

Modeling and Evaluation of Design Methods of Reinforced Concrete Deep Beams

Mahdi Moradi *

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Qom Branch, Islamic Azad University, Qom, Iran.
E-mail: mehdimoradi@live.com

Seyed Mohammad Bagher Saraf Zadeh

² Department of Civil Engineering, School of Civil Engineering and Architecture, Pooyesh Institute, Qom, Iran.

Abstract

Deep beam have large depth/thickness ratio compared to conventional beams. In deep beams, the bending strain distribution through the depth of transverse sections of beam considerably deviates from the linear distribution. So their behavior is different with ordinary beams and are designed based on shear strength. The design of deep beams, due to their widespread use, is a crucial issue in structural engineering. So far, numerous studies have been done to determine the shear strength relations or models for deep beams. One widely used approach to determine shear strength of is the strut-and-tie method, which is employed by the American Concrete Association (ACI). However, It has been a long time since the Iranian Concrete Code (ICC), regardless of this research, uses a direct relation for the design of deep beams. In this research, methods and relations provided by other researchers along with the ICC method for deep beam design have been evaluated based on 240 experimental specimens. Moreover, a new equation for predicting the shear strength of RC deep beams using the genetic programming (GP) method is presented. Some input and output data should be used for feeding GP and equations producing. This equation was only based on primary specifications of RC deep beams and compared with other methods presented in the literature. In addition, the effect of different parameters on shear strength of RC deep beams were investigated. The results of this study showed that the proposed equation had acceptable accuracy compared to the experimental results and other equations presented in the literature. The proposed equation predicts the experimental results with an average error of 6%. Comparison of the results of the of ICC method in the design of deep beams with ACI method results showed that design in accordance with the ACI method resulted in a 27% lower error.

Keywords: Reinforced concrete, Deep beam, Genetic programming, Shear strength

مدل سازی و ارزیابی روش های طراحی تیرهای عمیق بتن مسلح

دریافت مقاله: ۱۳۹۸-۰۹-۲۴

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹-۰۲-۰۸

مهدی مرادی*

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قم
mehdimoradi@live.com

سید محمد باقر صراف زاده

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده عمران و معماری، موسسه ی پویش، قم

چکیده

تیرهای عمیق به تیرهایی گفته می شود که در مقایسه با تیرهای معمولی، دارای نسبت زیاد ارتفاع به دهانه باشند. در تیرهای عمیق به دلیل داشتن هندسه ی خاص توزیع کرنش در مقطع به صورت خطی نیست و عموماً دارای رفتاری برشی هستند. بر همین اساس این تیرها به روش متفاوتی نسبت به تیرهای معمولی طراحی می شوند. طراحی تیرهای عمیق با توجه به کاربرد وسیع آنها یک مسئله حیاتی در مهندسی سازه به حساب می آید. تاکنون مطالعات متعددی برای تعیین روابط یا روش هایی برای طراحی تیرهای عمیق صورت گرفته است. این مطالعات منجر به پیدایش روش های مختلف برای تحلیل و طراحی این تیرها شدند. با این حال آیین نامه بتن ایران بدون توجه به این روش ها مدت ها است از یک رابطه ساده و قدیمی استفاده می کند. در این پژوهش روش ها و روابط معتبر ارائه شده توسط دیگر محققان در کنار روش آیین نامه بتن ایران بررسی و ارزیابی شدند. مقایسه روش آیین نامه بتن ایران و بست و بند آیین نامه ی بتن آمریکا در طراحی تیرهای عمیق بتن مسلح نشان داد که نتایج روش بست و بند همبستگی بیشتری با نتایج آزمایشگاهی دارند. طراحی مطابق با روش بست و بند منجر به ۲۷ درصد خطای کمتر یا به عبارتی دیگر ۲۷ درصد صرفه جویی در مصرف مصالح نسبت به روش آیین نامه بتن ایران می شود. همچنین، در این پژوهش رابطه ی جدیدی برای پیش بینی نیروی برشی تیرهای عمیق بتن مسلح بر اساس ۲۴۰ نمونه ی آزمایشگاهی با استفاده از روش رابطه سازی ژنتیک ارائه شد. رابطه ی پیشنهادی توانست با میانگین خطای ۶٪ نتایج آزمایشگاهی را پیش بینی کند.

کلمات کلیدی: بتن مسلح، تیر عمیق، رابطه سازی ژنتیک، مقاومت برشی

تیرهای عمیق به دلیل کاربرد وسیع در مهندسی عمران از جمله ساختمان‌های بلند مرتبه، مخازن، سیلوها مستطیلی، دیافراگم‌های کف، دیوارهای برشی و سازه‌های دریایی یکی از اجزا مهم سازه‌ای به شمار می‌روند [1]. تیرهای عمیق بتن مسلح به تیرهایی گفته می‌شود که دهانه‌ی آزاد تیر کوچک‌تر یا مساوی چهار برابر عمق کلی تیر باشد [2]. تیرهای عمیق به خاطر هندسه‌ای که دارند، رفتاری مشابه یک عضو دو بعدی داشته و در شرایط تنش دو بعدی قرار می‌گیرند. به همین دلیل توزیع کرنش در آن‌ها خطی نبوده و توزیع تنش آن‌ها از قوانین و روابط تیرهای معمولی پیروی نمی‌کند [3]. مؤثرترین شیوه‌ی تحمل بار در این نوع اعضا مکانیسم قوسی همراه با یک کش در پایین تیر است [4]. گسیختگی تیرهای عمیق بتن مسلح عموماً از نوع برشی است، بنابراین برای طراحی لازم است تا مقاومت برشی آن‌ها تعیین شود [5]. مقاومت برشی این تیرها پدیده‌ای است که وابسته به متغیرهای متعدد مکانیکی و فیزیکی تیر است. از دهه‌ی ۶۰ میلادی مطالعات گسترده‌ای به‌صورت تحلیلی و آزمایشگاهی بر روی تیرهای عمیق بتن مسلح آغاز شد. این مطالعات منجر به پیدایش روش‌های مختلف برای تحلیل و طراحی این تیرها شدند. در مجموع مدل‌های ارائه‌شده برای تعیین مقاومت برشی تیرهای عمیق را می‌توان در شش گروه طبقه‌بندی کرد. این گروه‌ها شامل، هوش مصنوعی، مدل‌های عددی (اجزای محدود، اجزای منفصل و غیره)، مدل‌های بست‌وبند^۱، مدل‌های کران بالایی پلاستیسیته، پانل برش و مدل‌های مکانیکی می‌شوند [6]. آیین‌نامه‌ی بتن آمریکا [2] و آیین‌نامه‌ی آشتو [7] نزدیک به ۱۷ سال است که از روشی به نام روش بست‌وبند برای تعیین ظرفیت و طراحی تیرهای عمیق استفاده می‌کنند. در این روش تیرهای عمیق بتن مسلح با استفاده از خرپای فرضی متشکل از اعضای فشاری (بست) و اعضای کششی (بند)، قابل تحلیل و طراحی می‌شوند. هوش مصنوعی روش دیگری است که در سال‌ها اخیر برای مدل‌سازی چنین مسائلی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است [8]. شبکه عصبی مصنوعی، رابطه‌سازی ژنتیک^۲، رگرسیون چند متغیره تکاملی، ماشین‌های بردار پشتیبان و روش K نزدیک‌ترین همسایه نمونه‌هایی از روش‌های هوش مصنوعی هستند [8]. از بین روش‌های یاد شده، روش رابطه‌سازی ژنتیک به علت انعطاف پذیری بالا در رابطه‌سازی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است [9-10]. این روش می‌تواند بدون نیاز به این‌که کاربر فرم یا ساختار پاسخ را بداند یک رابطه‌ی صریح ریاضی ارائه کند [9-10]. آشور و همکاران [11] در مقاله‌ای با استفاده از روش رابطه‌سازی ژنتیک، رابطه‌ای برای مقاومت برشی تیرهای عمیق بتن مسلح ارائه کردند. گندمی و همکاران [12] یک رابطه ریاضی برای محاسبه ظرفیت برشی تیرهای عمیق با استفاده از ترکیب روش رابطه‌سازی ژنتیک و شبیه‌سازی بازپخت ارائه کردند. چنگ و کاو [13] از یک روش رگرسیون چند متغیره تکاملی متشکل از توابع رگرسیون چند متغیره تطبیقی و کلونی زنبور عسل مصنوعی برای رابطه‌سازی مقاومت برشی تیرهای عمیق بتن مسلح استفاده کردند. روابط ریاضی آن‌ها از دقت قابل قبولی برخوردار بود. چو و همکاران [14] از یک روش رگرسیون اکتشافی الهام گرفته از طبیعت برای تعیین مقاومت برشی تیرهای عمیق بتن مسلح استفاده کردند. مدل آن‌ها ترکیبی از یک مدل جدید هوش مصنوعی کلونی کرم شب‌تاب و توابع رگرسیون حداقل مربعات بود. علیرغم دقت مناسب مدل آن‌ها این مدل به‌صورت جعبه سیاه است و روابط ریاضی قابل استفاده و مشخصی ندارد. این مشکل، در اغلب مدل‌های استفاده‌کننده از شبکه عصبی مصنوعی نیز دیده می‌شود که از معایب این روش مدل‌سازی است [15]. عرب‌زاده و نوری سولا [16] راهکار استفاده از تحلیل اجزاء محدود غیرخطی را پیشنهاد و برای تحلیل تیرهای عمیق بتن مسلح بدون آرماتور برشی استفاده کردند. نتایج حاصل از این روش در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی از دقت قابل قبولی برخوردار بود. اگرچه لازم به تذکر است که استفاده از نرم‌افزارهای اجزای محدود غیر خطی برای کاربران عادی مشکل است. همچنین مدل‌سازی کل سازه در چنین نرم‌افزارهایی وقت گیر و منجر به هزینه‌ی محاسباتی بالایی می‌شوند. آیین‌نامه‌ی

¹ Strut and tie models² Genetic Programming

بتن ایران [17] بدون توجه به این تحقیقات مدت‌ها است که از یک رابطه مستقیم در طراحی تیرهای عمیق بهره می‌برد و به پیشرفت‌های علمی صورت گرفته در این زمینه بی‌توجه است. در این پژوهش ضمن ارزیابی روابط و روش‌های معتبر گذشته برای تعیین ظرفیت برشی تیرهای عمیق بتن مسلح، رابطه‌ی جدیدی برای پیش‌بینی نیروی برشی این تیرها بر اساس ۲۴۰ نمونه‌ی آزمایشگاهی با استفاده از روش رابطه‌سازی ژنتیک ارائه می‌شود. تنوع و وسعت دامنه مقادیر آزمایشگاهی امکان دستیابی به یک رابطه جامع را می‌دهد. در ادامه ابتدا روابط و روش‌های معتبر ارائه‌شده برای تعیین ظرفیت برشی تیرهای عمیق بتن مسلح بررسی می‌شود و سپس چگونگی رابطه‌سازی به روش رابطه‌سازی ژنتیک بررسی شده و نهایتاً روابط پیشنهادی ارائه می‌گردند.

۲- روابط و روش‌های ارائه‌شده برای تعیین ظرفیت برشی تیرهای عمیق بتن مسلح در متون علمی

۲-۱- طراحی تیرهای عمیق مطابق با مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان [17]

مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان [17] نیروی برشی مقاوم مقطع (V_r) را ترکیبی از نیروی مقاوم برشی تأمین‌شده توسط بتن (V_c) و فولاد V_s می‌داند (رابطه‌ی ۱). بر اساس این روش V_c بر اساس دو رابطه ساده و پیچیده محاسبه می‌شود. (رابطه‌ی ۲) در رابطه‌ی ۲ d, b_w, V_u و M_u به ترتیب عرض تیر، عمق مؤثر تیر، نیروی برشی و لنگر در مقطع بحرانی برش هستند. همچنین تنش مقاوم برشی بتن است و بر اساس مقاومت فشاری بتن (f_c) و ضریب کاهش مقاومت بتن (Φ_c) محاسبه می‌شود (رابطه‌ی ۳). ρ_w در رابطه‌ی ۲ نسبت فولاد مقطع است و با تقسیم مساحت فولاد کششی (A_s) بر سطح مقطع مؤثر مطابق رابطه‌ی ۴ محاسبه می‌شود.

$$V_r = V_c + V_s \leq 4v_c b_w d \quad (1)$$

$$V_c = \left(3.5 - 2.5 \frac{M_u}{V_u d} \right) \left(0.95v_c + 12\rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d \leq 3v_c b_w d \quad (2)$$

$$V_c = v_c b_w d; \quad 3.5 - 2.5 \frac{M_u}{V_u d} \leq 2.5$$

$$v_c = 0.2\Phi_c \sqrt{f_c} \quad (3)$$

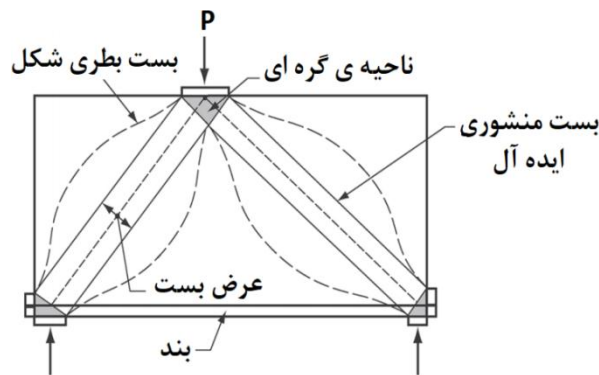
$$\rho_w = \frac{A_s}{b_w d} \quad (4)$$

مطابق مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان [17] از رابطه ۵ محاسبه می‌شود. در این رابطه A_v سطح مقطع آرماتور برشی عمودی در محدوده‌ای به طول S_n عمود بر میلگردهای کششی است. همچنین A_{vh} سطح مقطع آرماتور برشی افقی در محدوده‌ای به طول S_h موازی با میلگردهای کششی است. در رابطه‌ی ۵، l_n نیز طول دهانه‌ی آزاد یا فاصله بر تا بر تکیه‌گاه‌ها است (برای جزئیات بیشتر به مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان [17] مراجعه شود).

$$V_s = \left[\frac{A_v}{12 S_n} \left(1 + \frac{l_n}{d} \right) + \frac{A_{vh}}{12 S_h} \left(11 - \frac{l_n}{d} \right) \right] \Phi_s f_y d \quad (5)$$

۲-۲- طراحی تیرهای عمیق بر اساس روش بست‌وبند مطابق با آیین‌نامه‌ی بتن آمریکا [2]

در این روش تیرهای عمیق بتن مسلح با استفاده از خرپای فرضی متشکل از اعضای فشاری (بست) و اعضای کششی (بند)، قابل تحلیل و طراحی می‌شوند (شکل ۱).



