

## بررسی ومدلسازی تاثیر ویژگی‌های اقلیمی بر میزان آب موردنیاز پاششی

### بر سطح بتن تازه در رویه‌ی راه‌ها

محمد مهدی خیبری<sup>۱</sup>، محمد مهدی مجیدی شاد<sup>۲</sup>

۱- عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی عمران، دانشیار راه و ترابری، پردیس فنی و مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲- دانشجوی دکتری مهندسی عمران، راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، پردیس فنی و مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

آدرس پست الکترونیکی نویسنده رابط (mkhabiri@yazd.ac.ir)

#### چکیده

در شرایط محیطی و آب و هوایی مختلف عمل‌آوری بتن روش‌ها و مراحل بسیار دقیقی را نیاز دارد، به عنوان نمونه بتن‌ریزی در شرایط محیطی گرم و خشک، مدیران پروژه‌ها و مهندسیین اجرایی را برای رسیدن به هدف کارآیی مطلوب و دوام مناسب با چالش‌هایی مواجه می‌کند. زمانی که بتن رطوبت سطحی خود را از دست می‌دهد، در صورتی که این رطوبت تامین نشود، دچار جمع‌شدگی و کاهش حجم شده و در نهایت باعث ایجاد ترک و افزایش تغییر شکل در بتن می‌شود. در این مطالعه با توجه به نیاز به محاسبه میزان تبخیر آب سطحی بتن و تامین آن توسط پاشش آب، از داده‌های اقلیمی مرتبط با مناطق گرم و خشک کشور استفاده شد. نتایج مدلسازی نشان می‌دهد، اگر دمای هوا بیش از ۲۰ درجه باشد متوسط آب موردنیاز سطحی بتن بیش از ۲ لیتر در ساعت به ازاء هر مترمربع می‌شود. در مورد مهمترین متغیرهای مستقل تاثیرگذار بر میزان آب موردنیاز پاششی بر روی بتن نمایش دمای هوا، دمای بتن، سرعت وزش باد و میزان رطوبت هوا به ترتیب دارای اهمیت هستند. بنابراین پیشنهاد شده است، اجرا روستازی در ساعاتی از شبانه‌روز با تبخیر کمتر و یا کاهش دمای بتن در زمان اجراء و به کار بردن کاهنده‌های تبخیر است که تا ۵۰ درصد می‌توان تبخیر آب را کاهش داد.

کلمات کلیدی: آب پاششی، عمل‌آوری، شرایط اقلیمی، روستازی راه، بتن تازه، مدلسازی آماری.

