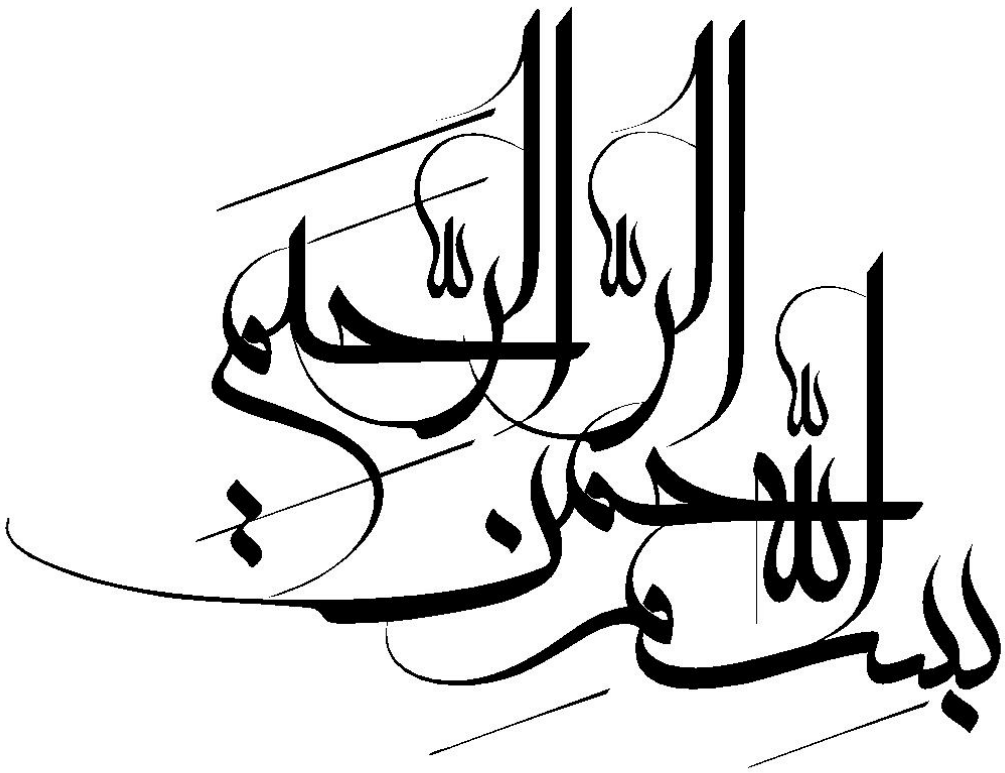

بسم الله الرحمن الرحیم

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران

گرایش سازه

عنوان پایان نامه :

بررسی عملکرد برشی تیرهای آجری غیر مسلح تحت بارهای یکنواخت

استاد راهنما :

دکتر امیر هوشنگ اخویسی

نگارش :

احسان الیاسی

اسفند ماه ۹۱

چکیده

ساختمانهای بنایی[1] از قدیمی ترین سیستم های سازه ای هستند که از گذشته ساختشان رواج داشته است، بطوریکه تعداد قابل توجهی از بیمارستان ها ، مدارس و ساختمان های مسکونی از این نوع ساختار می باشند. از آنجا که شناخت رفتار و عملکرد این سازه ها جهت بهسازی و تقویت آنها در جهت بهبود رفتارشان مسئله ای ضروریست در این پایان نامه سعی بر آن شد تا رفتار برشی تیرهای آجری را تحت بارگذاری یکنواخت مورد بررسی قرار دهیم، برای این منظور ابتدا تست های فشاری[2] مورد نیاز برای تعیین مقاومت فشاری واحد های بنایی انجام شد و پس از بدست آمدن نتایج با در نظر گرفتن شرایط ساخت سازه های بنایی در کشور ترکیب مصالح مورد نظر جهت ساخت نمونه های اصلی انتخاب گردید. در مرحله بعد نمونه های اصلی ساخته شده و مورد آزمایش قرار گرفتند. در نهایت با استفاده از مدلی ساده بوسیله نرم افزار آباکوس[3] نتایج بدست آمده را مورد بررسی قرار داده و مقایسه ای بین نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی انجام دادیم.

