمی‌آیند و صرفا عناصری پرکننده هستند اما از آن‌جا که ضخامت و حتی مصالح آن‌ها در سیستم‌های باربر و اسکلتی متفاوت است برای تعیین دقیق‌تر تاثیر سیستم ساختمانی بر مصرف آب، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بخش نازک‌کاری ساختمان که عموما در سیستم‌های ساختمانی مختلف مشابه و البته می‌تواند بسیار متنوع باشد در این تحقیق در نظر گرفته نشده است.

۱. طرح مسئله و تعیین محدوده تحقیق
- شناسایی سیستم‌های ساختمانی در خانه‌های عرفی یزد

۲. انتخاب نمونه موردی با توجه به‌آمار ساخت‌وساز مسکن در یزد
- خانه‌ای ۱ طبقه در زمینی به مساحت $۱۹۵m^2$ با زیربنا $۱۱۷m^2$ با سازه دیوار باربر و شناژ

۳. متره و برآورد مصالح به کار برده شده در ربط با سیستم ساختمانی بنا
- بتن، فولاد، سیمان، شن و ماسه، آجر

٤. تعیین میزان آب مصرفی در سیستم ساختمانی
- آب مصرفی برای تولید هر یک از مصالح (در کارگاه یا کارخانه)
- آب مصرفی حین فرایند اجرا

۵. انتخاب دو سیستم نسبتا رایج و یک سیستم‌خشک وتکرارمرحله٤
- اسکلت بتنی، اسکلت فولادی، قاب فولادی سبک

مقایسه و نتیجه‌گیری: شناسایی سیستم ساختمانی بهینه از منظر مصرف آب در ساخت مسکن عرفی یزد

تصویر ۱- مراحل تحقیق

۲- پیشینه تحقیق

آب و انرژی در طول چرخه عمر یک ساختمان، دو رکن اصلی هستند که فعالیت‌های انسانی را پشتیبانی می‌کنند. در حالی که مطالعات زیادی در زمینه انرژی مصرف شده و بازیابی انرژی در ساختمان‌ها انجام شده، اما اطلاعات در

زمینه آب مصرف شده بسیار کم و ناکافی است (Bardhan, 2011:94). تلاش‌های حرفه‌ای معماری و مهندسی در رابطه با ساختمان‌های کارآمدتر به لحاظ منابع، در چند دهه گذشته در درجه اول بر روی انرژی تمرکز کرده‌اند؛ در حالی که امروز مسئله آب در بسیاری از نقاط دنیا در سطحی بحرانی مطرح می‌شود و آب قبل از انرژی به عنوان عامل محدودکننده رشد و توسعه‌ی محلی و منطقه‌ای شناخته می‌شود (Grondzik and Kwok, 2015:37). عمده فعالیت‌های انجام شده در خصوص ارائه راهکارهای کاهش مصرف آب در ساختمان، بیش‌تر معطوف به مرحله بهره‌برداری از ساختمان می‌باشد و کمتر به مرحله ساخت توجه شده‌است. بنابراین یک خلا بسیار بزرگ در مورد داده‌های آب مصرف شده در صنعت ساختمان-سازی وجود دارد.

جهان معاصر به دلیل وجود مشکلات متعدد زیست‌محیطی نظیر تغییرات اقلیمی، افزایش آلاینده‌ها، کاهش منابع اولیه و... نیازمند تأمل و دقت‌نظر در ابعاد مختلف سیستم‌های ساختمانی مورد استفاده است (گودینی و فکری، ۱۳۹۶). معیارهای مختلفی برای انتخاب نوع سیستم ساخت مسکن وجود دارد و پژوهش‌های متعددی در خصوص میزان هزینه و زمان اجرا، اصول پایداری و مسائل زیست‌محیطی سیستم‌های ساختمانی نوین نظیر LSF، ICF[۲]، پانل‌های سه بعدی و... انجام شده، اما به بحث میزان مصرف آب سیستم‌های ساختمانی متداول، مانند اسکلت فولادی و بتنی کمتر پرداخته شده است. یکی از مهمترین دلایل این موضوع نبود اطلاعات فنی مدون و تأیید شده درخصوص بسیاری از این سیستم‌هاست که تهیه آن مستلزم انجام آزمایش‌های مختلف و صرف زمان و هزینه‌ی قابل ملاحظه‌ای است.

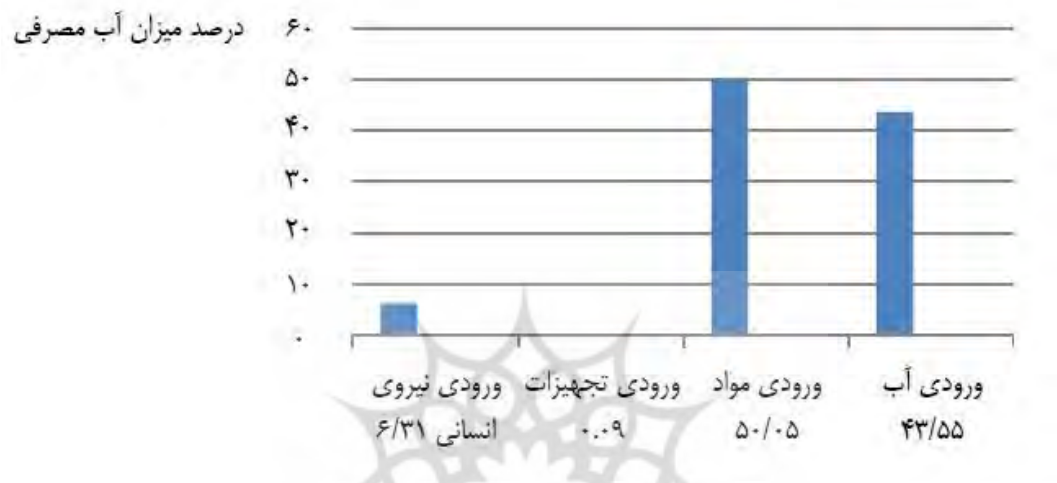
تحقیقات مشابهی در کشورهای استرالیا، هند و چین در زمینه میزان مصرف آب در ساخت‌وساز صورت گرفته است. اولین تحقیقات در زمینه آب مصرفی در ساخت‌وساز مربوط به کشور استرالیا می‌باشد. ترلور و همکارانش آب مورد نیاز در ساخت یک خانه عرفی در استرالیا را تقریبا برابر با ۱۵ سال مصرف آب در دوران بهره‌برداری ساختمان تخمین زده‌اند (Treloar et al, 2004). همچنین مکرمک و همکارانش ۱۷ نمونه موردی غیرمسکونی را بررسی کردند و دریافتند آب مصرفی در ساخت‌وساز می‌تواند چیزی حدود ۲۰ مترمکعب برای هر مترمربع زیربنا باشد (McCormack et al, 2007:161). کرافورد و ترلور آب مصرف شده در ساخت یک ساختمان تجاری را ۵۴/۱ مترمکعب برای هر مترمربع زیربنا محاسبه کرده‌اند که فولاد بیش‌ترین سهم یعنی ۱۷درصد از این مقدار را شامل می‌شود و آب مستقیمی که حین فرایند ساخت مصرف می‌شود تنها ۰/۷ درصد می‌باشد (Crawford and Treloar, 2005). نتایج محاسبات تحقیق دیگری توسط کرافورد (2011) بر روی چرخه مصرف آب در یک ساختمان مسکونی و ساکنانش در استرالیا نشان می‌دهد مصرف آب حین ساخت‌وساز و مصرف آب حین بهره‌برداری به ترتیب ۳۱/۴ و ۳۱/۶ مترمکعب برای هر مترمربع زیربنا می‌باشد.

