



همگن سازی خطی جهت بررسی عملکرد لرزه ای ساختمانهای آجری تقویت شده با پوشش بتن مسلح

بهمن غیائی^۱، مسعود سلطانی محمدی^۲، عباسعلی تسنیمی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه تربیت مدرس تهران

۲- استادیار بخش عمران، دانشگاه تربیت مدرس تهران

۳- دانشیار بخش عمران، دانشگاه تربیت مدرس تهران

ghiassi@modares.ac.ir

خلاصه

یکی از روشهای متداول تقویت لرزه ای ساختمانهای بنایی در کشور ما استفاده از پوشش بتن مسلح می باشد. در این روش شبکه میلگردهای قائم و افقی روی دیوارهای آجری اجرا شده و سپس با پوشش بتنی پوشیده می شود. جهت ارزیابی لرزه ای خطی ساختمان های بنایی تقویت شده و تقویت نشده، اولین گام مدلسازی کامپیوتری آنها می باشد. مدلسازی سازه های بنایی به طور کلی به دو روش ریزمدل و درشت مدل قابل انجام می باشد. ریزمدلسازی به دلیل پیچیدگی و نیز لزوم محاسبات بسیار زیاد، بسیار وقت گیر بوده و فقط برای انجام کارهای تحقیقاتی و در مورد اعضای بنایی می تواند کاربردی باشد. اما درشت مدلسازی در صورت وجود اطلاعات کافی در مورد مشخصات همگن ارتجاعی دیوار می تواند به سادگی و با صرف زمان بسیار کم و با استفاده از المانهای پوسته انجام شود. در این مقاله مشخصات ارتجاعی دیوار تقویت شده با پوشش بتن مسلح و نیز دیوار تقویت نشده از روی خواص ارتجاعی اجزای آن با استفاده از روش همگن سازی پیشنهادی محاسبه شده و دقت روش همگن سازی پیشنهادی نیز با روشهای همگن سازی دقیق که توسط دیگر محققین استفاده شده است، مورد بررسی قرار گرفته است. از محاسن روش همگن سازی پیشنهادی می توان به سادگی در استفاده از آن و نیز ارائه یک حل بسته اشاره نمود. در ادامه منحنی های تسلیم دیوار همگن تقویت شده و تقویت نشده نیز استخراج شده اند. در این منحنی ها افزایش قابل توجه مقاومت دیوار تقویت شده نسبت به دیوار تقویت نشده به روشنی مشخص می باشد.

کلمات کلیدی: ساختمان آجری، تقویت لرزه ای، مدلسازی، همگن سازی

مقدمه

حدود ۷۰ درصد ساختمان های موجود در کشور ما و نیز در سرتاسر جهان، ساختمانهای بنایی می باشند که تعداد قابل شماری از آنها را بیمارستانها، مدارس و ساختمانهای مسکونی تشکیل می دهند. تجربه زلزله های گذشته آسیب پذیری بسیار زیاد این ساختمانها را بارها نشان داده است. به همین دلیل از مهمترین مسائل امروزه جامعه مهندسی، ارزیابی لرزه ای این نوع سازه ها و در صورت نیاز تقویت آنها در برابر زلزله ها می باشد. اولین گام در ارزیابی لرزه ای ساختمانها و نیز ارزیابی طرح تقویت مورد نظر، مدلسازی ساختمانها می باشد. به طور کلی مدلسازی ساختمانهای آجری را می توان به صورت ریز مدلسازی و درشت مدلسازی انجام داد. ریزمدلسازی روشی است که در آن آجر و ملات و سطح بین آجر و ملات به صورت مجزا مدلسازی شده و رفتار و مشخصات ارتجاعی و غیرارتجاعی هر یک در مدل در نظر گرفته می شود. در این روش به دلیل تعداد زیاد المانهای مورد استفاده، فرایند مدلسازی و آنالیز بسیار وقت گیر بوده و همچنین احتمال وقوع خطا در آن زیاد می باشد. بنابراین این روش فقط برای مدلسازی المانهای کوچک قابل کاربرد بوده و برای مدلسازی یک ساختمان کامل مناسب نمی باشد. در واقع هدف از این نوع مدلسازی بررسی رفتار موضعی یک المان می باشد. البته لازم به ذکر است در صورت استفاده مناسب از این روش دقت مدلسازی بسیار مناسب خواهد بود [۱]. درشت مدلسازی روشی است که در آن المان بنایی به صورت یک المان پیوسته معادل مدل شده و تفاوتی بین آجر و ملات در آن قائل نمی شویم. المان پیوسته مورد استفاده در این روش دارای مشخصات متوسط اجزای تشکیل دهنده المان بنایی خواهد بود. استفاده از این روش پیچیدگی های ریزمدلسازی را نداشته و برای مدلسازی کل یک ساختمان مناسب می باشد.

استفاده از درشت مدلسازی برای ارزیابی لرزه ای یک ساختمان بنایی نیاز به داشتن اطلاعاتی در مورد مشخصات ارتجاعی (مدول الاستیسیته، ضریب پواسون و ...) و غیرارتجاعی المان بنایی پیوسته دارد. اما امروزه جهت مدلسازی این ساختمانها در کشور ما، به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی و نیز عدم انجام آزمایشهای مورد نیاز، از روشهای تجربی برای تعیین این مقادیر استفاده می شود. برای مثال می توان به در نظر گرفتن درصدی از مدول الاستیسیته قائم دیوارچینی به عنوان مدول الاستیسیته افقی آن اشاره نمود.