1 . Masonary
2 Compressive test
3 Abaqus

فصل اول

(مقدمه)

۱. روش های شناخت رفتار مصالح

۱. بررسی رفتار واحد بنایی

- واحد بنایی

تعریف : المانهای بنایی، از تعدادی واحد بنایی که به وسیله ملات به هم متصل شده اند، تشکیل یافته است که میبایست به شرح زیر مورد بررسی قرار گیرند :

۱. مقاومت فشاری مصالح بنایی (fme) [1]

سه روش برای اندازه گیری مقاومت فشاری مورد انتظار مصالح بنایی ،fme ، وجود دارد که دو روش آن به صورت انجام آزمایش بر روی منشورهایی[۴] است که از دیوار مصالح بنایی بیرون کشیده شده و به آزمایشگاه منتقل میشوند .روش سوم به صورت درجا و با قرار دادن یک جک مسطح در دیوار مصالح بنایی موجود، انجام میشود.

در روش اول، به منشورهای نمونه برداری شده از دیوار بنایی موجود، فشار وارد کرده و آنقدر تنش فشاری قائم را افزایش میدهند تا به اوج مقاومت برسد. منشور مورد آزمایش، بایستی شرایط زیر را داشته باشد :

الف - دارای حداقل ارتفاع 40 سانتیمتر باشد.

ب - نسبت ارتفاع به ضخامت آن، بیشتر از 2 باشد.

ج - حداقل دارای سه ردیف واحد بنایی باشد.

مزیت این روش، انجام آزمایش در شرایط کنترل شدهٔ آزمایشگاهی و اندازه گیری کرنش برای تعیین مدول الاستیسیته است .از معایب این روش، کاهش مقاومت فشاری منشور در هنگام بیرون کشیدن از دیوار و محدود بودن تعداد نمونه ها، به علت هزینه بالای نمونه برداری و سپس پرکردن محل آن است.

[4] *Prism*

در روش دوم، نمونه های آزمایشگاهی با استفاده از الگوی منشورهایی که از دیوار بیرون کشیده شده است، شبیه سازی میشود، برای شبیه سازی نسبت اختلاط و ساخت ملات برای نمونه های آزمایشگاهی، از آنالیز شیمیایی استفاده میشود.

مزیت این روش، همان مزیت روش اول است و از معایب آن این است که آثار دما، رطوبت و خزش را نمیتوان شبیه سازی کرد. در روش سوم، شکافی در محل ملات دیوار بنایی ایجاد میشود. با قرارگیری جک مسطح هیدرولیکی در شکاف، فشار لازم وارد میشود، تا قسمت مورد نظر از دیوار بنایی در معرض تنش قائم قرار گیرد .این فشار تا آنجا افزایش پیدا میکند که فاصله نقاط بالا و پایین شکاف (که به وسیله گیج نصب شده، اندازه گرفته میشود) ، کاهش یابد.

مزیت این روش، اندازه گیری مقاومت به صورت درجا و همچنین، غیرمخرب بودن آن است . عیب این روش آن است که انواعی از جکهای مسطح، قادر به رسیدن به فشارهای بالا نیستند. در هرحال، مقادیر پیش فرض کرانه پایین مقاومت فشاری، نباید از $60\ kg/cm^2$ برای مصالح با شرایط خوب ، $40\ kg/cm^2$ برای مصالح با شرایط متوسط و $20\ kg/cm^2$ برای مصالح با کیفیت بد تجاوز کند

۲. مدول الاستیسیته[5] مصالح بنایی در فشار (Eme) [۱]

مدول الاستیسیته مصالح بنایی در فشار (Eme) ، به دو روش تعیین میشود؛ در روش اول، منشورهایی از دیوار موجود بیرون آورده و به آزمایشگاه منتقل میشود و آزمایشهایی مشابه آزمایش مقاومت فشاری که شرح داده شد، بر روی آنها انجام میشود؛ تنها این تفاوت وجود دارد که در آزمایشگاه، گیجی برای ثبت تغییرشکلها قرار داده میشود، تا بتوان کرنشها را ثبت و مدول الاستیسیته را محاسبه کرد.

در روش دوم، که به صورت درجا انجام میشود؛ دو شکاف به فاصله چهار تا شش ردیف از المانهای بنایی در قسمت ملات دیوار ایجاد میشود و سپس با قراردادن جکهای مسطح هیدرولیکی در شکافها فشار لازم اعمال میشود تا قسمت مورد نظر از دیوار در معرض تنش قائم قرار گیرد. مقدار فشار اعمالی توسط جکها، در این آزمایش تا کمتر از نصف مقاومت مصالح، کافی است. تغییرشکل، به وسیله گیجها اندازه گیری میشود و کرنش از تقسیم این تغییر شکل بر فاصله بین گیج ها به دست می آید.

