J. Analysis of Structure and Earthquake
Volum 20, Issue 2, summer 2023
Issn: 2821-0999
وبگاه مجله: www.civil-strj.maragheh.iau.ir
فصلنامه علمی آنالیز سازه - زلزله
دوره ۲۰، شماره۲، تابستان ۱۴۰۲

Modelling Effective Factors in Strengthening RC Beams from the Construction Management View

Habib Allah Poornamazian
Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
Mohsen Izadinia*
Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
izadinia@iaun.ac.ir

DOI 10.30495/CIVIL.2023.702731

Keywords:
Strengthening reinforced concrete beams,
FRP,
EBR Installation Method,
NSM Installation Method,
Structural Equations Modelling (SEM),
SWOT method

Abstract

Strengthening reinforced concrete beams using fiber reinforced polymer (FRP) materials compared to other strengthening methods due to its low weight and easy transportation, high resistance with less manpower has been accepted as a common practice in most countries. Externally bonded reinforcement (EBR) and near surface mounting (NSM) reinforcement are common methods for FRP installation. In this research the strengths, weaknesses, opportunities and threats of these two methods are identified as the strengths, weaknesses, opportunities, and threats (SWOT) method from the perspective of construction management and then the structural equations modeling (SEM) method is used to investigate the relationship between each of these variables. Two separate models were used in the EBR and NSM methods that identify the relationship between strengths, weaknesses, opportunities and threats as hidden variables and then questionnaire questions related to each of these variables as explicit variables. Also, confirmatory factor analysis and Cronbach's alpha coefficient were used to assess the validity and reliability of the questionnaire, respectively. The results of this study showed that each of the EBR and NSM methods has different advantages and disadvantages and then management solutions were evaluated using SWOT technique and structural equation modeling

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

(این نشریه تحت قانون بین المللی کپی رایت Creative Commons: BY-NC می باشد).

مدل‌سازی عوامل مؤثر بر مقاوم‌سازی تیرهای بتن‌آرمه از دیدگاه مدیریت ساخت

حبیب الله پورنمازیان
گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران
محسن ایزدی نیا*
گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران
izadinia@iaun.ac.i

تاریخ دریافت : ۰۲ دی ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: ۰۱ اردیبهشت ۱۴۰۲

چکیده

مقاوم‌سازی تیرهای بتن‌آرمه با استفاده از مصالح FRP در مقایسه با سایر روش‌های مقاوم‌سازی به علت وزن کم و حمل‌ونقل آسان، مقاومت بالاتر در ازای زحمت کمتر نیروی انسانی، به‌عنوان روشی متداول در اغلب کشورها پذیرفته‌شده است. در این پژوهش با استفاده از روش SWOT، نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای موجود در این دو روش از دیدگاه مدیریت ساخت، شناسایی گردید و سپس جهت بررسی ارتباط بین هر یک از این متغیرها از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری استفاده شد. جهت مدل‌سازی پژوهش، از دو مدل جداگانه درروش EBR و NSM استفاده‌شده است. نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای و ارتباط بین آن‌ها به‌عنوان متغیرهای پنهان در نظر گرفته شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که هر یک از روش‌های EBR و NSM از نظر دیدگاه های مدیریتی، دارای مزایا و معایب مختلفی می‌باشند. در ابتدا، مزایا و معایب این دو روش شناسایی شد. سپس راهکارهای مدیریتی با استفاده از تلفیق تکنیک SWOT و مدل‌سازی معادلات ساختاری مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. طبق یافته‌ها، نقطه قوت روش EBR این است که این روش نیاز به نیروی انسانی متخصص ندارد، بنابراین کشورهای درحال‌توسعه می‌توانند از این فرصت استفاده کنند و برای اجرای آن از پیمانکاران توانمند داخلی (نقطه فرصت) در پروژه‌های مقاوم‌سازی خود استفاده کنند. این نیز موجب کاهش وابستگی آن‌ها به پیمانکاران خارجی شده است. روش NSM دارای مزایا و نقاط قوت بیشتری است ولی در کشور در حال توسعه ایران، به دلیل مشکلات اجرایی و عدم آموزش مناسب و همچنین عدم فرهنگ‌سازی مناسب، روش EBR دارای کاربرد بیشتری است.

کلید واژگان: مقاوم‌سازی تیرهای بتن‌آرمه،FRP، روش نصب EBR، روش نصب NSM، مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM)، روش SWOT

۱- مقدمه

متداول‌ترین روش‌های تقویت اعضای بتن مسلح استفاده از الیاف‌های پلیمری است که به دلیل اتصال بیشتر آرماتورها با بتن از ظرفیت مصالح الیاف‌های پلیمری استفاده کامل‌تری می‌گردد. در بین انواع روش‌های مقاوم‌سازی، استفاده از الیاف‌های پلیمری به دلیل مزایای مانند وزن کمتر، مقاومت بالا، سرعت‌بالای اجرا، سهولت و انعطاف، مقاومت در برابر خوردگی، دارای استفاده‌ی گسترده‌تری است [۱-۴]. درروش نصب نزدیک سطح، ابتدا شیارهایی بر روی عضو موردنظر در پوشش بتن ایجادشده و آرماتورها یا نوارهای FRP به‌وسیله اپوکسی درون شیارها قرار داده می‌شوند [۵]. از این رو، تکنیک تقویت پلیمری تقویت‌شده با الیاف نزدیک به سطح[1] برای تیرهای بتن مسلح[2] در دو دهه گذشته توجه و کاربرد تحقیقات جهانی را به خود جلب کرده است [۶]. در این روش با افزایش سطح تماس بین FRP و بتن، اتصال بهتر و قوی‌تری شکل‌گرفته و مانع از جداشدگی زودهنگام FRP می‌شود. از دیگر مزایای روش NSM می‌توان به مقاومت در برابر آتش، خوردگی و صدمات محیطی، عدم‌تغییر نمای ظاهری عضو، امکان پیش تنیدگی، رسیدن به کرنش‌های بالاتر و نیاز به فضای کار کمتر اشاره نمود. طبق پژوهش‌های انجام‌شده ظرفیت باربری در استفاده از نوارهای CFRP به روش NSM حدود ۸،۴ برابر نصب نوارهای CFRP بر روی سطح می‌باشد [۷]. مشخصات FRP اغلب به الیاف به‌کاررفته داخل آن بستگی دارد که شامل ترکیبات کربنی دارای بالاترین مقاومت و مدول الاسیته بوده و همچنین ترکیبات شیشه دارای بیشترین کرنش در حال گسیختگی است. استفاده از مصالح FRP در صنعت ساختمان به‌صورت اتصال سطحی به سال‌ها پیش بازمی‌گردد که در این روش ورق‌های FRP به‌وسیله رزین به سطح عضو بتنی متصل شده و از طریق اتصال سطحی مقاومت کششی سطح موردنظر را افزایش می‌دهد. درروش نصب نزدیک به سطح ابتدا شیارهایی بر روی عضو موردنظر در پوشش بتن ایجاد می‌شود و آرماتورها یا نوارهای FRP به‌وسیله اپوکسی درون شیارها قرار داده می‌شوند [۵]. در این روش به علت افزایش سطح تماس بین FRP و بتن، موجب اتصال بهتر و قوی‌تر و مانع از جداشدگی زودهنگام FRP می‌گردد که درروش اتصال سطحی از ظرفیت کامل FRP استفاده نمی‌شود. عامل اصلی و تعیین‌کننده در کارایی و تأثیر تکنیک‌های مقاوم‌سازی میزان مقاومت اتصال آرماتورها به عضو بتنی است و از دیگر مزایای روش نصب نزدیک به سطح می‌توان به مقاومت در برابر آتش، خوردگی و صدمات محیطی، عدم‌تغییر نمای ظاهری عضو، امکان پیش تنیدگی، رسیدن به کرنش‌های بالاتر و نیاز به فضای کار کمتر اشاره کرد [۷]. یکی از مهم‌ترین شکاف‌های موجود در این حوزه پژوهشی، عدم بررسی مدیریتی روش‌های اجرایی و سازه‌ای در پروژه‌های عمرانی است. با در نظر گرفتن ابزارها و روش‌های مدیریتی می‌توان، هزینه‌ها و زمان‌های ناشی از انتخاب اجرا و روش‌های نامناسب را در پروژه‌های عمرانی به حداقل رسانید. از این رو هدف پژوهش حاضر، استفاده از روش‌ها و دیدگاه های مدیریتی برای مقاوم‌سازی تیرهای بتن‌آرمه در پروژه‌های عمرانی می‌باشد.

