

بررسی تحلیلی و تجربی گسیختگی بنایها تحت تأثیر برش (بارگذاری برشی ناشی از زلزله در ساختمانهای روستایی)

جمال عبداللهی علی بیک
کارشناسی ارشد
گروه مهندسی آبیاری، دانشگاه تهران

چکیده

مقاومت برشی نهایی در ارتباط با عملکرد دیوارهای بنایی مقاوم در برابر بارگذاریهای جانبی ناشی از زلزله، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زمانی که بارگذاری افقی در صفحه دیوار بنایی و به موازات بستر درزها ایجاد شود، گسیختگی در دیوار به صورت برش افقی در محل تماس آجر و ملات و یا به صورت کشش قطری حادث می‌گردد. (مقاومت بنایی‌ها به برش افقی به موازات افزایش بارگذاری عمودی بین آجر و ملات، افزایش می‌یابد.) اصولاً در بنایها پیوستگی برشی به صورت طبیعی مستقل از مقاومت ملات بوده و آجرهای سوراخ‌دار به واسطه ایجاد کلیدهای برشی مکانیکی با ملات، لاقل در حالتی که فشار عمودی زیاد نیست، مقاومت برشی را افزایش می‌دهند.

درحالتی که فشار عمودی به میزان زیادتری وجود داشته باشد، معمولاً "گسیختگی به صورت کشش قطری بروز می‌کند که در این صورت اثر کلیدهای فوق چندان با اهمیت نیست.

کلمات کلیدی

دیوار بنائی - گسیختگی پیوستگی برشی - کشش قطری - مقاومت برشی - درز ملات - کلید برشی - تنش برشی - فولادگذاری - بارگذاری جانبی.

Analytical and Experimental Investigation on Failur of Masonries Under Shear Loading.

J. Abdollahi

M. Sc.

Department of Irrigation Engineering, Faculty of Agriculture,
University of Tehran

Abstract

Ultimate shear strength in earthquake resistant masonry walls has especial importance. Horizontal loading in masonry walls (parallel to the Joints) causes horizontal shear failure between mortar and brick or diagonal tension failur. In masonry, shear connection naturally is independent of mortar strength, but perforated bricks because of mechanical shear keys with mortar, cause increase in shear strength (at least in case of low vertical pressure on masonry). Masonry strength against horizontal shear failur, would increase directly with vertical loading on brick and mortar. So in the case of high vertical pressure, failure is due to diagonal tension and above the key effects they are not very significant.

Keywords

Masonry wall, Shear connection failure, Diagonal tension, Shear strength, Joint, Shear key, Shear stress, Reinforcing, Lateral loading.

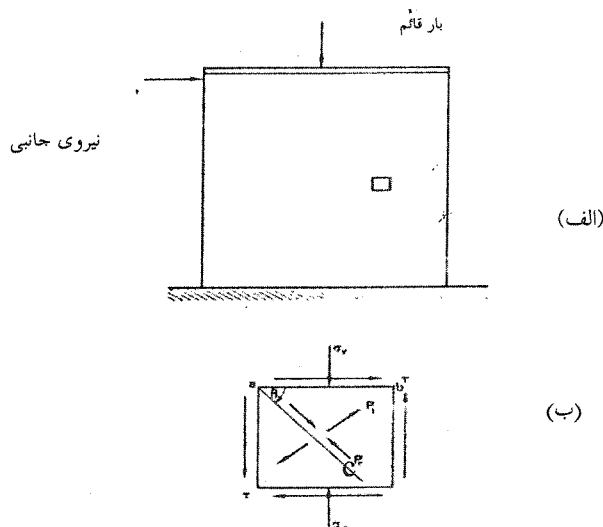
محاسبات ساختارهای فولادی و تا حدودی بتنی در مقایسه با بناییها به مراتب عملی تر و ساده تر می باشد. بدین علت که می توان برای مصالح فولاد و تا حدودی بتن الگوی تحلیلی مناسب با فرض همگن بودن این مصالح ارائه نمود. ولی در مورد بناییها به دلیل تشکیل آنها از مصالح گوناگون از جمله آجر و ملات (و به صورت غیرهمگن)، عملاً نمی توان برای آنها الگوی ریاضی مشخص و معینی درمقایسه با فولاد و بتن در نظر گرفت. بنابراین برای بررسی عملکرد بناییها تحت تأثیر تلاشهای گوناگون، ضرورت بهره گیری از آزمایش به مراتب بیشتر از مصالح بتن و یا فولاد است. در این مقاله ضمن بررسی تئوری عملکرد بناییها تحت تأثیر تلاشهای برشی، آزمایشاتی نیز در آن راستا انجام یافته و نتایج آن بحث و بررسی شده است.

