

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله



تعیین مدل خرابایی برای تیرهای عمیق با استفاده از بهینه‌سازی توپولوژی

محمد کمال‌الدینی عزآبادی^۱، بهروز احمدی ندوشن^۲

1- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه یزد

1- استادیار دانشکده عمران دانشگاه یزد

Kamalodini.mohammad@yahoo.com

Behrooz.ahmadi@gmail.com

خلاصه

در بهینه‌سازی توپولوژی که شاخه‌ای از بهینه‌سازی سازه‌ها می‌باشد هدف پیدا کردن چیدمان بهینه مواد در یک ناحیه مشخص می‌باشد. امروزه از بهینه‌سازی توپولوژی پیوسته بصورت گسترده‌ای در مسائل طراحی بهین، استفاده می‌شود که از جمله‌ی این موارد می‌توان به تعیین مدل خرابایی در طراحی بهین تیرهای عمیق اشاره کرد. روش متداول در تعیین مدل خرابایی تیر عمیق، یک فرآیند سعی و خطایی و یا براساس تجربه می‌باشد که با استفاده از بهینه‌سازی توپولوژی می‌توان بر این مشکل غلبه کرد. در این مقاله با استفاده از بهینه‌سازی توپولوژی ایده‌ی اولیه مدل خرابایی برای بعضی از تیرهای عمیق متداول به دست آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد با استفاده از بهینه‌سازی توپولوژی پیوسته به راحتی می‌توان برای تیرهای عمیق تحت شرایط هندسی و بارگذاری مختلف، مدل خرابایی مناسب و کارا پیشنهاد کرد.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی توپولوژی، تیر عمیق، مدل خرابایی

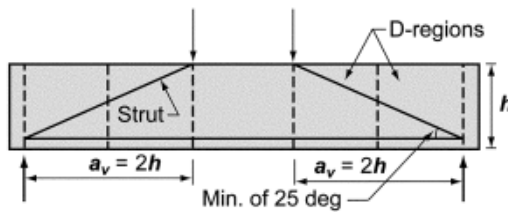
1. مقدمه

تیر عمیق یک ناحیه‌ی کرنش آشفته بتن مسلح می‌باشد که توزیع کرنش در امتداد سطح مقطع عرضی آن غیرخطی می‌باشد و عمده‌ی بار وارده بر تیر به وسیله‌ی اعضای فشاری که محل بارگذاری و عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی را به هم متصل می‌کند حمل می‌شود [1]. آئین‌نامه ACI 318-11 طراحی این نواحی را منوط به استفاده از روش مدل‌های خرابایی و یا به حساب آوردن توزیع غیرخطی کرنش‌ها در طراحی می‌داند. طبق همین آئین‌نامه تیر عمیق به تیری اطلاق می‌شود که نسبت دهانه‌ی آزاد به کل عمق تیر، برابر و یا کمتر از 4 باشد (شکل 1) و یا چنانچه تیر تحت اثر بار متمرکز است، فاصله‌ی بار از تکیه‌گاه از دو برابر ارتفاع تیر تجاوز نکند (شکل 2) [2]. روش مدل خرابایی بر پایه‌ی تئوری کران پائین از تحلیل حدی بنا شده است. در این

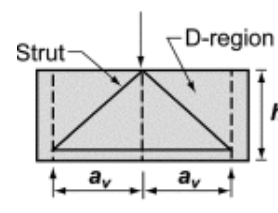
¹دانشجو کارشناسی ارشد

²استادیار دانشکده عمران، دانشگاه یزد

روش یک شبه خرپای فرضی که از اعضای کششی و فشاری ساخته شده است برای حمل بارهای وارده بر ناحیه‌ی کرنش آشفته، به تکیه‌گاه‌ها یا مرزها در نظر گرفته می‌شود، این خرپای داخلی که از اعضای کششی و فشاری ساخته شده است را مدل خرپایی می‌نامند [3,4]. در واقع مدل خرپایی یک میدان تنش قابل قبول می‌باشد که از الزامات آن ارضای تعادل و معیار تسلیم می‌باشد. سومین الزام در چارجوب مکانیک جامدات، سازگاری کرنش‌ها می‌باشد که در روش خرپایی نیازی به ارضای آن نمی‌باشد. با توجه به در نظر نگرفتن سازگاری کرنش‌ها می‌توان نتیجه گرفت که تنها یک مدل خرپایی یکتا برای یک مسئله وجود ندارد و بیش از یک مدل خرپایی را می‌توان برای یک سازه با هندسه و شرایط بارگذاری خاص پیشنهاد کرد اما باید توجه داشت که خرپای انتخاب شده باید با توجه به نیروهای مرزی در تعادل باشد و تنش‌ها در اعضای کششی و فشاری و نواحی گره‌ی کمتر از مقدار مجاز تعیین شده باشند [3].



