پهنه‌بندی نقشه ایران بر اساس حساسیت روسازی بتنی JPCP به عوامل اقلیمی هر منطقه

مقاله علمی – پژوهشی

محمودرضا کی منش، دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
حمیدرضا ربانی نژاد*، دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: hamidreza.rabbaninezhad@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۷– پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۳۰
صفحه ۴۴۰-۴۲۳

چکیده

روسازی‌های بتنی معمولا برای دوره‌های بهره برداری ۳۰ تا ۵۰ سال طراحی می‌شوند و در طول این مدت، تحت تاثیر فاکتورهای آب و هوایی مختلف قرار می‌گیرند. این پژوهش بر روی مطالعه درخصوص این موضوع متمرکز شده است که ضخامت دال طراحی شده برای روسازی‌های بتنی به روش مکمل آشتو ۱۹۹۸، به چه میزان به هریک از عوامل اقلیمی حساسیت نشان می‌دهد و چگونه می‌توان نقشه کشور ایران را بر اساس میزان تاثیر عوامل اقلیمی هر منطقه بر طراحی ضخامت رویه بتنی، درجه‌بندی نمود؛ این پهنه بندی در برآورد ضخامت لازم برای روسازی‌های بتنی هر منطقه و همچنین در پیش‌بینی آسیب‌های وابسته به ضخامت دال در روسازی‌های بتنی، موثر خواهد بود. بدین منظور یک مقطع نمونه از روسازی بتنی ساده درزدار JPCP (به عنوان پرکاربردترین روسازی بتنی) برای تحلیل انتخاب شد و حساسیت ضخامت دال بدست آمده از روش طراحی مکمل آشتو ۱۹۹۸ به هر یک از متغیرهای اقلیمی از قبیل دمای هوا، سرعت باد و میزان بارش، با استفاده از شاخص حساسیت نرمال مورد ارزیابی قرار گرفت و آنگاه پهنای اقلیمی کشور ایران با استفاده از نتایج به دست آمده، درجه‌بندی گردید. نتایج حاصله نشان داد که در قلمرو عوامل اقلیمی مورد بررسی، آنچه باعث افزایش ضخامتِ دالِ طراحی در نرم افزار می‌گردد، افزایش دما، افزایش سرعت باد و کاهش بارندگی سالانه می‌باشد؛ سهم میانگین سالیانه دما در میان این سه فاکتور، برابر با ٪۸۷، سهم میانگین سالانه باد ٪۱۲ و سهم میانگین سالیانه بارندگی برابر با ٪۱ برآورد گردید. دامنه تغییرات ضخامت دال طراحی بدست آمده نسبت به شرایط مبنا در قلمرو شرایط اقلیمی ایران، از حدود ٪۱۱ افزایش مربوط به شهر بندرعباس، تا حدود ٪۵ کاهش مربوط به شهرکرد در نوسان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز حساسیت، تاثیر عوامل اقلیمی، پهنه‌بندی نقشه ایران، روسازی بتنی، ضخامت رویه بتنی

۱-مقدمه

روسازی‌های بتنی معمولا برای دوره بهره برداری ۳۰ تا ۵۰ سال طراحی می‌شوند و در این دوره بسته به اینکه در چه منطقه آب و هوایی واقع شده باشند، تحت تاثیر فاکتورهای آب و هوایی از قبیل دما، باد، بارش، چرخه‌های ذوب و یخبندان، تابش خورشید و سطح آب‌های زیرزمینی، با شدت‌های متفاوت قرار می‌گیرند. این فاکتورها و نوسانات مربوط به آنها قاعدتا تنش‌های سازه‌ای مختلفی را در بدنه روسازی سبب می‌شوند و در ایجاد یا تشدید خرابی‌های روسازی بتنی موثر خواهند بود و لذا بررسی مکانیزم تاثیر هر یک از عوامل آب و هوایی و آنالیز حساسیت روسازی بتنی به هر یک از آنها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و این

امر باعث تقویت شاخص‌های سازه‌ای و عملکردی، افزایش طول عمر روسازی و درنتیجه صرفه‌جویی در هزینه اجرای روسازی راه‌ها، فرودگاه‌ها، اسکله‌ها، بندرها و معابر شهری خواهد شد.

با توجه به اینکه بهسازی و یا نوسازی روسازی‌های بتنی، هزینه‌های گزافی را به سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای تحمیل می‌سازد و از طرفی عوامل اقلیمی و محیطی، سهم عمده‌ای در خرابی این روسازی‌ها دارند، هدف نهایی این پژوهش، پهنه بندی نقشه ایران بر اساس حساسیت روسازی بتنی JPCP به عوامل اقلیمی هر منطقه می باشد و نتایج حاصل از این تحقیق می تواند در طراحی بهینه روسازی‌های JPCP متناسب با شرایط اقلیمی هر منطقه مفید واقع شود. تا پیش از سال ۱۹۹۸ فاکتورهای آب و هوایی در فرایند طراحی روسازی بتنی وارد نمی‌شد. طراحی به روش AASHTO1998 به طور کلی براساس طراحی AASHTO 1993 تکامل یافت و سه فاکتور، شامل میانگین دمای هوای سالیانه، میانگین سرعت باد سالیانه و میانگین بارش سالیانه به ورودی‌های طراحی اضافه گردید. با ارائه روش طراحی مکانیکی-تجربی (MEPDG) در سال ۲۰۰۲ و استفاده از خروجی‌های مدل پیشرفته یکپارچه سازی اقلیمی (EICM) در بطن نرم افزار طراحی، علاوه بر فاکتورهای میانگین سالانه دما، سرعت باد و بارش، فاکتورهایی همچون رطوبت نسبی هوا، عمق سفره‌های آب زیرزمینی و چرخه‌های ذوب و یخبندان نیز در فرایند طراحی مورد توجه واقع شد (AASHTO, 2008; ARA, 2004). در این پژوهش، حساسیت ضخامت دال طراحی در مقابل هر یک از متغیرهای دما، سرعت باد و میزان بارش با استفاده از نرم افزار AASHTOWare1998 مورد محاسبه و ارزیابی قرار گرفت و با استفاده از نتایج به دست آمده، نقشه ایران بر اساس میزان وابستگی ضخامت رویه بتنیِ طراحی شده برای یک ترافیک معین به دما، سرعت باد و میزان بارش در هر منطقه، پهنه بندی و ارائه گردید.

۲-پیشینه تحقیق

از آنجا که با اتصال نرم افزار EICM به ایستگاه‌های هواشناسی در هر منطقه از ایالات متحده، تمامی این فاکتورها یکپارچه سازی می‌شوند، در همه تحقیقات پیشین اثرات مناطق آب و هوایی بصورت کلی بررسی شده‌اند و در نتیجه تاثیر تک تک فاکتورهای آب و هوایی، مورد بررسی قرار نگرفته است.

مهمترین تحقیقات پیشین در این رابطه به شرح ذیل مورد بررسی قرار می‌گیرد:

الف) در دی‌ماه سال ۱۳۹۷، ربانی نژاد و همکارانش، در دانشکده فنی دانشگاه پیام نور تهران شمال، حساسیت روسازی بتنی به عوامل جوی با استفاده از مدل EICM را تحت عنوان یک پایان نامه کارشناسی ارشد، مورد آنالیز قرار دادند؛ در این پژوهش مشخص شد که فاکتور تغییرات دما، داری بیشترین تاثیر بر خرابی‌های مرسوم در روسازی‌های JPCP می‌باشد.