مدول الاستیسیته ، E_{me} ، از شیب منحنی تنش -کرنش بین 5 درصد و 33 درصد مقاومت فشاری نهایی محاسبه میشود .معمولاً مقدار مدول الاستیسیته، 550 برابر مقاومت فشاری مورد انتظار در نظر گرفته میشود.

[5] *Elasticity Modulus*

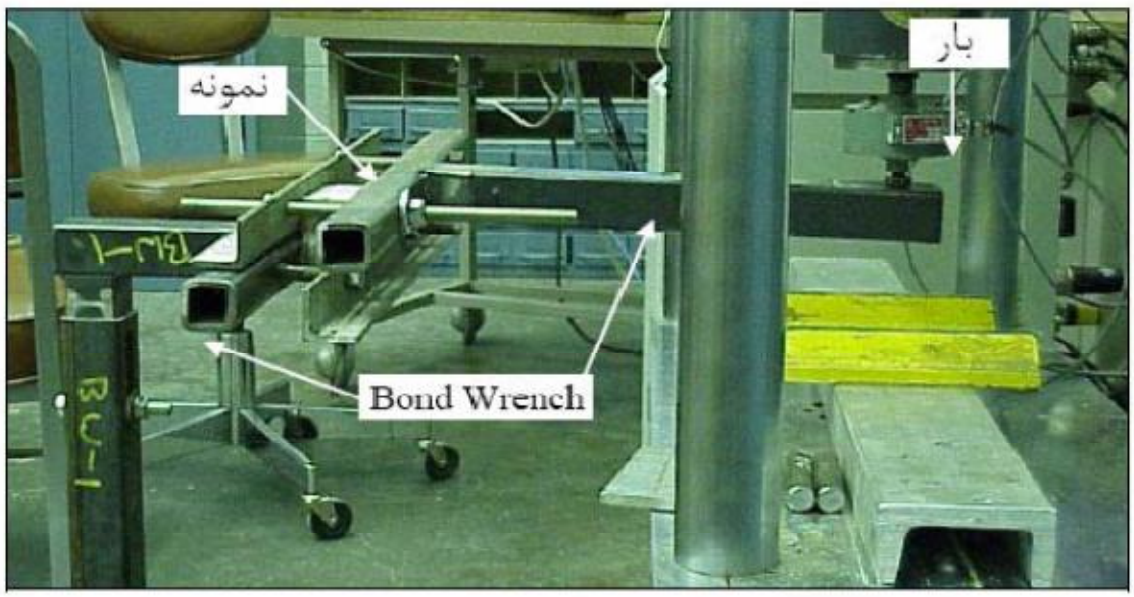
$$E_{me} = 550\, f_{me} \qquad (۱-۱)$$

۳. مقاومت کششی[۶] مصالح بنایی (f_{te}) [۱]

۱. روش آزمایش استاندارد با استفاده از قید چرخشی[۷]

در این روش، مقاومت کششی به وسیله روشی به نام قید چرخشی به دست میاید .بدین ترتیب که قیدی در بالای نمونه قرار داده میشود و به آن لنگر خمشی حول محور ضعیف اعمال میشود، تا واحد های بنایی بالایی گسیخته شود شکل (۱-۱).

نمونه آزمایش باید دارای حداقل دو واحد بنایی یا بیشتر، با حداقل عرض 10 سانتیمتر باشد . توصیه میشود که از واحدهای بنایی کامل استفاده شود .نمونه ممکن است به صورت آزمایشگاهی و مطابق با واقعیت، ساخته شده و یا از دیوار موجود برداشته شده باشد.



شکل ۱-۱ نمونه تحت آزمایش به روش قید چرخشی

بار بایستی با سرعت یکنواخت و در زمانی بین یک تا سه دقیقه، اعمال شود .مقدار بار اعمالی باید با دقت ±۲% و حداکثر خطای ۲/۲۵ کیلوگرم اندازه گرفته شود .مقاومت کششی مصالح از روابط زیر قابل محاسبه است. لازم به ذکر است که این روابط برای حالتی که بار از بالا به طرف پایین اعمال میشود صادق است :

[6] *Tensile strength*
[7] *Bond wernch*

برای نمونه های ساخته شده از مصالح توپر (سطح خالص مصالح بیش از ۷۵ درصد سطح مصالح باشد) :

$$f_{te} = \frac{6(P L + P_l L_l)}{b d^2} - \frac{(P + P_l)}{b d} \qquad ۱ - ۲$$

که در آن:

F_{te} : مقاومت کششی مصالح؛

P : بیشترین بار اعمالی؛

P_l : وزن بازوی تولید کننده گشتاور؛

L : فاصله مرکز نمونه تا نقطه اعمال بار؛

L_l : فاصله مرکز نمونه تا نقطه وسط بازوی تولید گشتاور؛

b : متوسط عرض مقطع عبوری از سطح گسیختگی؛

d : توسط ضخامت مقطع عبوری از سطح گسیختگی است.

