



10th

دین گروین الملی مندی عمران

International Congress on Civil Engineering

8-7 May 2018 | تبریز | دانشگاه تبریز

دانشگاه تبریز - University of Tabriz



گواهی ارائه مقاله

بدینوسیله گواهی می شود مقاله با مشخصات زیر در دهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران که در تاریخ ۱۵ لغایت ۱۷ اردیبهشت ۱۳۹۴ در دانشگاه تبریز برگزار گردید به صورت پوستر ارائه شده است.

نوید یگانه، علی اختریور، جعفر بلوری بزاز

مدل سازی قاب ساختمانی در FLAC2D و صحت سنجی نتایج با SAP

دکتر ناصر تقی زاده
دبیر کنگره



مدل سازی قاب ساختمانی در $FLAC^{2D}$ و صحت سنجی نتایج با SAP

نوید یگانه^۱، علی اخترپور^۲، جعفر بلوری بزاز^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

bolouri@um.ac.ir

خلاصه

در مباحث اندرکنش خاک-سازه، مدل‌سازی مجموعه خاک و سازه دارای اهمیت ویژه می‌باشد. بنابراین استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی مکانیک خاک در اولویت قرار دارند که از آن جمله می‌توان به نرم‌افزار قدرتمند $FLAC$ اشاره نمود. برای مدل‌سازی قاب سازه‌ای در این نرم‌افزار از عنصر تیر استفاده می‌شود. بطور کلی در استفاده از نرم‌افزارهای مختلف باید به طریقی از صحت نتایج ارائه شده توسط آن‌ها اطمینان پیدا نمود. برای این کار از مدل‌ها و مسائل بسیار ساده که نتایج آن‌ها به صورت دستی قابل محاسبه می‌باشند و همچنین نرم‌افزارهای دیگر با قابلیت مدل‌سازی کامل مسئله مدنظر استفاده می‌گردد. مقادیر حاصل از روابط تئوری تحلیل سازه‌ها و نرم‌افزار SAP با نتایج نرم‌افزار $FLAC$ در تحلیل تیرهای دو سر ساده و دو سر گیردار و همچنین قاب ساختمانی مطابقت مناسبی داشته و موید این مطلب است که نتایج نرم‌افزار $FLAC$ در مقوله مورد بحث، می‌تواند مورد اتکا قرار گیرد.

کلمات کلیدی: اندرکنش خاک-سازه، مدل‌سازی قاب ساختمانی، صحت سنجی، $FLAC^{2D}$ ، SAP.

۱. مقدمه

در تحلیل‌های متداول دینامیکی یک سازه، روش معمول به این صورت است که حرکت میدان آزاد زمین در محل ساختگاه تعیین می‌گردد و سپس این حرکت به پای سازه زمانی که به صورت صلب در نظر گرفته شده باشد، اعمال می‌شود [1]. این مورد در حالتی صحیح است که ساختمان بر سنگ بنا شده باشد. هنگامی که یک سازه واقع بر بستر سنگی صلب در معرض زلزله قرار گیرد، سختی بسیار زیاد سنگ سبب می‌شود که مشخصه‌های حرکات سنگ به حرکات میدان آزاد بسیار نزدیک باشد. بطور کلی سازه‌های مستقر بر سنگ، سازه‌های با قاعده گیردار به حساب می‌آیند. از طرف دیگر همان سازه اگر بر یک توده خاک نرم قرار داشته باشد پاسخی کاملاً متفاوت دارد، اول آنکه ناتوانی پی در تحمل تغییر مکان‌های حرکت میدان آزاد سبب می‌شود که حرکات قاعده سازه نسبت به حرکت میدان آزاد انحراف پیدا نماید. دوم، پاسخ دینامیکی خود سازه سبب تغییر شکل خاک زیر سازه می‌گردد. این روند که در آن پاسخ خاک تحت تاثیر حرکت سازه و پاسخ سازه تحت تاثیر حرکت خاک قرار می‌گیرد، به اندرکنش خاک-سازه مشهور است [2].

روش‌های تحلیل اندرکنش خاک-سازه را می‌توان به دو گروه اصلی، روش مستقیم و روش چند گامه طبقه‌بندی نمود. در روش مستقیم، کل سیستم سازه-پی-خاک در یک گام منفرد تحلیل می‌شود. مزیت عمده این روش امکان فرض رفتار غیرخطی برای مصالح خاک و سازه برخلاف روش چند گامه و همچنین امکان مدل‌سازی هندسه‌های پیچیده می‌باشد [3].