۱- مقاومت بناییها تحت تأثیر برش (تئوری گسیختگی بناییها تحت تأثیر برش) [4,5]

اگر دیواری به صورت قائم بارگذاری شده و همزمان در معرض نیروی جانبی P مطابق شکل (۱-الف) باشد، دوائر نیروهای خارجی، جزء سطحی از دیوار که بزرگ شده آن در شکل (۱-ب) نشان داده شده است، تحت تأثیر تنش قائم σ_y و تنش برشی τ قرار می گیرد. در این حالت به دلیل عملکرد همزمان و توأم σ_y و τ گسیختگی دیوار در یکی از حالت‌های دوگانه زیر اتفاق می افتد.

۱- گسیختگی پیوستگی برش افقی در صفحه بستر ملات در درزها

۲- گسیختگی در اثر کشش قطری در آجر یا در ملات



شکل (۱).

الف - دیوار بارگذاری شده با نیروهای قائم و جانبی.

ب - وضعیت تنشهای قائم و مماس در یک جزء سطح از دیوار.

در حالت اول مقاومت در برابر گسیختگی پیوستگی برشی از رابطه زیر بدست می آید:

$$\tau_b = V_{b0} + \mu \sigma_y \quad (1)$$

که:

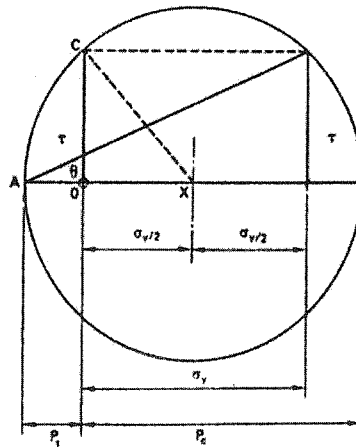
τ_b = تنش برشی در هنگام گسیختگی پیوستگی برشی

V_{b0} = مقاومت پیوستگی برشی (ناشی از مقاومت پیوستگی ملات و آجر)، هنگامی که میزان پیش فشار برابر صفر باشد.

μ = ضریب اصطکاک بین آجر و ملات

در حالت دوم گسیختگی کششی قطری در اثر تنشهای کششی ناشی از عملکرد همزمان و توأم تنشهای قائم σ_y و برش τ ایجاد می‌شود. در این حالت مقدار و امتداد تنش کششی از دایره مور بدست می‌آید. شکل (۲) یک دایره مور را نشان می‌دهد که در رابطه با تنشهای مؤثر روی جزء سطح دیوار در شکل (۱-ب) رسم شده است. همان‌گونه که در شکل ملاحظه می‌شود، تنشهای σ_y و τ ، تنش اصلی فشاری بزرگ P_c و تنش اصلی کششی کوچک P_t را ایجاد می‌کنند. در واقع هر صفحه در جزء سطح دیوار به وسیله یک نقطه روی دایره مور نشان داده می‌شود و زاویه θ در دایره مور نشانگر شیب صفحه تنش اصلی کششی، P_t (تنش کششی قطری)، نسبت به صفحه ab که تنش σ_y بر آن اثر می‌کند، می‌باشد. روابط زیر با توجه به دایره مور بدست می‌آید:

$$AO = AX - OX = CX - OX = \sqrt{OX^2 + OC^2} - OX$$



شکل (۲) دایره مور (Mohr's circle) برای تنشهای نشان داده شده در شکل (۱-ب).