شکل ۱. نمایی از روش بست و بند در یک تیر بتنی [2]

بست‌های بتنی وظیفه‌ی ایستادگی در ناحیه‌ی تنش فشاری و میلگردهای فولادی به‌عنوان بند در مناطق تنش کششی قرار می‌گیرند. محل برخورد بست و بند را گره می‌نامند. برای انواع بارهای ضریب دار هر یک از اجزاء مدل بست و بند بایستی کنترل شوند تا تنش‌های وارده از مقاومت اعضا بیشتر نشوند (برای جزئیات بیشتر به آیین‌نامه‌ی بتن آمریکا [2] مراجعه شود). روش بست و بند به‌صورت دستی قابل استفاده است، اگرچه استفاده از آن معمولاً بسیار زمان‌بر است. بنابراین برای این کار در این پژوهش از نرم‌افزار CAST استفاده خواهد شد. این نرم‌افزار توسط تجهین و کوچما [18] فراهم شده است. نرم‌افزار CAST عملیات مدل‌سازی روش بست و بند را بر اساس آیین‌نامه‌ی بتن آمریکا [2] با سرعت و دقتی بالا انجام می‌دهد.

۲-۳- رابطه‌ی آشور و همکاران [11] برای محاسبه ظرفیت برشی تیرهای عمیق

آشور و همکاران [11] بر اساس نتایج آزمایشگاهی ۱۴۱ تیر عمیق بتن مسلح و با استفاده از روش رابطه‌سازی ژنتیک یک رابطه برای محاسبه‌ی ظرفیت برشی این تیرها ارائه کردند. رابطه‌ی ۶، رابطه پیشنهادی آشور و همکاران [11] را نمایش می‌دهد. مقادیر متغیرهای A، B و C در روابط ۷ تا ۹ ارائه شده است. با توجه به وسعت متغیرهای این روابط، تعریف آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. تعریف متغیرهای رابطه‌ی آشور و همکاران [11]

تعریف متغیر	مقدار اصلی	مقدار در رابطه
مقاومت برشی نرمال شده‌ی تیر	$\frac{V_u}{bh f_c}$	λ
ارتفاع کلی تیر	h	-
نسبت دهانه‌ی برش تیر به عمق تیر	a/h	X_1
نسبت طول تیر به عمق تیر	L/h	X_2
نسبت فولاد عمودی جان مقطع	$\left(\frac{A_v f_y}{S}\right)_v / b f_c$	X_3
نسبت فولاد افقی جان مقطع	$\left(\frac{A_{vh} f_y}{S}\right)_h / b f_c$	X_4
نسبت فولاد اصلی مقطع	$\frac{A_s f_y}{b h f_c}$	X_5
نسبت فولاد اصلی بالایی مقطع	$\frac{A_{st} f_y}{b h f_c}$	X_6

$$\lambda = Ax_5^2 + Bx_5 + C \quad (۶)$$

$$A = -4.56 + 1.68x_1 \quad (۷)$$

$$B = 2.45 + 0.1x_1^2 - 1.16x_1 + 3.12x_6 \quad (۸)$$

$$C = 0.3x_3 + 0.3x_4 \quad (۹)$$

۴-۲- رابطه‌ی چنگ و کاو [13] برای محاسبه ظرفیت برشی تیرهای عمیق

همان‌طور که گفته شد، چنگ و کاو [13] از یک مدل هوش مصنوعی برای تخمین ظرفیت برشی تیرهای عمیق بتن مسلح استفاده کردند. مدل آن‌ها بر اساس ۱۰۶ نمونه آزمایشگاهی جمع‌آوری شده از مراجع علمی، تهیه شده بود. این مدل در روابط ۱۰ تا ۲۰ نمایش داده شده است. متغیرهای این مدل نیز در جدول ۲ ارائه شده است.

$$BF_1 = \max(0, X_4 - 0.69321) \quad (10)$$

$$BF_2 = \max(0, X_3 - 0.06584) \quad (11)$$

$$BF_3 = \max(0, 0.06584 - X_3) \quad (12)$$

$$BF_4 = BF_2 \times \max(0, X_8 - 0.63402) \quad (13)$$

$$BF_5 = BF_2 \times \max(0, 0.63402 - X_8) \quad (14)$$

$$BF_6 = BF_2 \times \max(0, 0.21077 - X_4) \quad (15)$$

$$BF_7 = \max(0, 0.69321 - X_4) \times \max(0, X_1 - 0.27021) \quad (16)$$

$$BF_8 = \max(0, 0.69321 - X_4) \times \max(0, 0.27021 - X_1) \quad (17)$$

$$BF_9 = BF_4 \times \max(0, 0.25714 - X_9) \quad (18)$$

$$BF_{10} = \max(0, 0.37449 - X_3) \times \max(0, X_5 - 0.95781) \quad (19)$$

$$Y = 0.45875 + 0.35453 \times BF_1 - 0.59009 \times BF_2 + 2.42760 \times BF_3 - 2.85370 \times BF_4 - 3.15270 \times BF_5 - 2.6245 \times BF_6 + 2.5650 \times BF_7 - 1.5423 \times BF_8 - 1.5012 \times BF_9 + 16.5200 \times BF_{10} \quad (20)$$

جدول ۲. تعریف متغیرهای مدل چنگ و کاو [13]

تعریف متغیر	مقدار اصلی	مقدار در رابطه
نسبت طول موثر به عمق موثر تیر	L/d	X_1
نسبت عمق موثر تیر به عرض تیر	d/b_w	X_2
نسبت دهانه‌ی برش به عمق موثر تیر	a/d	X_3
مقاومت فشاری بتن (kN/mm^2)	f_c	X_4
تنش تسلیم میلگردهای افقی (kN/mm^2)	f_{yh}	X_5
تنش تسلیم میلگردهای قائم (kN/mm^2)	f_{yv}	X_6
درصد نسبت میلگردهای افقی جان	$\frac{A_s f_{yh}}{S_h d}$	X_7
درصد نسبت میلگردهای طولی اصلی	$\frac{A_s f_y}{b d}$	X_8
درصد نسبت میلگردهای عمودی جان	$\frac{A_s f_{yv}}{S_n d}$	X_9
مقاومت برشی تیر عمیق مقیاس شده	V	Y

۵-۲- رابطه‌ی گندمی و همکاران [12] برای محاسبه ظرفیت برشی تیرهای عمیق

گندمی و همکاران [12] از یک الگوریتم ترکیبی برای رابطه‌سازی مقاومت برشی تیرهای عمیق استفاده کردند. روش آن‌ها با نام ژنتیک بازپخت شامل روش رابطه‌سازی ژنتیک و شبیه‌سازی بازپخت بود. آن‌ها بر اساس ۹ متغیر مکانیکی و هندسی رابطه‌ای بر اساس نتایج آزمایشگاهی ارائه شده در ادبیات موضوع ارائه کردند. روابط ۲۱ و ۲۲، روابط گندمی و همکاران [12] برای تعیین مقاومت برشی تیرهای عمیق بتن مسلح را نشان می‌دهد. در این رابطه و مقاومت فشاری بتن بر حسب مگا پاسکال است. a و d نیز دهانه‌ی برش و عمق مؤثر تیر هستند.

$$V_{GSA} = 2 \frac{d \rho (\rho_h - f_c + \rho_v + \xi - 4)}{\xi + 2} - \frac{a}{d} + 4 \quad (21)$$

$$\xi = \frac{(f_c + 4 \frac{a}{d} - 4)^2}{25} \quad (22)$$

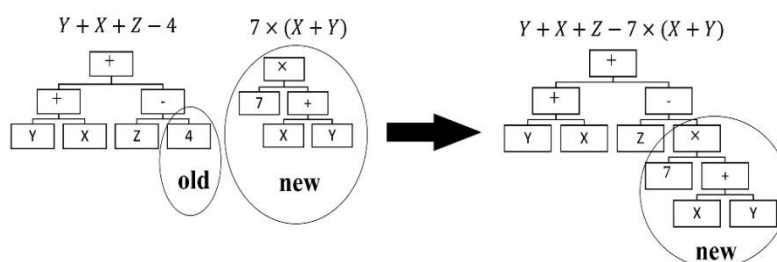
۳- رابطه‌ی پیشنهادی

۳-۱- رابطه‌سازی ژنتیک

همان‌طور که گفته شد در این پژوهش از روش رابطه‌سازی ژنتیک برای تعیین ظرفیت برشی تیرهای عمیق استفاده می‌شود. روش رابطه‌سازی ژنتیک یک روش محاسباتی تکاملی است که به‌طور خودکار مسائل را حل می‌کند، بدون نیاز به این که کاربر فرم یا ساختار پاسخ را بداند یا مشخص کند [9]. این روش برای تولید روابط مفهومی و منظم استفاده می‌شود و تاکنون برای بسیاری از کاربردها در مهندسی عمران استفاده شده است [9-10]. در روش رابطه‌سازی ژنتیک هر رابطه یک فرد با رشته ژنتیکی خاص خود است و به‌صورت درختی نمایش داده می‌شود. در این روش در ابتدا یک جامعه تصادفی با افراد مختلف در نظر گرفته می‌شود که با اعمال عملگرهای رابطه‌سازی ژنتیک به‌صورت داروینی تکامل می‌یابند. عملگرهای مختلفی برای این روش معرفی شده است، دو شکل استاندارد آن عملگرها جهش و لقاح است.

* عملگر جهش

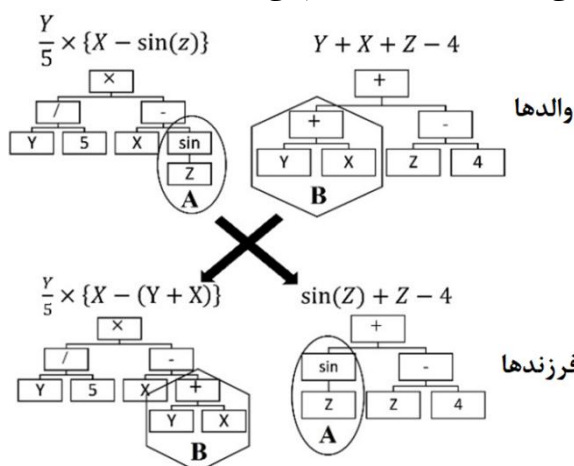
برای تولید نسل‌های بعدی در این عملگر یک فرد به‌عنوان والد انتخاب می‌شود. یک زیرشاخه از رابطه والد به‌صورت تصادفی حذف می‌شود. سپس زیرشاخه‌ای دیگر به‌صورت تصادفی تولید و جایگزین می‌گردد (شکل ۲).



شکل ۲. چگونگی اعمال عملگر جهش در رابطه‌سازی ژنتیک [9]

* عملگر لقاح

این عملگر برای ترکیب رشته ژنتیکی دو فرد به‌عنوان والد استفاده می‌شود. در این ترکیب تولید نسل جدید به‌وسیله‌ی تبادیل دو زیرشاخه تصادفی از والدین با یکدیگر انجام می‌شود (شکل ۳).



شکل ۳. چگونگی اعمال عملگر لقاح در رابطه‌سازی ژنتیک [9]

کوزا [19] نحوه عملکرد رابطه‌سازی ژنتیک را در چهار مرحله شرح می‌دهد. مطابق تعریف او مرحله اول رابطه سازی ژنتیک تولید یک جمعیت اولیه از ترکیب تصادفی توابع و ترمینال‌های مسئله است. در ادامه دقت کلیه روابط تولیدشده در مرحله قبل کنترل می‌شود. سپس با انتخاب بهترین روابط موجود و استفاده از عملگرهای ژنتیک جمعیت جدیدی تولید می‌شود. در مرحله چهارم اگر تعداد نسل‌های مشخص شده به پایان رسیده باشد،

بهترین رابطه اعلام می‌شود، در غیر این صورت فرآیند حل از مرحله دوم پیگیری می‌شود. هدف رابطه‌سازی ژنتیک یافتن یک رابطه بسیار مناسب در فضای پاسخ است. تولید جمعیت اولیه یک جستجوی کور و تصادفی برای یافتن پاسخ است که توسط فرآیند رابطه‌سازی ژنتیک به آن جهت داده می‌شود. برای جلوگیری از تولید روابطی بسیار طولانی و غیرقابل استفاده ابعاد روابط درختی باید محدود شوند (برای جزئیات بیشتر به سیلوا و آلمیدا [20] مراجعه شود).