برای نمونه های ساخته شده از مصالح سوراخ دار :

$$f_{te} = \frac{(P L + P_l L_l)}{S} - \frac{(P + P_l)}{A} \qquad ۱ - ۳$$

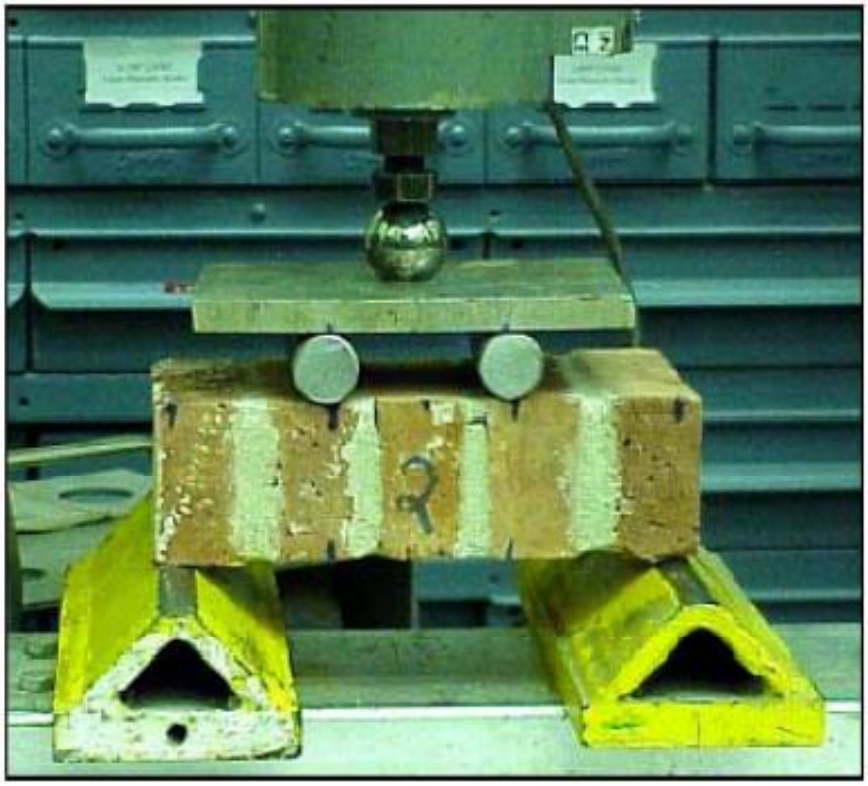
که در آن:

S : مدول مقطع سطح خالص؛

A : سطح خالص است.

۲. روش آزمایش استاندارد با استفاده از خمش حول محور ضعیف

بارگذاری در این روش به دو شیوه انجام میشود .در شیوه اول، دو بار نقطه ای در جهت عمود به صفحه و در نقاط با فاصله یک سوم دهانه از دو انتها مطابق شکل (۱-۲) اعمال میشود.



شکل ۱-۲ نحوه بارگذاارى نقطه اى براى تعیین مقاومت کششی

در شیوه دوم بارگذاری، بار به صورت گسترده یکنواخت به نمونه اعمال میشود بدین ترتیب، که بار به واسطه کیف هوایی که نوعاً از $P.V.C$ ساخته شده است و دارای ضخامت ۰.۵ میلیمتر و سطحی برابر سطح نمونه است، به نمونه وارد میشود.

بار بایستی با سرعت یکنواخت و در زمانی بین یک تا سه دقیقه، اعمال شود .مقاومت کششی مصالح از روابط زیر قابل محاسبه است :

برای نمونه های ساخته شده از مصالح توپر (سطح خالص مصالح بیش از 75 درصد سطح مصالح باشد)

الف) برای شیوه اول بارگذاری:

$$f_{te} = \frac{(P + 0.75P_s).l}{b.d^2} \qquad ۴ - ۱$$

که در آن:

f_{te} : مقاومت کششی مصالح؛

P : بار وارد شده به نمونه؛

P_s : وزن نمونه؛

l : طول دهانه نمونه؛

b : عرض متوسط نمونه؛

d : ضخامت متوسط نمونه است.