یا

$$P_t = \sqrt{\left(\frac{\sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2} - \frac{\sigma_y}{2} \quad (۲)$$

اگر تنش برشی متناظر با گسیختگی کششی قطری بوده و σ_t نشانگر مقاومت کششی بنایی عمود بر صفحه ac در شکل (۱-ب)، (P_t) باشد، روابط زیر با توجه به معادله (۲) بدست می‌آید:

$$\left(\frac{\sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_t^2 = \left(\frac{\sigma_y}{2}\right)^2 + \sigma_t \sigma_y + \sigma_t^2$$

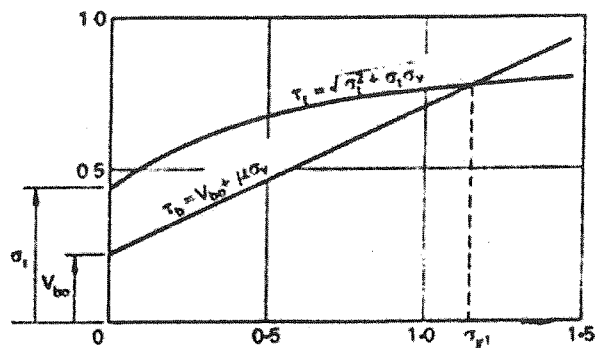
و

$$\tau_t = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_t \cdot \sigma_y} \quad (۳)$$

در حالتی که $\sigma_y = 0$ باشد، $\tau_t = \sigma_t$ و $\theta = 45^\circ$ خواهد بود. و برای دیگر مقادیر σ_y زاویه θ تغییر خواهد نمود. برای تعیین σ_y ، مناسبترین راه اجرا کردن آزمایش دو نیم کردن (شکافتن) روی صفحه دایره‌ای بنایی می‌باشد.

شکل (۳) تغییرات τ_b و τ_t را با σ_y برای مقادیر مشخص V_{b0} و σ_t و μ نشان می‌دهد. برای مقادیر $\sigma_y < \sigma_{y1}$ و $\sigma_y < \sigma_t$ گسیختگی مورد انتظار به صورت گسیختگی پیوستگی برشی و برای مقادیر $\sigma_y > \sigma_{y1}$ به صورت گسیختگی کششی قطری رخ خواهد داد.

تنش برشی (ح)
نیوتن بر میلیمتر مربع



پیش فشار (σ_y)
نیوتن بر میلیمتر مربع

شکل (۳) تأثیر پیش فشار بر مقاومت برشی بنایی.

۲- آزمایشات انجام شده برای تعیین مقاومت برشی بناییها

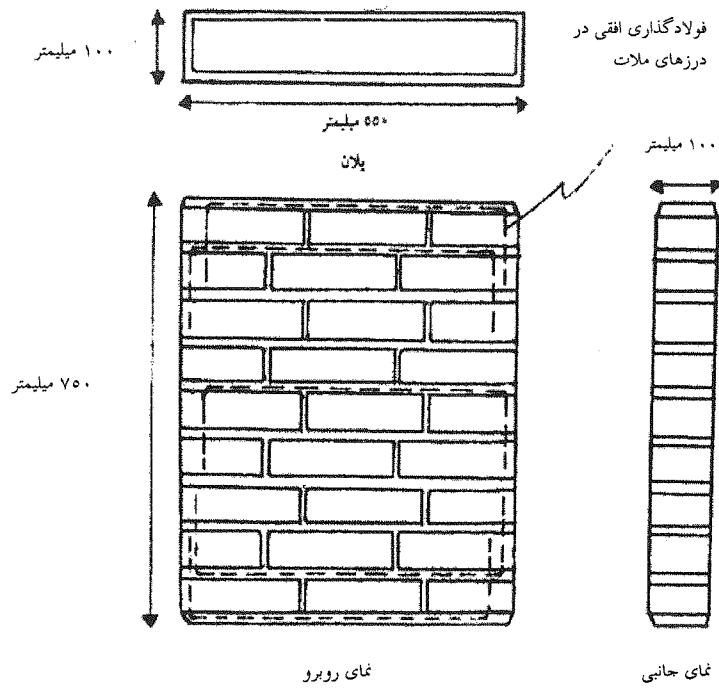
برای ساختن نمونه‌های مربوط به آزمایش مقاومت برشی از آجرهای ماشینی سوراخ‌دار استفاده گردیده و جهت بالابردن مقاومت برشی بنایی از فولادگذاری افقی در درزها بهره‌گرفته شده است. همچنین به منظور استفاده از ملات با مقاومت مناسب، نسبت اختلاط حجمی ملات ماسه سیمان مصرفی، یک به سه انتخاب شده است.