تقویت لرزه ای ساختمانهای بنایی به روشهای گوناگون از جمله استفاده از پوشش FRP، پیش تنیدگی، تسلیح خارجی و پوشش بتن آرمه انجام می-شود [۲] که در این بین، در کشور ما استفاده از پوشش بتن آرمه به دلیل سادگی نسبی در اجرا و تامین مقاومت و شکل پذیری مناسب برای سازه، مورد استقبال فراوانی قرار گرفته است. اما به دلیل کمبود نتایج تحقیقاتی تحلیلی و آزمایشگاهی در مورد این روش، طرح تقویت و استفاده از این روش عموماً بر اساس روشهای تجربی و یا تجویزی می باشد.

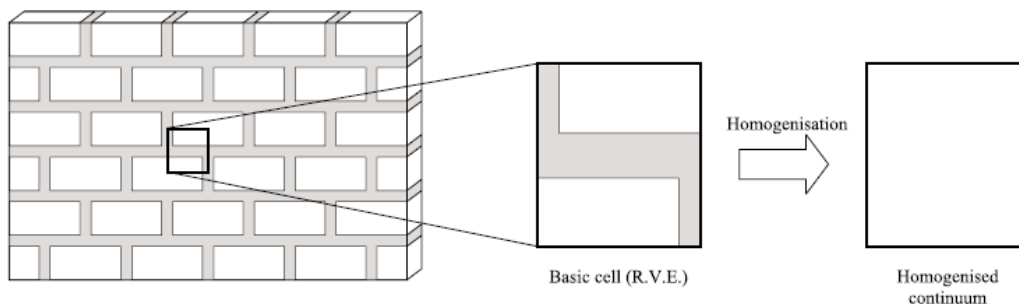
در این تحقیق در اولین گام مشخصات ارتجاعی ارتوتروپیک سه بعدی دیوار آجری با استفاده از روش همگن سازی محاسبه و در گام بعدی به استخراج پارامترهای ارتجاعی ارتوتروپیک سه بعدی دیوار آجری تقویت شده با پوشش بتن آرمه پرداخته شده است.

همگن سازی روشی است که در آن مشخصات متوسط یک المان تشکیل شده از اجزای مختلف (مانند دیوار آجری که از ملات و آجر تشکیل شده است)، که اجزای آن با یک شکل خاص در سرتاسر المان تکرار می شوند، با استفاده از مشخصات اجزای تکرار شونده محاسبه می شوند. این فرایند توسط محققین مختلف و با روشهای متفاوت دقیق یا اجزای محدودی [۳] و تقریبی مورد استفاده قرار گرفته است. در روشهای تقریبی از فرضیات ساده کننده ای برای محاسبات استفاده می شود که دقت آنها به اندازه روشهای المان محدودی نبوده ولی در صورت دقت در فرضیات مورد استفاده می توانند دقت قابل قبولی داشته باشند. از این روشها می توان به روش تک مرحله ای [۴]، روش دومرحله ای [۵] و یا روشهای مهندسی [۶] اشاره نمود. هر یک از این روشها فواید و کاستی های خاص خود را دارند.

در این تحقیق در ادامه تحقیقات صالحی و همکاران [۷]، روش جدیدی برای همگن سازی ۳ بعدی دیوار آجری تقویت نشده و تقویت شده مورد استفاده قرار گرفته است. این روش بر پایه روابط انرژی در اجسام هیبرالاستیک بنا شده و علاوه بر سادگی از دقت قابل قبولی برخوردار می باشد. دقت مدل همگن به دست آمده نیز با مدلهای همگن پیشنهادی محققین دیگر مورد بررسی قرار گرفته است.

همگن سازی دیوار آجری تقویت نشده

در این بخش با استفاده از روش همگن سازی محیط های پیوسته به روش انرژی و در محدوده رفتاری الاستیک، یک دیوار آجری همگن شده است و با استفاده از مشخصات اجزای ریز مدل دیوار، مشخصات ارتوتروپیک المان همگن دیوار استخراج شده است. اصول روشهای همگن سازی بدین ترتیب است که در ماده مورد نظر (در این مسئله دیوار آجری غیر همگن) یک بخش که در تمام طول ماده تکرار می شود از آن خارج شده و مشخصات متوسط جزء استخراج شده از طریق فرایند همگن سازی محاسبه شده و به کل ماده نسبت داده می شود(شکل ۱).



شکل ۱- روند اجرای عملیات همگن سازی

در روش مورد استفاده در این تحقیق نیز با انتخاب المان پایه عملیات همگن سازی صورت می گیرد. در مصالح هیبرالاستیک رابطه زیر بین تنشها، کرنشها و انرژی ماده برقرار می باشد.

$$\sigma_{ij} = \frac{\partial u}{\partial e_{ij}} \quad (1)$$

که در این رابطه σ_{ij} تنش المان، e_{ij} کرنش المان و u انرژی حجمی کل ماده می باشد.

