

طراحی سقف وافل

برای طرح مناسب یک سیستم آشنایی با مکانیزم انتقال نیرو، چگونگی عملکرد سیستم در برابر تحمل بارهای مختلف، تقویت مناسب در روند انتقال نیرو بسیار مهم است. در سیستم وافل که در پیش نویس جدید مبحث 9 مقررات ملی تحت عنوان دال مشبک یاد شده است روابط مهمی ارائه شده است که راهکار مناسبی را در جهت حصول ایمنی برای این نوع سقف ارائه داده است.

در این مقاله ابتدا ضوابط آیین نامه‌ای دال‌های مشبک به طور جامع ارائه می‌شود و در ادامه با حل یک مثال به صورت عددی، به بررسی کیفیت دال مشبک وافل می‌پردازیم. در پایان نیز با استفاده از آنالیز نرم افزارهای مهندسی (Etabs, Safe) نتایج تحلیل نرم افزار را با حل دستی مقایسه می‌کنیم.

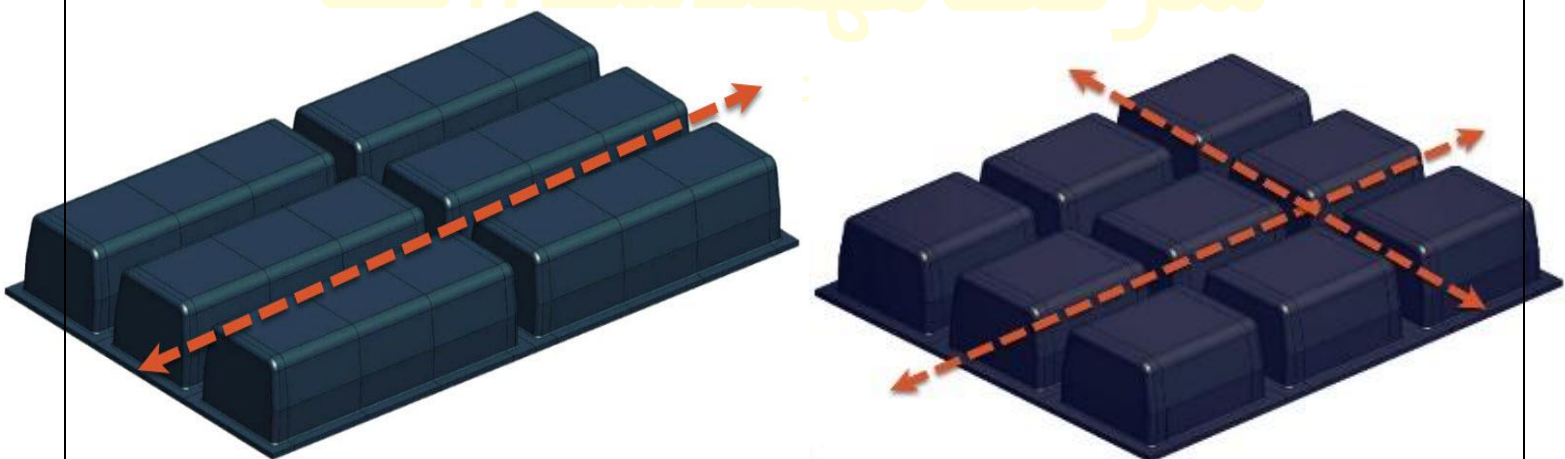
1- الزامات آیین نامه مبحث 9:

سقف یا در اصطلاح مهندسی دیافراگم سازه وظیفه انتقال نیرو را بعهده دارد، نحوه انتقال نیروی باید بگونه‌ای باشد که سیستم باربر جانبی نیروی وارد شده بر سازه را به درستی دریافت کرده و بتواند به شالوده سازه آن را انتقال دهد. پیش نویس مبحث 9 مقررات ملی (که از این پس در این نوشتار تحت عنوان مبحث 9 عنوان می‌شود) در بند 1-4-5-9 به وضوح به این مهم اشاره می‌کند:

1-4-5-9 سیستم های سازه ای باید طوری تنظیم و طراحی شوند که بار های ضریب دار در ترکیبات مورد نظر در فصل 7 را، بدون تجاوز از مقاومت طراحی مربوطه عضو، از طریق یک یا چند مسیر پیوسته تا تکیه گاه ها هدایت کنند.

سیستم وافل بسته به ابعاد قالب وافل قابلیت پخش بار را به صورت یک طرفه و دو طرفه دارد.

وافل یک طرفه و دو طرفه



شرکت مهندسی آبا

برای طراحی دال‌ها مبحث 9 مقررات ملی در دو فصل جداگانه به بررسی ضوابط طراحی دال‌های یک و دو طرفه می‌پردازد. در ابتدا در فصل 9 به بررسی دال یک طرفه و سپس در فصل 10 به بررسی دال دو طرفه را ارزیابی کرده است.

دسته بندی مطالب عنوان شده در مبحث 9 برای دال یک و دو طرفه:

فصل 9-9-دالهای یک طرفه	فصل 9-10- دالهای دو طرفه
1-9-9 گستره	1-10-9 گستره
2-9-9 کلیات	2-10-9 تعاریف ویژه
3-9-9 ضوابط کلی طراحی	3-10-9 کلیات
4-9-9 مقاومت مورد نیاز (تلاش های وارده)	4-10-9 مصالح
5-9-9 مقاومت طراحی	5-10-9 اتصال به دیگر اعضا
6-9-9 آرماتور گذاری	6-10-9 ضوابط کلی طراحی دال ها
7-9-9 جزئیات آرماتور گذاری	7-10-9 آرماتور گذاری در دال ها
	8-10-9 سیستم های تیرچه 2 طرفه
	9-10-9 روش "طراحی مستقیم"
	10-10-9 روش "قاب معادل"
	11-10-9 روش پلاستیک

شرکت مهندسی آبا

مشاور، مجری و تولید کننده سیستم سقف وافل

ابتدا به بررسی دال‌های یک طرفه (وافل یک طرفه) و ضوابط آیین نامه‌ای مرتبط با آن می‌پردازیم:

دال‌های یک طرفه

1-9-9 گستره

1-1-9-9 ضوابط این فصل مربوط به طراحی سیستم دال‌های یک طرفه بتن آرمه است که در آنها دال در یک امتداد برای تحمل خمش طراحی و آرماتور گذاری میشود

این سیستم شامل موارد زیر است:

الف- دال‌های یک پارچه

ب- دال‌های غیر مرکب درجا ریز روی عرشه فولادی

ت- دال‌های مرکب بتنی، که اجزای آن به طور جداگانه ریخته شده و طوری به یکدیگر متصل شده اند که به صورت یک واحد بارها را تحمل می‌کنند

ث- دال پیش ساخته مجوف

نحوه اجرای سیستم وافل به نحوی است که کل عملکرد دال به صورت یک پارچه می‌باشد و لذا در گستره دال‌های یک طرفه دسته بندی شده در مبحث 9 می‌باشد.

3-2-9-9 اتصال به دیگر اعضا

1-3-2-9-9 اتصالات دال - تیر و دال - ستون در بتن ریزی‌های درجا باید مطابق ضوابط فصل 9-16 باشد.

2-3-2-9-9 اتصالات در دال‌های پیش ساخته باید الزامات مربوط به انتقال نیرو

مطابق ضوابط فصل 9-17 را تامین نماید.

همانطور که پیشتر عنوان شد، نحوه اتصال دیافراگم به سیستم باربر جانبی در مکانیزم انتقال بار امری حیاتی است. مبحث 9 در فصل 16 خود ضوابط کاملی برای اتصال دال به دیافراگم ارائه می‌کند، این ضوابط در ادامه ارائه می‌شود:

1-16-9 گستره

این فصل به طراحی و آرماتور گذاری ناحیه ی اتصال تیر به ستون و دال به ستون **درجاریز** اختصاص دارد.

9-16-2 کلیات

9-16-2-1 ناحیه ی اتصال تیر به ستون و دال به ستون باید ضوابط بند 9-16-3 را برای انتقال نیروی محوری ستون از طریق سیستم کف برآورده کند.

9-16-2-2 اگر بار های ثقلی، باد، زلزله یا دیگر نیرو های جانبی منجر به انتقال لنگر در ناحیه ی اتصال تیر به ستون یا دال به ستون شوند، باید برش ناشی از انتقال لنگر در طراحی ناحیه ی اتصال منظور گردد.

9-16-2-3 ناحیه ی اتصال تیر به ستون و دال به ستون که لنگر به ستون منتقل میکنند باید ضوابط آرماتور گذاری بند 9-16-4 را برآورده کنند. ناحیه ی اتصال در قاب هایی که زیر اثر بار های جانبی زلزله قرار می گیرند شامل (الف) تا (پ) باید الزامات فصل 9-20 را برآورده کنند

الف- ناحیه ی اتصال تیر به ستون در قاب های خمشی ویژه

ب- ناحیه ی اتصال دال به ستون در قاب های خمشی متوسط

پ- ناحیه ی اتصال تیر به ستون و دال به ستون در قاب های خمشی که به عنوان بخشی از سیستم

مقاوم در برابر زلزله بکار گرفته نمی شوند اما در سیستم های با شکل پذیری زیاد و متوسط قرار دارند.

9-16-2-4 اگر ناحیه ی اتصال تیر به ستون از چهار طرف به طور جانبی به تیر های با عمق تقریباً برابر و عرض حداقل برابر با سه چهارم عرض ستون در هر طرف متصل باشد، مقید در نظر گرفته میشود.

9-16-2-5 اگر ناحیه ی اتصال دال به ستون از چهار طرف به طور جانبی به دال متصل باشد، مقید در نظر گرفته می شود.

9-16-3 انتقال نیروی محوری ستون از طریق سیستم کف

9-16-3-1 اگر مقاومت فشاری بتن ستون بیش از 40 درصد نسبت به مقاومت فشاری بتن سیستم کف افزایش داشته باشد، انتقال نیروی محوری از طریق سیستم کف باید مطابق بند های (الف)، (ب) یا (پ) باشد
الف- بتن دال کف در محدوده ستون و اطراف آن تا فاصله 600 میلی متر از بر ستون باید با مقاومت فشاری مشخصه ستون ریخته شود. این بتن باید در تمام ضخامت دال و تیر ادامه یافته و اطمینان حاصل شود. با بتن کف در سایر قسمت های مجاور یک پارچه شود.

ب- مقاومت فشاری بتن ستون در محدوده ضخامت دال و یا تیر ها با استفاده از مقدار مقاومت فشاری کمتر بتن محاسبه شده و مقاومت مورد نیاز در این محدوده به کمک آرماتور های دوخت قائم و دورپیچ های لازم تامین شود.

پ- برای ناحیه ی اتصال تیر به ستون و دال به ستون که به ترتیب مطابق بند های 9-16-2-4 یا 5-2-16-9 مقید شده محسوب می شوند، مقاومت فشاری ستون در ناحیه ی اتصال را می توان با فرض مقاومت فشاری بتن برابر با 75 درصد مقاومت فشاری بتن ستون به علاوه 35 درصد مقاومت فشاری بتن کف محاسبه نمود، مشروط بر آنکه مقاومت فشاری بتن ستون از 2/5 برابر مقاومت فشاری بتن کف بیشتر نباشد.

9-16-4 حداقل آرماتور

9-16-4-1 در ناحیه ی اتصال تیر به ستون و دال به ستون باید از آرماتور های عرضی مطابق بند 2-4-16-9 استفاده شود، مگر آنکه مطابق بند های 9-16-4-2 یا 9-16-5-2 ناحیه ی اتصال در چهار طرف مقید بوده و همچنین بخشی از سیستم مقاوم در برابر زلزله نباشد.

9-16-4-2 حداقل سطح مقطع کلیه ساق های آرماتور عرضی در هر کدام از راستاهای اصلی ناحیه ی اتصال تیر به ستون و دال به ستون نباید کمتر از مقادیر (الف) و (ب) باشد:

$$\text{(الف)} \quad 0.062 \sqrt{f'_c} \frac{bs}{f_{yt}}$$

$$\text{(ب)} \quad 0.35 \frac{bs}{f_{yt}}$$

b بعد مقطع ستون در جهت عمود بر راستای مورد بررسی است.

9-16-5 جزئیات آرماتور گذاری

9-16-5-1 در ناحیه اتصال تیر به ستون و دال به ستون باید از آرماتور عرضی بند 9-16-4-2 در داخل ستون در ارتفاعی معادل با عمیق ترین تیر یا دال متصل به ستون استفاده شود.

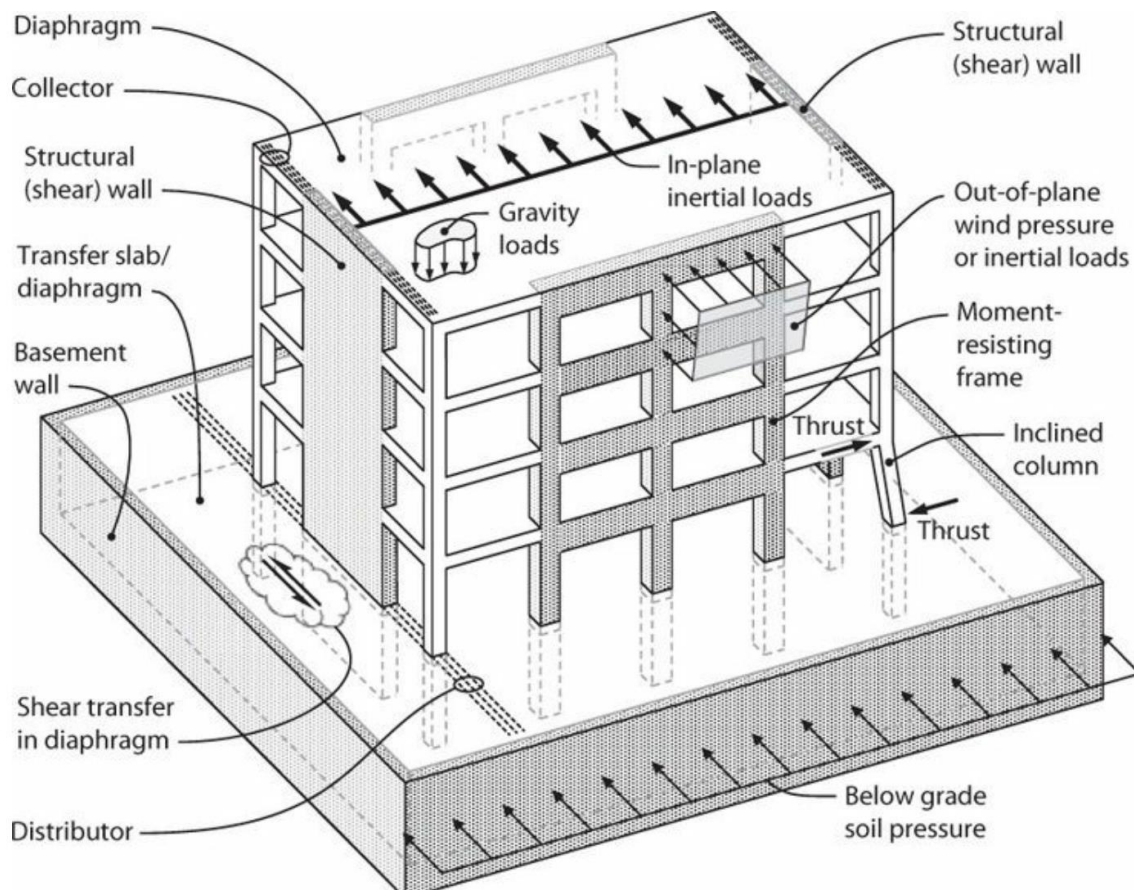
9-16-5-2 در ناحیه اتصال تیر به ستون، فاصله آرماتور های عرضی S نباید از نصف عمق کم عمق ترین تیر بیشتر شود.

9-16-5-3 اگر آرماتور طولی تیر یا ستون در ناحیه ی اتصال وصله یا ختم شده باشد، باید از آرماتور های عرضی بسته مطابق بند 9-12-6-5 در اتصال استفاده شود، مگر این که اتصال مطابق بند های 9-16-2-4 یا 9-16-2-5 مقید شده باشد.

9-16-5-4 گیرایی آرماتور های طولی ختم شده در اتصال باید مطابق بند 9-21-3 تامین شود.

ضوابط اتصال دال به سیستم قائم به روشنی ارائه شده است. لازم به ذکر است بسته به شرایط مختلف و نیروهای حاصل از تحلیل دیتایل های اجرایی اتصال سقف وافل به ستون و دیوار برشی طراحی می شود. همچنین در طراحی دیافراگم نیاز به تعبیه اعضای جمع کننده (Collector) و آرماتور دوخت امری بسیار

حیاتی برای سقف ها می باشد. برای طراحی دیافراگم نیز مبحث 9 در فصلی جداگانه به طور مفصل به این موضوع پرداخته است که به علت طولانی شدن این نوشتار از این موضوع صرف نظر کرده و به صورت شماتیک اعضای دیافراگم و نحوه انتقال نیرو در یک سیستم سازه بتن آرمه در تصویر زیر نمایش داده شده است:

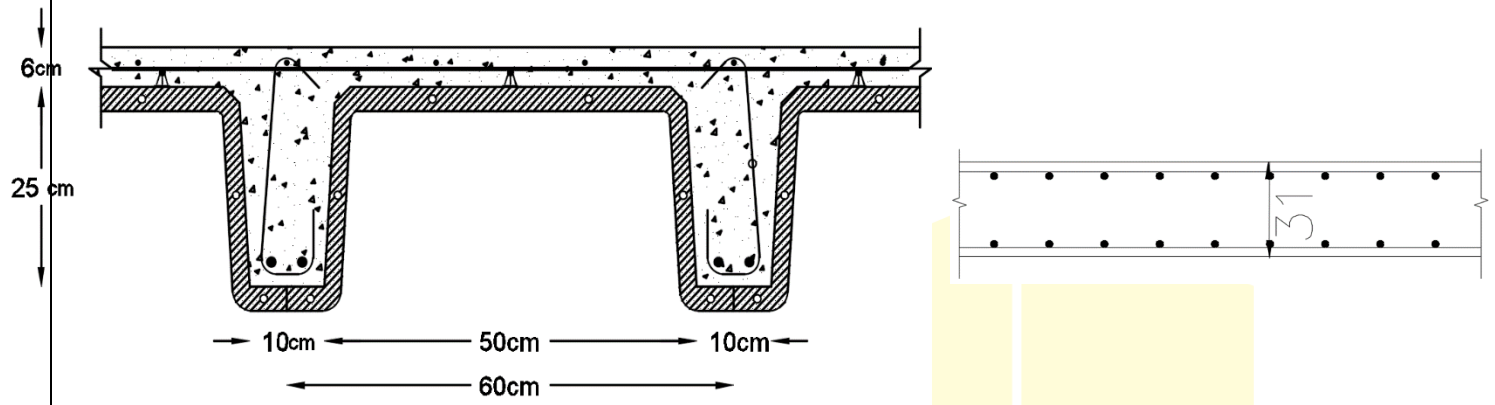


دیافراگم و اعضای مرتبط با آن (برگرفته از کتاب طرح لرزه ای سازه های بتن آرمه جک میلی)

پس از مبحث اتصال دال به سیستم قائم محدودیت های آیین نامه مبحث 9 معطوف به ضخامت دال جهت کنترل خیز دراز مدت می باشد، به طور کلی رویکرد کنترل خیز را مهندسین طراح بر اساس دو روش کنترل می نمایند:

الف- حداقل ضخامت دال بر اساس آیین نامه

در این روش طراح با توجه به رواداری آیین نامه مبحث 9 اقدام به انتخاب حداقل ضخامت برای دال می کند، لازم به ذکر است نحوه حداقل انتخاب ضخامت برای دال توپر و سیستم وافل یک طرفه اندکی متفاوت است، به دیتایل اجرایی هر دو که در تصویر 4 ارائه شده است با کمی دقت بنگریم، متوجه تفاوت آن ها خواهیم شد، به عنوان یک اصل کلی اگر بتوان رابطه مناسبی تحت عنوان نسبت ممان اینرسی به وزن دال ($\frac{I}{W}$) را در نظر گرفت، آنگاه می توان با قیاس این دو نسبت، برای دال توپر و دال وافل به شرایط مناسبی جهت قیاس این دو سقف دست یافت.

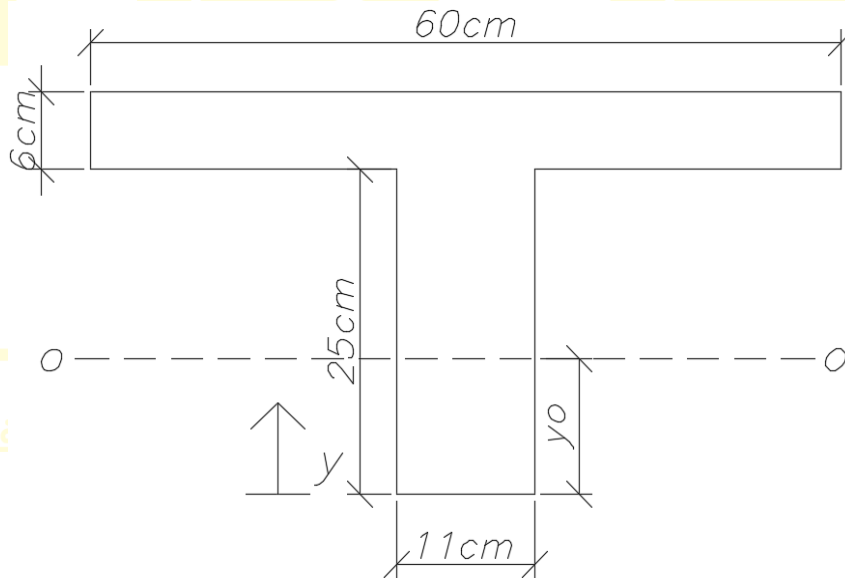


تصویر 4- دیتایل اجرایی یک دال توپر، و سقف وافل یک طرفه

ممان اینرسی سقف دال را برای عرض 60 سانتی متر با ممان اینرسی سقف وافل با همان عرض را برای این قیاس در نظر خواهیم گرفت و در انتها نسبت وزن به ممان اینرسی هر کدام را جداگانه محاسبه خواهیم کرد.

$$\text{ممان اینرسی دال توپر} = \frac{bh^3}{12} = \frac{60 \times 31^3}{12} = 148955 \text{ cm}^4$$

برای محاسبه ممان اینرسی سقف وافل یک مقطع T شکل را در نظر می گیریم



مقطع معادل شده برای محاسبه ممان اینرسی سقف وافل

$$Y_o = \frac{\sum AY}{\sum A} = \frac{(11 \times 25 \times 12.5) + (60 \times 6 \times 27)}{(11 \times 25) + (60 \times 6)} = 20.7 \text{ cm}$$

$$I_{o-o} = \left(\frac{11 \times 25^3}{12} \right) + (11 \times 25 \times (20.7 - 12.5)^2) + \left(\frac{60 \times 6^3}{12} \right) + (60 \times 6 \times (27 - 20.7)^2) = 48182 \text{ cm}^4$$

$$\text{وزن دال 31 سانتی متری} = 0.31 \times 2500 = 775 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{وزن سقف وافل} = 270 \text{ kg/m}^2$$

اگر نسبت ممان اینرسی به وزن را با حرف β بنامیم، برای هر دو سقف این نسبت برابر است با:

$$\beta_{\text{دال سانتی 31}} = \frac{148955}{775} = 192.2$$

$$\beta_{\text{سقف وافل}} = \frac{48182}{270} = 178.5$$

$$\frac{\beta_{\text{waffle}}}{\beta_{\text{slab}}} = \frac{178.5}{192.2} = 0.93$$

می‌توان نتیجه گرفت راندمان کاهش سختی به نسبت کاهش وزن برای سقف وافل بسیار مطلوب می‌باشد، زیرا نسبت سختی به وزن برای هر دو گزینه تقریباً مشابه هم خواهند بود.

این موضوع از آن جهت حائز اهمیت است که جداول رواداری آیین نامه مطابق با سقف دال توپر می‌باشد، هرچند که بعضی از طراحان مطابق با سقف تیرچه بلوک و نشریه 543، کنترل خیز وافل یک طرفه را انجام می‌دهند، اما این نوشتار سعی بر مفهومی بیان کردن این موضوع دارد.

9-9-3 ضوابط کلی طراحی

9-9-3-1 حداقل ضخامت دال

9-9-3-1-1 برای دال های توپر که به جدا کننده ها (تیرچه ها) یا دیگر اجزای ساختمانی که احتمال دارد در اثر خیز زیاد آسیب ببینند، متصل نیستند، ضخامت کل دال (h) نباید از مقادیر مندرج در جدول 9-9-1 که برای بتن معمولی و فولاد با تنش تسلیم $f_y = 420 \text{ MPa}$ تنظیم شده است، کمتر باشد. مگر آنکه محاسبات خیز آنها، بر طبق بند 9-9-3-2 انجام شود. برای مقادیر f_y (غیر از 420 MPa)، مقادیر جدول 9-9-1 باید در $(f_y/700+0.4)$ ضرب شود.

جدول 9-9-1 حداقل ضخامت دال های یکطرفه

شرایط تکیه گاهی	حداقل ضخامت h
-----------------	-----------------

I/20	تکیه گاه ساده
I/24	یک انتهای ممتد
I/28	دو انتهای ممتد
I/10	طره (کنسولی)

برای مثال فرض کنید یک دال با شرایط تکیه گاهی دو انتها ممتد داشته باشیم، طول دهانه برابر 8 متر باشد، مطابق جدول ارائه شده حداقل ضخامت برابر است با:

$$h_{min} = \frac{800}{28} = 28.5 \text{ cm}$$

این ضخامت برای دال یک طرفه توپر می باشد.

برای حدس اولیه ضخامت مناسب برای سیستم وافل با استفاده از ضریب β که توضیح داده شد، می توان ضخامت اولیه مناسب با سیستم وافل یک طرفه را بدست آورد:

$$\text{ضخامت مناسب سقف وافل} = h_{slab} \times \frac{\beta_{slab}}{\beta_{waffle}} = 28.5 \times \frac{1}{0.93} = 30.6 \text{ cm}$$

نکته مهم این است که، استفاده از روش فوق تقریبی است و حتما برای کنترل خیز میبایست از روش دوم ارائه شده در این نوشتار استفاده شود.

ب- کنترل دقیق خیز دراز مدت:

در این روش تغییر شکل دال در اثر بار بهره برداری به صورت تحلیلی و با فرض ترک خوردگی دال محاسبه می شود.

2-2-19-9 محاسبه تغییر مکان های آنی و دراز مدت در تیر ها و دال های یکطرفه

2-2-19-9 تغییر مکان آنی اعضا را می توان با استفاده از روش های معمول تحلیل سازه ها و روابطی که بر اساس رفتار خطی مصالح تنظیم شده اند، محاسبه کرد. در این روش ها و روابط، مقدار E_c باید بر اساس ضوابط بند 6-3-9 و ممان اینرسی موثر عضو طبق رابطه 1-19-9 تعیین گردند.

2-2-2-19-9 ممان اینرسی موثر اعضا، I_e ، با استفاده از مشخصات مقطع و میزان ترک خوردگی آن ها به شرح زیر محاسبه می شود، مگر آنکه از یک تحلیل جامع تری استفاده شود:

الف- در اعضای با تکیه گاه های ساده و در اعضای طره ای با استفاده از مشخصات مقطع، به ترتیب در وسط دهانه و در بر تکیه گاه از رابطه (1-19-9)

$$l_e = l_{cr} + (l_g - l_{cr}) \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \quad (9-19-1)$$

در این رابطه M_{cr} ، لنگر خمشی ترک خوردگی مقطع، طبق رابطه (9-19-2) و f_r ، مدول گسیختگی بتن، طبق رابطه 9-3-1 می باشد:

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad (2-19-9)$$

مقدار l_e در هیچ حالت نباید بیشتر از l_g در نظر گرفته شود.

ب- در اعضای یکسره برابر با مقدار متوسط وزن دار ممان اینرسی های موثر عضو در وسط دهانه و در بر تکیه گاه ها و با استفاده از رابطه (9-19-3)

$$l_e = \frac{1}{4} (l_{el} + 2l_{em} + l_{er}) \quad (9-19-3)$$

پ- در اعضای با مقطع یکنواخت منشوری، می توان ممان اینرسی موثر را برابر با مقدار آن در وسط دهانه، در اعضای با تکیه گاه های ساده یا یکسره، و بر روی تکیه گاه، در اعضای طره ای، در نظر گرفت این بند، دال های یکطرفه را نیز شامل می شود.

9-19-2-2-3 تغییر مکان اضافی ناشی از وارفتگی (خزش) و جمع شدگی بتن در اعضای خمشی در طول زمان را که تغییر مکان دراز مدت نامیده می شود، در صورت عدم استفاده از روش های تحلیلی دقیق تر، می توان از حاصل ضرب تغییر مکان آنی ناشی از بار های دائمی در ضریب λ_{Δ} ، که از رابطه ی (9-19-4)، تعیین می شود، بدست آورد:

$$\frac{\delta}{1+50\rho'} = \lambda_{\Delta} \quad 4-19-9$$

در این رابطه ρ' نسبت فولاد فشاری در مقطع وسط دهانه، در اعضای با تکیه گاه های ساده یا یکسره، و در مقطع تکیه گاه، در اعضای طره ای، است. مقدار ضریب وابسته به زمان بار های دائمی، ρ' ، باید برابر با مقادیر جدول 9-19-1 در نظر گرفته شود:

جدول 9-19-1 ضریب وابسته به زمان بار های دائمی

ضریب ρ'	زمان
0.1	3 ماه
2.1	6 ماه
4.1	12 ماه
0.2	60 ماه و بیشتر

با استفاده از برنامه‌های کامپیوتری نظیر *Safe* نیز می‌توان خیز آنی و دراز مدت را به طور دقیق محاسبه نمود که در بخش پایانی این نوشتار این موضوع اشاره شده است.

مبحث 9 مقررات ضوابط معینی را برای آرماتورهای خمشی و برشی دال های یک طرفه ارائه کرده است که در ادامه این ضوابط ارائه شده است:

9-9-6- آرماتور گذاری

9-9-6-1 حداقل آرماتور خمشی (A_{smin}) باید مطابق با جدول 9-9-2 باشد.

جدول 9-9-2 حداقل آرماتور خمشی در دال های یکطرفه

نوع آرماتور	$F_y(MPa)$	A_{smin}
میلگرد آجدار	<420	$A_g 0.002$
میلگرد آجدار یا شبکه سیمی جوش شده	>420	بزرگترین از : الف: $\frac{0.0018 \times 420 \times A_g}{f_y}$ ب: $A_g 0.0014$

9-9-6-2 حداقل آرماتور برشی

در همه مقاطعی که شرط $V_u > \Phi V_c$ برقرار باشد، باید از حداقل مساحت آرماتور برشی (A_{smin}) استفاده شود. در صورت نیاز به آرماتور برشی، A_{vmin} باید مطابق ضوابط فصل 9-11 محاسبه شود.

9-9-6-2-1 اگر با انجام آزمایش مشخص شود که مقادیر M_n و V_n بدون استفاده از آرماتور برشی قابل تامین هستند، نیازی به رعایت بند 9-9-6-2-1 نیست. در این آزمایش باید آثار نشست نامتقارن، انقباض، خزش، و تغییرات درجه حرارت بنحو واقع بینانه ای منظور گردد

9-9-6-4 حداقل آرماتور حرارتی و انقباضی

برای مقابله با تنش های حرارتی و انقباضی باید حداقل آرماتور لازم مطابق بند 9-9-19 در نظر گرفته شود.

9-9-7 جزئیات آرماتور گذاری

9-9-7-1 پوشش بتن برای آرماتور ها باید مطابق بند 9-9-4 و پیوست 9-1 باشد.

9-9-7-2 طول گیرایی آرماتور های آجدار بایستی مطابق بند 8-21-9 باشد.

9-9-7-3 طول وصله آرماتور های آجدار بایستی مطابق بند 9-21-9 باشد.

4-7-9-9 آرماتور های گروه شده بایستی مطابق بند های 6-9-21-9 و 10-8-21-9 باشند.

5-7-9-9 فاصله گذاری آرماتور ها

1-5-7-9-9 حداقل فاصله آرماتور ها باید مطابق بند 2-21-9 باشد.

2-5-7-9-9 فاصله آرماتور های طولی که در مجاورت وجه کششی قرار دارند نباید از مقادیر بند 3-19-9 بیشتر باشد.

3-5-7-9-9 حداکثر فاصله آرماتور های آجدار باید کوچکترین از دو مقدار $3h$ و 350 میلیمتر باشد.

4-5-7-9-9 فاصله آرماتور ها (s) که مطابق بند 2-2-5-9-9 در نظر گرفته می شود باید کمتر از $5h$ و 450 میلیمتر باشد.

6-7-9-9 آرماتور های خمشی

1-6-7-9-9 نیروی کششی یا فشاری محاسبه شده در آرماتور ها در هر مقطعی از دال، باید در هر طرف آن مقطع با طول گیرایی لازم تامین شود.

2-6-7-9-9 مقطع بحرانی برای کنترل طول گیرایی شامل موارد زیر است:

الف- در محل تنش حداکثر

ب- در محل هایی در طول دهانه که نیازی به میلگرد کششی برای مقاومت در برابر خمش نیست و در آن محل میلگرد ها قطع یا خم می شوند.

3-6-7-9-9 میلگرد ها باید به طول بیش از d و $12d_b$ ، هر کدام بزرگ تر است، بعد از مقطعی که نیازی به مقاومت در برابر خمش نداشته باشد ادامه داده شود. ادامه آرماتور در تکیه گاه های دهانه های ساده و در انتهای آزاد طره ها ضرورت ندارد.

4-6-7-9-9 آرماتور های خمشی کششی ادامه داده شده باید حداقل به اندازه طولی برابر با d بعد از نقطه خم یا قطع میلگرد کششی که در آن نیازی به مقاومت در برابر خمش نیست، ادامه یابد.

5-6-7-9-9 آرماتور خمشی کششی را نباید در ناحیه کششی قطع کرد مگر این که موارد الف، ب، یا پ) ارضا شده باشند.

الف- در نقطه قطع میلگرد شرط $V_u \leq \frac{2}{3} \Phi V_n$ برقرار باشد.

ب- برای آرماتور های با قطر 36 میلیمتر و کمتر، میلگرد ادامه داده شده در نقطه قطع باید مساحتی دو برابر سطح لازم برای خمش تامین کند و شرط $V_u \leq \frac{3}{4} \Phi V_n$ برقرار باشد.

پ-مقطع خاموت اضافی، علاوه بر آنچه برای مقاومت در برابر برش لازم است، در طولی برابر با $0.75d$ از انتهای میلگرد قطع شده تامین شود. مساحت خاموت اضافه نباید کمتر از $0.41sb_w/f_{yt}$ باشد و فاصله ی S نباید بیش از $d/(8\beta_b)$ باشد.

9-9-7-6-6 برای آرماتور خمشی در محل هایی که تنش آن مستقیماً متناسب با لنگر خمشی نیست، مانند دال های شیبدار، پله کانی یا ماهیچه ای و یا در جاییکه آرماتور کششی موازی با وجه فشاری نیست. مهار کافی باید تامین شود.

9-9-7-6-7 در دال های با دهانه کمتر از 3 متر می توان از شبکه سیم جوش، که قطر آن کمتر از 16 میلیمتر بوده، و بصورت منحنی از نقطه ای نزدیک به بالای دال در روی تکیه گاه تا نقطه ای نزدیک به پایین دال در وسط دهانه عبور می کند، استفاده شود.

چنین شبکه ای باید بصورت ممتد از روی تکیه گاه (منحنی شکل) گذشته و یا در تکیه گاه مهار شود.

9-9-7-7-7 قطع آرماتور های خمشی

9-9-7-7-1 در تکیه گاه های ساده، باید حداقل یک سوم آرماتور مربوط به حداکثر لنگر مثبت در پایین دال، بداخل تکیه گاه ادامه یابد. برای دال های پیش ساخته ادامه این آرماتور ها باید حداقل تا وسط طول تکیه گاه ادامه یابد..

9-9-7-7-2 برای سایر تکیه گاه ها، باید حداقل یک چهارم آرماتور محاسبه شده برای حداکثر لنگر مثبت در پایین دال، حداقل به اندازه 150 میلیمتر بداخل تکیه گاه، ادامه یابد.

9-9-7-7-3 در تکیه گاه های ساده و نقاط عطف، قطر آرماتور (db) برای آرماتور کششی مربوط به لنگر مثبت باید بنحوی محدود گردد که طول مهاری (ld) آن با رعایت شرایط (الف) یا (ب) بدست آمده باشد. در صورتی خم آرماتور بعد از مرکز تکیه گاه ها با قلاب استاندارد یا مهار مکانیکی (حداقل معادل با قلاب استاندارد)، انجام شده باشد، نیازی به ارضا شرایط (الف) یا (ب) نیست.

الف- در صورتی که انتهای میلگرد توسط نیروی عکس العمل فشاری محصور شده باشد، $L_d \leq (1.3 \frac{M_n}{V_u} + L_a)$

ب- در صورتی که انتهای میلگرد توسط نیروی عکس العمل فشاری محصور نشده باشد، $L_d \leq (\frac{M_n}{V_u} + L_a)$

M_a ، با فرض تسلیم تمام میلگرد ها در مقطع و V_u نیز در مقطع محاسبه می شوند.

L_a در تکیه گاه عبارت است از طول ادامه یافته بعد از مرکز تکیه گاه.

L_a در نقطه عطف عبارت است از طول بعد از نقطه عطف که باید بیش از مقادیر d و $12db$ باشد

4-7-7-9-9 حداقل یک سوم آرماتور های مربوط به لنگر منفی تکیه گاهی، باید به اندازه بزرگترین مقدار $d, 12d_b$ یا $L_n/16$ بعد از نقطه عطف ادامه داده شوند.

2- حل یک مثال دستی از طراحی سقف وافل یک طرفه:

مثال 1) یک سیستم وافل یک طرفه برای طول دهانه های پیوسته 8 متر و تحت اثر بار مرده 200 kg/m^2 علاوه بر وزن مرده کف و بار زنده 300 kg/m^2 طراحی نمایید. فاصله آزاد بین تیرچه ها برابر 60 سانتی متر است.

$$f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

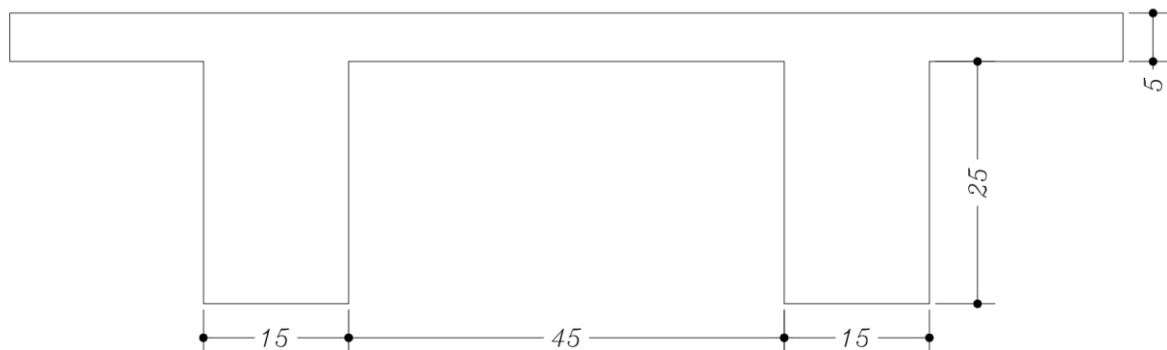
$$f_y = 3000 \text{ kg/cm}^2$$

حل:

حداقل ضخامت دال در وهله اول کنترل می شود:

$$h_{min} = \frac{800}{28} \times \frac{1}{0.93} \times \left(0.4 + \frac{300}{700}\right) = 25.5 \text{ cm} \Rightarrow \text{use } h = 30 \text{ cm}$$

ارتفاع تیرچه برابر 25 سانتی متر در نظر گرفته شده است و ضخامت دال رویه برابر 5 سانتی متر.



مشاوران مهندسی و معماری و تزیین کننده سیستم های سقف وافل

$$w_o = (0.15) \times (0.25) \times 2.4 + (0.05 \times 0.6 \times 2.4) = 0.162 \text{ t/m}$$

$$w_d = 0.162 + (0.2 \times 0.6) = 0.282 \text{ t/m}$$

$$w_l = (0.3) \times (0.6) = 0.18 \text{ t/m}$$

$$w_u = 1.2w_d + 1.6w_l = 0.626 \text{ t/m}$$

حداکثر لنگر منفی در اولین تکیه گاه داخلی تیرچه پیوسته بررسی می شود:

$$M_u = \frac{w_u l_n^2}{10} = \frac{0.626 \times (8^2)}{10} = 4 \text{ t.m}$$

با فرض $\emptyset 16$ برای آرماتور طولی و $\emptyset 10$ برای آرماتور عرضی، عمق مفید تیرچه به دست می‌آید:

$$d = 30 - (2 + 0.8 + 1) = 26.2 \text{ cm}$$

$$R_u = \frac{M_u}{0.9 \times b \times d^2} = \frac{4 \times 10^5}{0.9 \times 15 \times 26.2^2} = 43.16 \text{ kg/cm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{\phi_c f'_c} = \frac{3000}{0.85 \times 250} = 14.11$$

$$\rho = \frac{1}{14.11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(14.11 \times 43.16)}{3000}} \right) = 0.0162 > \rho_{min} = \frac{14}{3000}$$
$$= 0.00467$$

$$A_s = \rho b d = 0.0162 \times 15 \times 26.2 = 6.36 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{use } 2\emptyset 20$$



شرکت مهندسی آبا

مشاور، مجری و تولید کننده سیستم سقف وافل