شکل 2- تیر عمیق [2].



شکل 1- تیر عمیق [2].

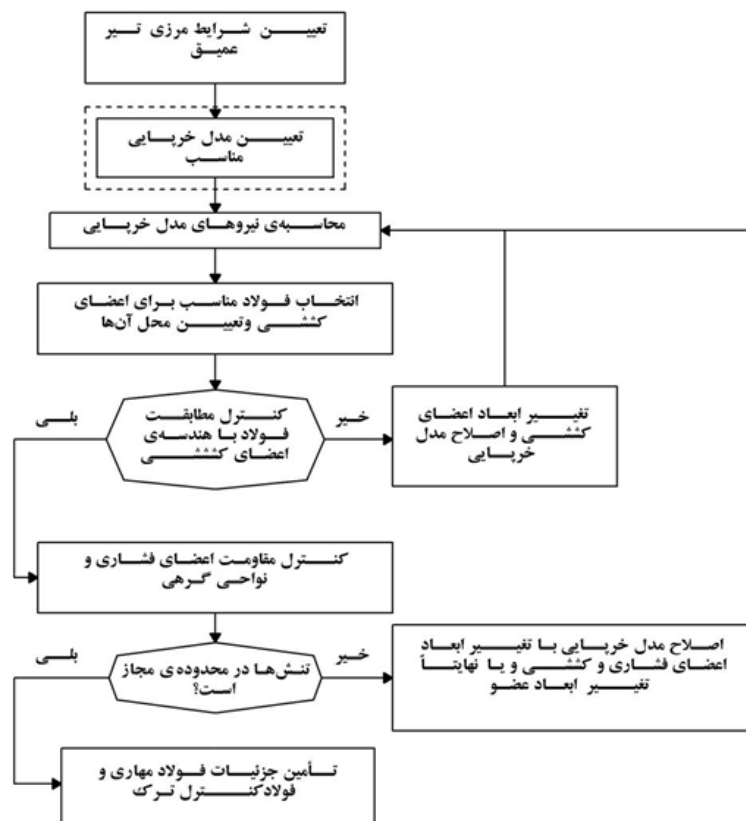
در ادامه در بخش 2 مراحل طراحی تیرهای عمیق به روش مدل خرپایی مختصراً توضیح داده خواهد شد، سپس در بخش 3 اشاره‌ای به روش‌های تعیین مدل خرپایی می‌شود و معیار انتخاب مدل مناسب مطرح می‌شود و سرانجام در بخش‌های 4-6 با معرفی بهینه‌سازی توپولوژی و تعریف مسئله‌ی بهینه‌سازی مناسب برای تعیین چیدمان بهینه‌ی مواد، روشی خودکار برای تعیین الگوی اولیه مدل خرپایی معرفی می‌شود و در پایان در بخش 7 برای نشان دادن کارایی روش پیشنهادی مثال‌هایی ارائه شده است.