۳-۲- رابطه‌سازی مقاومت برشی تیرهای عمیق بر اساس روش رابطه‌سازی ژنتیک

در این پژوهش برای رابطه‌سازی ژنتیک از مجموعه کدهای تهیه‌شده توسط سیلوا و آلمیدا [20] پس از انجام تنظیماتی استفاده شد. مقدار خطای قدر مطلق در کد رابطه‌سازی ژنتیک به‌عنوان تابع هدف تعریف شد (رابطه‌ی ۲۳). به عبارت دیگر مقدار تابع هدف هر رابطه در عملیات محاسباتی رابطه‌سازی ژنتیک، جمع قدر مطلق اختلاف نتایج آزمایشگاهی و به‌دست‌آمده از رابطه برای کلیه نقاط نمونه‌های آزمایشگاهی بود. هر رابطه که خطای قدر مطلق بیشتری داشته باشد، نتایج آن نامناسب‌تر است. برای تولید نسل جدید از دو عملگر جهش و لقاح استفاده شد و احتمال انتخاب والدین برای استفاده عملگرها با توجه به رتبه دقت آن‌ها در تخمین مسئله در نظر گرفته شد. رابطه‌سازی ژنتیک نیاز به تعدادی داده ورودی و خروجی دارد تا رابطه ریاضی بین آن‌ها را استخراج کند. ۲۴۰ نمونه آزمایشگاهی جمع‌آوری‌شده از ۹ مرجع در این بخش استفاده شدند [21-29]. مشخصات این نمونه‌ها در پیوست الف، جدول الف-۱ ارائه شده است. نیروی برشی مقیاس شده $(V_{bd} = \frac{V}{bd})$ به‌عنوان خروجی رابطه‌سازی ژنتیک در نظر گرفته شد. داده‌های ورودی رابطه‌سازی ژنتیک نیز شامل مقاومت فشاری بتن (f_c) ، عرض تیر (b) ، عمق مؤثر تیر (d) ، نسبت دهانه‌ی برش به عمق مؤثر تیر $(\frac{a}{d})$ بود (جدول الف-۱). علاوه بر این موارد، ترکیب‌هایی از مشخصات تیر نیز در نظر گرفته شد. این موارد شامل شاخص میلگردهای اصلی (B_s) ، شاخص میلگردهای قائم (B_{sv}) و شاخص میلگرد افقی (B_{sh}) هستند (روابط ۲۴ تا ۲۶). در روابط ۲۴ تا ۲۶، A_s ، A_v و A_{vh} به ترتیب مساحت میلگردهای اصلی، قائم و افقی است. همچنین f_y ، δ_n و δ_h به ترتیب تنش تسلیم میلگردها، فاصله‌ی میلگردهای قائم و فاصله‌ی میلگردهای افقی است. برای تولید روابط ریاضی علاوه بر مقادیر ورودی، عملگرهای ریاضی شامل $+$ ، $-$ ، $\times$ ، $\div$ به همراه تعدادی عدد تصادفی و ثابت برای رابطه‌سازی استفاده شدند. برای محاسبه روابط از ۲۰۰۰ فرد و ۵۰۰ نسل استفاده شد.

$$F_{\text{هدف}} = \sum_{i=1}^n |V_{bd \text{ محاسباتی}} - V_{bd \text{ آزمایشگاهی}}| \quad (23)$$

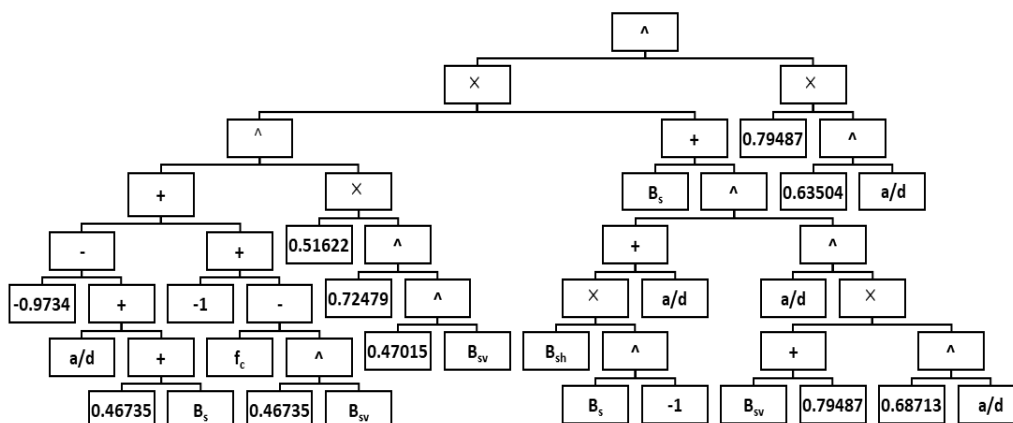
$$B_s = \frac{f_{yh} A_s}{bd} \quad (24)$$

$$B_{sv} = \frac{f_{yv} A_v}{bl_v} \quad (25)$$

$$B_{sh} = \frac{f_{yh} A_{vh}}{bl_h} \quad (26)$$

شکل ۴ رابطه درختی خروجی رابطه‌سازی ژنتیک برای نیروی برشی مقیاس شده‌ی تیرهای عمیق را نشان می‌دهد (V_{bd}). رابطه‌ی ریاضی معادل این شکل با حداقل ساده‌سازی ریاضی در رابطه ۲۷ ارائه شده است.

$$V_{bd} = \left((-2.441 - \frac{a}{d} - B_s + f_c - 0.467 B_{sv})^{0.516 \times 0.725^{0.47 B_{sv}}} \times \left(B_s + \left(\frac{a}{d} + \frac{B_{sh}}{B_s} \right)^{\left(\frac{a}{d} \right)^{(B_{sv} + 0.795) 0.687 \frac{a}{d}}} \right)^{(0.795 \times 0.635 \frac{a}{d})} \right) \quad (27)$$



شکل ۴. رابطه‌ی درختی خروجی رابطه‌سازی ژنتیک برای نیروی برشی مقیاس شده تیرهای عمیق

۴- ارزیابی رابطه پیشنهادی و دیگر مدل‌های ارائه‌شده برای تعیین نیروی برشی تیر عمیق بتن مسلح

به‌منظور ارزیابی مدل‌های ارائه‌شده برای نیروی برشی تیر عمیق بتن مسلح از ۲۴۰ نمونه معرفی‌شده در جدول الف-۱ استفاده شد. روش‌های مطرح‌شده در بخش ۲ برای تعیین ظرفیت برشی در نرم‌افزار اکسل پیاده‌سازی شدند و ظرفیت نمونه‌ها بر اساس هر یک از این روش‌ها محاسبه شد. همچنین برای تعیین ظرفیت باربری نمونه‌ها بر اساس روش بست‌وبند نیز از نرم‌افزار CAST استفاده شد. خلاصه نتایج تحلیل آماری به‌دست‌آمده از رابطه‌ی پیشنهادی و دیگر مدل‌ها در جدول ۳ ارائه‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، رابطه‌ی پیشنهادی در کلیه شاخص‌های نسبت به دیگر روش‌های برتری محسوسی دارد. رابطه‌ی پیشنهادی توانست با میانگین ۰/۶۷ مگاپاسکال خطا مقادیر نیروی برشی مقیاس شده را پیش‌بینی کند. شاخص R^2 بیانگر میزان هم‌بستگی میان دودسته داده است. با توجه به مقادیر این شاخص می‌توان گفت که رابطه پیشنهادی بالاترین انطباق را بر نتایج آزمایشگاهی در بین دیگر مدل‌ها دارد (جدول ۳). میانگین نسبت نیروی برشی آزمایشگاهی به محاسباتی نیز از دیگر شاخص‌های بررسی‌شده در این جدول است. با توجه به این شاخص می‌توان گفت رابطه پیشنهادی با خطای میانگین ۰/۶٪ توانست مقادیر آزمایشگاهی را پیش‌بینی کند (جدول ۳). این عامل نیز از برتری رابطه‌ی پیشنهادی نسبت به دیگر روابط حکایت داشت. لازم به تذکر است که رابطه‌ی پیشنهادی چنگ و کاو [13] برای بسیاری از نمونه‌ها پاسخ قابل قبولی نداشت. بررسی‌ها نشان داد که مقادیر ورودی و خروجی این رابطه باید بین مقادیر ماکزیمم و مینیمم داده‌های استفاده‌شده در مطالعات چنگ و کاو [13] باشند تا مقادیر مثبت و قابل قبولی ارائه کند. این موضوع یک ضعف بسیار بزرگ در رابطه چنگ و کاو [13] است.

یکی از اهداف این پژوهش مقایسه و ارزیابی روش مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان [17] و آیین‌نامه‌ی بتن آمریکا [2] در طراحی تیرهای عمیق بتن مسلح بود. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود هر دو روش طراحی از محافظه‌کاری بالایی برخوردار هستند و تقریباً نصف ظرفیت واقعی تیر را به‌عنوان بار طراحی پیشنهاد می‌کنند. طراحی مطابق با آیین‌نامه‌ی بتن آمریکا [2] منجر به ۲۷ درصد خطای کمتر یا به‌عبارتی دیگر ۲۷ درصد صرفه‌جویی در مصرف مصالح نسبت به آیین‌نامه‌ی بتن ایران می‌شود. نتایج روش آیین‌نامه‌ی بتن آمریکا [2] شاخص R^2 بالاتری دارند پس نتایج این روش هم‌بستگی بیشتری با نتایج آزمایشگاهی دارند. در مجموع می‌توان گفت که علیرغم قابل‌اعتماد بودن دو روش، مطمئناً روش آیین‌نامه‌ی بتن آمریکا [2] از دقت بالاتری برخوردار بوده و توصیه می‌گردد.

جدول ۳. مقایسه‌ی آماری نتایج روابط و روش‌های تعیین ظرفیت برشی تیرهای عمیق بتن مسلح

چن و کاو [13]	گندمی و همکاران [12]	آشور و همکاران [11]	رابطه‌ی پیشنهادی	مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان [17]	آیین‌نامه‌ی بتن آمریکا [2]	میانگین $(V_{SC, آزمایشگاهی} / V_{SC, محاسباتی})$
۱/۱۶***	۱/۰۷	۵/۰۳	۱/۰۶	۲/۰۷	۱/۸۰	
۰/۰***	۰/۷۳	۰/۵۷	۰/۷۹	۰/۵۱	۰/۷۱	R^2
۲۶۱***	۱۸۷	۴۲۹	۱۶۰	۶۴۷	۴۸۹	SAE*
۱/۰۹***	۰/۷۸	۱/۷۹	۰/۶۷	۲/۷	۲/۰۴	SAEA **

قدر مطلق مجموع خطا *

میانگین قدر مطلق مجموع خطا برای هر نقطه آزمایشگاهی $= \frac{SAE}{n}$

نتایج برای ۸۳ نمونه ***

۴-۱- داده‌های آزمایشی

یکی از معیارهای ارزیابی روابط، داده‌هایی هستند که در فرآیند رابطه‌سازی حضور نداشتند (داده‌های آزمایشی). اگرچه این مطلب در بسیاری از پژوهش‌های مشابه نادیده گرفته می‌شود، جزء مهم‌ترین و ارزشمندترین معیارها برای ارزیابی نتایج است. برای این منظور نتایج آزمایشگاهی ۷۴ تیر عمیق بتن مسلح از متون علمی جمع‌آوری شد و از رابطه پیشنهادی و دیگر مدل‌های معرفی‌شده برای پیش‌بینی ظرفیت برشی آن‌ها استفاده شد (جدول ۴). در جدول ۵ نتایج آماری این روش‌ها با یکدیگر مقایسه شدند. در این جدول علیرغم افزایش خطای رابطه پیشنهادی، برتری نتایج این رابطه در مقایسه با دیگر مدل‌های موجود قابل مشاهده است.

۴-۲- تحلیل اثر عوامل مختلف بر مقاومت برشی تیرهای عمیق بتن مسلح

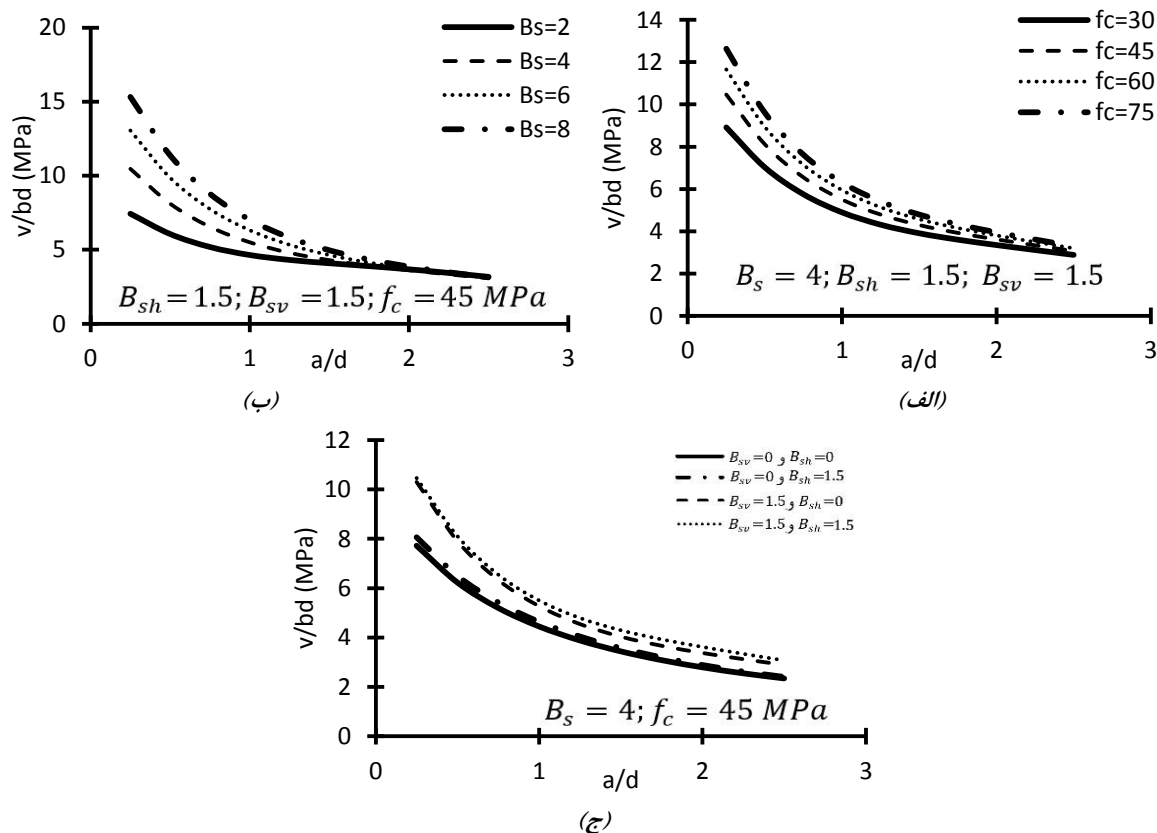
یکی از مزایای وجود روابطی با دقت مناسب، درک بهتر اثر عوامل مختلف بر رفتار سازه است. رابطه‌ی ۲۷ مطابق مطالب ارائه‌شده جامع‌ترین و با دقت‌ترین رابطه ارائه‌شده است. بر این اساس می‌توان نمودارهایی راهنما ارائه کرد تا برای طراحی تیرهای عمیق بتنی استفاده شود. از این نمودارها می‌توان برای طراحی بهینه، اقتصادی و با مشخصاتی قابل قبول این اعضا استفاده کرد. در شکل ۵ سه نمونه از این نمودارها ارائه شده است. در هر یک از این نمودارها یکی از مشخصات مؤثر بر رابطه نیروی برشی مقیاس شده تیرهای عمیق بتن مسلح بررسی شده و دیگر مشخصات ثابت فرض شدند (این مشخصات روی نمودار نمایش داده شدند). در شکل ۵-الف اثر مقاومت فشاری بتن بر V_{bd} بررسی شده است. با توجه به این نمودار می‌توان گفت اثر افزایشی، افزایش مقاومت فشاری بتن بر V_{bd} به‌مرور با افزایش مقاومت فشاری بتن کاهش می‌یابد.