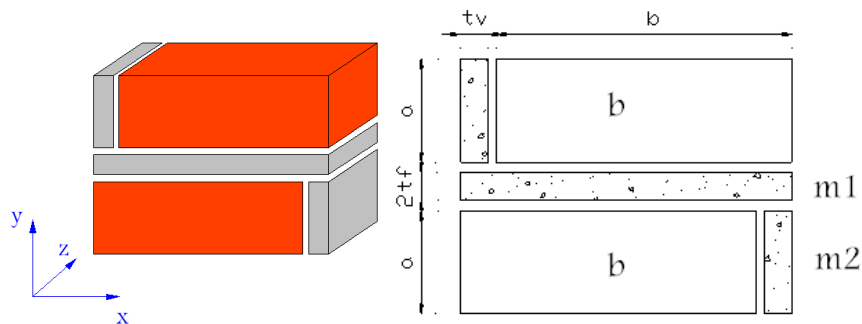


به عبارت دیگر هر یک از درایه های تانسور تنش متوسط ماده مورد بررسی را می توان از مشتق گیری انرژی کل ماده نسبت به درایه متناظر در ماتریس کرنش متوسط به دست آورد. با استفاده از این رابطه می توان با محاسبه انرژی حجمی کل المان پایه بر حسب کرنشهای متوسط و مشتق گیری از آن نسبت به کرنشهای متوسط المان پایه، تنشهای متوسط المان پایه را بر حسب کرنشهای متوسط محاسبه کرده و ماتریس ارتجاعی المان متوسط را به دست آورد (رابطه (۲)). انرژی کل یک ماده نیز با استفاده از روابط حاکم بر محیط های پیوسته و مطابق با رابطه (۳) محاسبه می شود.

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl}e_{ij} \quad (2)$$

$$u_{ij} = \frac{1}{2}\sigma_{ij}e_{ij} = \frac{1}{2}C_{ijkl}e_{ij}e_{lk} \rightarrow u = \frac{1}{2}e^T C e \rightarrow u_v = \frac{1}{2}n e^T C e \quad (3)$$

المان پایه انتخابی مربوط به یک حالت خاص چیدمان آجرها مطابق با شکل ۲ می باشد که لورنکو و همکاران [۸] نیز در تحقیقات خود از همین المان پایه استفاده نموده و در نتیجه جهت انجام مقایسه نتایج مناسب می باشد. البته این روش همگن سازی برای تمامی انواع چیدمان ها و ضخامت ها به سادگی قابل توسعه و کاربرد می باشد.



شکل ۲- المان پایه انتخابی جهت انجام فرایند همگن سازی

با توجه به المان پایه انتخابی انرژی کرنشی حجمی کل ماده برابر خواهد بود با:

$$U^E \times V^E = U^b \times V^b + U^{m1} \times V^{m1} + U^{m2} \times V^{m2} \quad (4)$$

که در این رابطه U^E انرژی کرنشی حجمی کل المان پایه، V^E حجم کل المان پایه، U^b انرژی کرنشی آجر، V^b حجم آجر، U^{m1} انرژی کرنشی ملات افقی، V^{m1} حجم ملات افقی، U^{m2} انرژی کرنشی ملات قائم و V^{m2} حجم ملات قائم می باشد. جهت محاسبه انرژی آجر و ملات ها فرض شده است آجر و ملات موادی ایزوتروپ می باشند. با محاسبه انرژی هر یک از اجزاء و قرار دادن آنها در رابطه انرژی المان پایه، انرژی کل المان پایه در واحد حجم قابل محاسبه خواهد بود. جهت انجام عملیات همگن سازی و محاسبه ماتریس ارتجاعی المان همگن شده می بایست کرنشهای اجزاء بر حسب کرنش متوسط المان همگن شده بیان شوند. بدین منظور لازم است بر سطوح مختلف المان پایه تنشهای یکنواخت اعمال کرده و بدین ترتیب روابط بین کرنشهای اجزاء و کرنشهای متوسط محاسبه شوند. با محاسبه رابطه بین کرنش هر یک از اجزاء و کرنشهای متوسط (کرنشهای ماده همگن)، ماتریس ارتجاعی المان همگن مطابق رابطه ۲ قابل محاسبه بوده و با معکوس کردن ماتریس ارتجاعی ماده همگن، مشخصات ارتجاعی آن نیز به دست می آید (روابط ۵ تا ۷). با انجام عملیات فوق روابط زیر جهت محاسبه مشخصات ارتجاعی دیوار آجری با چیدمان نمایش داده شده در شکل ۲ به دست آمده است. لازم به ذکر است استفاده از این روش برای محاسبه پارامترهای ارتجاعی انواع مختلف چیدمان آجر به سادگی قابل استفاده می باشد.

$$E_{11}^{eq} = \frac{\chi}{4 \times B \times C - F^2}, E_{22}^{eq} = \frac{\chi}{4 \times B \times C - E^2}, E_{33}^{eq} = \frac{\chi}{4 \times A \times B - D^2}, G_{12}^{eq} = 0.5g, G_{13}^{eq} = 0.5h, G_{23}^{eq} = 0.5i \quad (5)$$

$$V_{12}^{eq} = \frac{2 \times D \times C - E \times F}{4 \times B \times C - F^2}, V_{21}^{eq} = \frac{2 \times D \times C - E \times F}{4 \times A \times C - E^2}, V_{13}^{eq} = \frac{2 \times E \times B - D \times F}{4 \times B \times C - F^2} \quad (6)$$



$$V_{31}^{eq} = \frac{2 \times E \times B - D \times F}{4 \times A \times B - D^2}, \quad V_{23}^{eq} = \frac{2 \times A \times F - D \times E}{4 \times A \times B - D^2}, \quad V_{32}^{eq} = \frac{2 \times A \times F - D \times E}{4 \times A \times C - E^2} \quad (7)$$