۲- کامپوزیت‌های الیافی FRP و مزایای آن

مواد FRP از دو جزء اساسی تشکیل‌شده است: فایبر (الیاف) و رزین (ماده چسباننده). فایبرها که اصولاً الاستیک، ترد و بسیار مقاوم هستند و جزء اصلی باربر در ماده FRP محسوب می‌شوند و بسته به نوع فایبر، قطر آن در محدوده ۵ تا ۲۵ میکرون است [۸]. استفاده از پوشش‌های FRP برای تقویت هم‌زمان ظرفیت برشی و خمشی اعضای بتنی در دو دهه‌ی پیشین مانند افزایش سطح مقطع اتصال با بتن‌ریزی مجدد، محصور کردن ناحیه اتصال با ورق‌های فولادی و غیره و به‌ویژه با توجه به ملاحظات معماری از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. از مزایای پوشش‌های FRP می‌توان به مقاومت در برابر خوردگی و فرسودگی، وزن بسیار کم، مقاومت در برابر بارهای متناوب، دینامیکی و تکراری، افزایش رفتار شکل‌پذیر سازه، رفتار تقریباً یکسان ازلحاظ انبساط و انقباض با بتن و صرفه اقتصادی اشاره کرد. مسلم[3] در سال ۲۰۰۰ با پوشش کامل اتصال با استفاده از FRP به بررسی مقاومت خمشی و شکل‌پذیری اتصالات تقویت‌شده با ورقه‌های FRP پرداخت [۹]. عواملی همچون در دسترس بودن مصالح، اقتصادی بودن و دیگر ویژگی‌های ورق‌های پلیمری، باعث شده که در میان متخصصان بیش از هر مصالح دیگری گزینه مناسب برای مقاوم‌سازی به کار گرفته شوند. پژوهش‌ها و آزمایش‌های بسیاری در مورد تقویت مقاوم‌سازی تیرهای بتن‌آرمه با

[1] near-surface-mounted (NSM)
[2] reinforced-concrete (RC) beams

[3] Mosalam

استفاده از روش نصب لایه‌های FRP انجام‌شده که اغلب به مزایای تقویت تیرها با استفاده از روش نصب نزدیک به سطح و مزایای آن اشاره دارد. همچنین تقویت مقاوم‌سازی تیرهای بتن‌آرمه با استفاده از روش نصب نزدیک به سطح موجب انعطاف‌پذیری در قوس در دال‌های بتنی تقویت شده است[1] و همچنین در این روش اختلال در ساختار سازه موجود به حداقل می‌رسد[2] [۱۰]. همچنین، استفاده از مواد FRP برای تقویت تیرهای بتنی یکی از بهترین روش‌ها برای جلوگیری از انتشار ترک در ناحیه کششی است [۱۱]. مواد FRP (پلیمر تقویت‌شده با فیبر)، مانند الیاف شیشه یا GFRP (پلیمر تقویت‌شده با الیاف شیشه) و فیبر کربن یا CFRP (پلیمر تقویت‌شده با فیبر کربن)، مواد سازگار با محیط‌زیست هستند که می‌توانند به مصالح ساختاری اضافه شوند [۱۲].

۳- مقایسه روش نصب سطحی[3] و روش نزدیک به سطح از دیدگاه مدیریت ساخت

روش نزدیک به سطح دارای مزایای متعددی در مقایسه با روش نصب سطحی است که عبارت‌اند از: [۱۳]

-به دلیل عدم نیاز به آماده‌سازی سطح، میزان و مدت‌زمان عملیات اجرایی کاهش می‌یابد و تنها عملیات ایجاد شیار در سطح بتن موردنیاز است، بنابراین از دید مدیریت ساخت موجب کاهش زمان، هزینه و عدم نیاز به نیروی انسانی جهت آماده‌سازی سطح می‌شود و همچنین حذف عملیات آماده‌سازی سطحی موجب سازگاری بیشتر آن‌ها با محیط‌زیست می‌گردد.

- مسلح کننده NSM بسیار کمتر در معرض جداشدگی می‌باشد، بنابراین خطر ایجاد جداشدگی را کمتر دارد. خطری که در ادامه اجرا می‌تواند پروژه را متحمل هزینه و زمان مجدد و ایجاد دوباره‌کاری در مقاوم‌سازی نماید.

-درروش نزدیک به سطح ظاهر سازه مقاوم شده بدون تغییر باقی می‌ماند. این مزیت در رویکرد معماری ساختمان‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱۳]. روش‌های نزدیک به سطح نصب‌شده در سال‌های اخیر برای تقویت تیرهای بتن مسلح استفاده‌شده است. این شامل قرار دادن نوارها یا میله‌های پلیمرهای تقویت‌شده از فیبر کربن در شیارهای ساخته‌شده در پوشش سطوح بتونی مربوطه، با استفاده از چسب اپوکسی تثبیت‌شده است.[4] روش نصب نزدیک به سطح[5] باوجود سطح تماس کمتر با چسب اپوکسی اطراف، مقاومت بیشتر و استحکام بیشتری درکشش با صفحات کربنی جزئی (SCPP) نسبت به پیکربندی SCR دارد[6] [۱۴].

-سازه‌های مقاوم شده به روش نزدیک به سطح در بلندمدت بسیار مطلوب است؛ بنابراین اگر بخواهیم این مورد را ازنظر مدیریت ساخت موردبررسی قرار دهیم و به‌صورت سیستمی و در طول زمان فکر کنیم، روش نصب نزدیک به سطح روش مناسب‌تری در طول زمان نسبت به روش نصب سطحی است.

۴- روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش ازنظر هدف کاربردی و ازنظر شیوه جمع‌آوری داده‌ها توصیفی و پیمایشی است. نمونه آماری این پژوهش را ۸۷ نفر از پیمانکاران در حیطه مقاوم‌سازی سازه‌ها در کشور ایران (استان اصفهان) در سال ۱۳۹۸ انجام شد. طبق جدول جرسی و مورگان حداقل حجم نمونه ۸۷ نفر می‌باشد، بدین منظور با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی در دسترس، ۱۰۰ پرسشنامه توزیع و ۸۷ پرسشنامه قابل‌قبول جهت تجزیه‌وتحلیل انتخاب شد. پرسشنامه مورداستفاده در این پژوهش شامل ۳ سؤال عمومی در مورد جنسیت، سن و تحصیلات و ۱۰۵ سؤال مرتبط با متغیرهای پژوهش (مزایای لایه‌هایFRP ، نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها) که روایی محتوایی آن مورد تائید بوده، استفاده‌شده است. این پرسشنامه‌ها از نوع بسته پاسخ با طیف پنج

[1] Arching in concrete slabs strengthened
[2] By installing fibre reinforced polymers (FRPs) using the near surface mounted (NSM) technique, disturbance to the existing structure can be minimised.
[3] ExternaIIy Bonded Reinforcement

[4] by fully inserted carbon plates (SCPF) compared to carbon rods (SCR).
[5] near surface mounted
[6] Despite less contacting surface with surrounding epoxy adhesive, greater resistance and rigidity to pullout was recorded with partially bonded carbon plates (SCPP) compared to SCR configuration.