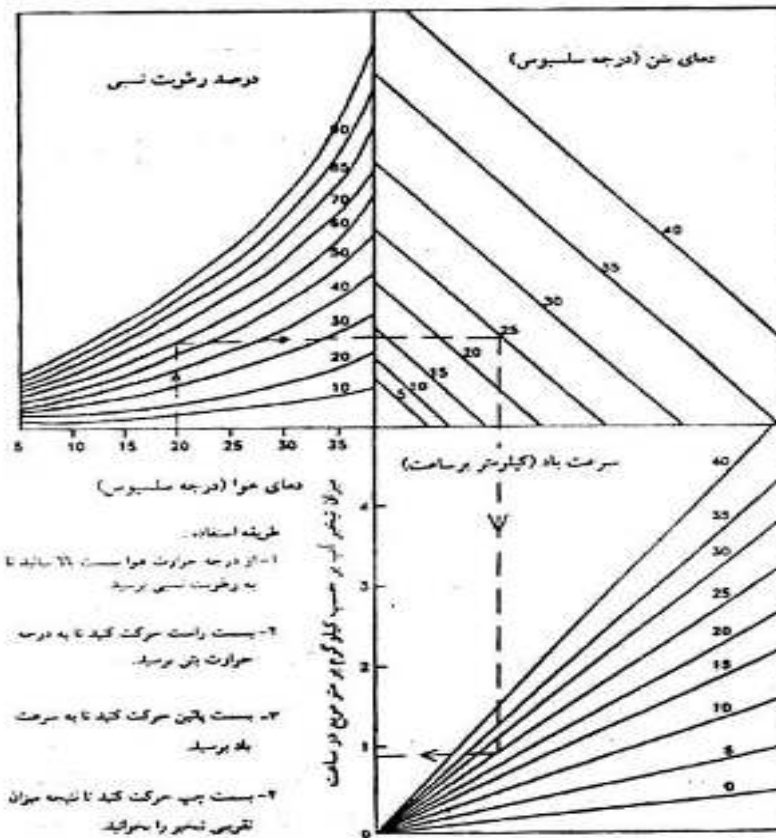
#### ۱. مقدمه

مجموعه عملیاتی که بلافاصله بعد از بتن‌ریزی برای حفظ رطوبت و دمای بتن می‌شود عمل‌آوری بیان می‌شود. در شرایط محیطی و آب و هوایی مختلف عمل‌آوری بتن روش‌ها و مراحل بسیار دقیقی را نیاز دارد، به عنوان نمونه بتن‌ریزی در شرایط محیطی گرم و خشک، مدیران پروژه‌ها و مهندسیین اجرایی را برای رسیدن به هدف کارآیی مطلوب و دوام مناسب با چالش‌هایی مواجه می‌کند. آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های بین‌المللی و داخلی معیارهای حداقلی را برای عمل‌آوری بتن مبتنی بر مراقبت و تامین شرایط لازم بر تکمیل واکنش‌های درونی پیش‌بینی نموده‌اند. دمای زیاد یا وزش تندباد می‌تواند بروز مشکلاتی را در عمل‌آوری بتن به وجود آورد. بنابراین اهمیت عمل‌آوری صحیح و رعایت آن در طی زمان مشخص شده از افت کیفیت بتن جلوگیری بعمل می‌آورد و لذا ضروری است عوامل مؤثر در عمل‌آوری بتن و نگهداری آن در شرایط آب و هوایی گوناگون بررسی نمود و راهکارهای عملیاتی برای رعایت حداقل شرایط استاندارد پیشنهاد نمود. راهکارهایی برای کاهش صدمات ناشی از عمل‌آوری نامناسب پیشنهاد شده است از قبیل استفاده از ضدیخ‌ها، مواد افزودنی زودگیر، فومهای حرارتی عایق‌بندی بتن تازه از اشعه فروسرخ برای بتن‌ریزی در شرایط دمایی سرد و برای محدوده‌های گرم استفاده از واکس و رزین‌ها، صفحات پلاستیکی نگهدارنده‌ی رطوبت، نم‌پاشی خودکار بتن معرفی شده‌اند [۱].

با توجه به تاثیر عوامل مختلف در کاهش رطوبت سطحی بتن به ویژه در بتن ریزی های با سطح تماس محیطی زیاد نظیر جاده ها و رویه های بتنی، در این مطالعه به موضوع عدم عمل آوری مناسب بتن های سطح پرداخته می شود. تبخیر آب نفوذ کرده موجود در سطح در رویه های بتنی به چهار عامل سرعت باد، دمای هوا و رطوبت نسبی آن و نیز دمای بتن دارد. برای متغیرهای مختلف موجود از طریق دستورالعمل های موجود در نمودار و روابط توصیه شده در آئین نامه های استاندارد بین المللی میزان تبخیر رطوبت سطحی بتن محاسبه شود و براساس نتایج آن راهکارهایی جهت تامین رطوبت سطحی پیشنهاد گردد یا روش هایی برای کاهش میزان تبخیر ارائه گردد.

## ۲. مبانی علمی محاسبه میزان تبخیر سطحی رطوبت در رویه های بتنی

تبخیر از سطح بتن لازمست با آب های اضافی سطحی که بر روی آن پاشیده می شود تامین شود. در فرآیند عمل آوری کارگاهی، محاسبه میزان این رطوبت اضافی اهمیت پیدا می کند، به ویژه هنگامی که ملاحظه می شود تعداد متغیرهای اثرگذار بر روی آن زیاد است، این متغیرها شامل دمای هوا، دمای بتن، رطوبت نسبی هوا، سرعت وزش باد، میزان تابش آفتاب و حتی رنگ بتن و ارتفاع از سطح دریا می باشد. در شکل (۱) چهار عامل مهم در کاهش رطوبت سطحی ارائه شده است [۲].



شکل ۱- تاثیر چهار عامل مهم در کاهش رطوبت سطحی دال بتنی [۳ و ۴].

زمانی که بتن رطوبت سطحی خود را از دست می دهد، در صورتی که این رطوبت تامین نشود، دچار جمع شدگی و کاهش حجم شده و در نهایت باعث ایجاد ترک و افزایش تغییر شکل در بتن می شود. بیشتر این تغییر شکل در ساعات اولیه پس از بتن ریزی اتفاق می افتد. هنگامی که آب از خمیر سیمان به دلیل تبخیر سطحی خارج می شود، فشار مویین بین منحنی ایجاد شده و باعث کاهش حجم خمیر سیمان می شود.