باردهان (2011) با بررسی ساختمان‌های مسکونی چند طبقه بتنی و فولادی در کلکته هند میزان آب مصرف شده به ازای هر مترمربع زیربنا در یک ساخت‌وساز متداول شهری را در حدود ۲۷/۶۰ مترمکعب محاسبه می‌کند که تقریبا برابر با آب مصرفی ۳۴ خانواده ۵ نفره در طول یک سال است. بخش اعظم این مقدار مربوط به آب مورد نیاز برای تولید مصالح است و آب مصرفی حین فرایند ساخت درصد ناچیزی را به خود اختصاص می‌دهد. منگ و همکارانش (2014) ۶ ساختمان اداری در شهر پکن را در نظر گرفته‌اند و مصرف آب حین ساخت‌وساز را ۲۰/۸۳ مترمکعب آب بر مترمربع زیربنا محاسبه کرده‌اند (Meng et al., 2014). از آن‌جا که ساختمان‌های مورد مطالعه منگ و همکارانش در چین بتن مسلح هستند ۲۷/۹۷ درصد کل آب مصرفی برای فولاد و ۱۵/۷۷ درصد برای محصولات سیمانی و گچی استفاده شده است (شاه‌حسینی، شکوهیان و درخشان، ۱۳۹۴). نتایج نهایی در تحقیقات فریزپاپی نیز نشان می‌دهد میزان بسیار زیادی آب در تولید مصالح ساختمانی مصرف می‌شود و سهم هر کدام از مصالح در مقدار نهایی قابل توجه است. فولاد و سیمان بیش‌ترین سهم را در این میان دارند (Ferriz Papi, 2012). در تحقیقی مشابه توسط بهادری‌نژاد و فطانت‌دیدار در ایران نیز، طی مقایسه آب مورد نیاز تولید مصالح و ساخت دو برج مسکونی در تهران با اسکلت‌های فولادی و بتنی این نتیجه حاصل شد که مقدار آب مصرفی برای برج فولادی معادل ۱۱/۳۱ و برای برج بتنی معادل ۶/۲۹ مترمکعب آب بر مترمربع سطح زیربنا است (بهادری‌نژاد و فطانت‌دیدار، ۱۳۸۲). مقدار بالای مصرف آب برای تولید این مصالح نشان می‌دهد که می‌توان با اقدامات مناسب و انتخاب دقیق‌تر سیستم‌های ساختمانی و مصالح مربوط به آن نقش موثری در صرفه‌جویی آب ایفا کرد و از مصرف بی‌رویه آن جلوگیری نمود.

ذکر این نکته لازم است که نتایج عنوان شده، به جز نمونه ایرانی، مربوط به کل فرایند ساخت ساختمان از ابتدا تا انتها است و مصارف آب نیروی انسانی و تجهیزات نیز، علاوه بر آب مصرفیِ تولید مصالح در آن‌ها لحاظ شده است؛ لذا برای دانستن میزان مصرف آب سیستم‌های مختلف ساختمانی و نقش آن‌ها در مصرف آب، این تحقیق صرفا به بررسی بخش سازه ساختمان، مصالح مربوط به سازه و اجزایی که وابسته به سیستم ساختمانی هستند (دیوارهای اصلی) پرداخته است؛ زیرا همان‌طور که اشاره شد مراحل بعدی ساخت نظیر کف، مراحل نازک‌کاری و... عموما در سیستم‌های ساختمانی مختلف، مشابه است. همچنین پارامترهای نیروی انسانی و تجهیزات، دامنه بسیار گسترده‌ای دارند که مورد بحث این پژوهش نیست. با توجه به تفاوت آمارهای ارائه شده می‌توان دریافت از آنجا که روش‌های ساخت‌وساز و نحوه تولید مصالح در هر منطقه‌ای می‌تواند متفاوت باشد و اینکه فعالیت علمی و قابل توجهی در این زمینه در کشور صورت نگرفته، لذا تداوم تحقیقات در این حوزه در کشور ما یک ضرورت است.

۳- تخمین میزان مصرف آب در مرحله ساخت سازه یک نمونه مسکن عرفی یزد

مصارف آب مرتبط با فرایند ساخت در چهار دسته طبقه‌بندی می‌شوند: ۱. مصالح ساختمانی ۲. مصرف آب در کارگاه ۳. نیروی انسانی ۴. تجهیزات (شاه‌حسینی، شکوهیان و درخشان، ۱۳۹۴).



تصویر ۲- میزان مصارف آب مرتبط با فرایند ساخت[۳] (ماخذ: شاه‌حسینی و همکاران، ۱۳۹۴).

تصویر ۲ نشان می‌دهد بیش‌ترین درصد مصرف آب در ساخت ساختمان مربوط به مصالح و آب مصرفی در کارگاه حین اجرا می‌باشد. لذا همان‌طور که قبلا اشاره شد تمرکز این پژوهش بر روی این دو ورودی است. نتایج این نمودار نشان می‌دهد که با تمرکز کردن در آب استفاده شده در تولید مصالح، می‌توان در مصرف آب، صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای انجام داد (همان).

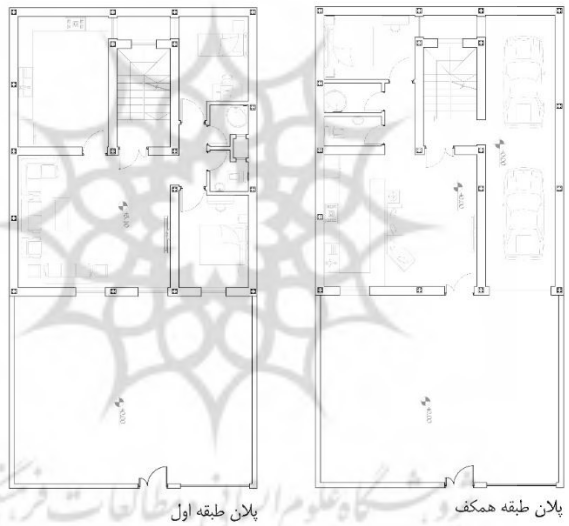
۳-۱- محاسبه میزان مصرف مصالح در مرحله‌ی ساخت سازه

در وهله اول با مراجعه به شهرداری یزد و رجوع به آمار ساخت‌وسازها در ۵ سال اخیر در "سیستم سرای شهرداری" مشخص شد که بیش‌ترین درصد ساخت بناهای مسکونی یزد به صورت ۱ طبقه (هم‌کف و طبقه اول)، با سازه دیوار باربر و شناژ در زمینی با مساحت ۲۰۰ مترمربع است؛ لذا نقشه‌ها و جزئیات اجرایی یک نمونه با مشخصات فوق از بخش صدور پروانه شهرداری تهیه شد که شرح مختصری از مشخصات آن در جدول ۱ آمده است. در تصویر ۳ نیز پلان طبقه هم‌کف و اول این نمونه آورده شده است. طبیعی است که برای محاسبه مصرف آب ساختمان ابتدا می‌بایست میزان مصالح مصرفی به تفکیک مشخص شود؛ لذا با توجه به نقشه‌ها و اطلاعات موجود، ساختمان متره شد و میزان مصرف هر یک از مصالح اصلی در مرحله ساخت سازه تعیین گردید (جدول ۲). ذکر این نکته لازم

است کلیه دیوارچینی‌ها در این سیستم ساختمانی با آجر فشاری و ملات ماسه سیمان ۱:۶ انجام گرفته و عیار بتن مصرفی برابر ۳۰۰ کیلوگرم سیمان بر مترمکعب است.