2. مراحل طراحی تیرهای عمیق به روش مدل خرپایی

در گذشته، تیرهای عمیق براساس تجربیاتی که از طراحی تیرهای لاغر به دست آمده بود طراحی می‌شدند. نتایج تجربی و گزارش‌های خرابی نشان می‌دادند که مقاومت برشی، بازتوزیع نیروها قبل از گسیختگی و مکانیزم نیروهای داخلی تیرهای عمیق با تیرهای لاغر متفاوت می‌باشد. از این رو برای طراحی این نواحی روش مدل خرپایی مطرح شد [5]. روش مدل خرپایی سال 1899 توسط هنیبک مطرح و به وسیله‌ی ریتز ادامه داده شد. امروزه بیشتر این روش را به نام اسکلیچ می‌شناسند که در سال 1987 آن را متحول ساخت. با ورود این روش در سال 2002 به ضمیمه‌ی آئین‌نامه بتن آمریکا باعث گسترده‌تر شدن این روش شد. مراحل طراحی به روش مدل خرپایی برای طراحی تیر عمیق در قالب یک فلوجارت در شکل 3 نشان داده شده است. یکی از مراحل طراحی، مرحله‌ی تعیین مدل خرپایی مناسب می‌باشد که با کادر خط چین در فلوجارت مشخص شده است. این مرحله یکی از مهمترین مراحل طراحی می‌باشد که تاکنون توجه محققین بسیاری را به خود جلب کرده است و روش‌های گوناگونی برای تعیین مدل مناسب مطرح شده است که در قسمت‌های بعدی به آن پرداخته می‌شود. بعد از تعیین مدل خرپایی مناسب، بقیه مراحل طراحی را می‌توان به صورت دستی و یا با استفاده از نرم‌افزارهایی مختص روش خرپایی مثل نرم افزار CAST انجام داد [6,7].

3. تعیین مدل خرپایی مناسب

تا کنون روش‌های گوناگونی برای تعیین مدل خرپایی عمیق مطرح شده است که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به روش حل الاستیک اسکلیچ، روش الگوی بار و روش الگوی ترک اشاره کرد. طبق نظر اسکلیچ و همکاران برای انتخاب مدل، استفاده از این نکته مؤثر است که بارها برای انتقال به



شکل 3- فلوجارت طراحی به روش مدل خرابایی برای تیر عمیق

تکیه‌گاه‌ها خواهان استفاده از مسیری (مدلی) با کمترین نیرو و تغییر شکل می‌باشند. از آنجایی که اعضای کششی شکل پذیری بیشتری نسبت به اعضای فشاری بتنی دارند، مدل با کمترین و کوتاه‌ترین اعضای کششی بهترین می‌باشد [3,4]. این معیار را می‌توان برای تعیین مدل بهینه به شکل زیر فرمول بندی کرد:

$$\sum F_i L_i \varepsilon_i = \text{minimum} \quad (1)$$

که در آن F_i نیروی اعضای کششی یا فشاری، L_i طول اعضای فشاری و کششی، ε_i کرنش متوسط عضو می‌باشد. فرمول 1 از اصل کمینه سازی انرژی کرنش الاستیک برای رفتار الاستیک اعضای فشاری و کششی بعد از ترک گرفته شده است. چون کرنش بتن کم می‌باشد معمولاً از مشارکت اعضای فشاری در فرمول 1 صرف نظر می‌شود [4]. باید توجه داشت که یک مدل خرابایی بهینه مطلق برای یک مسئله خاص وجود ندارد، اما یک مهندس طراح با تجربه در زمینه طراحی به شیوه‌ی مدل خرابایی می‌تواند مدل ایمن و مناسب را انتخاب کند.

4. بهینه‌سازی توپولوژی

بهینه‌سازی توپولوژی شاخه‌ای از بهینه‌سازی می‌باشد که در آن هدف پیدا کردن چیدمان بهینه‌ی مواد برای انتقال نیرو وارد بر یک ناحیه‌ی مشخص به نواحی مرزی می‌باشد، استفاده از بهینه‌سازی توپولوژی برای پیدا کردن مدل خرابایی تیرهای عمیق بر این اساس می‌باشد که برخی از قسمت‌های یک تیر عمیق برای حمل بار ناکارا می‌باشند و با حذف این قسمت‌ها از تیر الگوی واقعی حمل بار را می‌توان مشخص کرد و این الگوی بار را می‌توان به عنوان مدل خرابایی در نظر گرفت. اولین مقاله بهینه‌سازی توپولوژی را به محقق و مخترع با ذوق استرالیایی میشل نسبت می‌دهند که در سال 1904 ارائه شده