موارد اشاره شده در قسمت قبل نشانگر این واقعیت است که بررسی و تعیین رفتار سازه در مقابل زلزله با صرف نظر نمودن از پدیده اندرکنش خاک-سازه، دارای خطای زیادی می‌باشد. در مباحث اندرکنش، مدل‌سازی مجموعه خاک اهمیت ویژه‌ای دارد و در نتیجه استفاده از نرم‌افزارهای

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک

^۲ استادیار گروه عمران

^۳ دانشیار گروه عمران



مهندسی ژئوتکنیک در اولویت است. در این پژوهش به بررسی عملکرد نرم‌افزار FLAC در مباحث اندرکنش خاک-سازه پرداخته شده است. برای مدل‌سازی قاب ساختمانی در این نرم‌افزار از عنصر تیر^۱ استفاده می‌شود. اما پرسشی که مطرح می‌گردد آن است که آیا امکان تحلیل، برآورد نیروهای داخلی و تعیین وضعیت تغییرشکل یافته قاب ساختمانی در این نرم‌افزار وجود دارد؟ از اینرو در پژوهش حاضر ابتدا به بررسی و مقایسه نتایج تحلیل تیرهای دو سر ساده و دو سر گیردار براساس نرم‌افزار FLAC و روش‌های تحلیل کلاسیک سازه‌ها پرداخته شده است و سپس یک قاب ساختمانی در هر دو نرم‌افزار FLAC^{2D} و SAP مدل‌سازی و تحلیل گردید. با توجه به بررسی نتایج می‌توان به روشنی بیان نمود که نرم‌افزار FLAC امکان مدل‌سازی و تحلیل قاب‌های ساختمانی را دارا است.

۲. نکات مدل‌سازی قاب ساختمانی در نرم‌افزار FLAC

بطور کلی تاکنون روش‌های مختلفی جهت اعمال اثر ساختمان در مدل‌سازی‌های ژئوتکنیکی به شرح سربار، روش تیر ارتجاعی معادل، روش تیر متورق و روش مدل‌سازی کامل سازه پیشنهاد شده است. کامل‌ترین و دقیق‌ترین روش مدل‌سازی به صورت قاب ساختمانی می‌باشد، زیرا نحوه مدل‌سازی سازه بستگی به وزن، هندسه و سختی آن دارد، این در حالی است که در روش متداول اعمال سربار تنها عامل وزن در نظر گرفته می‌شود. در ادامه نکات کلیدی مدل‌سازی قاب ساختمانی در نرم‌افزار FLAC بیان می‌گردد.

الف) جرم مخصوص:

جهت منظور نمودن بارهای مرده و زنده کف طبقات در تحلیل‌های استاتیکی و لرزه‌ای، جرم مخصوص تیرها مطابق رابطه (۱) اصلاح می‌گردند. لازم به ذکر است که برای ستون‌های قاب ساختمانی تنها از جرم مخصوص مصالح تشکیل دهنده آن استفاده می‌شود.

$$(DL + \alpha.LL) \times Spacing = Area \times \rho \quad (1)$$

که در آن DL بار مرده، LL بار زنده، α ضریب کاهش بار زنده (به دلیل احتمال پایین همزمانی وقوع زلزله و وجود کل بار زنده در ساختمان، تنها درصدی از بار زنده در تحلیل‌های دینامیکی لحاظ می‌گردد [4]). این پارامتر در تحلیل استاتیکی برابر واحد در نظر گرفته می‌شود. Spacing فواصل منظم تکرار عناصر سازه‌ای در راستای عمود بر صفحه مدل عددی دو بعدی، Area سطح مقطع تیر و ρ جرم مخصوص می‌باشد.

ب) مقیاس نمودن خواص (معادل‌سازی دو بعدی):

در صورت استفاده از زیردستور SPACING در کدنویسی، خواص حقیقی^۲ باید به عنوان داده ورودی برای اعضای سازه‌ای به نرم‌افزار معرفی گردند، در غیر اینصورت ابتدا خواص مقیاس شده^۳ توسط کاربر محاسبه می‌شوند و در مدل عددی بدون نیاز به کاربرد این اصطلاح اعمال می‌گردند. چنانچه از روش خواص مقیاس شده استفاده شود، نیروها و لنگرهای خروجی نرم‌افزار نیز به صورت مقیاس شده می‌باشند و مطابق رابطه (۲) مقادیر واقعی توسط کاربر با ضرب نتایج تحلیل عددی در فاصله تکرار اعضای سازه‌ای حاصل می‌شوند.

$$\lambda = \lambda_{Spacing} \cdot Spacing \quad (2)$$

که در آن λ نیرو یا لنگر واقعی و Spacing نیرو یا لنگر مقیاس شده می‌باشند.