جدول ۴. نمونه‌های آزمایشی و نتایج مدل‌سازی برشی آن‌ها

نسبت میلگردها														V/bd			
شماره	λ	L	f_{yv}	f_{yh}	d	b	f_c	a/d	B_s (%)	B_{sh} (%)	B_{sp} (%)	آزمایشگاهی	رابطه‌ی پیشنهادی	گندمی و همکاران [12]	آشور و همکاران [11]	چنگ و کاو [13]	مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان [17]
تیر	mm	MPa	MPa	mm	mm	MPa	mm	mm	mm	mm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
۱	30	۲۲۰۰	۵۷۰	۵۷۰	۵۴۵	۲۰۰	۴۲/۴	۱/۸۷	۱/۱۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۸۳	۲/۹۵	۲/۶۶	۲/۱۰	-	۱/۱۰
۲	30	۲۲۰۰	۵۷۰	۵۷۰	۵۳۵	۲۰۰	۴۲/۴	۱/۸۷	۱/۱۳	۰/۰۰	۰/۱۵	۳/۳۱	۳/۲۸	۲/۶۶	۲/۳۶	-	۱/۴۱
۳	30	۲۲۰۰	۵۷۰	۵۷۰	۵۳۵	۲۰۰	۴۲/۴	۱/۸۷	۱/۱۳	۰/۲۵	۰/۱۵	۳/۲۵	۳/۴۳	۲/۶۷	۲/۷۸	-	۲/۱۱
۴	30	۲۲۰۰	۵۷۰	۵۷۰	۴۵۵	۲۰۰	۴۳/۲	۲/۲۰	۰/۸۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۹۵	۲/۵۱	۲/۱۸	۱/۰۶	-	۰/۹۲
۵	30	۲۲۰۰	۵۷۰	۵۷۰	۴۵۵	۲۰۰	۴۳/۲	۲/۲۰	۰/۸۸	۰/۰۰	۰/۱۵	۲/۱۹	۲/۸۳	۲/۱۹	۱/۳۲	-	۱/۲۷
۶	30	۲۲۰۰	۵۷۰	۵۷۰	۴۵۵	۲۰۰	۴۳/۲	۲/۲۰	۰/۸۸	۰/۱۵	۰/۰۰	۲/۰۳	۲/۶۰	۲/۱۹	۱/۴۹	-	۱/۵۴
۷	30	۲۲۰۰	۵۷۰	۵۷۰	۴۵۵	۲۰۰	۴۳/۲	۲/۲۰	۰/۸۸	۰/۲۵	۰/۱۵	۲/۲۴	۲/۹۹	۲/۱۹	۱/۷۵	-	۱/۸۹
۸	31	۵۰۰	۴۵۴	۴۵۴	۴۵۰	۱۰۰	۳۷	۰/۴۲	۰/۸۹	۰/۵۱	۰/۲۴	۸/۳۳	۸/۲۲	۴/۲۴	۷/۷۰	۶/۷۹	۳/۱۶

شماره	ردیف	L	f_{yv}	f_{yh}	d	b	f_c	a/d	نسبت میلگردها			ازمایشگاهی	رابطه پیشنهادی	گندمی و همکاران [12]	آشور و همکاران [11]	چنگ و کاو [13]	میثاق ۹ مقررات ملی ساختمان [17]	آیین نامه بتن آمریکا 2012
									B_s (%)	B_{sf} (%)	B_{sv} (%)							
واحد		mm	MPa	MPa	mm	mm	MPa	-	-	-	-	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
۹	31	۱۵۰۰	۴۵۴	۴۵۴	۴۵۰	۱۰۰	۳۷	۱/۵۳	۰/۸۹	۰/۵۱	۰/۲۲	۴/۳۲	۴/۰۱	۲/۸۵	۴/۹۴	۲/۸۶	۲/۹۷	۲/۵۷
۱۰	31	۹۰۰	۴۵۴	۴۵۴	۸۵۰	۱۰۰	۳۱	۰/۴۶	۰/۲۷	۰/۳۵	۰/۲۱	۴/۴۴	۴/۲۵	۳/۵۰	۴/۳۴	۲/۹۳	۲/۹۰	۱/۷۸
۱۱	31	۹۰۰	۴۵۴	۴۵۴	۸۵۰	۱۰۰	۳۵/۵	۰/۴۶	۱/۱۵	۰/۳۵	۰/۲۱	۵/۷۱	۷/۱۷	۴/۱۴	۵/۶۰	۳/۳۶	۳/۱۰	۲/۶۶
۱۲	31	۲۷۰۰	۴۵۴	۴۵۴	۸۵۰	۱۰۰	۴۱/۵	۱/۵۲	۱/۱۵	۰/۳۵	۰/۲۰	۲/۴۸	۳/۹۲	۳/۰۹	۳/۵۶	۲/۳۸	۲/۷۳	۱/۶۰
۱۳	31	۵۰۰	۴۳۸	۴۳۸	۴۵۰	۱۰۰	۲۸/۴	۰/۴۲	۰/۸۹	۰/۵۱	۰/۲۴	۶/۸۳	۶/۱۵	۲/۹۴	۵/۵۴	۵/۷۴	۲/۷۷	۳/۳۲
۱۴	31	۹۰۰	۴۳۸	۴۳۸	۸۵۰	۱۰۰	۳۴/۴	۰/۴۶	۰/۲۷	۰/۳۵	۰/۲۱	۳/۵۶	۴/۴۰	۳/۶۴	۲/۳۸	۳/۱۹	۳/۰۷	۱/۸۲
۱۵	31	۲۷۰۰	۴۳۸	۴۳۸	۸۵۰	۱۰۰	۳۹/۴	۱/۵۲	۱/۱۵	۰/۳۵	۰/۲۰	۲/۳۴	۳/۸۱	۳/۰۴	۳/۳۲	۲/۵۸	۲/۶۶	۱/۵۲
۱۶	32	۱۷۵۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۴۲/۵	۱۱۰	۵۶/۳	۰/۸۵	۲/۵۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۰/۲۷	۸/۶۷	۶/۲۳	۰/۵۸	-	۲/۹۳	۶/۹۹
۱۷	32	۱۷۵۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۴۲/۵	۱۱۰	۵۶/۲	۰/۸۵	۲/۵۸	۰/۰۰	۲/۸۶	۱۵/۶۱	۱۱/۶۰	۶/۳۶	۳/۵۹	-	۳/۹۰	۶/۴۸
۱۸	32	۱۷۵۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۴۲/۵	۱۱۰	۵۹/۲	۰/۸۵	۲/۵۸	۱/۵۹	۰/۰۰	۱۱/۵۰	۸/۹۷	۶/۴۶	۲/۷۱	-	۴/۰۰	۶/۴۸
۱۹	32	۱۷۵۰	۴۴۶/۷	۴۴۶/۷	۴۴۲/۵	۱۱۰	۶۳/۸	۰/۸۵	۲/۵۸	۱/۵۹	۰/۰۰	۱۱/۹۲	۹/۱۹	۶/۶۷	۳/۷۹	-	۴/۱۵	۷/۳۵
۲۰	32	۱۷۵۰	۴۴۶/۷	۴۴۶/۷	۴۴۲/۵	۱۱۰	۵۷/۶	۰/۸۵	۲/۵۸	۳/۱۷	۰/۰۰	۱۵/۹۲	۹/۱۰	۶/۴۵	۵/۰۳	-	۳/۹۵	۶/۶۴
۲۱	32	۱۷۵۰	۴۴۶/۷	۴۴۶/۷	۴۴۲/۵	۱۱۰	۵۹/۷	۰/۸۵	۲/۵۸	۱/۵۹	۲/۸۶	۱۵/۹۲	۱۲/۰۱	۶/۶۱	۷/۰۷	-	۴/۰۲	۶/۸۸
۲۲	32	۲۰۰۰	۴۴۶/۷	۴۴۶/۷	۴۴۲/۵	۱۱۰	۷۷/۶	۱/۱۳	۲/۵۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۵/۲۴	۷/۲۸	۵/۸۹	۰/۶۲	-	۳/۴۲	۷/۷۸
۲۳	32	۲۰۰۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۴۲/۵	۱۱۰	۷۷/۶	۱/۱۳	۲/۵۸	۰/۰۰	۱/۴۳	۱۰/۶۸	۹/۶۰	۵/۹۱	۲/۱۴	-	۴/۵۸	۷/۹۲
۲۴	32	۲۰۰۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۴۲/۵	۱۱۰	۷۸	۱/۱۳	۲/۵۸	۱/۵۹	۰/۰۰	۸/۰۱	۷/۴۳	۵/۹۲	۲/۳۴	-	۴/۵۹	۷/۹۶
۲۵	32	۲۰۰۰	۴۴۶/۷	۴۴۶/۷	۴۴۲/۵	۱۱۰	۸۶/۳	۱/۱۳	۲/۵۸	۱/۵۹	۰/۰۰	۶/۷۸	۷/۶۳	۶/۰۷	۳/۳۳	-	۴/۸۳	۸/۷۷
۲۶	32	۲۰۰۰	۴۴۶/۷	۴۴۶/۷	۴۴۲/۵	۱۱۰	۸۶/۳	۱/۱۳	۲/۵۸	۳/۱۷	۰/۰۰	۹/۶۶	۷/۷۸	۶/۱۰	۵/۴۵	-	۴/۸۳	۸/۷۷
۲۷	32	۲۰۰۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۴۲/۵	۱۱۰	۷۵/۳	۱/۱۳	۲/۵۸	۱/۵۹	۱/۴۳	۱۳/۷۶	۹/۸۹	۵/۹۱	۴/۵۰	-	۴/۵۱	۷/۶۹
۲۸	32	۲۵۰۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۴۲/۵	۱۱۰	۷۷/۶	۱/۶۹	۲/۵۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۳/۸۰	۴/۷۴	۴/۳۷	۶/۲۷	-	۲/۰۱	۵/۲۱
۲۹	32	۲۵۰۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۴۲/۵	۱۱۰	۷۷/۶	۱/۶۹	۲/۵۸	۰/۰۰	۱/۴۳	۶/۸۸	۷/۳۸	۴/۳۹	۷/۷۹	-	۴/۳۹	۵/۲۱
۳۰	32	۲۵۰۰	۴۴۶/۷	۴۴۶/۷	۴۴۲/۵	۱۱۰	۷۷/۶	۱/۶۹	۲/۵۸	۰/۰۰	۱/۴۳	۸/۲۲	۱۰/۰۴	۴/۳۹	۸/۱۹	-	۴/۵۸	۵/۲۱
۳۱	32	۲۵۰۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۴۲/۵	۱۱۰	۷۸	۱/۶۹	۲/۵۸	۱/۵۹	۰/۰۰	۴/۱۱	۴/۸۳	۴/۳۹	۷/۹۷	-	۴/۱۴	۵/۲۳
۳۲	32	۲۵۰۰	۴۴۶/۷	۴۴۶/۷	۴۴۲/۵	۱۱۰	۸۶/۳	۱/۶۹	۲/۵۸	۱/۵۹	۰/۰۰	۳/۹۰	۴/۹۳	۴/۴۸	۸/۷۷	-	۴/۷۸	۵/۷۹
۳۳	32	۲۵۰۰	۴۴۶/۷	۴۴۶/۷	۴۴۲/۵	۱۱۰	۸۶/۳	۱/۶۹	۲/۵۸	۳/۱۷	۰/۰۰	۵/۴۴	۵/۰۳	۴/۵۰	۰/۸۹	-	۴/۸۳	۵/۷۹
۳۴	32	۲۵۰۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۴۲/۵	۱۱۰	۷۸/۹	۱/۶۹	۲/۵۸	۱/۵۹	۱/۴۳	۹/۴۵	۱۰/۷۶	۴/۴۲	۰/۳۸	-	۴/۶۲	۵/۲۹
۳۵	33	۱۷۵۰	۳۸۵	۳۸۵	۴۴۸/۲	۱۱۰	۷۱/۲	۱/۶۹	۲/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۸	۱۱/۰۵	۱۰/۸۲	۶/۱۲	۲/۱۰	-	۳/۹۳	۸/۱۰
۳۶	33	۲۰۰۰	۳۸۵	۳۸۵	۴۴۸/۲	۱۱۰	۷۱/۲	۱/۱۲	۲/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۸	۱۰/۱۴	۸/۲۳	۵/۱۴	۹/۹۶	-	۳/۸۲	۶/۵۳
۳۷	33	۲۵۰۰	۳۸۵	۳۸۵	۴۴۸/۲	۱۱۰	۷۲/۱	۱/۶۷	۲/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۸	۵/۰۷	۵/۴۱	۳/۹۰	۶/۲۳	-	۲/۷۴	۴/۳۵
۳۸	33	۲۵۰۰	۳۸۵	۳۸۵	۴۴۸/۲	۱۱۰	۷۴/۱	۲/۷۹	۲/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۸	۳/۹۶	۳/۱۷	۲/۲۲	۰/۶۷	-	۲/۴۶	۲/۶۱
۳۹	33	۱۲۵۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۴۲/۵	۱۱۰	۶۹/۹	۰/۲۸	۲/۵۸	۰/۰۰	۰/۴۸	۱۷/۱۵	۲۳/۳۸	۱۴/۴۰	۸/۲۵	-	۳/۷۲	۸/۰۶
۴۰	33	۱۵۰۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۴۲/۵	۱۱۰	۶۴/۶	۰/۵۶	۲/۵۸	۰/۰۰	۰/۴۸	۱۵/۲۰	۱۵/۴۳	۸/۵۷	۴/۷۶	-	۳/۶۶	۷/۴۵
۴۱	33	۱۷۵۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۴۲/۵	۱۱۰	۶۴/۶	۰/۸۵	۲/۵۸	۰/۰۰	۰/۴۸	۱۰/۸۹	۱۱/۱۱	۶/۶۷	۲/۲۷	-	۳/۷۳	۷/۴۵
۴۲	33	۲۰۰۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۴۲/۵	۱۱۰	۶۸/۱	۱/۱۳	۲/۵۸	۰/۰۰	۰/۴۸	۵/۱۴	۸/۵۱	۵/۶۷	۰/۳۴	-	۳/۸۸	۷/۰۵
۴۳	33	۲۵۰۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۴۲/۵	۱۱۰	۶۸/۱	۱/۶۹	۲/۵۸	۰/۰۰	۰/۴۸	۳/۰۸	۵/۴۶	۴/۲۵	۶/۲۷	-	۲/۷۱	۴/۷۰
۴۴	33	۳۰۰۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۴۲/۵	۱۱۰	۶۹/۹	۲/۲۶	۲/۵۸	۰/۰۰	۰/۴۸	۲/۶۷	۳/۹۹	۳/۲۶	۳/۰۷	-	۲/۲۸	۳/۶۲
۴۵	33	۳۵۰۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۴۲/۵	۱۱۰	۵۴/۷	۲/۸۲	۲/۵۸	۰/۰۰	۰/۴۸	۳/۱۸	۲/۹۷	۲/۳۰	۰/۷۰	-	۲/۲۹	۲/۰۰
۴۶	33	۱۲۵۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۲۰	۱۱۰	۶۹/۹	۰/۳۰	۴/۰۸	۰/۰۰	۰/۴۸	۲۰/۰۲	۲۹/۴۲	۱۹/۷۶	۹/۴۷	-	۳/۷۴	۸/۴۹
۴۷	33	۱۵۰۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۲۰	۱۱۰	۶۴/۶	۰/۶۰	۴/۰۸	۰/۰۰	۰/۴۸	۱۵/۵۸	۱۸/۴۵	۱۱/۱۳	۴/۲۱	-	۲/۶۸	۷/۷۹
۴۸	33	۱۷۵۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۲۰	۱۱۰	۶۴/۶	۰/۸۹	۴/۰۸	۰/۰۰	۰/۴۸	۱۴/۵۰	۱۲/۷۷	۸/۴۰	۱/۲۹	-	۳/۷۶	۷/۸۴
۴۹	33	۲۰۰۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۲۰	۱۱۰	۶۸/۱	۱/۱۹	۴/۰۸	۰/۰۰	۰/۴۸	۱۱/۲۶	۹/۴۸	۷/۰۳	۹/۵۸	-	۳/۹۱	۷/۶۱
۵۰	33	۲۵۰۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۲۰	۱۱۰	۶۸/۱	۱/۷۹	۴/۰۸	۰/۰۰	۰/۴۸	۳/۲۵	۵/۷۴	۵/۱۴	۵/۲۱	-	۲/۸۲	۵/۰۷
۵۱	33	۳۰۰۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۲۰	۱۱۰	۶۹/۹	۲/۳۸	۴/۰۸	۰/۰۰	۰/۴۸	۴/۱۱	۴/۰۰	۳/۹۲	۲/۳۸	-	۲/۵۰	۳/۸۵
۵۲	33	۳۵۰۰	۳۵۳/۲	۳۵۳/۲	۴۲۰	۱۱۰	۵۴/۸	۲/۹۸	۴/۰۸	۰/۰۰	۰/۴۸	۲/۹۲	۲/۸۷	۲/۷۳	۱/۴۶	-	۲/۵۲	۳/۱۳
۵۳	33	۱۷۵۰	۳۸۵	۳۸۵	۳۹۷/۵	۱۱۰	۷۱/۲	۰/۹۴	۵/۸۰	۰/۰۰	۰/۴۸	۱۶/۰۱	۱۴/۶۵	۱۰/۷۲	۴/۹۵	-	۴/۰۰	۹/۱۳
۵۴	33	۲۰۰۰	۳۸۵	۳۸۵	۳۹۷/۵	۱۱۰	۷۱/۲	۱/۲۶	۵/۸۰	۰/۰۰	۰/۴۸	۱۲/۱۲	۱۰/۳۰	۸/۶۱	۲/۹۵	-	۴/۰۸	۷/۸۹
۵۵	33	۲۵۰۰	۳۸۵	۳۸۵	۳۹۷/۵	۱۱۰	۷۲/۱	۱/۸۹	۵/۸۰	۰/۰۰	۰/۴۸	۸/۹۲	۵/۹۴	۶/۱۹	۱/۰۴	-	۲/۹۹	۵/۳۳
۵۶	33	۳۵۰۰	۳۸۵	۳۸۵	۳۹۷/۵	۱۱۰	۷۴/۱	۳/۱۴	۵/۸۰	۰/۰۰	۰/۴۸	۶/۰۶	۲/۹۲	۳/۴۸	۳/۵۴	-	۳/۰۴	۳/۲۹
۵۷	34	۱۴۸۰	۳۹۲	۳۹۲	۵۲۰	۱۵۰	۲۳/۵	۰/۷۵	۱/۴۵	۰/۰۰	۰/۴۲	۴/۲۵	۵/۸۷	۲/۰۶	۵/۲۶	۴/۸۷	۲/۳۴	۲/۳۱
۵۸	34	۱۷۴۰	۳۹۲	۳۹۲	۵۲۰	۱۵۰	۲۳/۵	۱/۰۰	۱/۴۵	۰/۰۰	۰/۴۲	۳/۹۱	۴/۸۹	۲/۴۰	۴/۴۳	۵/۲۰	۲/۴۰	۲/۳۱
۵۹	34	۲۰۰۰	۳۹۲	۳۹۲	۵۲۰	۱۵۰	۲۳/۵	۱/۲۵	۱/۴۵	۰/۰۰	۰/۴۲	۳/۵۹	۴/۲۱	۲/۴۸	۵/۵۳	۵/۲۳	۲/۲۶	۲/۱۸
۶۰	34	۲۲۶۰	۳۹۲	۳۹۲	۵۲۰	۱۵۰	۲۳/۵	۱/۵۰	۱/۴۵	۰/۰۰	۰/۴۲	۳/۰۷	۳/۷۳	۲/۴۳	۳/۰۰	۵/۸۷	۱/۹۷	۱/۹۱
۶۱	34	۱۷۴۰	۳۹۲	۳۹۲	۵۲۰	۱۵۰	۲۳/											