است. بهینه‌سازی توپولوژی به دو دسته بهینه‌سازی توپولوژی گسسته و پیوسته تقسیم می‌شود. بهینه‌سازی توپولوژی سازه‌های گسسته مانند خرپا و قاب، در واقع جستجو برای چینش بهینه‌ی فاصله و اتصالات میله‌هاست [8]. کامر¹ در سال 1978 و بایندونی² و همکاران در سال 1999 و علی و وایت³ در سال 2001 از جمله محققینی بودند که با استفاده از بهینه‌سازی توپولوژی گسسته موفق به تولید اتوماتیک مدل‌های خرپایی شدند، البته استفاده از این روش برای تعیین مدل خرپایی اعضای بتن مسلح مشکلاتی نیز در بر دارد، مثلاً اینکه سازه‌ی زمینه‌ی مختلف برای یک سازه منجر به مدل‌های خرپایی متفاوت می‌شود یا اینکه در این روش نمی‌توان ذات پیوسته بودن یک ناحیه‌ی بتن مسلح را شبیه‌سازی کرد [9]. نقطه‌ی تحول در زمینه‌ی بهینه‌سازی توپولوژی را می‌توان مقاله بندسو و کیکوچی در سال 1988 دانست که در واقع این مقاله نخستین حل عددی برای بهینه‌سازی توپولوژی سازه‌های پیوسته را مطرح کرد که در آن از روش اجزاء محدود کمک گرفته شده بود [10]. پس از آن تا به امروز تحقیقاتی زیادی در زمینه‌ی بهینه‌سازی توپولوژی صورت گرفته است و روش‌های گوناگونی نیز ابداع شده است که یکی از معروف‌ترین این روش‌ها را می‌توان روش SIMP⁴ دانست. این روش در مراجع مختلف با عناوینی همچون درون‌یابی مواد، مواد مصنوعی، قانون توانی و یا روش چگالی به کار برده می‌شود.

5. فرمول‌سازی مسئله‌ی بهینه‌سازی توپولوژی به روش SIMP برای کمینه کردن انرژی الاستیک

مسائل بهینه‌سازی توپولوژی مسائلی موسوم به مسائل 0-1 یا وجود-عدم وجود می‌باشند و این بدان معناست که در نواحی از طرح مواد موجود می‌باشد و در قسمت‌های مواد موجود نمی‌باشد. برای فرار از مسائل 0-1 که مسائلی موسوم به مسائل گسسته می‌باشند در مسائل بهینه‌سازی توپولوژی به روش SIMP سختی مواد به تابعی موسوم به چگالی (متغیر طراحی) وابسته می‌شود و از این طریق مسئله‌ی بهینه‌سازی به یک مسئله‌ی پیوسته تبدیل می‌شود که متغیر طراحی می‌تواند مقداری از 0 تا 1 بگیرد و برای اینکه متغیرهای طراحی بینابین (متغیرهای با چگالی بین مقادیر 0 و 1) به سمت 0 و 1 سوق داده شوند یک تابع جریمه روی آن‌ها اعمال می‌شود. به طور کلی فرآیند بهینه‌سازی استاندارد معمولاً به صورت یک مسئله کمینه‌سازی مطرح می‌شود، در اینجا نیز فرآیند بهینه‌سازی توپولوژی با تابع هدف پیشینه‌ی کردن سختی سازه با مسئله‌ی معادل آن یعنی کمینه‌سازی نرمی سازه تحت قید حجم مطرح می‌شود تا از این طریق مسئله‌ی مورد نظر به شکل یک مسئله‌ی بهینه‌سازی استاندارد بیان شود.

$$\min: C = U^T K U = \sum_{e=1}^N (x_e)^P u_e^T k_e u_e \quad (2)$$

$$s. t : \quad \frac{V(x)}{V_0} = f \quad (3)$$

$$K U = F \quad (4)$$

$$0 < x_{min} \leq x \leq 1 \quad (5)$$

که در آن U و F بردارهای جابه‌جایی و نیروی کل سازه می‌باشند. K ماتریس سختی کل سازه و u_e و k_e به ترتیب بردار جابه‌جایی و ماتریس سختی المان e ام می‌باشد. x متغیر طراحی می‌باشد و توان P موجود در فرمول 2 پارامتر جریمه می‌باشد که چگالی‌های (متغیرهای طراحی) بینابین را به سمت 0 و 1 سوق می‌دهد و باعث ایجاد طرحی که شامل فضای خالی و مواد است می‌شود. $V(x)$ و V_0 به ترتیب حجم مواد و حجم ناحیه‌ی طراحی می‌باشد و f ، کسر حجمی تعیین شده می‌باشد. که فرمول 3 قید حجم تعریف شده برای مسئله‌ی طراحی می‌باشد. فرمول 4 قید تعادل می‌باشد که از آن بردار جابه‌جایی سازه به دست آورده می‌شود. فرمول 5 یک قید ضمنی تعریف شده روی متغیرهای طراحی می‌باشد که برای فرار از تکین شدن ماتریس سختی سازه حین فرآیند طراحی، کران پائین x_{min} برای متغیرهای طراحی در نظر گرفته شده است [11]. لازم به ذکر است که طبق تئوری کلاپیرون می‌توان نرمی سازه را معادل با دو برابر انرژی الاستیک سازه دانست و بنابراین مسئله‌ی 2 یک مسئله‌ی کمینه‌سازی انرژی الاستیک سازه در حالت تعادل نیز می‌باشد [12]. برای به روز کردن متغیرهای طراحی روش‌های متنوعی وجود دارد که در این مقاله از معیار بهینگی برای به روز کردن متغیرهای