برای انجام آزمایش از نمونه‌هایی به شرح زیر با عمل‌آوری مناسب و پس از گذشت ۲۸ روز از عمر آنها استفاده گردیده است.

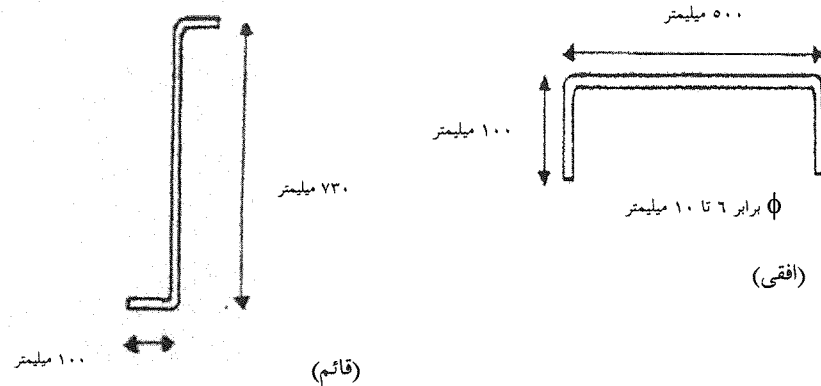
مطابق شکل (۴)، نمونه‌ها با عرض ۵۵۰ میلیمتر یا ۲/۵ آجر و به ضخامت ۱۰۰ میلیمتر و با ارتفاع ۷۵۰ میلیمتر ساخته شده و تعداد رجهای نمونه با توجه به فولادگذاری در درزهای ملات (و در نتیجه افزایش ضخامت درزها)، برابر ۱۱ رجه در نمونه‌های غیر مسلح و ۱۰ رجه در نمونه‌های مسلح با میلگردهای نازک و ۹ رجه در نمونه‌های مسلح با میلگردهای ضخیم‌تر بوده است.

برای تسلیح نمونه‌ها از میلگردهای با قطرهای گوناگون و از انواع ساده و آجدار استفاده گردیده و جهت ایجاد درگیری و مهار لازم مطابق شکل (۵) میلگردها با زاویه ۹۰ درجه در انتها خم گردیده و قسمت خم از سوراخ آجرها عبور داده شده است، در مورد همه نمونه‌ها چه مسلح و چه غیرمسلح سعی شده است که سوراخ آجرها و همچنین اطراف میلگردهای داخل سوراخ با دقت و به گونه‌ای مناسب از ملات پر شود، تا پیوستگی لازم بین فولاد و ملات به منظور عملکرد مناسب فولاد، فراهم آید.

جایگذاری میلگردها در تمامی درزهای یک نمونه به منظور حفظ یکنواختی آن نمونه و جلوگیری از پراکندگی در نتایج آزمایش، صورت گرفته ولی میزان سطح مقطع فولاد در هر نمونه تغییر می‌کند. در یکی از نمونه‌ها برای بررسی عملکرد زبانه‌ای فولاد تحت تأثیر برش (Dowel Action) از میلگردهای قائم نیز (با خم ۹۰ درجه در انتها به منظور تأمین مهار لازم)، بهره‌گرفته شده است.



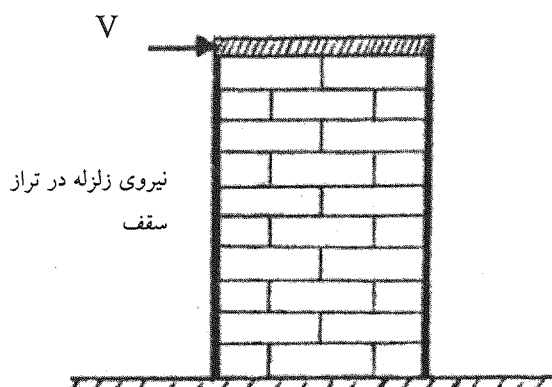
شکل (۴) ابعاد و اندازه‌های نمونه بنایی برای آزمایش مقاومت برشی.



