

بررسی محل و تعداد شیار در تقویت تیرهای یک سر گیردار تحت بار متمرکز در روش نزدیک به سطح

سلمان نوغانی^{۱*}، حسین نادرپور^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، تهران، ایران

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

snoghani@yahoo.com

چکیده

تیرهای طره در ساختمان های بتن مسلح، با توجه به بارگذاری خاص و تاکید آیین نامه بر بارگذاری مولفه عمودی زلزله از اهمیت زیادی برای تقویت برخوردارند. از معایب تیر طره می توان به تغییر شکل زیاد در سر آزاد و لنگرهای بزرگ در تکیه گاه اشاره کرد. لذا به همین دلایل در صورت عدم طراحی و اجرای مناسب تیرهای طره نیاز به مقاوم سازی این المان ها با روش های مختلف وجود دارد که از جمله می توان به تقویت با الیاف FRP و روش نزدیک به سطح (NSM) نام برد. در این تحقیق به بررسی تعداد و محل شیار در روش نزدیک به سطح در یک تیر طره تحت بار متمرکز افزایش یافته پرداخته شده است. تعداد شیارها ۲ یا ۴ عدد بوده و محل شیار نیز در چهار گوشه متغیر می باشد. در نهایت با توجه به تحلیل عددی بهترین حالت تقویت نمونه ها ۴ عدد شیار و به صورت ۲ شیار در بالا و ۲ شیار در پایین تشخیص داده شد که نسبت به نمونه تقویت نشده افزایش ۱۲۱/۲۴ درصدی را از خود نشان داد.

کلمات کلیدی: تیر بتن آرمه، مقاوم سازی، NSM.

۱. مقدمه

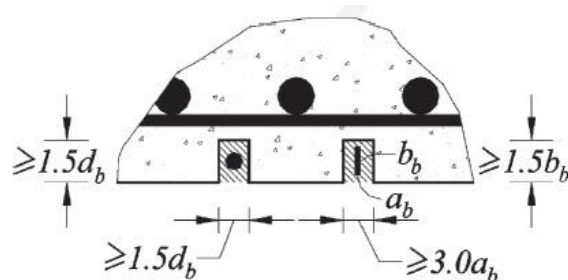
عمر مفید ساختمان ها به عوامل مختلفی از جمله کیفیت طرح، کیفیت اجرا (که خود تابع کیفیت مصالح و کیفیت کاربرد آن هاست)، کیفیت رویارویی با شرایط محیطی، کیفیت بهره برداری و بالاخره کیفیت نگهداری بستگی دارد. در صورت عدم طراحی و همچنین اجرای مناسب ساختمان ها و با توجه به قرارگیری ایران در منطقه فعال لرزه ای لذا مقاوم سازی ساختمان ها در برابر زلزله از موارد ضروری می باشد. یکی از المان هایی که در سازه های بتنی در معرض آسیب و خرابی در برابر زلزله قرار دارد تیر طره می باشد. تیر طره به یک عضو افقی صلب سازه ای که که تنها در یک انتها توسط یک تکیه گاه عمودی گیردار می شود و به ویژه که در آن ابعاد پیش بینی شده (طول) بسیار بیشتر از دو بعد (عرض و عمق) باشد، اشاره دارد [۱].

این تیرها در ساختمان اغلب در بالکن ها دیده می شوند. این تیر ها دارای استعداد زیاد خرابی و به خصوص تحت بارهای ثقلی برخوردار هستند. از دلایل خرابی این تیرها می توان به زیاد بودن طول و یا ضعف در کشش اشاره کرد. این خرابی ها غالبا به دلیل تغییر مکان زیاد تیر در انتهای آزاد و به دنبال آن دوران بیش از حد و ایجاد لنگر های بزرگ در تکیه گاه می باشد [۲]. در شکل (۱) نمونه هایی از خرابی های تیر طره در ساختمان ها مشاهده می شود.