ب) در ماه دسامبر سال ۲۰۱۶، اداره بزرگراه‌های فدرال امریکا در گزارش HRT-16-078، تاثیر فاکتورهای محیطی بر عملکرد روسازی‌ها با استفاده از داده‌های LTPP را مورد ارزیابی قرار داد؛ در این گزارش، تاثیر منطقه آب و هوایی، چرخه‌های ذوب و یخبندان، بارندگی و دمای محیط، بر خرابی‌های روسازی JPCP مورد بررسی قرار گرفت.

ج) در ماه دسامبر سال ۲۰۱۱، اسکوارتز و لی تحت حمایت هیئت تحقیق حمل و نقل ایالات متحده امریکا در برنامه تحقیقات ملی بزرگراه‌ها در گزارش ۴۷-۱ خود با استفاده از آنالیزهای حساسیت جهانی و محلی، به ارزیابی حساسیت روش مکانیکی تجربی در پیش بینی عملکرد روسازی‌ها پرداختند؛ ارزیابی مذکور در زمینه عوامل محیطی بسیار کلی و محدود بوده و به نقش تک تک عوامل محیطی به طور جداگانه پرداخته نشده است (Schwartz et al. , 2011).

د) در ماه سپتامبر سال ۲۰۱۱، لی و همکارانش تحت حمایت دانشگاه حمل و نقل ایالت دلاوِر، به بررسی تاثیر تغییرات اقلیمی در سه ایالت نیوجرسی، کنتاکی و دلاوِر در شمال شرقی ایالات متحده بر روی روسازی‌های بتنی پرداختند و بر اساس آن نرم افزار EICMرا برای این ایالت‌ها کالیبره نمودند (Li, Mills & McNeil, 2011)

ه) در ماه ژوئن سال ۲۰۰۹، عزیزی نمینی و همکارانش در دانشگاه لینکلن تحت حمایت سازمان ملی تحقیقات پل‌های ایالات متحده و سازمان راه‌های ایالت نبراسکا به بررسی پارامتریک نرم افزار طراحی MEPDG و آنالیز حساسیت آن پرداختند. در بخش کوتاهی از آن به تاثیر کلی آب و هوا بر آسیب‌های سازه‌ای روسازی‌ها اشاره شده است اما تاثیر تک تک عوامل محیطی مورد بررسی قرار نگرفته است (Azizinamini, Ala & Stanigzai, 2009).

و) در ماه اکتبر سال ۲۰۰۵ تیم و بارت در دانشگاه آبرن تحت حمایت مرکز تحقیقاتِ بزرگراه‌های ایالت آلاباما، نرم افزار MEPDG را برای طراحی روسازی‌های صلب ارزیابی نمودند. در بخشی از آن، به مکانیزم تاثیر فاکتورهای اقلیمی در روسازی‌های بتنی به صورت کلی پرداخته شده و خرابی‌های روسازی‌های JPCP،JRCP و CRCP را در شرایط مختلفِ سازه‌ای، اقلیمی و ترافیکی بصورت کلی مورد مقایسه قرار داده است (Timm, Barret, 2005).

ز) در آگوست سال ۲۰۰۵ گُکلو و سِیلان در دانشکده عمران، ساختمان و محیط زیست دانشگاه ایمز ایالت آیووا، سیستم روسازی صلب را با استفاده از روش طراحی MEPDG آنالیز حساسیت نمودند. آنها دو نوع روسازی بتنی JPCP اجرا شده در ایالت آیووا را به عنوان محیط تحقیق درنظر گرفتند و به منظور آنالیز حساسیت روسازی به مناطق آب و هوایی، هر بار مختصات یکی از مناطق ایالات متحده امریکا واقع در اقلیم گرم و خشک، سرد و خشک، گرم و مرطوب، سرد و مرطوب و معتدل را به عنوان منطقه آب و هوایی به نرم افزار معرفی نمودند. نتایج این تحقیق، به آنالیز حساسیت تک تک فاکتورهای آب و هوایی نپرداخته است (Guclu, & Ceylan, 2005). تحقیقِ حاضر، بر پایه فرضیاتی به شرح زیر شکل گرفته است

الف) با فرض درستی نتایج تحقیقات دانشگاه آبرن آلاباما در اکتبر ۲۰۰۵ توسط دکتر دیوید تیم و ویلیام بارت، ضخامت دال بتنی محاسبه شده از روش AASHTO با ضخامت دال محاسبه شده از روش MEPDG، تفاوت چندانی ندارد.

ب) هر یک از عوامل محیطی و جوی از قبیل دما، باد و بارش، به میزان متفاوتی بر مکانیزم‌های سازه‌ای و عملکردی روسازی بتنی تاثیرگذار هستند و این تاثیرات در طراحی ضخامت روسازی به روش مکمل آشتو ۱۹۹۸ مدنظر قرار گرفته‌اند.

ج) می‌توان پهنای اقلیمی کشور ایران را بر اساس پتانسیل خرابی روسازی‌های بتنی ناشی از فاکتورهای آب و هوایی درجه‌بندی نموده و از نتایج آن در مدیریت طراحی، اجرا و تعمیر و نگهداری روسازی‌های بتنی، بهره جست.

این تحقیق تلاش دارد پاسخ سوالاتی نظیر آنچه که در ادامه می‌آید را روشن سازد.

الف) طراحی ضخامت دال بتنی روسازی توسط نرم افزار آشتو ۱۹۹۸ به چه میزان به هر یک از عوامل دما، باد و بارش، حساس می‌باشد؟

ب) دامنه تاثیر هر یک از فاکتورهای آب و هوای اقلیم کشور ایران بر طراحی سازه‌ای روسازی بتنی به چه میزان خواهد بود؟

ج) چگونه می‌توان پهنای اقلیمی کشور ایران را بر اساس پتانسیل خرابی روسازی‌های بتنی ناشی از فاکتورهای جوی و اقلیمی، درجه‌بندی نمود؟

د) چگونه می‌توان از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، در طراحی سازه‌ای روسازی بتنی متناسب با اقلیم هر منطقه بهره جست؟

۳-روش تحقیق

با توجه به نوپا بودن تکنولوژی روسازی بتنی در ایران و پهنای گسترده آب و هوایی و اقلیمی این کشور، تهیه نقشه درجه‌بندی شده‌ی این کشور بر اساس تاثیر فاکتورهای اقلیمی هر منطقه بر روسازی‌های بتنی می‌تواند در مدیریت بهتر این تکنولوژی سهم بسزایی داشته باشد.

۳-۱- سیستم روسازی به کار رفته در پژوهش

روسازی بتنی به کار رفته، برای یک بزرگراه با ترافیک سنگین با بار تک محوری معادل (ESAL) برابر ۱۵/۰۰۰/۰۰۰ طراحی می‌گردد و بر این اساس مطابق نشریه۷۳۱ (دستورالعمل طراحی، اجرا و نگهداری روسازی بتنی راه‌ها (Planning and Budgeting Organization, Technical and Executive Affairs, 2017)) برگرفته از ضوابط طراحی آشتو (انجمن بزرگراه‌های ایالتی و سازمان حمل و نقل آمریکا)، بتن بارده C_{35} با مقاومت فشاری ۲۸ روزه۳۵۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع به عنوان مصالح رویه، یک لایه اساس دانه‌ای به ضخامت ۱۵ سانتی متر و جنس خاک سابگرید از نوع خاک‌های (A_2, A_1) با ضریب عکس العمل بستر اصلاح شده برابر ۹۵ مگانیوتون بر مترمکعب در نظر گرفته شد. فاصله بین درزها برابر ٤/٥٧ متر، عرض سواره رو برابر ۳/٦٥ متر و شانه‌ها از جنس بتنی و بصورت پیوسته نسبت به سواره رو در نظر گرفته شد. لازم به توضیح است که همبستگی بین مشخصات فنیِ به کار رفته، مطابق با جدول ۱ به صورت کامل مدنظر قرار گرفته است.