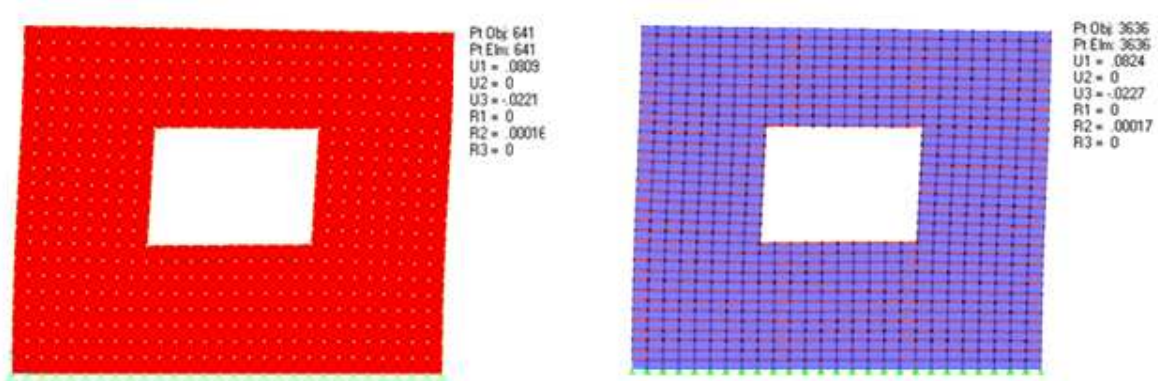
که در این روابط داریم:

$$\begin{aligned} \chi &= 2 \times [a(4 \times b \times c - f^2) - d^2 \times c + d \times e \times f - e^2 \times b], A = \frac{1}{2V^E} (C_{11b} f_1^2 V_b + C_{11m1} V_{m1} + C_{11m2} n^2 f_1^2 V_{m2}) \\ B &= \frac{1}{2V^E} (C_{11b} f_2^2 V_b + C_{11m1} n^2 f_2^2 V_{m1} + C_{11m2} f_2^2 V_{m2}), C = \frac{1}{2V^E} (C_{11b} V_b + C_{11m1} V_{m1} + C_{11m2} V_{m2}) \\ D &= \frac{1}{V^E} (C_{12b} f_1 f_2 V_b + C_{12m1} n f_2 V_{m1} + C_{12m2} n f_1 f_2 V_{m2}), E = \frac{1}{V^E} (C_{12b} f_1 V_b + C_{12m1} V_{m1} + C_{12m2} n f_1 V_{m2}) \\ F &= \frac{1}{V^E} (C_{12b} f_2 V_b + C_{12m1} n f_2 V_{m1} + C_{12m2} f_2 V_{m2}), g = \frac{2}{V^E} (G_b f_3^2 V_b + G_{m1} n^2 f_3^2 V_{m1} + G_{m2} f_3^2 V_{m2}) \\ h &= \frac{2}{V^E} (G_b V_b n_G^2 Z^2 + G_{m1} V_{m1} + G_{m2} V_{m2} Z^2), i = \frac{2}{V^E} (G_b f_3^2 V_b + G_{m1} n^2 f_3^2 V_{m1} + G_{m2} f_3^2 V_{m2}) \\ V^E &= 2(a + t_f)(b + t_v), V^b = 2ab, V^{m1} = 2t_f(b + t_v), V^{m2} = 2t_v a, n = \frac{E_b}{E_m}, f_1 = \frac{b+t_v}{b+nt_v}, f_2 = \frac{a+t_f}{a+nt_f}, n_1 = \frac{G_b}{G_m} \\ n_2 &= \frac{n_1 b + t_v}{b + t_v}, f_3 = \frac{a + t_f}{a + n_2 t_f}, n_G = \frac{G_b}{G_m}, Z = \frac{b + t_v}{n_G b + t_v} \end{aligned}$$

که در این روابط E_b مدول الاستیسیته آجر، E_m مدول الاستیسیته ملات، $2b$ طول آجر، $2t_v$ ضخامت ملات قائم، $2t_f$ ضخامت ملات افقی، $2a$ ارتفاع آجر، G_b مدول برشی آجر، G_m مدول برشی ملات و C_{11} و C_{12} ضرایب ارتجاعی هر یک از اجزا بوده (آجر و ملات) و با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه می باشد. اندیس ۱۱ در این روابط معرف کمیت مورد نظر در جهت X، اندیس ۲۲ معرف کمیت مورد نظر در جهت Y و اندیس ۳۳ معرف کمیت مورد نظر در جهت Z در شکل ۲ می باشد.

$$C_{11} = \lambda + 2\mu, C_{12} = \lambda, \lambda = \frac{vE}{(1+v)(1-2v)}, \mu = \frac{E}{2(1+v)} \quad (8)$$

جهت کنترل نتایج به دست آمده از فرایند همگن سازی یک دیوار آجری یکبار به صورت ریز مدل (مدلسازی آجر و ملات به صورت مجزا) و یکبار به صورت درشت مدل و با استفاده از مشخصات ارتجاعی ماده همگن و با استفاده از المان پوسته مدلسازی شده است. شکل تغییر شکل یافته هر یک از دو مدل مذکور تحت بار جانبی وارد شده به بالای دیوار در شکل ۳ نمایش داده شده است. تغییر مکان جانبی ایجاد شده در ریز مدل تحت بار جانبی برابر 0.0809 سانتیمتر و در مدل درشت برابر 0.0824 سانتیمتر بوده است که نشان دهنده دقت قابل قبول مدل همگن تحت بار جانبی می باشد.



