بسم الله الرحمن الرحيم

بإسمه تعالی

دانشکده مهندسی عمران

مکان یابی بهینه دیوارهای برشی بتنی در سازه های فولادی با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش سازه

دانشجو:

سید علی نعمت پور

استاد راهنما:

دکتر علی خیرالدین (استاد دانشگاه سمنان)

شهریورماه ۱۳۹۱

دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی عمران

صورتجلسه دفاعیه پایان نامه کارشناسی ارشد

پایان نامه ی آقای/خانم ..... برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – گرایش ..... تحت عنوان "....."
در جلسه مورخ / / بررسی و با نمره

عدد	
حروف	

مورد تایید قرار گرفت.

اعضای هیئت داوران:

استاد راهنمای اول: امضاء:

استاد راهنمای دوم: امضاء:

استاد مشاور اول: امضاء:

استاد مشاور دوم: امضاء:

استاد داور: امضاء:

استاد داور: امضاء:

مدیر تحصیلات تکمیلی دانشکده: ..... امضاء .....

دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی عمران

اینجانب سید علی نعمت پور متعهد می شوم که محتوای علمی این نوشتار با عنوان " مکان یابی بهینه دیوارهای برشی بتنی در سازه های فولادی با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک" که به عنوان پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش سازه به دانشگاه ارائه شده است، دارای اصالت پژوهشی بوده و حاصل فعالیت های علمی اینجانب می باشد.

در صورتی که خلاف ادعای فوق در هر زمانی محرز شود، کلیه حقوق معنوی متعلق به این پایان نامه از اینجانب سلب شده و موارد قانونی مترتب به آن نیز از طرف مراجع قابل پیگیری است.

نام و نام خانوادگی: سید علی نعمت پور

شماره دانشجویی: ۸۸۱۲۱۴۹۰۰۹

امضاء

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه برای همگان با ذکر مرجع بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما با ذکر مرجع بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما:

تاریخ:

امضاء:

تقدیم به:

آنکه از نظرها **پنهان** است و

آنکه در نبودِ او چشمه ی زلال هدایت را جاری کرده

با ارادتی خالصانه و تشکری صمیمانه

از پدر و مادر عزیز و مهربانم به خاطر حمایتهای بی دریغشان

و از همسرم به خاطر صبوریشان

و بر مبنای این فرموده ی مولای متّقیان، امیر مؤمنان، علی(ع):

مَن عَلَّمَنی حَرفاً، فَقَد صَیَّرَنی عَبداً

سپاسم را تقدیم استاد توانا و ارجمندم می نمایم.

چکیده

سال های زیادی است که از سیستم های مقاوم جانبی مختلفی برای جذب یا مستهلک کردن نیروی زلزله استفاده می شود که برای هریک از آن ها مزایا و معایبی برشمرده شده است اما آنچه همواره مد نظر بوده است بیشترین کارآیی و کمترین هزینه می باشد که به بازدهی حداکثری می انجامد.

بدیهی است کاهش هزینه مستلزم رعایت برخی اصول و محدودیت های آیین نامه ای است. در سال های اخیر روش های زیادی در دنیا آزمایش شده تا شاید چیدمان های قبلی عناصر مقاوم جانبی را تغییر دهد که بسیاری از آن ها روش سعی و خطا می باشد.

امروزه با توجه به کوچک شدن ابعاد زمین ها و افزایش ارتفاع ساختمان ها و با در نظر گرفتن محدودیت های معماری برای قراردادن اعضای باربر جانبی و همچنین عدم تامین سختی جانبی لازم توسط بادبندها برای سازه های فولادی مهندسان ترجیح می دهند در سازه های فولادی از دیوارهای برشی بتنی استفاده کنند.

آن چه در این پایان نامه انجام شده است استفاده از یک الگوریتم بهینه یابی موسوم به الگوریتم ژنتیک برای یافتن بهینه ترین حالت چیدمان دیوارهای برشی با توجه به محدودیت های آیین نامه ای و مسایل اقتصادی است. به این ترتیب که با استفاده از برنامه نویسی SAP2000 و الگوریتم ژنتیک به زبان ویژوال بیسیک در نرم افزار اکسل و مرتبط کردن اینها با یکدیگر، حالت بهینه ی چیدمان دیوار به دست می آید.