جدول ۱. مشخصات فنی انتخاب شده برای طراحی مبنای این تحقیق با توجه به ضوابط آشتو

عنوان کلی	عنوان جزیی	علامت	مقدار و واحد براساس ضوابط آشتو	مقدار در واحد SI
نشانه خدمت دهی	نشانه خدمت دهی اولیه	PSI	4.5	4.5
	نشانه خدمت دهی نهایی	Pt	3	3
خصوصیات دال بتنی	رده بتن*	C*	35	350 Kg/cm2
	مقاومت فشاری *	f'c *	5000 Psi	34.5 Mpa
	میانگین مدول شکست ۲۸روزه	S'c	638 Psi	4.4 Mpa
	مدول الاستیسیته دال بتنی	Ec	4,000,000 Psi	27580 Mpa
	نسبت پواسون برای بتن	U	0. 19	0. 19
خصوصیات اساس	مدول الاستیسیته اساس	Eb	30,000 Psi	207 Mpa
	ضخامت طراحی اساس	Hb	6 In	15 Cm
	فاکتور اصطکاک اساس–دال	F	1.4	1.4
قابلیت اطمینان و انحراف استاندارد	سطح اطمینان	R	90%	90%
	انحراف استاندارد کلی	So	0.34	0.34
خصوصیات اقلیمی	میانگین سرعت باد سالانه	WIND	4.9 Mph	2.19 m/s
	میانگین دمای هوای سالانه	TEMP	61.2 Fr	16.2 C'
	میانگین بارندگی سالانه	PRECIP	14.2 In	360 mm
عکس العمل بستر	ضریب عکس العمل موثر بستر	K	350 Pci	95 Mn/m3
ترافیک	بار تک محوری معادل (ترافیک سنگین)	ESAL	15 Milion	15 Milion
	بار تک محوری معادل (ترافیک متوسط)	ESAL	5 Milion	5 Milion

محدوده پژوهش

به منظور ملموس‌تر شدن نتایج و کاربردی‌تر شدن تحقیق، پهنای اقلیمی کشور ایران به عنوان محیط تحقیق در نظر گرفته شده است و آمار متغیرهای اقلیمی شامل میانگین دمای هوا، میانگین سالانه سرعت باد و میانگین سالانه بارندگی، از میانگین ده ساله داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی موجود در وب سایت جامع هوا و اقلیم شناسی ایران برای مراکز استان‌های ایران استخراج و جداول حاوی داده‌های مربوطه، هر بار بر اساس مقدار یکی از متغیرهای اقلیمی مذکور بصورت نزولی مرتب گردید؛ بندرعباس و اردبیل با میانگین دمای هوای سالانه ۲۷ و ۹ درجه سانتی‌گراد به عنوان گرم‌ترین و سردترین مراکز استان‌های ایران مشخص گردید.

اردبیل و گرگان به ترتیب با میانگین سرعت باد سالانه ۳/۹ و ۱/۱ متر بر ثانیه رتبه‌های اول و آخر سرعت باد در جمع مراکز استان‌های ایران را کسب کردند. رشت و یزد با میانگین بارش سالانه ۱۳۵۹ و ۶۱ میلیمتر به ترتیب بعنوان پربارش‌ترین و کم بارش‌ترین مراکز استان ایران، در جدول مربوطه قرار گرفتند.

همچنین با متوسط گیری از مقادیر میانگین هر یک از عوامل محیطی یاد شده در جمع تمامی مراکز استان‌ها، متوسط کشوری هر یک از عوامل محیطی به شرح ذیل بدست آمد و بعنوان مقادیر مبنای عوامل محیطی در طراحی ضخامت دال مبنا منظور گردید.

–متوسط کشوری میانگین دمای هوای سالانه: (۱۶/۲ درجه سانتی‌گراد)

-متوسط کشوری میانگین سرعت باد سالانه: (۲/۲ متر بر ثانیه)
-متوسط کشوری میانگین بارندگی سالانه: (۳۶۰ میلی‌متر)

جدول ۲ طبقه بندی مراکز استان‌های ایران بر اساس فاکتورهای آب و هوایی را نشان می‌دهد.

ابزار پژوهش

در این تحقیق از نرم افزار طراحی روسازی بتنی (AASHTOWare1998)، استفاده شده است.

استفاده از نرم افزار طراحی AASHTO1998

نرم افزار MEPDG2002 بدلیل وابستگی به نرم‌افزار یکپارچه سازی عوامل اقلیمی (EICM)، در ایران قابل استفاده نمی‌باشد اما همانطور که در بخش ۱-۱ اشاره شد، تحقیقات دانشگاه آیِرن ایالت آلاباما در سال ۲۰۰۵ با مقایسه روش طراحی مکانیکی-تجربی (MEPDG 2002) با روش مکانیکی (AASHTO 1993-1998) در زمینه محاسبه ضخامت دال بتنی نشان داد که میانگین اختلاف ضخامت دال بتنیِ محاسبه شده توسط هریک از روش‌های فوق کمتر از ۰/۵۵ اینچ می‌باشد و بنابراین در این پژوهش برای محاسبه ضخامت دال بتنی، از نرم افزار مبتنی بر روش AASHTO1998 استفاده شده است.

در سال ۱۹۹۸ آشتو یک روش مکمل برای طراحی سازه‌های روسازی با عنوان «قسمت دوم طراحی روسازی صلب و طراحی درزها در روسازی‌های صلب» منتشر کرد روش مکمل ۱۹۹۸ بر اساس داده‌های LTTP (عملکرد طولانی مدت روسازی) و پروژه NCHRP ۳۰-۱ (برنامه تحقیقاتی ملی بزرگراه‌ها) ارائه شده است. مقادیر ورودی در این روش اما با اضافه شدن فاصله درزها، همانند روش آشتو ۱۹۹۳ باقی مانده است. از دیگر ورودی‌های اضافه شده به این روش می‌توان از سرعت متوسط سالانه باد، دمای متوسط سالانه هوا و میزان بارش متوسط سالانه، نام برد (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

شاخص حساسیت و معیار ارزیابی

به مطالعه تأثیر پذیری متغیرهای خروجی یک مدل از متغیرهای ورودی آن، «تحلیل حساسیت» گفته می‌شود؛ در این پژوهش از شاخص حساسیت نرمال به شرح رابطه (۱) به عنوان معیار ارزیابی استفاده شده است (Schwartz, et al. , 2011):

$$NSI = S_{ijk} = \frac{\partial Y_j}{\partial X_k}\left|\left(\frac{X_{ki}}{Y_{ji}}\right)\right. \quad (۱)$$

هنگامی که X_{ki} و Y_{ji} مقادیر خروجی در مقابل مقادیر ورودی K در وضعیت i می‌باشد و

$$\frac{\partial Y_j}{\partial Y_k}\left|\cong \frac{\Delta Y_j}{\Delta X_k}\right| = \frac{Y_{j,i+1} - Y_{j,i-1}}{X_{k,i+1} - X_{k,i-1}} \quad (۲)$$

شاخص حساسیت NSI می‌تواند به این شکل تفسیر شود که درصدی از تغییرات در ورودی، باعث چه درصدی از تغییرات در خروجی می‌گردد. مثلا هنگامیکه $S_{ijk} = 0.5$باشد بدین معناست که ۲۰ درصد تغییر در مقدار ورودی، باعث ۱۰ درصد تغییر در مقدار خروجی خواهد شد: (٪۱۰=٪۲۰*۰/۵).