پ) تعداد قطعات:

با استفاده از زیردستور SEGMENT، یک عنصر سازه‌ای می‌تواند به چند بخش تقسیم شود که نتیجه افزایش تعداد بخش‌های آن، افزایش دقت مدل‌سازی و نتایج تحلیل می‌باشد، هر چند زمان تحلیل نیز به شدت افزایش می‌یابد. تعداد قطعات عنصر سازه‌ای براساس نوع نیروهای داخلی مدنظر جهت بررسی، طول عضو، قدرت سخت افزاری سیستم مورد استفاده جهت تحلیل و مدت زمان تحلیل انتخاب می‌گردد.

ت) اندرکنش قاب ساختمانی و محیط خاک:

برای لحاظ نمودن اندرکنش باید عنصر تیر با استفاده از زیردستور GRID به نقاط گره‌ای شبکه تفاضل محدود خاک متصل گردد [5].

ث) اتصالات قاب ساختمانی:

نحوه تعریف نوع اتصال پای ستون‌های سازه و همچنین اتصال تیر به ستون در نرم‌افزار FLAC به شرح زیر می‌باشد.

۱. بطور پیش فرض محل اتصال عنصر تیر به نقاط گره‌ای شبکه تفاضل محدود، مفصلی در نظر گرفته می‌شود [5]. بنابراین برای تعریف اتصال صلب باید از دوران محل اتصال با استفاده از دستور FIX جلوگیری نمود.

¹Beam Element

²Actual Properties

³Scaled Properties



۲. یک قاب ساختمانی بدون حضور خاک در این نرم‌افزار توسط محدود نمودن جابه‌جایی‌های افقی و قائم به همراه دوران پای ستون‌ها با استفاده از دستور FIX مدل‌سازی می‌شود.
۳. مدل‌سازی تیرها و ستون‌های قاب با استفاده از عنصر تیر می‌باشد که محل اتصال آن‌ها به یکدیگر بطور پیش فرض به صورت صلب است.

۳. مدل‌سازی تیر یک دهانه

یک تیر بتنی با ۴۵ سانتیمتر ارتفاع، ۳۵ سانتیمتر عرض، ۶ متر طول و ضریب ارتجاعی برابر $2/5 \times 10^{11}$ پاسکالدر یک سیستم دال بتنی با پخش بار یک‌طرفه و بار مرده و زنده به ترتیب برابر ۶۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع در شرایط تکیه‌گاهی مختلف شامل وضعیت دو سر ساده و دو سر گیردار در نرم‌افزار FLAC مدل‌سازی و تحلیل شده است. داده‌های ۱۲ مدل موثر از حدود ۳۰ مدل ساخته شده که پوشش دهنده کامل محدوده تغییرات دو پارامتر تعداد قطعات و فواصل عمود بر صفحه مدل می‌باشند جهت بررسی، مقایسه و نتیجه‌گیری در ادامه ارائه شده‌اند.

الف) تیر دو سر ساده:

برای درک بهتر تاثیر تعداد قطعات تعریف شده برای تیر مورد نظر، مقایسه‌ای بین مدل‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ به دلیل یکسان بودن فاصله تکرار عناصر سازه‌ای در راستای عمود بر صفحه انجام می‌شود. مطابق جدول ۱ با افزایش تعداد قطعات عنصر تیر، اولین تغییر در وضعیت ظاهری نمودار و به صورت تغییر صحیح از حالت خطی به منحنی مشاهده می‌گردد. زیرا نمودار لنگر خمشی تیر تحت بار گسترده یکنواخت به صورت منحنی می‌باشد. اما افزایش دو برابری تعداد قطعات از ۲۴ به ۴۸ نه تنها موجب تغییر محسوس میزان لنگر در مقایسه با رابطه (۳) [6] بر گرفته از تحلیل کلاسیک سازه‌ها نشده است بلکه مدت زمان تحلیل را نیز افزایش می‌دهد، که این نکته نشان دهنده اهمیت انتخاب تعداد قطعات بهینه برای عنصر تیر در مدل عددی می‌باشد.

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{8} \quad (3)$$

که در آن M_{\max} حداکثر لنگر تیر، q بار گسترده یکنواخت و l طول تیر می‌باشند.