از طرفی با توجه به اینکه به دلایل مختلفی از جمله زمان بر بودن اجرای این برنامه ها، که خود باعث بروز برخی مشکلات اقتصادی و فنّی خواهد شد، در این پایان نامه برنامه به گونه ای نوشته شد که زمان اجرای برنامه به حداقل برسد و برای رسیدن به این هدف از حافظه ی ترکیبی پیشرفته و از اصل تقارن استفاده شد که باعث کاهش شدید فضای نمونه و زمان رسیدن برنامه به جواب گردید که میزان این کاهش در مدل های مختلف متفاوت بوده است.

در پایان، برنامه ی نوشته شده با استفاده از چند مدل با نسبت عرض به ارتفاع های متفاوت اجرا گردید و جواب بدست آمده از برنامه با حالت های چیدمان عرفی دیوار مقایسه و شرایط حدی جواب کنترل و بررسی شد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، بهینه یابی، دیوار برشی بتنی، مکان یابی، سازه فولادی

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه ۱
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- بیان مسئله تحقیق ۳
۱-۳- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق ۳
۱-۴- فرضیات تحقیق و محدودیتها ۴
۱-۵- روش شناسی تحقیق (methodology) ۴
۱-۶- ساختار فصول پایان نامه ۶

فصل ۲: معرفی الگوریتم ژنتیک ۸
۲-۱- مقدمه ۹
۲-۲- الگوریتم ژنتیک ساده ۱۰
۲-۳- ویژگی‌های الگوریتم ژنتیک ۱۱
۲-۴- مراحل عملکرد الگوریتم ژنتیک ۱۲
۲-۴-۱- بدست آوردن طول رشته‌ها ۱۳
۲-۴-۲- ایجاد جمعیت اولیه ۱۴
۲-۴-۳- رمزگشایی ۱۶
۲-۴-۴- تابع هدف ۱۹
۲-۴-۵- تابع هدف اصلاح شده ۲۰
۲-۴-۶- معیارهای همگرایی ۲۴
۲-۴-۷- انتخاب ۲۵
۲-۴-۸- انتخاب متناسب ۲۵
۲-۴-۹- جفت‌سازی ۲۹
۲-۴-۱۰- پیوند ۲۹
۲-۴-۱۱- جهش ۳۰

فصل ۳: اندرکنش قاب و دیوار برشی ۳۲
۳-۱- مقدمه ۳۳
۳-۲- رفتار قاب- دیوار ۳۳
۳-۳- معادلات دیفرانسیل حاکم ۳۵
۳-۴- تعیین صلبیت برشی ۳۷
۳-۵- افزایش اندرکنش متمرکز ۳۷

۳-۶- سازه های قاب-دیوار با دیوارهای کوتاه شده (قطع شده) [۱۶] ۳۸
۳-۷- رفتار سازه های قاب-دیوار با دیوار کوتاه شده [۱۶] ۴۱
۳-۸- حل تقریبی سازه های قاب-دیوار کوتاه شده با استفاده از مدل پیوسته 22]] ۴۲
۳-۸-۲- حل زیر سازه ۱ 22]] ۴۶
۳-۸-۳- حل زیر سازه ۲[۲۲] ۴۸
۳-۹- سازه های قاب-دیوار واقعی ۵۰

فصل ٤: حل مسئله بهینه سازی ۵۱
۴-۱- مقدمه ۵۲
۴-۲- بهینه سازی ۵۲
۴-۲-۲- مبانی بهینه سازی مسئله ۵۳
۴-۲-۳- پارامترهای بهینه سازی ۵۴
۴-۳- تابع هدف ۵۴
۴-۴- قیود (تابع جریمه) ۵۴
۴-۵- روند بهینه سازی ۵۵