به عبارت ساده‌تر

$$NSI = \frac{y_i - y_0}{c_i * y_0} \quad (۳)$$

هنگامیکه NSIبرابر شاخص حساسیت نرمال، y_i برابر خروجی مبنا در مقابل ورودی مبنا، y_0 برابر خروجی i و c_i برابر نسبت تغییرات ورودی i نسبت به ورودی مبنا می‌باشد.

فرایند پژوهش

این تحقیق در چارچوب فرایند ذیل انجام گرفته است.

ابتدا ضخامت دال طراحی برای روسازی با مشخصات مبنای مندرج در جدول ۱ و بر اساس میانگین کشوری فاکتورهای اقلیمی مندرج در بخش۲-۲ با استفاده از نرم افزار AASHTO1998 محاسبه گردیده و به عنوان ضخامت دال طراحیِ مبنا منظور شده است. سپس با ثابت نگه داشتن تمامی ورودی‌های طراحی و تغییر در یکی از مقادیر فاکتورهای آب و هوایی در گام‌های ده درصدی (در بازه تغییرات آب و هوایی کشور ایران)، هربار ضخامت دال بدست آمده یادداشت می‌گردد. این فرایند برای هر سه فاکتور میانگین سالانه دما، میانگین سالانه سرعت باد و میانگین سالانه بارندگی تکرار می‌شود و شاخصِ حساسیتِ تغییراتِ ضخامت دال طراحی در مقابل تغییرات هریک از این فاکتورهای آب و هوایی محاسبه و یادداشت می‌گردد.

جدول ۲. طبقه بندی مراکز استان‌های ایران بر اساس فاکتورهای آب و هوایی

ردیف	مرکز استان	میانگین دمای سالیانه (درجه سانتیگراد)	مرکز استان	میانگین سرعت سالیانه باد (متربرثانیه)	مرکز استان	میانگین بارندگی سالیانه (میلیمتر)
۱	بندرعباس	27	اردبیل	3.9	رشت	1359
۲	اهواز	25.3	تبریز	3.3	یاسوج	865
۳	بوشهر	24.6	زاهدان	3.3	ساری	790
٤	زاهدان	19.5	بوشهر	3.0	ایلام	616
٥	یزد	19.1	بندرعباس	2.9	گرگان	601
٦	سمنان	18.1	همدان	2.8	خرم آباد	509
۷	قم	18	تهران	2.7	سنندج	458
۸	ساری	17.9	کرمان	2.7	کرمانشاه	445
۹	گرگان	17.8	بیرجند	2.6	شیراز	346
۱۰	شیراز	17.7	یزد	2.6	اراک	342
۱۱	تهران	17.3	اهواز	2.6	ارومیه	341
۱۲	خرم آباد	17.2	کرمانشاه	2.5	شهر کرد	322
۱۳	ایلام	16.9	شیراز	2.3	همدان	318
١٤	بیرجند	16.5	کرج	2.3	قزوین	316
١٥	اصفهان	16.2	ایلام	2.2	زنجان	313
١٦	بجنورد	16.1	مشهد	2.1	اردبیل	304
۱۷	رشت	15.9	ارومیه	2.1	تبریز	289
۱۸	کرمان	15.8	اصفهان	2.1	بوشهر	279
۱۹	یاسوج	15.2	سنندج	2.0	بجنورد	272
۲۰	کرمانشاه	15	قزوین	2.0	مشهد	255
۲۱	کرج	14.9	قم	2.0	کرج	244
۲۲	مشهد	14.1	ساری	2.0	تهران	233
۲۳	قزوین	14	زنجان	1.9	اهواز	213
٢٤	اراک	13.9	خرم آباد	1.6	بندرعباس	183
٢٥	سنندج	13.4	بجنورد	1.5	بیرجند	171
٢٦	تبریز	12.5	اراک	1.5	کرمان	153
۲۷	شهر کرد	11.8	سمنان	1.4	اصفهان	153
۲۸	ارومیه	11.4	یاسوج	1.3	قم	151
۲۹	همدان	11	رشت	1.3	سمنان	141
۳۰	زنجان	11	شهر کرد	1.2	زاهدان	91
۳۱	اردبیل	9	گرگان	1.1	یزد	61

٤-نتایج پژوهش

٤-١-آنالیز حساسیت ضخامت دال طراحی نسبت به عوامل اقلیمی

با توجه به اینکه طراحی سازه‌ای روسازی بتنی در نهایت به طراحی ضخامت دال بتنی با مشخصات فنی مربوطه ختم می‌شود، در بخش اول این پژوهش حساسیت ضخامت دال طراحی در مقابل هر یک از متغیرهای دما، سرعت باد و میزان بارش با استفاده از نرم افزار AASHTOWare1998 مورد محاسبه و ارزیابی قرار گرفت. خلاصه نتایج این ارزیابی در جدول ۳ قابل مشاهده است. در ادامه با استفاده از نتایج بدست آمده، نقشه ایران بر اساس میزان وابستگی ضخامت دال طراحی روسازی بتنی به دما، سرعت باد و میزان بارش در هر منطقه پهنه بندی و ارائه گردید. ارقام یادداشت شده در محل مراکز استان در نقشه ایران، نشانگر درصد افزایش یا کاهش ضخامت دال طراحی در آن منطقه نسبت به دال طراحی مبنا، بر اساس مشخصات دما، سرعت باد و بارش آن منطقه خواهد بود.

٤-٢-حساسیتِ ضخامت دال طراحی به دما

شاخص‌های حساسیت به دست آمده از آنالیز حساسیت ضخامت دال طراحی در مقابل تغییرات دما در جدول ۳ در حد ۰/۲۸+ بوده و این نشانگر حساس بودن ضخامت دال طراحی به تغییرات دماست (۰/۱<NSI<۰/۵). مثبت بودن این شاخص نشان می‌دهد که افزایش میانگین دمای هوا سالانه باعث افزایش ضخامت دال طراحی خواهد شد و بر عکس.

همچنین این شاخص نشان می‌دهد که مثلاً چنانچه میانگین سالانه دمای هوا ٪۱۰ کاهش یابد، از ضخامت دال طراحی به اندازه ۲/۸ درصد کاسته خواهد شد (۲/۸-=٪۱۰-X۰/۲۸)

جدول ٤ خلاصه نتایج آنالیز حساسیت ضخامت دال طراحی نسبت به تغییرات میانگین سالانه دمای هوا در مقابل هر یک از مراکز استان‌های ایران را نشان می‌دهد.

٤-٣-حساسیت ضخامت دال طراحی به سرعت باد

شاخص‌های حساسیت بدست آمده از آنالیز حساسیت ضخامت دال طراحی در مقابل تغییرات سرعت باد در جدول ۳ در حد ۰/۰٤ بوده و این نشانگر حساسیت اندک ضخامت دال طراحی به تغییرات سرعت باد می‌باشد ($\mathbf{NSI < 0.1}$). مثبت بودن این شاخص نشان می‌دهد که افزایش میانگین سرعت باد سالانه باعث افزایش ضخامت دال طراحی خواهد شد و برعکس.

همچنین این شاخص نشان می‌دهد که مثلاً چنانچه میانگین سرعت سالانه باد ٪۲۰ افزایش یابد، به ضخامت دال طراحی به اندازه ۰/۸ درصد افزوده خواهد شد. (۰/۸=۰/٤X(٪۲۰+)).

جدول ۵ خلاصه نتایج آنالیز حساسیت ضخامت دال طراحی نسبت به تغییرات میانگین سالانه سرعت باد را در مقابل هر یک از مراکز استان‌های ایران نشان می‌دهد.