جدول ۱- مشخصات عمومی یک نمونه مسکن عرفی در یزد

مکان	یزد
مساحت زمین	۱۹۵ مترمربع
زیربنا	۱۱۷ مترمربع
مساحت کل بنا	۲۳۴ مترمربع
تعداد طبقات	هم‌کف + طبقه اول
نوع سازه	دیوار باربر و شناژ (ضخامت دیوارهای باربر ۳۵ سانتی متر)



تصویر ۳- پلان طبقه هم‌کف و اول نمونه موردی (ابعاد زمین: ۱۰*۱۹/۵)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۲- میزان مصرف مصالح اصلی در ساخت سیستم دیوار باربر و شناژ در بنای مورد مطالعه		
مصالح	مقدار	واحد
فولاد	۴/۰۸	تن
سیمان	۲۰/۲۵	تن
شن و ماسه	۱۳۴/۲۰	تن
بتن	۳۸/۳۰	مترمکعب
آجر	۷۹۱۵۳	عدد

۲-۳- برآورد میزان آب مصرفی در تولید مصالح

دشوارترین بخش کار، تخمین میزان مصرف آب در تولید مصالح ساختمانی است؛ زیرا آمار مشخص و دقیقی در این زمینه در کشور وجود ندارد. در بسیاری از موارد در اسناد مرتبط با صنعت، به ندرت به مصرف آب در فهرست مواد اولیه اشاره شده است. بنابراین جای خالی بزرگی در دسترسی به اطلاعات تحقیق مشابه در ارتباط با آب وجود دارد (Bardhan, 2011:94). لازم به توضیح است منظور از آب مصرفی در تولید مصالح مقدار آبی است که به عنوان ماده اولیه در تولید مصالح استفاده شده و همچنین میزان آبی که حین فرایند تولید در کارخانه برای عملیاتی نظیر خنک کردن دستگاه‌ها و ... مصرف می‌شود. در ادامه به تفکیک، میزان آب مصرفی در تولید هر یک از مصالح عمده مصرفی در مرحله اجرای سیستم ساختمانی مسکن عرفی یزد، محاسبه گردیده است.

۳-۲-۱- فولاد

صنعت فولاد یکی از اصلی‌ترین بخش‌های صنعت است که میزان مصرف آب زیادی دارد. مصرف آب به ازای تولید هر تن فولاد خام، به عواملی چون نوع فرآیندهای تولید، نرخ محصولات تولیدی و سطح فناوری‌های مورد استفاده در هر واحد صنعتی بستگی دارد (بی نام، ۱۳۹۶). بررسی مصرف آب در این صنایع نشان می‌دهد که در مجموع بالغ بر ۱۶۰ میلیون مترمکعب آب در هر سال در صنایع فولاد کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد که نسبت به مصرف کل صنایع کشور رقمی حدود ۱۷٪ را شامل می‌شود و این صنایع از نظر مصرف آب در جایگاه سوم قرار دارد (افخمی و همکاران، ۱۳۹۴). میزان کلی مصرف آب در کارخانه‌های فعال فولاد کشور حدود ۱۲۴ میلیون مترمکعب در سال است. اصفهان، خوزستان و یزد با به ترتیب ۵۱/۲۷، ۱۶/۱۴، ۱۵/۷۹ میلیون مترمکعب در سال بیش‌ترین سهم در مصرف آب را دارند (Shetab Bushehri, 1394). میزان مصرف آب به ازای هر تن تولید فولاد برابر ۲۰/۰۲ مترمکعب است (همان). (جدول ۱). در سال ۲۰۱۱ میلادی یک ابر پروژه بین‌المللی در زمینه مدیریت مصرف آب در صنعت فولاد با محوریت انستیتوی بین‌المللی آهن و فولاد و با مشارکت ۲۹ مجتمع بزرگ تولید آهن و فولاد از ۵ قاره جهان با سطوح فناوری و نیز اقلیم آب و هوایی متنوع در طول دو سال اجرا شد. حاصل این پروژه آمار و ارقام و اطلاعات طبقه‌بندی شده و متنوعی است که به عنوان ورودی برای استفاده و ارائه راهکارهای مؤثر و فراگیر در مدیریت بهینه مصرف آب در صنعت فولاد به کار رفته است. نکته مهم در این پروژه محدوده بسیار باز مصرف سرانه آب به ازای تولید هر تن فولاد در این شرکت‌ها است که از ۱ تا ۱۵۰ مترمکعب بر تن بوده است. به طور متوسط میزان مصرف سرانه آب به ازای تولید هر تن فولاد در میان تمام این شرکت‌ها چیزی حدود ۲۸ مترمکعب بر تن بوده که از این میزان حدود ۱/۵درصد بازیافت شده و به خطوط تولید باز می‌گردد و ۳ درصد به طور

معمول به صورت بخار و ضایعات دیگر هدر می‌رود و بقیه دورریز می‌شود (بی نام، ۱۳۹۶). در آخرین پایش طرح فولاد کشور مجموع متوسط میزان مصرف آب واحدهای مختلف فولادسازی ۲۰/۰۲ مترمکعب بر تن گزارش شده است (شرکت ملی فولاد ایران و همکاران، ۴۹۰:۱۳۹۶). در برخی منابع به شاخص ۸ مترمکعب آب، برای تولید هر تن فولاد اشاره شده که به علت محدود بودن این منابع، از استفاده آن در این پژوهش صرف نظر می‌شود. به علاوه اینکه این شاخص در میان فولادسازان ایرانی به خاطر استفاده از فناوری‌های گوناگون و عمدتا آبخوار متغیر است، چراکه هر اندازه فناوری‌ها بروز باشد، به همان اندازه نیز مصرف آب کاهش خواهد یافت (بی نام، ۱۳۹۶). علاوه بر این مقادیر، در زنجیره تولید فولاد مقدار اضافی آب در نورد نهایی محصول مانند میله، میلگرد و سایر مقاطع مصرفی در صنعت ساختمان مصرف می‌شود که برابر با ۴۵/۲ میلیون مترمکعب در سال است (Shetab Bushehri,1394). طبق پایش طرح فولاد کشور در سال ۹۶ نیز مجموع متوسط میزان مصرف آب واحدهای نورد ورق، میلگرد و مقاطع برابر ۴/۳ مترمکعب بر تن است (شرکت ملی فولاد ایران و همکاران، ۴۹۰:۱۳۹۶). اگر بین اعداد ارائه شده میانگین گرفته شود می‌توان به برآوردی حدودی از میزان متوسط مصرف آب در تولید هر تن فولاد (۲۲/۶۸ متر مکعب) دست یافت که پس از جمع با عدد ۴/۳ متر مکعب (میزان مصرف آب واحدهای نورد) مقدار متوسط مصرف آب در تولید و نورد هر تن فولاد به‌دست می‌آید.

۲-۲-۳- سیمان

صنعت سیمان به عنوان یکی از مصرف‌کنندگان آب به شدت در حال گسترش می‌باشد. موضوع مصرف آب در این صنعت کمتر مورد توجه واقع شده است درحالی‌که می‌تواند به عنوان یکی از مشکلات اساسی صنعت سیمان کشور در آینده مطرح باشد (چهرگانی، ۹۱:۱۳۹۱).

آب مورد نیاز یک کارخانه سیمان تا حد زیادی به شیوه تولید و ماشین‌آلات استفاده شده بستگی دارد. ظرفیت تولید هر واحد نیز هرچند به مقدار کمتر، در حجم آب مصرفی مؤثر است (میرمحمد صادقی و میرمحمد صادقی، ۱۳۹۴). آب در صنعت سیمان بیشتر برای خنک‌کاری دستگاه‌ها و تجهیزات سنگین و پاشش به گازها و گرد و غبار خروجی از دودکش‌ها به‌کار می‌رود (البته در سیستم‌های تولید سیمان به روشِ تر، از آب برای تهیه دوغاب ورودی به کوره نیز استفاده می‌شود). امروز هر دو روش تهیه سیمان به روش خشک و تر مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی روش تولید تر در حال منسوخ شدن و تبدیل به روش‌های خشک است که بازده بالاتری دارد (فرهمند و جودکی، ۱۳۹۶). شاخص جهانی برای تولید هر تن سیمان ۹۳ تا ۵۶۰ لیتر است که این شاخص درباره کارخانجات پیشرفته با سیستم خشک ۷۰ لیتر می‌باشد. میانگین مصرف آب شرکت‌های سیمان کشور ما حدود ۵۰۰ لیتر بر تن است (همان). همچنین مقدار نهایی مصرف آب در تولید هر کیلوگرم سیمان پرتلند ۰/۶۸ لیتر ذکر شده است (Gerbens-Leenes, Hoekstra, &

Bosman, 2018:7). بهادری‌نژاد و فطانت‌دیدار (۱۳۸۲) نیز میزان مصرف آب برای تولید هر تن سیمان را ۳۱۵ لیتر می‌دانند. با توجه به این که میانگین آمار مذکور حکایت از آن دارد که برای تولید هر تن سیمان ممکن است تا حدود نیم مترمکعب آب مصرف شود، برای تولید سالیانه ۷۰ میلیون تن سیمان، حدود ۳۰ میلیون مترمکعب آب مصرف می‌گردد (چهرگانی، ۹۱:۱۳۹۱).