افزایش مقدار شاخص میلگرد طولی نیز اثر مشابهی با مقاومت فشاری بتن بر V_{bd} دارد (شکل ۵-ب). اگرچه با افزایش a/d (نسبت دهانه‌ی برش به عمق مؤثر تیر) تأثیر این عامل به صفر می‌رسد (شکل ۵-ب). مهم‌ترین نمودار این بخش مقایسه اثر میلگردهای افقی و قائم بر V_{bd} است (شکل ۵-ج). همان‌طور که در شکل ۵-ج مشاهده می‌شود، حضور میلگردهای افقی در مقادیر معمولی (۵/۰ درصد با مقاومت کششی ۳۰۰ مگا پاسکال) تأثیر چندانی بر مقاومت برشی تیرهای عمیق بتن مسلح ندارند. مطابق این شکل حضور میلگردهای قائم می‌تواند تا ۳۳/۴ درصد افزایش در مقاومت برشی شود در حالی که میلگردهای قائم نهایتاً باعث ۴/۴ درصد افزایش در مقاومت برشی می‌شود. اثر مشارکت میلگردهای قائم و برشی نیز قابل‌توجه نبوده و به‌طور میانگین باعث ۲/۴ درصد افزایش بیشتر مقاومت برشی می‌شود (شکل ۵-ج).



شکل ۵. تحلیل اثر عوامل مختلف بر مقاومت برشی تیرهای عمیق بتن مسلح

جدول ۵. مقایسه‌ی آماری نتایج روابط تعیین ظرفیت برشی تیرهای عمیق بتن مسلح برای نمونه‌های آزمایشی

	آیین‌نامه‌ی بتن آمریکا [2]	مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان [17]	رابطه‌ی پیشنهادی	آشور و همکاران [11]	گندمی و همکاران [12]	چن و کاو [13]
$(V_{SC, آزمایشگاهی} / V_{SC, محاسباتی})$ میانگین	۱/۴۷	۲/۱۶	۰/۹۸	۱/۲۶	۱/۴۶	۰/۹۴*
R^2	۰/۶۲	۰/۴۰	۰/۷۸	۰/۶۵	۰/۷۱	۰/۲۸*
SAE	۱۹۹	۳۰۰	۱۱۲	۱۳۹	۱۹۰	۲۰*
SAEA	۲/۶۹	۴/۰۶	۱/۵۱	۱/۸۸	۲/۵۷	۱/۲۴*

* نتایج برای ۱۶ نمونه

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از نتایج ۲۴۰ نمونه آزمایشگاهی جمع آوری شده از مراجع علمی یک رابطه برای مقاومت برشی تیرهای عمیق بتن مسلح، بر اساس دیگر مشخصات این تیرها با استفاده از روش رابطه سازی ژنتیک تبیین شد. این رابطه با دیگر روش های ارائه شده در ادبیات این موضوع مقایسه شد. همچنین بر اساس این رابطه اثر عوامل مختلف بر مقاومت برشی تیرهای عمیق بتن مسلح بررسی شد. نتایج حاصل از این پژوهش به صورت زیر خلاصه می گردند.

*رابطه ی پیشنهادی توانست با دقت مناسبی نتایج نمونه هایی که در رابطه سازی نقشی نداشتند، را پیش بینی کند. همچنین دقت بالاتری نسبت به دیگر روش های معرفی شده تاکنون در تعیین مقاومت برشی تیرهای عمیق بتن مسلح داشت. با توجه به وسعت نمونه های استفاده شده برای رابطه سازی، رابطه پیشنهادی می تواند مقاومت برشی گسترده ی قابل توجهی از انواع تیرهای عمیق بتن مسلح را شبیه سازی کند.

*مقایسه روش مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان و بست و بند آیین نامه ی بتن آمریکا در طراحی تیرهای عمیق بتن مسلح نشان داد که نتایج روش بست و بند هم بستگی بیشتری با نتایج آزمایشگاهی دارند. طراحی مطابق با روش بست و بند منجر به ۲۷ درصد خطای کمتر یا به عبارتی دیگر ۲۷ درصد صرفه جویی در مصرف مصالح نسبت به روش مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان می شود. اگرچه هر دو روش طراحی از محافظه کاری بالایی برخوردار هستند و تقریباً نصف ظرفیت واقعی تیر را به عنوان بار طراحی پیشنهاد می کنند.

*تحلیل اثر عوامل مؤثر بر مقاومت برشی تیرهای عمیق بتن مسلح نشان داد که میلگردهای افقی جان نقش چندانی بر مقاومت برشی تیرهای عمیق ندارند. اثر افزایشی، افزایش مقاومت فشاری بتن بر مقاومت برشی تیر عمیق به مرور با افزایش مقاومت فشاری بتن کاهش می یابد. اثر میلگردهای طولی بر مقاومت برشی تیرهای عمیق نیز مشابه با مقاومت فشاری بتن بود.

فهرست علائم

A	متغیر رابطه ی آشور
A_s	مساحت فولاد کششی اصلی، mm^2
A_{sc}	مساحت فولاد فشاری اصلی، mm^2
A_v	سطح مقطع آرماتور برشی عمودی، mm^2
A_{vh}	سطح مقطع آرماتور برشی افقی، mm^2
B	متغیر رابطه ی آشور
B_s	شاخص میلگردهای اصلی، MPa
B_{sv}	شاخص میلگردهای قائم، MPa
B_{sh}	شاخص میلگرد افقی، MPa
b_w	عرض تیر، mm
C	متغیر رابطه ی آشور
d	عمق مؤثر تیر، mm
f_c	مقاومت فشاری بتن، MPa
f_{yh}	تنش تسلیم میلگردهای افقی (kN/mm^2)
f_{yv}	تنش تسلیم میلگردهای قائم (kN/mm^2)
l_n	طول دهانه ی آزاد تیر، mm
M_u	لنگر در مقطع بحرانی برش، N.mm
S_n	فاصله ی آرماتور برشی عمودی، mm
S_h	فاصله ی آرماتور برشی افقی، mm

V_{bd}	نیروی برشی اسکیل شده، MPa
V_C	نیروی مقاوم برشی تامین شده توسط بتن، N
V_T	نیروی برشی مقاوم مقطع، N
V_S	نیروی مقاوم برشی تامین شده توسط بتن، N
V_u	نیروی برشی در مقطع بحرانی برش، N
Φ_c	ضریب کاهش مقاومت بتن
Φ_s	ضریب کاهش مقاومت فولاد
ρ	نسبت فولاد اصلی مقطع بر حسب درصد
ρ_w	نسبت فولاد اصلی مقطع
ρ_h	نسبت میلگرد افقی بر حسب درصد
ρ_v	نسبت میلگردهای عمودی بر حسب درصد
λ	مقاومت برشی نرمال شده ی تیر

پیوست الف) مشخصات نمونه‌های آزمایشگاهی جمع‌آوری شده از منابع علمی
 مشخصات نمونه‌های آزمایشگاهی جمع‌آوری شده از منابع علمی برای رابطه‌سازی مقاومت برشی تیرهای عمیق بتن مسلح در جدول الف-۱ ارائه شده است.