شکل ۱- خرابی های حاصل از تخریب تیر طره در اثر زلزله

دو شیوه مطرح در اجرای کامپوزیت های FRP روش تسلیح با اتصال خارجی EBR و روش NSM است که بر اساس ایده کار گذاشتن مصالح مقاوم کننده در شیارهای تعبیه شده در سطح شکل گرفته است. با گسترش علم صنعت مقاوم سازی مشخص شد که روش رایج EBR دارای کاستی هایی مثل جدا شدن ورق FRP، نداشتن مقاومت و عملکرد مناسب در مقابل حرارت است. بنابراین روش نصب در نزدیک سطح NSM مورد قبول واقع شد [۳]. مبنای روش NSM قرار دادن میله یا ورقه های FRP در شیارهای تعبیه شده در سطح بتن و ایجاد پیوستگی لازم با اپوکسی است. به عبارت دیگر در روش NSM، همانطور که در شکل (۲) مشاهده می شود نوارها یا میلگردهای مصالح مقاوم کننده در شیارهایی که در وجه کششی بتن ایجاد شده اند، چسبانده می شوند و پوشش سیمانی و یا چسب اپوکسی روی آن ها قرار می گیرد. به طور کلی برخی از مزایای روش های NSM نسبت به روش EBR عبارتند از: بهبود پیوستگی و انتقال نیرو به بتن اطراف به دلیل محصور شدن نوار داخل شیار، محافظت از نوار در برابر عوامل محیطی خارجی و عدم نیاز به آماده سازی سطحی بتن بعد از ایجاد شیارها [۴].



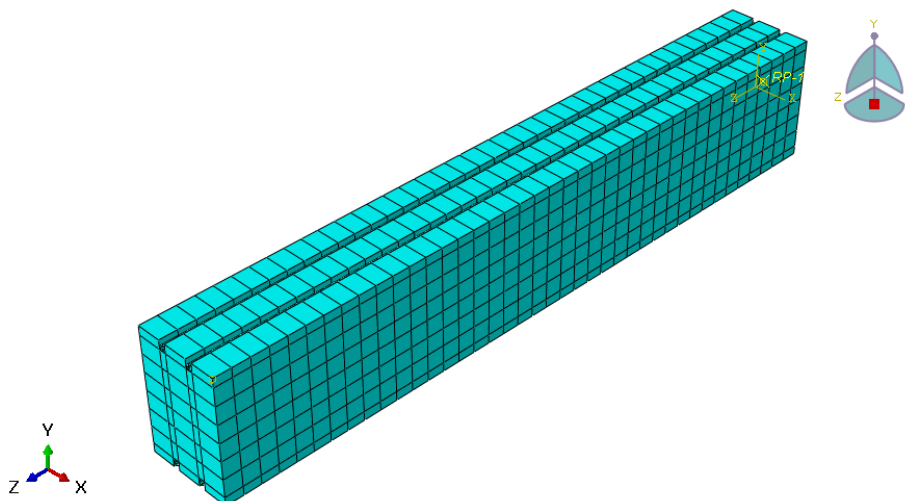
شکل ۲- حداقل ابعاد شیارها در روش نزدیک به سطح [۵]

