

Modification the Direct Shear Test Box for Testing on the Non-Persistent Joints in Concrete

vahab sarfarazi^{1*}, hadi haeri², SI. Moosavi mirsalari³

1- Associate Professor, Hamedan University of Technology, Hamedan, Iran Sarfarazi@hut.ac.ir

2,3- Rahsazi & Omran Iran construction Company, Tehran, Iran

Abstract

The discontinuities are formed in different levels of concrete as a result of various curing processes. There are only few cases where cause and location of failure of a concrete structure are limited to a single discontinuity. Usually several discontinuities of limited size interact and eventually form a combined shear plane where failure takes place. So, besides the discontinuities themselves, the regions between adjacent discontinuities, which consist of strong concrete and are called concrete bridges, are of utmost importance for the shear strength of the compound failure plane. Also, the coalescence of non-persistent joints is an important factor in controlling the mechanical behavior of brittle rocks and can be caused concrete failure in slopes, foundations and tunnels. Therefore, a comprehensive study on the shear behavior of non-persistent joint can provide a good understanding of both local and general concrete instabilities, leading to an improved design for concrete engineering projects. From last decade, direct shear test have been used to study shear behavior of echelon joint. Whereas, only one horizontal shear failure surface can be formed within the shear box therefore, it's not possible to perform shear test on the echelon non-persistent joint. This paper introduces the modified shear box so the shear test can be performed on the both of the overlapped and non-overlapped echelon joint. For this purpose, steel segments were situated in both sides of shear box. These steel segments are used for transition of shear load from shear box to concrete samples. The steel segments were situated in different levels so that it is possible to define horizontal non-persistent joint in the samples. The results show that the tensile crack propagates parallel to shear loading direction in non-overlapped joint while it propagates perpendicular to shear loading in non-overlapped joint.

Key word: Modified Direct Shear Box, Overlapped and Non-Overlapped Echelon Joint, Concrete Bridge.

تصحیح جعبه دستگاه برش مستقیم بمنظور کاربری روی درزه های ناممتد

پلکانی هم پوشان و غیر همپوشان در بتن

دریافت مقاله: ۱۳۹۶-۱۲-۰۹

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸-۰۹-۱۹

وهاب سرفرازی*

دانشیار گروه معدن، دانشگاه صنعتی همدان، همدان

Sarfarazi@hut.ac.ir

هادی حائری

مدیر تحقیق و توسعه شرکت راهسازی و عمران ایران، تهران، ایران

سید ایمان موسوی میرسالاری

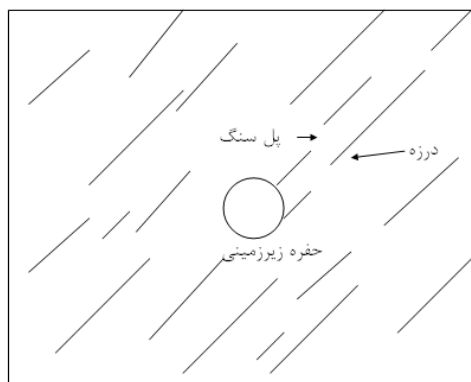
قائم مقام مدیر عامل، شرکت راهسازی و عمران ایران، تهران، ایران

چکیده

برای فرایندهای مختلف عمل آوری بتن، ناپیوستگیها در ترازهای مختلف بتن ایجاد می شوند. در حالتی کمی این امکان وجود دارد که شکست ساختارهای بتنی به یک ناپیوستگی مجزا محدود گردد بلکه چندین ناپیوستگی ناهمسطح با یکدیگر اندرکنش داده و سرانجام سطح برش ترکیبی در بتن گسترش می یابد. از اینرو، علاوه بر ناپیوستگی ها، سگمنت های بتنی بین آنها بیشترین تاثیر را بر مقاومت برشی سطح شکست دارند. همچنین شروع، گسترش و یکپارچگی ترک در درزه های ناممتد پلکانی از فاکتورهای مهم در کنترل رفتار مکانیکی ساختارهای بتنی نظیر شیبه ها، پی بتنی و تونلها می باشد. بنابراین مطالعه رفتار شکست برشی درزه های ناممتد پلکانی می تواند درک خوبی را از ناپایداریهای موضعی و کلی در ساختارهای بتنی فراهم آورد و منجر به بهبود طراحی در پروژه های مهندسی بتن گردد. آزمایش برش مستقیم یکی از آزمایشهای استاندارد می باشد که در دهه های اخیر جهت مطالعه رفتار برشی درزه های ناممتد بکار گرفته شده است. از آنجایی که در جعبه برش معمول فقط یک سطح شکست افقی قابل شکل گیری است، بنابراین انجام آزمایش روی درزه های ناممتد پلکانی امکان پذیر نمی باشد. در این مقاله، به معرفی جعبه برش اصلاح شده پرداخته می شود بگونه ای که با استفاده از آن بتوان آزمایشهای برش بر درزه های ناممتد پلکانی همپوشان و غیر همپوشان انجام داد. برای این منظور سگمنت های فولادی در طرفین جعبه برش قرار می گیرد که وظیفه انتقال بار از جعبه برش به نمونه بتنی را بر عهده دارد. این سگمنتها در تراز های متفاوتی نسبت به کف جعبه برش قرار دارند تا بتوان درزه های ناممتد افقی را در ترازهای متفاوتی تعبیه نمود. نتایج نشان می دهد که در درزه های ناممتد غیر همپوشان، ترک های کششی بموازات محور بارگذاری برشی ایجاد می شود درحالیکه در درزه های ناممتد هم پوشان ترک کششی عمود بر محور بارگذاری برشی رشد می کند.

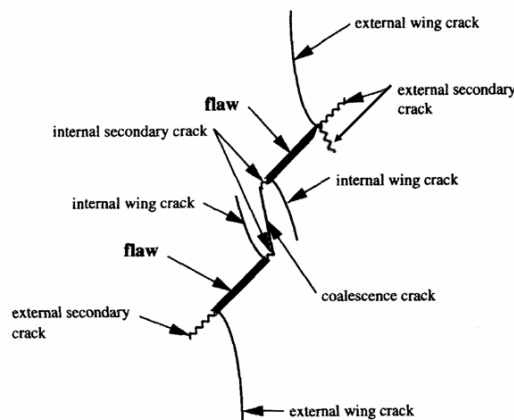
کلمات کلیدی: جعبه برش مستقیم اصلاح شده، درزه های ناممتد پلکانی همپوشان و غیر همپوشان، پل بتن..