جدول الف-۱: مشخصات نمونه‌های آزمایشگاهی جمع‌آوری شده از منابع علمی

ردیف	شماره	L	f_{yv}	f_{yh}	d	b	f_c	a/d	B_s (%)	B_{sh} (%)	B_{sv} (%)	$V_{\text{آزمایشگاهی}}$ $\frac{V}{bd}$
واحد	-	mm	MPa	MPa	mm	mm	MPa	-	-	-	-	MPa
۱	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۴/۶	۲/۳۴	۳/۱	.	۰/۳۸	۲/۸۱
۲	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۳/۶	۲/۳۴	۳/۱	.	۰/۳۸	۲/۶۴
۳	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۴/۶	۲/۳۴	۳/۱	.	۰/۳۸	۲/۸۱
۴	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۴/۸	۲/۳۴	۳/۱	.	۰/۳۸	۳/۰۹
۵	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۴/۴	۱/۹۵	۳/۱	.	۰/۳۷	۳/۵۲
۶	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۵/۴	۱/۹۵	۳/۱	.	۰/۳۷	۳/۲۴
۷	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۴/۷	۱/۹۵	۳/۱	.	۰/۳۷	۳/۶
۸	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۴/۳	۱/۹۵	۳/۱	.	۰/۳۷	۳/۳۹
۹	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۴/۶	۱/۹۵	۳/۱	.	۰/۳۷	۳/۰۵
۱۰	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۳/۲	۱/۹۵	۳/۱	.	۰/۷۳	۳/۸
۱۱	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۶/۳	۱/۹۵	۳/۱	.	۰/۷۳	۴/۰۷
۱۲	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۴/۹	۱/۹۵	۳/۱	.	۰/۷۳	۴/۲۳
۱۳	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۴۲/۱	۱/۹۵	۳/۱	.	۰/۳۷	۴/۷۹
۱۴	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۵/۶	۱/۵۶	۲/۰۷	.	۰/۳۴	۳/۵۱
۱۵	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۶/۳	۱/۵۶	۲/۰۷	.	۰/۳۴	۳/۹۳
۱۶	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۴	۱/۵۶	۲/۰۷	.	۰/۳۴	۳/۱۱
۱۷	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۹	۱/۵۶	۲/۰۷	.	۰/۳۴	۳/۶۱
۱۸	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۳/۶	۱/۵۶	۲/۰۷	.	۰/۶۹	۳/۶۶
۱۹	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۵	۱/۵۶	۲/۰۷	.	۰/۶۹	۳/۸
۲۰	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۴/۱	۱/۵۶	۲/۰۷	.	۰/۶۹	۴/۰۹
۲۱	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۷	۱/۵۶	۲/۰۷	.	۰/۶۹	۳/۶۴
۲۲	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۱۴/۱	۱/۵۶	۲/۰۷	.	۰/۳۴	۲/۸۳
۲۳	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۱۳/۸	۱/۵۶	۲/۰۷	.	۰/۳۴	۲/۵۳
۲۴	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۱۴/۹	۱/۵۶	۲/۰۷	.	۰/۳۴	۲/۴۸
۲۵	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۲۴/۵	۱/۵۶	۳/۱	.	۰/۳۴	۳/۹۱
۲۶	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۴۵/۲	۱/۵۶	۳/۱	.	۰/۳۴	۵/۳۵
۲۷	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۴۴/۷	۱/۵۶	۳/۱	.	۰/۳۴	۵/۴۹
۲۸	۲۱	۱۸۲۹	۳۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۲۰۳	۴۷/۶	۱/۵۶	۳/۱	.	۰/۳۴	۵/۴۱
۲۹	۲۱	۱۸۲۹	۳۳۵	۳۳۵	۳۹۰	۲۰۳	۲۶/۲	۱/۱۷	۱/۶۳	.	۰/۴۶	۳/۸
۳۰	۲۱	۱۸۲۹	۳۳۵	۳۳۵	۳۹۰	۲۰۳	۲۶/۱	۱/۱۷	۱/۶۳	.	۰/۴۶	۴/۵۱
۳۱	۲۱	۱۸۲۹	۳۳۵	۳۳۵	۳۹۰	۲۰۳	۲۴/۵	۱/۱۷	۱/۶۳	.	۰/۴۶	۳/۲۴
۳۲	۲۱	۲۴۳۸	۳۳۵	۳۳۵	۳۹۰	۲۰۳	۲۴	۱/۱۷	۱/۶۳	.	۰/۶۱	۳/۶۶
۳۳	۲۱	۲۴۳۸	۳۳۵	۳۳۵	۳۹۰	۲۰۳	۲۵/۹	۱/۱۷	۱/۶۳	.	۰/۶۱	۳/۹۴
۳۴	۲۱	۲۴۳۸	۳۳۵	۳۳۵	۳۹۰	۲۰۳	۲۴/۸	۱/۱۷	۱/۶۳	.	۰/۶۱	۴/۲۲
۳۵	۲۱	۲۴۳۸	۳۳۵	۳۳۵	۳۹۰	۲۰۳	۲۴/۵	۱/۱۷	۱/۶۳	.	۰/۶۱	۴/۲۳
۳۶	۲۱	۲۹۲۱	۳۳۵	۳۳۵	۳۹۰	۲۰۳	۲۸/۲	۱/۱۷	۲/۴۴	.	۰/۹۲	۴/۹۹
۳۷	۲۱	۳۰۴۸	۳۳۵	۳۳۵	۳۹۰	۲۰۳	۲۳/۱	۱/۱۷	۱/۶۳	.	۱/۲۲	۳/۹۴
۳۸	۲۲	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۳۴۹	۷۶	۲۴/۲	۰/۶۲	۰/۲۷	.	.	۲/۱
۳۹	۲۲	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۳۴۹	۷۶	۲۰/۴	۰/۴۵	۰/۲	.	.	۲/۱۹
۴۰	۲۲	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۵۴۰	۷۹	۲۳/۳	۰/۴	۰/۱۷	.	.	۲/۴۷
۴۱	۲۲	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۷۳۰	۷۶	۲۷/۳	۰/۳	۰/۱۳	.	.	۲/۸۷
۴۲	۲۲	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۷۳۰	۸۰	۱۲/۳	۰/۳	۰/۱۲	.	.	۱/۸۴
۴۳	۲۲	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۳۴۹	۷۶	۲۰/۴	۰/۶۲	۰/۷۴	.	.	۲/۵۱
۴۴	۲۲	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۴۷۶	۷۶	۲۱/۳	۰/۴۵	۰/۵۵	.	.	۲/۴۵

ردیف	شماره	L	f_{yv}	f_{yh}	d	b	f_c	a/d	B_s (%)	B_{sh} (%)	B_{sv} (%)	V آزمایشگاهی
واحد	-	mm	MPa	MPa	mm	mm	MPa	-	-	-	-	$\frac{bd}{MPa}$
۴۵	(۲۲)	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۵۴۰	۷۹	۲۴/۸	۰/۴	۰/۴۷	.	.	۲/۸۶
۴۶	(۲۲)	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۷۳۰	۷۹	۲۸/۴	۰/۳	۰/۳۴	.	.	۳/۲۴
۴۷	(۲۲)	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۳۴۹	۷۶	۲۱/۶	۰/۶۲	۰/۷۴	.	.	۳/۳۴
۴۸	(۲۲)	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۴۷۶	۷۹	۲۴/۴	۰/۴۵	۰/۵۳	.	.	۳/۶۹
۴۹	(۲۲)	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۵۴۰	۷۶	۱۹/۶	۰/۴	۰/۴۸	.	.	۲/۸۴
۵۰	(۲۲)	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۷۳۰	۷۹	۱۶/۴	۰/۳	۰/۳۴	.	.	۲/۳۷
۵۱	(۲۲)	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۳۴۹	۷۹	۱۵/۲	۰/۶۲	۰/۲۶	.	.	۴/۰۱
۵۲	(۲۲)	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۳۴۹	۷۹	۱۲/۶	۰/۶۲	۰/۲۶	.	.	۲/۸۲
۵۳	(۲۲)	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۴۷۶	۸۰	۱۴	۰/۴۵	۰/۱۹	.	.	۴/۲
۵۴	(۲۲)	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۴۷۶	۷۹	۱۴/۳	۰/۴۵	۰/۱۹	.	.	۲/۷۲
۵۵	(۲۲)	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۵۴۰	۷۹	۱۴/۸	۰/۴	۰/۱۷	.	.	۲/۷۹
۵۶	(۲۲)	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۷۳۰	۸۰	۱۳/۸	۰/۳	۰/۱۲	.	.	۲/۵۵
۵۷	(۲۲)	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۷۳۰	۷۹	۱۰/۶	۰/۳	۰/۱۲	.	.	۲/۲۷
۵۸	(۲۲)	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۳۴۹	۸۱	۱۳/۳	۰/۶۲	۰/۲۵	.	.	۳/۶۴
۵۹	(۲۲)	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۳۴۹	۷۹	۱۱/۲	۰/۶۲	۰/۲۶	.	.	۳/۷۸
۶۰	(۲۲)	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۴۷۶	۸۱	۱۳/۹	۰/۴۵	۰/۱۸	.	.	۲/۵۱
۶۱	(۲۲)	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۴۷۶	۷۹	۱۲/۴	۰/۴۵	۰/۱۹	.	.	۲/۴۲
۶۲	(۲۲)	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۵۴۰	۸۱	۱۴/۸	۰/۴	۰/۱۶	.	.	۲/۵۷
۶۳	(۲۲)	۶۹۰	۳۲۶	۳۲۶	۷۳۰	۸۰	۱۴/۷	۰/۳	۰/۱۲	.	.	۱/۸۸
۶۴	(۲۳)	۷۶۰	.	۲۸۰	۷۲۴	۷۶	۲۱/۵	۰/۳۵	۰/۵۲	.	۲/۴۵	۴/۳۴
۶۵	(۲۳)	۷۶۴	.	۲۸۰	۵۹۷	۷۶	۲۴/۶	۰/۴۳	۰/۶۲	.	۲/۴۵	۴/۹۴
۶۶	(۲۳)	۷۶۱	.	۲۸۰	۴۷۰	۷۶	۲۱/۲	۰/۵۴	۰/۷۹	.	۲/۴۵	۵/۳۲
۶۷	(۲۳)	۷۶۱	.	۲۸۰	۳۴۳	۷۶	۲۱/۲	۰/۷۴	۱/۰۹	.	۲/۴۵	۶/۲۹
۶۸	(۲۳)	۷۶۲	.	۲۸۰	۲۱۶	۷۶	۲۱/۷	۱/۱۸	۱/۷۳	.	۲/۴۵	۵/۴۸
۶۹	(۲۳)	۷۶۰	.	۳۰۳	۷۲۴	۷۶	۱۹/۲	۰/۳۵	۰/۵۲	.	۰/۸۶	۴/۵۳
۷۰	(۲۳)	۷۶۴	.	۳۰۳	۵۹۷	۷۶	۱۸/۶	۰/۴۳	۰/۶۲	.	۰/۸۶	۴/۹۴
۷۱	(۲۳)	۷۶۱	.	۳۰۳	۴۷۰	۷۶	۱۹/۹	۰/۵۴	۰/۷۹	.	۰/۸۶	۶/۰۵
۷۲	(۲۳)	۷۶۱	.	۳۰۳	۳۴۳	۷۶	۲۲/۸	۰/۷۴	۱/۰۹	.	۰/۸۶	۵/۳۷
۷۳	(۲۳)	۷۶۲	.	۳۰۳	۲۱۶	۷۶	۲۰/۱	۱/۱۸	۱/۷۳	.	۰/۸۶	۶/۰۹
۷۴	(۲۳)	۷۶۰	۲۸۰	.	۷۲۴	۷۶	۲۲/۶	۰/۳۵	۰/۵۲	۲/۴۵	.	۵/۰۲
۷۵	(۲۳)	۷۶۴	۲۸۰	.	۵۹۷	۷۶	۲۱	۰/۴۳	۰/۶۲	۲/۴۵	.	۴/۹۸
۷۶	(۲۳)	۷۶۱	۲۸۰	.	۴۷۰	۷۶	۱۹/۲	۰/۵۴	۰/۷۹	۲/۴۵	.	۵/۸۲
۷۷	(۲۳)	۷۶۱	۲۸۰	.	۳۴۳	۷۶	۲۱/۹	۰/۷۴	۱/۰۹	۲/۴۵	.	۶/۱
۷۸	(۲۳)	۷۶۲	۲۸۰	.	۲۱۶	۷۶	۲۲/۶	۱/۱۸	۱/۷۳	۲/۴۵	.	۵/۳
۷۹	(۲۳)	۷۶۰	۳۰۳	.	۷۲۴	۷۶	۲۲	۰/۳۵	۰/۵۲	۰/۸۶	.	۴/۴
۸۰	(۲۳)	۷۶۴	۳۰۳	.	۵۹۷	۷۶	۲۱	۰/۴۳	۰/۶۲	۰/۸۶	.	۴/۴۳
۸۱	(۲۳)	۷۶۱	۳۰۳	.	۴۷۰	۷۶	۲۰/۱	۰/۵۴	۰/۷۹	۰/۸۶	.	۵/۰۷
۸۲	(۲۳)	۷۶۱	۳۰۳	.	۳۴۳	۷۶	۲۲	۰/۷۴	۱/۰۹	۰/۸۶	.	۴/۲۲
۸۳	(۲۳)	۷۶۲	۳۰۳	.	۲۱۶	۷۶	۲۲/۶	۱/۱۸	۱/۷۳	۰/۸۶	.	۵/۸۵
۸۴	(۲۳)	۷۶۰	۲۸۰	۲۸۰	۷۲۴	۷۶	۱۸/۶	۰/۳۵	۰/۵۲	۰/۶۱	۰/۶۱	۴/۳۶
۸۵	(۲۳)	۷۶۴	۲۸۰	۲۸۰	۵۹۷	۷۶	۱۹/۲	۰/۴۳	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۶۱	۴/۵۸
۸۶	(۲۳)	۷۶۱	۲۸۰	۲۸۰	۴۷۰	۷۶	۲۰/۱	۰/۵۴	۰/۷۹	۰/۶۱	۰/۶۱	۴/۸۴
۸۷	(۲۳)	۷۶۱	۲۸۰	۲۸۰	۳۴۳	۷۶	۲۱/۹	۰/۷۴	۱/۰۹	۰/۶۱	۰/۶۱	۴/۸۷
۸۸	(۲۳)	۷۶۲	۲۸۰	۲۸۰	۲۱۶	۷۶	۲۲/۶	۱/۱۸	۱/۷۳	۰/۶۱	۰/۶۱	۴/۷۵
۸۹	(۲۴)	۶۱۵	۴۱۰	۴۱۰	۴۱۰	۱۰۰	۳۳/۸	۰/۳	۰/۴۸	.	.	۱۰/۸۵
۹۰	(۲۴)	۶۱۵	۴۱۰	۴۱۰	۴۱۰	۱۰۰	۳۵/۲	۰/۳	۰/۴۸	.	.	۱۰/۸۵
۹۱	(۲۴)	۸۲۰	۴۱۰	۴۱۰	۴۱۰	۱۰۰	۳۱/۹	۰/۳	۰/۴۸	.	.	۸/۹۵
۹۲	(۲۴)	۱۰۲۵	۴۱۰	۴۱۰	۴۱۰	۱۰۰	۳۱/۹	۰/۳	۰/۴۸	.	.	۹/۷۶
۹۳	(۲۴)	۸۲۰	۴۱۰	۴۱۰	۴۱۰	۱۰۰	۳۴/۳	۰/۶۵	۰/۴۸	.	.	۶/۹۴
۹۴	(۲۴)	۱۰۲۵	۴۱۰	۴۱۰	۴۱۰	۱۰۰	۳۷/۴	۰/۶۵	۰/۴۸	.	.	۶/۵۶
۹۵	(۲۴)	۱۲۳۰	۴۱۰	۴۱۰	۴۱۰	۱۰۰	۳۴	۰/۶۵	۰/۴۸	.	.	۷/۳۲
۹۶	(۲۴)	۱۴۳۵	۴۱۰	۴۱۰	۴۱۰	۱۰۰	۳۸/۹	۱	۰/۴۸	.	.	۶/۸۳
۹۷	(۲۴)	۱۰۲۵	۴۱۰	۴۱۰	۴۱۰	۱۰۰	۳۷/۶	۱	۰/۴۸	.	.	۴/۶۱
۹۸	(۲۴)	۱۲۳۰	۴۱۰	۴۱۰	۴۱۰	۱۰۰	۴۴/۸	۱	۰/۴۸	.	.	۴/۰۱
۹۹	(۲۴)	۱۴۳۵	۴۱۰	۴۱۰	۴۱۰	۱۰۰	۳۷/۲	۱	۰/۴۸	.	.	۴/۱۸
۱۰۰	(۲۴)	۱۶۴۰	۴۱۰	۴۱۰	۴۱۰	۱۰۰	۳۳/۷	۱	۰/۴۸	.	.	۴/۱۸
۱۰۱	(۲۵)	۸۱۴	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۰/۵	۱	۱/۹۴	.	.	۴/۴۸
۱۰۲	(۲۵)	۸۱۴	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۰/۹	۱	۱/۹۴	.	.	۴/۳۷
۱۰۳	(۲۵)	۸۱۴	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۸/۷	۱	۱/۹۴	۰/۲۳	۰/۲۸	۵/۱۸
۱۰۴	(۲۵)	۸۱۴	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۸	۱	۱/۹۴	۰/۴۵	۰/۲۸	۴/۷۷
۱۰۵	(۲۵)	۸۱۴	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۶/۱	۱	۱/۹۴	۰/۶۸	۰/۲۸	۴/۵۴
۱۰۶	(۲۵)	۸۱۴	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۰/۵	۱	۱/۹۴	۰/۶۸	۰/۲۸	۵/۴۹
۱۰۷	(۲۵)	۸۱۴	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۱/۱	۱	۱/۹۴	۰/۹۱	۰/۲۸	۵/۹۲
۱۰۸	(۲۵)	۸۱۴	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۱/۷	۱	۱/۹۴	۰/۲۳	۰/۶۳	۵/۶۱
۱۰۹	(۲۵)	۸۱۴	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۹/۸	۱	۱/۹۴	۰/۴۵	۰/۶۳	۵/۴۸
۱۱۰	(۲۵)	۸۱۴	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۰/۳	۱	۱/۹۴	۰/۶۸	۰/۶۳	۵/۵۳
۱۱۱	(۲۵)	۸۱۴	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۹/۱	۱	۱/۹۴	۰/۹۱	۰/۶۳	۵/۲
۱۱۲	(۲۵)	۸۱۴	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۸/۴	۱	۱/۹۴	۰/۲۳	۱/۲۵	۵/۱۸
۱۱۳	(۲۵)	۸۱۴	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۹/۲	۱	۱/۹۴	۰/۴۵	۱/۲۵	۵/۵۵
۱۱۴	(۲۵)	۸۱۴	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۰/۸	۱	۱/۹۴	۰/۶۸	۱/۲۵	۵/۷۴
۱۱۵	(۲۵)	۸۱۴	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۹/۹	۱	۱/۹۴	۰/۹۱	۱/۲۵	۵/۴
۱۱۶	(۲۵)	۹۳۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۱/۷	۱/۲۱	۱/۹۴	.	.	۴/۷۹
۱۱۷	(۲۵)	۹۳۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۲/۱	۱/۲۱	۱/۹۴	۰/۲۳	۰/۲۴	۴/۷۴
۱۱۸	(۲۵)	۹۳۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۰/۱	۱/۲۱	۱/۹۴	۰/۴۵	۰/۲۴	۴/۶۲
۱۱۹	(۲۵)	۹۳۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۰/۸	۱/۲۱	۱/۹۴	۰/۶۸	۰/۲۴	۴/۵۱
۱۲۰	(۲۵)	۹۳۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۹/۵	۱/۲۱	۱/۹۴	۰/۹۱	۰/۲۴	۴/۹۳
۱۲۱	(۲۵)	۹۳۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۹/۲	۱/۲۱	۱/۹۴	۰/۲۳	۰/۴۲	۴/۱۵
۱۲۲	(۲۵)	۹۳۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۹	۱/۲۱	۱/۹۴	۰/۴۵	۰/۴۲	۴/۲۲
۱۲۳	(۲۵)	۹۳۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۷/۵	۱/۲۱	۱/۹۴	۰/۶۸	۰/۴۲	۴/۰۵
۱۲۴	(۲۵)	۹۳۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۱/۸	۱/۲۱	۱/۹۴	۰/۶۸	۰/۴۲	۴/۸۲
۱۲۵	(۲۵)	۹۳۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۹/۸	۱/۲۱	۱/۹۴	۰/۹۱	۰/۴۲	۴/۶۷
۱۲۶	(۲۵)	۹۳۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۶/۲	۱/۲۱	۱/۹۴	۰/۲۳	۰/۶۳	۴/۲
۱۲۷	(۲۵)	۹۳۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۰/۴	۱/۲۱	۱/۹۴	۰/۲۳	۰/۷۷	۵/۱۱
۱۲۸	(۲۵)	۹۳۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۹	۱/۲۱	۱/۹۴	۰/۴۵	۰/۷۷	۵/۰۹