فصل ٥: اصول تحلیل و طراحی ۵۸
۵-۱- روش طراحی[۳۰] ۵۹
۵-۲- تحلیل سازه ۵۹
۵-۳- ضوابط آیین نامه برای طراحی تیرستون ها[۳۰] ۶۰
۵-۳-۱- کلیات ۶۰
۵-۳-۲- روابط آیین نامه ای ۶۱
۵-۳-۳- تعیین ضریب C_m ۶۲
۵-۴- تعیین جهت قرارگیری مقطع تیرستون ۶۳
۵-۵- انتخاب مقطع اولیه طراحی تیرستون ها ۶۳
۵-۶- مقطع بحرانی درتیرستون ها ۶۴
۵-۷- مراحل گام به گام طراحی تیرستون ها ۶۵
۵-۸- اثر ترک خوردگی ۶۶
۵-۹- اصول طراحی دیوارهای برشی[۲۹] ۶۶
۵-۹-۲- حداقل آرماتور در دیوار برشی ۶۷
۵-۹-۳- طرح دیوار برای برش ۶۸
۵-۹-۴- پیش بینی های ویژه برای دیوارهای برشی در مناطق با احتما ل زلزله شدید ۶۹

۵-۹-۵- یافتن تعداد دیوار برشی ها و ضخامت آنها ۷۳
۵-۹-۶- طراحی گام به گام دیوار برشی (مستطیلی شکل) ۷۴
۵-۹-۷- روش محاسبه فولادهای زبانه ای ۸۳

فصل ٦: بررسی و تحلیل مدل ها **۸۵**

۶-۱- مقدمه ۸۶
۶-۲- قابلیت های برنامه ی نوشته شده ۸۶
۶-۲-۱- کدگذاری ۸۶
۶-۲-۲- انتخاب ۸۷
۶-۲-۳- باز ترکیب ۸۷
۶-۲-۴- جهش ۸۷
۶-۲-۵- محاسبه مقدار شایستگی ۸۸
۶-۲-۶- قابلیت های ویژه ی دیگر این برنامه ۸۸
۶-۳- فرضیات مسئله ۹۰
۶-۴- بارگذاری و طراحی ۹۱
۶-۴-۱- بارهای ثقلی ۹۱
۶-۴-۲- بار زلزله ۹۲
۶-۴-۳- طراحی ۹۲
۶-۴-۴- ترکیبات بارگذاری ۹۲
۶-۵- مثال اول: ساختمان ۱۰ طبقه ۹۳
۶-۵-۱- مشخصات سازه اولیه ۹۳
۶-۵-۲- شرایط اجرای برنامه ۹۴
۶-۶- مثال دوم : ساختمان ۱۳ طبقه ۱۱۲
۶-۶-۱- مشخصات سازه اولیه ۱۱۳
۶-۶-۲- شرایط اجرای برنامه ۱۱۳