جدول ۱- حداکثر لنگر خمشی تیر دو سر ساده تحت شرایط مختلف در نرم‌افزار FLAC و رابطه تحلیل کلاسیک سازه‌ها

شماره مدل	Spacing (m)	تعداد قطعات	لنگر وسط دهانه (N.m)	وضعیت نمودار	رابطه (۳) M_{\max} (N.m)
1	1	2	3.753×10^4	خطی	3.7523×10^4
2	3	2	1.126×10^5	خطی	1.1257×10^5
3	30	2	1.126×10^6	خطی	1.1256×10^6
4	30	12	1.127×10^6	منحنی	1.1256×10^6
5	30	24	1.126×10^6	منحنی	1.1256×10^6
6	30	48	1.130×10^6	منحنی	1.1256×10^6

حداکثر خیز تیر از تحلیل عددی بدست آمده و با مقدار حاصل از رابطه (۴) [6] مطابق جدول ۲ مقایسه شده است. به دلیل تعریف تعداد بسیار کم قطعات برای تقسیم‌بندی تیر در مدل‌های ۱، ۲ و ۳، نمودار تغییر شکل تیر از حالت صحیح منحنی به وضعیت خطی تغییر یافته، از اینرو اختلاف بین مقادیر خیز حاصل از تحلیل عددی و رابطه (۴) در این مدل‌ها نسبت به مدل‌های ۴، ۵ و ۶ بیشتر است.

$$\Delta_{\max} = \frac{5}{384} \frac{ql^4}{EI} \quad (4)$$

که در آن E ضریب ارتجاعی و I ممان اینرسی می‌باشند.

ب) تیر دو سر گیردار:

با بررسی مقادیر لنگر حاصل از تحلیل عددی مدل‌های ۷، ۸ و ۹ ارائه شده در جدول ۳ مشخص می‌گردد که نمودار لنگر خمشی خطی است و لنگرهای تکیه‌گاهی و وسط دهانه برخلاف انتظار دارای مقادیر یکسانی می‌باشند. دلیل آن تعریف تعداد کم قطعات برای عنصر تیر در مدل نرم‌افزار FLAC است. تعداد قطعات برای تیر با اتصال ساده تاثیر چندانی بر مقادیر حداکثر لنگر آن ندارد، اما تعداد کم قطعات در مواردی که اتصالات قاب مدل‌سازی شده به صورت خمشی (صلب) باشند نتایج نادرستی را برای لنگر و نیروهای داخلی بدست می‌دهد. ضمن آنکه مقایسه مدل‌های ۱۱ و ۱۲ نشان دهنده آن



است که افزایش تعداد قطعات باعث ایجاد تفاوت محسوسی در مقادیر لنگردر مقایسه با روابط (۵) و (۶) [6] برگرفته از تحلیل کلاسیک سازه‌ها نشده است، بنابراین اهمیت استفاده از تعداد قطعات بهینه برای عنصر تیر در مدل عددی مشهود می‌باشد.

جدول ۲-مقایسه حداکثر خیز تیر دو سر ساده براساس نتایج نرم‌افزار FLAC و رابطه تحلیل کلاسیک سازه‌ها

شماره مدل	خیز براساس تحلیل عددی (m)	وضعیت نمودار	رابطه (۴) Δ_{max} (m)	اختلاف خیز (mm)
1	1.721×10^{-3}	خطی	2.118×10^{-3}	0.397
2	5.163×10^{-3}	خطی	6.353×10^{-3}	1.190
3	5.163×10^{-2}	خطی	6.353×10^{-2}	11.90
4	6.326×10^{-2}	منحنی	6.353×10^{-2}	0.270
5	6.346×10^{-2}	منحنی	6.353×10^{-2}	0.070
6	6.375×10^{-2}	منحنی	6.353×10^{-2}	0.22

$$M = \frac{ql^2}{24} \quad (۵)$$

$$M = \frac{ql^2}{12} \quad (۶)$$

جدول ۳-لنگرهای تکیه‌گاهی و وسط دهانه تیر دو سر گیردار تحت شرایط مختلف در نرم‌افزار FLAC و روابط تحلیل سازه‌ها

شماره مدل	Spacing (m)	تعداد قطعات	لنگر وسط دهانه (N.m)	لنگر تکیه‌گاهی (N.m)	وضعیت	رابطه (۵) (N.m)	رابطه (۶) (N.m)
7	1	2	1.876×10^4	1.876×10^4	خطی	1.2507×10^4	2.5015×10^4
8	3	2	5.627×10^4	5.627×10^4	خطی	3.7523×10^4	7.5047×10^4
9	30	2	5.627×10^5	5.627×10^5	خطی	3.7523×10^5	7.5047×10^5
10	1	12	1.269×10^4	2.489×10^4	منحنی	1.2507×10^4	2.5015×10^4
11	1	24	1.256×10^4	2.496×10^4	منحنی	1.2507×10^4	2.5015×10^4
12	1	48	1.255×10^4	2.506×10^4	منحنی	1.2507×10^4	2.5015×10^4