در سال ۲۰۰۲ چانگ و یو به بررسی دوران تیر طره به وسیله روش اجزای محدود پرداختند. آن ها بر اساس یک روش مدلسازی دینامیکی با استفاده از تغییر شکل کششی به جای تغییر شکل محوری، سه معادله دیفرانسیل جزئی خطی از اصل همیلتون استخراج کردند. دو معادله دیفرانسیل خطی از طریق تغییرات کوچک کششی به هم متصل می‌شوند. معادله دیگر یک شکل جدا شده برای تغییر شکل تحت ضربه می باشد. آن ها همچنین به وسیله معادلات دیفرانسیل، رفتارهای فرکانس های طبیعی برای تغییر سرعت چرخش را مورد بررسی قرار دادند. علاوه بر این، آن ها پاسخ زمانی و توزیع تغییر شکل ها و تنش ها را هنگامی که سرعت چرخش تعیین می گردد را محاسبه کردند و اثرات پروفیل سرعت دوران بر روی ارتعاشات نیز بررسی کردند [۶]. در سال ۲۰۰۴، حسن و ریز کالا مطالعاتی جهت بررسی شرایط اتصال میلگردهای CFRP استفاده شده در روش NSM و بتن انجام دادند. نتایج این آزمایش، کارایی روش NSM در تعمیر و تقویت تیرهای بتنی را نشان داد. بار نهایی و کارایی میلگردهای FRP با افزایش طول میلگردها افزایش یافت. همچنین مشاهده گردید طول میلگردهای FRP وابستگی زیادی به ابعاد میلگردها، مشخصات بتن و چسب، نحوه تسلیح و عرض شیارها دارد. نتایج این تحقیق نشان داد که جنس میلگردهای به کار برده شده در روش NSM، اعم از فولادی یا پلیمری تاثیر زیادی در رفتار تقویتی این روش دارد [۷]. در سال ۲۰۱۱، لی و همکاران به بررسی اثر مقاوم سازی طره دال پل بتنی به روش NSM پرداختند. آن ها به مقایسه رفتار خمشی طره های تقویت شده آسیب دیده در نواحی لنگر منفی پرداختند. در این تحقیق انواع مختلف تقویت کننده های FRP از نظر شرایط سطح میلگرد، شکل مقطع میلگرد، جنس میلگرد و وضعیت پیش تنیدگی میلگردها مورد بررسی قرار گرفتند. بر طبق نتایج به دست آمده در این تحقیق، روش NSM روشی کارآمد در افزایش مقاومت تسلیم و نهایی طره های آسیب دیده است [۸]. در سال ۲۰۱۵، رویز و همکاران به بررسی رفتار مکانیکی تیرهای طره ساخته شده با سه نوع متفاوت بتن پرداختند. یک نمونه با بتن معمولی و دو نمونه با بتن الیافی با دو درصد الیاف مختلف از نوع فلزی ساخته شدند. تیر ها به منظور ارزیابی حلقه های منحنی چرخه ای و ظرفیت اتلاف انرژی تحت جابه جایی های رفت و برگشتی قرار گرفتند. آن ها نتیجه گرفتند که برای جابه جایی مشابه، تیرهای بتنی تقویت شده با الیاف فولادی ۱۶۰٪ انرژی بیشتری نسبت به تیرهای بتن مسلح معمولی تحمل کردند. علاوه بر این، الیاف فلزی مقدار و طول ترک ها را برای سطوح جابجایی بالا کاهش می دهند و این ویژگی ها می تواند برای بهبود عملکرد لرزه ای سازه های بتنی سودمند باشد [۹]. خاتمی و همکاران در سال ۱۳۹۰ به بررسی نقش ورق های فلزی در تقویت کنسول های بتن مسلح با استفاده از نرم افزار المان محدود پرداختند. آن ها نتیجه گرفتند که اگر ورق فلزی در بالای کنسول قرار داده شود تغییر مکان کمتری نسبت به زمانی که در پایین کنسول قرار داده شود ایجاد می کند. آن ها همچنین دریافتند که اگر ورق فلزی با طول بیشتری در تیر طره قرار گیرد به علت توزیع نیروی کششی در طول تیر، ورق فلزی رفتار بهتری در کشش از خود نشان می دهد [۲].