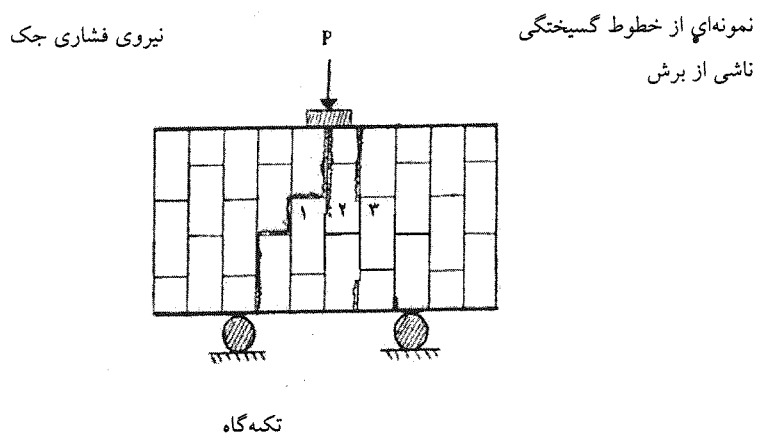
شکل (۵) میلگردهای تسلیح نمونه‌های بنایی در برابر برش.

طبق قانون دوم نیوتن نیروی ناشی از زلزله به جرم وارد می‌گردد. بنابراین به هنگام بروز زلزله شتاب قابل توجهی در تراز سقف ساختمانها (که جرم زیادی وجود دارد) جذب می‌گردد، و نیروی ناشی از آن به صورت برش (نیروهای جانبی) بردیوارها اثر می‌نماید.

دیوار شکل (۶) را می‌توان به صورت یک تیر طره تصور نمود که نیروی برشی وارده بر آن توسط مقاومت برشی ملات و آجر و مقاومت کششی میلگردهای افقی غرق شده در درز ملات و عملکرد زبانه‌ای میلگردهای قائم آن تحمل می‌گردد. [۲۰۱] بنابراین به منظور بررسی مقاومت برشی نمونه‌ها، از الگوی شکل (۷) استفاده شده که میلگردهای افقی در نمونه به نوعی نقش تنگها را در الگوی مذکور در واقع نمونه‌ای از تیر دوسر مفصل می‌باشد که نیروی متمرکز P در وسط دهانه آن اثر نموده است، و از آنجا که دهانه تیر یا به عبارت دیگر فاصله تکیه‌گاهها کم (حدود ۳۵۰ میلیمتر) و ارتفاع تیر زیاد است، عملاً در تیر برش حاکم می‌گردد.



شکل (۶) چگونگی اثر نیروی زلزله بر دیوار.


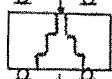


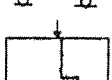
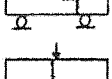

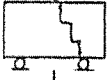
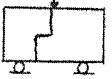


شکل (۷) الگویی جهت تعیین مقاومت برشی نمونه‌های بنایی در آزمایش برش.

۳- بحث و بررسی

نتایج آزمایش به شرح جدول (۱) و نمودار شکل (۸) قابل بحث و بررسی است. ملاحظه می‌شود که نمونه‌ها با اشکال گوناگون و با خطوط گسیختگی متفاوتی توان باربری از دست داده و دچار گسیختگی شده‌اند. اگر فشار عمود بر درز ملات در قطعه بنایی قابل توجه نباشد، گسیختگی به صورت افقی و در درز ملات اتفاق می‌افتد. همانگونه که در جدول مشهود است گسیختگی در نمونه غیر مسلح که تحت تأثیر فشار عمودی کم می‌باشد، در درز ملات ظاهر گردیده ولی نمونه‌های مسلح با میلگردهای با قطر کم ($\phi 6$) عملکرد مناسب داشته و خطوط گسیختگی در آنها به صورت مورب ظاهر گردیده است. با افزایش قطر میگردها و یا انتخاب نوع آجدار به دلیل اندک بودن فشار عمودی بر قطعه بنایی و عدم کارائی لازم برای فولاد، مجدداً گسیختگی‌ها به صورت برش درز ملات ظاهر شده و مقاومت برشی به میزان قابل توجه افت کرده است.