ناپیوستگی ها از انواع مختلف، نقش بسزایی را در پروسه شکست بتن ایفا می کنند. روش تحلیل پایداری شیب های بتنی و یا دیگر سازه های بتنی در صورت حضور ناپیوستگیها، بطور معمول شامل فرض وجود سطح گسیختگی ممتد در بتن می باشد. از اینرو، تحلیل پایداری در تعدادی از شیبهای بتنی و یا گوه های مستعد لغزش، نشان داده است که فاکتور ایمنی در آنها کمتر از واحد بوده و نتیجتاً ناپایدار قلمداد گردیده اند. این درحالیست که، در عمل مشاهده شده است که این ساختارها به خوبی پایدار هستند. چرا که بسیاری از درزه ها که از نظر جهت و امتداد در وضعیت مناسب، برای تشکیل سطح گسیختگی و ایجاد ناپایداری قرار دارند، در واقع از نظر پیوستگی و تداوم صد درصد کامل نمی باشند و توسط پل های بتنی (Concrete Bridges) از یکدیگر مجزا شده اند. لذا برای تشکیل سطح شکست، بایستی ابتدا پل های بتنی گسیخته شده و گسیختگی آنها به درزه های مقطع مجاور سرایت نماید تا سطح شکست کامل و ممتد گردد. در این میان، نواحی بین ناپیوستگیهای مجاور که به پل بتن معروفند، بیشترین اهمیت در بالا بردن مقاومت برشی صفحه شکست را دارند (انشتین و همکاران ۱۹۸۳). یکی از دلایل اینکه پل بتن مقاومت برشی صفحه شکست را افزایش می دهند این است که قبل از وقوع لغزش، ابتدا بایستی پل بتن گسیخته شده تا ترک حاصل از آن، به درزه های مقطع مجاور سرایت نماید. همچنین زمانی که سطح درزه توسط پل بتن محدود می گردد (شکل ۱)، هیچگونه اتساع و جابجایی برشی در جهت نرمال و موازی سطح برش اتفاق نمی افتد که منجر به افزایش مقاومت سطح برش می گردد.



شکل ۱- پایداری سطح لغزش با نگهدارنده داخلی؛ پل بتن.

بنابراین چنانچه پل بتن در تشکیلات بتنی، درصد کمی از مساحت درزه را اشغال کنند می توانند بعنوان سیستم نگهداری داخلی عمل کرده و بار زیادی را تحمل کنند. بررسی این نگهدارنده ها در حفريات زیرزمینی، حداقل برای کوتاه مدت، می تواند منجر به کاهش ملزومات نگهداری خارجی، کاهش هزینه ها و افزایش پیشروی موثر تونل گردد. بطور مثال در شکل ۱، مقاومت برشی پل بتن منجر به پایداری سطح شکست می شود. روشهای متفاوتی می تواند برای مطالعه مقاومت بتنهای دارای درزه های ناممتد استفاده شود. مشاهدات فیلد، راه حل های تحلیلی، مطالعات عددی (با استفاده از نرم افزارهای تجاری موجود) یا تستهای آزمایشگاهی. تستهای آزمایشگاهی یک رویه جالب می باشند زیرا آنها می توانند مکانیزم شکست پل بتن را آشکار کنند که ممکن است بوسیله دیگر روشها امکان پذیر نباشد. تست های آزمایشگاهی همچنین برای کالیبره کردن راه حل های تحلیلی و مطالعات آزمایشی مفید هستند. بعضی نتایج بدست آمده از آزمایشات مختلف در پاراگرافهای ادامه خلاصه شده است. شن (۱۹۹۵)، بوبت (۲۰۰۰) و ونگ (۲۰۰۱) پیشروی و یکپارچگی ترک را در نمونه های بتنی و شبه بتنی حاوی درزه های ناممتد باز تحت فشار تک محوره مورد مطالعه قرار دادند. الگوی شکست مشترک در این نمونه ها عبارتست از (شکل ۲):



شکل ۲- الگوی شکست در نمونه های شبه بتنی تحت فشار تک محوره (شن ۱۹۹۵).

۱- ترکهای باله ای (Wing cracks) که در نوک درزه ها ایجاد می شوند و در یک مسیر منحنی شکل با افزایش بار پیشروی می کنند. ترک های باله ای، ترک های کششی هستند که در یک وضعیت پایدار رشد می کنند و برای پیشروی به افزایش بارگذاری نیازمند هستند. ۲- ترک های ثانویه و یا ترک ها برشی که در نوک درزه ها ایجاد می شوند (Secondary cracks). دو مسیر برای ادامه پیشروی ترک های ثانویه وجود دارد: ۱- در امتداد درزه های اولیه و ۲- با شیبی مشابه با ترک های باله ای اما در جهت مخالف.

موغیدا (۲۰۰۴ و ۲۰۰۶)، یکپارچگی ترک را در نمونه های شبه بتنی حاوی درزه های ناممتد باز هم پوشان و غیر هم پوشان تحت فشار تک محوره و دو محوره بررسی نمود. آزمایشات نشان دادند که زمانی که درزه های ناممتد در وضعیت هم پوشان قرار دارند، شکست کششی در پل بتن ایجاد می گردد و با غیر هم پوشان شدن درزه ها، تمایل به شکست ترکیبی و برشی در پل بتن افزایش می یابد. نتایج آزمایش دو محوره نیز حاکی از آن بود که با افزایش فشار جانبی، ترک های برشی و یا ترکیبی در شکست پل بتن تاثیر گذار هستند.

بوبت و انشتین (۱۹۹۸)، یکپارچگی ترک در مواد شبه بتنی حاوی جفت درزه ناممتد باز و بسته تحت فشار تک محوره مورد کاوش قرار دادند. این تحقیق نشان داد که مقاومت پل بتن محصور بین جفت درزه های بسته بیشتر از مقاومت پل بتن محصور بین جفت درزه های باز می باشند. لاجتای (۱۹۶۹) آزمایش برش مستقیم را روی نمونه های بتن طبیعی که دارای دو درزه ناممتد صفحه ای بودند انجام داد. آزمایش نشان داد که در ابتدا ترک های کششی در نوک درزه ها ایجاد می شوند و در طی آزمایش ترک های برشی باعث یکپارچگی درزه های ناممتد می گردند. همچنین نتایج حاکی از این بودند که با افزایش تنش نرمال، مود شکست از کششی به برشی تغییر می کند.

ونگ و همکاران (۲۰۰۱) مقاومت برشی و الگوی شکست مدل های شبه بتنی حاوی درزه های ناممتد باز صفحه ای را تحت برش مستقیم مطالعه کرد. نتایج نشان دادند که الگوی شکست بوسیله فاصله داری درزه ها کنترل می شود و مقاومت برشی تحت تاثیر الگوی شکست قرار می گیرد.

قزوینیان و همکاران (۲۰۰۸) رفتار برشی نمونه های دارای درزه های ناممتد صفحه ای را براساس تعداد و امتداد یافتگی پل بتن (در مساحت ثابت پل بتن) مطالعه نمود. نتایج نشان دادند که مود شکست و مکانیزم شکست پل بتن، توسط امتداد یافتگی آن کنترل می شود؛ بگونه ای که تغییر در امتداد یافتگی پل بتن که باعث افزایش درزه شدگی در مسیر برش می گردد، می تواند منجر به تغییر مود شکست از برشی به کششی شود و مقاومت سطح لغزش را کاهش دهد. همچنین افزایش در تعداد پل بتن ها در مساحت ثابت پل بتن، مقاومت سطح لغزش را افزایش می دهد.