گزینه‌ای از خیلی کم تا خیلی زیاد بوده است. روایی صوری پرسشنامه با توجه به نظرات ۳ نفر از اساتید دانشگاه که درزمینه متغیرهای تحقیق دارای تخصص می‌باشند ارزیابی گردید. روایی سازه‌ای پرسش‌نامه نیز با استفاده از تکنیک تحلیل عاملی تأییدی ارزیابی قرار گرفت. ابتدا برای اطمینان از مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی از شاخص KMO و آزمون بارتلت استفاده شد. با توجه به اینکه مقدار شاخص KMO برای تمام متغیرهای پژوهش بالاتر از ۰/۵ و سطح معنی‌داری در آزمون بارتلت کوچک‌تر از ۰/۰۵ می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب هستند. لازم به ذکر است که گویه هایی که بارهای عاملی آن‌ها کمتر از ۰/۳ بود از فرایند تجزیه‌وتحلیل کنار گذاشته شد. به‌منظور تعیین پایایی آزمون، روش آلفای کرونباخ به کار گرفته شد. با توجه به این‌که تمامی مقادیر بالای ۰/۷ بود، می‌توان نتیجه گرفت پرسشنامه از پایایی لازم برخوردار است.

۵-یافته‌های پژوهش

۵-۱- آمار توصیفی

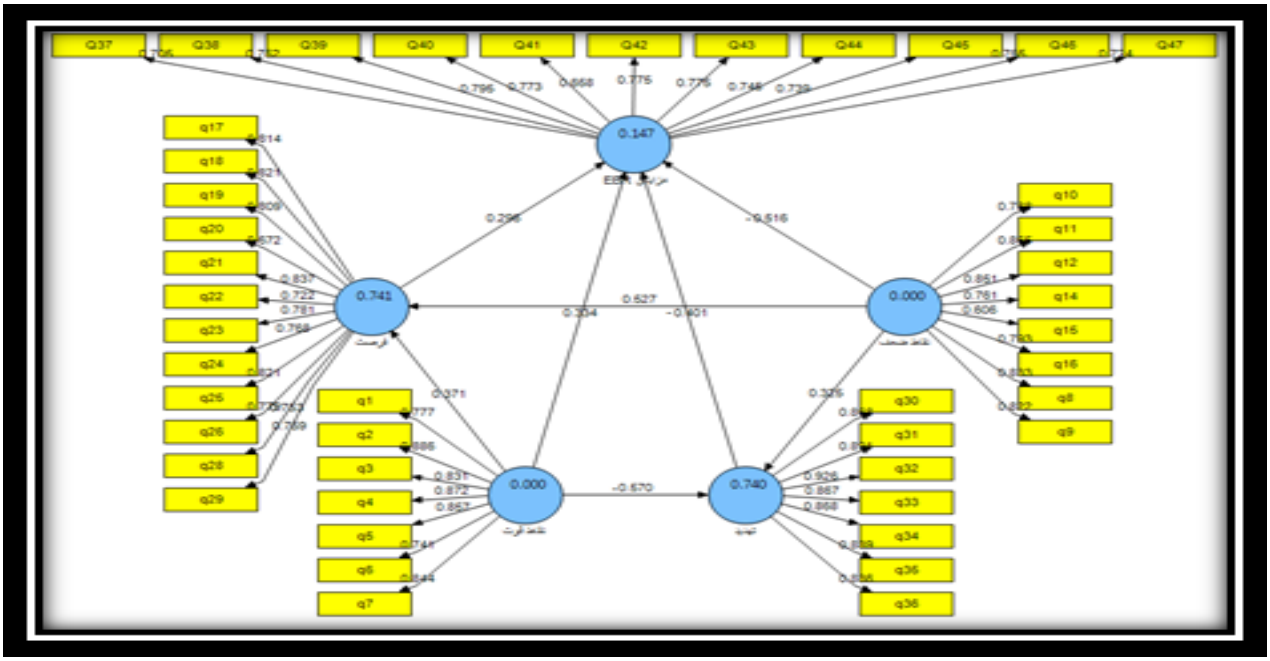
مشخصات پاسخ‌دهندگان در این مطالعه با استفاده از ۴ متغیر جمعیت شناختی جنسیت، سن و میزان تحصیلات و صرفاً جهت گزارش سیمای آزمودنی ها، موردبررسی قرار گرفت. ۴۸/۳ درصد از پاسخ‌دهندگان زن و ۵۱/۷ درصد از آن‌ها مرد بودند. ۱/۱ درصد از پاسخ‌دهندگان بین ۲۰ تا ۳۰ سال، ۲۹/۹ در صد بین ۳۱ تا ۴۰ سال، ۵۵/۲ در صد بین ۴۱ تا ۵۰ سال و ۱۳/۸ در صد بیش از ۵۱ سال سن دا شتند. ۲/۳ در صد از پا سخ‌دهندگان دارای سطح تحصیلات دیپلم، ۱/۱ درصد فوق‌دیپلم، ۵۹/۸ درصد لیسان، ۱۴/۹ درصد فوق‌لیسانس و ۲۱/۸ درصد دکتری بودند.