جدول (۱) نتایج آزمایش نمونه‌های بنایی مسلح برای تعیین مقاومت برشی.

اشکال گوناگون گسیختگی	میزان فولاد افقی $\rho = \frac{A_s}{A_m}$	نحوه گسیختگی	وضعیت فولادگذاری	مقدار تنش برشی		نمونه
				بیشینه (τ_{max}) کیلوگرم بر سانتیمتر مربع	نیروی (P) کیلوگرم	
	۰	برش افقی در امتداد درز ملات	غیرمسلح	۳/۷	۲۰۵۰	۱
	٪۰/۴	برش مایل از محل ورود بار P به طرف تکیه‌گاهها	یک میلگرد ساده (۶) افقی	۷/۵	۴۱۰۰	۲
	٪۰/۸	برش مایل از محل ورود بار P به طرف تکیه‌گاهها	دومیلگرد ساده (۶) افقی	۹/۵	۵۲۰۰	۳
	٪۱/۱	قسمتی به صورت برش افقی و قسمتی مایل	دومیلگرد ساده (۶، ۸) افقی	۱۲/۳	۶۷۵۰	۴
	٪۱/۴	قسمتی به صورت برش افقی و قسمتی مایل	دومیلگرد ساده (۸) افقی	۱۲/۳	۶۷۵۰	۵
	٪۲/۳	برش افقی در امتداد درز ملات	دومیلگرد ساده (۱۰) افقی	۷/۴	۴۰۵۰	۶
	٪۰/۷ آجدار	برش مایل از محل ورود بار P به طرف تکیه‌گاهها	یک میلگرد آجدار (۸) افقی	۸/۷	۴۸۰۰	۷
	٪۰/۴ آجدار	برش به صورت قسمتی افقی و قسمتی مایل	دومیلگرد آجدار (۸) افقی	۸/۲	۴۵۰۰	۸
	{ ٪۰/۴ قائم ٪۰/۴ افقی }	برش مایل از محل ورود بار P به طرف تکیه‌گاهها	یک میلگرد ساده (۶) افقی و چهارمیلگرد ساده (۸) قائم	۹/۱	۵۰۰۰	۹

$$\tau_{max} = \frac{3}{2} \tau_{av} = \frac{3}{2} \frac{V}{A} = \frac{3P}{2} \frac{1}{A}$$