در مطالعات اخیر، مود شکست پل بتن در شرایط تک محوره، دو محوره و برش مستقیم (در درزه های ناممتد صفحه ای) مورد ارزیابی قرار گرفته است. این درحالیست که مطالعه رفتار برشی درزه های ناممتد پلکانی در شرایط برش مستقیم چندان مورد ارزیابی قرار نگرفته است. این مهم ناشی از ضعف جعبه برش مستقیم معمولی می باشد؛ چراکه جعبه برش بگونه ای بارگذاری را منتقل می نماید که سطح شکست فقط در یک تراز افقی قابل شکل گیری می باشد. از آنجاییکه در درزه های ناممتد پلکانی، سطح شکست بصورت مورب نسبت به امتداد بارگذاری ایجاد می شود لذا محدودیت بارگذاری در دستگاههای معمولی منجر به عدم اجرای تست برش مستقیم بر درزه های ناممتد پلکانی می گردد.

این مقاله، اصلاحات صورت گرفته روی جعبه برش معمولی را معرفی می کند بگونه ای که بتوان با جعبه برش اصلاح شده آزمایش برش مستقیم بر درزه های ناممتد پلکانی انجام داد. علاوه بر اصلاح جعبه برش، متدولوژی ساخت نمونه های مصنوعی حاوی درزه های ناممتد پلکانی نیز معرفی شده و با ارائه نتایج آزمایشهای برش مستقیم بر درزه ای ناممتد پلکانی، امکان سنجی انجام آزمایش مورد تایید قرار گرفته است.

۱- معرفی و اصلاح ماشین برش مستقیم بزرگ مقیاس

۱-۱- ماشین برش مستقیم بزرگ مقیاس با جعبه برش معمولی:

برای آزمایش برش درزه های ناممتد پلکانی، دستگاه برش مستقیم MTS (Shear Test Machine) بکار گرفته شده است. شکل ۳ نمایی از دستگاه برش مستقیم را نشان می دهد. این دستگاه از سه واحد اصلی تشکیل شده که در شکل ۴ اجزای اصلی این سه واحد بصورت شماتیک نشان داده شده است.



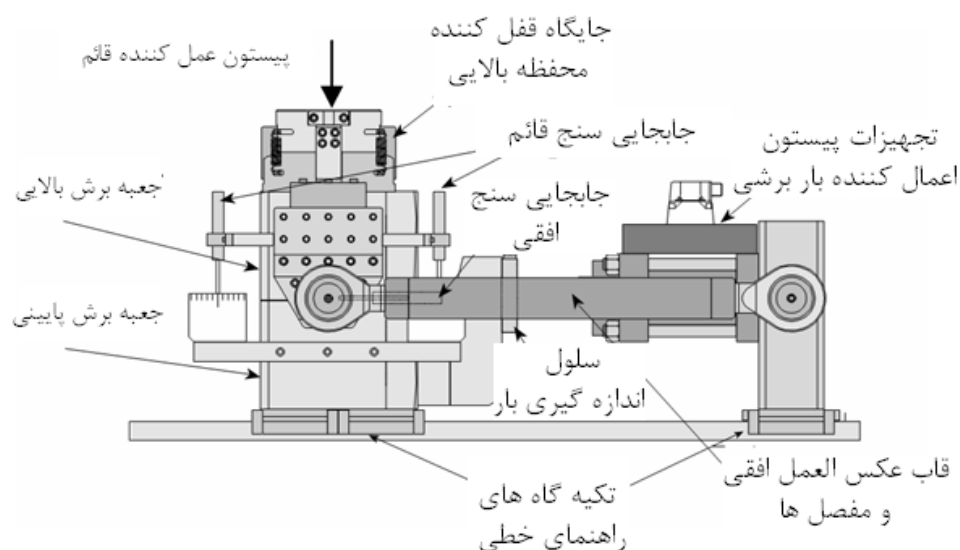
شکل ۳- دستگاه برش مستقیم MTS

۱) سیستم هیدرولیکی قابل کنترل:

این سیستم شامل ۲ جک بارگذاری افقی و ۱ جک بارگذاری عمودی می باشد که به ترتیب تنش برشی و نرمال را روی سطح برش اعمال می کنند. نیروهای نرمال و برشی توسط سیلندرهای هیدرولیکی، از طریق پمپ هیدرولیکی قابل کنترل، به نمونه اعمال می شوند. ظرفیت بار نرمال برابر با ۵۰۰ KN و ظرفیت بار برشی برابر ۲۵۰ KN می باشد. نیروی برشی از طریق نیروهای عکس العمل روی دو بازوی افقی حمایت می شود.

۲) واحد ابزار دقیق:

در این سیستم، دو سلول بار دیجیتال (با ظرفیت ۵۰۰ kN و ۲۵۰ kN) توسط میله هایی در دو طرف جعبه برش نصب گردیده که برای اندازه گیری بار نرمال و برشی مورد استفاده قرار می گیرند. همچنین جابجایی سنجهایی که به صورت افقی و عمودی در تماس با جعبه برش پایینی و بالایی هستند به اندازه گیری جابجایی های برشی و نرمال می پردازند. ماکزیمم جابه جایی برش دستگاه ۵۰ mm می باشد. داده های اندازه گیری شده توسط سیستم ثبت داده که به کامپیوتر متصل است، ذخیره می گردد.



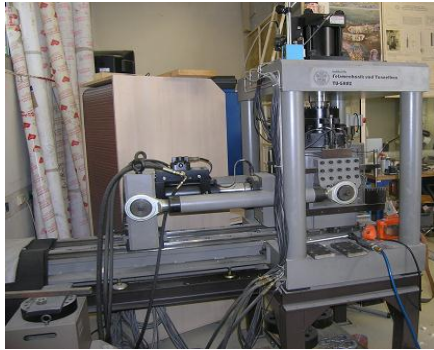
شکل ۴- نمای شماتیکی از دستگاه برش مستقیم

۳) واحد جعبه برش: جعبه برش دارای ابعاد $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ می باشد. همانگونه که در شکل ۹ مشاهده می شود، جعبه برش از دو نیم جعبه بالایی و پایینی با ارتفاع 16 cm تشکیل شده است. در حین فرایند برش، جعبه بالایی ثابت بوده مادامیکه جعبه پایینی تا لحظه شکست پل بتن در حرکت می باشد. جعبه بالایی به یک جفت میله های مهاری متصل است که امکان جابجایی قائم و چرخش جعبه را فراهم می سازند.