جدول ۳. خلاصه نتایج آنالیز حساسیت

درصد تغییر	دما (سانتیگراد)	ضخامت دال cm	NSI	باد (متر بر ثانیه)	ضخامت دال cm	NSI	بارش (میلیمتر)	ضخامت دال cm	NSI
300	*	*	*	*	*	*	1442.7	24.41	-0.003
150	*	*	*	*	*	*	901.7	24.51	-0.003
100	*	*	*	*	*	*	721.4	24.54	-0.003
90	*	*	*	4.2	25.55	0.04	685.8	24.56	-0.002
80	*	*	*	3.9	25.45	0.04	650.2	24.56	-0.003
70	*	*	*	3.7	25.35	0.04	612.1	24.56	-0.003
60	*	*	*	3.5	25.22	0.04	576.6	24.59	-0.002
50	*	*	*	3.3	25.15	0.04	541.0	24.59	-0.002
40	29.8	27.41	0.28	3.1	25.04	0.04	505.5	24.59	-0.003
30	26.4	26.72	0.29	2.9	24.94	0.04	477.5	24.61	0.000
20	23.0	26.01	0.28	2.6	24.84	0.05	431.8	24.61	0.000
10	19.6	25.32	0.29	2.4	24.74	0.05	396.2	24.61	0.000
0	**16.2**	**24.61**	**0.00**	**2.2**	**24.61**	**0.00**	**360**	**24.61**	**0.000**
-10	12.9	23.93	0.28	2.0	24.51	0.04	325.1	24.64	-0.010
-20	9.4	23.22	0.28	1.7	24.41	0.04	289.6	24.64	-0.005
-30	6.0	22.50	0.29	1.5	24.31	0.04	251.5	24.64	-0.003
-40	*	*	*	1.3	24.21	0.04	215.9	24.66	-0.005
-50	*	*	*	1.1	24.10	0.04	180.3	24.66	-0.004
-60	*	*	*	0.9	24.00	0.04	144.8	24.66	-0.003
-70	*	*	*	*	*	*	109.2	24.66	-0.003
-80	*	*	*	*	*	*	71.1	24.69	-0.004
-90	*	*	*	*	*	*	35.6	24.69	-0.003

جدول ٤. خلاصه نتایج آنالیز حساسیت ضخامت دال طراحی نسبت به تغییرات میانگین سالانه دمای هوا

رتبه	مرکز استان	میانگین دمای سالیانه به درجه سانتیگراد	درصد انحراف نسبت به مقدار میانگین (درصد انحراف مطلق)	دسته بندی درصد انحراف	NSI
۱	بندرعباس	27	33	30	0.29
۲	اهواز	25.3	28		
۳	بوشهر	24.6	25		
٤	زاهدان	19.5	10	10	0.29
٥	یزد	19.1	9		
٦	سمنان	18.1	6		
۷	قم	18	6		
۸	ساری	17.9	6		
۹	گرگان	17.8	5		
۱۰	شیراز	17.7	5		
۱۱	تهران (مهرآباد)	17.3	4		
۱۲	خرم آباد	17.2	4		
۱۳	ایلام	16.9	3		
١٤	بیرجند	16.5	1		
۱٥	اصفهان	16.2	1		
١٦	بجنورد	16.1	0	0	0
۱۷	رشت	15.9	0		
۱۸	کرمان	15.8	-1	-10	0.28
۱۹	یاسوج	15.2	-2		
۲۰	کرمانشاه	15	-3		
۲۱	کرج	14.9	-3		
۲۲	مشهد	14.1	-6		
۲۳	قزوین	14	-6		
٢٤	اراک	13.9	-6		
٢٥	سنندج	13.4	-8		
٢٦	تبریز	12.5	-10		
۲۷	شهر کرد	11.8	-12	-20	0.28
۲۸	ارومیه	11.4	-14		
۲۹	همدان	11	-15		
۳۰	زنجان	11	-15		
۳۱	اردبیل	9	-21		

جدول ۵. خلاصه نتایج آنالیز حساسیت ضخامت دال طراحی نسبت به تغییرات میانگین سالانه سرعت باد

رتبه	مرکز استان	میانگین سرعت سالیانه باد به متربرثانیه	درصد انحراف نسبت به مقدار میانگین (درصد انحراف مطلق)	دسته بندی درصد انحراف	NSI
۱	اردبیل	3.9	88	90	0.04
۲	تبریز	3.3	63	60	0.04
۳	زاهدان	3.3	63		
٤	بوشهر	3.0	48	50	0.04
٥	بندرعباس	2.9	40	40	0.04
٦	همدان	2.8	38		
۷	تهران	2.7	30	30	0.04
۸	کرمان	2.7	30		
۹	بیرجند	2.6	28		
۱۰	یزد	2.6	28		
۱۱	اهواز	2.6	25		
۱۲	کرمانشاه	2.5	23	20	0.05
۱۳	شیراز	2.3	13	10	0.05
۱٤	کرج	2.3	13		
۱٥	ایلام	2.2	5		
۱٦	مشهد	2.1	3		
۱۷	ارومیه	2.1	0	0	0
۱۸	اصفهان	2.1	0		
۱۹	سنندج	2.0	-2	-10	0.04
۲۰	قزوین	2.0	-2		
۲۱	قم	2.0	-2		
۲۲	ساری	2.0	-5		
۲۳	زنجان	1.9	-7		
۲٤	خرم آباد	1.6	-20	-20	0.04
۲٥	بجنورد	1.5	-25	-30	0.04
۲٦	اراک	1.5	-27		
۲۷	سمنان	1.4	-32		
۲۸	یاسوج	1.3	-35	-40	0.04
۲۹	رشت	1.3	-37		
۳۰	شهر کرد	1.2	-42		
۳۱	گرگان	1.1	-47	-50	0.04

٤-٤- حساسیت ضخامت دال طراحی به میزان بارندگی سالانه

شاخص‌های حساسیت بدست آمده از آنالیز حساسیت دال طراحی در مقابل تغییرات میزان بارش سالانه در جدول ۳ برابر ۰/۰۰۳-بوده و این نشانگر عدم حساسیت و یا حساسیت بسیار ناچیز ضخامت دال طراحی به تغییرات بارش سالانه می‌باشد. (NSI<<0. 1). منفی بودن این شاخص نشان می‌دهد که افزایش میانگین بارش سالانه باعث کاهش ضخامت دال طراحی (هرچند بسیار ناچیز) خواهد شد و برعکس. مثلاً چنانچه میانگین بارش سالانه به میزان ٪۵۰ افزایش یابد، ضخامت دال طراحی به اندازه ۰/۱۵ درصد کاهش خواهد یافت (۰/۱۵=۰/۰۰۳ x (٪۵۰+)).

جدول ٦ خلاصه نتایج آنالیز حساسیت ضخامت دال طراحی نسبت به تغییرات میانگین سالانه بارندگی را در مقابل هر یک از مراکز استان‌های ایران نشان می‌دهد.