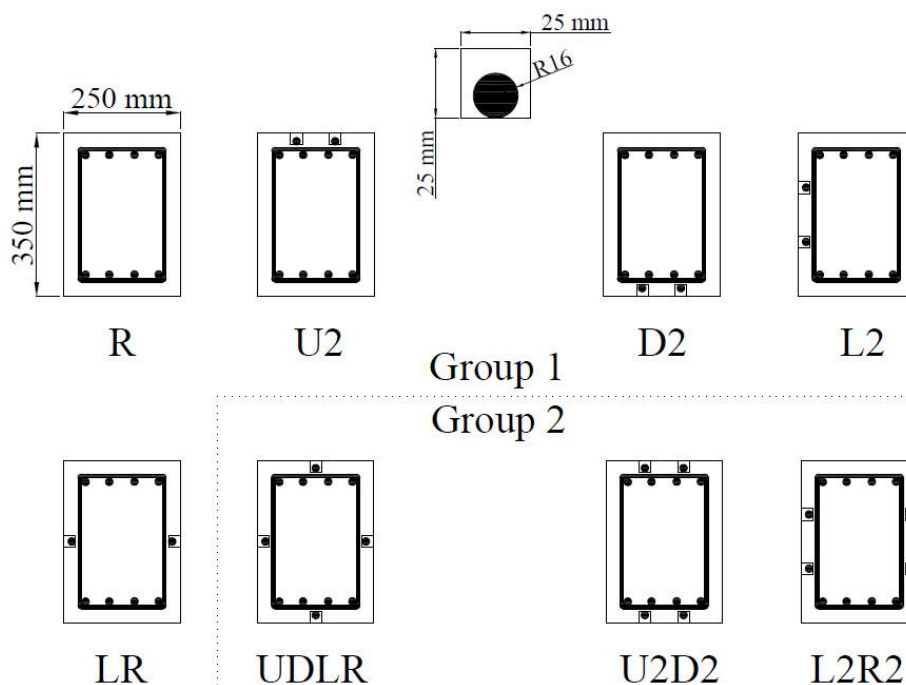
۲. مدل سازی عددی

در این مطالعه به منظور بررسی تعداد و محل شیار در روش نصب نزدیک به سطح و تاثیر آن روی ظرفیت باربری، جذب انرژی و سختی، ۸ تیر طره بتن آرمه مدل سازی گردید. یک نمونه به عنوان مرجع در نظر گرفته شده و ۴ تیر با دو شیار در محل های مختلف در روی تیر و ۳ تیر نیز با ۴ شیار در مکان های مختلف در روی تیر تقویت شد. مشخصات شیارها در شکل (۴) آورده شده است. مقطع تیر مستطیلی به ابعاد ۲۵۰×۳۵۰ میلی متر بوده و طول تیر نیز ۲ متر انتخاب شده است. برای مدل

سازی از نرم افزار اجزای محدود ABAQUS استفاده شده است [۱۰]. برای تقویت نمونه ها از فولاد مقاومت بالا به قطر ۱۶ میلی متر برای قرار گیری درون شیارها استفاده شده است. نمونه ها تحت بارگذاری متمرکز افزایشی در انتهای آزاد خود قرار گرفتند. مقاومت فشاری بتن ۲۰ مگاپاسکال در نظر گرفته شده است. برای اتصال میلگردهای مقاومت بالا با سطح بتن از قید Tie استفاده شده است. شکل ۳) مش بندی نمونه U2D2 را نشان می دهد.



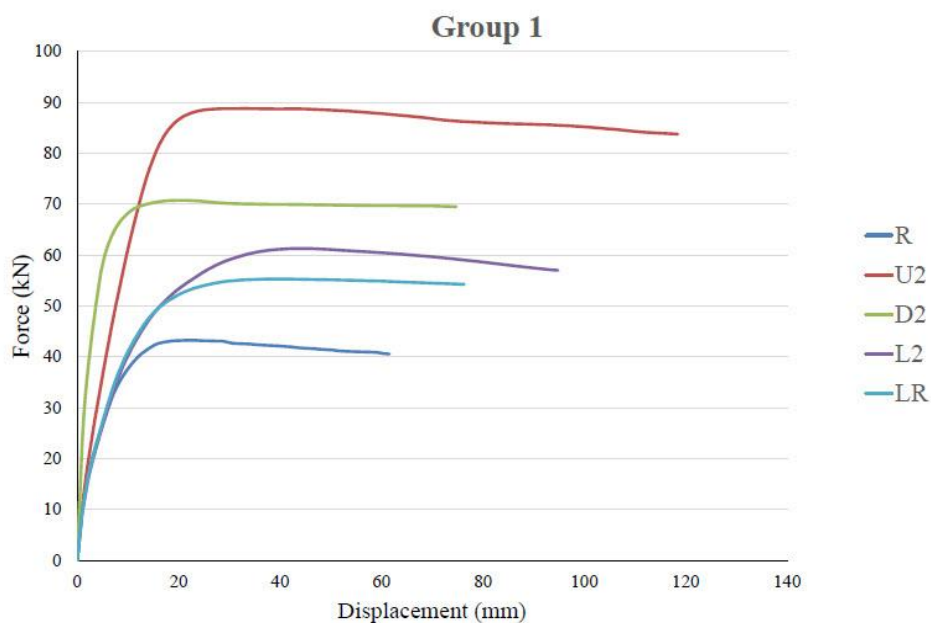
شکل ۳- مش بندی نمونه U2D2 در نرم افزار المان محدود



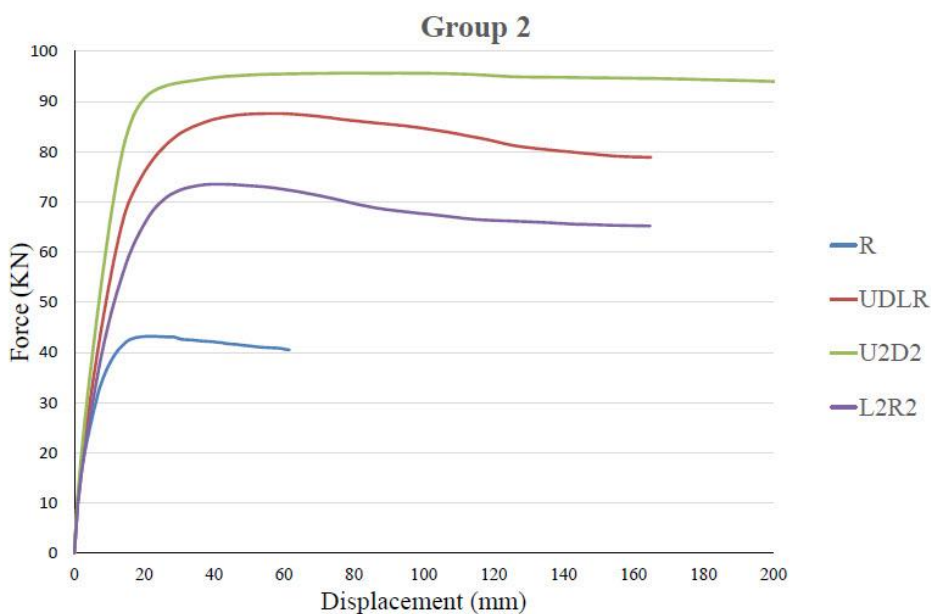
شکل ۴- روش های تقویت و نامگذاری نمونه ها

۳. تحلیل عددی

برای واضح تر شدن نتایج، نمونه ها به دو گروه تقسیم شدند. در گروه اول نمونه ها با دو شیار تقویت شدند در حالی که در گروه دوم از ۴ شیار برای تقویت تیرها استفاده شد. در شکل (۵) و (۶) نمودار نیرو-جابجایی نمونه ها در هر دو گروه به همراه نمونه مرجع آورده شده است. در جدول (۱) نیز مقدار حداکثر باری که هر ستون تحمل می کند و همچنین در مقایسه با نمونه مرجع آورده شده است.



شکل ۵- نمودار نیرو-تغییر مکان گروه اول



شکل ۶- نمودار نیرو-تغییر مکان گروه دوم

همان گونه که از جدول (۱) مشاهده می گردد در گروه اول تقویت با دو شیار در بالای تیر و در گروه دوم تقویت با دو شیار در بالا و دو شیار در پایین تیر بیشترین تاثیر را در افزایش ظرفیت باربری تیر طره دارند. همچنین در بین روش های تقویت نزدیک به سطح، نمونه های U2 و U2D2 بیشترین تغییر مکان را در انتهای آزاد از خود نشان دادند. با مشاهده نمودارهای گروه اول و دوم می توان دریافت که مساحت زیر نمودار U2 و D2 در گروه اول و U2D2 و UDLR در گروه دوم بیشترین مقدار را دارند که این ناشی از جذب انرژی بیشتر توسط این نمونه ها می باشد. در جدول (۲) مساحت زیر منحنی نمونه های مختلف آورده شده است. از نظر سختی نیز مشاهده می شود که در گروه اول به ترتیب نمونه های D2 و U2 دارای بیشترین سختی و مابقی نمونه ها نیز سختی یکسانی دارند و در گروه دوم نیز به ترتیب نمونه های U2D2، UDLR و L2R2 بیشترین سختی را از خود نشان داده اند.

جدول ۱- نتایج حاصل از تحلیل عددی در نمونه ها

Group 1			Group 2		
نام نمونه	حداکثر بار (kN)	درصد افزایش نسبت به نمونه مرجع	نام نمونه	حداکثر بار (kN)	درصد افزایش نسبت به نمونه مرجع
U2	88.76	105.35	R	43.22	---
D2	70.72	63.61	UDLR	87.59	102.64
L2	61.26	41.72	U2D2	95.63	121.24
LR	55.27	27.87	L2R2	73.52	70.09

جدول ۲- مساحت زیر نمودار در نمونه ها

Group 1		Group 2	
نام نمونه	مساحت (kN.mm)	نام نمونه	مساحت (kN.mm)
U2	1.64E+04	R	2.41E+03
D2	8.04E+03	UDLR	1.31E+04
L2	7.56E+03	U2D2	1.95E+04
LR	5.46E+03	L2R2	1.08E+04

۴. نتیجه گیری

در این مطالعه با استفاده از نرم افزار اجزای محدود، تیرهای بتنی با روش NSM در دو گروه (گروه اول با ۲ شیار و گروه دوم با ۴ شیار) تقویت شدند. هدف مطالعه بررسی تعداد و محل شیارها روی نتایج حاصله بود. نتایج حاصل از مدل سازی عددی تیرهای طره تقویت شده با روش نزدیک به سطح نشان از تاثیر خوب این روش در تقویت این گونه تیرها دارد. به کارگیری این روش همچنین باعث افزایش تغییر مکان در انتهای آزاد تیر طره شده و علاوه بر آن ظرفیت باربری را نیز افزایش می دهد. با توجه به نتایج به دست آمده می توان نتیجه گرفت که وجود دوشیار در بالا و دو شیار در پایین تیر بهترین عملکرد را از نظر افزایش ظرفیت باربری در روش تقویت نزدیک به سطح دارد به گونه ای که تاثیر شیارهای بالا در افزایش ظرفیت باربری بیشتر می باشد. همچنین وجود دوشیار در بالا و دو شیار در پایین بهترین عملکرد را نیز از نظر سختی و جذب انرژی از

خود نشان داده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که ایجاد شیار در کناره‌های تیر تاثیر کمتری در افزایش ظرفیت باربری و جذب انرژی دارد به گونه‌ای که وجود دو شیار در بالای تیر عملکرد بهتری نسبت به ۴ شیار در کناره‌های تیر دارد. در تیرهای تقویت شده با دو شیار نیز وجود دو شیار در بالای تیر بهترین عملکرد را از نظر ظرفیت باربری و جذب انرژی داشته اند اما از نظر سختی وجود دو شیار در پایین تیر عملکرد بهتری را دارد.

مراجع

- [1] Capozucca R. Vibration of CFRP cantilever beam with damage. *Compos Struct* 2014;116:211–22. doi:10.1016/j.compstruct.2014.04.027.
- [2] محمد خ، مهدی ز، رضا مع. بهسازی تیر طره بتن مسلح با ورق فلزی. ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۶ و ۷ اردیبهشت ۱۳۹۰، دانشگاه سمنان.
- [3] مهسا ص، علی خ، سعید کم. تقویت تیرهای بتن آرمه به روش ترکیبی EBR و NSM
- [4] Jin L, Du X, Li D, Su X. Seismic behavior of RC cantilever beams under low cyclic loading and size effect on shear strength: An experimental characterization. *Eng Struct* 2016;122:93–107. doi:10.1016/j.engstruct.2016.04.048.
- [5] Committee A. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures Reported by ACI Committee 440. *Acı* 2002;440:45.
- [6] CHUNG J, YOO HH. DYNAMIC ANALYSIS OF A ROTATING CANTILEVER BEAM BY USING THE FINITE ELEMENT METHOD. *J Sound Vib* 2002;249:147–64. doi:10.1006/jsvi.2001.3856.
- [7] Rizkalla TKH and SH. Bond Mechanism of Near-Surface-Mounted Fiber-Reinforced Polymer Bars for Flexural Strengthening of Concrete Structures. *ACI Struct J* 2004;101. doi:10.14359/13458.
- [8] Lee D, Cheng L. Assessing the Strengthening Effect of Various Near-Surface-Mounted FRP Reinforcements on Concrete Bridge Slab Overhangs. *J Compos Constr* 2011;15:615–24. doi:10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000182.
- [9] Universidad Católica de Chile. Departamento Ingeniería de Construcción. D, Universidad Católica de Chile. Departamento Ingeniería y Gestión de Construcción. C, Logreira L, León M. *Revista ingeniería de construcción*. vol. 30. [Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería, Departamento Ingeniería de Construcción]; 2015.
- [10] Abaqus 6.14 Documentation n.d. <http://abaqus.software.polimi.it/v6.14/index.html> (accessed June 8, 2018).