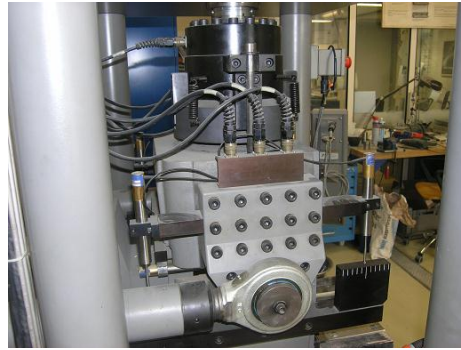
شکل ۵- الف، ب و ج نیز نماهای روبرو، کنار و عقب ماشین را ارائه می کند. به این ترتیب که شکل ۵-الف، قاب دستگاه، جعبه برش و پیستون بارگذاری بار نرمال را نشان می دهد. شکل ۵-ب، بازوهای اعمال بار را به تصویر می کشد و شکل ۵-ج نمایی از جابجایی سنجها و پیستون بارگذاری برشی را ارائه می نماید.



(الف)



(ب)



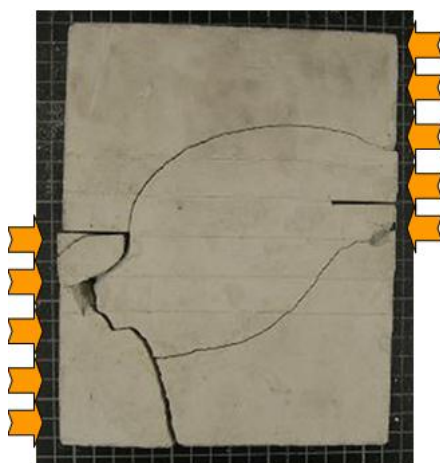
(ج)



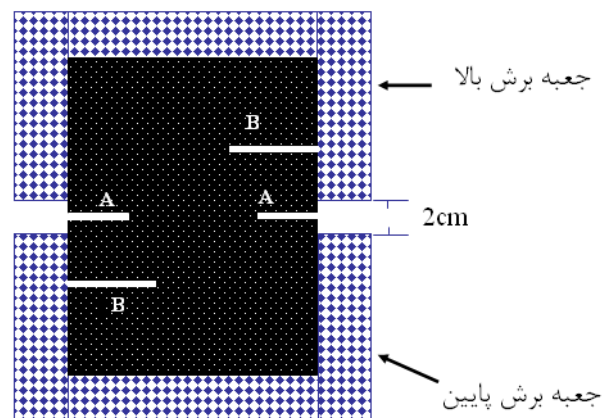
شکل ۴ - نماهای مختلف دستگاه برش مستقیم MTS، الف) نمای روبرو، ب) نمای کناری و ج) نمای عقب.

۱-۲- اصلاح جعبه برش مستقیم معمولی:

از آنجاییکه فاصله بین جعبه بالا و پایین ۲cm است، بنابراین فقط یک سطح شکست افقی در نمونه آزمایشگاهی قابل شکل گیری می باشد. از اینرو فقط می توان آزمایش برش مستقیم را روی درزه های ناممتد صفحه ای انجام داد (جفت درزه AA در شکل ۶-الف). این در حالیکه در آرایش پلکانی درزه های ناممتد (جفت درزه BB در شکل ۶-الف)، دیواره های جعبه برش به طور کامل با درزه های BB در تماس هستند بگونه ای که بار برشی روی سطح درزه اعمال نمی گردد و با جابجایی برشی، شکست در نواحی بکر، نه پل بتن، اتفاق می افتد (شکل ۶-ب).



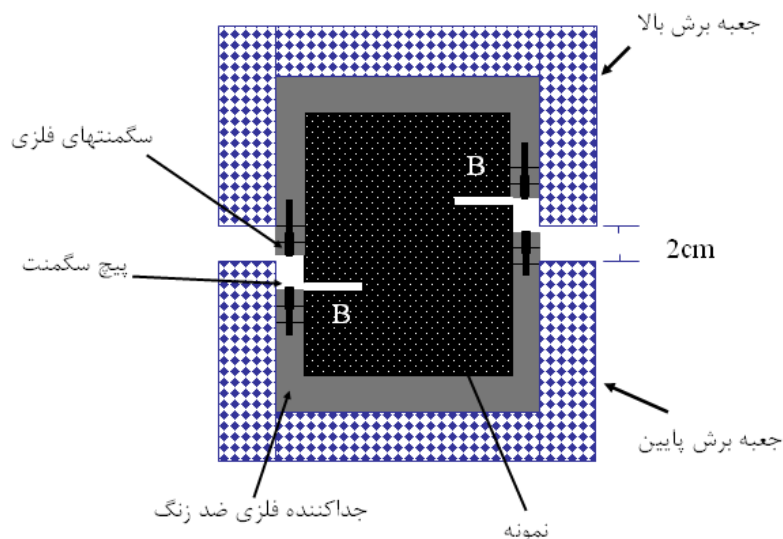
(ب)



(الف)

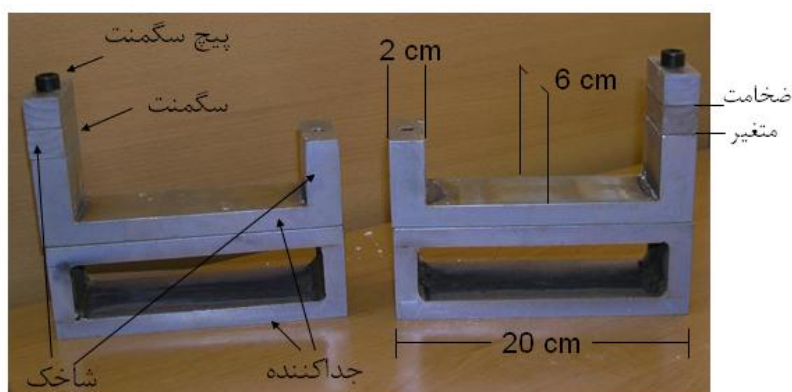
شکل ۶-الف) نمونه حاوی درزه های ناممتد صفحه ای AA و درزه های ناممتد پلکانی BB در جعبه برش، ب) شکست غیر استاندارد درزه های ناممتد پلکانی بدلیل بکارگیری جعبه برش معمولی.

برای غلبه بر این مشکل از جداکننده های فولادی ضد زنگ که بین نمونه و جعبه برش قرار می گیرند استفاده گردید (شکل ۷).



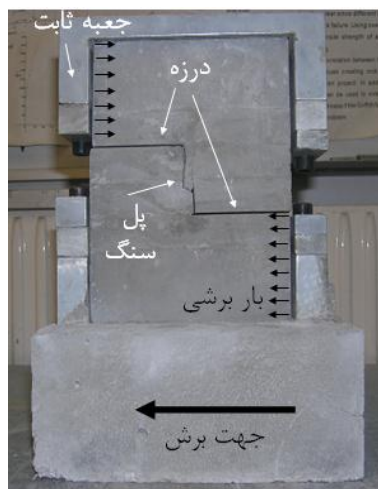
شکل ۷- جداکننده های فولادی ضد زنگ بین نمونه و جعبه برش.

این جداکننده ها دارای طول ۲۰ cm و عرض ۵ cm می باشند بطوریکه بتوانند درون جعبه برش جای گیرند. ضخامت جداکننده ها در قسمت های میانی ۲ cm است ولی قسمت های انتهایی جداکننده که به صورت شاخک می باشند دارای ضخامت متغیر هستند. این شاخکها از سگمنتهای مجزا که توسط پیچ سگمنت به یکدیگر متصل هستند، تشکیل شده است (شکل ۸).

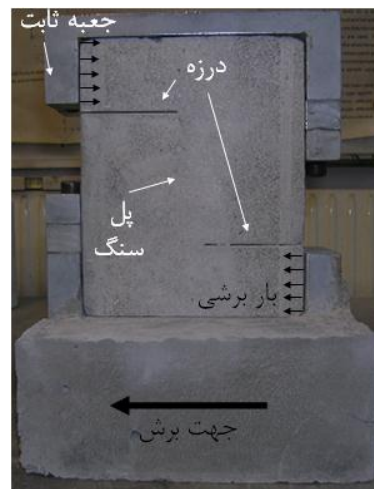


شکل ۸- جداکننده ها به همراه سگمنتهای و پیچ سگمنتهای.

سگمنتهای دارای طول ۶ cm، عرض ۲ cm و ضخامت متغیر می باشند. با توجه به موقعیت قرارگیری درزه ناممتد پلکانی در جعبه برش، می توان از سگمنتهای با ضخامت مطلوب استفاده کرد تا لبه جداکننده در محل مناسبی نسبت به لبه درزه قرار گیرد و بار برشی به صورت ایده ال روی سطح درزه اعمال گردد (شکل ۹).



(ب)



(الف)

شکل ۹- نحوه تغییر سگمنت‌های شاخکها بمنظور اعمال بار برشی ایده ال بر درزه؛ (الف) زاویه رباط 75° و طول رباط 36 mm ، (ب) زاویه رباط 90° و طول رباط 18 mm .

همانگونه که از شکل ۹ مشاهده می شود جداکننده فلزی پایینی، درون یک بلوک سیمانی با ابعاد $20 \times 20\text{ cm}$ محصور شده است. علت این مهم، برقراری تماس کامل بین جعبه برش و نمونه و همچنین ثابت ماندن جداکننده‌ها در جعبه برش، با ابعاد $20 \times 20\text{ cm}$ ، در طی بارگذاری برشی می باشد (شکل ۱۰).



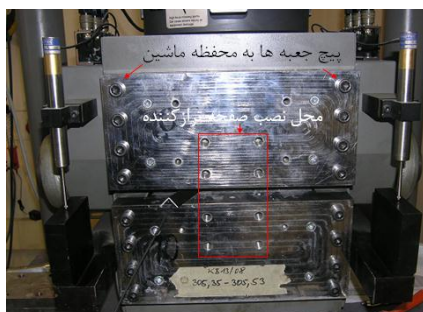
شکل ۱۰- ثابت شدن جداکننده پایینی در جعبه برش توسط دوغاب سیمان سخت شده.

بعد از قرارگیری نمونه درون جداکننده های فلزی و ثابت شدن درون جعبه برش، این مجموعه درون محفظه ماشین برش قرار می گیرد. گفتنی است که جعبه برش بالا و پایین توسط صفحه تراز کننده که به جعبه ها پیچ می شود، در یک راستا قرار می گیرند. از آنجاییکه فضای خالی استاندارد بین جعبه ها 2 cm است، لذا جداکننده های فلزی با ضخامت 2 cm بین جعبه ها قرار گرفته که به این ترتیب پیچ نمودن صفحه تراز کننده در محل خود براحتی انجام می شود (شکل ۱۱-الف). این صفحه هر گونه جابجایی جعبه ها را محدود می کند. بعد از قرارگیری جعبه درون محفظه ماشین، جعبه ها به محفظه ماشین پیچ شده و صفحه تراز کننده از آنها جدا می گردد (شکل ۱۱-ب). بدین ترتیب در غیاب صفحه تراز کننده، بار توسط بازوهای کناری به جعبه پایین وارد می شود و این جعبه می تواند جابجایی برشی داشته باشد. جعبه برش بالایی نیز که به محفظه بالا پیچ شده است در جهت نرمال دارای جابجایی است. بعد نصب جعبه ها درون ماشین، می توان آزمایش برش مستقیم را بر روی درزه های ناممتد

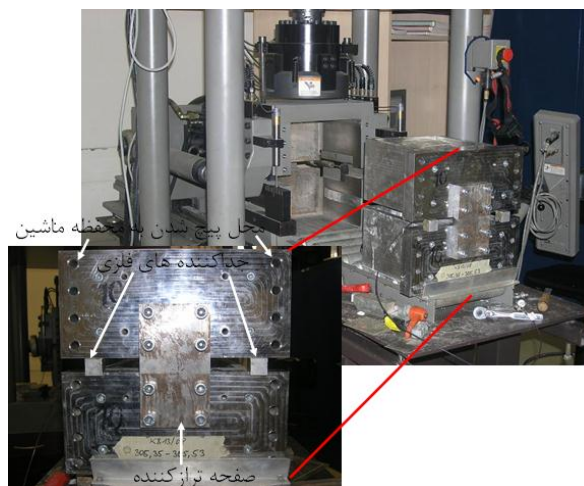
پلکانی انجام داد. قبل از ارائه روند انجام آزمایش، به چگونگی آماده سازی نمونه های حاوی درزه های ناممتد پلکانی پرداخته می شود.

۲- آماده سازی نمونه های حاوی درزه های ناممتد پلکانی

مواد استفاده شده در آماده سازی نمونه ها ترکیبی از گچ، سیمان، و آب با درصد وزنی گچ ۳۷/۵٪، سیمان ۲۵٪ و آب ۳۷/۵٪ می باشد. ترکیب، قالب گیری و عمل آوری نمونه ها به دقت انجام می شود تا نمونه های همگن و ایزوتروپ حاصل گردد. ترکیب مواد توسط یک مخلوط کن انجام می شود. برای اطمینان از حداکثر همگنی و ایزوتروپی در نمونه ها، در ابتدا گچ و سیمان با یکدیگر ترکیب شده و سپس آب به آنها اضافه می شود. مواد مخلوط شده در ۱۰ دقیقه جامد می گردد. این بدین معنی است که مرحله مخلوط سازی باید با سرعت انجام شود تا نمونه همگنی فراهم شود.