رشد فشار مویین منفی تا نقطه‌ی بحرانی ادامه می‌یابد و چنانچه اگر اتلاف و تبخیر سطحی آب جلوگیری نشود، ترک خوردگی به وجود می‌آید [۳].  
پول (poole) در سال ۲۰۰۵ معادله‌ای را برای تعیین میزان تبخیر از سطح بتن به صورت رابطه‌ی (۱) ارائه نموده است [۴].

$$ER = ۴,۸۸ \left[ (۰,۱۱۳ + (۰,۰۴۲۲ W_s)) / ۰,۴۴۷ \right] e^{-۰,۰۰۰۲۰۲ CT} - RH \times e^{-۰,۰۰۰۲۰۲ AT} \quad (۱)$$

که در آن،

ER = میزان تبخیر بر حسب کیلوگرم بر مترمربع در ساعت،

$W_s$  = سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه، و

CT = دمای بتن بر حسب درجه سانتی‌گراد، و

AT = دمای هوا بر حسب درجه سانتی‌گراد،

RH = رطوبت نسبی هوا بر حسب درصد است.

با افزوده شدن سرعت باد، دمای بتن و دمای هوا کاهش می‌یابد و رطوبت نسبی نیز کاسته می‌شود و یا تبخیر افزایش می‌یابد، البته یکی از محدودیت‌های اجرایی عدم کنترل سرعت باد است و فقط دمای بتن را با تمهیدات نسبتاً ساده‌تری می‌توان تحت کنترل درآورد. البته بایست توجه کرد که سرعت باد بایست در حدود ۵۰ سانتی‌متر سطح بتن اندازه‌گیری شود، که میزان تبخیر آب بیشتری از رابطه بدست می‌دهد [۴]. با توجه به مشخصات دمایی و محیطی هر منطقه‌ای از کشور می‌توان میزان تبخیر و از دست رفتن آب را از روابط یا نمودارهای ارائه‌شده در این قسمت محاسبه نمود و یا آب لازم برای جایگزینی بر حسب لیتر در هر مترمربع پیش‌بینی کرد.

### ۳. مرور منابع

در عمل‌آوری بتن نقش پارامترهای گوناگون مطرح است که مهمترین آن فراهم آوردن دما در جهت تسریع عمل‌گیرش می‌باشد. در کارخانجات تولید قطعات بتنی، سرعتی که همراه با کیفیت مطلوب و قابل قبول باشد، یکی از اهداف اصلی است، محاسبه و رسیدن به دمای بهینه در ساخت قطعات پیش‌ساخته بتنی موضوع مطالعه‌ای است، که در آن دمای بهینه برای تولید سگمنت رابینینگ تونل را محاسبه نموده‌اند [۵]. در مطالعه‌ای در مورد عمل‌آوری بتن حاوی نانوسیلیس در محل‌های مختلف، به موضوع شرایط محیطی معمولی، محیط سولفاتی در آب‌های دریای خلیج فارس و دریای خزر مطالعه شده است، که نتایج بیان می‌کند، عمل‌آوری در شرایط محیطی مختلف در سنین اولیه تأثیری بر مقاومت فشاری نمی‌گذارد ولی با گذشت زمان نمونه‌های بتنی بدون نانوسیلیس‌ها به شدت در محیطی عمل‌آوری‌شده حاوی سولفات خود را از دست می‌دهند [۶]. اثر شرایط اقلیمی مختلف یک منطقه کشور بر عملیات بتن‌ریزی موضوع پژوهشی دیگر در خصوص عمل‌آوری بتن است، که در آن در چهار فصل مختلف عملیات بتن‌ریزی انجام شده و با توجه به داده‌های هواشناسی و اقلیمی شرایط عمل‌آوری بتن را با شرایط و ضوابط استاندارد مقایسه نموده‌اند [۷]. نرخ افزایش دما و دمای ماکزیمم در عمل‌آوری الکتریکی مستقیم بتن موضوع تحقیق دیگری در این زمینه است، که در آن ۶۰ نمونه با جریان الکتریسیته گرمادهی شده‌اند تا مؤثرترین روش‌ها به عنوان باصرفه‌ترین انتخاب شود. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که نرخ گرمادهی مناسب ۲۰ درجه سلسیوس در ساعت و حداکثر دمای نهایی گرمادهی بتن بین ۷۵ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد است و زمان تاخیری مناسب برای اعمال دما و گرما به بتن ۳ ساعت است [۸]. محققین برای کاهش زمان عمل‌آوری بتن، از روش‌های مختلفی بهره می‌برند از جمله عمل‌آوری داخلی به این ترتیب ماده افزودنی سوپر جاذب پلیمری به عنوان یک منبع ذخیره آب برای عمل‌آوری داخلی بتن استفاده شد. نتایج مطالعه به ثمره حاکی از آن است که با افزودن ۱ تا ۱/۵ درصد وزن سیمان از این افزودنی، تنها با ۳ یا ۴ دوز عمل‌آوری مقاومت بتن به ۹۵ تا ۱۰۰ درصد مقاومت هدف می‌رسد، همچنین با مصرف ۰/۵ تا ۱ درصد از این مواد جاذب رطوبت، می‌توان جذب آب کل مخلوط را به حدود ۵ تا ۷ درصد کاهش داد [۹]. در مطالعه‌های دیگر، به بررسی تأثیر زمان شروع عمل‌آوری و تاخیر آن بر مقاومت ۲۸ روزه بتن پرداخته شده است. به این صورت که ۱۲ نمونه در دو گروه ۶ تایی با تاخیر زمانی متفاوت در عمل‌آوری مقایسه شدند در نتایج این مطالعه نشان داده شده که نمونه‌های با تاخیر سه روزه مقاومت کمتری نسبت به عمل‌آوری نمونه‌های شاهد دارند [۱۰].