¹ Kumar

² Biondini & al

³ Ali & White

⁴ Solid Isotropic Material with Penalization



طراحی استفاده شده است زیرا برای مسائل حداقل سازی انرژی کرنشی سازه این الگوریتم سریع تر به جواب می‌رسد و همگرایی خوبی دارد [11]. طبق مسئله‌ی تعریف شده ابتدا سازه‌ی مد نظر مش‌بندی می‌شود و سپس یک چگالی اولیه به المان‌های اختصاص داده می‌شود و آن المان‌هایی که تأثیر کمی در سختی سازه دارند جریمه شده و نهایتاً طرح به سمت یک فضای متشکل از نواحی پر و خالی سوق داده می‌شود.

6. حل مسئله با استفاده از الگوریتم معیار بهینگی

الگوریتم‌های حل متنوعی برای بهینه‌سازی توپولوژی بیان شده است که از جمله‌ی پرکاربردترین آن‌ها برای مسئله‌ی بهینه‌سازی توپولوژی با تابع هدف کمینه‌سازی انرژی کرنش الاستیک تحت قید حجم، الگوریتم معیار بهینگی می‌باشد. این الگوریتم یک روش ابتکاری است که توسط بندسو برای به روز رسانی متغیر طراحی در مسئله‌ی بهینه‌سازی توپولوژی مطرح شده است. در این الگوریتم مطابق فرمول 6 برای به روز کردن متغیر طراحی استفاده می‌شود:

x_e^{new} :

$$\begin{cases} \max(x_{min}, x_e - m) & \text{if } x_e \beta_e^\eta \leq \max(x_{min}, x_e - m) \\ x_e \beta_e^\eta & \text{if } \max(x_{min}, x_e - m) < x_e \beta_e^\eta < \min(1, x_e + m) \\ \min(1, x_e + m) & \text{if } \min(1, x_e + m) \leq x_e \beta_e^\eta \end{cases} \quad (6)$$

که در آن x_e متغیر طراحی، η و m به ترتیب متغیر تعدیل و حد تغییرات می‌باشند که این دو متغیر می‌توانند تغییراتی که در هر چرخه‌ی گام به روز رسانی متغیر طراحی اتفاق می‌افتد را کنترل کنند و برای کارایی روش قابل تنظیم می‌باشند. یک مقدار معمول برای پارامترهای η و m به ترتیب 0/5 و 0/2 می‌باشد. β_e با توجه به شرایط بهینگی به صورت زیر به دست می‌آید:

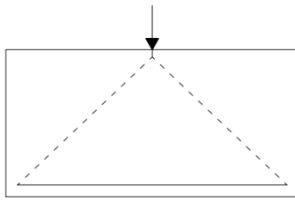
$$\beta_e = \frac{-\frac{\partial c}{\partial x_e}}{\lambda \frac{\partial v}{\partial x_e}}$$

که در آن $\frac{\partial c}{\partial x_e}$ و $\frac{\partial v}{\partial x_e}$ به ترتیب مشتق تابع هدف (نرمی) و مشتق قید (حجم) نسبت به متغیر طراحی می‌باشد و λ ضریب لاگرانژ برای قید حجم می‌باشد که در یک چرخه داخلی از روش نصف کردن یا روش نیوتن به دست می‌آید [11].