(ب)

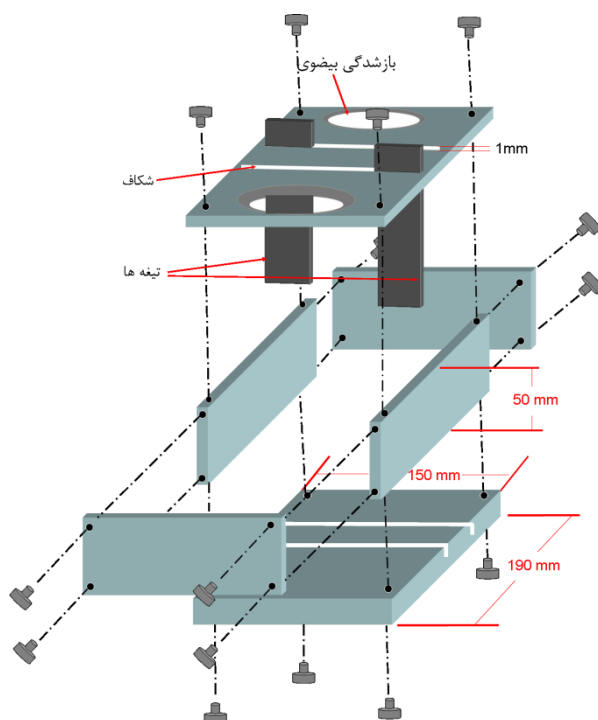


(الف)

شکل ۱۱- الف) صفحه تراز کننده جعبه های برش بمنظور ثابت شدن و همراستا شدن جعبه های برش، ب) پیچ شدن جعبه های برش به محفظه نمونه و جدا شدن صفحه تراز کننده از جعبه های قبل از شروع آزمایش.

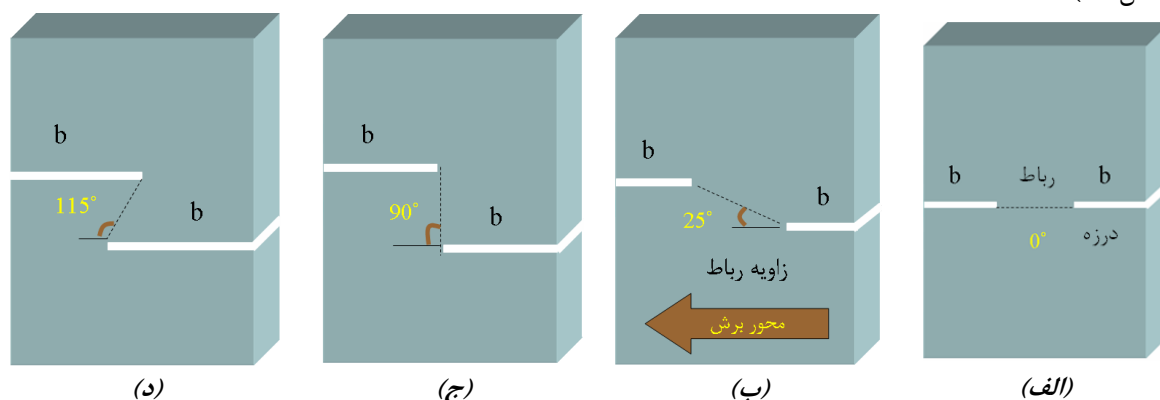
برای آماده سازی نمونه های دارای درزه های ناممتد، از راه کار بوبت (۱۹۹۸) با مختصری اصلاحات استفاده گردید. قالب مورد استفاده برای تهیه نمونه های فیزیکی درزه دار، دارای طول ۱۹۰ mm، عرض ۱۵۰ mm و ضخامت ۵۰ mm می باشد (شکل ۱۲). قالب شامل ۴ صفحه فایبرگلاس با ضخامت ۱ cm می باشد که به یکدیگر پیچ شده اند. دو صفحه فایبرگلاس با ضخامت ۲ cm در بالا و پایین قالب قرار گرفته است. صفحه بالایی دارای دو بازشدگی بیضوی می باشد که از طریق آنها قالب با مخلوط پر می شود. سطوح بالا و پایین دارای چندین شکاف با بازشدگی ۱ mm می باشند. شکافها در صفحات بالا و پایین، بصورت نظیر به نظیر عرضی در سراسر صفحه گسترش یافته اند. عمق این شکاف ها در صفحه بالایی برابر ۲ cm می باشد و در صفحه پایینی برابر با ۱ cm می باشد. به عبارت دیگر، این شکافها در تمام ضخامت صفحه بالایی گسترش یافته اند ولی عمق آنها فقط در نیمی از ضخامت صفحه پایینی نفوذ کرده است. این بدین معنی است که قالب از بخش زیرین کاملاً ایزوله و بسته می باشد و از هرزروی دو غاب جلوگیری می شود. از طریق شکاف های موجود در صفحات بالا و پایین تیغه های فلزی که با گریس آغشته شده اند، درون قالب جای گرفته و محکم می شوند. این تیغه ها دارای طول ۹ cm، ضخامت ۱ mm و عرض های مختلف می باشند که برای ایجاد درزه های ناممتد با طولهای مختلف کاربرد دارند. با تغییر در فاصله داری عرضی شکافها در هر صفحه، می توان فاصله عمودی بین جفت درزه های ناممتد را کنترل کرد و زاویه داری مطلوب پل بتن را در نمونه ایجاد کرد. آغشته بیشتر می گردد. بعد از جایگذاری تیغه ها، دوغاب وارد قالب می شود و به مدت ۷ ساعت،

نمونه در قالب نگهداری می شود. بعد از گذشت ۷ ساعت، نمونه از قالب بیرون آورده و تیغه های فلزی از نمونه خارج می شوند. گریس روی تیغه ها از چسبیدن آنها به نمونه جلوگیری می کند و خارج کردن آنها را آسان می نماید بگونه ای که هیچ آسیبی به نمونه و درزه وارد نمی گردد. با بیرون آوردن تیغه ها، درزه های ناممتد با بازشدگی ۱ mm، که در سراسر ضخامت نمونه گسترش یافته و بر سطح نمونه عمودند، ایجاد می شود.



شکل ۱۲- قالب استفاده شده برای آماده سازی نمونه های حاوی درزه های ناممتد پلکانی.

بلافاصله بعد از خارج کردن تیغه ها، نمونه ها در اتاق آزمایشگاه با دمای $20 \pm 2^\circ \text{C}$ بمدت ۲۰ روز نگهداری می شود. ۴ نمونه دارای درزه های ناممتد پلکانی غیر همپوشان و همپوشان آماده گردید. نمونه دارای طول رباط mm ۴۵ می باشند و زاویه داری رباط در آنها برابر 0° ، 25° ، 90° و 115° است. طول رباط عبارت است از فاصله بین نوکهای درزه و زاویه رباط، زاویه ای است که رباط در خلاف جهت حرکت عقربه های ساعت با جهت برش می سازد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- نمونه های حاوی درزه های ناممتد پلکانی، (الف) زاویه رباط برابر با 0° ، (ب) زاویه رباط برابر با 25° ، (ج) زاویه رباط برابر با 90° ، (د) زاویه رباط برابر با 115° ؛ طول رباط = ۴۵mm.