۵-۲- مدل‌سازی پژوهش با استفاده از تلفیق روش معادلات ساختاری و روش SWOT

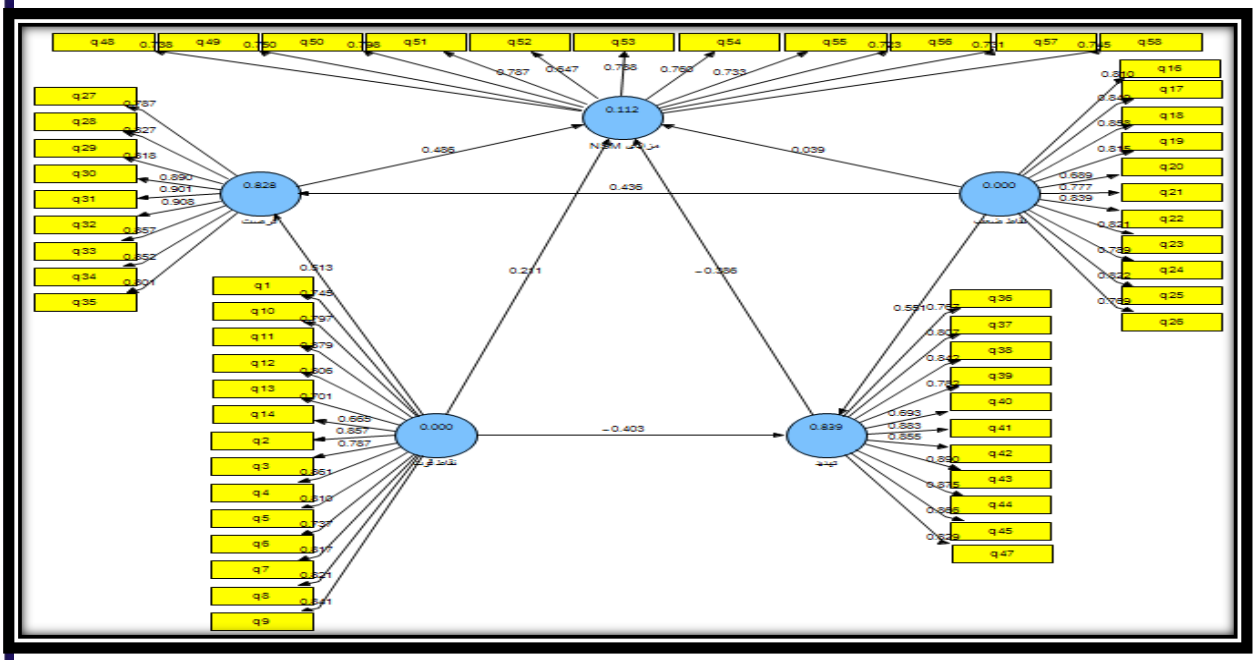
در این پژوهش از مدل یابی معادلات ساختاری[1] و روش حداقل مربعات جزئی[2] جهت آزمون فرضیات و برازندگی مدل استفاده‌شده است. در شکل‌های ۱ و ۲ مدل پژوهش در حالت تخمین استاندارد آورده شده است. همچنین از روش SWOT جهت طبقه‌بندی عوامل و ارائه راه‌کارهای مناسب جهت انتخاب مناسب روش مقاوم‌سازی NSM و EBR استفاده‌شده است.

[1]Structural Equation Modeling (SEM)

[2]Partial least Squares (PLS)



شکل ۱- مدل پژوهش در حالت تخمین استاندارد (EBR)



شکل ۲. مدل پژوهش در حالت تخمین استاندارد (NSM)

در ادامه بخش اثرات متغیرهای تحقیق بر یکدیگر بررسی می‌شود. بدین منظور، از مدل یابی معادلات ساختاری و روش حداقل مربعات جزئی (PLS) استفاده‌شده است. تحلیل مدل با استفاده ازاین‌روش طی دو مرحله انجام می‌شود. مرحله‌ی اول به بررسی برازش مدل پیشنهادی و ایجاد اصلاحات (احتمالی) در آن و مرحله‌ی دوم به بررسی فرضیه‌های پژوهش می‌پردازد. برازش مدل پژوهش طی سه مرحله انجام می‌شود:

۱- برازش مدل‌های اندازه‌گیری (مدل بیرونی) ۲- برازش مدل ساختاری ۳- برازش مدل کلی

در بررسی مدل بیرونی پژوهش ابتدا بار عاملی سؤالات (یا شاخص‌های) پژوهش موردبررسی قرار می‌گیرند. سپس پایایی و به دنبال آن روایی مدل درونی بررسی می‌شود. بارهای عاملی از طریق محاسبه مقدار همبستگی شاخص‌های یک سازه با آن سازه محاسبه می‌شوند که اگر این مقدار برابر و یا بیشتر از مقدار ۰/۴ شود، نکته مهم این است که اگر محقق پس از محاسبه بارهای عاملی بین سازه و شاخص‌ها آن با مقادیری کمتر از ۴/ ۰مواجه شد، باید آن شاخص‌ها (سؤالات پرسشنامه) را اصلاح نموده و یا از مدل پژوهش خود حذف نماید [۱۵]. در پیوست، نتایج حاصل از بررسی بارهای عاملی آورده شده است. در مدل تحقیق حاضر، اعداد ضرایب بارهای عاملی سؤالات، بالای ۰/۴ می‌باشد. برای بررسی پایایی مدل بیرونی از معیار ضریب آلفای کرونباخ و معیار پایایی ترکیبی (CR) استفاده‌شده است. علاوه بر این، روایی مدل بیرونی توسط شاخص روایی همگرا سنجیده می‌شود [۱۵]. نتایج موارد ذکرشده در جدول ۱ آورده شده است.

پس از بررسی برازش مدل‌های اندازه‌گیری نوبت به برازش مدل ساختاری پژوهش می‌رسد. بخش مدل ساختاری برخلاف مدل‌های اندازه‌گیری، به سؤالات (متغیرهای آشکار) مربوط نیست و تنها متغیرهای پنهان همراه با روابط میان آن‌ها بررسی می‌شود. برای بررسی برازش مدل ساختاری پژوهش از چندین معیار استفاده می‌شود که اولین و اساسی‌ترین معیار، ضرایب معناداری Z است. برازش مدل ساختاری با استفاده از ضرایب t به این صورت است که این ضرایب باید از ۱/۹۶ بیشتر باشند تا بتوان در سطح اطمینان ۹۵٪ معنادار بودن آن‌ها را تأیید ساخت. البته باید توجه داشت که اعداد t فقط صحت رابطه‌ها را نشان می‌دهند و شدت رابطه‌ی بین سازه‌ها را نمی‌توان با آن‌ها سنجید. در سطح اطمینان ۹۵٪ و درصورتی‌که مقدار آماره t بیشتر از ۲/۵۸ گردد، ضریب مسیر در سطح اطمینان ۹۹٪ معنادار است [۱۵]. در شکل های ۱ و ۲ ضرایب در حالت تخمین استاندارد آورده شده است. ضرایب معناداری طبق نرم‌افزار از ۱,۹۶ بیشتر شده است که به علت تعدد ضرایب و اهمیت تخمین استاندارد، در این مقاله فقط ضرایب تخمین استاندارد قرار داده شده است.

R^2 معیاری است که برای متصل کردن بخش اندازه‌گیری و بخش ساختاری مدل‌سازی معادلات ساختاری به کار می‌رود و نشان از تأثیری دارد که یک متغیر برون‌زا بر یک متغیر درون‌زا می‌گذارد. نکته ضروری این است که مقدار R^2 تنها برای سازه‌های وابسته (درون‌زا) مدل محاسبه می‌گردد و در مورد سازه‌های برون‌زا، مقدار این معیار صفر است. هر چه مقدار R^2 مربوط به سازه‌های درون‌زای یک مدل بیشتر باشد، نشان ا برازش بهتر مدل است.

جدول ۱-ضریب آلفای کرونباخ و روایی همگرا سازه (میانگین واریانس استخراج‌شده – AVE)

متغیرها	آلفای کرونباخ	پایایی ترکیبی	AVE
مزایای لایه‌های FRPدر روش EBR	۰/۹۲۲	۰/۹۳۳	۰/۵۵۸
نقاط قوت EBR	۰/۹۲۵	۰/۹۴۰	۰/۶۹۱
نقاط ضعف EBR	۰/۹۱۴	۰/۹۳۱	۰/۶۳۰
فرصت‌ها EBR	۰/۹۴۱	۰/۹۴۹	۰/۶۰۸
تهدیدها EBR	۰/۹۴۶	۰/۹۵۷	۰/۷۵۹
مزایای لایه‌های FRP درروش NSM	۰/۹۲۲	۰/۹۳۲	۰/۵۵۷
نقاط قوت NSM	۰/۹۵۵	۰/۹۶۰	۰/۶۳۵
نقاط ضعف NSM	۰/۹۴۵	۰/۹۵۳	۰/۶۴۸
فرصت‌ها NSM	۰/۹۵۲	۰/۹۵۹	۰/۷۲۲
تهدیدها NSM	۰/۹۵۴	۰/۹۶۰	۰/۶۸۶

چاین (۱۹۹۸) سه مقدار ۰,۱۹، ۰,۳۳ و ۰,۶۷ را به‌عنوان مقدار ملاک برای مقادیر ضعیف، متوسط و قوی بودن برازش بخش ساختاری مدل به‌وسیله معیار R^2 در نظر می‌گیرد. در جدول ۲ ارائه‌شده است.