درجه‌بندی نقشه ایران بر اساس حساسیت ضخامت طراحی دال بتنی به شرایط اقلیمی هر منطقه

از آنجا که هم درصد انحراف از میانگین و هم شاخص حساسیت هر یک از فاکتورهای آب و هوایی، برای تک تک مراکز استان ایران بدست آمد، پس می‌توان درصد تغییر ضخامت دال طراحی نسبت به ضخامت دال طراحی مبنا را برای هر یک از مراکز استان ایران از رابطه (٤) حساب کرد.

$$(\mathbf{Pd})_{\mathbf{i}} = [(\mathbf{c_t})_{\mathbf{i}} * (\mathbf{NSI})_{\mathbf{t}}] + [(\mathbf{c_w})_{\mathbf{i}} * (\mathbf{NSI})_{\mathbf{w}}] + \left[(\mathbf{c_p})_{\mathbf{i}} * (\mathbf{NSI})_{\mathbf{p}}\right] \quad (٤)$$

هنگامی که $(\mathbf{Pd})_{\mathbf{i}}$ برابر درصد تغییر ضخامت دال طراحی نسبت به ضخامت دال مبنا برای شرایط اقلیمی شهر i، $(\mathbf{c_t})_{\mathbf{i}}$ و $(\mathbf{c_w})_{\mathbf{i}}$ و $(\mathbf{c_p})_{\mathbf{i}}$ به ترتیب برابر با درصد انحراف دمای هوا، سرعت باد و بارش سالانه استان i نسبت به میانگین کشوری و ($\mathbf{NSI_i}$)، ($\mathbf{NSI_w}$) و ($\mathbf{NSI_p}$) به ترتیب برابر با شاخص حساسیت دال طراحی به دما، سرعت باد و میزان بارش می‌باشد.

جدول ۷ درصد تغییر ضخامت دال بتنی نسبت به ضخامت دال مبتنی مبنا هر یک از مراکز استان‌های ایران را نشان می‌دهد.

با توجه به مجموع شرایط اقلیمی و همچنین نتایج، درجه‌بندی بر روی نقشه ایران در شکل ۱ نشان داده شده است.

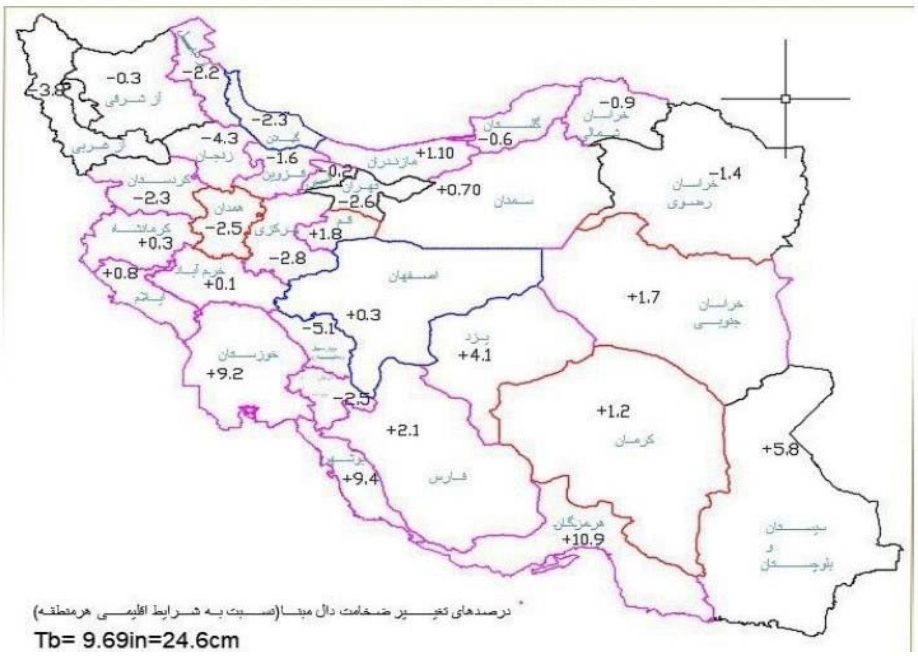
همانطور که مشاهده می‌شود بندرعباس با حدود ٪۱۱+ تغییر ضخامت دال طراحی به عنوان بحرانی‌ترین مرکز استان در صدر جدول و شهرکرد با حدود ٪۵- تغییر ضخامت دال طراحی بعنوان مساعدترین شهر از لحاظ طراحی ضخامت دال بتنی در ته جدول قرار دارد.

جدول ٦. خلاصه نتایج آنالیز حساسیت ضخامت دال طراحی نسبت به تغییرات میانگین سالانه بارندگی

رتبه	مرکز استان	میانگین بارندگی سالیانه به میلیمتر	درصد انحراف نسبت به مقدار میانگین (درصد انحراف مطلق)	دسته بندی درصد انحراف	NSI
۱	رشت	1359	277	>100	-0.003
۲	یاسوج	865	140		
۳	ساری	790	119	100	-0.003
٤	ایلام	616	71	70	-0.003
٥	گرگان	601	67		
٦	خرم آباد	509	41	40	-0.003
۷	سنندج	458	27	30	0.000
۸	کرمانشاه	445	23	20	0.000
۹	شیراز	346	-4	-10	-0.010
۱۰	اراک	342	-5		
۱۱	ارومیه	341	-5		
۱۲	شهر کرد	322	-11		
۱۳	همدان	318	-12		
۱٤	قزوین	316	-12		
۱٥	زنجان	313	-13		
۱٦	اردبیل	304	-16	-20	-0.005
۱۷	تبریز	289	-20		
۱۸	بوشهر	279	-23		
۱۹	بجنورد	272	-25	-30	-0.003
۲۰	مشهد	255	-29		
۲۱	کرج	244	-32		
۲۲	تهران (مهرآباد)	233	-35	-40	-0.005
۲۳	اهواز	213	-41		
۲٤	بندرعباس	183	-49	-50	-0.004
۲٥	بیرجند	171	-53		
۲٦	کرمان	153	-58	-60	-0.003
۲۷	اصفهان	153	-58		
۲۸	قم	151	-58		
۲۹	سمنان	141	-61		
۳۰	زاهدان	91	-75	-80	-0.004
۳۱	یزد	61	-83		

جدول ۷. درصد تغییر ضخامت دال بتنی نسبت به ضخامت دال مبنا با توجه به شرایط اقلیمی هر یک از مراکز استان‌ها

ردیف	مرکز استان	مجموع درصد تغییر ضخامت ناشی از تفاوت در (دما، سرعت باد و میزان بارش)
۱	بندرعباس	10.9
۲	بوشهر	9.4
۳	اهواز	9.2
٤	زاهدان	5.8
٥	یزد	4.1
٦	تهران	2.5
۷	شیراز	2.1
۸	قم	1.8
۹	بیرجند	1.7
۱۰	کرمان	1.2
۱۱	ساری	1.1
۱۲	ایلام	0.8
۱۳	سمنان	0.7
۱٤	اصفهان	0.3
۱٥	کرمانشاه	0.3
۱٦	خرم آباد	0.1
۱۷	کرج	-0.2
۱۸	تبریز	-0.3
۱۹	گرگان	-0.6
۲۰	بجنورد	-0.9
۲۱	مشهد	-1.4
۲۲	قزوین	-1.6
۲۳	اردبیل	-2.2
۲٤	سنندج	-2.3
۲٥	رشت	-2.3
۲٦	یاسوج	-2.5
۲۷	همدان	-2.5
۲۸	اراک	-2.8
۲۹	ارومیه	-3.8
۳۰	زنجان	-4.3
۳۱	شهر کرد	-5.1



شکل ۱. درجه‌بندی مراکز استان‌های ایران بر اساس درصد تغییر ضخامت دال طراحی مبنا با توجه به شرایط اقلیمی

تحلیل یافته‌ها

همانطور که مشاهده شد، در این تحقیق پهنه‌ی جغرافیایی کشور ایران بر اساس حساسیت روسازی بتنی JPCP به عوامل اقلیمی هر منطقه درجه‌بندی گردید. اکنون نتایج بدست آمده از بخش قبل مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

نتایج آنالیز حساسیت ضخامت دال طراحی به عوامل اقلیمی

نرم افزار AASHTOWare1998، سه فاکتور اقلیمی شامل میانگین دمای هوای سالانه، میانگین سرعت باد سالانه و میانگین بارندگی سالانه را در طراحی ضخامت دال بتنی در فهرست ورودی‌های خود دارد. مقادیر قرار گرفته در این ورودی‌ها برابر ۱۶/۲ درجه سانتی‌گراد برای دما، ۲/۲ متر بر ثانیه برای سرعت باد و ۳۶۰ میلیمتر برای بارندگی در نظر گرفته شده بود، که تمام این مقادیر برابر متوسط کشوری میانگین سالانه دما، سرعت باد و میزان بارش در ایران می‌باشد.