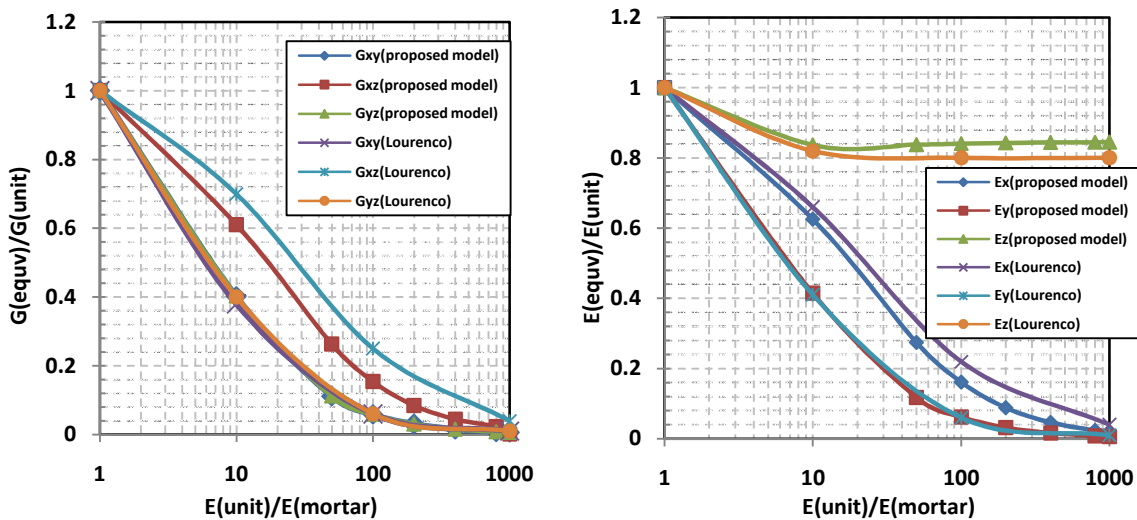
شکل ۳- شکل تغییر شکل یافته مدل درشت و ریز تحت بار جانبی- شکل سمت راست ریزمدل و شکل سمت چپ مدل همگن می باشد

جهت بررسی رفتار خارج صفحه دیوار و هم چنین دقت مدل همگن پیشنهادی در برآورد این رفتار، یک پانل دیوار آجری به ابعاد 104×98 سانتیمتر که با دو روش ریزمدلسازی و درشت مدلسازی، مدلسازی شده اند تحت بار خارج صفحه در شرایط مختلف تکیه گاهی قرار داده شدند که مقادیر تغییر مکان های خارج صفحه به وجود آمده در دیوار مذکور در هر یک از این حالات در جدول ۱ نمایش داده شده است. مشاهده می شود مدل همگن استخراج شده از دقت مناسبی در رفتار داخل و خارج صفحه برخوردار می باشد.

جدول ۱- تغییر مکان های مدل همگن و ریز مدل تحت بار خارج صفحه

تغییر مکان خارج صفحه (Cm)		شرایط تکیه گاهی
ریز مدل	مدل همگن	
۱.۴۲۹	۱.۴۷۲	تکیه گاه مفصلی در بالا و پایین دیوار
۰.۴۴۰	۰.۴۷۰	تکیه گاه مفصلی در ۴ طرف دیوار

هم چنین دقت مدل همگن پیشنهادی با نتایج روش همگن سازی پیشنهادی لورنکو و زوجینی [۸] در شکل شماره ۴ مورد مقایسه قرار گرفته است. همانطوریکه مشاهده می شود نتایج به دست آمده از دقت بسیار مناسبی برخوردار بوده و از مزایای روش پیشنهادی می توان به سادگی آن نسبت به روشهای دیگر و نیز ارائه یک حل بسته اشاره نمود. ماتریس ارتجاعی المان همگن به دست آمده مطابق رابطه ۹ است که پارامترهای مربوط به آن در بخشهای قبلی محاسبه شده اند.



شکل ۴- مقایسه نتایج به دست آمده با مدل همگن لورنکو و زوجینی

$$C = \begin{bmatrix} 2a & d & e & 0 & 0 & 0 \\ d & 2b & f & 0 & 0 & 0 \\ e & f & 2c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5g & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5i \end{bmatrix} \quad (9)$$

همگن سازی دیوار آجری تقویت شده با پوشش بتن آرمه

در این بخش مشخصات ارتجاعی دیوار آجری تقویت شده با پوشش بتنی با استفاده از روش همگن سازی ذکر شده استخراج شده است. فرایند همگن سازی در این بخش به گونه ای انجام شده است که ضخامت دیوار و پوشش بتنی در روابط قرار بگیرند و در نتیجه روابط ارائه شده برای هر ضخامتی از دیوار و بتن قابل استفاده باشد. چیدمان دیوار آجری نیز مشابه چیدمان در نظر گرفته شده برای بخش قبل، فرض شده است. پارامترهای ارتجاعی دیوار همگن معرف دیوار آجری تقویت شده با پوشش بتن مطابق روابط ۱۰ تا ۱۲ می باشند. لازم به ذکر است از تاثیر وجود میلگردهای قائم و افقی در محاسبه مشخصات ارتجاعی مدل همگن، به دلیل درصد کم میلگرد موجود در این روش تقویت و هم چنین تاثیر ناچیز آن در پارامترهای ارتجاعی متوسط ماده، در روابط زیر صرف نظر شده است.