۳-۲-۳- شن و ماسه

واحدهای تولیدی شن و ماسه حجم قابل ملاحظه‌ای آب مصرف می‌کنند به طوری که هر واحد حداقل در ساعت ۸۰۰ مترمکعب مصرف آب دارد و این رقم بسیار قابل توجه است (احمدزاده، ۱۳۹۱، ۱۱ شهریور). برای تولید یک تن شن و ماسه حدود ۵۶۰ لیتر آب مصرف می‌شود (بهادری‌نژاد و فطانت‌دیدار، ۱۳۸۲). طبق بررسی‌های انجام شده توسط نگارندگان طی بازدیدهای حضوری از کارگاه‌های تولید و شست‌وشوی ماسه در یزد و اخذ آماری که ذکر شد، میانگین مقدار آب مورد نیاز برای تولید هر تن ماسه با دستگاه حلزونی بین ۳۷۰ تا ۴۰۰ لیتر است که این مقدار در صورت استفاده از روش‌های نوین کم‌مصرف که هنوز رایج نیستند می‌تواند به ۱۸۴ لیتر کاهش یابد (رفیعی، ارتباط شخصی، ۹ اردیبهشت ۱۳۹۷)، (قاسمی، ارتباط شخصی، ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۷). میانگین اعداد ۵۶۰، ۳۷۰ و ۴۰۰ برابر ۴۴۳/۳ است که بر این اساس می‌توان متوسط میزان مصرف آب در تولید شن و ماسه را در حدود ۰/۴۴ مترمکعب بر تن در نظر گرفت.

٤-۲-۳- بتن

مقدار آب اختلاط مورد نیاز برای تولید یک مترمکعب بتن با اسلامپ معین، به اندازه، شکل و مقدار سنگدانه درشت بستگی دارد. اندازه‌های بزرگتر، آب مورد نیاز را به حداقل می‌رسانند و بنابراین باعث می‌شوند که مقدار سیمان کاهش یابد. در بتن‌ها با اسلامپ یکسان، سنگدانه گردگوشه، آب کمتری نسبت به سنگدانه شکسته نیاز دارد (شجاع یامی، ۴۰:۱۳۹۱). مقدار آب موجود در بتن ۴۰ تا ۶۰ درصد وزن سیمان است (همان). میزان آب در طرح اختلاط بتن با عیار سیمان ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب (که عیار رایج در ساخت مسکن عرفی یزد است) و نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ برابر ۱۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب است (رهگذر و زمانی، ۹۵:۱۳۹۴). در بهینه‌سازی طرح اختلاط بتن برای داشتن بتنی به مقاومت ۲۰ مگاپاسکال، ۱۵۴ کیلوگرم بر مترمکعب آب مورد نیاز است (حبیبی و صفاری، ۲۶:۱۳۹۰). در یک مترمکعب بتن ۱۳۰ لیتر آب برای اختلاط مواد ترکیبی بتن مصرف می‌شود (بهادری‌نژاد و فطانت‌دیدار، ۱۳۸۲). میانگین داده های ذکر شده حکایت از آن دارد که می‌توان متوسط میزان مصرف آب در تولید سیمان را در حدود ۱۴۰ لیتر برمترمکعب تخمین زد.

۳-۲-۵- آجر

میزان مصرف آب در تولید آجر به روش تولید آن بستگی دارد. طی مصاحبه‌های حضوری با چند کارگاه آجرزنی در یزد میزان مصرف آب طی فرایند تولید آجر برابر ۲ لیتر برای هر آجر برآورد شده است (جعفرپور، ارتباط شخصی، ۱ مرداد ۱۳۹۷)، (سالاری، ارتباط شخصی، ۲ مرداد ۱۳۹۷).

۳-۲-۶- بلوک سفالی

برای تهیه گل بلوک‌های سفالی ۲۳ الی ۳۰ درصد وزن خاک آب مصرف می‌شود. بلوک‌های سفالی معمولی که به عنوان پرکننده در ساخت و سازهای مسکونی یزد به کار می‌روند دارای ابعاد ۲۰*۲۰*۲۰ و وزن تقریبی ۴ کیلوگرم در حالت خشک می‌باشند. در ساخت هر عدد این بلوک‌ها حدود ۳/۵ کیلوگرم خاک و ۱ لیتر آب به مصرف می‌رسد.

۳-۲-۷- برآورد نهایی

نتایج نهایی در برآورد میزان مصرف آب در تولید هر یک از مصالح در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۳- میزان آب مصرفی در تولید مصالح

مصالح	واحد	مقدار مصرف آب برای تولید هر واحد (L)	توضیحات
فولاد	تن	۲۷۰۰۰	میانگین مصرف آب در تولید فولاد + مصرف آب برای نورد فولاد
سیمان	تن	۵۰۰	
شن و ماسه	تن	۴۴۵	شست‌وشو با دستگاه حلزونی (روش معمول در کارگاه‌های شهر یزد)
بتن	مترمکعب	۱۴۰	
آجر	عدد	۲	بر اساس روش معمول در کوره‌های آجرپزی یزد
بلوک سفالی	عدد	۱	

ذکر این نکته حائز اهمیت است که در رابطه با میزان مصرف آب در تولید مصالح در ایران اعداد ثابتی وجود ندارد؛ زیرا عواملی نظیر شیوه تولید، سطح تکنولوژی مورد استفاده و حتی دقت نظر مدیران کارخانه‌ها و کارگاه‌ها نسبت به مسئله مصرف آب، بر این میزان تاثیرگذار است و آمار ارائه شده سطح تقریبی متوسطی را بیان می‌دارد.

با توجه به مقادیر جدول ۲ و ۳، مقدار آب مورد نیاز مصالح مصرفی در سیستم شناژ و دیوار باربر در ساختمان نمونه موردی تحقیق به شرح جدول زیر خواهد بود:

جدول ۴- آب مورد نیاز مصالح مصرفی در سیستم دیوار باربر

مصالح	مقدار مصالح استفاده شده	واحد	مقدار مصرف آب برای هر واحد (L)	مصرف آب کلی (L)
فولاد	۴/۰۸	تن	۲۷۰۰۰	۱۱۰۱۶۰
سیمان	۲۰/۲۵	تن	۵۰۰	۱۰۱۲۵
شن و ماسه	۱۳۴/۲۰	تن	۴۴۵	۵۹۷۱۹
بتن	۳۸/۳۰	مترمکعب	۱۴۰	۵۳۶۲
آجر	۷۹۱۵۳	عدد	۲	۱۵۸۳۰۶
			جمع کل:	۳۴۳۶۷۲

۳-۳- برآورد میزان آب مصرفی حین اجرا

میزان مصرف آب در ساختمان حین فرایند ساخت در کارگاه مربوط به عمل‌آوری بتن، ساخت ملات و زنجاب کردن آجر می‌شود. برای عمل‌آوری بتن لازم است بتن به مدت ۷ روز آبدهی شود؛ بدین ترتیب که روی سطح آن حداقل به ارتفاع ۲ میلی‌متر آب بایستد. بنابراین ابتدا مجموع سطوح بتنی محاسبه شده که برابر ۴۱۲ مترمربع است، با ضرب این عدد در ارتفاع ۲ میلی‌متر مقدار آب لازم برای عمل‌آوری بتن به صورت تئوری بدست می‌آید که برابر ۸۲۴ لیترست. اما با در نظر گرفتن تبخیر سطحی[۴] شهر یزد این میزان بیش‌تر خواهد بود[۵]. مجموع سطوح بتنی که طی ساعات روز در معرض تابش آفتاب هستند نیز شامل سطوح شرقی، جنوبی، غربی و سطوح بالایی پی و شناژهاست[۶] که برابر ۲۸۸/۲ مترمربع می‌باشد. بنابراین با انجام محاسبات، میزان آبی که طی ۷ روز زمان لازم برای گیرش بتن، از این سطوح تبخیر می‌شود برابر ۱۵۹۷۴ لیتر و مجموع آب مورد نیاز برای عمل‌آوری بتن در این سیستم برابر ۱۶۷۹۸ لیتر بدست می‌آید[۷]. البته بدیهی است این عدد در مقایسه با میزان آب مصرفی در کارگاه‌ها بسیار کمتر است و عملا در کارگاه‌ها حجم بسیار بیش‌تری را برای عمل‌آوری بتن مصرف می‌کنند و عدد بدست آمده صرفا عددی محاسبه شده بر روی کاغذ و حداقل مورد نیاز است.