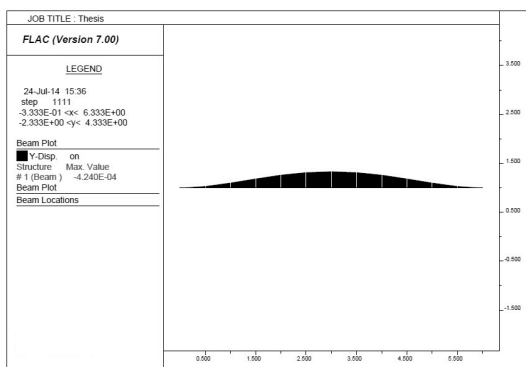
با بررسی و مقایسه خیز تیر با تعداد قطعات قابل توجه، حاصل از تحلیل عددی و رابطه (۷) [6] که در جدول ۴ ارائه شده است، انطباق مناسب نتایج بدست آمده از نرم‌افزار با مقدار حاصل از رابطه کلاسیک تحلیل سازه‌ها مشاهده می‌گردد. با توجه به بررسی ۱۲ مدل مذکور و نتایج بسیار نزدیک روابط تحلیل سازه‌ها و نرم‌افزار FLAC برای مدل‌های ۵ و ۱۱ نتیجه می‌شود که تعداد قطعات تعریف شده برای هر عنصر تیر باید حداقل ۴ برابر طول آن عضو سازه‌ای باشد.

$$\Delta_{max} = \frac{1}{384} \frac{ql^4}{EI} \quad (۷)$$

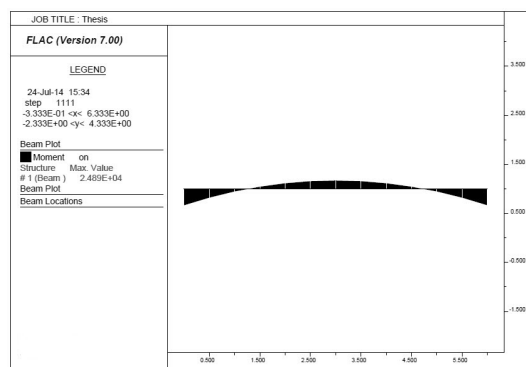
جدول ۴-مقایسه حداکثر خیز تیر دو سر گیردار براساس نرم‌افزار FLAC و رابطه تحلیل کلاسیک سازه‌ها

شماره مدل	خیز حاصل از تحلیل عددی (m)	رابطه (۷) Δ_{max} (m)	اختلاف خیز (mm)
10	4.240×10^{-4}	4.235×10^{-4}	0.0005
11	4.235×10^{-4}	4.235×10^{-4}	0
12	4.245×10^{-4}	4.235×10^{-4}	0.001

به عنوان نمونه، نمودار لنگر خمشی و تغییرشکل تیر مدل ۱۰ براساس نتایج تحلیل عددی در شکل ۱ و شکل ۲ ارائه شده است. طبق قرارداد، لنگر پادساعتگرد دارای علامت مثبت در هر گره می‌باشد و جابه‌جایی مثبت به معنی وقوع آن در جهت مثبت محور مختصات مربوطه است [5]. لازم به ذکر است که جهت مثبت محورهای مختصات X و Y در این نرم‌افزار به ترتیب به سمت راست و بالا می‌باشد.



شکل ۲- نمودار تغییر شکل تیر دو سر گیردار مدل ۱۰، برگرفته از نرم‌افزار FLAC



شکل ۱- نمودار لنگر تیر دو سر گیردار مدل ۱۰، برگرفته از نرم‌افزار FLAC

۴. مدل‌سازی قاب ساختمانی

بعد از بررسی نتایج تحلیل تیر یک دهانه با شرایط تکیه گاهی مختلف در نرم‌افزار FLAC، حال نوبت به مدل‌سازی و تحلیل قاب ساختمانی می‌رسد. مشخصات قاب خمشی بتنی یک دهانه و یک طبقه مدنظر دارای سیستم دال بتنی با بخش بار یک‌طرفه و بار مرده و زنده به ترتیب برابر ۶۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع جهت مدل‌سازی مطابق جدول ۵ می‌باشد. مدل‌سازی در نرم‌افزار FLAC با توجه به نکات بیان شده در بخش ۲ انجام شده است و جهت مقایسه با نتایج حاصل از نرم‌افزار SAP باید نکات زیر نیز در نظر گرفته شوند. در ادامه نتایج حاصل از تحلیل مدل در بخش نیروهای داخلی اعضا و همچنین وضعیت تغییر شکل یافته قاربانته شده است.