ب) برای شیوه دوم بارگذاری:

$$f_{te} = \frac{0.75(P + P_s).l}{b.d^2} \qquad ۵ - ۱$$

برای نمونه های ساخته شده از مصالح سوراخ دار :

الف) برای شیوه اول بارگذاری:

$$f_{te} = \frac{(0.167P + 0.125P_s).l}{S} \qquad ۶ - ۱$$

S : مدول مقطع سطح مقطع خالص واقعی

ب) برای شیوه دوم بارگذاری:

$$f_{te} = \frac{0.125(P + P_s).l}{S} \qquad ۷ - ۱$$

اگر در شیوه اول بارگذاری، شکست در خارج از یک سوم میانی طول دهانه رخ دهد، نتایج آزمایش بی اعتبار خواهد بود.

٤. مقاومت برشی[8] مصالح بنایی (v_{me}) [۱]

ردیف خارجی دیوار، تحت آزمایش برشی قرار میگیرد .این آزمایش با جابجایی یک آجر نسبت به آجرهای مجاور صورت میگیرد .آجرهای دو طرف آجر تحت آزمایش، باید برداشته شوند و دو سطح در درزهای قایم باید قبل از آزمایش به خوبی تمیز شوند .سپس با اندازه گیری نیروی مورد نیاز برای جابجایی آجر، مقاومت برشی مشخص میشود .مقاومت برشی بر اساس دو سطح آجر در درزهای افقی و در اولین حرکت آجر محاسبه میشود .برای محاسبه مقاومت برشی، باید تنش ناشی از بار ثقلی در محل آزمایش از نتیجه آزمایش کسر شود .مقاومت برشی ملات از رابطه زیر محاسبه میشود :

[8] *Shear strength*

$$v_{to} = \frac{V_{test}}{A_b} - \sigma_{D+L} \qquad ۸ - ۱$$

در این رابطه:

V_{test} : بار اعمالی در آزمایش در اولین جابجایی؛

A_b: مجموع سطوح ملات بالا و پایین واحد مورد آزمایش؛

σ_{D+L} : تنش ناشی از بارهای ثقلی در محل آزمایش است .

مقاومت برشی مورد انتظار برای المان بنایی از رابطه زیر به دست میاید :

$$v_{me} = 0.56\, v_{te} + 0.75\, \frac{P_D}{A_n} \qquad ۹ - ۱$$

در این رابطه:

P_D: نیروی فشاری ثقلی اعمال شده در بالای دیوار تحت اثر بار مرده؛

A_n : سطح مقطع خالص دیوار؛

V_{te}: متوسط مقاومت برشی آزمایش شده است.

در بلوکهای سیمانی و آجری سوراخدار A_b باید براساس سطح مقطع خالص محاسبه شود.

مقدار مقاومت برشی ملات، v_{te}، نباید از $۷\ kg/cm^2$ فراتر رود.

مقادیر پیش فرض برای کرانه پایین مقاومت برشی نباید از $۲\ kg/cm^2$ برای مصالح با شرایط خوب، $۱.۵\ kg/cm^2$ برای مصالح با شرایط متوسط و $۱\ kg/cm^2$ برای مصالح با شرایط بد فراتر رود.

در صورت پر نبودن درزهای قائم بین واحدهای بنایی از ملات، باید مقاومت برشی درون صفحه و مقاومت خمشی خارج از صفحه دیوار، 50 درصد مقادیر محاسبه شده برای دیوار کامل منظور شود. مگر آنکه این درزها با ملات جدید و به صورت مناسب پر شوند.

۵. مدول برشی[9] مصالح بنایی (G_{me}) [۱]

مدول برشی مصالح بنایی (G_{me})، ۴۰ درصد مدول الاستیسته مصالح بنایی در فشار، در نظر گرفته می شود.

۲. انواع روشهای تعیین مقاومت واحدهای بنایی

۱. آزمایشهای متعارف

۱. مقاومت فشاری مصالح بنایی [۱]

۱. روش آزمایش نمونه های ساخته شده و یا برداشت شده از دیوار

در این روش، به منشورهای نمونه برداری شده از دیوار بنایی موجود، نیرو وارد میشود و آنقدر تنش فشاری قائم افزایش داده میشود تا به اوج مقاومت برسد .

مزیت این روش، انجام آزمایش در شرایط کنترل شدهٔ آزمایشگاهی و اندازه گیری کرنش برای به دست آوردن مدول الاستیسیته است .از معایب این روش، یکی کاهش مقاومت فشاری منشور در هنگام بیرون کشیدن از دیوار و دیگری، محدود بودن تعداد نمونه ها به علت هزینه بالای نمونه برداری و سپس پرکردن محل آن است.