ردیف	شماره	L	f_{yv}	f_{yh}	d	b	f_c	a/d	B_s (%)	B_{sh} (%)	B_{sv} (%)	V آزمایشگاهی
واحد	-	mm	MPa	MPa	mm	mm	MPa	-	-	-	-	$\frac{bd}{MPa}$
۱۲۹	(۲۵)	۹۳۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۹/۲	۱/۲۱	۱/۹۴	-/۶۸	-/۷۷	۴/۹۸
۱۳۰	(۲۵)	۹۳۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۰/۶	۱/۲۱	۱/۹۴	-/۹۱	-/۷۷	۵/۳۴
۱۳۱	(۲۵)	۹۳۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۷/۱	۱/۲۱	۱/۹۴	-/۲۳	۱/۲۵	۴/۹۳
۱۳۲	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۰/۷	۱/۵	۱/۹۴	-	-	۳/۷۲
۱۳۳	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۹/۲	۱/۵	۱/۹۴	-/۲۳	-/۱۸	۳/۸۳
۱۳۴	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۱/۹	۱/۵	۱/۹۴	-/۴۵	-/۱۸	۳/۹۷
۱۳۵	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۲/۷	۱/۵	۱/۹۴	-/۶۸	-/۱۸	۴/۲۱
۱۳۶	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۱/۸	۱/۵	۱/۹۴	-/۹۱	-/۱۸	۳/۹۳
۱۳۷	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۹/۹	۱/۵	۱/۹۴	-/۲۳	-/۳۱	۳/۹۹
۱۳۸	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۹/۲	۱/۵	۱/۹۴	-/۴۵	-/۳۱	۳/۳۳
۱۳۹	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۹/۳	۱/۵	۱/۹۴	-/۴۵	-/۳۱	۳/۷۱
۱۴۰	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۰/۴	۱/۵	۱/۹۴	-/۶۸	-/۳۱	۴/۰۱
۱۴۱	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۰/۸	۱/۵	۱/۹۴	-/۹۱	-/۳۱	۳/۹۹
۱۴۲	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۱	۱/۵	۱/۹۴	-/۲۳	-/۵۶	۴/۵۳
۱۴۳	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۶/۵	۱/۵	۱/۹۴	-/۴۵	-/۵۶	۴/۰۲
۱۴۴	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۸/۲	۱/۵	۱/۹۴	-/۶۸	-/۵۶	۴/۱
۱۴۵	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۹	۱/۵	۱/۹۴	-/۹۱	-/۵۶	۴/۴۱
۱۴۶	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۹/۶	۱/۵	۱/۹۴	-/۲۳	-/۷۷	۴/۷۱
۱۴۷	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۸/۵	۱/۵	۱/۹۴	-/۴۵	-/۶۳	۴/۱۳
۱۴۸	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۹/۲	۱/۵	۱/۹۴	-/۴۵	-/۷۷	۴/۹
۱۴۹	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۸/۵	۱/۵	۱/۹۴	-/۶۸	-/۷۷	۴/۹۱
۱۵۰	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۲۱/۲	۱/۵	۱/۹۴	-/۹۱	-/۷۷	۵/۱۳
۱۵۱	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۹/۵	۲/۰۸	۱/۹۴	-	-	۲/۳۶
۱۵۲	(۲۵)	۱۱۱۹	۴۸۴	۴۸۴	۳۰۵	۱۰۲	۱۶/۱	۲/۰۸	۱/۹۴	-/۲۳	-/۴۲	۲/۸۱
۱۵۳	(۲۶)	۱۰۰۰	۵۰۵	۳۷۵	۴۶۳	۱۱۰	۵۸/۸	۰/۲۷	۱/۲۳	-	-/۴۸	۱۴/۲۵
۱۵۴	(۲۶)	۱۵۰۰	۵۰۵	۳۷۵	۴۶۳	۱۱۰	۵۱/۶	۰/۲۷	۱/۲۳	-	-/۴۸	۱۴/۳۷
۱۵۵	(۲۶)	۲۰۰۰	۵۰۵	۳۷۵	۴۶۳	۱۱۰	۵۳/۹	۰/۲۷	۱/۲۳	-	-/۴۸	۱۴/۵۷
۱۵۶	(۲۶)	۲۵۰۰	۵۰۵	۳۷۵	۴۶۳	۱۱۰	۵۷/۳	۰/۲۷	۱/۲۳	-	-/۴۸	۱۴/۳۷
۱۵۷	(۲۶)	۱۰۰۰	۵۰۵	۳۷۵	۴۶۳	۱۱۰	۵۶	۰/۵۴	۱/۲۳	-	-/۴۸	۹/۱۹
۱۵۸	(۲۶)	۱۵۰۰	۵۰۵	۳۷۵	۴۶۳	۱۱۰	۴۵/۷	۰/۵۴	۱/۲۳	-	-/۴۸	۸/۷۴
۱۵۹	(۲۶)	۲۰۰۰	۵۰۵	۳۷۵	۴۶۳	۱۱۰	۵۳/۹	۰/۵۴	۱/۲۳	-	-/۴۸	۹/۸۲
۱۶۰	(۲۶)	۲۵۰۰	۵۰۵	۳۷۵	۴۶۳	۱۱۰	۵۲	۰/۵۴	۱/۲۳	-	-/۴۸	۹/۴۳
۱۶۱	(۲۶)	۱۰۰۰	۵۰۵	۳۷۵	۴۶۳	۱۱۰	۵۱/۲	۰/۸۱	۱/۲۳	-	-/۴۸	۷/۹۱
۱۶۲	(۲۶)	۱۵۰۰	۵۰۵	۳۷۵	۴۶۳	۱۱۰	۴۴	۰/۸۱	۱/۲۳	-	-/۴۸	۷/۸۵
۱۶۳	(۲۶)	۱۰۰۰	۵۰۵	۳۷۵	۴۶۳	۱۱۰	۴۸/۲	۱/۰۸	۱/۲۳	-	-/۴۸	۵/۳
۱۶۴	(۲۶)	۱۵۰۰	۵۰۵	۳۷۵	۴۶۳	۱۱۰	۴۴/۱	۱/۰۸	۱/۲۳	-	-/۴۸	۵/۵
۱۶۵	(۲۶)	۲۰۰۰	۵۰۵	۳۷۵	۴۶۳	۱۱۰	۴۶/۸	۱/۰۸	۱/۲۳	-	-/۴۸	۵/۶۹
۱۶۶	(۲۶)	۲۵۰۰	۵۰۵	۳۷۵	۴۶۳	۱۱۰	۴۸	۱/۰۸	۱/۲۳	-	-/۴۸	۵/۶۹
۱۶۷	(۲۶)	۱۵۰۰	۵۰۵	۳۷۵	۴۶۳	۱۱۰	۵۰/۶	۱/۶۲	۱/۲۳	-	-/۴۸	۴/۳۲
۱۶۸	(۲۶)	۲۰۰۰	۵۰۵	۳۷۵	۴۶۳	۱۱۰	۴۴/۶	۱/۶۲	۱/۲۳	-	-/۴۸	۳/۷۳
۱۶۹	(۲۶)	۲۵۰۰	۵۰۵	۳۷۵	۴۶۳	۱۱۰	۴۵/۳	۱/۶۲	۱/۲۳	-	-/۴۸	۴/۴
۱۷۰	(۲۶)	۲۰۰۰	۵۰۵	۳۷۵	۴۶۳	۱۱۰	۴۱/۱	۲/۱۶	۱/۲۳	-	-/۴۸	۲/۹۵
۱۷۱	(۲۶)	۲۵۰۰	۵۰۵	۳۷۵	۴۶۳	۱۱۰	۴۲/۸	۲/۷	۱/۲۳	-	-/۴۸	۲/۰۶
۱۷۲	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۲۳/۷	-/۸۵	۱/۵۶	-	-	۴/۰۸
۱۷۳	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۲۳/۷	-/۸۵	۱/۵۶	-/۴۳	-/۱۲	۴/۳۷
۱۷۴	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۲۳/۷	-/۸۵	۱/۵۶	-/۴۳	-/۲۲	۵/۸
۱۷۵	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۲۳/۷	-/۸۵	۱/۵۶	-/۴۳	-/۳۴	۵/۵
۱۷۶	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۴۹/۱	-/۵	۱/۵۶	-	-	۹/۸۸
۱۷۷	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۴۹/۱	-/۵	۱/۵۶	-/۴۳	-/۱۲	۱۰/۹۷
۱۷۸	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۴۹/۱	-/۵	۱/۵۶	-/۴۳	-/۲۲	۱۰/۸۶
۱۷۹	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۴۹/۱	-/۵	۱/۵۶	-/۴۳	-/۳۴	۱۰/۹
۱۸۰	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۴۹/۱	-/۸۵	۱/۵۶	-	-	۶/۱۷
۱۸۱	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۴۹/۱	-/۸۵	۱/۵۶	-/۴۳	-/۱۲	۷/۵۱
۱۸۲	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۴۹/۱	-/۸۵	۱/۵۶	-/۴۳	-/۲۲	۷/۰۲
۱۸۳	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۴۹/۱	-/۸۵	۱/۵۶	-/۴۳	-/۳۴	۶/۴۷
۱۸۴	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۴۹/۱	۱/۲۵	۱/۵۶	-	-	۵/۱۹
۱۸۵	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۴۹/۱	۱/۲۵	۱/۵۶	-/۴۳	-/۱۲	۵/۳۴
۱۸۶	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۴۹/۱	۱/۲۵	۱/۵۶	-/۴۳	-/۲۲	۵/۸۶
۱۸۷	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۴۹/۱	۱/۲۵	۱/۵۶	-/۴۳	-/۳۴	۶/۱۹
۱۸۸	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۴۹/۱	۲	۱/۵۶	-	-	۱/۷۳
۱۸۹	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۴۹/۱	۲	۱/۵۶	-/۴۳	-/۱۲	۳/۲۴
۱۹۰	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۴۹/۱	۲	۱/۵۶	-/۴۳	-/۲۲	۳/۶۵
۱۹۱	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۴۹/۱	۲	۱/۵۶	-/۴۳	-/۳۴	۳/۶۲
۱۹۲	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۵۰/۷	-/۵	۱/۲۹	-	-/۱۳	۵/۷۹
۱۹۳	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۵۰/۷	-/۵	۱/۲۹	-/۲۳	-/۱۳	۶/۶۳
۱۹۴	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۵۰/۷	-/۵	۱/۲۹	-/۴۷	-/۱۳	۸/۱۷
۱۹۵	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۵۰/۷	-/۵	۱/۲۹	-/۹۴	-/۱۳	۷/۵۸
۱۹۶	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۵۰/۷	-/۸۵	۱/۲۹	-/۴۷	-/۱۳	۶/۵۴
۱۹۷	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۵۰/۷	-/۸۵	۱/۲۹	-/۴۷	-/۲۴	۶/۰۱
۱۹۸	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۵۰/۷	-/۸۵	۱/۲۹	-/۴۷	-/۳۷	۶/۲۳
۱۹۹	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۵۰/۷	۱/۲۵	۱/۲۹	-	-/۱۳	۳/۵۶
۲۰۰	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۵۰/۷	۱/۲۵	۱/۲۹	-/۲۳	-/۱۳	۴/۳۴
۲۰۱	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۵۰/۷	۱/۲۵	۱/۲۹	-/۴۷	-/۱۳	۴/۶۱
۲۰۲	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۵۰/۷	۱/۲۵	۱/۲۹	-/۹۴	-/۱۳	۴/۸۵
۲۰۳	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۵۰/۷	۲	۱/۲۹	-/۴۶	-/۱۳	۲/۷۵
۲۰۴	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۷۳/۶	-/۵	۱/۲۹	-	-/۱۳	۷/۳
۲۰۵	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۷۳/۶	-/۵	۱/۲۹	-/۲۳	-/۱۳	۹/۰۳
۲۰۶	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۷۳/۶	-/۵	۱/۲۹	-/۴۷	-/۱۳	۹/۱۴
۲۰۷	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۷۳/۶	-/۵	۱/۲۹	-/۹۴	-/۱۳	۹/۱۱
۲۰۸	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۷۳/۶	-/۸۵	۱/۲۹	-/۴۷	-/۱۳	۶/۹۶
۲۰۹	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۷۳/۶	-/۸۵	۱/۲۹	-/۴۷	-/۲۴	۶/۸۴
۲۱۰	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۷۳/۶	-/۸۵	۱/۲۹	-/۴۷	-/۳۷	۶/۸
۲۱۱	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۷۳/۶	۱/۲۵	۱/۲۹	-	-/۱۳	۴/۸۵
۲۱۲	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰</									