در نمونه های مختلف، طول درزه های لبه ای متفاوت بوده مادامیکه در یک نمونه، طول درزه ها با یکدیگر برابر هستند. هنگامیکه طول رباط ۴۵ mm است، برای ایجاد زاویه های رباط ۰/۰°، ۲۵°، ۹۰° و ۱۱۵° طول درزه (b) بترتیب برابر با ۵۲/۵ mm، ۶۶/۸ mm، ۷۵ mm و ۷۸/۸ mm بوده و هنگامیکه طول رباط ۹۰ mm است برای ایجاد زاویه های رباط ۰/۰° طول درزه (b) برابر با ۳۰ mm می باشد. عمق گستردگی این رباطها ۵۰ mm است. در جدول ۱ مشخصات هندسی نمونه ها آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات هندسی نمونه های حاوی درزه های ناممتد.

نوع درزه	طول رباط (mm)	زاویه رباط (°)	طول درزه (b)
غیر همپوشان	۴۵	۰/۰	۵۲/۵
غیر همپوشان	۴۵	۲۵	۶۶/۸
همپوشان	۴۵	۹۰	۷۵
همپوشان	۴۵	۱۱۵	۷۸/۸

۳- انجام آزمایش برش مستقیم با جعبه اصلاح شده بر نمونه های حاوی درزه های ناممتد

نرخ جابجایی برشی در آزمایش ها ۰/۰۱ mm/min می باشد. تنش نرمال اعمال شده به پل بتن ثابت و برابر MPa ۰/۳۳ است. در طی آزمایش، جابجایی برشی و نیروی برشی توسط سیستم ثبت داده ها، ذخیره می گردد. بعد از اتمام آزمایش، نمونه ها از جعبه برش خارج شده و الگوی شکست مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۳-۱- الگوی شکست در نمونه های حاوی درزه های ناممتد:

۵- الگوی شکست در نمونه های حاوی درزه های ناممتد:

بعد از انجام آزمایش، الگوی شکست در نمونه ها مورد ارزیابی قرار گرفت. الگوی شکست در درزه های ناممتد پلکانی، طبق انتظار رخ داده است. به این ترتیب که ترک ها از نوک درزه ها ایجاد شده و با پیشروی درون پل بتن، منجر به شکست آن شده اند. شکل ۱۴ الگوی شکست درزه های ناممتد در سیستم بارگذاری اصلاح شده را نشان می دهد.

۱-۵-۱- الگوی شکست در نمونه های حاوی درزه های ناممتد غیر همپوشان:

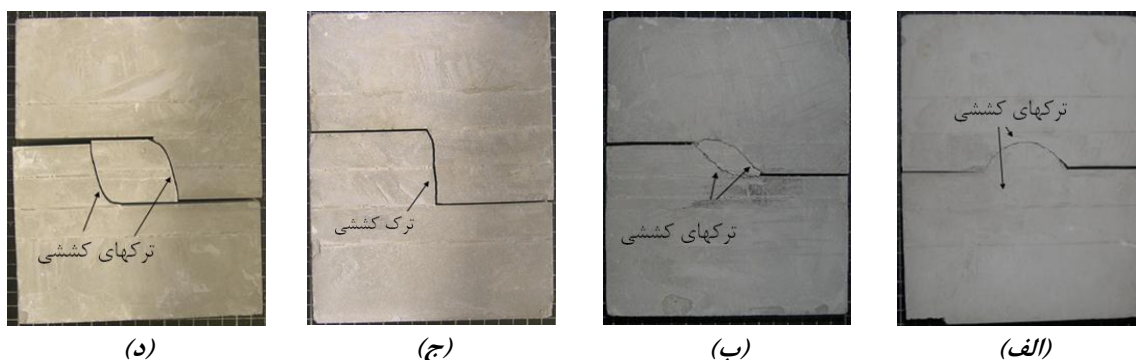
در این بخش، الگوهای شکست در نمونه های حاوی درزه های ناممتد غیر هم پوشان با زاویه رباط ۰/۰° و ۲۵° معرفی شده است.

الف) طول رباط ۴۵ mm و زاویه رباط برابر با ۰/۰°:

زمانیکه طول رباط ۴۵ mm و زاویه رباط ۰/۰° است (شکل ۱۴-الف)، ترک کششی بالایی در سراسر پل بتن عبور کرده ولی ترک کششی پایینی مسافت کوتاهی را پیشروی و سپس پایدار می گردد بگونه ای که نمی تواند با نوک درزه مقابل یکپارچه گردد (شکل ۱۴-الف).

ب) طول رباط ۴۵ mm و زاویه رباط ۲۵°:

در درزه های ناهمپوشان، زمانیکه زاویه رباط برابر با 25° و طول رباط 45 mm است (شکل ۱۴-ب) ترکهای باله ای در نوک درزه ها ایجاد شده و در یک مسیر منحنی شکل پیشروی کرده تا اینکه به نوک درزه مقابل برخورد نمایند. این یکپارچگی یک مغزه بیضوی برجای می گذارد که کاملاً از نمونه جدا شده است.



شکل ۱۴- الگوی شکست در نمونه های حاوی درزه های ناممتد پلکانی، الف) زاویه داری رباط برابر با 0° ، ب) زاویه داری رباط برابر با 25° ، ج) زاویه داری رباط برابر با 90° و د) زاویه داری رباط برابر با 115° ؛ طول رباط ثابت 45 mm.

۱-۵-۱- الگوی شکست نمونه های حاوی درزه های ناممتد همپوشان:
در این بخش، الگوهای شکست در نمونه های حاوی درزه های ناممتد همپوشان با زاویه رباط 90° و 115° معرفی شده است.

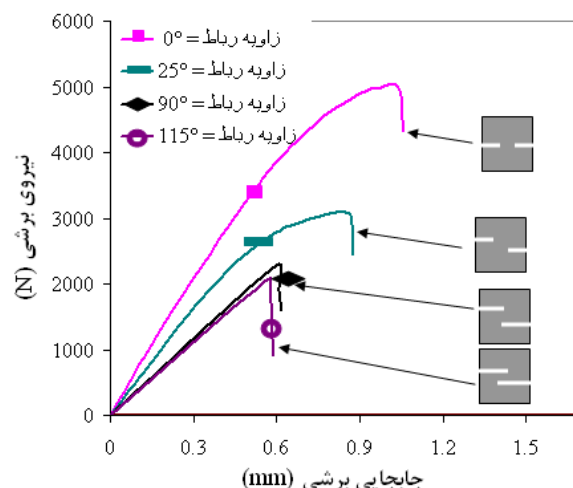
ب) طول رباط 45 mm و زاویه رباط برابر با 90° :
در درزه های همپوشان، زمانیکه طول رباط 45 mm و زاویه رباط 90° است (شکل ۱۴-ج)، ترک کششی از نوک درزه ها رشد کرده و عمود بر مسیر بارگذاری برشی درون پل بتن پیشروی می نماید. در این آرایش، پل بتن توسط یک سطح شکست مجزا می شکند.