7. مسائل نمونه‌ی حل شده

مثال 1. تیر عمیق تحت بار متمرکز فوقانی میانه‌ی دهانه

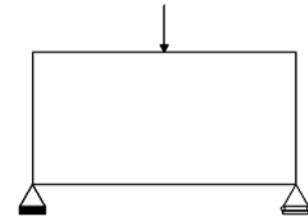
در این مثال به بررسی توپولوژی‌های به دست آمده برای یک تیر عمیق تحت بار متمرکز فوقانی میانه‌ی دهانه آن پرداخته می‌شود. در این مثال از المان 4 گرهی تنش مسطح برای تحلیل اجزاء محدود استفاده شده است. تعداد المان در جهت افقی 80 و در جهت عمودی 40 می‌باشد. کسر حجمی 0/45 و عدد جریمه 3 در نظر گرفته شده است. بار وارده 1 N و مدول یانگ 1 N/m^2 و نسبت پواسون 0/3 در نظر گرفته شده است.



شکل 6- مدل خرابایی پیشنهادی



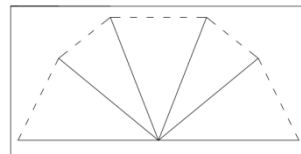
شکل 5- توپولوژی نهایی



شکل 4- تیر عمیق تحت بار متمرکز فوقانی

مثال 2. تیر عمیق تحت بار متمرکز تحتانی میانه دهانه

در این مثال به بررسی توپولوژی‌های به دست آمده برای تیر عمیق مثال قبل تحت بار متمرکز تحتانی میانه دهانه آن پرداخته می‌شود. در این مثال از المان 4 گرهی تنش مسطح برای تحلیل اجزاء محدود استفاده شده است. تعداد المان در جهت افقی 80 و در جهت عمودی 40 می‌باشد. کسر حجمی 0/45 و عدد جریمه 3 در نظر گرفته شده است. بار وارده 1 N و مدول یانگ 1 N/m^2 و نسبت پواسون 0/3 در نظر گرفته شده است.



شکل 8- مدل خرابایی پیشنهادی



شکل 7- توپولوژی نهایی

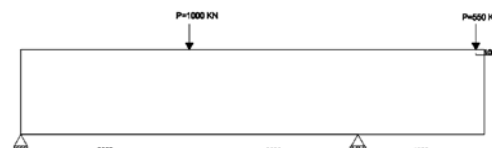
همان‌طور که از اشکال 5 و 7 مشخص است توپولوژی نهایی که با حذف المان‌های غیر مؤثر برای انتقال بار به دست آمده است در واقع بهینه‌ترین چیدمان برای حمل بار وارده به تکیه‌گاه‌ها را نشان می‌دهد که از روی آن‌ها مدل‌های خرابایی مناسب برای تیر عمیق تحت بار فوقانی و تحتانی میانه دهانه به دست آورده شده است، که این مدل‌ها با مدل‌های خرابایی که از سایر روش‌ها به دست می‌آید مطابقت دارد.

مثال 3. تیر عمیق پیوسته

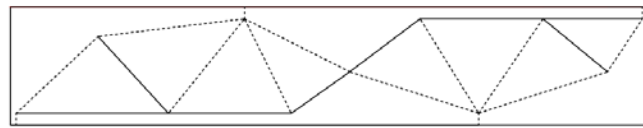
تیر عمیق پیوسته معمولاً در ساختمان‌های بلند بکار می‌رود. تاکنون سعی و تلاش‌های زیادی برای پیدا کردن مدل خرابایی این گونه تیرها صورت گرفته است. در این مثال هدف تعیین مدل خرابایی یک تیر پیوسته که در شکل 9 نشان داده شده است، می‌باشد. برای تحلیل اجزاء محدود از 2200 المان چهار گرهی تنش مسطح استفاده شده است. مدول یانگ بتن 28600 MPa و نسبت پواسون 0/15 در نظر گرفته شده است. در این مثال از کسر حجمی 0/4 و پارامتر جریمه 3 برای فرآیند بهینه‌سازی استفاده شده است تا فرآیند بهینه‌سازی به نتایج مطلوب همگرا شود. توپولوژی نهایی و مدل خرابایی به ترتیب در شکل‌های 10 و 11 نشان داده شده است.