دامنه تغییرات دما از ۶/۰ تا ۲۹/۸ درجه سانتیگراد، دامنه تغییرات سرعت باد از ۰/۹ تا ۴/۲ متر بر ثانیه و دامنه تغییرات بارندگی از ۳۵/۶ تا ۱۴۴۲/۷ میلی‌متر (دربازه دامنه تغییرات میانگین سالانه‌ی هر یک از این فاکتورها در کشور ایران) قرار گرفت. شاخص حساسیت ضخامت دال طراحی روسازی بتنی در مقابل دما حدود ۰/۲۸+، در مقابل سرعت باد ۰/۰۴+ و در مقابل بارندگی حدود ۰/۰۰۳- بدست آمد.

نتایج آنالیز حساسیت ضخامت دال طراحی در مقابل تغییرات میانگین دمای سالانه هوا

الف)شاخص حساسیت در حدود ۰/۲۸+ بدست آمد و این به معنی حساس بودن ضخامت دال طراحی به میزان متوسط تغییرات میانگین دمای سالانه هوا می‌باشد.

ب) مثبت بودن شاخص حساسیت به معنای همسو بودن افزایش و کاهش ضخامت دال طراحی با افزایش یا کاهش میانگین دمای سالانه هوا می‌باشد.

ج) تفاوت ضخامت دال بدست آمده نسبت به ضخامت دال مبنا در دامنه تغییرات میانگین دمای سالانه هوای ایران از ۲۷ درجه سانتی گراد برای بندرعباس تا ۹ درجه سانتی‌گراد برای اردبیل حدود ٪۱۶ و برابر ۴۰ میلی متر می‌باشد.

د) در مناطق با میانگین دمای هوای سالانه بالاتر، دال بتنی با ضخامت بیشتری بدست می‌آید و بر عکس.

ه) تفسیر شاخص حساسیت ۰/۲۸+ در این آنالیز به این صورت است که بعنوان مثال چنانچه ٪۱۰ از میزان میانگین دمای سالانه هوا کاسته شود، ۲/۸ درصد از ضخامت دال طراحی مبنا کاسته خواهد شد و برعکس.

(۱۰X۰/۲۸=-۲/۸-).

نتایج آنالیز حساسیت ضخامت دال طراحی در مقابل تغییرات میانگین سرعت باد سالانه

الف)شاخص حساسیت در حدود ۰/۰٤+بدست آمد و این به معنی حساسیتِ اندکِ ضخامت دال طراحی به تغییرات میانگین سرعت باد سالانه می‌باشد.

ب)مثبت بودن شاخص حساسیت به معنای همسو بودن افزایش و کاهشِ ضخامت دال طراحی با افزایش و کاهشِ میانگین سرعت سالانه باد می‌باشد.

ج) تفاوت ضخامت دال بدست آمده نسبت به ضخامت دال مبنا در دامنه تغییرات میانگین سرعت سالانه باد در ایران (از ۳/۹ متر بر ثانیه برای اردبیل تا ۱/۱ متر بر ثانیه برای گرگان) حدود ٪٦ برابر ۱۵ میلی‌متر می‌باشد.

د)در مناطق با میانگین سرعت باد سالانه بالاتر، دال بتنی با ضخامت بیشتری بدست می‌آید و برعکس.

ه)تفسیر شاخص حساسیت ۰/۰٤+ در این آنالیز اینگونه خواهد بود که چنانچه ۱۰درصد از میانگین سرعت باد سالانه کاسته شود، ۰/٤ درصد از ضخامت دال طراحی مبنا کاسته خواهد شد و برعکس (۱۰X۰/۰٤=-۰/٤-).

نتایج آنالیز حساسیت ضخامت دال طراحی در مقابل تغییرات میانگین بارندگی سالانه

الف) شاخص حساسیت در حدود ۰/۰۰۳- بدست آمد و این به معنی عدم حساسیت و یا حساسیت بسیار ناچیز ضخامت دال طراحی به تغییرات میانگین بارندگی سالانه می‌باشد.

ب)منفی بودن شاخص حساسیت به معنای ناهمسو بودن افزایش و کاهش ضخامت دال طراحی یا افزایش و یا کاهش میانگین بارش سالانه می‌باشد.

ج) تفاوت ضخامت دال بدست آمده نسبت به ضخامت دال مبنا در دامنه تغییرات میانگین بارندگی سالانه ایران (از ۱۳۹۵ میلیمتر برای رشت تا ٦۱ میلیمتر برای یزد) حدود ٪۰/۹ و برابر ۲ میلیمتر می‌باشد.

د)در مناطق با میانگین بارندگی سالانه بیشتر، دال بتنی با ضخامت کمتر بدست می‌آید و بر عکس.

ه) تفسیر شاخص حساسیت ۰/۰۰۳- در این آنالیز اینگونه خواهد بود که چنانچه ٪۵۰ به میانگین بارندگی سالانه افزوده شود، ٪۰/۱۵ از ضخامت دال طراحی مبنا کاسته خواهد شد و برعکس (۰/۱۵-=(۰/۰۰۳-)X(۵۰+)).

نتایج آنالیز حساسیت ضخامت دال طراحی در مقابل مجموع تغییرات دما، سرعت باد و بارندگی

الف) بندر عباس با میانگین دمای هوای سالانه ۲۷درجه سانتی‌گراد، میانگین سرعت باد سالانه ۲/۹ متر بر ثانیه و میانگین بارش سالانه ۱۸۳ میلیمتر، در رتبه نخست دما، رتبه پنجم سرعت باد و رتبه بیستم و پنجم بارش کشوری، در رده نخست افزایش ضخامت دال طراحی تحت عوامل آب و هوایی قرار می‌گیرد.

ب) شهر کرد با میانگین دمای هوای سالانه ۱۱/۸ درجه سانتی گراد، میانگین سرعت باد سالانه ۱/۲ متر بر ثانیه و میانگین بارش سالانه ۳۲۲ میلی‌متر در رتبه نخست کاهش ضخامت دال طراحی تحت عوامل آب و هوایی قرار می‌گیرد.

ج) محدوده ضخامت دال طراحی بدست آمده نسبت به شرایط مبنا در قلمرو شرایط اقلیمی ایران، از حدود ٪۱۱ افزایش مربوط به بندرعباس تا حدود ٪۵ کاهش مربوط به شهر کرد در نوسان می‌باشد.

د) هر چند اردبیل دارای بالاترین میانگین سالانه سرعت باد در بین مراکز استان ایران (۳/۹ متر بر ثانیه) و از لحاظ بارش با میانگین بارش سالانه ۳۰٤ میلیمتر در پایین‌تر از میانگین بارش کشوری قرار دارد، اما با توجه به اینکه از لحاظ میانگین دمای هوای سالانه (۹ درجه سانتی گراد) بعنوان سردترین مرکز استان ایران شناخته می‌شود، ضخامت دال طراحی در آن به اندازه ۲/۲۵ درصد از ضخامت دال در طراحی مبنا کمتر بدست آمده است.