توسط همان گروه از محققین، اثر مدت زمان رطوبت دهی بر عمل آوری بتن مطالعه شد، بدین ترتیب که ۲۴ نمونه بتنی در دو گروه ۱۲ تایی به ۱۲ روش مختلف رطوبت دهی شده و مقاومت آنها اندازه گیری شد، که نتایج حاکی از این است که رطوبت به همراه هوادهی در افزایش مقاومت تاثیر گذار است و البته رطوبت دهی سطحی و آب پاششی تاثیر چندانی بر عمل آوری بتن و افزایش مقاومت آن ندارد [۱۱].

در مطالعه ای توسط هوآنگ و همکاران (۲۰۱۷)، به مدل سازی عددی حرکت رطوبت و نفوذ پذیری و هدایت الکتریکی در رویه های بتنی پرداختند، البته نتایج عددی در مقایسه آزمایشگاهی با نمونه های ساخته شده مورد تایید قرار گرفت [۱۲]. در مطالعه ای دیگر توسط سیلان (Ceylan) و همکاران (۲۰۱۶) به اثر نحوه عمل آوری بر روی خرابی تاب خوردگی دال بتنی در رویه های صلب و اهمیت آن پرداخته اند. همچنین به اثر مواد افزودنی نظیر لانتکس و PVA و SBP جهت بهبود خواص گیرش و عمل آوری تسریع شده بتن ها برای عملیات های تعمیر و نگهداری در مطالعات قبلی پرداخته شده است [۱۳]. همچنین در مطالعه انجام شده توسط تدین، با عنوان بتن ریزی در هوای گرم، به اثر شدت تبخیر از واحد سطح از بتن و اثر وزش باد بر میزان کاهش آب سطحی اشاره شده است و اشاره نموده اند که برای جلوگیری از تبخیر زیاد از سطح بتن می توان توسط بادشکن سرعت باد را کم نمود، به ویژه، باد شکن هایی که بتوانند از تبخیر آب با افزایش رطوبت محیط جلوگیری کنند، می توانند مفیدتر باشند. البته اشاره می شود که استفاده از مه فشان و ایجاد غبار آب در محل بتن ریزی اگر وزش باد وجود داشته باشد تاثیر چندانی ندارد [۲]. به هر صورت در اغلب مطالعات به اهمیت نحوه عمل آوری بتن و تاثیر آن بر مقاومت بتن پرداخته اند. همچنین در تلاش برای ارائه راهکارهای کاهش اثرات نامطلوب آن از قبیل استفاده از مواد افزودنی جدید و فناوری های نوین پرداخته شد. به هر حال کمتر از آنها به موضوع اثر همزمان سرعت وزش باد، دما و رطوبت هوا به صورت عددی پرداخته اند که در این مطالعه تلاش شده است به صورت عددی و مدلسازی آماری به اثرات متغیرها به صورت همزمان پرداخته شود.

#### ۴. روش تحقیق

در این مطالعه با توجه به نیاز به محاسبه میزان تبخیر آب سطحی بتن و تامین آن توسط پاشش آب، از داده های اقلیمی مرتبط با مناطق گرم و خشک کشور استفاده شد. پس این داده ها در شرایط مختلفی تغییر داده شد تا میزان تبخیر در حالات ممکن محاسبه شود. داده های اقلیمی مورد نیاز در رابطه ی پول در جدول (۱) نمایش داده شده است.