ردیف	شماره	L	f_{yv}	f_{yh}	d	b	f_c	a/d	B_s (%)	B_{sh} (%)	B_{sv} (%)	آزمایشگاهی V
واحد	-	mm	MPa	MPa	mm	mm	MPa	-	-	-	-	$\frac{bd}{MPa}$
۲۱۳	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۷۳/۶	۱/۲۵	۱/۲۹	۰/۴۷	۰/۱۳	۵/۶۴
۲۱۴	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۷۳/۶	۱/۲۵	۱/۲۹	۰/۹۴	۰/۱۳	۵/۵۵
۲۱۵	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۲۰	۷۳/۶	۲	۱/۲۹	۰/۴۷	۰/۱۳	۳/۵۶
۲۱۶	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۳۰	۲۳/۷	۱/۲۵	۱/۵۶	۰/۴۳	۰/۱۲	۳/۵۱
۲۱۷	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۳۰	۲۳/۷	۱/۲۵	۱/۵۶	۰/۴۳	۰/۱۲	۳/۹۲
۲۱۸	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۳۰	۲۳/۷	۱/۲۵	۱/۵۶	۰/۴۳	۰/۱۲	۳/۱۹
۲۱۹	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۳۰	۴۹/۱	۰/۵	۱/۵۶	۰/۴۳	۰/۱۲	۱۱/۴۷
۲۲۰	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۳۰	۴۹/۱	۰/۸۵	۱/۵۶	۰/۴۳	۰/۱۲	۸/۱۵
۲۲۱	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۳۰	۴۹/۱	۱/۲۵	۱/۵۶	۰/۴۳	۰/۱۲	۵/۸۱
۲۲۲	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۳۰	۴۹/۱	۰/۵	۱/۵۶	۰/۴۳	۰/۱۲	۱۰/۸
۲۲۳	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۳۰	۴۹/۱	۰/۸۵	۱/۵۶	۰/۴۳	۰/۱۲	۸/۷۳
۲۲۴	(۲۷)	۲۰۰۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۰۰	۱۳۰	۴۹/۱	۱/۲۵	۱/۵۶	۰/۴۳	۰/۱۲	۵/۵۸
۲۲۵	(۲۸)	۴۱۶۵	۴۲۰	۴۵۰	۷۹۱	۳۰۵	۲۲	۱/۱۶	۱/۲۷	۰/۳۵	۰/۳۱	۵/۶۲
۲۲۶	(۲۸)	۴۱۶۵	۴۲۰	۴۵۰	۷۱۸	۳۰۵	۲۲	۱/۲۷	۱/۴	۰/۱۳	۰/۳۱	۵/۱۸
۲۲۷	(۲۸)	۴۱۶۵	۴۲۰	۴۵۰	۸۰۱	۳۰۵	۲۸	۱/۱۴	۱/۲۵	۰/۰۶	۰/۳۱	۵/۲۶
۲۲۸	(۲۸)	۴۱۶۵	۴۲۰	۴۵۰	۸۰۱	۳۰۵	۲۸	۱/۱۴	۱/۲۵	۰	۰/۱	۵/۲۳
۲۲۹	(۲۹)	۱۳۸۰	۴۱۰	۴۱۰	۳۷۰	۱۵۰	۲۲	۱/۴۲	۲/۷۹	۰/۱	۰/۲۸	۴/۵۲
۲۳۰	(۲۹)	۱۳۸۰	۴۱۰	۴۱۰	۳۷۰	۱۵۰	۲۲	۱/۴۲	۲/۷۹	۰/۱	۰/۲۸	۴/۲۷
۲۳۱	(۲۹)	۱۳۸۰	۴۱۰	۴۱۰	۳۷۰	۱۵۰	۲۲	۱/۴۲	۲/۷۹	۰	۰	۳/۹۸
۲۳۲	(۲۹)	۱۳۸۰	۴۱۰	۴۱۰	۳۷۰	۱۵۰	۲۲	۱/۴۲	۲/۷۹	۰	۰	۳/۵۲
۲۳۳	(۲۹)	۱۳۸۰	۴۱۰	۴۱۰	۳۷۵	۱۵۰	۳۲/۴	۰/۸۹	۲/۰۴	۰/۱	۰/۲۳	۸/۱۱
۲۳۴	(۲۹)	۱۳۸۰	۴۱۰	۴۱۰	۳۷۵	۱۵۰	۳۲/۴	۰/۸۹	۲/۰۴	۰/۱	۰/۲۳	۷/۵۷
۲۳۵	(۲۹)	۱۳۸۰	۴۱۰	۴۱۰	۳۷۵	۱۵۰	۳۲/۴	۰/۸۱	۲/۰۴	۰	۰	۸/۳۲
۲۳۶	(۲۹)	۱۳۸۰	۴۱۰	۴۱۰	۳۷۵	۱۵۰	۳۲/۴	۰/۸۱	۲/۰۴	۰	۰	۸/۱۶
۲۳۷	(۲۹)	۱۳۸۰	۴۱۰	۴۱۰	۳۸۰	۱۰۰	۵۰/۳	۱/۵۷	۴/۰۸	۰/۱۵	۰/۳۸	۶/۹۷
۲۳۸	(۲۹)	۱۳۸۰	۴۱۰	۴۱۰	۳۸۰	۱۰۰	۵۰/۳	۱/۴۳	۴/۰۸	۰	۰	۷/۶۸
۲۳۹	(۲۹)	۱۳۸۰	۴۱۰	۴۱۰	۳۸۰	۱۰۰	۵۰/۳	۰/۹	۴/۰۸	۰/۱۵	۰/۶۷	۱۲/۷۴
۲۴۰	(۲۹)	۱۳۸۰	۴۱۰	۴۱۰	۳۸۰	۱۰۰	۵۰/۳	۰/۸۲	۴/۰۸	۰	۰	۱۲/۱۱

۵- منابع

1. Moradi M, Esfahani M. (2016). Optimization of strut and tie models on deep beams with opening. Sharif Journal of Civil Engineering. 32:67-77 (In Persian).
2. ACI Committee, Standardization IOF, editors. (2014). Building code requirements for structural concrete (ACI 318-14) and commentary: American Concrete Institute.
3. S. Ershadi, (1996). Investigation of the behavior and failure of simply supported concrete beams With a span ratio of 2 to 3, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran, 1996 (In Persian).
4. Fernández Ruiz M, Muttoni A. (2007). On development of suitable stress fields for structural concrete. ACI, Structural Journal. 104:495-502.
5. Kong FK. (2006). Reinforced concrete deep beams: CRC Press.
6. Liu J, Mihaylov BI. (2016). A comparative study of models for shear strength of reinforced concrete deep beams. Engineering Structures. 112:81-9.
7. AAASHTO. (2012). Bridge design specifications, in, American Association of State Highway and Transportation Officials.
8. Shahin, MA. (2016). State-of-the-art review of some artificial intelligence applications in pile foundations. Geoscience Frontiers, 7(1), 33-44.
9. Moradi M, Bagherieh A, Esfahani MR. (2016). Relationship of tensile strength of steel fiber reinforced concrete based on genetic programming. Iran University of Science & Technology. 6(3):349-63.
10. Moradi M, Bagherieh AR, Esfahani MR. (2019). Tensile modeling of steel fiber reinforced concrete. Asian Journal of Civil Engineering. 20(2):269-80.
11. Ashour A, Alvarez L, Toropov V. (2003). Empirical modelling of shear strength of RC deep beams by genetic programming. Computers & structures. 81(5):331-8.
12. Gandomi AH, Alavi AH, Shadmehri DM, Sahab M. (2013). An empirical model for shear capacity of RC deep beams using genetic-simulated annealing. Archives of Civil and Mechanical Engineering. 13(3):354-69.
13. Cheng M-Y, Cao M-T. (2014). Evolutionary multivariate adaptive regression splines for estimating shear strength in reinforced-concrete deep beams. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 28:86-96.

14. Chou J-S, Ngo N-T, Pham A-D. (2015). Shear strength prediction in reinforced concrete deep beams using nature-inspired metaheuristic support vector regression. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 30(1):04015002.
15. Lee S-C. (2003). Prediction of concrete strength using artificial neural networks. *Engineering Structures*. 25(7):849-57.
16. Arabzade, A., Noori Soola, A. (2015). Investigating Effective Parameters in Shear Strength of Deep Beams without Shear Reinforcement. *Concrete Research*, 7(2), 17-30.
17. Iranian Concrete Code. (2013). Design and analysis rules of concrete structures. Management and Planning Organization of Iran, Tehran, Iran.
18. Tjhin TN, Kuchma DA. (2002). Computer-based tools for design by strut-and-tie method: Advances and challenges. *Structural Journal*. 99(5):586-94.
19. Koza JR. (1992). Genetic programming: on the programming of computers by means of natural selection: MIT press.
20. Silva S, Almeida J. (2003). Gplab-a genetic programming toolbox for matlab. *Proceedings of the Nordic MATLAB conference*; Citeseer.
21. Clark AP. (1951). Diagonal tension in reinforced concrete beams. *Journal Proceedings*.
22. Ramakrishnan V, Ananthanarayana Y. (2016). Ultimate strength of deep beams in shear. *Journal Proceedings*.
23. Kong F-K, Robins PJ, Cole DF. (1970). Web reinforcement effects on deep beams. *Journal Proceedings*.
24. Manuel RF, Slight BW, Suter GT. (1971). Deep beam behavior affected by length and shear span variations. *Am Concrete Inst Journal & Proceedings*. 68(12).
25. Smith K, Vantsiotis A, editors. (1982). Shear strength of deep beams. *Journal Proceedings*.
26. Tan K-H, Kong F-K, Teng S, Guan L. (1995). High-strength concrete deep beams with effective span and shear span variations. *Structural Journal*. 92(4):395-405.
27. Oh J-K, Shin S-W. (2001). Shear strength of reinforced high-strength concrete deep beams. *Structural Journal*. 98(2):164-73.
28. Aguilar G, Matamoros AB, Parra-Montesinos G, Ramirez JA, Wight JK. (2002). Experimental Evaluation of Design Procedures for Shear Strength of Deep Reinforced Concrete Beams: American Concrete Institute.
29. Quintero-Febres CG, Parra-Montesinos G, Wight JK. (2006). Strength of struts in deep concrete members designed using strut-and-tie method. *ACI Structural Journal*; 103(4):577.
30. Rogowsky DM, MacGregor JG, Ong SY. (1986). Tests of reinforced concrete deep beams. *Journal Proceedings*.
31. Subedi N, Vardy AE, Kubotat N. (1986). Reinforced concrete deep beams some test results. *Magazine of concrete Research*. 38(137):206-19.
32. Tan K-H, Kong F-K, Teng S, Weng L-W. (1997). Effect of web reinforcement on high-strength concrete deep beams. *Structural Journal*. 94(5):572-82.
33. Tan K-H, Teng S, Kong F-K, Lu H-Y. (1997). Main tension steel in high strength concrete deep and short beams. *Structural Journal*. 94(6):752-68.
34. Hong S-G, Kim D-J, Kim S-Y, Hong NK. (2002). Shear strength of reinforced concrete deep beams with end anchorage failure. *Structural Journal*. 99(1):12-22.
35. Arabzadeh, A., Aghayari, R., & Rahai, A. R. (2011). Investigation of experimental and analytical shear strength.