$$E_{11}^{eq} = \frac{\chi}{4 \times B \times C - F^2}, E_{22}^{eq} = \frac{\chi}{4 \times A \times C - E^2}, E_{33}^{eq} = \frac{\chi}{4 \times A \times B - D^2}, G_{12}^{eq} = 0.5G, G_{13}^{eq} = 0.5H, G_{23}^{eq} = 0.5I \quad (10)$$

$$v_{12}^{eq} = \frac{2 \times D \times C - E \times F}{4 \times B \times C - F^2}, v_{21}^{eq} = \frac{2 \times D \times C - E \times F}{4 \times A \times C - E^2}, v_{13}^{eq} = \frac{2 \times E \times B - D \times F}{4 \times B \times C - F^2} \quad (11)$$

$$v_{31}^{eq} = \frac{2 \times E \times B - D \times F}{4 \times A \times B - D^2}, v_{23}^{eq} = \frac{2 \times A \times F - D \times E}{4 \times A \times B - D^2}, v_{32}^{eq} = \frac{2 \times A \times F - D \times E}{4 \times A \times C - E^2} \quad (12)$$

که در این روابط داریم:



$$\chi = 2 \times [A(4 \times B \times C - F^2) - D^2 \times C + D \times E \times F - E^2 \times B], A = \frac{1}{2(t_m+t_c)} (C_{11m}t_m + C_{11c}t_c),$$

$$B = \frac{1}{2(t_m+t_c)} (C_{22m}t_m + C_{11c}t_c), C = \frac{1}{2(t_m+t_c)} (C_{33m}t_m n_3^2 f_3^2 + C_{11c}t_c f_3^2)$$

$$D = \frac{1}{(t_m+t_c)} (C_{12m}t_m + C_{12c}t_c), E = \frac{1}{(t_m+t_c)} (n_3 f_3 C_{13m}t_m + f_3 C_{12c}t_c)$$

$$F = \frac{1}{(t_m+t_c)} (n_3 f_3 C_{23m}t_m + f_3 C_{12c}t_c), G = \frac{2}{(t_m+t_c)} (C_{66m}t_m + G_c t_c)$$

$$H = \frac{1}{2} \frac{1}{(t_m+t_c)} (C_{55m} n_{13}^2 f_{13}^2 t_m + G_c f_{13}^2 t_c), I = \frac{2}{(t_m+t_c)} (C_{44m} n_{23}^2 f_{23}^2 t_m + G_c f_{23}^2 t_c)$$

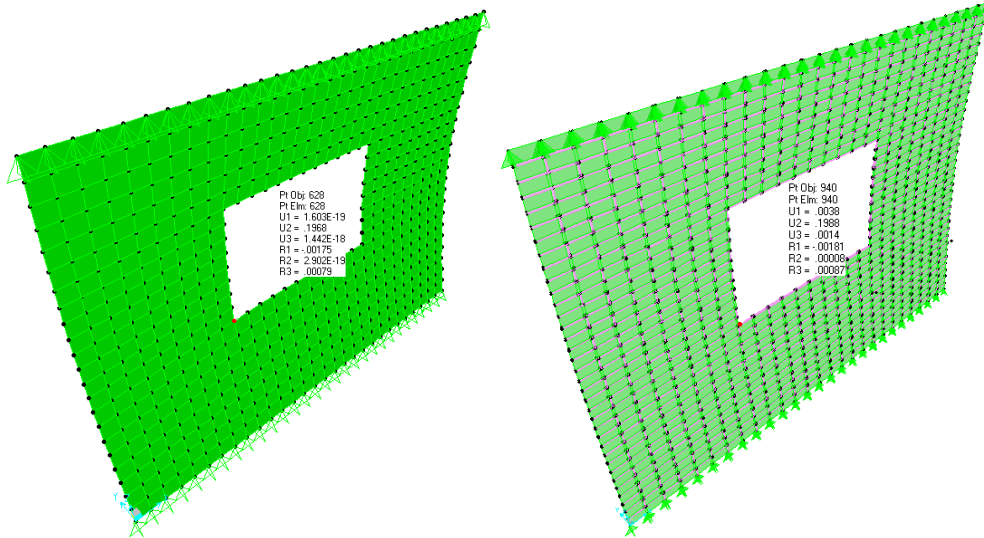
$$n_3 = \frac{E_c}{E_{m3}}, f_3 = \frac{t_m+t_c}{n_3 t_m+t_c}, n_{13} = \frac{G_c}{G_{m13}}, n_{23} = \frac{G_c}{G_{m23}}, f_{23} = \frac{t_m+t_c}{n_{23} t_m+t_c}, f_{13} = \frac{t_m+t_c}{n_{13} t_m+t_c}$$

که در این روابط t_m ضخامت دیوار بنایی، t_c ضخامت پوشش بتنی، E_c مدول الاستیسیته بتن، E_{m3} مدول الاستیسیته دیوار بنایی در جهت Z ، G_c مدول برشی بتن، G_{m13} مدول برشی دیوار بنایی در جهت XZ ، G_{m23} مدول برشی دیوار بنایی در جهت YX و C_{ijm} معرف درایه سطر i و ستون j ماتریس ارتجاعی المان همگن آجری که در رابطه ۱۴ نمایش داده شده است می باشند که به سادگی از روابط بخش قبل قابل محاسبه هستند. اندیس ۱۱ در این روابط معرف کمیت مورد نظر در جهت X ، اندیس ۲۲ معرف کمیت مورد نظر در جهت Y و اندیس ۳۳ معرف کمیت مورد نظر در جهت Z در شکل ۲ می باشد.

در این بخش نیز جهت کنترل صحت روابط به دست آمده دیوار شکل ۳ با پوشش ۱۰ سانتی بتنی تقویت شده و یکبار به روش ریزمدل و یکبار با مدل همگن مدلسازی و تحت بار داخل و خارج صفحه قرار گرفتند که تغییر مکان های به وجود آمده در هر یک از مدلها در جدول شماره ۲ و همچنین شکل تغییر شکل یافته آن تحت بار خارج صفحه در شکل ۵ نمایش داده شده است.