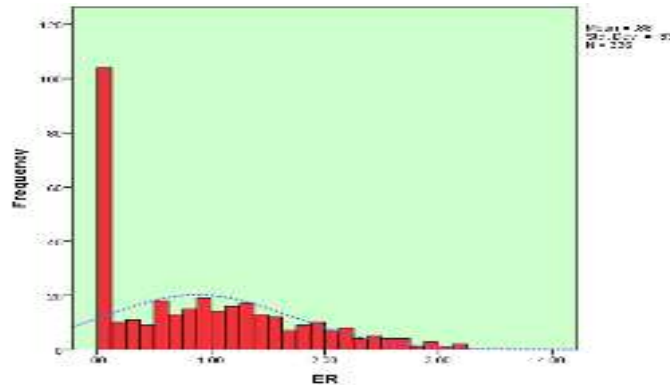
جدول ۱- تغییرات داده های اقلیمی بر کاربرد روسازی محاسبه میزان آب پاشی بتن [۱۴]

داده اقلیمی	دما (°C)	رطوبت نسبی (%)	سرعت باد (m/s)
یک عدد دوز بخصوص	۲۶	۳۶	۲۰
دامنه ی تغییرات	۹ - ۳۱	۸ - ۷۱	۱۷ - ۲۹

با توجه به مجموعه ی داده ی به وجود آمده از متغیرهای جدول (۱) در رابطه ی (۲)، بیش از ۳۰۰ داده، انتخاب الگوریتم مناسب برای اعمال روی داده ها ضروری است. از الگوریتم های موجود درخت تصمیم برای درک گرافیکی فرآیند تصمیم گیری و تاثیر گذاری پارامترها مناسب تر است. بنابراین با کمک نرم افزار آماری پر کاربرد SPSS داده های شامل سرعت باد، رطوبت نسبی و دما به متغیر وابسته میزان آب مورد نیاز برای پخش برای بتن ارتباط داده شد. با کمک رابطه ی (۱) حدود و تغییرات مشخص شده در جدول (۱) با کمک الگوی تقسیم بندی داده ها به روش خوشه بندی ترسیم شده ابتدا مهمترین داده ها و سپس نحوه تاثیر گذاری داده ها بر روی یکدیگر به کمک الگوریتم خوشه بندی داده ها تعیین می شود.

#### ۵. نتایج مدل آماری و بحث

الگوریتم داده کاوی به کار رفته از الگوی CART است، که داده ی آب مورد نیاز سطحی را به داده های اقلیمی که بتن ریزی در آن انجام شده ارتباط می دهد. درخت تصمیم ساخته شده برای این تحقیق در شکل (۳) قابل مشاهده است، همانگونه که ملاحظه می شود این درخت تصمیم ساخته شده دارای ۳۲ برگ و ۱۴ شاخه و ۱۶ گره است. قبل از به کار بردن الگوی درخت تصمیم، از بخش آمار توصیفی این نرم افزار نمودار نرمال بودن داده های میزان آب مورد نیاز بتن به ازاء هر متر مربع در هر ساعت ترسیم شده است، که در شکل (۲) قابل مشاهده است. در این شکل بجز تمرکز داده ها در بخش صفر (بدون نیاز به آب دهی بتن به علت شرایط اقلیمی) مابقی داده ها دارای توزیع نرمال هستند.



شکل ۲- بافت نگار توزیع داده‌های آب موردنیاز برای مرطوب نگه داشتن سطح دال بتن و رویه‌ی بتنی

همانگونه که در شکل (۳) ملاحظه می‌شود، در گره ۱ اگر دمای هوا بیش از ۲۰ درجه باشد متوسط آب موردنیاز سطحی بتن بیش از  $2 \text{ Lit/m}^2\text{hr}$  می‌شود. شکل (۴) نمودار مهمترین متغیرهای مستقل تاثیرگذار بر میزان آب موردنیاز پاششی بر روی بتن نمایش می‌دهد که مطابق آن دمای هوا، دمای بتن، سرعت وزش باد و میزان رطوبت هوا به ترتیب دارای اهمیت هستند. وقتی که تبخیر سطحی آب بتن زیاد باشد توصیه شده است که اقداماتی جهت میزان کاهش رطوبت با استفاده از بادشکن و مات کردن سطحی کار بتن تازه به کار برد. برای روسازی در مناطق و سطوح وسیع (مانند روسازی بتنی) سه راهکار [۴] پیشنهاد شده است، که عبارتند از اجرا روسازی در ساعاتی از شبانه‌روز با تبخیر کمتر و یا کاهش دمای بتن در زمان اجراء (خنک کردن سنگدانه‌ها و آرماتورها و قالب‌ها) و به کار بردن کاهنده‌های تبخیر است که تا ۵۰ درصد می‌توان تبخیر آب را کاهش داد. همچنین جدول (۲) نتایج مدلسازی رگرسیون خطی برای پیش‌بینی آب موردنیاز بتن را براساس متغیرهای چهارگانه اقلیمی نمایش می‌دهد و رابطه‌ی (۲) براساس این جدول ساخته شده است.