$$(A = 8 \times 51.5 \text{ cm}^2)$$

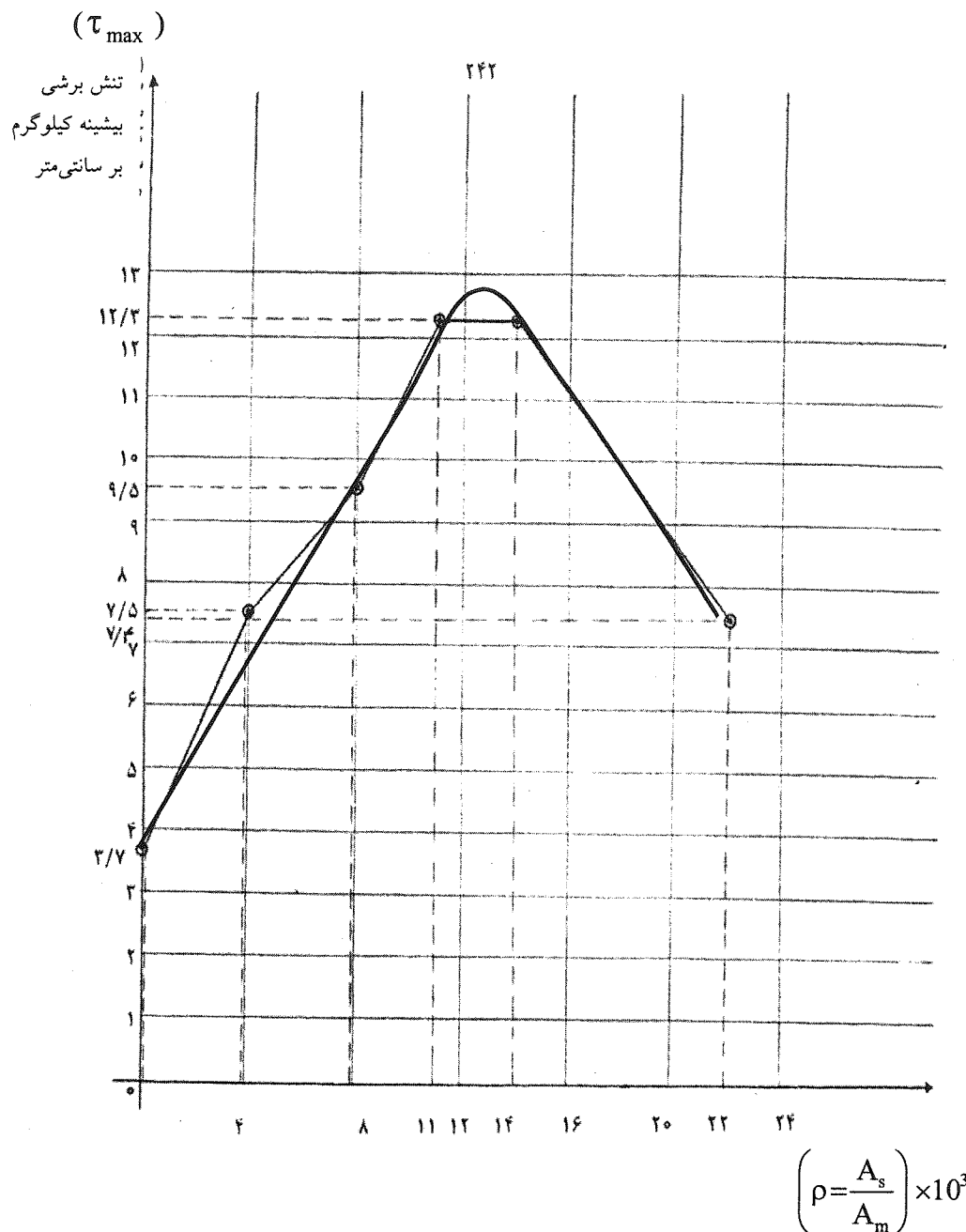
As = سطح مقطع فولاد افقی یا قائم

Am = سطح مقطع قطعه بنایی عمود بر امتداد فولادگذاری

A = سطح درز ملات (در امتداد فولادگذاری)

V = نیروی برشی مؤثر بر قطعه بنایی

در نمونه‌ای که فولادگذاری قائم نیز اجرا شده است در مقایسه با نمونه مشابه از نظر فولادگذاری افقی، مقاومت برشی به میزان ۲۰٪ افزایش یافته است که علت آن را می‌توان به عملکرد زبانه‌ای فولاد قائم مربوط دانست، که در شرایط مناسبتر این افزایش مقاومت تا ۳۰٪ نیز می‌رسد.