جدول ۵- مشخصات قاب مورد نظر جهت مدل‌سازی و تحلیل

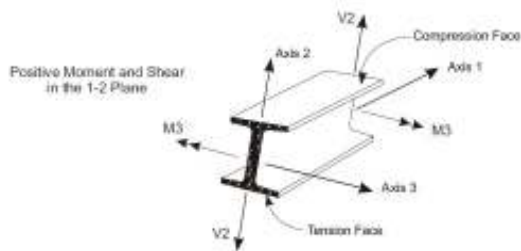
ابعاد ستون (cm)	ابعاد تیر (cm)	ضریب ارتجاعی (Pa)	عرض قاب (m)	ارتفاع قاب (m)	Spacing (m)
50×50	35×45	2.5×10^{10}	8	6	3

۱. بار مرده و زنده کف در نرم‌افزار SAP به صورت بار گسترده به تیر اعمال می‌شود، در حالیکه بارهای ثقیلی با استفاده از رابطه (۱) در جرم مخصوص تیر در مدل عددی FLAC لحاظ می‌گردد.
۲. در تحلیل سازه‌ها باید به اثر $P-\Delta$ توجه گردد، که اثر ثانویه بر روی برش و لنگر اجزای قاب می‌باشد و به واسطه عملکرد بارهای قائم بر روی سازه تغییر شکل یافته ایجاد می‌شود. اثر $P-\Delta$ موجب افزایش تغییر مکان جانبی طبقات، برش و لنگر موجود در اعضا می‌گردد [7]. تحلیل $P-\Delta$ در نرم‌افزار SAP معادل انتخاب وضعیت کرنش‌های بزرگ^۱ در نرم‌افزار FLAC می‌باشد زیرا در شرایط کرنش بزرگ، مشخصات نقاط گره‌ای مدل در هر گام از حل با توجه به تغییر شکل‌های ایجاد شده، تغییر می‌یابند و بروز می‌شوند. بنابراین لنگر ناشی از خروج از محوریت بار قائم خود به خود در تحلیل لحاظ می‌گردد.
۳. با توجه به آنکه رفتار اعضای سازه در نرم‌افزار FLAC به صورت ارتجاعی در نظر گرفته شده است، باید مقادیر بزرگی به تنش‌های جاریشدگی در نرم‌افزار SAP اختصاص داده شود تا تحت هر بارگذاری اعمالی شرایط ارتجاعی برای قاب حاکم باشد.

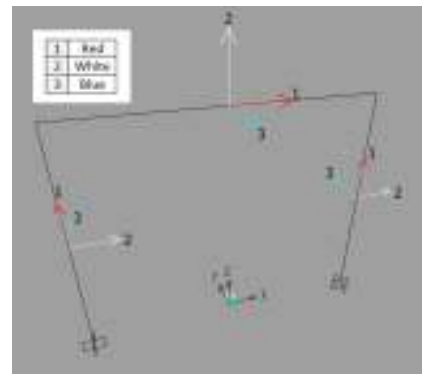
الف) لنگر خمشی اعضای قاب:

محور اصلی خمش در نرم‌افزار SAP مطابق شکل ۳ محور آبی رنگ ۳ می‌باشد. جهت مثبت لنگر نیز در شکل ۴ نمایش داده شده است. محور قرمز، سفید و آبی به ترتیب نماینده محورهای ۱، ۲ و ۳ برای هر عضو قاب می‌باشند. در نرم‌افزار FLAC، علامت مثبت لنگر در هر گره به معنی پادساعتگرد بودن آن است اما با مشاهده نمودار لنگر خمشی حاصل از این نرم‌افزار نمی‌توان مستقیماً در مورد علامت و جهت لنگر اظهار نظر نمود و باید با استفاده از دستور PRINT مقادیر و علامت آن‌ها را بدست آورد. در جدول ۶ مقادیر لنگر در ۵ نقطه گره‌ای و نمودار لنگر خمشی در شکل ۵ و شکل ۶ ارائه شده است. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، حداکثر اختلاف مقادیر لنگر در نرم‌افزار FLAC نسبت به SAP برابر مقدار ناچیز ۲ درصد می‌باشد، که نشان دهنده قدرت بالای نرم‌افزار FLAC در تحلیل قاب‌های ساختمانی است.