جدول ۲. مقادیر R^2 متغیرهای درون‌زای مدل

سازه	R^2
مزایای لایه‌هایFRP درروش EBR	۰/۱۴۷
فرصت‌ها	۰/۷۴۱
تهدیدها	۰/۷۴۰
مزایای لایه‌های FRP درروش NSM	۰/۱۱۲
فرصت‌ها	۰/۸۲۸
تهدیدها	۰/۸۳۹

معیارQ2 ، قدرت پیش‌بینی مدل را مشخص می‌سازد. مدل‌هایی که دارای برازش بخش ساختاری قابل‌قبول هستند، باید قابلیت پیش‌بینی شاخص‌های مربوط به سازه‌های درون‌زای مدل را داشته باشند[۱۶] .سه مقدار ۰/۰۲، ۰/۱۵ و ۰/۳۵ را برای نشان دادن قدرت پیش‌بینی ضعیف، متوسط و قوی سازه یا سازه‌های برون‌زای مربوط به آن تعریف کرده‌اند[۱۷]. ذکر این نکته ضروری است که این مقدار تنها برای سازه‌های درون‌زای مدل که شاخص‌های آن‌ها از نوع انعکاسی است، محاسبه می‌گردد [۱۵].

جدول ۳. کیفیت پیش‌بینی کنندگی (Q^2)

سازه	Q^2
مزایای لایه‌های FRP در روش EBR	۰/۰۶۵
فرصت‌ها	۰/۴۴۳
تهدیدها	۰/۵۵۸
مزایای لایه‌های FRP در روش NSM	۰/۰۴۹
فرصت‌ها	۰/۵۹۷
تهدیدها	۰/۵۶۹

۵-۲-۱- معیار تغییرپذیری Redundancy

معیار تغییرپذیری Redundancy، نشان‌گر مقدار تغییرپذیری شاخص‌های یک سازه‌ی درون‌زا است که از یک یا چندسازه‌ی برون‌زا تأثیر می‌پذیرد و از حاصل‌ضرب مقادیر اشتراکی سازه درون‌زا در مقدار R^2 آن به دست می‌آید. هرقدر که مقدار این معیار بیشتر باشد، برازش مدل ساختاری مدل نیز بیشتر است [۱۵]. این معیار در جدول ۴ ارائه‌شده است.

جدول ۴- معیار Redundancy

سازه	Redundancy
مزایای لایه‌های FRP درروش EBR	۰/۰۲۷۲
فرصت‌ها	۰/۳۶۳
تهدیدها	۰/۳۱۴
مزایای لایه‌های FRP درروش NSM	۰/۱۶۰
فرصت‌ها	۰/۴۰۸
تهدیدها	۰/۴۶۳

۶- تدوین استراتژی‌های قابل‌اجرا با استفاده از تکنیک SWOT[1]

تحلیل SWOT یکی از ابزارهای برنامه‌ریزی استراتژیک است که در این پژوهش جهت ارزیابی و مقایسه روش‌های نصب لایه‌های FRP به‌صورت خارجی (EBR) و روش نزدیک به سطح (NSM) مورداستفاده قرار می‌گیرد. روش SWOT دارای چهار راهبرد کاربردی برای توسعه استنتاج می‌باشد که شامل موارد زیر است:

راهبرد تهاجمی: استفاده از نقاط قوت برای بهره بری از فرصت‌ها (SO)

راهبرد تنوع: استفاده از نقاط قوت برای رهایی از تهدیدها (ST)

راهبرد بازنگری: غلبه بر نقاط ضعف با بهره‌گیری از فرصت‌ها (WO)

راهبرد تدافعی: غلبه بر نقاط ضعف و تهدیدها برای بقا (WT)

در جدول ۵ و ۶ عوامل قوت و ضعف و بررسی فرصت‌ها و تهدیدها به کمک روش SWOT مشخص‌شده است. فاکتورهای مؤثر با توجه به بررسی مطالعات و مقالات پیشین و همچنین پیمایش (مصاحبه و پرسشنامه) در ۴ گروه نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها در هر دو روش NSM و EBR شناسایی‌شده است.

جدول ۵- دسته‌بندی عوامل SWOT در مقاوم‌سازی با استفاده از نصب لایه‌های FRP از روش NSM

ضعف	قوت	فرصت	تهدید
۱۶-امکان شیار فقط برای سازه‌های دارای عمق کافی از سطح	۱-حذف عملیات آماده‌سازی سطوح	۲۷-تدوین مقررات مناسب به علت جدید بودن طرح در کشورهای درحال‌توسعه	۳۶-کم‌رنگ بودن استفاده از روش‌های نوین در فرهنگ مقاوم‌سازی ساختمان‌ها
۱۷-وابستگی ضخامت پوشش بتنی به‌دقت نیروی اجرا در زمان ساخت سازه بستگی دارد.	۲-کاهش معرض جداشدگی پیش از موعد مقرر	۲۸-آموزش کارکنان و نیروی انسانی جهت پیاده‌سازی روش NSM	۳۷-هم‌زمان نبودن ورود فناوری نوین و آموزش روش اجرای آن‌ها

[1]Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats (SWOT)

۱۸-ناکافی بودن ضخامت لایه پوشش بتن برای کاشت FRP	۳-کاهش حجم عملیات اجرایی به دلیل عدم نیاز به آماده‌سازی سطح	۲۹-آموزش پیمانکاران و مدیران اجرایی در پروژه‌های مقاوم‌سازی جهت توجیه پیاده‌سازی مناسب روش NSM	۳۸-موردقبول بودن روش‌های مقاوم‌سازی سنتی (EBR) توسط پیمانکاران و عوامل پروژه
۱۹-عدم فرهنگ‌سازی مناسب برای استفاده از روش NSM	۴-کاهش زمان و هزینه به علت حذف عملیات آماده‌سازی سطح	۳۰-ارائه تسهیلات به پیمانکارانی که در ساختمان خود از روش‌های نوین جهت کاهش زمان و هزینه استفاده می‌کنند	۳۹-عدم آشنایی مردم، مدیران و عوامل پروژه با روش‌های نوین مقاوم‌سازی
۲۰-نبود استاندارد و آیین‌نامه مناسب در بخش مقاوم‌سازی با NSM	۵-کاهش احتمال آسیب‌پذیری سیستم بهسازی به روش NSM(به علت مدفون بودن FRP در داخل بتن)	۳۱-گام برداشتن در جهت توسعه پایدار	۴۰-عدم فرهنگ‌سازی مناسب و پرورش مهندسین و متخصصین باتجربه در مقاوم‌سازی با روش NSM
۲۱-اطلاع‌رسانی نامناسب پیرامون اجرای پروژه‌های مقاوم‌سازی با NSM	۶-افزایش ظرفیت باربری چندین برابر روش EBR	۳۲-سیاست کاهش هزینه و زمان در بلندمدت	۴۱-عدم زیرساخت‌ها و بسترسازی مناسب
۲۲-عدم استقبال زیاد پیمانکاران از روش NSM	۷-بهره‌گیری بسیار بالا از ظرفیت کششی مصالح FRP (موجب کاهش هزینه در فرآیند مقاوم‌سازی می‌گردد)	۳۳-استفاده از مدیران و پیمانکاران متخصص و باتجربه داخلی‌های جهت اجرای روش‌های نوین در پروژه‌های مقاوم‌سازی	۴۲-عدم استفاده از روش‌های نوین مدیریتی در پروژه‌ها و فعالیت‌های مقاوم‌سازی (مانند ساخت‌وساز ناب)
۲۳-عدم وجود اجرای روش‌های نوین در صنعت ساخت	۸-اجرای روش NSM نسبت به روش EBR سریع‌تر و راحت‌تر است	۳۴-ایجاد بسترسازی مناسب جهت اجرای روش‌های نوین در مقاوم‌سازی با NSM	۴۳-پایین بودن عمر مفید و کیفیت مصالح در روش‌های مقاوم‌سازی سنتی (مانند EBR)
۲۴-عدم نظارت دقیق در اجرا	۹-کاهش شکل‌پذیری اعضای بتن مسلح	۳۵-صرفه‌جویی در میزان مصالح مصرفی و کاهش ایجاد ضایعات ساختمانی در اثر تخریب و جداشدگی و کاهش احتمال آسیب‌پذیری سیستم	۴۴-عدم فرهنگ صرفه‌جویی در پروژه‌های مقاوم‌سازی
۲۵-مقاومت مدیران و پیمانکاران در برابر تغییرات روش‌های اجرای سنتی	۱۰-مشارکت بیشتر FRP در ظرفیت خمشی و برشی تیرهای بتنی		۴۵-عدم هماهنگی ورود تکنولوژی و آموزش آن
۲۶- روند کند ارتقای سطح کیفی اجرا توسط پیمانکاران	۱۱-عملکرد بهتر در اندرکنش عضو و کامپوزیت به علت درگیری سه ضلع		۴۶-نداشتن تنوع در اجرای روش‌های مقاوم‌سازی