فصل ۷: نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها **۱۳٤**

۷-۱- بررسی نتایج ۱۳۵
۷-۲- پیشنهادها ۱۳۶

فصل ۸: مراجع **۱۳۷**

فهرست اَشکال

شکل (۲-۱) : دیسک گردان ۲۷
شکل (۲-۲) : مقایسه ی گراف ها در دو حالت مختلف انتخاب ۲۸
شکل (۲-۳) : پیوند دو نقطه ای ۳۰
شکل (۲-۴) عملگر جهش ۳۱
شکل (۳-۱) : مدل تحلیلی دیوار و قاب [۲۲] ۳۴
شکل (۳-۲) : دیاگرام های مربوط به دیوار [۲۲] ۳۴
شکل (۳-۳) : مدل سازی قاب – دیوار [۲۳] ۳۶
شکل (۳-۴) : طبقه نمونه از یک قاب صلب تحت اثر برش 22]] ۳۷
شکل (۳-۵) : سازه قاب-دیوار صفحه ای [۲۴] ۳۹
شکل (۳-۶) : تغییر شکل سازه قاب-دیوار [۲۴] ۴۰
شکل (۳-۷) : نیروهای داخلی یک سازه قاب-دیوار یکنواخت [۲۴] ۴۱
شکل (۳-۸) : مدل پیوسته برای یک سازه قاب-دیوار [۲۳] ۴۳
شکل (۳-۹) : مدل مربوط به تحلیل پیوسته [۲۳] ۴۵
شکل (۳-۱۰) : تغییر مکان های پایه زیر سازه [۲۳] ۴۶
شکل (۳-۱۱) : مولفه های جابجایی [۲۳] ۴۹
شکل (۵-۱) : انواع دیوار برشی از نظر فولادگذاری ۶۷
شکل (۵-۲) : دیاگرام ممان – دوران برای دیوارهای با فولاد متمرکز و یکنواخت ۶۸
شکل (۵-۳) : مهار فولاد عرضی در قطعات حاشیه ای ۷۰
شکل (۵-۴) : بارگذاری المان مرزی ۷۱
شکل (۵-۵) : نمایش شماتیک آرماتور گذاری دیوار ۷۷
شکل (۵-۶) : نمایش شماتیک شبکه آرماتور گذاری دیوار ۸۰
شکل (۵-۷) دیوار برشی دارای المان های مرزی ۸۲
شکل (۵-۸) : نمایش شماتیک آرماتورهای دوخت (فولادهای زبانه ای) ۸۳
شکل (۶-۱) : پلان مثال اول به همراه نمایش مکان های مجاز و غیرمجاز دیوارهای برشی ۹۳
شکل (۶-۲) : نمای سه بعدی از چیدمان دیوارها توسط برنامه ۹۵
شکل (۶-۳) : نمودار همگرایی کروموزوم ها ۹۶
شکل (۶-۴) : نمودار همگرایی وزن سازه ۹۷

شکل (۶-۵) پلان چیدمان دیوار توسط برنامه ۹۸
شکل (۶-۶) : نمای سه بعدی از حالت (۱) ۹۹
شکل (۶-۷) : پلان چیدمان دیوار در حالت (۱) ۹۹
شکل (۶-۸) : نمای سه بعدی از حالت (۲) ۱۰۱
شکل (۶-۹) : پلان چیدمان دیوار در حالت (۲) ۱۰۱
شکل (۶-۱۰) : نمای سه بعدی از حالت (۳) ۱۰۳
شکل (۶-۱۱) : پلان چیدمان دیوار در حالت (۳) ۱۰۳
شکل (۶-۱۲) : نمای سه بعدی از حالت (۴) ۱۰۵
شکل (۶-۱۳) : پلان چیدمان دیوار در حالت (۴) ۱۰۵
شکل (۶-۱۴) : نمای سه بعدی از حالت (۵) ۱۰۷
شکل (۶-۱۵) : پلان چیدمان دیوار در حالت (۵) ۱۰۷
شکل (۶-۱۶) : نمای سه بعدی از حالت (۶) ۱۰۹
شکل (۶-۱۷) : پلان چیدمان دیوار در حالت (۶) ۱۰۹
شکل (۶-۱۸) : نمای سه بعدی از حالت (۷) ۱۱۱
شکل (۶-۱۹) : پلان چیدمان دیوار در حالت (۷) ۱۱۱
شکل (۶-۲۰) : پلان مثال دوم به همراه نمایش مکان های مجاز و غیرمجاز دیوارهای برشی ۱۱۳
شکل (۶-۲۱) : نمای سه بعدی چیدمان دیوار توسط برنامه ۱۱۵
شکل (۶-۲۲) : پلان چیدمان دیوار توسط برنامه ۱۱۵
شکل (۶-۲۳) : نمای سه بعدی حالت (۱) ۱۱۶
شکل (۶-۲۴) : پلان چیدمان دیوار در حالت (۱) ۱۱۶
شکل (۶-۲۵) : نمای سه بعدی حالت (۱) ۱۱۸
شکل (۶-۲۶) : پلان چیدمان دیوار در حالت (۲) ۱۱۸
شکل (۶-۲۷) : نمای سه بعدی حالت (۳) ۱۲۰
شکل (۶-۲۸) : پلان چیدمان دیوار در حالت (۳) ۱۲۰
شکل (۶-۲۹) : نمای سه بعدی حالت (۴) ۱۲۲
شکل (۶-۳۰) : پلان چیدمان دیوار در حالت (۴) ۱۲۲
شکل (۶-۳۱) : نمای سه بعدی حالت (۵) ۱۲۴
شکل (۶-۳۲) : پلان چیدمان دیوار در حالت (۵) ۱۲۴