^۱Large Strain



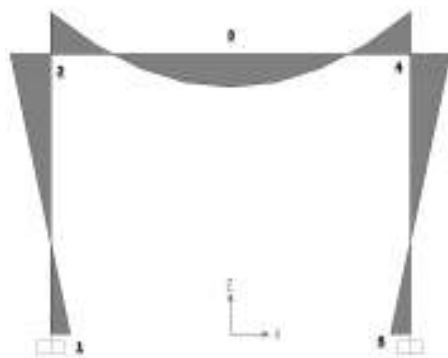
شکل ۴- لنگر و برش مثبت برای اعضای مورد استفاده در مدل‌سازی با نرم‌افزار SAP[8]



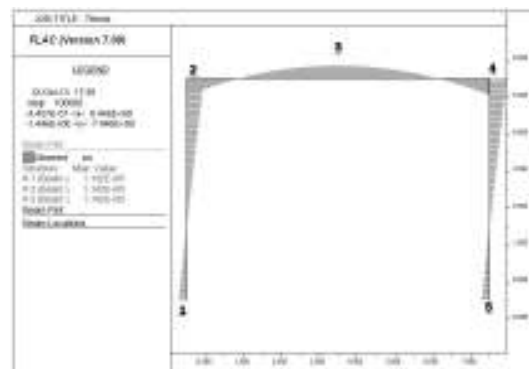
شکل ۳- نمایش محورهای سه‌گانه اعضا در نرم‌افزار SAP

جدول ۶- مقادیر لنگر خمشی، بر حسب N.m

گره	1	2	3	4	5
FLAC	5.410×10^4	1.142×10^5	9.008×10^4	1.142×10^5	5.403×10^4
SAP	5.471×10^4	1.116×10^5	8.849×10^4	1.116×10^5	5.471×10^4
میزان اختلاف (%)	-1.1	2.3	1.8	2.3	-1.2



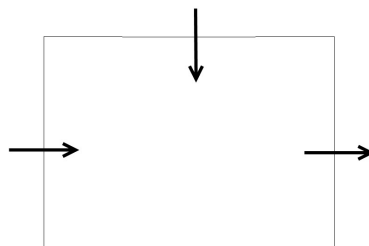
شکل ۶- نمودار لنگر خمشی قاب، برگرفته از نرم‌افزار SAP



شکل ۵- نمودار لنگر خمشی قاب، برگرفته از نرم‌افزار FLAC

(ب) نیروی برشی اعضای قاب:

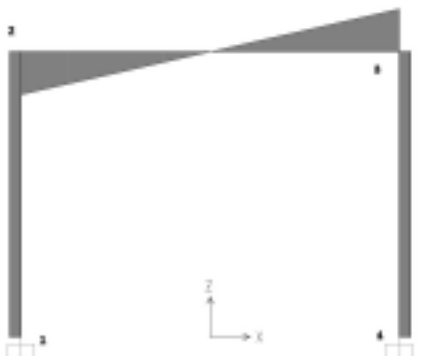
محور اصلی برش در نرم‌افزار SAP مطابق شکل ۳ محور سفید رنگ ۲ می‌باشد و جهت مثبت این نیرو نیز در شکل ۴ نمایش داده شده است. قرارداد نیروی برشی مثبت در نرم‌افزار FLAC به شرح شکل ۷ می‌باشد. مقادیر نیروی برشی در پای ستون‌ها و محل اتصال تیر به ستون و همچنین نمودار نیروی برشی به ترتیب در جدول ۷، شکل ۸ و شکل ۹ ارائه شده است. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، حداکثر اختلاف مقادیر نیروی برشی در نرم‌افزار FLAC نسبت به SAP برابر مقدار ناچیز ۶ درصد می‌باشد، که نشان دهنده قدرت بالای این نرم‌افزار در تحلیل قاب‌های ساختمانی است. مشابه این نتیجه برای نیروی محوری اعضای قاب نیز حاصل شده است.



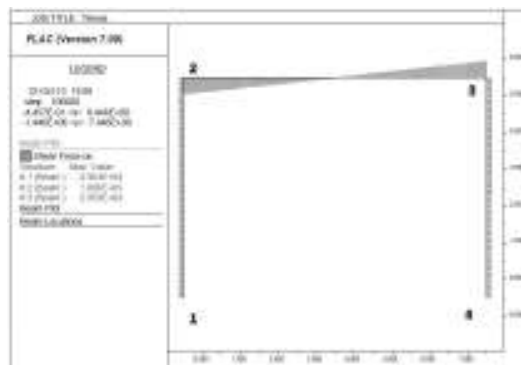
شکل ۷- قرارداد نیروی برشی مثبت برای اعضای قاب ساختمانی در نرم‌افزار FLAC