	کامپوزیت با بتن به‌راحتی پیش‌تنیده می‌شود		
	۱۲- بالا بودن انتقال نیرو		۴۷-وجود محدودیت‌های ویژه به خاطر آثار تاریخی
	۱۳- استفاده در سازه‌های عظیم (مانند پل‌ها)		
	۱۴- کارایی بالاتر NSM در افزایش ظرفیت خمشی نهایی		
	۱۵- به دلیل وجود مسلح کننده NSM با پوشش بتنی موجب کاهش آسیب‌های مکانیکی نظیر ضربه و پوسته‌شدن و نیز خطراتی مانند آتش‌سوزی می‌شود		

جدول ۶- دسته‌بندی عوامل SWOT در مقاوم‌سازی با استفاده از نصب لایه‌های FRP از روش EBR

ضعف	قوت	فرصت	تهدید
۸-جداشدگی پیش از موعد	۱-استفاده در شرایطی که سازه دارای ضخامت لایه‌ای پوششی بتنی کمی است.	۱۷-اجرای مناسب و درست ای روش توسط پیمانکاران داخلی به علت تداوم اجرایی روش‌های سنتی	۳۰-دوباره‌کاری و خطاهای نیروی انسانی به علت آشنا نبودن آن‌ها با فعالیت‌های پروژه‌های مقاوم‌سازی
۹-نیاز به آماده‌سازی سطح پیش از نصب ورقه‌های FRP	۲- نیاز به نیروی انسانی متخصص ندارد.	۱۸-استفاده از پیمانکاران اجرایی توانمند داخلی در پروژه‌های مقاوم‌سازی	۳۱-عدم اتخاذ شرایط مناسب برای استخدام کارکنان در فعالیت‌های مقاوم‌سازی
۱۰-آسیب‌پذیری FRP در مقابل تماس فیزیکی با اجسام سخت و آتش‌سوزی	۳-عدم وابستگی ضخامت پوشش بتنی به‌دقت نیروی اجرا در زمان ساخت سازه	۱۹-افزایش بهره‌وری کارکنان به‌ویژه در فعالیت‌های آماده‌سازی سطح	۳۲-افزایش تعداد کارگران در محوطه کارگاه به علت اضافه شدن فعالیت تسطیح در پروژه‌های با روش EBR
۱۱-ظرفیت باربری خمشی پایین‌تر این روش نسبت به روش NSM (طبق آزمایش‌های تحقیقات پیشین)	۴- استقبال زیاد پیمانکاران از روش EBR	۲۰-کاهش وابستگی به پیمانکاران خارجی	۳۳-افزایش تعداد حوادث و کاهش ایمنی به علت افزایش تردد کارکنان در محوطه کارگاه
۱۲- به علت قرارگیری در سطوح خارجی تحت تأثیر اثرات منفی	۵- اجرای خوب روش‌های سنتی در صنعت ساخت	۲۱-آموزش پیمانکاران و مدیران اجرایی در پروژه‌های مقاوم‌سازی	۳۴- عدم استفاده از روش‌های نوین مدیریتی در اجرای فعالیت‌های

سیکل‌های یخ زدن و ذوب شدن قرار می‌گیرد		جهت افزایش بهره‌وری پروژه‌های مقاوم‌سازی	مقاوم‌سازی (مانند ساخت‌وساز ناب و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان)
۱۳-عدم مهار مناسب توسط چسب و یا لایه پوشش بتن	۶- نظارت دقیق در اجرا	۲۲-راه‌کارهای افزایش انگیزش کارکنان	۳۵-نداشتن تنوع در اجرای روش‌های مقاوم‌سازی
۱۴-عدم استفاده کامل از ظرفیت مقاومت کششی این مصالح	۷-استفاده در بناهای تاریخی به علت تخریب کمتر بنا و عدم شیارزنی	۲۳- برقراری نظام مناسب پرداخت مبتنی بر عملکرد و برقراری نظام تنبیه و تشویق	۳۶-وجود محدودیت‌های ویژه به خاطر آثار تاریخی
۱۵- صرف زمان و هزینه جهت حذف ناصافی‌های سطح بتن		۲۴- پرداخت به‌موقع حقوق کارکنان	
۱۶-تغییر نمای ظاهری عضو ازنظر معماری		۲۵- آموزش نیروی انسانی قبل و حین اجرای پروژه‌های مقاوم‌سازی جهت افزایش بهره‌وری	
		۲۶- مناسب بودن حقوق کارکنان با مسئولیت محوله	
		۲۷- روابط مناسب کاری- اخلاقی بین افراد	
		۲۸- احساس امنیت شغلی (داشتن کار طولانی‌مدت، دریافت حقوق مستمر)	
		۲۹-مهار انتهای وصله FRP جهت اجتناب از پدیده تورق	

همچنین در جدول ۷ نیز مزایای استفاده از لایه‌های FRP در مقاوم‌سازی تیرهای بتن‌آرمه با استفاده از دیدگاه مدیریت ساخت موردبررسی و تجزیه‌وتحلیل قرارگرفته است.