$$ER = -1.178 + 0.081CT - 0.039AT - 0.020RH + 0.063WS \quad R^2 = 0.922 \quad (2)$$

که در آن،

ER = میزان آب موردنیاز سطحی بتن رویه دال (برحسب  $\text{Lit/m}^2\text{hr}$ )

CT = دمای بتن (برحسب  $^{\circ}\text{C}$ )

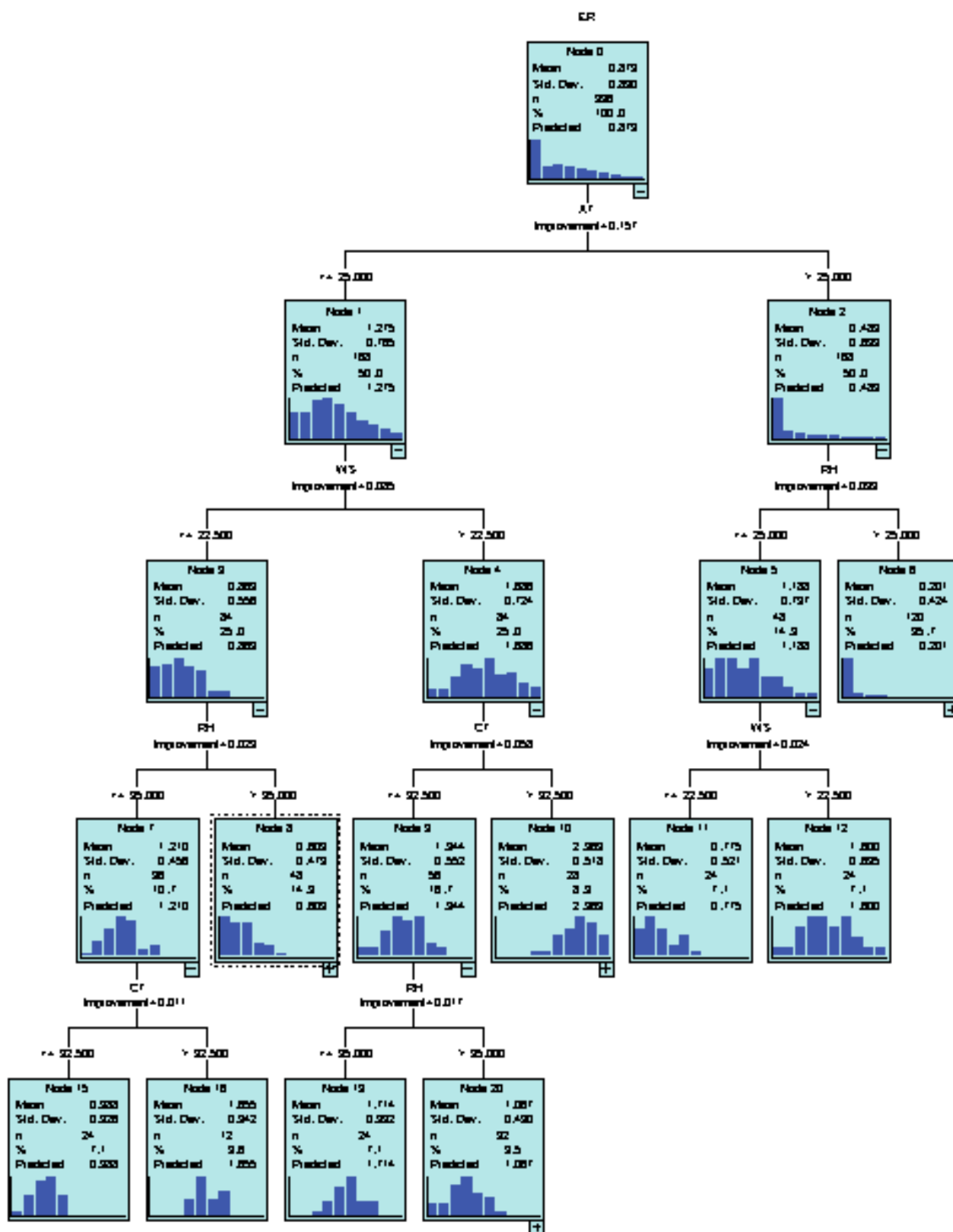
AT = دمای هوا (برحسب  $^{\circ}\text{C}$ )

RH = رطوبت نسبی (%)