شکل 10- توپولوژی نهایی تیر عمیق پیوسته



شکل 9- ابعاد و بارگذاری تیر عمیق پیوسته

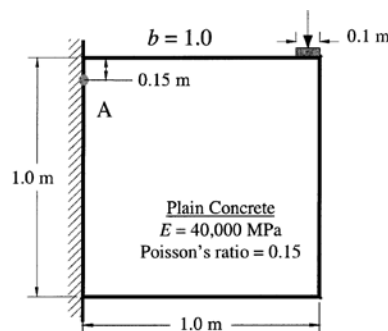


شکل 11- مدل خرپایی تیر عمیق پیوسته

همان طور که در فرآیند فرمول سازی مسئله ی بهینه سازی توضیح داده شد، توپولوژی نهایی از کمیته سازی انرژی کرنشی الاستیک تحت قید حجم به دست آمده است و طبق فرمول 1 می توان گفت مدل به دست آمده، مدلی کارا و مناسب برای طراحی می باشد. باید توجه داشت که انتخاب تابع هدف و قیود مناسب برای تعریف مسئله ی بهینه سازی توپولوژی بسیار مهم می باشد و مهندسین طراح با توجه به محدودیت های مدنظر می توانند مسئله ی جدیدی تعریف کنند، در این مقاله با انتخاب تابع هدف کمیته سازی انرژی کرنشی الاستیک مدل خرپایی مناسب به دست آورده شده است.

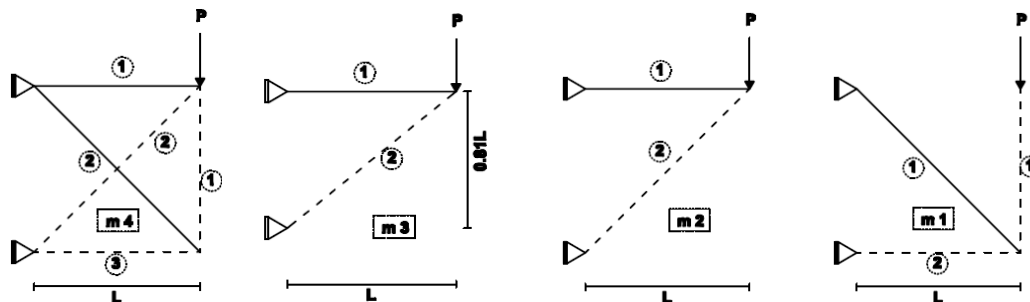
مثال 4. تیر کنسول تحت بار متمرکز

در این مثال به بررسی و مقایسه ی مدل خرپایی به دست آمده از بهینه سازی توپولوژی پیوسته و سایر روش ها برای یک تیر عمیق تحت بار متمرکز پرداخته می شود.

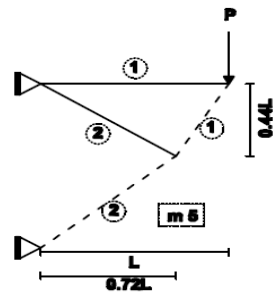


شکل 12- تیر کنسول تحت بار متمرکز

در مرجع [13] مدل های متفاوتی برای این کنسول ارائه شده و بررسی شده که مدل پیشنهادی 4 نسبت به سایر مدل ها تحت بار بیشتر تغییر شکل کمتری از خود نشان می دهد. در اینجا با استفاده از مسئله ی بهینه سازی توپولوژی پیوسته تعریف شده در بخش 5 برای تیر شکل 12 مدل خرپایی مناسبی به دست آورده می شود. در بهینه سازی توپولوژی برای راحتی کار نیروی وارده $p = 1 \text{ N}$ ، مدول یانگ $E_c = 1 \text{ N/m}^2$ و نسبت پواسون $\nu = 0.3$ در نظر گرفته شده است. برای مش بندی از 50 المان چهارگوشی تنش مسطح در جهت افقی و 50 المان در جهت قائم استفاده شده است. فاصله ی بین دو تکیه گاه در تمام نمونه ها برابر L به جز مدل 3 که فاصله $0.81L$ در نظر گرفته شده است. شماره مدل ها در مستطیل داخل هر مدل نشان داده شده است برای مثال مدل 1 با $m1$ داخل مستطیل نشان داده شده است.



شکل 13- مدل ها مورد بررسی در مرجع [13].