جدول ۷- مزایای لایه‌های FRP در مقاوم‌سازی سازه‌های بتنی

ردیف	مزایای FRP
۱	وزن کم و حمل‌ونقل آسان
۲	مقاومت بالاتر درازای زحمت کمتر
۳	سرعت‌بالای اجرا
۴	دوام و مقاومت کششی بالا
۵	عدم‌تغییر ابعاد و شکل سازه پس از مقاوم‌سازی
۶	افزایش ظرفیت سازه
۷	سهولت و انعطاف
۸	مقاومت در برابر خوردگی
۹	کاربرد در دهانه‌های بزرگ
۱۰	در دسترس بودن مصالح و اقتصادی بودن
۱۱	نیاز به استخدام نیروی کار ماهر ندارد

۷- بررسی برازش مدل کلی پژوهش معیار (Gof)

معیار برازش مدل کلی پژوهش (معیار Gof)، برازش مدل کلی شامل هر دو بخش مدل اندازه‌گیری و ساختاری را بررسی می‌کند و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود: (لازم به ذکر است که در محاسبه‌ی میانگین مقادیر اشتراکی نباید مقادیر اشتراکی متغیرهای پنهان مرتبه دوم را لحاظ کرد. درحالی‌که در محاسبه‌ی میانگین ضرایب تعیین باید مقادیر مربوط به‌تمامی متغیرهای پنهان درون‌زا در نظر گرفته شود).

فرمول ۴-۲

$$Gof = \sqrt{\text{میانگین مقادیر اشتراکی هر سازه}(\overline{communalities}) \times \text{میانگین ضرایب تعیین}(R^2)}$$

$$Gof\,\text{EBR} = 0.594$$

$$saadGof\,\text{NSM} = 0.620$$

مقدار Gof درروش EBR برابر ۰/۵۹۴ درروش NSM برابر با ۰/۶۲۰ است که نشان از برازش کلی قوی مدل دارد با توجه به مدل مفهومی پژوهش و تجزیه‌وتحلیل‌های صورت گرفته، خلاصه‌ای از نتایج آزمون فرضیه‌های مستقیم پژوهش در جدول ۸ گزارش گردیده است.

جدول ۸: خلاصه‌ی نتایج آزمون فرضیه‌های پژوهش (فرضیه‌های مستقیم)

فرضیه	متغیر مستقل	متغیر وابسته	ضریب مسیر	t-value	نتیجه
۱	نقاط قوت EBR	مزایای لایه‌های FRP درروش EBR	۰/۳۳۴	۴/۰۹۷	تائید فرضیه
۲	نقاط ضعف EBR	مزایای لایه‌های FRP درروش EBR	-۰/۵۱۶	۸/۴۸۹	تائید فرضیه
۳	فرصت‌ها EBR	مزایای لایه‌هایFRP درروش EBR	۰/۲۹۶	۴/۲۲۵	تائید فرضیه
۴	تهدیدها EBR	مزایای لایه‌هایFRP درروش EBR	-۰/۴۰۱	۴/۸۲۷	تائید فرضیه
۵	نقاط قوت EBR	فرصت‌ها EBR	۰/۳۷۱	۸/۷۹۷	تائید فرضیه
۶	نقاط ضعف EBR	تهدیدها EBR	/۳۲۵	۹/۵۸۷	تائید فرضیه
۷	نقاط قوت NSM	مزایای لایه‌های FRP درروش NSM	۰/۲۱۱	۲/۲۷۵	تائید فرضیه
۸	نقاط ضعف NSM	مزایای لایه‌های FRP درروش NSM	۰/۰۳۹	۰/۴۴۰	عدم تائید فرضیه
۹	فرصت‌ها NSM	مزایای لایه‌هایFRP درروش NSM	۰/۴۸۶	۵/۰۰۲	تائید فرضیه
۱۰	تهدیدها NSM	مزایای لایه‌های FRP درروش NSM	-۰/۳۸۶	۴/۲۷۴	تائید فرضیه
۱۱	نقاط قوت NSM	فرصت‌ها NSM	۰/۵۱۳	۱۴/۳۴۵	تائید فرضیه
۱۲	نقاط ضعف NSM	تهدیدها NSM	۰/۵۵۱	۱۸/۲۵۵	تائید فرضیه

۹- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، دو مدل معادلات ساختاری جداگانه جهت بررسی انتخاب مناسب روش‌های NSM و EBR در مقاوم‌سازی تیرهای بتن‌آرمه با استفاده از دیدگاه مدیریت ساخت انجام گردید. جهت بررسی دقیق و ارائه راهکارهای مناسب با دیدگاه مدیریتی از روش SWOT استفاده گردید که با توجه به این روش نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها در هر دو روش NSM و EBR ابتدا شناسایی شد و همچنین ارتباط بین متغیرهای اصلی پژوهش با توجه به تلفیق روش مدل‌سازی معادلات ساختاری و روش SWOT مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. اگر بخواهیم انتخاب مناسبی بین دو روش مقاوم‌سازی NSM و EBR داشته باشیم می‌بایست این نقاط قوت و ضعف و همچنین فرصت‌ها و تهدیدهایی که این دو روش در مقاوم‌سازی تیرهای بتنی دارند را موردبررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار دهیم. به همین دلیل ابتدا در این پژوهش به شناسایی فاکتورهای مؤثر پرداخته‌شده است و سپس راه‌کارهای مناسب و ارتباط بین هر یک از متغیرهای پنهان با یکدیگر مشخص شد. طبق بررسی ارتباط بین هر یک از متغیرهای مدل‌سازی معادلات ساختاری در شکل ۱ و ۲ و همچنین در جدول ۸، مزایای لایه‌های FRP درروش EBR، تأثیر نقاط قوت بر فرصت ها (SO) طبق نظر کارشناسان و عوامل پروژه دارای بیشتری تأثیر بوده است، بنابراین درروش EBR می‌توان با استفاده از نقاط قوتی که مشخص شده است، از فرصت‌ها استفاده نمود و آن‌ها را به بهره بری رساند. ازاین‌رو با توجه به اینکه روش EBR نیاز به نیروی انسانی متخصص ندارد (نقطه قوت) می‌توان از این نقطه قوت این روش استفاده نمود. به دلیل اینکه نیروی متخصص نیاز ندارد، بنابراین کشورهای درحال‌توسعه می‌توانند برای اجرای آن از پیمانکاران توانمند داخلی (نقطه فرصت) در پروژه‌های مقاوم‌سازی خود استفاده کنند که این نیز موجب کاهش وابستگی آن‌ها به پیمانکاران خارجی می‌گردد و درنتیجه کارکنان بیشتری در پروژه‌های مقاوم‌سازی استخدام می‌شوند. همچنین با استخدام بیشتر نیروی انسانی داخلی، افراد بیشتری مشغول به کار می‌شوند و از طرفی دیگر پیمانکاران بیشتری از روش EBR استقبال می‌کنند (نقطه قوت) که موجب وضعیت بهتر اقتصاد داخلی کشورهای درحال‌توسعه می‌گردد و این چرخه ادامه پیدا می‌کند. از سوی دیگر ملاحظه می‌کنیم که این روش‌های سنتی در کشورهای درحال‌توسعه به علت مزایا و نقاط قوتی که دارد بیشتر استفاده می‌گردد ولی به علت عدم نظارت دقیق در اجرا و سیاست‌های نامناسب مدیریتی (نقطه‌ضعف) مانند بهره‌وری پایین کارکنان و دوباره‌کاری و خطاهای نیروی انسانی (تهدیدها) به علت عدم آموزش نیروی انسانی قبل و حین اجرای پروژه‌های مقاوم‌سازی (فرصت‌ها) موجب افزایش تعداد حوادث و کاهش ایمنی در محوطه کارگاه می‌گردد. طبق بررسی مدل پژوهش درروش EBR نتیجه می‌گیریم که نقاط ضعف EBR دارای بیشترین ضریب مسیر تأثیر عکس بر مزایای روش EBR بوده است یعنی نقاط ضعف مطرح‌شده در این روش بسیار زیاد و تأثیرگذار بوده است. به طور مثال نیاز به آماده‌سازی سطح پیش از نصب ورق‌های FRP درروش EBR (نقطه‌ضعف) موجب کاهش سرعت اجرا می‌گردد (اثر منفی بر مزایای FRP دارد) و از سوی دیگر صرف زمان و هزینه جهت حذف ناصافی‌های سطح بتن (نقطه‌ضعف) و اشتباهات احتمالی ناشی از نیروی انسانی بدون مهارت لازم موجب عدم اقتصادی بودن و یا افزایش هزینه اجرا می‌گردد. همچنین به علت این‌که روش EBR موجب تغییر نمای ظاهری عضو ازنظر معماری می‌شود (نقطه‌ضعف) درنتیجه در مقاوم‌سازی آثار تاریخی یا مرمت بناهای قدیمی به علت محدودیت‌های ویژه (تهدیدها) مورداستفاده کمتری می‌گردد.