در حالتی دیگر، نمونه های آزمایشگاهی با استفاده از الگوی منشورهایی که از دیوار بیرون کشیده شده اند، شبیه سازی میشوند .همچنین، برای شبیه سازی نسبت اختلاط و ساخت ملات برای نمونه های آزمایشگاهی، از تجزیهٔ شیمیایی استفاده میشود .از معایب آن، این است که آثار دما، رطوبت و خزش را نمیتوان شبیه سازی کرد .شکل (۱- ۳) نمونه ای را نشان میدهد که به این روش آزمایش میشود.

[9] *Shear modulus*

شکل ۱-۳ آزمایش تنش فشاری مصالح بر روی نمونه

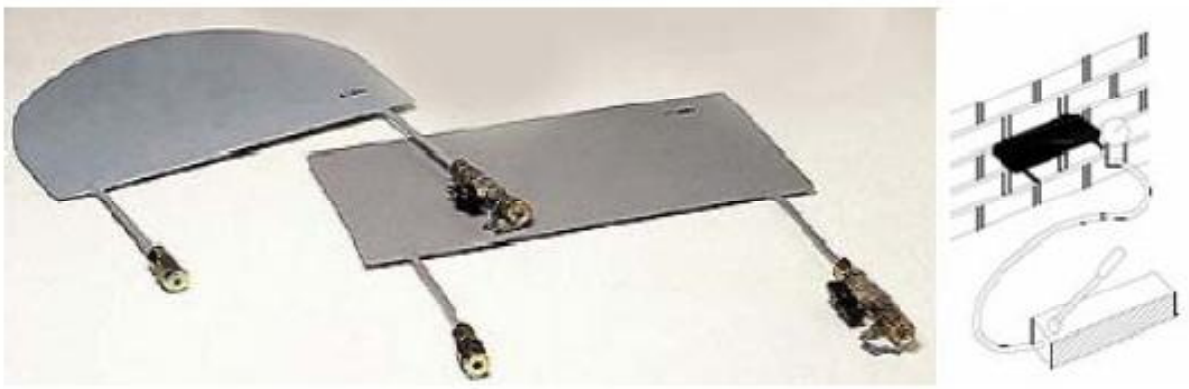
۲. روش استاندارد آزمایش درجا با استفاده از جک مسطح [۱]

این روش با قرار دادن جک مسطحی درون دیوار موجود که از قبل برای این منظور شکافی در محل ملات آن ایجاد شده است، انجام میشود .سپس، افزایش تنش فشاری باعث جابجایی مصالح بالا و پایین شکاف میشود .فشار داخلی جک، آنقدر افزایش می یابد تا اینکه فاصله نقاط مشخص شده در بالا و پایین شکاف به حالت اولیه برگردد .تنش فشاری در مصالح بنایی، تقریباً برابر حاصلضرب فشار درونی جک در ضرایبی است که این ضرایب، مشخصات فیزیکی جک و سطح اتصال جک به مصالح را لحاظ میکنند .در دیوارهای با چند نوع مصالح بنایی، تنش محاسبه شده فقط برای مصالحی است که جک در آن قرار گرفته است.

شکاف به وسیله خارج کردن ملات و بدون اینکه آسیبی به واحد بنایی وارد شود، درون دیوار ایجاد میشود .طول شکاف ایجاد شده، نباید بیش از 12 میلیمتر از ابعاد جک مسطح بیشتر باشد .سطوح بالا و پایین شکاف، باید کاملاً هموار باشند .برای جکهای نیمه دایره ای یا مستطیلی نیز بایستی از ابزار مخصوص برای ایجاد شکاف نیمه دایره ای یا مستطیلی استفاده کرد (شکل ۱ - ۴).

شکل ۱-۴ نحوه ایجاد شکاف دایروی و مستطیلی

جک مسطح یک وسیله نازک تیغه مانند با پورتهای ورودی و خروجی است که بهوسیله روغن، فشار ایجاد میکند (شکل ۱ – ۵).