شکل 15- مدل به دست آمده از بهینه‌سازی توپولوژی



شکل 14- توپولوژی نهایی

شکل 13 مدل‌های پیشنهادی سایر روش‌ها را نشان می‌دهد، اشکال 14 و 15 به ترتیب توپولوژی نهایی و مدل خرابایی برای تیر مورد بررسی می‌باشد که با فرمول‌سازی بخش 5 به دست آمده است. انتخاب بهینه‌ترین مدل، ممکن نمی‌باشد [4]، اما با توجه به فرمول 1 و در نظر نگرفتن تأثیر اعضای فشاری در فرمول، می‌توان متوجه شد که مدل به دست آمده با استفاده از بهینه‌سازی توپولوژی پیوسته، انرژی کرنشی الاستیک کمتری نسبت به سایر مدل‌ها دارد.

8. نتیجه‌گیری

با بررسی نتایج به دست آمده می‌توان متوجه شد که بهینه‌سازی توپولوژی پیوسته روشی مناسب و کارا برای تعیین مدل خرابایی اعضای تیرهای عمیق می‌باشد. سایر روش‌های تعیین مدل خرابایی، نیاز به تجربه بالا در زمینه طراحی به روش مدل خرابایی دارند و برای مسائل طراحی پیچیده‌تر مثل مسائل 3 بعدی و یا مسائل تحت چند بارگذاری تعیین مدل خرابایی از آن روش‌ها واقعاً دشوار می‌باشد که در روش اشاره شده در این مقاله این مشکلات وجود ندارد و باید توجه داشت که رسیدن به توپولوژی مطلوب منوط بر تعریف مناسب مسئله بهینه‌سازی توپولوژی می‌باشد.

با توجه به فرمول 1، انتخاب تابع هدف کمینه‌سازی انرژی کرنشی الاستیک برای رسیدن به توپولوژی نهایی و تعیین مدل خرابایی کارا، مناسب می‌باشد. یکی دیگر از محاسن بزرگ استفاده از بهینه‌سازی توپولوژی برای رسیدن به مدل خرابایی، توانایی انتخاب قیود مختلف برای مسئله طراحی می‌باشد. برای مثال می‌توان با در نظر گرفتن قیود جابه‌جایی و یا تنش، برخی از الزامات طراحی را در توپولوژی نهایی منظور کرد.

9. مراجع

1. Nagarajan, P. and Pillai, T.M.M. (2008), "Development of strut and tie models for simply supported deep beams using topology optimization," Songklanakarin J.Sci.Technol, 30 (5), pp 641-647.
2. ACI Committee 318. (2011), "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-11)."
3. Task Group., (2008), "Practitioners Guide to Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Structures," Fib Bulletin 45.
4. Schlaich, J. and Schafer, K. and Jennewein, M., (1987), "Toward a Consistent Design of Structural Concrete," Pci Journal, 32(3), pp 77-150.
5. Yang, K.H and Eun, H.Ch and Chung, H.S. (2006), "The influence of web openings on structural behavior of reinforced high-strength concrete deep beams," Engineering Structures, 28(2006), pp 1825-1834.
6. Tjen, N and Daniel A.K. (2002), "Computer-Based Tools for Design by Strut-and-Tie Method: Advances and challenges," Aci Structural Journal, 99(5), pp 586-594.
7. Tjen, N and Daniel A.K. (2007), "Integrated analysis and design tool for the strut-and-tie method," Engineering Structures, 29(2007), pp 3042-3052.
8. Rozvany, G.I.N., (2009), "A Critical Review of Established Methods of Structural Topology Optimization," Struct Multidisc Optim, 37, pp. 217-237.



9. Liang, Q.Q., (2005), "Performance-Based Optimization of Structures ," First Edition, Spon Press.
10. Bendsoe, M.P. and Kikuchi, N.,(1988), " Genrating Optimal Topologies in Structural Design Using A Homogenization Method," Computer Methods in Applied Mechanics, 71, PP. 197-224.
11. Bendsoe, M.P. and Sigmund, O., (2003)), " Topology Optimization, Theory, Methods and Applications," First Edition, Springer.
12. Bruggi, M., (2009), "Generating Strut-and-Tie Patterns for Reinforced Roncrete Structures Using Topology Optimization," Computers and Structures, 87, pp.1483-1495.
13. Mohamed, A.A. And White, R.N., (2001), "Automatic Generation of Truss Model for Optimal Design of Reinforced Concrete Structures," Aci Structural Journal, 98, pp. 431-442.

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی

مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها

اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله