نشریه بین المللی علوم مهندسی دانشگاه علم وصنعت ایران
ویژه‌نامه مهندسی عمران، جلد ۱۹، شماره ۸، سال ۱۳۸۷، صفحه ۸-۱

DRAWING DIAGRAMS AS AN AID TO ARCHITECTURAL DESIGN PROCESS

V.R. Kalatjari

Department of Civil, Shahrood Univeristy, v_kalatjari@shahroodut.ac.ir

P. Mansoriyan

Department of Civil, Shahrood Univeristy, p.mansoorian@gmail.con

Abstract: *Development of new techniques and improvements of the existing methods are of concerns of the new generation of civil engineers. One of the most popular types of the floor systems is concrete joist floor system. The traditional method consist the use of piling to limit the deflection of the joists during the construction of floors. Omitting this supports (piles) saves money and time and is a remarkable improvement in the techniques of construction. The aim of the present research is to find the new materials and to perform the structural computations to be able to remove the piles during the construction. Such a system is called "Self-Standing Joist Floor Systems". To achieve the goal of the research, first the formulation and the reason of using the light weight concrete in joists is demonstrated and then 15 concrete beams with 4-m length each was constructed and the load-deflection behavior on each was measured. Finally one floor without piling is constructed and based on codes is loaded. The results of these tests were compared with those of the numerical test performed with ANSYS (V.5.4) software and showed a good agreement. The method was also investigated from an economical point of view.In the present thesis based on complete investigate of the economy of available methods and the computational basis of the proposed methods and the experimental set up and the test conditions, out coming that the proposed self-standing light weight concrete joist floor system has remarkable advantages in compare with the traditional systems.*

سیستم سقف تیرچه‌ای بتنی بدون شمع بندی و با استفاده از بتن سبک سازه‌ای

وحیدرضا کلات جاری و پوریا منصوریان

چکیده : رایج‌ترین سیستم احداث سقف در کشور در چند دهه اخیر، سیستم سقف تیرچه بلوک می باشد. حذف شمع بندی که بزرگترین عیب سیستم مذکور به شمار می‌آید، منجر به صرفه جویی در زمان و انرژی و نیز کسب نتایج مطلوب اقتصادی خواهد گردید. در این راستا نحوه دست یابی به سیستمی که فاقد شمع بندی و معایب آن، و دارای تمامی مزایای سیستم سقف تیرچه بلوک باشد، تحت عنوان سیستم "سقف تیرچه‌های بتنی خود ایستا، ارائه می‌گردد. در تحقیق حاضر پس از بیان روابط محاسباتی تیرچه‌های بتنی خود ایستا و معرفی خصوصیات بتن سبک سازه‌ای که برای ساخت این تیرچه ها مورد استفاده قرار گرفت، نتایج تجربی ۱۵ تیرچه بتنی ساخته شده با طول ۴ متر و نتایج بارگذاری یک سیستم سقف حاوی این

تاریخ وصول: ۸۶/۳/۲۰
تاریخ تصویب: ۸۷/۱۱/۱۹

دکتر وحیدرضا کلات جاری، استادیار دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود. v_kalatjari@shahroodut.ac.ir
پوریا منصوریان، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود. p.mansoorian@gmail.con

Archive of SID
www.SID.ir

تیرچه‌ها و بدون استفاده از شمع‌بندی ارائه شده است. مقایسه نتایج تجربی بدست آمده با نتایج نرم افزار ANSYS دلالت بر کسب نتایج قابل قبول و مناسب دارد. در نهایت سیستم مذکور به لحاظ کیفی و اقتصادی با سیستم تیرچه بلوک رایج و سیستم‌های متداول بدون شمع بندی مقایسه شده است. نتایج بدست آمده به لحاظ فنی و اجرایی حاکی از موجه بودن سیستم سقف تیرچه‌های بتنی خود ایستا، در محدوده مورد بررسی و قابلیت رقابت آن با دیگر سیستم‌های رایج و سنتی است.

کلمات کلیدی: بتن سبک سازه ای، تیرچه های بتنی خود ایستا، شمع بندی، سقف تیرچه بلوک، تیرچه های فلزی با جان باز

۱. مقدمه

شمع بندی و مشکلات مربوط به آن، یکی از بزرگترین معایب سیستم تیرچه بلوک می‌باشد. کار گذاشتن شمع‌ها در فواصل استاندارد، تراز کردن تیرچه‌ها و دادن خیز منفی به آنها با استفاده از گوه، مستلزم صرف زمان و دقت بسیار می‌باشد. رعایت چنین قوانین دست و پا گیر، موجبات نارضایتی پیمانکاران را فراهم آورده و عدم رعایت آن نارضایتی ناظران را.

در سیستم سقف رایج و سنتی تیرچه بلوک، تیرچه به تنهایی جوابگوی بارهای وارده نمی‌باشد و وزن بتن تازه و بلوک ها و . . . توسط شمع به سقف طبقه زیرین انتقال می‌یابد و لذا اجرای هر سقف منوط به اجرای سقف طبقه قبل، اطمینان از حصول مقاومت کافی بتن آن و صرف زمان قابل توجه می‌باشد. بمنظور حذف شمع و رفع مشکلات مربوط به آن تاکنون سیستم‌های اجرایی گوناگونی ارائه شده است که در آنها احداث سقفها مستقل از یکدیگر هستند. عمده ترین سیستم اجرایی و مرسوم در کشور استفاده از تیرچه های فلزی با جان باز است که اولین بار توسط مهندس محمد جعفر کرمی در سال ۱۳۵۶ تحت عنوان تیرچه کرمیت ابداع شد. از این تیرچه ها میتوان در سقف‌های تیرچه بلوک و نیز در سقف‌های کامپوزیت استفاده کرد. از دیگر روشهای رایج سقف کامپوزیت است که می توان آنرا با شمع و بدون شمع بندی اجرا کرد. یکی دیگر از روشهای اجرای تیرچه‌ها بدون شمع بندی، استفاده از تیرچه‌های پیش تنیده است.

در سیستم ارائه شده که "سقف تیرچه بتنی خود ایستا" نام دارد، سعی شده است در ضمن حفظ مزایای عمده سیستم‌های مذکور، برخی معایب اجرایی موجود در این سیستم‌ها رفع شود و قیمت نهایی سقف تا حد امکان کاهش یابد. در انتهای این تحقیق مقایسه‌ای میان برخی از این سیستم‌ها با سقف تیرچه بتنی خود ایستا انجام شده و مزایای سیستم ارائه شده مطرح شده است. در سیستم سقف تیرچه بتنی خود ایستا که از بتن سبک سازه‌ای در ساخت تیرچه‌ها به منظور کاهش وزن و سهولت اجرا استفاده شده است، کلیه نیروهای در حین اجرا و وزن بتن تازه دال قبل از گیرش آن توسط خود تیرچه تحمل میشود و بنابراین اجرای سقف ها نسبت به یکدیگر مستقل خواهد بود.

۲. معرفی تیرچه‌های بتنی خود ایستا، محاسبات و کنترل‌های مربوطه

با حذف شمع از زیر تیرچه‌ها، کلیهٔ بارهای وارده اعم از وزن بتن تازه، وزن بلوک‌ها و بارهای وارده حین اجرا (تا قبل از گرفتن بتن دال) باید توسط خود تیرچه تحمل گردد. بنابراین باید تیرچه‌ها را در مقابل چنین بارهایی مقاوم نمود. یکی از راههای افزایش مقاومت تیرچه افزایش ارتفاع مقطع آن می‌باشد. لذا بدین گونه عمل شد که در مرحله اول باربری (قبل از گرفتن بتن دال) ارتفاع h برای تیرچه تامین می شود. همان گونه که متعاقباً بیان خواهد شد این بتن بایستی از نوع بتن سبک سازه ای باشد. سپس در مرحله دوم باربری مقطع همانند تیرهای T شکل متعارف رفتار می کند. بدین ترتیب بتن جان تیرچه خودایستا در مرحله اول باربری دارای رفتار فشاری و در مرحله دوم دارای رفتار کششی خواهد بود.

۲-۱. محاسبه ارتفاع لازم مقطع

شایان ذکر است که بسیاری از خصوصیات سقف تیرچه بلوک، در این سیستم ثابت نگاه داشته شده است تا فلسفهٔ استفاده از مزایای آن مخدوش نگردد. در این سیستم عرض تیرچه‌ها، ارتفاع نهایی سقف، فاصله تیرچه‌ها از هم، نوع بلوک، ضخامت دال بتنی، مقدار و نوع آرماتور مصرفی و محل قرارگیری آنها در تیرچه‌ها و مقاومت فشاری بتن مصرفی در دال کاملاً مشابه سقف تیرچه بلوک فرض شده و تنها تفاوت درآن است که ارتفاع لازم برای جان تیرچه در دو مرحله تامین می‌گردد.

فرضیات و مراحل محاسبات به شرح زیر می باشد:

- طراحی بر اساس آئین نامه ACI می‌باشد[۱]
- مقاومت فشاری ۲۱ روزه و وزن مخصوص بتن سبک سازه‌ای به ترتیب ۲۴۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و ۱۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب فرض شده است.
- آرماتور مصرفی از نوع AII با تنش تسلیم ۳۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد .
- ضریب افزایش بار مرده می‌تواند بر اساس مطالعات آماری و با توجه به شناخت مناسب نسبت به مقادیر بارهای وارده (در زمان ساخت سقف) به مقدار ۱/۲ کاهش یابد.

Archive of SID

www.SID.ir

- بار حین اجرا ۸۰ کیلوگرم بر متر مربع، به عنوان بار زنده و با ضریب افزایش بار ۱/۷ فرض گردیده است.
- در این تحقیق محاسبات برای دو فاصله مختلف محور تا محور تیرچه‌ها، یعنی ۵۰ و ۷۰ سانتیمتر، سه طول مختلف ۴،۳و۵ متر، دو نوع بلوک سفال و پلاستوفوم و دو حالت ضریب افزایش بار مرده ۱/۲ و ۱/۴ ، جمعاً ۲۴ حالت انجام شده است.

نحوه محاسبه ارتفاع بتن سبک لازم برای تیرچه خودایستا (h)، بر اساس یکسان قرار دادن لنگر خمشی مقاوم مقطع با لنگر اسمی نهایی ناشی از بارهای وارده در حین ساخت سقف مطابق با روابط ۱و۲ می باشد.

$$A_s.f_y(d-\frac{a}{2})=\frac{M_u\times10^5}{\varphi} \qquad (۱)$$

$$A_s.f_y=0.85f_c^{'}.a.b_w \qquad (۲)$$

M_u: لنگر خمشی ضریب دار ناشی از بارهای مرده و زنده حین ساخت ($T.m$)

A_s: سطح مقطع فولاد کششی (cm^2) براساس آنچه نهایتاً بایستی در تیرچه تعبیه شود (برای تحمل کلیه بارهای موثر بر سقف پس از سفت شدن بتن دال)

f_y: تنش تسلیم آرماتور مصرفی (kg/cm^2)

d: عمق موثر مقطع (cm)

a: ارتفاع بلوک تنش ویتنی (cm)

φ: ضریب کاهش ظرفیت خمشی برابر با ۰/۹

b_w: عرض جان تیرچه (cm)

شایان ذکر است که کنترل‌های انجام شده نشاندهنده صحت فرض جاری شدن آرماتورهای کششی میباشد. نتایج محاسبات انجام شده دلالت بر آن دارد که ارتفاع مقطع بین ۱۲ تا ۱۵ سانتیمتر میتواند تیرچه را در مقابل بارهای وارده مقاوم سازد[۲]. به عنوان مثال نتایج مربوط به تیرچه با طول ۵ متر و فاصله محور تا محور ۷۰ سانتیمتر در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. مقادیر d و h (ارتفاع بتن سبک) برای تیرچه های خودایستا با فاصله ۷۰ سانتیمتر و طول ۵ متر

نوع بلوک	ψ_D	ω_D	d محاسباتی	d اختیارشده	h
پلاستوفوم	۱/۲	۰/۱۲۵	۱۰/۰۲	۱۰/۵	۱۲
	۱/۴	۰/۱۲۵	۱۰/۷۴	۱۱/۵	۱۳
سفال	۱/۲	۰/۱۷۵	۱۱/۷۴	۱۲/۵	۱۴
	۱/۴	۰/۱۷۵	۱۲/۷۵	۱۳/۵	۱۵

ψ_D : ضریب افزایش بار مرده

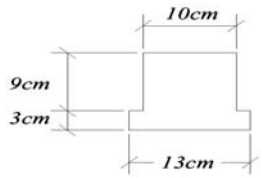
ω_D : شدت بار مرده وارد بر هر تیرچه (T/m)

۲-۲. کنترل های انجام شده

نتیجه کنترل مقاومت برشی تیرچه های مورد بررسی نشاندهنده آنست که علیرغم استفاده از بتن سبک سازه ای، تنشهای بوجود آمده در تیرچه ها همواره از مقاومت برشی بتن سبک سازه ای کمتر بوده و استفاده از آرماتور عرضی حداقل کافی میباشد. به منظور اتصال مناسب تیرچه ها با بتن ریخته شده در مرحله دوم، مشابه با آنچه در سیستم های رایج تیرچه بلوک انجام می شود، بایستی مقداری از آرماتورهای طولی برهنه باشد و در این سیستم بدلیل بارهای وارده و عدم وجود شمع بعضاً مقطع مذکور جوابگو نبوده و استفاده از ورقی تقویتی (به عنوان مثال به ضخامت ۴ میلیمتر و عرض ۱۰ سانتیمتر و طول ۱۵ سانتیمتر) در زیر آرماتورهای طولی ضروری می باشد.

۲-۳. ضرورت استفاده از بتن سبک سازه ای

برای تشریح ضرورت استفاده از بتن سبک سازه ای در ساخت تیرچه های خودایستا، تیرچه هایی با ارتفاع ۱۲ و ۱۵ سانتیمتر مورد بررسی قرار می گیرد. با احتساب عرض ۱۰ سانتیمتر برای جان تیرچه و نیز دو زائده با ابعاد ۳×۱/۵ سانتیمتر در کناره مقطع، (به منظور ایجاد تکیه گاه برای نشستن بلوک)، مقطعی مطابق با شکل ۱ پدید می آید.



شکل ۱ . ابعاد مقطع تیرچه بتنی خود ایستا با ارتفاع ۱۲ سانتیمتر

درجداول۲ و ۳ نتایج محاسبه وزن تیرچه بتنی خود ایستا براساس ابعاد شکل ۱ با استفاده از بتن معمولی و بتن سبک سازه ای و همچنین وزن تیرچه رایج برای دهانه های مختلف ارائه شده است. وزن مخصوص تازه بتن سبک ۱۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب فرض شده است.

جدول ۲. مقایسه وزن بتن تیرچه خودایستا با ارتفاع ۱۲ سانتیمتر و تیرچه رایج (کیلوگرم)

طول دهانه (متر)	۳	۴	۵
تیرچه خودایستا با بتن معمولی	۹۳	۱۲۴	۱۵۶
تیرچه خودایستا با بتن سبک سازه ای	۵۸	۷۷/۵	۹۷
تیرچه رایج	۴۷	۶۲/۵	۷۸

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. مقایسه وزن بتن تیرچه خودایستا با ارتفاع ۱۵ سانتیمتر و تیرچه رایج (کیلوگرم)

طول دهانه (متر)	۳	۴	۵
تیرچه خودایستا با بتن معمولی	۱۱۴/۵	۱۵۲/۵	۱۹۱
تیرچه خودایستا با بتن سبک سازه ای	۷۱/۵	۹۴/۵	۱۱۹
تیرچه رایج	۴۷	۶۲/۵	۷۸

قابل ذکر است که اعداد بدست آمده بدون احتساب وزن فولاد مصرفی است. همان گونه که مشاهده می‌شود وزن تیرچه های بتنی خودایستا با استفاده از بتن معمولی زیاد و حمل و نقل آن دشوار می‌باشد. بنابراین استفاده از بتن سبک سازه ای ضروری می‌باشد.

۳. مشخصات بتن سبک سازه ای مورد استفاده در تیرچه های خودایستا

بتن سبک سازه ای مصرفی در تیرچه ها بایستی به نحوی باشد که اولاً دارای مقاومت فشاری ۲۱ روزه حداقل برابر ۲۴۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع باشد ثانیاً دارای وزن مخصوص حداقل یعنی ۱۴۴۰ کیلو گرم بر متر مکعب باشد [۳] و ثالثاً دارای توجیه اقتصادی باشد.

گفتنی است در اکثر موارد ارضا یک شرط از شروط یاد شده دیگر شرایط را نقض می‌نماید. برای مثال جهت افزایش مقاومت تا مقدار مورد نظر، ناچار به افزایش سیمان می‌باشیم که از یکسو موجب افزایش وزن و از سوی دیگر منجر به نتایج نامطلوب اقتصادی خواهد گردید.

بنابراین پس از انجام آزمایش و ساخت حدود ۴۸۰ نمونه استوانه ای ۳۰۰×۱۵۰ میلیمتری و حدود ۳۰۰ نمونه مکعبی ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلیمتری (بالغ بر۲۸۰۰ لیتر معادل با ۲/۸ متر مکعب)، ۱۲ طرح اختلاط انتخاب گردید و با انجام آزمایش نهایی از میان آنها طرح اختلاطی واجد شرایط فوق الذکر و مطابق با جدول ۴ برگزیده شد. همچنین ۳ بار طرح اختلاط نهایی تکرار گردید و صحت طرح اختلاط پیشنهادی تایید گردید.

جدول ۴. بتن سبک سازه ای مصرفی در تیرچه

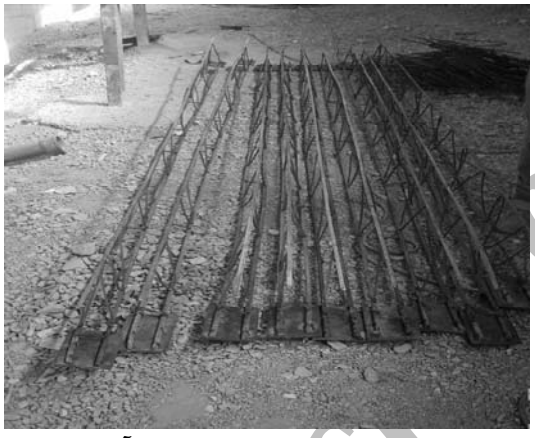
Constituent	(Kg/m^3)
Cement	380.0
Silica Fume	20.0
Water	120.0
Superplasticizer	6.0
LECA	552.4
Sand	358.4
Lime Stone Powder	63.2
W/(C+SF) (%)	30
SP/(C+SF) (%)	1.5

۴. نحوه انجام آزمایش بر روی تیرچه ها

ساخت تیرچه‌ها در دو ارتفاع ۱۲ و ۱۵ سانتیمتر صورت پذیرفت. تعداد پانزده تیرچه با طول متعارف ۴ متر، یک تیرچه بصورت هیبرید با طول ۴ متر و یک تیرچه بصورت آزمایشی با طول ۳ متر ساخته شد.

۴-۱. تیرچه آزمایشی ۳ متری

در تیرچه ۳ متری که صرفاً برای شناخت فضای آزمایش و رفع خطاهای احتمالی ساخته شده بود، بجای خاموتهای زیگزاگ مرسوم از خاموتهای مستطیلی با کادر بسته استفاده شد و البته مشکلات اجرایی فراوان بدنبال داشت. همچنین پس از انجام آزمایش بر روی تیرچه، خرابی از ناحیه تکیه‌گاه که مقطعی ضعیف بود (تنها دو آرماتور طولی) حاصل گردید. برای رفع نقایص مذکور در تیرچه های بعدی از خاموتهای زیگزاگ، کاملاً مشابه تیرچه های معمولی و ورق تحتانی کششی که در بخش ۲-۲ معرفی گردید استفاده گردید(شکل۲).



شکل ۲. خرپای فلزی و اجزای آن

بتن تیرچه نیز مطابق با مقطع نشانداده شده در شکل ۱ و از جنس بتن سبک سازه ای با طرح اختلاط مندرج در جدول ۴ بوده است. تعداد ۱۰ تیرچه با ارتفاع ۱۲ سانتیمتر و تعداد ۵ تیرچه با ارتفاع ۱۵ سانتیمتر ساخته شد (مطابق شکل۳).

۴-۲. تیرچه هیبرید

با توجه به آنکه در مرحله اول باربری از قسمت کششی بتن تیرچه (که قسمت تحتانی آن می‌باشد)، به دلیل ترک خوردگی آن می‌توان صرفنظر نمود، به منظور کاهش هرچه بیشتر وزن تیرچه خودایستا از بتن سبک با وزن مخصوص و ۱۱۵۰ کیلوگرم در متر مکعب و مقاومت فشاری ۲۱ روزه ۹۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع با طرح اختلاط مندرج در جدول ۵ به ارتفاع ۷ سانتی‌متر استفاده گردید.

Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۳. تیرچه بتنی خود ایستا

جدول ۵. طرح اختلاط بتن ناحیه کششی تیرچه هیبرید

Cement (Kg/m^3)	255
Silica Fume (Kg/m^3)	45
Water (Kg/m^3)	150
LECA (Kg/m^3)	700
W/(C+SF) (%)	50

تیرچه هیبرید با ارتفاع نهایی ۱۵ سانتی‌متر ساخته شد که در مقایسه با تیرچه های دیگر حدود ۱۲ کیلوگرم کاهش وزن داشت. منتهی مقاومت سایشی پایین و خیز زیاد از مشکلات این نوع تیرچه تشخیص داده شد.

۴-۳. تیرچه خودایستای ۴ متری

پس از انجام آزمایش بر روی تیرچه آزمایشی ۳ متری و تیرچه هیبرید این نتیجه حاصل شد که در تیرچه مورد نظر بایستی از خرپای فلزی مشابه تیرچه های رایج و بتن سبک سازه ای با ارتفاع ۱۲ و ۱۵ سانتیمتر با توجه به مطالب بخش ۲-۱ استفاده شود.

۴-۴. تراکم و عمل آوری تیرچه ها

عمل تراکم بوسیله ویبراتور برقی داخلی صورت پذیرفت. قطر ویبراتور مذکور ۱/۵ اینچ بود که برای تراکم مقاطع کوچکی چون تیرچه مناسب می‌باشد. پس از گذشت ۲۴ ساعت از پایان بتن‌ریزی، قالبها باز شده و تیرچه‌ها درون آب عمل‌آوری شدند. شایان ذکر است که هنگام ساخت تیرچه ها یک خیز منفی مشابه با تیرچه های معمولی در روی زمین ایجاد میگردد.

۵. تحلیل کامپیوتری تیرچه خودایستا و مقایسه نتایج آزمایشگاهی

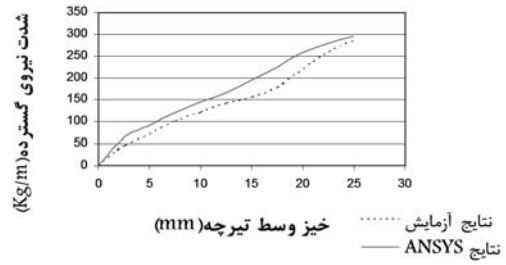
به منظور ارزیابی جامع تر تیرچه های آزمایش شده از نرم افزار ANSYS استفاده گردید. بایستی مدل کامپیوتری هرچه بیشتر به واقعیت نزدیک بوده و خصوصیات مصالح و ابعاد تیرچه ها مشابه با نمونه ها در نظر گرفته شود. برای مدل کردن بتن از المان Solid 65 استفاده گردید. دلیل انتخاب المان مذکور، قابلیت آن در لحاظ نمودن ترک خوردگی (در فشار و کشش) و نیز توانایی پذیرش آرماتور (در سه جهت عمود بر هم) می باشد[۴]. همچنین از المان Link 8 به منظور مدل سازی فولاد مصرفی در تیرچه ها استفاده شد. جهت مدل‌کردن رفتار فولاد در آرماتورها از معیار سخت‌شدگی سینماتیک دو خطی (Bkin) استفاده گردید.

۵-۱. مقایسه نتایج

نتایج در قالب منحنی نیرو - تغییر مکان و بار خرابی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

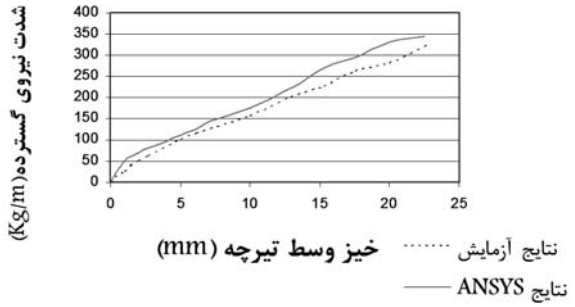
۵-۱-۱. مقایسه منحنی نیرو - تغییر مکان

جهت مقایسه نتایج کامپیوتری با نتایج آزمایشگاهی نمودارهای نیرو - تغییر مکان در اشکال ۴ و ۵ بترتیب برای تیرچه‌های ۱۲ و ۱۵ سانتی‌متری نمایش داده شده است.



شکل ۴. مقایسه منحنی های نیرو-تغییر مکان حاصل از تحلیل کامپیوتری و آزمایشات برای تیرچه ۱۲ سانتیمتری

در هر دو حالت به ازای بار مساوی، تغییر مکانهای وسط تیرچه‌ها در تحلیل کامپیوتری کمتر از اعداد بدست آمده از آزمایش می‌باشد. دلیل این اختلاف را می‌توان ماهیت ایده آلی تحلیل کامپیوتری، اختلاف جزئی مدل کامپیوتری با تیرچه های حقیقی، فرض ضریب پواسون، مدول الاستیسیته، همگنی و ایزوتروپ بودن مصالح، فرضیات ساده کننده مدل کامپیوتری در فرآیند تحلیل خطی و غیر خطی و غیره برشمرد. از طرف دیگر قابل ذکر است که همواره در حین انجام آزمایش برخی عوامل، چون خطاهای اندازه‌گیری، مشکلات اجرایی و بطور ناخواسته بر کیفیت نتایج تأثیر گذار است.

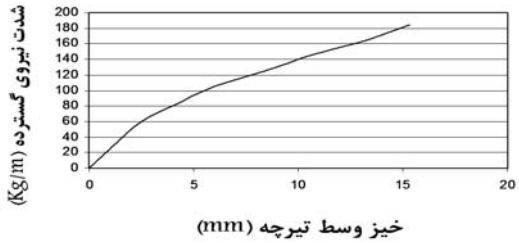


شکل ۵. مقایسه منحنی های نیرو-تغییر مکان حاصل از تحلیل کامپیوتری و آزمایشات برای تیرچه ۱۵ سانتیمتری

Archive of SID

www.SID.ir

منحنی نیرو تغییر مکان تیرچه هیبرید مطابق شکل ۶ میباشد. با ملاحظه شکل مذکور و مقایسه آن با شکل ۵ مشخص میشود که تغییر شکل تیرچه مذکور بطور محسوسی بیشتر از تیرچه های نظیر بوده است.



شکل ۶. منحنی نیرو- تغییر مکان تیرچه هیبرید

۵-۱-۲. مقایسه بار خرابی

متوسط بار خرابی بدست آمده از آزمایش و تحلیل کامپیوتری برای دو تیرچه ۱۲ و ۱۵ سانتی‌متری به طول ۴ متر در جدول ۶ قید گردیده است.

جدول ۶. بار خرابی ناشی از آزمایش و تحلیل کامپیوتری

ارتفاع تیرچه	آزمایش	تحلیل کامپیوتری
۱۲ سانتیمتر	۲۸۳	۲۹۵
۱۵سانتیمتر	۳۲۸	۳۴۴

مشاهده می شود بارهای خرابی بدست آمده تقریباً مشابه و در حدود ۲ برابر باری است که قرار است تیرچه ها در زمان اجرا تحمل نمایند.

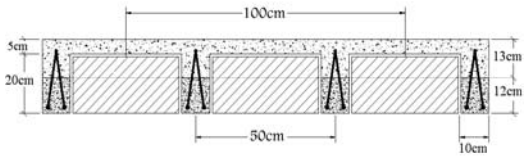
همچنین بارهای خرابی بدست آمده از آزمایش حدود ۹۶ درصد بارهای خرابی بدست آمده از تحلیل کامپیوتری می‌باشد.

با توجه به مقایسه‌های انجام شده می‌توان اظهار داشت که نتایج تیرچه‌های بتنی خود ایستا در هر دو حالت آزمایشگاهی و تحلیل کامپیوتری، تقریبا یکسان می باشند و نتایج تحلیل کامپیوتری و داده‌های بدست آمده از آزمایش یکدیگر را مورد تأیید قرار داده‌اند.

۶. نحوه انجام آزمایش بر روی سقف ساخته شده با تیرچه‌های بتنی خود ایستا و نتایج آن

به منظور ساخت سقف ابتدا چهار تیرچه با ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر بر روی دهانه ۴ متری که از قبل جهت احداث سقف با عرض مناسب تعبیه شده بود، قرار داده شد (شکل۷).

کلیه مراحل قالب بندی، مش بندی حرارتی، بتن ریزی، تراکم، عمل آوری و ... مطابق با استاندارد ۲۹۰۹ [۵] و با شرایط کارگاهی صورت پذیرفت.



شکل۷. مقطع سقف

۶-۱. نحوه بارگذاری سقف مطابق با استاندارد ۲۹۰۹ و آیین نامه بتن ایران و نتایج آزمون

پس از سفت شدن بتن سقف با مقطعی همانند شکل ۷، براساس استاندارد ۲۹۰۹ و آیین نامه بتن ایران[۶] آزمایش بارگذاری صورت پذیرفت. به این منظور بار ۱۵۰ کیلوگرم در متر طول (در سطح بارگذاری با عرض ۵۰ سانتیمتر و طول ۴ متر) به عنوان بار اولیه، چهل و هشت ساعت پیش از انجام بارگذای بر سقف نهاده شد. بار مذکور مبین بار مرده کف سازی و تیغه بندی است که بر سطح بارگذاری اعمال می گردد. پس از تنظیم گیج، بار آزمون برابر ۲۰۰ کیلوگرم بر متر در سطح بارگذاری قرار داده شد. بار اخیر برابر با اختلاف بار ضریبدار ناشی از بارهای مرده و زنده، با بار مرده اعمال شده در مرحله قبل می باشد. قرائت نهایی پس از ۲۴ ساعت از اعمال بار آزمون و در حضور بار اولیه، برابر با ۲ میلیمتر ارزیابی شد که از مقدار تغییر مکان مجاز آیین نامه آبا و استاندارد مذکور براساس رابطه ۳، کمتر می باشد و نتیجه آزمایش مثبت ارزیابی می گردد.

$$\frac{l^2}{20000h} = \frac{4000^2}{20000*250} = 3.2mm > 2mm \quad \text{O.K.} \qquad (۳)$$

اکنون با توجه به تشابه مقادیر بدست آمده از تحلیل کامپیوتری و آزمایشات با مقیاس واقعی و با توجه به آنکه سقف مذکور معیارهای پذیرش استاندارد ۲۹۰۹ را در برداشته است، می‌توان آنرا سیستمی مطمئن و استاندارد تلقی نمود.

۷. مقایسه کیفی و اقتصادی سیستم سقف تیرچه بتنی خود ایستا با سقف رایج تیرچه بلوک

برای استفاده از یک سیستم نوین احداث سقف، دربرداشتن شرایط و معیارهای لازم در استانداردها و آیین نامه‌ها به تنهایی کفایت نمی‌کند. از عوامل بسیار مهم و تعیین کننده در انتخاب یک سیستم ساختمانی، در وهلهٔ اول ملاحظات اقتصادی و پس از آن سهولت اجرا و شرایط زمانی است. ابتدا برخی معایب ناشی از شمع بندی ارایه می‌شود.

۷-۱. معایب استفاده از شمع

به اختصار معایب استفاده از شمع به شرح ذیل ارائه می گردد.

Archive of SID

www.SID.ir

۷-۱-۱. اتلاف زمان بعنوان یکی از مهم‌ترین پارامترها

بدلیل عدم استقلال سقف‌ها از یکدیگر و اجرای هر سقف حدود ۱۰ روز الی دو هفته بعد از سقف قبلی، ساخت یک ساختمان ۶ طبقه ممکن است ۳ ماه به طول بیانجامد. با لحاظ کردن تورم قیمتها و سود سرمایه در زمان به هدر رفته، همواره مبالغی بر هزینه های پروژه بدون آنکه جلب توجه نماید اضافه میگردد. همچنین در بسیاری از موارد اتلاف زمان و عدم تحویل پروژه در زمان مقرر شده مجازاتهای سنگین قید شده در قرارداد را بدنبال خواهد داشت.

۷-۱-۲. قوانین دست و پا گیر اجرایی در شمع بندی

رعایت قوانینی چون حداکثر فاصله شمع، استفاده از شمع با خصوصیات استاندارد، اجرای خیز منفی با شمع و گوه و ... از معایب عمده اجرایی سیستم رایج تیرچه بلوک می‌باشد. در طول هر پروژه بسیاری از شمع‌ها دچار ضایعاتی می‌گردند و شرایط استاندارد لازم جهت استفاده را از دست می‌دهند. خرید مجدد شمع با توجه به قیمت بالای آن و حمل و نقل شمع ها به محل کارگاه و از یک طبقه به طبقه دیگر و نصب آنها مستلزم پرداخت مبالغ قابل توجهی میباشد.

۷-۱-۳. مشکلات ساخت سقف در ارتفاع

در بسیاری از پروژه‌های دولتی و نیز در ساخت سالن‌ها و مساجد و ... احداث سقف باید در ارتفاع بالا (مثلاً ۸ متری) صورت پذیرد. پیدا نمودن شمعی با چنین ابعاد، تقریباً غیر ممکن است لذا در بعضی موارد اجرایی برای حل این مشکل از دو ردیف شمع در ارتفاع استفاده می‌گردد. استفاده از دو شمع روی هم (که به اصطلاح شاسی‌کشی نامیده می‌شود)، امری بسیار مشکل، زمان بر و خطرناک محسوب می‌گردد.

۷-۱-۴. دیگر مشکلات اجرایی

موارد دیگری از قبیل عدم امکان اجرای دقیق خیز منفی، عدم دقت مناسب در تراکم بتن جان تیرچه، عدم دقت مناسب در ایجاد عرض لازم برای جان تیرچه به هنگام چیدن بلوک ها و ایجاد منحنی سینوسی شکل در تیرچه‌ها (در حد فاصل بین‌شمع‌ها) و . . . از دیگر معایب استفاده از شمع میباشد که با حذف آن از بین خواهد رفت.

۷-۲. مقایسه اقتصادی سیستم سقف تیرچه بتنی خود ایستا با سقف رایج تیرچه بلوک

علاوه بر مزیت بارز حذف شمع بندی، قیمت برآورد شده برای هر مترمکعب سقف به شرح ذیل مقایسه شده است. بهای هر متر مکعب بتن سبک سازه‌ای ۷۰۰۰۰ تومان و بهای هر متر مکعب بتن معمولی حدود ۵۰۰۰۰ تومان برآورد شده است. افزایش بهای بتن مصرفی برای تیرچه بتنی خودایستا به ارتفاع ۱۲ سانتیمتر برابر می‌شود با : $0.0259\times(70000-50000)=518\sim520$ اختلاف هزینه بتن مصرفی(تومان)

از طرفی مطابق با مطالعات آماری و محاسبات انجام شده بر روی ساختمانهای با ارتفاعها و مساحت ها و کاربری های مختلف، هزینه شمع بندی در هر متر مربع حدود ۱۰۰۰ تومان برآورد شده است.

همچنین با احتساب ۱۰۰۰۰۰ تومان هزینه ساخت یک متر مربع ساختمان اسکلت فلزی قبل از اجرای سقف، و سود سرمایه به مقدار ۲۰٪ در سال ، میزان سود سرمایه در مدت زمان ۳ ماه حدود ۴۲۲۰ تومان در هر متر مربع می شود.

با توجه به محاسبات و بررسی های بعمل آمده، با استفاده از سیستم سقف تیرچه های بتنی خودایستا بجای سقف تیرچه بلوک حدود ۴۷۰۰ تومان در هر متر مربع صرفه جویی اقتصادی پدید خواهد آمد.

۸. مقایسه کیفی و اقتصادی سیستم سقف تیرچه بتنی خود ایستا با سقف تیرچه فلزی با جان باز

مزایای یاد شده در مورد سقف تیرچه خود ایستا اعم از صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌های آن، حذف مشکلات اجرایی ناشی از شمع‌بندی، سهولت اجرا در ارتفاع و دقت مناسب در ایجاد خیز منفی، در کلیه سیستمهای سقف بدون شمع‌بندی وجود دارند، در حالی که برخی مزایای روش تیرچه خود ایستا مانند دقت مناسب در تراکم بتن جان تیرچه، مختص همین روش می‌باشد.

۸-۱. مزایای استفاده از سیستم سقف تیرچه فلزی با جان باز

در بروشورها و دفترچه های راهنمای شرکت های سازنده سقف تیرچه فلزی با جان باز، مزایای بسیاری در استفاده از سیستم سقف مذکور قید گردیده است. بسیاری از مزیت های یاد شده همانطور که در ابتدای همین بخش ذکر گردید، در میان کلیه سقف های بدون شمع بندی مشترک می باشد و برخی از آنها قابل توجه بوده و در ادامه بصورت تیتروار ذکر می گردد.

- امکان حذف کش ها[۷]
- امکان طراحی و اجرای سقف با دهانه های بلند و باربری‌های خاص[۷]

۸-۲. معایب اجرایی سیستم سقف تیرچه فلزی با جان باز

با توجه به هندسه و نحوه عملکرد تیرچه فلزی با جان باز که بصورت خرپا فرض گردیده است، برخی مشکلات بوجود آمده در زمان اجراء ، با بهره گیری از تجارب مجریان این سیستم در ذیل صرفاً نام برده خواهند شد.

- زنگ زدایی ورق تحتانی
- وجود تاب در تیرچه‌ها و مشکلات ناشی از آن
- آسیب پذیری بلوک‌ها در برابر ضربه
- تولید بسیار کم تیرچه فلزی با جان باز در کشور و مشکلات حمل و نقل

Archive of SID

www.SID.ir

- مشکلات بتن ریزی و تراکم با توجه به عرض کم ورقهای تحتانی
- کمانش جانبی نبشی فوقانی
- اجرای گوشواره و مشکلات مربوط به آن

۸-۳. مقایسه اقتصادی سیستم سقف تیرچه خودایستا با سیستم تیرچه‌های فلزی با جان باز

به منظور انجام مقایسه اقتصادی، تیرچه‌ای با دهانه ۵ متر، مجموع بار۸۰۰ کیلو گرم بر متر مربع و فاصله محور تا محور ۷۰ سانتی متر، طراحی گردید و میزان اختلاف قیمت مورد ارزیابی قرار گرفت. هزینه بلوک و ساخت خرپای فلزی و دال بتنی در دو سیستم یکسان فرض می شود.

بهای هر یک کیلوگرم فولاد معادل ۱۰۰۰ تومان فرض میشود. مطابق با طراحی انجام شده و با محاسبه اختلاف فولاد مصرفی در هر متر طول تیرچه، هزینه فولاد در سیستم پیشنهادی ۱۶۰۰ تومان کمتر میباشد. همچنین بهای بتن مصرفی در سیستم پیشنهادی ۵۰۰ تومان در هر متر طول تیرچه بیشتر میباشد. بطور خلاصه و با عنایت به محاسبات انجام شده استفاده از سیستم سقف تیرچه‌های بتنی خود ایستا بجای سقف تیرچه‌های فلزی با جان باز، حدود ۱۱۰۰ تومان در هر متر طول تیرچه و ۱۵۷۰ تومان درهر متر مربع کاهش هزینه را به دنبال خواهد داشت.

۹. نتیجه گیری

در ادامه برخی نتایج بدست آمده در طول این تحقیق به همراه چند پیشنهاد ارائه می گردد.

- پس از انجام آزمایش بر روی تیرچه آزمایشی ۳ متری، خرابی از ناحیه تکیه‌گاه که مقطعی ضعیف بود (تنها دو آرماتور طولی ۲φ۱۰) حاصل گردید، بار خرابی بدست آمده حدود ۲ برابر بار بهره برداری بوده است. لزوم تقویت تکیه‌گاه با استفاده از ورق تحتانی در زیر آرماتورها و عدم استفاده از خاموت با کادر بسته (به عنوان آرماتور عرضی) با توجه به مشکلات اجرایی، نتیجه‌ای بود که از این آزمایش بدست آمد.
- تعداد ۱۵ تیرچه با استفاده از بتن سبک بدست آمده با ارتفاعهای ۱۲ و ۱۵ سانتیمتر و طول ۴ متر ساخته شد. نتایج خروجی تحلیل کامپیوتری به لحاظ تغییر مکان، مشابه داده‌های بدست آمده از آزمایش و تا حدی کم‌تر از آن حاصل گردید. بار خرابی بدست آمده از تحلیل کامپیوتری در حدود ۲ برابر بار بهره برداری و تا حدی بیشتر از بار خرابی بدست آمده از آزمایش می‌باشد. دلیل این اختلاف را می‌توان ماهیت ایده آلی تحلیل کامپیوتری و برخی عوامل تاثیر گذار در حین انجام آزمایش و ... برشمرد.
- نتیجه استفاده ازتیرچه هیبرید کاهش وزنی در حدود ۳ کیلوگرم در متر طول بوده است. هر چند که استفاده از چنین بتنی، تغییر مکان های ایجاد شده را افزایش و مقاومت سایشی را بطور محسوسی کاهش می دهد.
- سقفی با چهار تیرچه به طول چهار متر با شرایط کارگاهی و مطابق با استاندارد ۲۹۰۹ ساخته شد. تغییر مکان ایجاد شده در اثر اعمال بارهای مد نظر استاندارد مذکور، به مقدار ۲ میلیمتر اندازه‌گیری شد. با توجه به آنکه عدد مذکور از مقدار حداکثر تغییر مکان مجاز (۳/۲ میلیمتر با توجه به ابعاد موجود) کمتر بوده است، سقف مورد نظر، معیار لازم برای پذیرش استاندارد ۲۹۰۹ و آیین‌نامه آبا را در بر داشته است.
- ارزیابی کیفی و کمی انجام شده در محدوده مورد بررسی در این تحقیق، نشاندهنده موجه بودن سیستم سقف تیرچه‌های بتنی خود ایستا است.
- استفاده از سیستم سقف تیرچه بتنی خودایستا به جای سقف تیرچه بلوک ۴۷۰۰ تومان در هر متر مربع و به جای سقف تیرچه کرمیت ۱۵۷۰ تومان در هر متر مربع کاهش قیمت به دنبال دارد.

مراجع

[1] ACI Committee 211.2," *Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete*", ACI manual of concrete practice, 2004.

[2] ANSYS GUI Help Manuals, Ansys, Release, 5.4.1997. SAS IP, INC.

[۳] طاحونی، شاپور.، « *طراحی سازه های بتن مسلح*»، انتشارات دهخدا، چاپ نهم. پاییز ۱۳۸۰.

[۴] منصوریان، پوریا.، «*سیستم سقف های تیرچه بلوک با بتن سبک بدون شمع بندی*»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود. تابستان ۸۵.

[۵] استاندارد ۲۹۰۹، «*ویژگیها و روشهای آزمون تیرچه و بلوک سقفی*»، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، چاپ دوم، مرداد ماه ۱۳۷۰.

[۶] نشریه شماره ۱۲۰، « *آیین نامه بتن ایران (آبا)*»، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، تجدید نظر اول، چاپ ششم، ۱۳۸۲.

[۷] جدول محاسبات ساخت تیرچه های فلزی با جان باز، تابستان ۱۳۸۲.

Archive of SID

www.SID.ir