شکل ۱ – ۵ نمایی از یک جک مسطح

این جک دارای یک سختی درونی است، بنابراین، فشار سیال درون جک از تنش اعمالی به مصالح بیشتر است. بنابراین، برای یک جک هیدرولیکی باید ضریب K_m به عنوان نسبت فشار سیال درونی به تنش اعمالی در دست باشد .بعد از هر پنج بار آزمایش، جک باید دوباره کالیبره شود .نحوه کالیبره کردن بدین صورت است که دو صفحه فولادی با ضخامت 5 سانتیمتر و ابعادی مطابق با ابعاد جک، در بالا و پایین جک مسطح قرار داده میشود و این دو صفحه فولادی ثابت میشود .برای ایجاد تماس کافی بین صفحات، فشار ۰.۷ کیلوگرم بر سانتیمترمربع به صفحات اعمال میشود. سپس فشار درون جک در گامهای افزایشی ۳.۵ کیلوگرم بر سانتیمترمربع زیاد میشود، ولی نباید این فشار از ۷۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع فراتر رود .در هر گام، فشار هیدرولیکی جک و نیروی وارد به صفحات فولادی ثبت می شود .مراحل افزایش فشار و تخلیه فشار برای سه بار تکرار میشود .نیروی جک مسطح از ضرب فشار داخلی آن در سطح جک به دست میآید .با رسم منحنی نیروی جک (محور افقی) در مقابل نیروی اعمال شده به صفحات فولادی (محور قائم)، میتوان ثابت جک مسطح را با محاسبه شیب این نمودار تعیین کرد :

$$K_m = \frac{P_{\text{صفحات}}}{P_{\text{جک}}}$$ ۱۰ – ۱

محل انجام آزمایش با در نظر گرفتن موارد زیر تعیین میشود:
انتخاب و علامتگذاری یک خط روی مصالح بنایی برای تعریف محل و طول شکافی که باید شکل گیرد.

- نصب حداقل چهار گیج که دو سر آن در فواصل مساوی در بالا و پایین شکاف نصب شده اند.
- دو ردیف بالا و پایین شکاف باید فواصل مساوی تا شکاف داشته باشند.
- حداقل فاصله دو سر گیج که در دیوار نصب شده باید ۰.۳ برابر طول صفحه جک و حداکثر این فاصله باید ۰.۶ طول صفحه جک باشد .هم چنین، فاصله اولین و آخرین محل نصب گیج تا انتهای صفحه جک نباید از ۰.۱۲۵ برابر طول صفحه جک کمتر باشد.
- محل شکاف باید حداقل به اندازه ۱.۵ برابر طول صفحه جک، از بازشو یا انتهای دیوار فاصله داشته باشد.
- مراحل انجام آزمایش :
- اندازه گیری فاصله اولیه بین نقاط نصب گیج روی دیوار؛
- آماده کردن شکاف و ثبت ابعاد شکاف؛
- اندازه گیری مجدد فاصله بین نقاط نصب گیج برای تعیین انحراف اولیه از فاصله اولیه نقاط نصب گیج؛
- قرار دادن جک درون شکاف و افزایش فشار تا حدود ۵۰ درصد فشار تخمینی برای مصالح سپس کاهش فشار تا صفر (برای درست نشاندن جک مسطح در شکاف) ؛
- افزایش مجدد فشار تا ۲۵ , ۵۰ و۷۵ درصد بیشترین فشار تخمینی برای مصالح و در هر بار افزایش فشار، مقدار انحراف نقاط نصب گیج بایست اندازه گرفته شود؛
- افزایش فشار تا زمانیکه فاصله نقاط نصب گیج به حالت اولیه برگردد، ادامه پیدا میکند؛
- متوسط انحراف مجاز نسبت به طول اصلی گیج بایستی بیشینهٔ مقادیر ۰.۰۰۱۳ ± میلیمتر یا ۰.۰۵ برابر انحراف اولیه باشد؛ به طوری که، هر یک از انحراف ها از بیشینهٔ ۰.۰۰۲۵ ± یا ۰.۱ بیشترین انحراف فراتر نرود؛
- کاهش فشار جک تا حد صفر (انجام مجدد دو مرحله فوق برای اطمینان از صحت آزمایش توصیه میشود)؛

- خارج کردن جک و پر کردن شکاف با ملات؛
- محاسبه تنش فشاری مصالح.

تنش فشاری مصالح از رابطه زیر بدست میآید :

$$f_m = K_m K_a P \qquad ۱ - ۱۱$$

که در این رابطه:

K_m: ثابت بی بعد وابسته به خصوصیات سختی و هندسی جک مسطح؛

K_a : نسبت سطح اندازه گرفته شده جک به متوسط سطح شکاف؛

P : فشار جک که لازم است تا فاصله نقاط نصب گیج به فاصله اولیه برگردند.

۲. مدول الاستیسیته مصالح بنایی در فشار [۱]

در این قسمت، روش استاندارد آزمایش درجا برای تعیین مدول الاستیسیته با استفاده از جک مسطح تشریح می شود، مراحل انجام این آزمایش مطابق موارد ارائه شده برای آزمایش تعیین مقاومت فشاری المان است، با این تفاوت که برای ایجاد فشار یکنواخت در مصالح، از دو جک مسطح که به موازات یکدیگر و یکی در بالای دیگری و در دو شکاف که به این منظور در دیوار تعبیه شده، استفاده میشود، این دو شکاف بایستی چهار تا شش واحد بنایی را از هم جدا کنند.