در مدل‌سازی معادلات ساختاری به روش NSM و همچنین بررسی نقاط قوت، ضعف و فرصت‌ها و تهدیدهای آن نیز راه‌کارهای مدیریتی در پروژه‌های عمرانی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد. طبق بررسی شکل ۲ و جدول ۸ مشاهده‌شده است که نقاط ضعف NSM دارای بیش‌ترین تأثیر مثبت بر تهدیدهای آن بوده است (WT) که یک راهبرد تدافعی است که می‌بایست با غلبه بر نقاط ضعف و تهدیدها برای بقای این روش و استفاده بیشتر آن در پروژه‌های مقاوم‌سازی در کشورهای درحال‌توسعه که با مشکلات متعددی از قبیل عدم استفاده از روش‌های نوین مدیریتی در پروژه‌ها و فعالیت‌های مقاوم‌سازی، موردقبول بودن روش‌های مقاوم‌سازی سنتی (EBR) توسط پیمانکاران و عوامل پروژه، عدم هماهنگی هم‌زمان ورود تکنولوژی و آموزش آن، عدم آشنایی مردم، مدیران و عوامل پروژه با روش‌های نوین مقاوم‌سازی، نبود زیرساخت‌ها و بسترسازی مناسب، پایین بودن عمر مفید و کیفیت مصالح در روش‌های مقاوم‌سازی سنتی (مانند EBR) و غیره روبرو هستیم؛ اما علت این تهدیدها ناشی از نقاط ضعفی است که در این کشورها به علت عدم فرهنگ‌سازی مناسب برای استفاده از روش NSM، اطلاع‌رسانی نامناسب پیرامون اجرای پروژه‌های مقاوم‌سازی با NSM، مقاومت مدیران و پیمانکاران در برابر تغییرات روش‌های سنتی که نیاز به تغییر پایدار در سازمان‌ها[13] و شرکت‌های عمرانی می‌باشد و در آخر، نبود استاندارد و آیین‌نامه مناسب در بخش مقاوم‌سازی با NSM در این کشورها (نقطه‌ضعف) موجب عدم اجرای مناسب آن‌ها در پروژه‌های مقاوم‌سازی شده است. درنتیجه می‌بایست با تبدیل نقاط ضعف به فرصت (WO) و همچنین با تقویت نقاط قوت جهت رهایی و کاهش تهدیدها (ST) می‌توان راه‌کارهای مناسب را جهت

[13] Sustaining momentum in organizations

پیاده‌سازی روش‌های مقاوم‌سازی به کار گرفت. طبق بررسی‌های انجام‌شده در این پژوهش طبق بررسی‌های انجام‌شده روش NSM دارای مزایا و نقاط قوت بیشتری است ولی در کشور ایران به دلیل مشکلات اجرایی و عدم آموزش مناسب و همچنین عدم فرهنگ‌سازی مناسب، روش EBR دارای کاربرد بیشتری است.

۹- مراجع

[1] Soudki K, Alkhrdaji. T. Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures (ACI 440.2 R-02). Structures Congress, New York, New York, United States, 20-24 April, 2005; 1-8.

[2] Kheyroddin A, Hoseini Vaez. SR. Naderpour H. Numerical analysis of slab-column connections strengthened with carbon fiber reinforced polymers. Journal of applied sciences. 2008; 8(3): 420-31.

[3] Kheyroddin A. Naderpour H. Ghdrati Amiri Gh, Hoseini Vaez S.R. Influence of carbon fiber reinforced polymers on upgrading shear behavior of RC coupling beams. Iranian Journal of Science and Technology. 2011; 35(C2): 155-169.

[4] Naderpour H, Kheyroddin A, Amiri GG, Vaez SH. Estimating the behavior of FRP-strengthened RC structural members using artificial neural networks. Procedia engineering. 2011; 14: 3183-90.

[5] De Lorenzis L, Nanni A. Shear strengthening of reinforced concrete beams with near-surface mounted fiber-reinforced polymer rods. Structural Journal. 2001; 98(1): 60-8.

[6] Ke1,Y, Zhang SS, Smith ST, Yu T. Novel Embedded FRP Anchor for RC Beams Strengthened in Flexure with NSM FRP Bars: Concept and Behavior. Journal of Composites for Construction. ASCE,2023; ISSN 1090-0268.

[7] Barros JA, Fortes AS. Flexural strengthening of concrete beams with CFRP laminates bonded into slits. Cement and Concrete Composites. 2005; 27(4): 471-80.

[8] Rostásy FS. FRP Tensile Elements for Prestressed Concrete--State of the art, Potentials and limits. Special Publication. 1993; 138: 347-66.

[9] Mosallam AS. Strength and ductility of reinforced concrete moment frame connections strengthened with quasi-isotropic laminates. Composites Part B: Engineering. 2000; 31(6-7): 481-97.

[10] Martin T, Taylor S, Robinson D, Cleland D. Arching in concrete slabs strengthened with near surface mounted fibre reinforced polymers. Engineering Structures. 2019; 184: 257-77.

[11] Najaf E, Orouji M, Ghouchani K. Finite element analysis of the effect of type, number, and installation angle of FRP sheets on improving the flexural strength of concrete beams. Case Studies in Construction Materials. 2022; 01670,2022, https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01670.

[12] Jasman R. Djamaluddin I, Amiruddin AA. 2nd Basic and Applied Science Conference (BASC) .2022. NST Proceedings. pages 50-55. doi: 10.11594/ nstp.2022; 2508.

[13] Buyukozturk O, Gunes O, Karaca E. Characterization and modeling of debonding in RC beams strengthened with FRP composites. 15th ASCE Engineering Mechanics Conference, Columbia University, New York, New York, United States; June 2-5. 2002; 1-8.

[14] Merdas A, Fiorio B, Chikh NE. Aspects of bond behavior for concrete beam strengthened with carbon fibers reinforced polymers–near surface mounted. Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2015; 34(6): 463-78.

[۱۵] داوری، ع، رضازاده، آ، مدل‌سازی معادلات ساختاری با نرم‌افزار PLS، ناشر: سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی،نوبت چاپ: ۲ ، ۱۳۹۷.

[16] Bido D, da Silva D, Ringle C. Structural Equation Modeling with the Smartpls. Brazilian Journal of Marketing. 2014; 13(2). Retrieved October 19,

[17] Henseler J, Ringle C, Sinkovics R. The Use of Partial Least Squares Path Modeling in International Marketing. Advance in International Marketing. 2009; 20:277-319. http://dx.doi.org/10.1108/S14747979(2009)0000020014.