شکل (۶-۳۳) : نمای سه بعدی حالت (۶) ۱۲۶
شکل (۶-۳۴) : پلان چیدمان دیوار در حالت (۶) ۱۲۶
شکل (۶-۳۵) : نمای سه بعدی حالت (۷) ۱۲۸
شکل (۶-۳۶) : پلان چیدمان دیوار در حالت (۷) ۱۲۸
شکل (۶-۳۷) : نمای سه بعدی حالت (۸) ۱۳۰
شکل (۶-۳۸) : پلان چیدمان دیوار در حالت (۸) ۱۳۰
شکل (۶-۳۹) : پلان مثال سوم به همراه نمایش مکان های مجاز و غیرمجاز دیوارهای برشی ۱۳۲
شکل (۶-۴۰) : نمای سه بعدی چیدمان دیوار توسط برنامه ۱۳۳

فهرست جداول

جدول (۲-۱) مقادیر مجاز متغیرهای x_1, x_2 ..... ۱۳
جدول (۲-۲) مقادیر تابع هدف برای طرح‌های مختلف ۱۹
جدول (۲-۳) نامنفی کردن تابع هدف ۲۱
جدول (۲-۴) مقادیر تابع برآزندگی ۲۴
جدول (۶-۱) خلاصه بارگذاری ۹۲
جدول (۶-۲) ترکیبات بارگذاری ۹۲
جدول (۶-۳) : مقایسه ی مقادیر و ضرایب حالت (۱) با جواب بدست آمده از برنامه ۱۰۰
جدول (۶-۴) : مقایسه ی مقادیر و ضرایب حالت (۲) با جواب بدست آمده از برنامه ۱۰۲
جدول (۶-۵) : مقایسه ی مقادیر و ضرایب حالت (۳) با جواب بدست آمده از برنامه ۱۰۴
جدول (۶-۶) : مقایسه ی مقادیر و ضرایب حالت (۴) با جواب بدست آمده از برنامه ۱۰۶
جدول (۶-۷) : مقایسه ی مقادیر و ضرایب حالت (۵) با جواب بدست آمده از برنامه ۱۰۸
جدول (۶-۸) : مقایسه ی مقادیر و ضرایب حالت (۶) با جواب بدست آمده از برنامه ۱۱۰
جدول (۶-۹) : مقایسه ی مقادیر و ضرایب حالت (۷) با جواب بدست آمده از برنامه ۱۱۲
جدول (۶-۱۰) : مقایسه ی مقادیر و ضرایب حالت (۱) با جواب بدست آمده از برنامه ۱۱۷
جدول (۶-۱۱) : مقایسه ی مقادیر و ضرایب حالت (۲) با جواب بدست آمده از برنامه ۱۱۹
جدول (۶-۱۲) : مقایسه ی مقادیر و ضرایب حالت (۳) با جواب بدست آمده از برنامه ۱۲۱
جدول (۶-۱۳) : مقایسه ی مقادیر و ضرایب حالت (۴) با جواب بدست آمده از برنامه ۱۲۳
جدول (۶-۱۴) : مقایسه ی مقادیر و ضرایب حالت (۵) با جواب بدست آمده از برنامه ۱۲۵
جدول (۶-۱۵) : مقایسه ی مقادیر و ضرایب حالت (۶) با جواب بدست آمده از برنامه ۱۲۷
جدول (۶-۱۶) : مقایسه ی مقادیر و ضرایب حالت (۷) با جواب بدست آمده از برنامه ۱۲۹
جدول (۶-۱۷) : مقایسه ی مقادیر و ضرایب حالت (۸) با جواب بدست آمده از برنامه ۱۳۱