در این آزمایش، فشار به تدریج افزایش می یابد و پس از هر بار افزایش، فشار به مدت یک دقیقه به منظور پایدار شدن میزان جابجایی، ثابت نگه داشته میشود و پس از این یک دقیقه مقدار جابجایی، قرائت و ثبت میشود .مقدار فشار اعمالی توسط جکها در این آزمایش تا کمتر از نصف مقاومت مصالح، کافی است .ولی در صورتیکه کاهش قابل ملاحظه ای در جابجایی رخ داد، آزمایش متوقف میشود. تنش فشاری در هر گام، از رابطه (۱-۱۱) قابل محاسبه است.

کرنش نیز از تقسیم جابجایی ثبت شده بر طول گیج به دست میآید .هم چنین، مدول الاستیک مماسی در هر گام و مدول وتری در هر نقطه (گام) بهترتیب از روابط (۱- ۱۲) و (۱ - ۱۳) به دست می آید.

$$E_t = \frac{\delta f_m}{\delta \varepsilon_m} \qquad ۱ - ۱۲$$

$$E_{si} = \frac{f_{mi}}{\varepsilon_{mi}} \qquad ۱ - ۱۳$$

مدول الاستیسیته ، E_{me} ، از شیب منحنی تنش کرنش بین ۵ درصد و ۳۳ درصد مقاومت فشاری نهایی محاسبه میشود.

۲. آزمایشهای جامع

برای دستیابی به سطح اطلاعات جامع، باید آزمایشهای غیرمخرب زیر، برای کمّی کردن سنجش های انجام شده و اطمینان از یکنواختی کیفیت ساخت و یا زوال در اجزا و المانها انجام شود :

- سرعت پالس مکانیکی یا فراصوت، برای مشخص کردن تغییرات در چگالی و مدول الاستیسیته مصالح و همچنین تعیین وجود ترک و عدم پیوستگی؛
- رادیوگرافی برای تعیین محل فولاد تسلیح.

۱. سرعت پالس فراصوت [۱]

اندازه گیری سرعت عبور پالس از میان دیوار، میتواند مشخص کنندۀ تغییرات در چگالی و مدول الاستیسیته مصالح، همچنین وجود ترک و عدم پیوستگی ها باشد .زمان عبوری برای پالسها از میان دیوار (روش مستقیم) یا از بین دو نقطه در یک طرف دیوار (روش غیر مستقیم) اندازه گیری میشود و برای تفسیر سرعت موج، مورد استفاده قرار میگیرد.

ابزار آزمایش با فرکانسهای موج در محدوده ۵۰ کیلو هرتز برای مصالح بنایی دارای قابلیت مناسبی است؛ فرکانسهای بالاتر به دلیل طول موج کوتاه و میرایی زیاد با شرایط فیزیکی مصالح بنایی سازگار نبوده و توصیه نمیشود .در انتخاب محلهای آزمایش، بایستی دقت کرد تا محدوده های با خصوصیات متفاوت مشخص شوند .نقشه های سرعت موج عبوری در حالت مستقیم قابل رسم است و در نتیجه، همگن بودن کلی دیوار در ارتفاع تعیین میشود .در روش آزمایش غیرمستقیم، فاصله افقی یا عمودی در مقابل زمان عبور برای تعیین تغییرات سرعت موج رسم میشود (شیب منحنی) .تغییرات ناگهانی در شیب مشخص کننده مکان ترک یا نقص میباشد .روشهای فراصوت برای مصالح با کیفیت پایین یا مدول کم و یا ترکهای ریز قابل کاربرد نیست .این روش، به سطح مورد آزمایش و مواد اتصال دهنده استفاده شده بین ترانسدیوسر یا گیرنده و آجر و همچنین فشار اعمالی به ترانسدیوسر حساس میباشد.

۲. سرعت پالس مکانیکی [۱]

آزمایش سرعت پالس مکانیکی، شامل ضربه زدن به دیوار با چکش و ایجاد صدا و اندازه گیری زمان عبور موج صوتی از میان گیج های مشخص میباشد .چکش ضربه به نیروسنج الکترونیکی یا شتابسنج برای تعیین زمان ضربه مجهز است، شتاب سنج دیگری هم در یک فاصله معین از محل ضربه، برای تعیین