جدول ۲- تغییر مکان های مدل همگن و ریز مدل تحت بار داخل و خارج صفحه

تغییر مکان (Cm)		نحوه اعمال بار
ریز مدل	مدل همگن	
۰.۰۱۱۱	۰.۰۱۰۸	داخل صفحه (بار جانبی)
۰.۱۹۸۸	۰.۱۹۶۸	خارج صفحه



شکل ۵- شکل تغییر شکل یافته دیوار تقویت شده با پوشش بتن- شکل سمت چپ مدل همگن و شکل سمت راست ریزمدل می باشد



هم چنین پانل دیوار آجری تقویت شده با پوشش بتن به ابعاد 104×98 سانتیمتر که با دو روش ریزمدلسازی و درشت مدلسازی، مدلسازی شده اند تحت بار خارج صفحه در شرایط مختلف تکیه گاهی قرار داده شدند که مقادیر تغییر مکان های خارج صفحه به وجود آمده در دیوار آنها در هر یک از این حالات در جدول ۳ نمایش داده شده است.

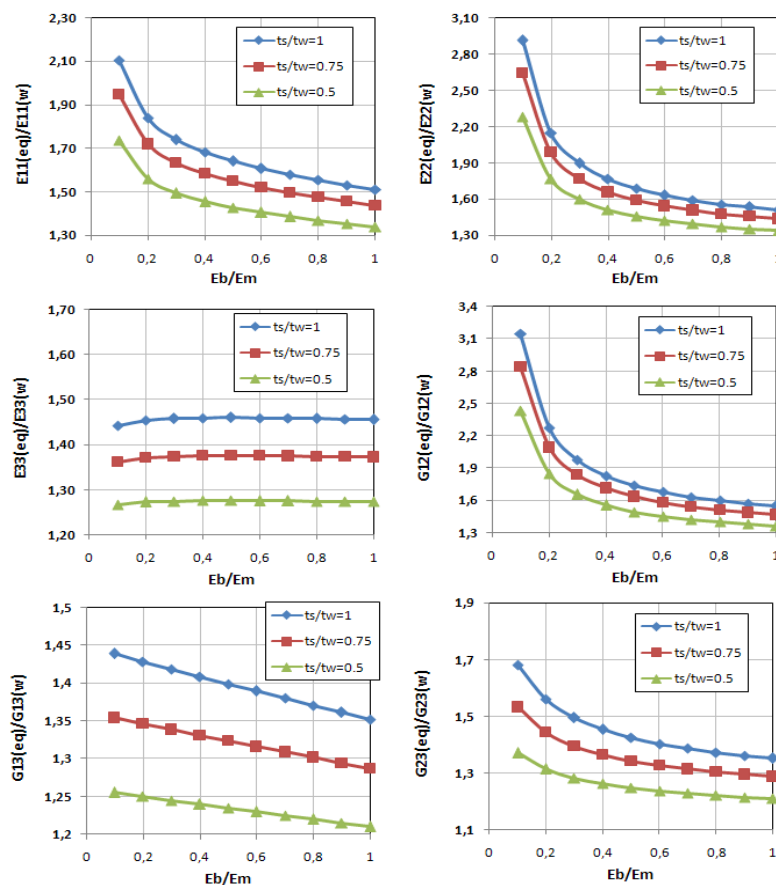
جدول ۳- تغییر مکان های مدل همگن و ریز مدل دیوار تقویت شده تحت بار خارج صفحه

تغییر مکان خارج صفحه (Cm)		شرایط تکیه گاهی
ریز مدل	مدل همگن	
۰.۰۷۱۴	۰.۰۷۰۳	تکیه گاه مفصلی در بالا و پایین دیوار
۰.۱۰۱۵	۰.۱۰۵۷	تکیه گاه مفصلی در چپ و راست دیوار
۰.۰۴۷۴	۰.۰۴۷۴	تکیه گاه مفصلی در ۴ طرف دیوار

دقت بسیار مناسب مدل همگن پیشنهادی در تخمین رفتار داخل و خارج صفحه الاستیک دیوار تقویت شده به وضوح در جداول ۲ و ۳ قابل مشاهده می باشد.

مطالعه پارامتریک مشخصات ارتجاعی دیوار تقویت شده با پوشش بتن

در این بخش به مطالعه پارامتریک مشخصات ارتجاعی دیوار تقویت شده با پوشش بتن پرداخته می شود. در شکل تاثیر ضخامت پوشش بتن و همچنین نسبت مدول الاستیسیته آجر به ملات بر ملات بر پارامترهای مختلف ارتجاعی دیوار تقویت شده نسبت به دیوار همگن تقویت نشده مشاهده می شود.