جدول ۷- مقادیر نیروی برشی، بر حسب N

گره	1	2		3		4
		تیر	ستون	تیر	ستون	
FLAC	2.669×10^4	1.006×10^5	2.946×10^4	1.004×10^5	2.947×10^4	2.661×10^4
SAP	2.772×10^4	1.001×10^5	2.772×10^4	1.001×10^5	2.772×10^4	2.772×10^4
میزان اختلاف (%)	-3.7	0.5	6.3	0.3	6.3	-4



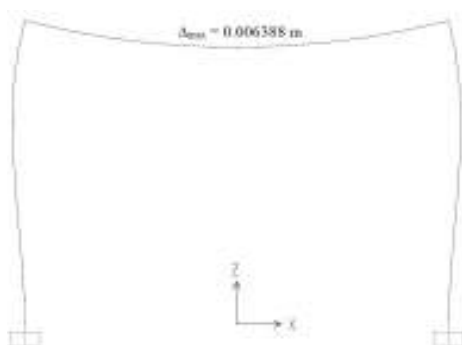
شکل ۹- نمودار نیروی برشی قاب، برگرفته از نرم‌افزار SAP



شکل ۸- نمودار نیروی برشی قاب، برگرفته از نرم‌افزار FLAC

(ب) تغییر شکل قاب:

از آنجا که بار مرده و زنده کف در نرم‌افزار SAP به صورت بار گسترده به تیر اعمال شده است، تغییر شکل قاب تحت یک ترکیب بار شامل هر دو بارگذاری یاد شده بدست می‌آید تا امکان مقایسه با نتیجه حاصل از نرم‌افزار FLAC وجود داشته باشد. وضعیت تغییر شکل یافته قاب در دو نرم‌افزار مدنظر با مقیاس نسبتاً نزدیک به یکدیگر در شکل ۱۰ و شکل ۱۱ ارائه شده است، که با مقایسه بین آنها اختلاف بسیار ناچیزی در حدود ۰/۴ میلی‌متر برای حداکثر خیز تیر مشاهده می‌گردد.



شکل ۱۱- تغییر شکل قاب تحت ترکیب بار (DL+LL) در نرم‌افزار SAP



شکل ۱۰- تغییر شکل قاب در نرم‌افزار FLAC

۵. نتیجه‌گیری

عموماً مسائل مربوط به اندرکنش خاک-سازه با استفاده از نرم‌افزارهای ژئوتکنیکی خصوصاً برنامه تفاضل محدود FLAC بررسی می‌شوند. مدل‌سازی قاب‌های ساختمانی در برنامه FLAC دارای الزامات خاصی می‌باشد که در مقاله حاضر به تفصیل شرح داده شده است. در این پژوهش ضمن مقایسه نتایج برای دو تیر در شرایط تکیه‌گاهی مختلف توسط روابط کلاسیک تحلیل سازه‌ها و نرم‌افزار FLAC، به مدل‌سازی یک قاب ساختمانی در این برنامه پرداخته شده و نتایج حاصل با نرم‌افزار سازه‌ای SAP مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج این بررسی‌ها حاکی از دقت مناسب روش پیشنهادی جهت مدل‌سازی قاب در نرم‌افزار FLAC می‌باشد. این موضوع در تحلیل‌های استاتیکی و لرزه‌ای اندرکنش خاک و سازه دارای اهمیت ویژه‌ایست. لازم به ذکر است که عامل بسیار مهم در بهبود نتایج حاصل از نرم‌افزار FLAC با توجه به مدت زمان تحلیل، تعداد قطعات تعریف شده برای هر عنصر تیر است که براساس این پژوهش حداقل ۴ برابر طول عضو سازه‌ای پیشنهاد می‌گردد.



- [1] Naeim, F. (2001), "The Seismic Design Handbook", Springer Science, USA.
- [2] Kramer, S. L. (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering", Prentice Hall, USA.
- [3] Wolf, J. P. (1985), "Dynamic Soil-Structure Interaction", Prentice-Hall, USA.
- [4] Chen, W. F. and Lui, E. M. (2005), "Earthquake Engineering for Structural Design", CRC Press, USA.
- [5] Itasca (2009), "User's Manual FLAC2D: Fast Lagrangian Analysis of Continua, ver. 7.0", Itasca Consulting Group, Minneapolis.
- [6] Hick, T. G. (2009), "Civil Engineering Formulas", McGraw-Hill, USA.
- [7] ASCE/SEI 7-10 (2010), "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures", American Society of Civil Engineers, Virginia.
- [8] CSI (2009), "CSI Analysis Reference Manual", Computers and Structures Inc, Berkeley.