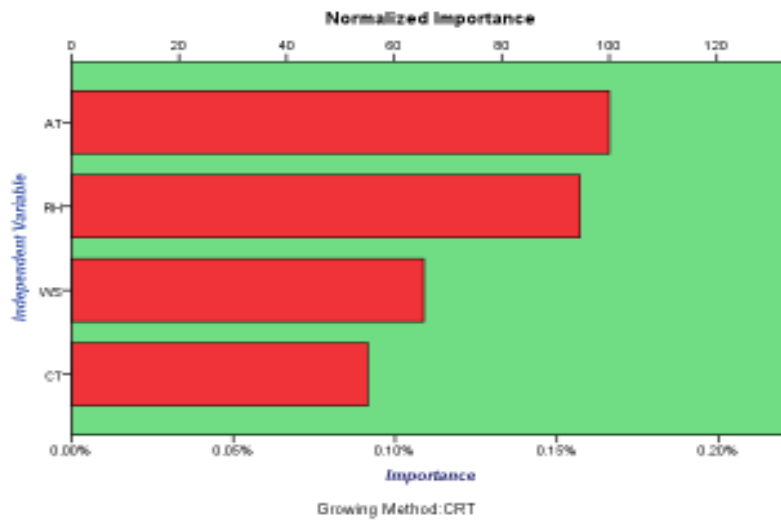
WS = سرعت وزش باد ( $\text{m/s}$ ) است.

جدول ۳- خلاصه‌ی آماره‌های مدلسازی درونیابی خطی تخمین نیاز آب پاششی در بتن تازه

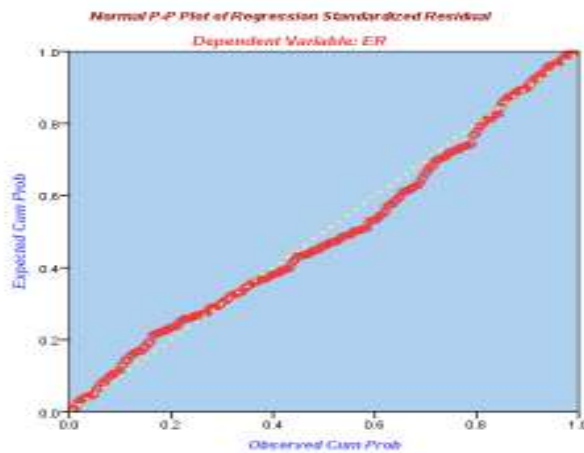
Model Summary <sup>b</sup>									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df <sup>1</sup>	df <sup>2</sup>	Sig. F Change
1	.922 <sup>a</sup>	.850	.848	.32332	.850	468.498	4	331	.000
Model	Unstandardized Coefficients			Standardized Coefficients	t	Sig.			
	B	Std. Error	Beta						
1	(Constant)	-1.178	.158		-7.459	.000			
	CT	.081	.004	.398	18.706	.000			
	AT	-.039	.002	-.521	-24.483	.000			
	RH	-.020	.001	-.490	-23.022	.000			
	WS	.063	.003	.423	19.865	.000			



شکل ۳- الگوریتم درخت تصمیم ترسیمی برای میزان رطوبت مورد نیاز وابسته به داده‌های اقلیمی



شکل ۴- مقایسه متغیرهای موثر در میزان آب پاششی مورد نیاز سطح بتن تازه



شکل ۵- مقایسه نتایج مدلسازی رگرسیون غیرخطی چندگانه و معیارهای استاندارد و دستورالعملها

## ۶. نتیجه‌گیری

تأمین رطوبت سطحی در فرآیند عمل‌آوری در سطوح وسیع نظیر دال‌های روسازی بتن جهت جلوگیری از ترک‌های سطحی بسیار مؤثر هستند. در مطالعه حاضر و باب بررسی تاثیر شرایط اقلیمی مؤثر بر میزان از دست رفتن این رطوبت سطحی، و فرآیند داده‌کاوی مبتنی بر درخت تصمیم، مقدار آب پاششی موردنیاز به ازاء هر متر مربع در هر ساعت پیش‌بینی شد. نتایج این مطالعه به صورت خلاصه عبارتند از:

- اگر دمای هوا بیش از ۲۰ درجه باشد متوسط آب موردنیاز سطحی بتن بیش از ۲ لیتر در ساعت به ازاء هر مترمربع می‌شود. -در مورد مهمترین متغیرهای مستقل تاثیرگذار بر میزان آب موردنیاز پاششی بر روی بتن نمایش دمای هوا، دمای بتن، سرعت وزش باد و میزان رطوبت هوا به ترتیب دارای اهمیت هستند.
- پیشنهاد شده است، اجرا روسازی در ساعاتی از شبانه‌روز با تبخیر کمتر و یا کاهش دمای بتن در زمان اجراء و به کار بردن کاهنده‌های تبخیر است که تا ۵۰ درصد می‌توان تبخیر آب را کاهش داد.