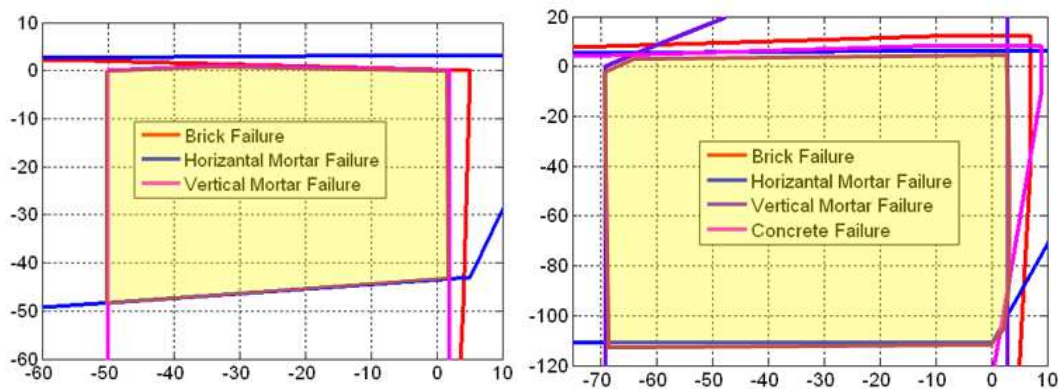
شکل ۶- تاثیر پارامترهای مختلف بر مشخصات ارتجاعی دیوار تقویت شده



استخراج منحنی های تسلیم

محاسبه سطح تسلیم مواد شبه ترد مانند بتن و مصالح بنایی امری بسیار پیچیده می باشد و حتی در شرایط بارگذاری ساده در بین محققین مختلف نظرات متفاوتی یافت می شود. هدف از این بخش ارائه منحنی تسلیم ماده همگن به دست آمده از فرایند همگن سازی پیشنهادی می باشد. منحنی های تسلیم استخراج شده با فرض الاستوپلاستیک کامل بودن مصالح از دقت مناسبی برخوردار می باشد. جهت به دست آوردن منحنی تسلیم ماده همگن مطابق با تحقیقات لورنکو و زوجینی [۸] برای هر یک از اجزای تشکیل دهنده ماده مرکب یک معیار تسلیم در نظر گرفته می شود. مجموعه تنش های متوسطی که باعث تسلیم هر یک از اجزای تشکیل دهنده ماده مرکب شود، سطح تسلیم متوسط را حاصل میکنند. به عبارت دیگر سطح داخلی مشترک بین سطوح داخلی تسلیم اجزای تشکیل دهنده دیوار، سطحی است که در آن ماده متوسط حاصل الاستیک باقی می ماند. در واقع سطح تسلیم به دست آمده معرف لحظه ترک خوردگی در دیوار می باشد. جهت محاسبه سطح تسلیم هر یک از اجزا لازم است تنش های وارده به هر یک با داشتن مقادیر تنشهای متوسط قابل محاسبه باشند. بدین منظور می توان از فرضیات اولیه عملیات همگن سازی پیشنهادی استفاده نمود و تنشهای اجزای تشکیل دهنده دیوار را بر حسب تنشهای متوسط محاسبه کرد. برای به دست آوردن منحنی تسلیم مواد ترد بهتر است از یک معیار وابسته به فشار استفاده شود، به همین منظور در این تحقیق از معیار مورکولمب استفاده شده است. در شکل شماره ۷ منحنی های تسلیم دیوار آجری تقویت نشده همگن و دیوار آجری تقویت شده همگن با استفاده از معیار مورکولمب نمایش داده شده است. مشخصات مصالح در نظر گرفته شده برای استخراج منحنی های تسلیم به این ترتیب می باشد:

$$E_c = 200000, E_b = 100000, E_m = 10000, \nu_b = \nu_m = 0.2, \nu_m = 0.15, f_{tb} = 4, f_{tm} = 2, f_{tc} = 14, f_{cb} = 100, f_{cm} = 35, f_{cc} = 200$$



شکل ۷- منحنی های تسلیم برای دیوار تقویت نشده (شکل سمت راست) و دیوار تقویت شده (شکل سمت چپ)

نتیجه گیری

یکی از اساسی ترین نیازهای ارزیابی لرزه ای سازه های بنایی به روشهای خطی، مشخصات ارتجاعی المانهای بنایی تقویت نشده و تقویت شده می باشد. به دلیل عدم وجود روابطی دقیق جهت محاسبه این پارامترها معمولاً از قضاوت مهندسی یا روابطی تجربی استفاده می شود. در این تحقیق روابطی برای محاسبه پارامترهای ارتجاعی ارتتروپیک دیوار بنایی غیر مسلح و همچنین دیوار بنایی تقویت شده با پوشش بتنی ارائه شده و صحت روابط ارائه شده نیز با بررسی های صورت گرفته، بسیار مناسب تخمین زده شد. هم چنین منحنی های تسلیم دیوار همگن تقویت شده و تقویت نشده استخراج شده اند. منحنی های تسلیم ارائه شده محدوده الاستیک دیوار را مشخص می کند.

فهرست مراجع

1. *Analysis of historical constructions: From thrust lines to advanced simulations.* Lourenco, P.B. 2001.
2. *A review of conventional seismic retrofitting techniques for URM.* Elgawady, M. and al, et. Amsterdam : s.n., 2004. 13th IB2MAC.
3. *Finite element modeling of the behavior of the masonry walls and columns by homogenization approach.* Urbanski, A., Szarlinski, J. and Kordecki, Z. 1995, Computer methods in structural masonry.
4. *Derivation of in-plane elastic characteristics of masonry through homogenization theory.* Anthoine, A. 1995, Journal of Solids and Structures.
5. Lourenco, P.B. *Computational strategies for masonry.* 1996.
6. *Equivalen elastic moduli for unit masonry.* Pande, G.N. 1989, Computers and Geotechnics.
۷. صالحی دلارستانی، ایمان. تعیین مدل های تنش- کرنش متوسط و شکست المانهای مصالح بنایی با ریزمدلسازی رفتار و اندرکنش اجزای آن. تهران : دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۵.
8. Lourenco, P.B. and Zucchini, A. A micro-mechanical model for the homogenisation of masonry. *Journal of Solids and Structures.* 2002.