مقدار آب مورد نیاز برای ساخت ملات نیز در درجه‌ی اول به مواد تشکیل دهنده ملات بستگی دارد (ASTM, 2003). ملات‌ها باید حاوی حداکثر مقدار آبی باشند که مطلوب‌ترین حالت "کارایی" حاصل شود (همان). اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی برای تعیین این خصوصیت رایج نیست (خدابنده، ۱۳۷۴). بنابراین اعداد مشخص و ثابتی برای آب مصرفی در تهیه ملات در کارگاه وجود ندارد؛ زیرا عواملی نظیر وضعیت آب و هوایی، دقت کارگران، شرایط و تجهیزات کارگاه و... بر این میزان تاثیر می‌گذارند. با انجام

آزمایشاتی که توسط نگارندگان صورت گرفت این میزان به طور تقریبی در حدود ۲۰ درصد حجم ملات برای ملات ماسه سیمان برآورد می‌شود[۸]. در نمونه موردی مذکور، مقدار ۳۰/۵ مترمکعب ملات ماسه سیمان ۱:۶ جهت کرسی‌چینی و دیوارچینی‌های اصلی مصرف شده که برای ساخت این میزان ملات حدود ۶۱۰۰ لیتر آب مورد نیاز است.

همچنین به طریق مشابه با انجام آزمایش میزان آب لازم برای زنجاب کردن آجر به روش غرقابی در حدود ۰/۵ لیتر برآورد شده است[۹]. برای زنجاب کردن تعداد ۷۹۱۵۳ آجر به روش غرقابی نیز حدود ۳۹۵۷۶ لیتر آب لازم است. بنابراین میزان مصرف آب سیستم دیوار باربر و شناژ در این ساختمان به شرح جدول زیر خواهد بود.

جدول ۵- میزان مصرف آب سیستم دیوار باربر و شناژ

میزان مصرف آب حین اجرا (L)	۱۶۷۹۸ + ۶۱۰۰ + ۳۹۵۷۶ = ۶۲۴۷۴
میزان آب مصرفی مصالح (L)	۳۴۳۶۷۲
مجموع (L)	۴۰۶۱۴۶
آب مصرفی به ازای هر مترمربع بنا (L/m^2)	۱۷۳۵/۶۶

٤- تغییر سیستم ساختمانی از دیوار باربر به اسکلت بتنی و فولادی و محاسبه مقدار آب مورد نیاز

٤-١- سیستم اسکلت بتنی

با تغییر سیستم ساختمانی از دیوار باربر به اسکلت بتنی، مطابق نقشه‌های سازه‌ای که به وسیله نرم‌افزار ETABS طراحی شد، ضخامت دیوارهای اصلی از ۳۵ سانتی‌متر به ۲۰ سانتی‌متر و جنس دیوارها از آجری به بلوک سفالی تغییر یافت. همچنین ابعاد پی، تیرها و ستون‌ها نیز تغییر کرد؛ در نتیجه میزان مصرف مصالح نسبت به حالت قبل متفاوت خواهد بود. چنانچه در جدول ۶ مشاهده می‌شود، میزان استفاده از سیمان و فولاد به عنوان پرمصرف‌ترین مصالح به لحاظ مصرف آب، افزایش یافته است.

مانند سیستم دیوار باربر، به طریق مشابه میزان مصرف آب در ساختمان حین فرایند ساخت برای عمل‌آوری بتن، ساخت ملات و زنجاب کردن محاسبه شد. در این سیستم مجموعا ۵۲۹ مترمربع سطح بتنی وجود دارد که ۴۰۵/۹ مترمربع آن در معرض تابش آفتاب قرار می‌گیرد. بنابراین مقدار آب لازم برای عمل‌آوری بتن با در نظر گرفتن تبخیر سطحی برابر ۲۹۴۷۱ لیتر خواهد بود[۱۰]. ملات مصرف شده جهت کرسی‌چینی و دیوارچینی‌های اصلی، به جهت تغییر ضخامت و جنس دیوارها نسبت به حالت قبل کاهش یافته و برابر ۱۸/۶۰ مترمکعب است که آب مورد نیاز برای ساخت آن ۳۷۲۰ لیتر است. در این سیستم تعداد ۱۱۷۲۷ آجر جهت کرسی‌چینی و تعداد ۷۶۹۲ بلوک سفالی برای دیوارچینی‌های اصلی استفاده شده است. با انجام آزمایش میزان متوسط آب لازم برای زنجاب

کردن هر بلوک سفالی به ابعاد ۲۰*۲۰*۲۰ در حدود ۰/۸ لیتر برآورد شده است.[11] بنابراین میزان آب لازم جهت زنجاب کردن آجرها و بلوک‌ها در این سیستم به ترتیب برابر ۵۸۶۳/۵ و ۶۱۵۳/۵ لیتر خواهد بود.

در این نمونه موردی به ازای هر مترمربع زیربنای ساختمان حدود ۱۹۰۴ لیتر آب برای اجرای سیستم اسکلت بتنی و دیوارهای اصلی مصرف می‌گردد.

جدول ۶- میزان مصالح و آب مصرفی مصالح در سیستم اسکلت بتنی

مصالح	مقدار مصالح استفاده شده	واحد	مقدار مصرف آب برای هر واحد (L)	مصرف آب کلی (L)
فولاد	۱۰/۵	تن	۲۷۰۰۰	۲۸۳۵۰۰
سیمان	۲۵/۲۸	تن	۵۰۰	۱۲۶۴۰
شن و ماسه	۱۴۴/۸	تن	۴۴۵	۶۴۴۳۶
بتن	۶۲/۲۰	مترمکعب	۱۴۰	۸۷۰۸
آجر	۱۱۷۲۷	عدد	۲	۲۳۴۵۴
بلوک سفالی	۷۶۹۲	عدد	۱	۷۶۹۲
			جمع کل:	۴۰۰۴۳۰

جدول ۷- میزان مصرف آب سیستم اسکلت بتنی

میزان مصرف آب حین اجرا (L)	۲۹۴۷۱ + ۳۷۲۰ + ۵۸۶۳/۵ + ۶۱۵۳/۵ = ۴۵۲۰۸
میزان آب مصرفی مصالح (L)	۴۰۰۴۳۰
مجموع (L)	۴۴۵۶۳۸
آب مصرفی به ازای هر مترمربع بنا (L/m^2)	۱۹۰۴/۴۳

۲-٤- سیستم اسکلت فولادی

در صورت استفاده از سیستم اسکلت فولادی نیز، با توجه به تغییراتی که مطابق نقشه‌های سازه‌ای طراحی شده، در اجزای ساختمان ایجاد می‌شود میزان مصالح و آب مصرفی به قرار جدول ۸ خواهد بود. همچنین آب مورد نیاز برای عمل‌آوری بتن پی با در نظر گرفتن تبخیر سطحی برابر ۱۳۱۸۶ لیتر[12] و برای ساخت ۱۸/۶۰ مترمکعب ملات جهت کرسی‌چینی و دیوارچینی‌های اصلی، ۳۷۲۰ لیتر است. میزان آب مورد نیاز جهت زنجاب کردن آجرها و بلوک‌ها نیز به ترتیب برابر ۵۸۶۳/۵ و ۶۱۵۳/۵ لیتر است. بنابراین میزان مصرف آب در این سیستم به شرح جدول ۹ خواهد بود. در این نمونه موردی به ازای هر مترمربع زیربنای ساختمان حدود ۲۲۹۷ لیتر آب برای اجرای سیستم اسکلت فولادی و دیوارهای اصلی مصرف می‌گردد.