-مدلسازی آماری انجام شده داده‌های رطوبت سطحی طبق رابطه بدست آمده و نیز توصیه های استانداردها و آئیننامه های مشاهده شد که شیب خط ترسیمی یک مثبت است که حکایت از عملکرد درست رابطه درونبایی شده در پیشبینی آب مورد نیاز برای پاشش روی بتن تازه است.

## ۷. مراجع

- [۱] صادقیان، ر.، دشتی، م. ع.، (۱۳۹۶)، اشکالات حاصل از عمل آوری نامناسب در شرایط آب و هوایی سرد و گرم، دومین کنفرانس ملی مهندسی عمران و توسعه شهری، انتشارات علم آوران دانش، بابل، صفحه ۱-۹.
- [۲] تدین، م.، (۱۳۹۶)، بتن ریزی در هوای گرم، انجمن بتن ایران مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، دانشگاه بوعلی سینا همدان، صفحه ۱-۱۰.
- [۳] ساقی، ح.، دلبری، ح.، (۱۳۹۴)، تاثیر الیاف پلیمری و مقاومت بتن بر میزان ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی (آبرفتگی) پلاستیک در دال های بتنی، مجله تحقیقات بتن، سال ۸، شماره ۲، صفحه ۳۵-۴۶.
- [۴] فرجی، ق.، ولی پور، ح.، (۱۳۹۳)، روسازی بتنی، انتشارات فنی حسینیان و سیمای دانش، تهران، نوبت چاپ اول، صفحه ۱-۳۸۸.
- [۵] آرام، ع.، سلیم دهکردی، ب.، (۱۳۹۷)، مکانیزم عمل آوری بتن های پیش ساخته به روش بخار و انتخاب دمای بهینه در کارخانه تولید قطعات بتنی سگمنت در لایتینگ تونل، کنفرانس بین المللی عمران و توسعه شهری، دانشگاه تبریز، آذربایجان، صفحه ۱-۱۳.
- [۶] راستگو، م.، آراسته خوش بین، ا.، قویدل، ر.، (۱۳۹۷)، بررسی مقاومت فشاری بتن های حاوی نانوذرات سیلیس در محیط های عمل آوری مختلف، کنفرانس بین المللی عمران و توسعه شهری دانشگاه تبریز، آذربایجان، صفحه ۱-۱۲.
- [۷] رفتاری، م.، کوکی، ا.، (۱۳۹۶)، بتن ریزی اقلیمی، مطالعه موردی شهر کرمانشاه، سومین کنفرانس ملی مهندسی عمران، انتشارات علم آوریان دانش، بابل، صفحه ۱-۱۰.
- [۸] حسین زاده فروغی، ر.، دیلمقانی، ص.، (۱۳۹۶)، اثر دمای ماکزیمم و نرخ افزایش دما بر روی مقاومت فشاری در عمل آوری الکتریکی مستقیم بتن، سومین همایش بین المللی عمران و شهرسازی، دانشگاه البرز، تهران، صفحه ۱-۱۳.
- [۹] عسکریان، ر.، درب هتزی، ع.، (۱۳۹۶)، کاهش زمان عمل آوری بتن مبتنی بر عمل آوری داخلی، پنجمین کنگره بین المللی عمران و توسعه شهری، تهران، صفحه ۱-۸.
- [۱۰] کلاهی، م. ج.، قوهستانی، س.، (۱۳۹۶)، بررسی اهمیت زمان شروع عمل آوری بر مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن، دومین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، مهندسی سازه و ساخت، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، صفحه ۱-۸.
- [۱۱] کلاهی، م. ج.، قوهستانی، س.، (۱۳۹۶)، بررسی اثر مدت زمان رطوبت دهی در عمل آوری ۲۸ روزه بتن، دومین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، سازه و مدیریت ساخت، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، صفحه ۱-۹.
- [۱۲] Huang, K., Zollinger, D. G., Shi, X., & Sun, P. (۲۰۱۷). "A developed method of analyzing temperature and moisture profiles in rigid pavement slabs". Construction and Building Materials, 151, 782-788.
- [۱۳] Ceylan, H., Gopalakrishnan, K., Kim, S., Taylor, P., Alhasan, A. A., & Yang, S. (۲۰۱۶). "Impact of Curling and Warping on Concrete Pavement".
- [۱۴] امیدوار، ک. ر.، (۱۳۹۸)، تحلیلی از رژیم بادهای شدید و طوفانی یزد، فصلنامه مدرس علوم انسانی، برنامه ریزی و آسایش فضا، دوره ۱۴، شماره ۱، پیاپی ۶۵، صفحه ۸۳-۱۰۵.