ج) طول رباط 45 mm و زاویه رباط برابر با 115° :
در درزه های همپوشان، زمانیکه طول رباط 45 mm و زاویه رباط 115° است (شکل ۱۴-د)، ترک های باله ای از نوک درزه ها جوانه زده و عمود بر مسیر بارگذاری برشی پیشروی می نمایند. این ترکها در سراسر پل بتن پیشروی کرده تا به دیوار درزه مقابل برخورد نمایند.

در الگوهای شکست معرفی شده، سطح شکست کششی می باشد چراکه هیچگونه مواد پودر شده که نشان از شکست برشی باشد مشاهده نمی گردد و سطح شکست کاملاً صاف و صیقلی است.
از الگوهای شکست معرفی شده می توان دریافت که جعبه برش اصلاح شده توانسته است تا با منتقل نمودن بار برشی به نمونه، منجر به شکست ایده ال پل بتن گردد.

۱-۶- رفتار مقاومتی نمونه های حاوی درزه های ناممتد:

شکل ۱۵ نمودار نیروی برشی بر حسب جابجایی برشی را برای نمونه های با طول رباط 45 mm و زاویه داری رباط 0° ، 25° ، 90° و 115° نشان می دهد.



شکل ۱۵- نمودار نیروی برشی بر حسب جابجایی برشی برای نمونه های حاوی درزه های ناممتد.

در طول رباط ثابت ۴۵ mm، ظرفیت باربری برشی درزه های هم پوشان (زاویه رباط ۹۰° و ۱۱۵°) کمتر از ظرفیت باربری درزه ناهمپوشان (زاویه رباط ۰° و ۲۵°) است که این مهم بدلیل حضور بار نرمال روی پل بتن در آرایش درزه ناهمپوشان می باشد. درحقیقت در آرایش درزه های ناهمپوشان، نیروی برشی خارجی باید بر خصوصیات مکانیکی مواد بکر و تنش نرمال غلبه نماید در حالیکه در آرایش درزه های همپوشان، اثر تنش نرمال روی پل بتن حذف می گردد و نیروی برشی خارجی فقط بایستی بر خصوصیات مکانیکی بتن بکر غلبه کند. از اینرو ظرفیت باربری برشی درزه های هم پوشان کمتر از ظرفیت باربری درزه های ناهمپوشان می باشد. روند منطقی و ایده آل در منحنی بار-جابجایی به همراه الگوهای شکست قابل انتظار نشان می دهد که جعبه برش اصلاح شده کارایی مناسبی برای انجام آزمایش روی درزه های ناممتد پلکانی دارد.

نتیجه گیری:

با بکارگیری جعبه برش مستقیم معمولی، امکان انجام آزمایش بر درزه های ناممتد پلکانی میسر نمی باشد. در این مقاله با استفاده از جداکننده های فلزی، جعبه برش بگونه ای اصلاح گردید تا بتوان پل بتن های مورب نسبت به سطح افق را تحت آزمایش برش مستقیم قرار داد. نتایج آزمایش برش مستقیم (الگوهای شکست و نمودار مقاومتی)، نشان داد که جعبه اصلاح شده توانایی و کارایی انجام آزمایش درزه های ناهمسطح را دارد. در درزه های همپوشان، زمانیکه طول رباط ۴۵ mm و زاویه رباط ۹۰° است، ترک کششی از نوک درزه ها رشد کرده و عمود بر مسیر بارگذاری برشی درون پل بتن پیشروی می نماید. در این آرایش، پل بتن توسط یک سطح شکست مجزا می شکند. همچنین زمانیکه طول رباط ۴۵ mm و زاویه رباط ۱۱۵° است، ترک های باله ای از نوک درزه ها جوانه زده و عمود بر مسیر بارگذاری برشی پیشروی می نمایند. این ترکها در سراسر پل بتن پیشروی کرده تا به دیوار درزه مقابل برخورد نمایند. در درزه های همپوشان، زمانیکه طول رباط ۴۵ mm و زاویه رباط ۹۰° است، ترک کششی از نوک درزه ها رشد کرده و عمود بر مسیر بارگذاری برشی درون پل بتن پیشروی می نماید. در این آرایش، پل بتن توسط یک سطح شکست مجزا می شکند. زمانیکه طول رباط ۴۵ mm و زاویه رباط ۱۱۵° است، ترک های باله ای از نوک درزه ها جوانه زده و عمود بر مسیر بارگذاری برشی پیشروی می نمایند. این ترکها در سراسر پل بتن پیشروی کرده تا به دیوار درزه مقابل برخورد نمایند. همچنین نتایج نشان می دهند که درزه های همپوشان دارای مقاومت برشی کمتری نسبت به درزه های غیر همپوشان هستند.

قدردانی

بدین وسیله از پرسنل آزمایشگاه مکانیک سنگ گراتس اتریش مخصوصاً "دکتر بلومل برای همکاری ها در انجام آزمایش ها تشکر و قدردانی می گردد.

مراجع

- [1] Einstein HH, Veneziano D, Baecher GB, O'Reilly KJ, 1983, "The effect of discontinuity persistence on rock slope stability", *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech.*, Abstr. Vol. 20(5), pp. 227-36.
- [2] Shen, B., Stephansson, O., Einstein, H.H., Ghahreman, B., 1995. Coalescence of fracture under shear stresses in experiments. *J. Geophys. Res.* 100, 725-729.
- [3] Bobet, A., 2000. The initiation of secondary cracks in compression. *Eng. Fract. Mech.* 66, 187-219.
- [4] Wong, R.H.C., Chau, K.T., Tang, C.A., Lin, P., 2001. Analysis of crack coalescence in rock-part I: experimental approach. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 38, 909-924.
- [5] Mughieda and A.K. Alzoubi, 2004. Fracture mechanisms of offset rock joints-A laboratory investigation. *Geotech. Geol. Eng.*, 22: 545-562.
- [6] Mughieda, O.S. and I. Khawaldeh, 2006. Coalescence of offset rock joints under biaxial loading. *Geotech. Geol. Eng.*, 24: 985-999.
- [7] Bobet, A., Einstein, H.H. (1998): Fracture coalescence in rock-type materials under uniaxial and biaxial compression. *Intl. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 35, 863-888.
- [8] Lajtai, E.Z. (1969): Strength of discontinuous rock in direct shearing. *Geotechnique*. 19, 218-233.
- [9] Wong, R.H.C., Leung, W.L., Wang, S.W. (2001): Shear strength study on rocklike models containing arrayed open joints. *Rock mechanics in the national interest*. In: Elsworth D, Tinucci JP, Heasley KA, editors. Swets & Zeitlinger Lisse,. 843-9. ISBN: 90-2651-827-7.
- [10] Ghazvinian, A., Nikudel, M.R., and Sarfarazi, V. (2008): Determination of Sliding Path in Rock Slopes Containing Coplanar Non-Persistent Open Discontinuity. *World Appl. Sci. J.* 3 (4), 577-589.