جدول ۸- میزان مصالح و آب مصرفی مصالح در سیستم اسکلت فولادی

مصالح	مقدار مصالح استفاده شده	واحد	مقدار مصرف آب برای هر واحد (L)	مصرف آب کلی (L)
فولاد	۱۵/۳۴	تن	۲۷۰۰۰	۴۱۴۱۸۰
سیمان	۱۸/۰۳	تن	۵۰۰	۹۰۱۵
شن و ماسه	۱۰۹/۸۰	تن	۴۴۵	۴۸۸۶۱
بتن	۳۸/۷	مترمکعب	۱۴۰	۵۴۱۸
آجر	۱۱۷۲۷	عدد	۲	۲۳۴۵۴
بلوک سفالی	۷۶۹۲	عدد	۱	۷۶۹۲
			جمع کل:	۵۰۸۶۲۰

جدول ۹- میزان مصرف آب سیستم اسکلت فولادی

میزان مصرف آب حین اجرا (L)	۱۳۱۸۶ + ۳۷۲۰ + ۵۸۶۳/۵ + ۶۱۵۳/۵= ۲۸۹۲۳
میزان آب مصرفی مصالح (L)	۵۰۸۶۲۰
مجموع (L)	۵۳۷۵۴۳
آب مصرفی به ازای هر مترمربع بنا (L/m^2)	۲۲۹۷,۱۹

۵- بررسی مصرف آب سیستم ساختمانی قاب فولادی سَبُک

تا این‌جا نقش پررنگ مصرف مصالح بر آب مصرفی در فرایند ساخت‌وساز روشن شده است. بررسی اعداد جداول ارائه شده مشخصا نشان می‌دهد فولاد که بیش‌ترین مصرف آب را حین تولید در کارخانه نسبت به بقیه مصالح دارد و آجر به عنوان ماده‌ای که به واسطه نحوه اجرای آن آب زیادی به مصرف می‌رسد (زنجاب کردن و تهیه ملات)، اصلی‌ترین مصالحی هستند که موجب مصرف بی‌رویه آب در ساخت‌ساز می‌شوند. هرچند سرانه مصرف آب به ازای تولید هر عدد آجر ناچیز است اما در سیستم‌های ساختمانی نظیر دیوار باربر به علت مصرف بسیار زیاد آن، آب مصرفی قابل توجهی را به خود اختصاص می‌دهد که این میزان حتی از آب مصرفی تولید فولاد مورد نیاز در این سیستم نیز بیش‌تر است. لذا اگر بتوان در سیستمی، مصرف فولاد را کاهش داد و همچنین سیستم را به صورت خشک اجرا کرد مصرف آب در ساخت به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. سیستم ساختمانی قاب فولادی سبک از سیستم‌های نوین ساختمانی است که ویژگی‌های فوق را دارا می‌باشد و به تازگی در یزد

رواج پیدا کرده است. این سیستم به عنوان یک سیستم دیوار باربر متشکل از مقاطع فولادی سرد نورد شده است که اجزاء آن با اتصالات پیچی یا جوشی به یکدیگر متصل می‌شوند (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۸). لذا در ادامه به بررسی این سیستم از منظر مصرف آب در نمونه موردی پرداخته می‌شود. با طراحی سیستم ساختمانی نمونه مذکور به صورت قاب فولادی سبک، مصالح مصرفی و آب مورد نیاز جهت تولید آن‌ها به قرار جدول ۱۰ می‌باشد. همچنین آب مصرفی جهت عمل‌آوری بتن پی برابر ۷۱۷۷ لیتر است[۱۳]. همان‌گونه که مشاهده می‌شود این سیستم ساختمانی به ازای هر مترمربع فقط به حدود ۷۸۴ لیتر آب نیاز دارد.

جدول ۱۰- میزان مصالح و آب مصرفی مصالح در سیستم قاب فولادی سبک

مصالح	مقدار مصالح استفاده شده	واحد	مقدار مصرف آب برای هر واحد (L)	مصرف آب کلی (L)
فولاد	۵/۵۰	تن	۲۷۰۰۰	۱۴۸۵۰۰
سیمان	۷/۵۷	تن	۵۰۰	۳۷۸۵
شن و ماسه	۳۶/۸	تن	۴۴۵	۱۶۳۷۶
بتن	۱۴/۶۵	مترمکعب	۱۴۰	۲۰۵۱
گچ برگ	۵۷۸	مترمربع	۹,۵[۱۴]	۵۴۹۱
		جمع کل:		۱۷۶۲۰۳

جدول ۱۱- میزان مصرف آب سیستم قاب فولادی سبک

میزان مصرف آب حین اجرا (L)	۷۱۷۷
میزان آب مصرفی مصالح (L)	۱۷۶۲۰۳
مجموع (L)	۱۸۳۳۸۰
آب مصرفی به ازای هر مترمربع بنا (L/m^2)	۷۸۳,۶۷

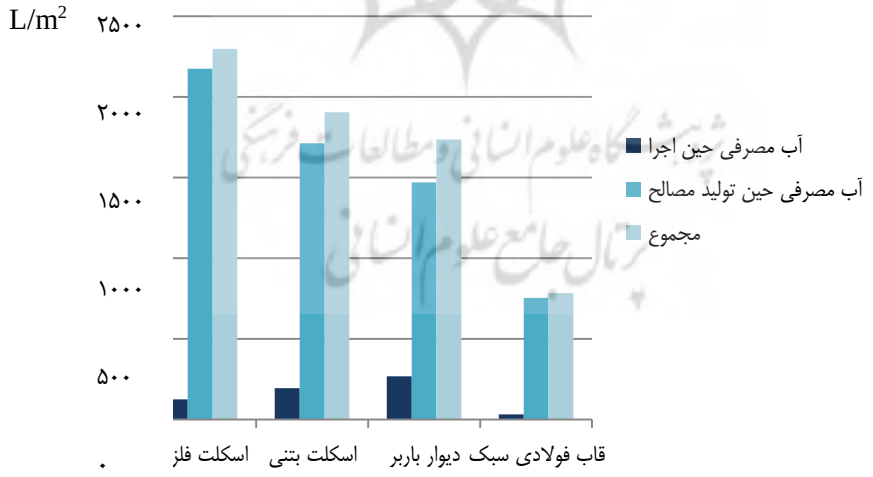
٦- نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌ها و محاسبات نشان می‌دهد که بین سیستم‌های ساختمانی متداول در یزد، سیستم دیوار باربر که هم‌اکنون بیش‌ترین درصد ساخت‌وساز را نیز در شهر یزد به خود اختصاص می‌دهد، دارای کمترین میزان مصرف آب می‌باشد که بخش عمده این کاهش مصرف مربوط به کاهش استفاده از فولاد می‌باشد. با این وجود، سیستم ساختمانی قاب فولادی سبک علی‌رغم اینکه مصرف فولاد بیش‌تری نسبت به دیوار باربر دارد، به دلیل نحوه اجرا به صورت خشک و همچنین کاهش مصرف سایر مصالح نظیر بتن و

سیمان به علت کاهش ابعاد پی (به دلیل سبک بودن سازه) از نظر مصرف آب بهینه‌تر است.

مطابق نتیجه تحقیقات پیشین، در سایر کشورها، مشخص شد که در ایران نیز بخش عمده مصرف آب در تمام سیستم‌های ساختمانی بررسی شده مربوط به آب مصرفی حین فرایند تولید مصالح در کارخانه (تصویر ۴) و نه مصرف آب حین اجرای سیستم در کارگاه است. لذا استانداردسازی مصرف آب در فرآیند تولید مصالح همراه با کاهش استفاده از مصالح ساختمانی تاثیر بیش‌تری بر کاهش مصرف آب در ساخت یک سیستم ساختمانی خواهد داشت. به عبارتی سیستم‌های سبُک مصرف آب کمتری خواهند داشت.