علایم اختصاری

DL = بار مرده

ELX = بار زلزله در راستای X

ELXP = بار زلزله در راستای X با اعمال پیچش تصادفی مثبت

ELXN = بار زلزله در راستای X با اعمال پیچش تصادفی منفی

ELY = بار زلزله در راستای Y

ELYP = بار زلزله در راستای Y با اعمال پیچش تصادفی مثبت

ELYN = بار زلزله در راستای Y با اعمال پیچش تصادفی منفی

LL = بار زنده

E_s = ضریب ارتجاعی فولاد

E_c = ضریب ارتجاعی بتن

f_c = مقاومت فشاری مشخصه بتن

f_y = مقاومت مشخصه فولاد

K = ضریب طول موثر برای اعضای فشاری

l_u = طول مهار نشده در عضو فشاری

r = شعاع ژیراسیون مقطع عضو فشاری

$\emptyset_c$ = ضریب جزیی ایمنی مقاومت بتن

$\emptyset_s$ = ضریب جزیی ایمنی مقاومت فولاد

$\emptyset_n$ = ضریب اصلاحی

A_g = مساحت کل مقطع

A_{st} = سطح مقطع کل آرماتور طولی

M_r = لنگر خمشی مقاوم

M_u = لنگر خمشی نهایی

N_{rb} = نیروی محوری مقاوم نظیر مقطع متعادل

N_{rmax} = حداکثر نیروی محوری مقاوم

N_r = نیروی محوری مقاوم

N_u = نیروی محوری نهایی

N_c = بار بحرانی

M_c = لنگر خمشی نهایی تشدید شده

M_1 = کوچکترین لنگر خمشی نهایی دو انتهای عضو فشاری (مقدار M_1 مثبت است اگر انحنای ستون در یک جهت باشد و منفی است اگر انحنای ستون در دو جهت باشد).

M_{1b} = لنگر نهایی انتهای عضو فشاری، در انتهایی که M_1 بر آن اثر می کند، تحت اثر بارهایی که تغییر مکان جانبی قابل ملاحضه ای ایجاد نمی کنند.

M_{1s} = لنگر نهایی انتهای عضو فشاری، در انتهایی که M_1 بر آن اثر می کند، تحت اثر بارهایی که تغییر مکان جانبی قابل ملاحضه ای ایجاد می کنند.

M_2 = بزرگترین لنگر خمشی نهایی دو انتهای عضو فشاری

M_{2b} = لنگر نهایی انتهای عضو فشاری، در انتهایی که M_2 بر آن اثر می کند، تحت اثر بارهایی که تغییر مکان جانبی قابل ملاحضه ای ایجاد نمی کنند.

M_{2s} = لنگر نهایی انتهای عضو فشاری، در انتهایی که M_2 بر آن اثر می کند، تحت اثر بارهایی که تغییر مکان جانبی قابل ملاحضه ای ایجاد می کنند.

M_{2min} = حداقل لنگر خمشی M_2

Q = ضریب پایداری طبقه

δ_s = ضریب تشدید متعلق به اثر تغییر مکان جانبی

δ_b = ضریب تشدید متعلق به اثر انحنای قطعه

δ_u = تغییر مکان جانبی طبقه نسبت به طبقه زیرین به ازای هر ترکیب بار مشخص

α_1 = ضریب تنش معادل یکنواخت در بلوک فشاری مقطع

C_m = ضریبی که مقادیر واقعی لنگر را به مقادیر معادل با لنگر یکنواخت تبدیل می کند.

e_{min} = حداقل برون محوری بار

h = ارتفاع مقطع

h_s = ارتفاع طبقه

H_u = بار کل جانبی نهایی وارد بر طبقه

I_e = ممان اینرسی موثر مقطع

I_g = ممان اینرسی کل مقطع

N_d = تعداد متغییرهای گسسته

L_{Chrom}= طول کروموزوم

ρ= چگالی مصالح

L_i= طول عضو i ام

$Gol_i(X)$ = مقدار تابع هدف مربوط به بردار i ام

$Fit_i(X)$ = مقدار تابع برازندگی مربوط به کروموزوم i ام

Gol_{max} = بزرگترین مقدار تابع هدف

Gol_{min} = کمترین مقدار تابع هدف

Q_H = نیروی اندرکنش افقی

GA = صلبیت برشی قاب

فصل ۱: مقدمه