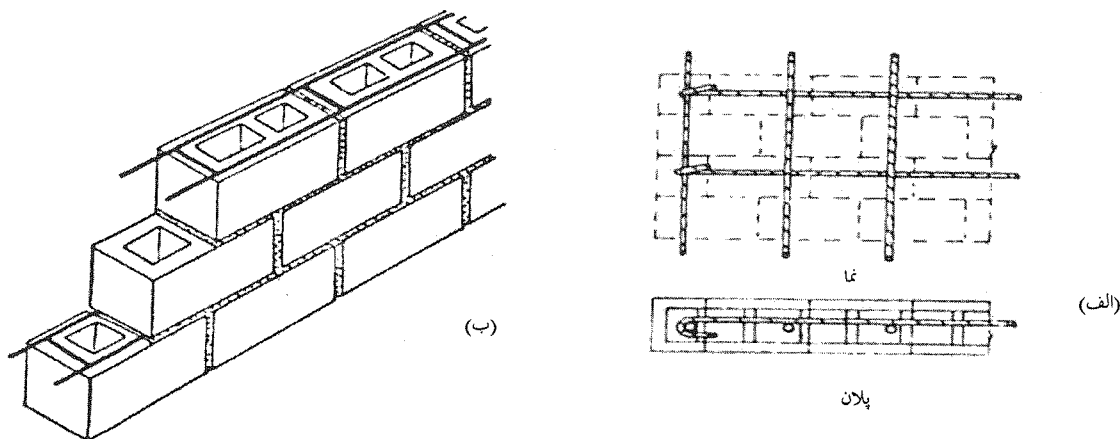
A_s = سطح مقطع فولاد افقی
 A_m = سطح مقطع قطعه بنائی عمود بر امتداد فولادگذاری

شکل (۸) نمودار مقاومت برشی نمونه‌های بنائی در رابطه با درصد فولادگذاری افقی (فولاد ساده).

۴- نتیجه گیری

نظر به نتایج مندرج در جدول و نمودار، ملاحظه می‌شود که افزایش مقاومت برشی تا میزان بیش از ۲۰٪ در نمونه‌های مسلح نسبت به نمونه غیرمسلح حاصل آمده است و می‌توان چنین نتیجه گرفت که چنانچه فشار عمود بر درزهای ملات در دیوار بنایی به اندازه کافی باشد استفاده از میلگردهای افقی در درز ملات به ویژه زمانی که دیوار در معرض زلزله باشد، مقاومت برشی بنایی را به نحو قابل توجهی افزایش داده و گسیختگی نیز در آن حالت به صورت کششی قطری خواهد بود. افزایش

مقاومت برشی در چنین شرایطی به شرط رعایت مهاري كافي ميلگردها در ملات ودقت در اجراء بنائي در شرايط بسيار مناسب، حتي به ميزان ۳۰۰٪ امكان پذير است. [6,7] بنابر اين استفاده از اين روش بسيار مناسب و اقتصادي است. شكل (۹) نمونه‌هايي از تسليح ديوارهاي بنائي در درز ملات را نشان مي‌دهد.



شكل (۹) فولادگذاري در درزهاي ملات.

با توجه به حجم بالاي ساخت و سازهاي بنائي در روستاها و شهرهاي كوچك و متوسط در كشورما، اهميت و ضرورت استاندارد كردن اين روش در ساخت بناييها بسيار زياد است.

سپاسگزارى

اين مقاله در راستاي طرح‌هاي مرتبط با برنامه قطب علمي گروه آبياري و آباداني دانشكده كشاورزي دانشگاه تهران و با استفاده از بودجه مربوط به قطب تهيه و تنظيم گرديده است كه بدينوسيله تشكر و تقدير مي‌گردد.

مراجع

- [۱] عبدشريف آبادي، (هوشمند). "زلزله و ساختمانهاي متداول". مركز تحقيقات ساختمان و مسكن، (شهريور ۱۳۶۳).
- [۲] مقدم، (حسن)، "طرح لرزه‌اي ساختمانهاي آجري". مؤسسه انتشارات علمي دانشگاه صنعتي شريف، (۱۳۷۳).
- [۳] "مجموعه سخنرانيهاي سمينار آموزشي اثرات زلزله در ساختمانهاي متعارف". مركز تحقيقات ساختمان و مسكن، (مهرماه ۱۳۶۶).
- [4] Hendry, A. W. Sinha, B. P., and Davies, S.r. "Load Bearing Brickwork Design", (1987).
- [5] Lenczner David, "Elements of Loadbearing Brickwork", (1972).
- [6] "International Recommendation for Design and Erection of Unreinforced and Reinforced Masonry Structures", CIB Publication Rotterdam, (1987).
- [7] Amrhein, James E. "Reinforcing Steel in Masonry Details, Construction, Specifications". Masonry Institute of America, Los Angeles, (1979).
- [8] "Journal of Structural Engineering", Structural Division, American society of civil Engineers, Vol. 117 No.6, (Jun. 1991).