سرانه بدست آمده برای مصرف آب به ازای هر مترمربع ساخت‌وساز با سرانه ارائه شده در پژوهش‌ها در کشورهای دیگر تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد. همان‌طور که بیان شد علت عمده این اختلاف می‌تواند مربوط به شیوه‌های متفاوت تولید مصالح و همچنین تکنیک‌های مختلف ساخت باشد. با این وجود برای نیل به نتایج دقیق‌تر، تحقیقات بیش‌تر و گسترده‌تر در زمینه مصرف آب در تولید مصالح و همچنین مطالعات بیش‌تر با در نظر گرفتن نمونه‌های موردی بیش‌تر می‌تواند راهگشا باشد. همچنین الزام کارخانه‌های تولید مصالح ساختمانی به ارائه آمار صحیح و مستند و واقعی مصرف آب به ازای واحد تولید مصالح بسیار مفید خواهد بود. در هر حال آن‌چه اهمیت دارد تاثیر شگرف نوع سیستم ساختمانی در مصرف آب در ساختمان و لزوم توجه به این امر توسط معماران، مهندسین ساختمان و بیش‌تر از همه مدیران و متولیان صنعت ساخت‌وساز در استان و کشور با توجه به بحران جدی کم‌آبی است.



تصویر ۴- مقایسه آب مصرفی سیستم‌های ساختمانی مختلف

سپاسگزاری

در پایان از تمامی کارشناسان در کارخانه‌ها و کارگاه‌های ساختمانی مختلف که در جمع‌آوری آمار و اطلاعات آبی مربوط به تولید و اجرای مصالح در این مقاله همکاری نمودند تقدیر و قدردانی می‌شود.

لازم به ذکر است این مقاله مستخرج از رساله کارشناسی ارشد دانشجو فرنازضیائی زیر نظر استاد راهنما دکتر محسن عباسی هرفته تحت عنوان "بازجست الگوهای معمارانه کاهش مصرف آب در ساخت‌وساز خانه‌های عرفی یزد" می‌باشد.

پی نوشت‌ها

1. Light Steel Frame
2. Insulating Concrete Formwork

۳. منظور از "ورودی آب" در نمودار، مقدار آبی است که در کارگاه حین فرایند اجرا به مصرف می‌رسد. "ورودی مواد" نیز میزان آب مصرفی برای تولید مصالح در کارخانه را نشان می‌دهد.

۴. تبخیر سطحی یا بخارشدگی (Evaporation) نوعی تبخیر است که از سطح یک مایع به سمت یک فاز گازی اشباع نشده از ماده تشکیل دهنده مایع، روی می‌دهد. این تبخیر در هر دمایی رخ می‌دهد. (Silberberg, 2006)

۵. طی مصاحبه حضوری با کارشناسان مرکز تحقیقات سازمان هواشناسی یزد معلوم شد طبق آمار این سازمان میانگین تبخیر سطحی در یزد طی ۱۰ سال گذشته (۸۷ تا ۹۷) معادل ۱۰ لیتر بر مترمربع در هر شبانه‌روز است. (مصاحبه و بازدید در تاریخ ۹۷/۶/۱۷)

۶. از تبخیر آب سطوح رو به شمال به دلیل مواجه نشدن با تابش آفتاب، صرف نظر شده است.

۷. محاسبات مربوط به عمل‌آوری بتن در سیستم دیوار باربر به شرح زیر است:

لیتر ۱۶۷۹۸ = ۱۵۹۷۴ + ۸۲۴ = مجموع آب مورد نیاز برای عمل‌آوری بتن

لیتر ۲۲۸۲ = ۱۰ * ۲۲۸,۲ = میزان تبخیر آب از سطوح بتنی در معرض تابش در هر روز

لیتر ۱۵۹۷۴ = ۲۲۸۲ * ۷ = میزان تبخیر آب از سطوح بتنی در معرض تابش طی ۷ روز

۸. برای تعیین میزان آب مورد نیاز در تهیه ملات ماسه سیمان ۱:۶ مقدار مشخصی از آن در محیط آزمایشگاه تهیه شد و با انجام اندازه‌گیری‌ها و محاسبات، نسبت آب لازم برای حصول "کارایی" مطلوب ملات مشخص گردید. گزارش مختصر این آزمایش-ها به شرح زیر است:

مقدار ۳ لیتر شن و ماسه و ۰/۵ لیتر سیمان به خوبی با هم مخلوط شده و به وسیله یک ظرف مدرج به آن آب اضافه شد تا حدی که بتوان ملات را به خوبی روی آجر در زیر ماله پخش نمود. مقدار آب اضافه شده برابر ۸۰۰ میلی‌لیتر اندازه‌گیری شده است که این میزان تقریبا برابر ۲۰ درصد حجم کل ملات است. این آزمایش در فصل زمستان، در دمای ۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰ درصد در محیط آزمایشگاه انجام شده است. بدیهی است نتیجه حاصل شده در فصول و شرایط مختلف، می‌تواند

متفاوت باشد که البته با توجه به محدود بودن سهم آب مصرفی برای تهیه ملات نسبت به کلیه‌ی مصارف آب ساخت‌وساز، این تفاوت در میزان کل مصرف آب طی فرایند ساخت تاثیر چندانی نخواهد داشت.

۹. اصولا در کارگاه‌های ساخت‌وساز از سه روش برای زنجاب کردن آجر استفاده می‌کنند. روش اول که به روش آب‌کشی معروف است به این صورت اجرا می‌شود که آجر را در ظرف پر از آب وارد و سریعا خارج می‌کنند. این روش به دلیل عدم سیراب شدن آجر به اندازه کافی بیش‌تر در دیوارهای کم اهمیت نظیر تیغه‌های داخلی به منظور افزایش سرعت کار و مصرف کمتر آب به کار می‌رود. روش دوم روش غرقابی نامیده می‌شود که در آن آجرها را در یک بشکه و یا ظرف بلند چیده و روی آن‌ها آب می‌ریزند به طوری که تمامی آجرها کاملا زیر آب قرار گیرند. در این روش آجرها معمولا به مدت یک روز در ظرف باقی می‌مانند که این امر باعث اشباع شدن آجر از آب و بروز مشکلات فنی در ساخت دیوار می‌گردد؛ زیرا اگر آجر از آب اشباع شده باشد از چسبانندگی ملات به آن کاسته می‌شود. همچنین در این صورت مقداری آب از آجر به ملات منتقل می‌شود و نسبت آب به سیمان در ملات تغییر می‌کند. لذا توصیه می‌شود برای مقاومت بیش‌تر دیوار قبل از استفاده آجرها در دیوارچینی، آن‌ها را بعد از خروج از ظرف آب به مدت چند دقیقه خارج از ظرف آب نگه دارند تا آب اضافی آن‌ها گرفته شود. اما روش سوم که رایج‌ترین روش در کارگاه‌ها است روش آبپاشی است که در آن آجرها را در ظرفی قرار داده و با شلنگ روی آن‌ها آب می‌پاشند. مدت زمان آبپاشی معمولا با توجه به تعداد آجرها متفاوت است اما به طور تقریبی این فرایند حدود ۱۵ دقیقه زمان می‌برد. بنابراین بیش‌ترین حجم آب در این روش به مصرف می‌رسد. در این مقاله روش دوم به منظور انجام محاسبات در نظر گرفته شده است که در صورت رعایت نکات اجرایی نسبت به دو روش دیگر اصولی‌تر است.
به منظور انجام آزمایش زنجاب کردن آجر به روش غرقابی تعداد ۵ آجر خشک وزن شده و در ظرف آبی قرار داده شد. پس از یک روز از ظرف آب خارج شده و پس از ۵ دقیقه وزن آن‌ها در حالت تر بررسی شد. میانگین اختلاف وزن آجرها در حالت خشک و تر به عنوان مقدار آب لازم جهت زنجاب کردن آجر به روش غرقابی در نظر گرفته شده است.