ه) رشت دارای بالاترین میزان بارندگی در میان مراکز استان ایران با بارش سالانه ۱۳۵۹ میلیمتر و از لحاظ سرعت باد، با میانگین سرعت سالانه ۱/۳ متر بر ثانیه تقریباً در جمع آخرین مراکز استان ایران قرار دارد. همچنین دمای هوای سالیانه آن برابر ۱۵/۹ سانتیگراد اندکی از میانگین دمای هوای سالیانه کشور کمتر بوده و ضخامت دال طراحی در آن به اندازه ۲/۳ درصد از ضخامت دال در طراحی مبنا کمتر بدست آمده است.

۵- نتیجه‌گیری

الف) در قلمرو عوامل اقلیمی آنچه باعث افزایش ضخامتِ دالِ طراحی در نرم افزار می‌گردد، افزایش دما، افزایش سرعت باد و کاهش بارندگی سالانه می‌باشد.

ب) علیرغم اینکه پراکندی جغرافیایی ایران از لحاظ میانگین سالانه دما نسبت به میانگین سالانه باد و بارندگی کمتر است، اما سهم هر یک از عوامل فوق در تغییر ضخامت دال طراحی روسازی بتنی به شرح ذیل می‌باشد.

*سهم میانگین سالیانه دما: ٪۸۷

*سهم میانگین سالانه باد: ٪۱۲

*سهم میانگین سالیانه بارندگی: ٪۱

شبیه آنچه که در نشریه ۲۳٤ (آیین نامه روسازی آسفالتی راههای ایران)، نقشه پهنه بندی شده‌ای برای استفاده از قیرهای عملکردی در شرایط اقلیمی متفاوت تدوین و ارائه شده است، نقشه ی پهنه بندی شده ی حاصل از این تحقیق، می‌تواند در نشریه ۷۳۱ (دستورالعمل طراحی، اجرا و نگهداری روسازی بتنی راه‌ها) گنجانده شده و مورد استفاده قرار گیرد.

به منظور توسعه این پژوهش، مباحث ذیل می‌تواند در تحقیقات آتی مورد بررسی قرار گیرد:

-درجه‌بندی نقشه ایران می‌تواند با لحاظ کردن متغیرهای اقلیمی شهرستان‌های هر استان، تکمیل و تدقیق گردد.

-آنالیز حساسیت روسازی‌های CRCP و JRCP نیز در صورت لزوم می‌تواند مطابق با روند همین تحقیق، انجام پذیرد.

-نتایج این تحقیق می‌تواند در پژوهش‌های آتی با نتایج تجربی بدست آمده از پروژه‌های اجرایی، مقایسه گردد.

٦- مراجع

-کی‌منش، محمودرضا، محمدعلیها، محمدرضا و حمیدرضا ربانی‌نژاد (۱٤۰۳). آنالیز حساسیت روسازی بتنی JPCP به چرخه‌های ذوب و انجماد. *فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل*، ۸۰ (۳)، ۱٦۲-۱٤۱.

-ربانی‌نژاد، حمیدرضا (۱٤۰۲). مطالعه آزمایشگاهی تاثیر سیکل‌های ذوب و انجماد بر خواص مکانیک‌شکست بتن روسازی . رساله مقطع دکتری تخصصی (اساتیدراهنما: دکتر محمودرضا کی‌منش، دکتر محمدرضا محمدعلیها). *دانشکده فنی و مهندسی*. دانشگاه پیام نور تهران.

-کی‌منش، محمودرضا، و ربانی‌نژاد، حمیدرضا (۱٤۰۰). کتاب روسازی بتنی (جلد دوم). تهران، *انتشارات دانشگاه پیام‌نور*.

-کی‌منش، محمودرضا، و ربانی‌نژاد، حمیدرضا (۱۳۹۹). کتاب روسازی بتنی (جلد اول). تهران، *انتشارات دانشگاه پیام‌نور*.

-ربانی‌نژاد، حمیدرضا (۱۳۹۷). آنالیز حساسیت روسازی بتنی به عوامل جوی با استفاده از مدل EICM . پایان نامه دوره کارشناسی ارشد (استاد راهنما: دکتر کامران رحیم‌اف). دانشکده فنی و مهندسی. *دانشگاه پیام نور تهران*.

-American Association of State Highway and Transportation Officials, (2008). AASHTO Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, *A Manual of Practice*, Interim Edition. Washington D. C.

-American Association of State Highway and Transportation Officials, (2015). AASHTOWareTM Pavement ME Design, *American Association of State Highway and Transportation Officials*, Washington D. C.

-ARA. Inc. ERES Consultants Division, (2004) . Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. Final report. NCHRP Project 1-37A. *Transportation Research Board of the National Academies*. Washington D. C.

-Azizinamini, A. , Ala, N. , & Stanigzai, M. (2009). Development of field data for effective implementation of mechanistic empirical pavement design procedure. *NaBRO. University of Nebraska-Lincoln.*

-Guclu, A. , & Ceylan, H. (2005). Sensitivity analysis of rigid pavement system using the mechanistic-empirical design guide software. MS. Thesis, *Iowa University*.

-Schwartz, C. , Li, R. , Kim, S. , Ceylan, H. , & Gopalakrishnan, K. (2011). Sensitivity evaluation of MEPDG performance prediction. Final report, NCHRP 1-47, *Transportation Research Board of the National Academies*. University of Maryland and Iowa State University (UMD&ISU).

-Timm, D. , Barret, W. (2005). Analysis of the 2002 design guide for rigid pavement. Final report, ALDOT project 930-554. *University of Auburn*, Alabama.

- US Department of Transportation, Federal Highway Administration, (2016). Administration Long-Term Pavement Performance Program report, *Analysis of the Study of Environmental Effects in the Absence of Heavy Loads,* (FHWA-HRT-16-084).

-Li, Q. , Mills, L. , & McNeil, S. (2011). The implications of climate change on pavement performance design. A report submitted to the University of Delaware University Transportation Center (UD-UTC).

-Planning and Budgeting Organization, Technical and Executive Affairs. And Ministry of Roads and Urban Development, Road, Housing and Urban Development Research Center (2017). Instructions for the Design, *Execution and Maintenance of Concrete Road Pavements*, Rule 731. (inpersian)

Grading Iran Map based on the Sensitivity of Jointed Plain Concrete Pavement to the Climatic Factors of Each Region

Mahmoudreza Keymanesh, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Hamidreza Rabbaninezhad, Ph.D. Grad., Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.

E-mail: hamidreza.rabbaninezhad@gmail.com

Received: June 2024- Accepted: September 2024

ABSTRACT

Concrete pavements are regularly designed for periods of 30 to 50 years and are affected by different weather-related and climatic factors during this period. The current study focuses on the study of the reaction of slab thickness designed for concrete pavements by the 1998 AASHTO Supplement method to each of the climatic factors and grading the Iran's map based on the influence of the climatic factors of each region on the design of the concrete pavement thickness. This zoning will be effective in estimating the thickness required for concrete pavements in each area as well as in predicting slab-related damage in concrete pavements. To this end, a sample cross-section of Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP) (as the most commonly used concrete pavement) was selected for analysis, and the sensitivity of slab thickness obtained by the 1998 AASHTO Supplement design method to each of the climate variables such as air temperature, wind speed and precipitation, was evaluated using the Normal Sensitivity Index and then Iran's climate area was graded using these results. The results showed that in the field of climatic factors, the increase in designed slab thickness in the software is due to increasing temperature, increasing wind speed and decreasing annual precipitation; the average annual share of temperature among these three factors is 87%, the annual average share of wind was 12% and the annual average share of rainfall was 1%. The range of slab thickness variations obtained from baseline conditions in Iran's climatic conditions range from about 11% increases in Bandar Abbas to about 5% decrease in Shahrekord.

Keywords: Sensitivity Analysis, Concrete Pavement, Impact of Climatic Factors, Iran Map Grading, Concrete Pavement Thickness