

ارزیابی رفتار دال بتنی مجوف دوطرفه و ارائه روش‌های اجرای ساده آن

میثم امینی تبار درزی^۱، تقی لطیفی^۲، محسن فلاح^۳

۳۰۱- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

۲- دانشگاه آزاد تهران مرکز، تهران

Email: meysam.aminitabar@gmail.com

خلاصه

دال مجوف از نظر هندسی شامل یک سری مقاطع T و L شکل می‌باشد که به صورت دوطرفه قرار می‌گیرد. در این دال وجود تیرچه‌ها باعث کاهش بار مرده نسبت به دال تخت می‌شود و همچنین سختی مناسبی از خود نشان می‌دهد. در این تحقیق چندین دال مجوف و دال تخت به وسیله نرم افزار اجزای محدود مدل‌سازی شده و نتایج از نظر رفتار دال و هزینه اقتصادی مورد مقایسه قرار گرفته بود که نشان می‌داد کاهش بتن زیر دال باعث افزایش صرفه اقتصادی و استفاده موثر از مصالح بتن و فولاد می‌شد و همچنین تاثیر افزایش ارتفاع تیرچه نسبت به افزایش تعداد تیرچه بیشتر بوده است و در نهایت روش‌هایی برای اجرای ساده این نوع دال ارائه می‌گردد.

کلمات کلیدی: دال مجوف، مقاومت، سختی، روش ساخت، اقتصاد

۱. مقدمه

در سالهای اخیر مقاوم سازی و سبک سازی ساختمان‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است، سقف اولین قسمت از سازه باربر ساختمان است که بارهای مرده و زنده روی آن قرار می‌گیرد و به دلیل اینکه نیروی زلزله را به دیافراگم سقف نسبت می‌دهیم لذا نوع سقف و توانایی تحمل و انتقال بارها بسیار مهم است امروزه رقابت در مهندسی سازه‌ها، پیمانکاران و طراحان را به سمت تحقیقات، نوآوری و بهره‌وری بیشتر سوق داده است و توجه به امکانات موجود باید بتوان سیستم‌های نوین را در کشور اجرایی کرد. دال‌های مجوف از آن دسته سقف‌های نوین می‌باشد که در اجرای آن در بعضی از کشورها از جمله ایران با مشکلاتی از قبیل ساخت شبکه‌ها و قالب‌ها پیش ساخته مواجه هستیم و همچنین تحقیقات محدودی در زمینه مقاومت و صلبیت و رفتار دال‌های تیرچه‌ای دوطرفه (دال مجوف) و مزایا و معایب آن در سازه‌ها، انجام شده است. در این مطالعه مدل‌های مختلفی از دال‌های تیرچه‌ای دوطرفه و دال تخت با مدل رفتار غیرخطی و تغییر در ارتفاع و تعداد شبکه‌ها ساخته شده بود و منحنی نیرو- تغییر مکان دال‌ها در ناحیه الاستیک و غیر الاستیک بدست آمده بود و به این منظور ابتدا مدل اجزاء محدود دال در نرم‌افزار اجزای محدود توسعه داده شد و خصوصیات رفتار غیر خطی مصالح بتن و فولاد منظور گردید. برای اطمینان از صحت مدل‌سازی، از نتایج آزمایشگاهی عبدالوهاب در سال ۲۰۰۰ استفاده شد و منحنی‌های نیرو- تغییر مکان وسط دال مورد مقایسه قرار گرفت که تطابق خوبی مشاهده شد با تغییر در تعداد و ارتفاع تیرچه‌ها، رفتار دال تیرچه‌ای دوطرفه مورد ارزیابی قرار گرفت و از نظر صرفه اقتصادی با دال تخت مورد مقایسه قرار گرفت و در نهایت برای اجرای ساده و ارزان دال دوطرفه تیرچه‌ای روش‌هایی پیشنهاد شد.



^۱ کارشناس ارشد زلزله، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

^۲ کارشناس ارشد سازه، دانشگاه آزاد تهران مرکز، تهران

^۳ کارشناس ارشد زلزله، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

شکل ۱- نمونه هایی از دال مجوف اجرا شده

۲. بررسی رفتار نیرو- تغییر مکان دال مجوف با استفاده از تئوری صفحات

برای بررسی رفتار دال مجوف، تحلیل دال با استفاده از روش تئوری صفحات [۱]، می‌تواند روش بسیار پیچیده و وقت گیر، اما با دقت بسیار بالا باشد:

$$D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = q \quad (۱)$$

به طوریکه q بار وارده به دال می‌باشد و D_x و D_y صلبیت خمشی دال در جهت طولی و عرضی می‌باشد که برای کاربردهای عملی روابط زیر پیشنهاد شده است [۲]:

$$D_x = \frac{E I_{sx}}{s_x} \quad (۲)$$

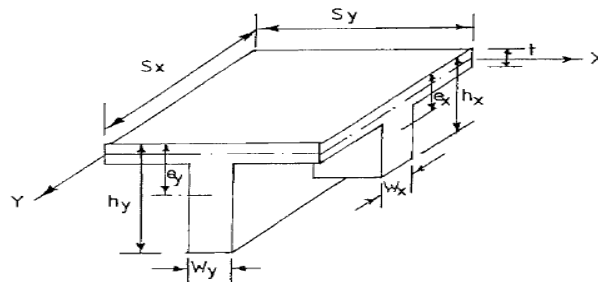
$$D_y = \frac{E I_{sy}}{s_y} \quad (۳)$$

I_{sx} و I_{sy} : به ترتیب ممان اینرسی مقطع نسبت به محور خنثی در جهت x و در جهت y

s_x و s_y : فاصله بین شبکه‌ها در جهت عمود بر محور x و عمود بر محور y

و $2H$ صلبیت پیچشی دال مجوف می‌باشد که از رابطه زیر و با توجه به شکل ۲ محاسبه می‌شود [۲]:

$$2H = B_{xy} + B_{yx} + \frac{E t^3}{6(1-\xi^2)} + \frac{\xi E}{2} \cdot \frac{W_x \cdot W_y}{s_x s_y} (h_y - t) \times [(h_y - t)(h_y - t) - (e_x + e_y) + \frac{(h_y - t)^2}{3}] \quad (۴)$$



شکل ۲- مقطع شبکه متعامد

B_{xy} , B_{yx} : صلبیت تکی شبکه‌ها در جهت طولی و عرضی می‌باشد که به شکل زیر محاسبه می‌شود [۲]:

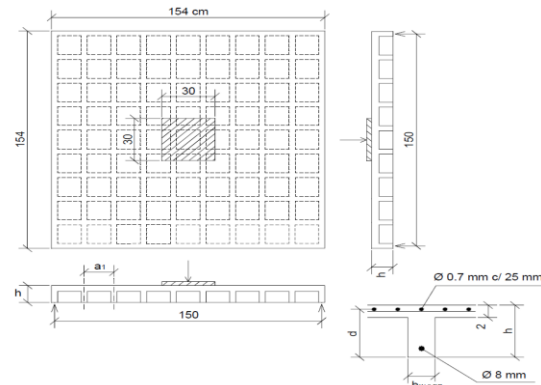
$$B_{xy} = \frac{6K W_x^3 (h_x - t)}{s_x} \quad \text{for} \quad W_x < (h_x - t) \quad (۵)$$

$$B_{yx} = \frac{6K W_y^3 (h_y - t)}{s_y} \quad \text{for} \quad W_y < (h_y - t) \quad (۶)$$

عبارت سوم معادله (۴) صلبیت پیچشی عرشه دال و چهارمین عبارت معادله مربوط به اثرضریب پواسون ξ حاصل از اندرکنش شبکه‌ها می‌باشد و در یک تحلیل تقریبی عبارت چهارم معادله قابل صرف نظر کردن می‌باشد و همچنین به این نکته باید توجه داشت که همه روابط ارائه شده در بالا فقط در ناحیه الاستیک کاربرد دارد.

۳. مدل آزمایشگاهی

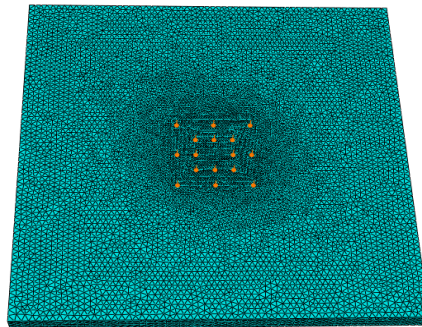
چند نمونه دال مجوف دوطرفه با مقیاس ۴:۱ توسط عبدالوهاب با تعداد و ارتفاع شبکه متغیر در سال ۲۰۰۰ مورد آزمایش قرار گرفته بود [۲]. ابعاد و جزئیات میلگردگذاری و بارگذاری آن و همچنین شرایط تکیه گاهی دال مجوف در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- دال مجوف آزمایشگاهی

۴. مدل‌سازی دال‌ها با روش اجزای محدود

برای مدل‌سازی دال‌ها با روش اجزای محدود می‌توان از یک نرم افزار اجزای محدود استفاده کرد به طوریکه این نرم افزار قابلیت انجام تحلیل‌های ساده مانند تحلیل خطی یا استاتیکی و همچنین تحلیل‌های پیچیده مانند تحلیل غیرخطی و دینامیکی را دارا باشد [۳]. نرم‌افزار اجزای محدود معمولاً شامل سه بخش کلی است: ۱- ساخت مدل ۲- بارگذاری و تحلیل ۳- مشاهده نتایج لازم به ذکر است که مدل ساخته شده دال، بر روی چهار تکیه‌گاه ساده قرار گرفته است. برای تعریف رفتار غیرخطی بتن از مدل آسیب- پلاستیسیته^۱ استفاده شد [۳] و ضریب پواسون بتن ۰/۱۷ و مدول الاستیسیته ۱۸۰۰۰ نیوتن بر میلیمترمربع بدست آمده از نمونه آزمایشگاهی در نظر گرفته شد و رفتار فولاد به شکل الاستو پلاستیک^۲ با ضریب پواسون ۰/۳ و مدول الاستیسیته ۲۱۰۰۰۰ نیوتن بر میلیمترمربع مدل شد. به دلیل وجود شبکه‌ها و پیچیدگی آنها، برای مش‌بندی مدل بتن از المان سه بعدی چهار گره‌ای Tet (C3D4) استفاده شد که نسبت به المان‌های دیگر سختی بیشتری دارد و برای مش‌بندی مدل فولاد از المان خربایی دو گره‌ای (T3D2) استفاده شد. در آنالیز مقدماتی چگالی مش‌بندی به طور یکنواخت انتخاب شده بود اما جواب‌ها دقت لازم را نداشت. با توجه به اینکه در روش اجزای محدود اندازه مش‌بندی بتن در دقت و سرعت محاسبات مهم می‌باشد، چگالی مش در زیر ناحیه بارگذاری در آزمایشگاه بر صفحه صلب انجام گرفت، در مدل با تغییر جابجایی بارگذاری اعمال شد.



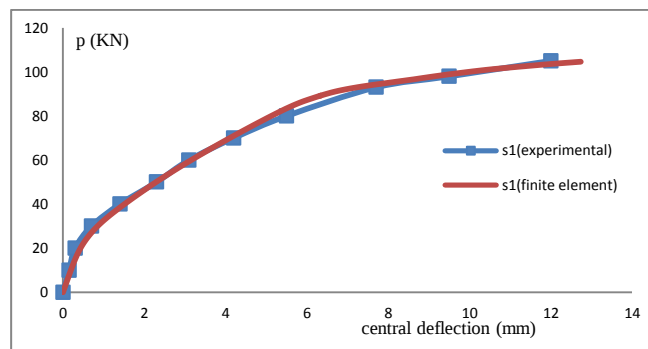
شکل ۴- سطح روی دال مجوف اجزای محدود و ناحیه بارگذاری

۵. مقایسه نتایج تحلیل مدل‌های ساخته شده با نتایج آزمایشگاهی

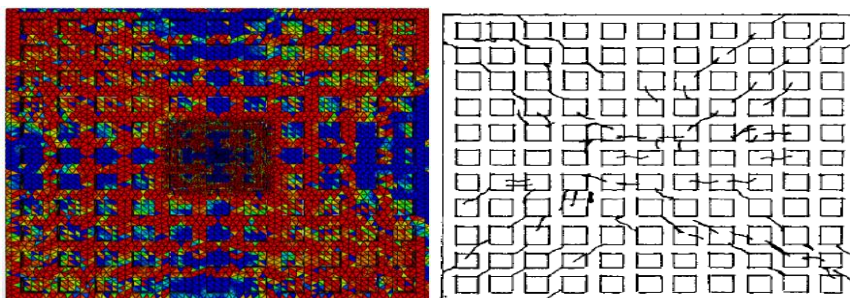
برای تعیین اعتبار مدل‌سازی و تحلیل، نتایج حاصل از تحلیل با نتایج آزمایشگاهی دال مجوف S_1 مورد مقایسه قرار گرفت، به طوریکه این دال دارای ۱۲ شبکه به ارتفاع ۷۵ و عرض ۵۲ میلی‌متر در هر جهت می‌باشد که بر روی آن به ضخامت ۲۰ میلی‌متر دال مسلح اجرا شده است.

¹ Damage plasticity or plastic-damage

² Elastic-perfectly plastic model



شکل ۵- تغییر مکان مرکز دال S_1

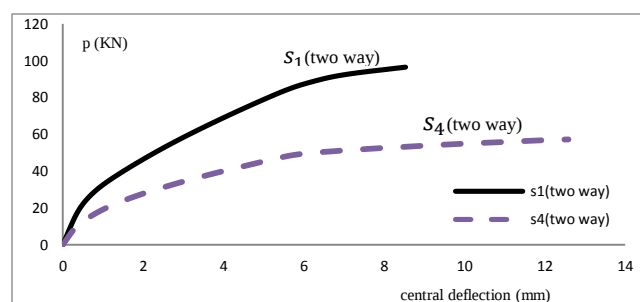


شکل ۶- محل ترک خوردگی در دال مجوف S_1 آزمایشگاهی و مدل اجزای محدود

همانطور که شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهد مدل عددی دقت خوبی نسبت به مدل آزمایشگاهی از خود نشان می‌دهد و هر دو مدل تقریباً در نیروی ۳۰ KN وارد ناحیه ترک‌خوردگی شده و ترک‌های اولیه در آن‌ها ظاهر خواهد شد و مقاومت نهایی تقریباً ۱۰۵ KN از خود نشان داده‌اند و در هر دو نمونه سطح زیر دال در قسمت مرکزی به سمت گوشه‌ها دچار ترک‌خوردگی شده‌اند.

۶. تاثیر تعداد شبکه‌ها در سختی و مقاومت دال تیرچه‌ای دوطرفه (دال مجوف)

دو نوع دال مجوف S_1 (two way) و S_4 (two way) مدل شده است که به ترتیب دارای ۱۲ و ۶ شبکه در هر جهت با ارتفاع ۷۵ و عرض ۵۲ میلی‌متر می‌باشد.

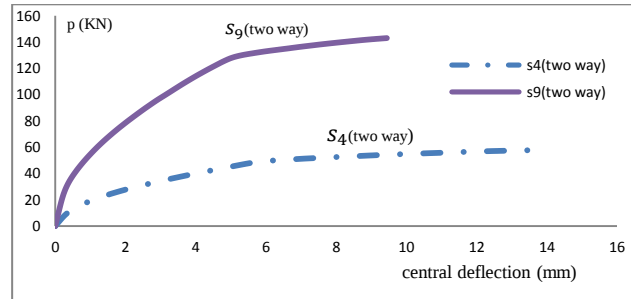


شکل ۷- مقایسه دو نمودار نیرو- تغییر مکان S_1 (two way) و S_4 (two way)

همان‌طور که شکل ۷ نشان می‌دهد افزایش تعداد شبکه‌ها تاثیر نسبتاً کمی در مقاومت الاستیک دال داشته است، به طوری که مقاومت الاستیک از ۲۰ KN در دال S_4 (two way) با تعداد ۶ شبکه در هر جهت به ۳۰ KN در دال S_1 (two way) با تعداد ۱۲ شبکه در هر جهت، رسیده است اما مقاومت نهایی از ۵۰ KN در دال S_4 (two way) به حدود ۱۰۵ KN در دال S_1 (two way) رسیده است که نشان دهنده تأثیر نسبتاً زیاد تعداد شبکه‌ها در مقاومت نهایی می‌باشد. نمودار شکل ۷ نشان می‌دهد که هر چه به تعداد شبکه‌ها افزوده می‌شود، افزایش سختی و کاهش شکل‌پذیری را برای جابجایی نهایی محدود دال‌ها خواهیم داشت.

۷. تأثیر ارتفاع شبکه‌ها در سختی و مقاومت دال تیرچه‌ای دوطرفه (دال مجوف)

برای نشان دادن تأثیر ارتفاع شبکه‌ها در سختی و مقاومت دال مجوف، مدل $S_9(two\ way)$ با تعداد شبکه برابر با $S_4(two\ way)$ یعنی ۶ عدد در هر جهت و ارتفاع شبکه دو برابر دال $S_4(two\ way)$ یعنی برابر ۱۵۰ میلی‌متر با عرض و مقدار میلگرد برابر در نظر گرفته شده است.

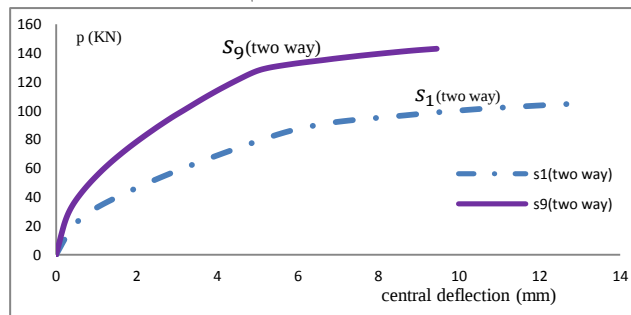


شکل ۸- مقایسه دو نمودار نیرو-تغییر مکان $S_9(two\ way)$ و $S_4(two\ way)$

نمودار شکل ۸ نشان می‌دهد که با افزایش دو برابری ارتفاع شبکه دال، مقاومت ترک‌خوردگی و مقاومت نهایی به ترتیب از حدود ۲۰ KN و ۵۰ KN در دال $S_4(two\ way)$ به بیش از حدود ۲ برابر یعنی ۵۵ KN و ۱۴۰ KN در دال $S_9(two\ way)$ رسیده است. نکته قابل ذکر این است که با توجه به افزایش سختی و مقاومت، دال دارای شکل‌پذیری کمتری می‌باشد و احتمال شکست ناگهانی (شکست برشی) در آن بیشتر خواهد بود. لازم به ذکر است که شکست برشی یک شکست ترد و به صورت ناگهانی است در حالی که شکست خمشی به صورت شکل‌پذیر اتفاق می‌افتد.

۸. مقایسه تأثیر ارتفاع شبکه‌ها و تعداد شبکه‌ها برای حجم برابر بتن و میلگرد در دال تیرچه‌ای دوطرفه (دال مجوف)

تأثیر ارتفاع شبکه‌ها و تعداد شبکه‌ها برای حالتی که حجم بتن ریزی و میلگردگذاری برابر در نظر گرفته شود از نظر سختی و مقاومت مورد مقایسه قرار می‌گیرد. بدین منظور دال $S_1(two\ way)$ و $S_9(two\ way)$ که دارای این حجم بتن و میلگرد برابر می‌باشد مورد تحلیل و ارزیابی قرار می‌گیرد.



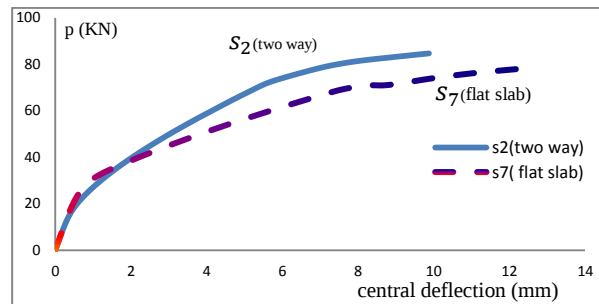
شکل ۹- مقایسه دو نمودار نیرو-تغییر مکان $S_9(two\ way)$ و $S_1(two\ way)$

نمودار شکل ۹ نشان می‌دهد که سختی و مقاومت ترک‌خوردگی و مقاومت نهایی دال $S_9(two\ way)$ بیشتر از دال $S_1(two\ way)$ می‌باشد یعنی در دال‌های تیرچه‌ای دوطرفه برای مقدار بتن و فولاد برابر، تأثیر افزایش ارتفاع بیشتر از تأثیر افزایش تعداد تیرچه‌ها می‌باشد ولی دال $S_9(two\ way)$ به ازای جابجایی نهایی یکسان از شکل‌پذیری کمتری نسبت به دال $S_1(two\ way)$ برخوردار است به طوری که امکان شکست ناگهانی در آنها بیشتر خواهد بود.

۹. ارزیابی روش ضخامت معادل ارائه شده توسط عبدالوهاب با روش اجزای محدود و مقایسه اقتصادی با دال تخت

ضخامت معادل ضخامتی از دال تخت می‌باشد که همان سختی خمشی دال دوطرفه تیرچه‌ای را داشته باشد [۲]. که برای ارزیابی آن دال $S_2(two\ way)$ که دارای ۱۰ شبکه به ارتفاع ۷۵ و عرض ۵۲ میلی‌متر در هر جهت می‌باشد و بر روی آن به ضخامت ۲۰ میلی‌متر دال مسلح اجرا شده است، به عنوان دال مبنای در نظر گرفته شد و دال تخت $S_7(flat\ slab)$ با ضخامت برابر ۷۵ میلی‌متر بدست آمد که برابر ضخامت معادل

$$h_e = \left(\frac{12I}{S}\right)^{1/3} \text{ دال } S_2(two\ way) \text{ می‌باشد. [۲]}$$



شکل ۱۰- مقایسه دو نمودار نیرو-تغییر مکان S_2 (two way) و S_7 (flat slab)

نمودار شکل ۱۰ تاییدکننده روش ضخامت معادل می‌باشد. از این ضخامت معادل می‌توان جهت سهولت در تحلیل و طراحی استفاده نمود و نکته قابل توجه این است که دال مجوف S_2 (two way) با سختی خمشی تقریباً برابر و مقاومت بیشتر از دال تخت S_7 (flat slab) با کاهش تقریباً ۱۹ درصدی حجم بتن‌ریزی نیز همراه خواهد بود که نشان دهنده صرفه اقتصادی این نوع دال نسبت به دال تخت می‌باشد.

۱۰. روشهای امروزی دال تیرچه‌ای دوطرفه (دال مجوف)

در کشور ما ایران بدلیل مشکلاتی از قبیل عدم وجود کارخانه ساخت، تولید بعضی از قالب‌های پیش‌ساخته، هزینه اولیه زیاد قالب‌بندی و نداشتن نیروی متخصص، اجرای دال مجوف به شکل امروزی مقرون به صرفه نیست. به همین خاطر راهکارهای ممکن برای اجرای ساده‌تر این گونه از دال‌ها ارائه خواهیم داد. به امید اینکه بتوانیم گامی مفید برای تحقق این امر در سال تولید ملی و حمایت از کار و سرمایه ایرانی برداشته باشیم.



شکل ۱۱- اجرای امروزی دال مجوف

۱۱. روش ساده مشابه دال تخت

در این روش همانند دال دوطرفه تخت، می‌توان از قالب‌های چوبی، فلزی و یا پلاستیکی برای قالب‌های زیرین استفاده نمود.



شکل ۱۲- اجرای دال در آزمایشگاه در مقیاس کوچک شده

برای اجرای این نوع سقف ابتدا شمع بندی در فواصل ۱ تا ۱/۲ متر در زیر سقف اجرا شده و چهار تراش‌های چوبی و قالب بر روی آنها قرار داده می‌شود. پس از ثابت کردن زیر قالب، آرماتور بندی شبکه‌ها انجام می‌گیرد، برای این که دال به صورت مجوف درآید و از وزن بتن مصرفی کاسته شود به جای استفاده از قالب پیش‌ساخته از بلوک‌های موجود، مخصوصاً بلوک‌های پلی استایرن (یونولیت) به علت وزن سبک آن استفاده نمود بطوریکه بعد از قالب بندی زیر دال و میلگردگذاری، بلوک‌ها بین میلگردها روی قالب قرار می‌گیرند و بتن‌ریزی انجام می‌گیرد. لازم به ذکر است که بعد از گیرش بتن و برداشتن قالب‌های زیر، می‌توان در صورت نیاز، بلوک‌ها را نیز از دال جدا نمود.

۱۲. استفاده از تیرچه درجا در دو طرف

اجرای این روش نیاز به دقت و حوصله بیشتری دارد، ولی با این وجود روش ساده و ارزان خواهد بود. گام‌های اجرای این روش به شرح زیر می‌باشد:

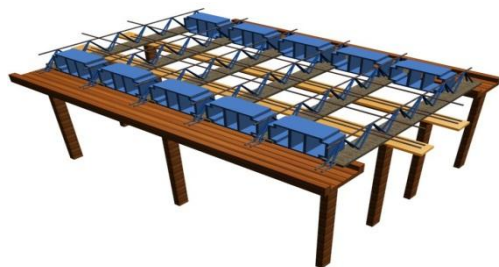
- ۱- ابتدا صفحات چوبی و یا فلزی تیرچه‌ها پس از اجرای شمع بندی در یک جهت به قالب تیرهای محیطی به خوبی متصل می‌شوند به طوری که حرکت جانبی نداشته باشند. نکته قابل توجه در این مرحله این است عرض صفحات باید به اندازه‌ای از ضخامت تیرچه بزرگتر باشد که بلوک و قالب‌های تیرچه ثانویه عمود بر آن به راحتی بتوانند بر روی آن قرار گیرند.
- ۲- قالب‌های L شکل چوبی و یا فلزی کوچک تیرچه‌های ثانویه با عرضی برابر با عرض تیرچه و به طولی برابر با فاصله بین شبکه‌ها بر روی قالب‌های تیرچه اولیه مطابق شکل ۱۴ قرار می‌گیرند. ثابت نگه داشتن اینگونه از قالب‌ها به دلیل کوچک بودن کمی مشکل است که توصیه می‌شود که اگر از قالب چوبی استفاده می‌شود می‌توان با اتصال چوب‌های چهارتراش کوچک مستطیلی به قالب‌های چوبی تیرچه‌های اولیه از حرکت قالب‌های ثانویه جلوگیری نمود و اگر از قالب‌های فلزی استفاده می‌کنیم باید قالب‌های ما طوری ساخته شود که بتوان به وسیله بست فولادی آن‌ها را ثابت نگه داشت.



شکل ۱۴- روش اجرای تیرچه‌ها به طور همزمان

۱۳. استفاده از تیرچه درجا در یک جهت و تیرچه پیش‌ساخته در جهت دیگر

این روش می‌تواند یک روش ساده کاربردی و اجرایی شود و در کشورمان به شدت مورد استقبال قرار گیرد. از مزیت مهم این روش نسبت به روش‌های دیگر این است که در یک طرف از تیرچه‌های پیش‌ساخته استفاده می‌شود که می‌تواند از حجم عملیات اجرایی و هزینه قالب‌بندی بکاهد.

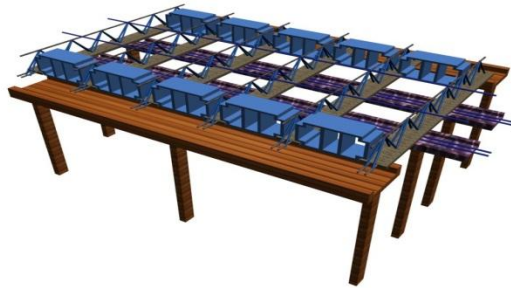


شکل ۱۵- استفاده از تیرچه درجا در یک طرف و تیرچه پیش‌ساخته از طرف دیگر

الف) اگر بتوان میلگردهای عمودی را از داخل تیرچه‌ها پیش ساخته عبور دهیم، پس از عبور آن‌ها قالب‌های مستطیلی شکل در زیر تیرچه‌ها بسته می‌شود و پس از قرار دادن بلوک‌ها مطابق شکل ۱۵ بتن ریزی انجام می‌شود.

ب) اگر به دلایلی همچون زیاد بودن قطر میلگرد و انعطاف ناپذیر بودن و یا مشکلات اجرایی نتوانیم میلگردهای عمودی را از داخل تیرچه‌ها عبور دهیم، به جای آن می‌توان میلگردها را به وسیله مفتول مطابق شکل ۱۶ به زیر تیرچه‌های پیش ساخته ببندیم و قالب‌های L شکل چوبی و یا فلزی به ارتفاع جان مناسب در زیر آن قرار دهیم و پس از قراردادن بلوک‌ها، بتن ریزی انجام گیرد. لازم به ذکر است که در اجرای قالب تیرهای اصلی که قالب‌های L شکل چوبی و یا فلزی به آن متصل می‌شود باید به این نکته توجه داشت که ارتفاع جان قالب تیرهای اصلی باید به اندازه ارتفاع جان قالب‌های L شکل کوچکتر ساخته شود تا بتوان هم میگردها را از روی آن عبور داد و هم گیرداری مناسب به وسیله بتن ریزی انجام گیرد.

از معایب این روش می‌توان برآمدگی ایجاد شده در زیر دال در اثر قالب بندی اشاره نمود که مشکلاتی را از نظر معماری و نمای زیر دال ایجاد خواهد کرد که به راحتی با نازک کاری قابل برطرف کردن می‌باشد.



شکل ۱۶- استفاده از تیرچه درجا در یک طرف و تیرچه پیش‌ساخته از طرف دیگر

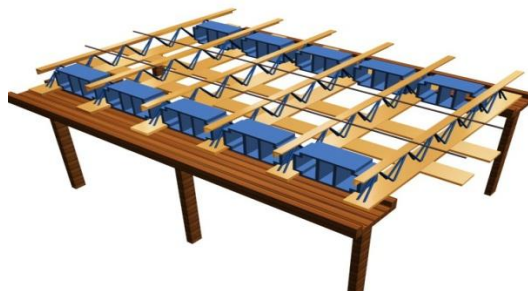
۱۴. روش استفاده از تیرچه کرومیت

این روش که می‌تواند به عنوان بهترین روش مورد استفاده قرار گیرد علاوه بر تمام مزایای سقف تیرچه کرومیت یکطرفه همانند عدم نیاز به شمع‌بندی [۴]، اجرای هم‌زمان چند سقف، سختی جانبی طبقات بیشتر، تمام مزایای دال تیرچه‌ای دوطرفه به همراه خواهد داشت.

۱- ابتدا تیرچه کرومیت پیش‌ساخته در یک جهت دال قرار می‌گیرد.

۲- ورق‌هایی به ضخامت و عرض برابر با ورق‌های پایینی تیرچه کرومیت پیش‌ساخته به آن جوش داده شود و یا اینکه از ورق سرتاسری استفاده شود.

۳- در جهت عمود بر تیرچه کرومیت پیش‌ساخته در صورت نیاز میلگرد فشاری یا ورق فولادی در قسمت بالا قرار دهیم و بتن ریزی انجام می‌شود.



شکل ۱۷- روش استفاده از تیرچه کرومیت

۱۵. نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مدل‌سازی مدل‌های مختلف ساخته شده توسط نرم افزار اجزای محدود برای تعیین تاثیر ارتفاع و تعداد تیرچه‌ها به شرح ذیل می‌باشد:

۱- در دال‌های تیرچه‌ای دوطرفه تحت بار قائم، برای مصالح و وزن یکسان یعنی فولاد و بتن برابر، تاثیر افزایش ارتفاع در افزایش سختی و مقاومت بیشتر از تاثیر افزایش تعداد تیرچه‌ها می‌باشد اما احتمال شکست برشی (ترد) در دال تیرچه‌ای دوطرفه (مجوف) با ارتفاع بزرگتر، بیشتر خواهد بود.

۲- دال تیرچه‌ای دوطرفه با سختی خمشی تقریباً برابر و دارای مقاومت بیشتر از دال تخت با کاهش قابل ملاحظه حجم بتن ریزی همراه خواهد بود که نشان دهنده صرفه اقتصادی دال تیرچه‌ای دوطرفه و همچنین مقاومت بیشتر نسبت به دال تخت می‌باشد.

۳- اجرای دال تیرچه‌ای دوطرفه به شکل امروزی در بعضی از کشورها از جمله ایران به دلیل عدم وجود کارخانه ساخت قالب پیش‌ساخته و قیمت تمام شده نسبتاً بالا به صرفه نیست و اجرای آن با روشهای ارائه شده در این مقاله، هم از نظر اجرایی آن را ممکن خواهد کرد و هم راهی برای ایجاد سازه با سختی و مقاومت بالا در مقابل بار قائم و بار جانبی با حجم مصالح کم در این کشورها ایجاد خواهد نمود.

۱۶. مراجع

1. Timoshenko, Woinosky-Krieger., (1959), " Theory of plate and shells ", 2nd Ed, New York, 364-377
2. Hashim M.S.Abdul-wahab and Mohammad H.Khalil., (2000), " Rigidity and strenght of orthotropic reinforced concrete waffle slab", Jornal of structural engineering, 219-227.
3. Abaqus theory manual and users manual., (2010), version 6.10

۴. امینی تبار، توکلی، حسینی، (۱۳۹۰)، "کتاب بارگذاری سازه‌ها"، چاپ اول