۱۰. محاسبات مربوط به عمل‌آوری بتن در سیستم اسکلت بتنی به شرح زیر است:

لیتر ۴۰۵۹ = ۱۰ *۴۰۵,۹ = میزان تبخیر آب از سطوح بتنی در معرض تابش در هر روز

لیتر ۲۸۴۱۳ = ۴۰۵۹ *۷ = میزان تبخیر آب از سطوح بتنی در معرض تابش طی ۷ روز

لیتر ۲۹۴۷۱ = ۲۸۴۱۳+ ۵۲۹ *۲ = مجموع آب مورد نیاز برای عمل‌آوری بتن

۱۱. روش آزمایش به منظور برآورد آب لازم برای زنجاب بلوک سفالی مشابه آزمایش مربوط به زنجاب آجر بوده است.

۱۲. محاسبات مربوط به عمل‌آوری بتن در سیستم اسکلت فولادی به شرح زیر است:

لیتر ۱۸۲۸ = ۱۰ *۱۸۲,۸ = میزان تبخیر آب از سطوح بتنی در معرض تابش در هر روز

لیتر ۱۲۷۹۶ = ۱۸۲۸ *۷ = میزان تبخیر آب از سطوح بتنی در معرض تابش طی ۷ روز

لیتر ۱۳۱۸۶ = ۱۲۷۹۶ + ۱۹۵*۲ = مجموع آب مورد نیاز برای عمل‌آوری بتن

۱۳. محاسبات مربوط به عمل‌آوری بتن در سیستم قاب فولادی سبک به شرح زیر است:

لیتر ۹۹۳ = ۱۰ *۹۹,۳ = میزان تبخیر آب از سطوح بتنی در معرض تابش در هر روز

لیتر ۶۹۵۱ = ۹۹۳ *۷ = میزان تبخیر آب از سطوح بتنی در معرض تابش طی ۷ روز

لیتر ۷۱۷۷ = ۶۹۵۱ + ۱۱۳*۲ = مجموع آب مورد نیاز برای عمل‌آوری بتن

۱۴. طی مصاحبه با کارشناسان کارخانه "گچ‌برگ یزد" میزان متوسط مصرف آب برای تولید هر مترمربع گچ‌برگ با ضخامت ۹,۵ میلی‌متر، ۹,۵ لیتر می‌باشد.

منابع و ماخذ

- احمدزاده، فاطمه. (۱۳۹۱، ۱۱ شهریور). ۵ معدن شن و ماسه به سیستم بازیافت آب مجهز شد. *روزنامه ایران*، ۱.
- افخمی، راضیه؛ فروتن، فروغ؛ سعادت، امین اله؛ میرمحمدصادقی، حسین و فرهادیان، مهرداد. (۱۳۹۴). بررسی فاضلاب‌های صنعتی در صنایع فولاد. همایش ملی مصرف بهینه آب در صنعت: چالش‌ها و راهکارها، اصفهان: دانشگاه اصفهان.
- بهادری‌نژاد، مهدی و فطانت‌دیدار، توحید. (۱۳۸۲). آب مورد نیاز تولید مصالح و ساخت دو برج مسکونی در تهران با اسکلت‌های فولادی و بتنی. ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان.
- بی نام. (۱۳۹۵، شهریور). پرونده‌ای برای آب. ساختمان. ۶۵، ۲۸-۴۰.
- بی نام. (۱۳۹۶، ۶ خرداد). مصرف آب در صنعت فولاد. نشریه پیام ساختمان. ۳۰۳ . بازیابی شده در ۹۸/۱/۱۰، از شماره۳۰۳/https://www.payampress.com/issue/172
- چهرگانی، حسین. (۱۳۹۱). مصرف آب در صنعت سیمان. ماهنامه علمی تخصصی فناوری سیمان. شماره ۵۲: ۹۱-۹۳.
- حبیبی، علیرضا و صفّاری، هومن. (۱۳۹۰). طرح اختلاط بتن با استفاده از اصول بهینه‌سازی و بر اساس نتایج آزمایشگاهی. *تحقیقات بتن*. ۴(۲)، ۱۷-۲۸.
- خدابنده، ناهید. (۱۳۷۴). بررسی ملات‌های معمول ایران. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- رهگذر، محمدعلی و زمانی، محسن. (۱۳۹۴). عملکرد و خواص بتن با آب مغناطیسی. تحقیقات بتن. ۸(۱)، ۸۵-۹۹.
- شاه حسینی، 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
- شجاع یامی، محمد. (۱۳۹۱). عناصر و جزئیات ساختمان. مشهد:مرکز آموزش مهندسین خانه عمران شریف
- شرکت ملی فولاد ایران، سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران و شرکت مهندسی بین المللی فولاد تکنیک. (۱۳۹۶). مطالعات طرح جامع فولاد کشور: پایش سال۱۳۹۶.
- فرهمند، محمد و جودکی، احمد. (۱۳۹۶). صرفه‌جویی و کاهش مصرف آب در شرکت سیمان شمال. شرکت سیمان شمال. http://www.shomalcement.com/Portals/0/Water_use.pdf (دسترسی در تاریخ ۹۷/۸/۱۶).

- گودینی، جواد و فکری، اکرم. (۱۳۹۶). ارزیابی پایداری مصالح در سیستم ساختمانی پانل‌های سه‌بعدی (برمبنای شاخص‌های مطرح شده از سوی جین کیم). کنفرانس بین المللی عمران ، معماری و شهرسازی ایران معاصر، تهران: دانشگاه اسوه تهران، دانشگاه شهید بهشتی.
- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (۱۳۸۸). فناوری‌های نوین ساختمانی (ویرایش پنجم). تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- میرمحمدصادقی، علی محمد و میرمحمدصادقی، حسین. (۱۳۹۴). مصرف آب در تولید مصالح ساختمانی و پیشنهادهای بهینه‌سازی مصرف. همایش ملی مصرف بهینه آب در صنعت: چالش‌ها و راهکارها، اصفهان: دانشگاه اصفهان.

- American Society for Testing and Materials. (2003). Standard specification for mortar for unit masonry. *Annual book of ASTM standards*, C 270 – 03b.
- Bardhan, S. (2011). Assessment of water resource consumption in building construction in India. *Ecosystems and Sustainable Development VIII*, *144*, 93-102.
- Crawford, R. H. (2011, March). Life cycle water analysis of an Australian residential building and its occupants. In *Seventh Australian Conference on Life Cycle Assessment: Revealing the secrets of a green market, Melbourne* (pp. 9-10).
- Crawford, R., & Treloar, G. (2005, January). An assessment of the energy and water embodied in commercial building construction. In *Australian Life Cycle Assessment Conference (4th: 2005: Novotel, Sydney, NSW)* (pp. 1-10). Australian Life Cycle Assessment Society.
- Ferriz Papi, J.A. (2012, May). Water consumption in buildings: Embodied water in construction materials. *In Water, Waste and Energy Management International Congress, Salamanca, Spain* (pp. 1-6).
- Gerbens-Leenes, P. W., Hoekstra, A. Y., & Bosman, R. (2018). The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, cement and glass. *Water resources and industry*, *19*, 1-12.
- Grondzik, W. T., & Kwok, A. G. (2015). *Mechanical and electrical equipment for buildings*. 12th ed., Hoboken, New Jersey: Wiley.
- 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.
- Meng, J., Chen, G. Q., Shao, L., Li, J. S., Tang, H. S., Hayat, T., & Alsaadi, F. (2014). Virtual water accounting for building: case study for E-town, Beijing. *Journal of cleaner production*, *68*, 7-15.–Treloar, G., McCormack, M., Palmowski, L., & Fay, R. (2004). Embodied water of construction. *Environment Design Guide*, 1-8.
- Shetab Bushehri, Mohammad Reza. (1394). Water consumption in steel industry: today's problem, tomorrow's concern. *Optimization of Water Consumption in Industry: Challenges and Solutions*, Isfahan, University of Isfahan.
- Silberberg, M. (2006). Chemistry: The molecular Nature of Matter and Change. McGraw Hill. *New York, NY*.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی