

راهنمای کاربردی

عیب یابی و ترمیم ترک در ساختمان

Malcolm Holland

مترجمین

مهندس علیرضا صالحین

مهندس رضا عسکری اصل

فهرست مطالب و عناوین

۷.....	مقدمه
۱۰.....	فصل ۱ اصول اولیه
۱۰.....	۱.۱ اصول اولیه
۱۳.....	۱.۲ ترک‌ها و الگوهای ترک خوردگی
۱۴.....	۱.۳ حرکت دورانی
۱۵.....	۱.۴ حرکت پاد دورانی
۱۶.....	۱.۵ مسیرهای ضعیف
۲۱.....	۱.۶ توزیع بار
۲۳.....	۱.۷ حرکت و راستای آن
۲۴.....	۱.۸ خلاصه‌ای از اصول اولیه و فرآیند آن
۲۷.....	فصل ۲ ترک‌های ساختمانی نامرتبط با پی
۲۷.....	۲.۱ ترک خوردگی انبساطی
۳۴.....	۲.۲ ترک خوردگی دیواره‌ی مسلح حفره‌دار
۳۵.....	۲.۲.۱ اولین نشانه از خوردگی قیدها
۳۵.....	۲.۲.۲ پیشروی در خوردگی دیوار مسلح حفره‌دار
۳۵.....	۲.۲.۳ نشانه‌ای از خوردگی دیوار مسلح در دیوار متصل به شیروانی
۳۵.....	۲.۲.۳ پیشروی در خوردگی قیدها در دیوارهای متصل به شیروانی
۴۲.....	۲.۳ خوردگی فلز تعبیه‌شده در دیوارها
۴۳.....	۲.۴ لرزش در اتصالات تعبیه شده
۴۴.....	۲.۵ گسترش بام
۴۹.....	۲.۶ تاب برداشتن تیرهایی که دچار خیز شده‌اند
۵۱.....	۲.۷ عدم پایداری جانبی
۵۷.....	۲.۸ عدم پایداری جانبی در دیوارهای شیروانی مدرن
۵۸.....	۲.۹ تیرهای بیش‌بارگذاری شده
۶۱.....	۲.۱۰ عدم حضور تیرها در بالای بازشوها در دیوارهای حفره‌ای
۶۵.....	۲.۱۱ کف‌های بیش‌بارگذاری شده
۶۷.....	۲.۱۲ دیوارهای بیش‌بارگذاری شده
۷۰.....	۲.۱۳ حرکت نامتقارن
۷۱.....	۲.۱۴ نیروی محوری رانشی در قوس‌ها و تخت‌شدگی قوس
۷۴.....	۲.۱۵ ترک خوردگی مسیر بار
۷۶.....	۲.۱۶ خمیده شدن دیوارها در اثر زوال الوارهای چوبی پیونددهنده
۷۷.....	۲.۱۷ خمیده شدن و جدایش در دیوارهای آجری توپر (عادی)
۷۹.....	۲.۱۸ جدایش دیوارهای سنگی پر شده با قلوه‌سنگ‌ها

۸۰.....	۲.۱۹ نشست دال کف (تراکم).....
۸۵.....	۲.۲۰ تمرکز بار.....
۸۶.....	۲.۲۱ حمله‌ی سولفاتی.....
۸۹.....	۲.۲۲ جمع‌شدگی.....
۹۲.....	۲.۲۳ جمع‌شدگی در آجرهای کلسیم سیلیکاتی.....
۹۴.....	فصل ۳ ترک‌های ساختمانی مرتبط با پی و حرکت زمین
۹۴.....	۳.۱ مقدمه.....
۹۷.....	۳.۱.۱ طراحی برای بارگذاری.....
۹۸.....	۳.۱.۲ طراحی برای پایداری.....
۹۹.....	۳.۱.۳ شناسایی آسیب‌های زیر زمین.....
۱۰۱.....	۳.۲ حرکت پی ناشی از جمع‌شدگی رس.....
۱۰۶.....	۳.۳ بالآمدگی خاک رس.....
۱۰۸.....	۳.۴ انبساط فصلی خاک رس تحتانی.....
۱۰۹.....	۳.۵ بارگذاری با خروج از مرکزیت روی پی‌ها.....
۱۱۲.....	۳.۶ بارگذاری نامتقارن.....
۱۱۳.....	۳.۷ تمرکز بار روی پی‌ها.....
۱۱۴.....	۳.۸ حرکت نامتقارن پی.....
۱۱۶.....	۳.۹ نشست اولیه پس از احداث سازه با تغییرات در آن.....
۱۱۸.....	۳.۱۰ زهکش‌های دارای نشتی و تخلیه‌ی آب در مجاورت ساختمان.....
۱۲۰.....	۳.۱۱ زهکش‌ها و ترانشه‌های زهکشی.....
۱۲۲.....	فصل ۴ روش‌های تعمیراتی
۱۲۲.....	۴.۱ مقدمه.....
۱۲۳.....	۴.۲ ترمیم سطحی.....
۱۲۴.....	۴.۳ ترمیم سطحی با ملات اپوکسی.....
۱۲۵.....	۴.۴ وصله کردن مصالح آجری.....
۱۲۶.....	۴.۵ تقویت درزهای ملات آجری.....
۱۲۶.....	۴.۶ میل‌گردهای مقیدکننده.....
۱۲۷.....	۴.۷ قلاب‌های گیردارکننده.....
۱۲۸.....	۴.۸ نگه‌دارنده‌های آجری و سنگی یا ستون‌های آجری (But Piers /buttresses).....
۱۲۹.....	۴.۹ ممانعت از گسترش بام.....
۱۳۰.....	۴.۱۰ تقویت پی‌های سازه در عمق (underpinning).....
۱۳۲.....	۴.۱۱ تقویت پی در عمق با استفاده از کف‌های رزینی منبسط‌شونده.....
۱۳۳.....	۴.۱۲ گروتینگ.....
۱۳۴.....	۴.۱۳ موانع میان ریشه‌های درخت و سازه.....

مقدمه

اغلب افراد مبتدی و کم تجربه با دیدن ترک خوردگی در ساختمان فوراً آن را به نشست در پی مرتبط دانسته و مشکل را جدی تلقی می کنند. اما این قضاوت درستی نیست. در بسیاری از موارد ترک ها به دلیل نشست پی رخ نمی دهد و اغلب هم آسیب جدی به حساب نمی آید. لذا هنگام مواجه شدن با ترک ها باید با دید کاملاً باز برخورد کنیم. برای افراد تازه کار و مبتدی یکی از راه های مناسب این است که سعی کنند تا علل دیگری که منجر به ایجاد ترک شده را بیابند و فوراً سراغ نشست پی نروند. چنانچه احتمالات دیگر را بررسی نمودند و به نتیجه نرسیدند، می توانند بررسی در مورد نشست پی را انجام دهند. تجربه ی نگارنده در زمینه ی تدریس در دانشگاه نشان داده است که پیگیری این روش بسیار مشکل می باشد. عموماً تمایل زیادی میان افراد وجود دارد تا بتوانند راهی بیابند که سریعاً به جواب برسند و به نوعی با میان بر زدن، فرآیند تحلیل را سریع تر طی کنند.

بسیاری افراد، از جمله مهندسين ناظر در تشخیص ترک خوردگی دچار تشویش می شوند. البته این امر قابل درک است چرا که در صورت تشخیص نادرست عواقب نامطلوبی در پی خواهد داشت. این موضوع را به راحتی نمی توان در یک کنفرانس یا در یک واحد درسی بیان نمود. زیرا معمولاً فرصتی برای کار و تجربه ی عملی موجود نیست.

اکثر کتب منتشر شده درباره ی این موضوع به درد افرادی می خورد که تجربه ی کار نظارت را دارند و در این حوزه، سابقه ی کار دارند و لذا به طور طبیعی بسیار تخصصی می باشند. ما در این کتاب قصد داریم به افراد کم تجربه، ناظرین جوان و دانشجویان کمک کنیم. هدف این کتاب این است که به عنوان یک راهنمای عملیاتی به افراد کمک و مشاوره دهد و تا جایی که ممکن است با زبان غیر تخصصی به بیان مفاهیم بپردازد. بنابراین از ارجاع دادن به دیگر منابع و آیین نامه ها پرهیز شده است، زیرا این موارد در کتاب های دیگر به وفور موجود است. این کتاب عمدتاً به شناسایی و تشخیص ترک خوردگی ها می پردازد و آنچنان به صورت تفصیلی و تخصصی به اقدامات جبرانی و درمانی نمی پردازد.

عمده ی هدف ما در این کتاب این است که بتوانیم با سطح اطمینان معقولی به این درک برسیم که چه موقع این حرکت ها و ترک ها جدی بوده و چه موقع چندان مهم نمی باشد و نهایتاً اینکه بدانیم چه زمانی لازم است تا از یک فرد با تخصص بیشتر و حرفه ای تر بخواهیم که برای حل مسأله به ما کمک کند.

هدف این کتاب آن است که نشان دهد صرفاً با دانستن اصول اولیه و دنبال کردن یک روش ساده، تقریباً ۹۰٪ ترک ها را می توان طی چند دقیقه تشخیص داد.

با داشتن یک نگاه دقیق تر و با دانستن عواملی که الگوهای ترک را منحرف می کنند، سرعت در تشخیص بیشتر هم می شود.

اگر اصول فوق را با دانش خوب و قابل قبولی از احداث ساختمان ها و خصوصیات کلیدی متداول ترین ترک خوردگی ها ترکیب نماییم، تقریباً تمامی ترک ها را می توان به سرعت و با سطح اطمینان بالایی شناسایی نمود. با این وجود همواره ترک هایی هم هستند که صرفاً با یک بازدید قابل تشخیص نیستند. هنگامی که ترکی در ابتدا شروع به پدید آمدن می کند، هنوز شواهد کافی در اختیار نداریم تا بتوانیم به قضاوت نهایی برسیم. در برخی از موارد حرکات را باید تا مدتی تعقیب نمود. موارد دیگری هم هست که تنها راه رسیدن به شواهد کافی را برای تشخیص، باز کردن و حفاری در بخش هایی از سازه نیاز داریم تا بتوانیم پی را رصد نماییم. گاهی نیاز است برای آزمایش، از مصالح، مواد و نمونه های خاک تحتانی نمونه گیری گردد. بعضی اوقات باید یک ساختمان را تا مدتی تحت نظر داشت تا بتوان تشخیص مناسبی داد و یا قضاوت اولیه ی را تصدیق نمود. تعداد مواردی که نیاز است چنین اقداماتی انجام بگیرد اندک است، مشروط بر آنکه اصول مبنایی را درک و با شیوه ی مناسبی آنها را اعمال کنیم.

دانستن این اصول هم ساده بوده و هم برای انجام کار بسیار خوب و مناسب، پس چرا نباید این اصول را دانست؟ ترک ها ناشی از یک فرآیند ساده ی فیزیکی هستند. در فیزیک هیچ چیز پنهانی وجود ندارد و صرفاً فرآیندهای ساده کار می کنند.

کشش در هر مصالحی یا سازه ای که باشد، موجب می شود که آن سازه رو به بیرون تمایل داشته باشد. اگر این کشش به اندازه ی کافی بزرگ باشد، (به طوری که از مقاومت مصالح بیشتر شود) آن ماده دچار ترک خوردگی می شود. این فرآیند ساده ی فیزیکی همانند حرارت دادن یک مایع می باشد که موجب بالا رفتن دمای آن می شود، تا جایی که به نقطه جوش خود می رسد.

این کتاب در چهار بخش تدوین شده است. اولین بخش آن اصول اولیه را تشریح می نماید. بخش دوم کتاب حاوی نمونه هایی است که خصوصیات کلیدی متداول ترین حرکات در ساختمان و الگوهای ترک مرتبط با آنها را توضیح می دهد. در این بخش به حرکات و ترک هایی می پردازیم که ناشی از حرکت پی یا زمین نمی باشند. بخش سوم کتاب هم حاوی نمونه هایی است که خصوصیات کلیدی مرتبط با حرکت ناشی از مشکلات پی یا زمین را بررسی می نماید. قسمت چهارم هم تکنیک های به کار گرفته شده برای تعمیر آسیب های ناشی از حرکات و راه های جلوگیری از پیشرفت آن را تشریح می کند.

با به کارگیری اصول اولیه و سپس ارجاع به نمونه ها به احتمال زیاد می توانیم به تشخیص صحیحی دست یابیم.

روش معرفی شده در این کتاب نه تنها به تشخیص درست ما کمک می کند، بلکه فرآیند رسیدن و ثبت این تشخیص را هم به ما نشان می دهد. زمانیکه به شخصی مشاوره می دهیم ضرورت دارد

تا بتوانیم روش درستی را با زنجیره‌ی مناسبی از فرآیندها ترسیم نموده تا نظر ما صرفاً به صورت یک ادعا تلقی نگردد. ضمناً باید تشریح نماییم که مشاوره‌ی ما صرفاً در حد اظهار نظر کارشناسی است و تضمین ۱۰۰٪ در کار وجود ندارد.

بنابراین کاملاً حیاتی است که ابتدا اصول اولیه را به درستی درک نموده و بعد از آن به بخش دوم کتاب برویم. این کتاب متن شفاف و صریح و نسبتاً ساده‌ای دارد، اما چنانچه در بار اول مطلب را متوجه نشدید، لطفاً متن را مجدداً مطالعه فرمایید. سعی نکنید با میانبر زدن سریعاً به سراغ مثال‌ها و عکس‌های کتاب رفته و موارد مشابه را بیابید.

فصل ۱

اصول اولیه

۱.۱ اصول اولیه

«اغلب سازه‌های قدیمی در کشش نسبتاً ضعیف هستند، به‌خصوص زمانی که مقایسه این امر مقاومت فشاری صورت بپذیرد. چنانچه ساختمانی با هرگونه نیروی خارجی منحرف شود، برخی قسمت‌های آن به کشش می‌افتد. ترک خوردگی معمولاً در راستای عمود بر نیرویی که موجب کشش شده پدید می‌آید. با تصویر کردن فلش‌هایی در جهت عمود بر ترک، می‌توانیم راستای حرکت را تعیین کنیم. راستای حرکت معمولاً مستقیماً وابسته به علت آن می‌باشد. با این وجود همواره ترک‌هایی وجود دارد که نمی‌توان به‌سرعت در بازدید بصری آن‌ها را تشخیص داد.»

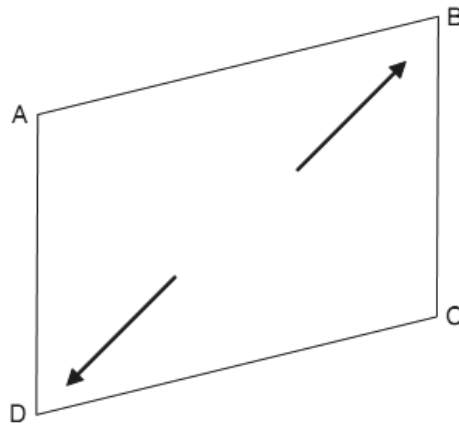
پس اولین اصل مهمی که باید به هنگام تشخیص ترک‌ها در مصالحی که با آنها سروکار داریم بدانیم، (که عموماً هم آجر و بتن هستند) این است که این مصالح در کشش ضعیف هستند. گام یک:

مواد آجری و اغلب مصالح هنگامی که با کشش به بیرون کشیده شوند دچار ترک می‌شود. خود کشش نیز ناشی از کشیده شدن پدید می‌آید (شکل ۱، ۱، ۱). شکل مربع یا مستطیلی را از یک ماده در نظر بگیرید که گوشه‌های آن را A ، B ، C و D بنامیم. فرض کنید این چهار گوشه نمای جلوی یک ساختمان باشد.



شکل ۱.۱.۱ چهار گوشه‌ای با قطرهای با طول مساوی

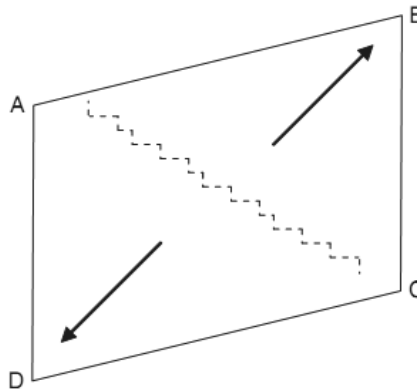
معمولاً ساختمان‌ها به‌صورت مربعی و در تراز یکسان ساخته می‌شوند. در یک مربع یا مستطیل طول قطرهای یکسان است. مثلاً اگر $A-C$ را اندازه بگیریم با طول $B-D$ یکسان خواهد بود. لطفاً اندازه‌ها را یادداشت نمایید. (شکل ۱.۱.۲)



شکل ۱.۱.۲ قطر B-D دچار کشش شده

چنانچه سمت چپ نشست کند، قطر A-C کمی کوتاه می‌شود. یعنی این قطر دچار فشردگی می‌شود (شکل ۱،۱،۳).

قطر B-D هم به کشش می‌افتد و افزایش طول می‌دهد. خواهید دید که حتماً دارای طول بیشتری از گذشته می‌باشد. این نوع کشیدگی است که اهمیت دارد و کشش را ایجاد می‌کند.

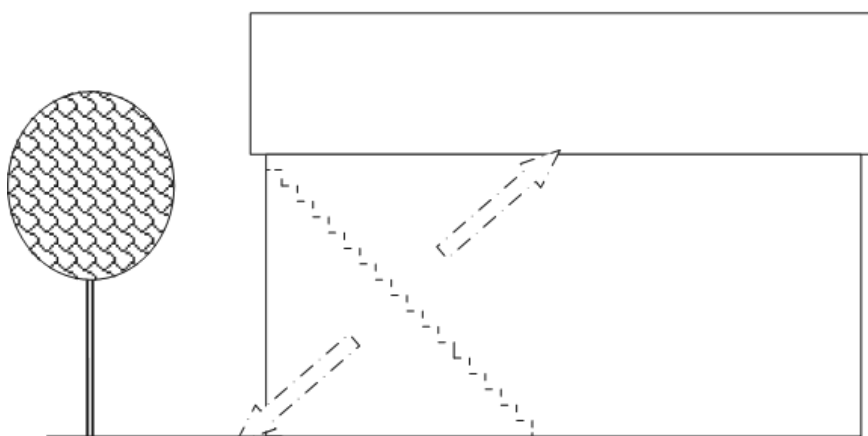


شکل ۱.۱.۳ ترک عمود بر راستای کشش

نیروی کششی صفحه را به اطراف می‌کشد. در صورتی که این صفحه آجری باشد در کشش به بیرون تمایل می‌یابد و لذا ترک در راستای عمود بر کشیده شدن رخ می‌دهد. به طور کلی ترک

همیشه عمود بر راستای کشش می‌باشد. این نکته‌ای است که همیشه باید هنگام مشاهده‌ی ترک‌ها به یاد داشته باشیم. حرکت‌ها همواره عمود بر ترک رخ می‌دهد. این ساختمان یا به بالا در سمت راست حرکت کرده یا به پایین در سمت چپ آمده است. به ندرت دلایلی برای حرکت رو به بالای ساختمان وجود دارد و این احتمال را به سرعت می‌توان کنار گذاشت. ساختمان سنگین وزن است و نیروی ثقل آن را به پایین می‌کشد. بنابراین فلش رو به پایین خیلی برجسته است.

مثال ۱



شکل ۱.۱.۴. فلش‌های فرضی در جهت عمود بر ترک‌ها

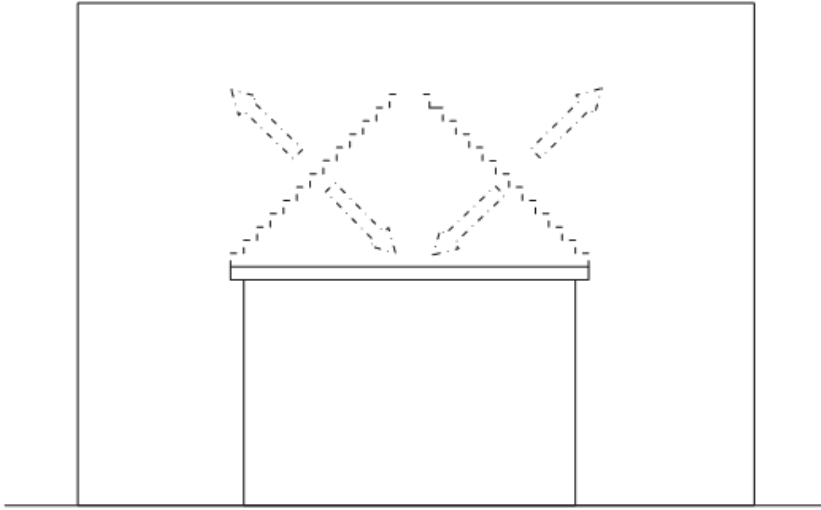
چنانچه فلش‌ها را در جهت عمود بر ترک تصور کنیم، همچنان که در شکل ۱.۱.۴ نشان داده شده، خواهیم دید که حرکت یا به سمت گوشه‌ی پایینی است یا به سمت گوشه‌ی بالایی در سمت راست. جهت فلش در راستای حرکت می‌باشد و به ما نقطه‌ای را که مشکل دارد نشان می‌دهد. در این مورد خاص با نگاه به گوشه‌ی پایین سمت چپ درختی را خواهیم دید. گوشه‌ی بالای سمت راست نیز به احتمال خیلی کمی سبب ایجاد کشش شده و هیچ دلیلی بر آن وجود ندارد. در نتیجه جواب خیلی واضح می‌باشد. این حرکت احتمالاً به دلیل وجود این درخت ایجاد شده است.

مواردی وجود دارد که حرکت رو به بالا در ساختمان داشته باشیم؛ که متداول‌ترین آنها عبارت از بالا آمدگی خاک رس یا خوردگی اتصالات فولادی و قیدهای دیوار می‌باشد. اگرچه حرکت به سمت بالا خیلی احتمال کم‌تری از حرکت رو به پایین دارد، اما احتمال حرکت رو به بالا را باید

قبل از کنار گذاشتن احتمال آن بررسی و ارزیابی نماییم.

مثال ۲

معمولاً در بالای یک بازشدگی در یک دیوار آجری ترک‌های قطری را می‌بینیم. نظیر این مورد را در شکل ۵، ۱، ۱ می‌توان دید. ترک‌خوردگی مثلی را تشکیل می‌دهد که اضلاع این مثلث با زاویه‌ی تقریباً 45° از دو طرف نقاط تکیه‌گاهی در لایه‌های آجری پیش می‌رود.

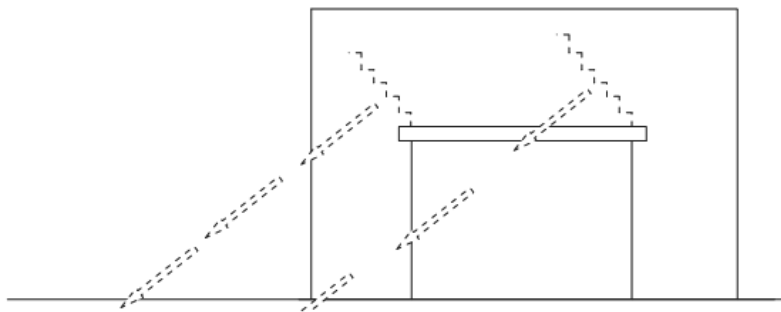


شکل ۵. ۱. ۱ فلش‌های فرضی از کششی که یک تیر تکیه‌گاهی را قطع می‌کند

مجدداً فلش را متعامد با ترک‌ها فرض نمایید، به مانند آنچه که در شکل نمایش داده شده است. در این حالت دو فلش فرضی متعامد با ترک روی تیر نعل درگاهی همدیگر را قطع می‌کنند، که نشانه‌ی خوبی است. در واقع چنانچه دو فلش همدیگر را درست در یک نقطه قطع نمایند، این نقطه همان نقطه‌ی بروز آسیب است. این دو فلش که رو به بالا حرکت می‌کنند، مخالف هم رفتار می‌نمایند به طوریکه یکی به سمت بالا و دیگری به بالا و راست حرکت می‌نماید. باز هم جواب واضح است. این حرکت ناشی از خیز تیر نعل درگاهی است که در نقش تکیه‌گاه دیوار بنایی در بالای بازشو عمل می‌کند.

مثال ۳

به وضعیتی مشابه در شکل ۱، ۱، ۶ نگاه کنید.



شکل ۱.۶. ۱.۱. فلش‌های فرضی کشش که به سمت ستون چپ متمایل هستند.

تصور کنید که فلش متعامد با ترک‌ها باشند. در این جا هیچ دلیلی برای حرکت رو به بالای فلش‌ها به سمت راست وجود ندارد و لذا این گزینه را کنار می‌گذاریم. فلش‌های دیگر هم حرکت به پایین و چپ را نشان می‌دهند. فلش‌هایی هم که از سمت راست خارج می‌شوند در ابتدا روی تیر نعل درگاهی همدیگر را قطع می‌کنند. آیا این پدیده می‌تواند به علت خیز برداشتن تیر نعل درگاهی باشد؟ اگر به خاطر خیز این تیر بود، باید قاعدتاً فلش‌های سمت چپ ترک هم به سمت تیر نعل درگاهی می‌رفتند، چنان‌که در مثال قبلی این وضعیت را داشتیم. این فلش‌ها به سوی پایین و سمت چپ متمایل هستند. اگر ناشی از تیر نعل درگاهی نیست پس باید مسیر فلش‌ها را از سمت راست به پایین دنبال کنیم، خواهیم دید که به ناحیه‌ی کناری یعنی به ستون سمت چپ بازشدگی می‌رسند. دو ترک را در این جا داریم و هر دو سری فلش‌ها به طرف سمت چپ رو به پایین هستند. حتماً علت حرکت از آن جا ناشی می‌شود، یعنی در ستون سمت چپ. پس از اینکه فهمیدیم که منشأ حرکت از کجاست، باید بدانیم که دلیل آن چه می‌تواند باشد. در این مورد مطالعاتی، اطلاعات کافی برای دانستن این امر موجود نیست. نشست در ستون سمت چپ می‌تواند صرفاً به دلیل تمرکز بار روی آن باشد. دلیل دیگر می‌تواند ناشی از پی ضعیف و یا حتی ظرفیت ناکافی باربری خاک باشد. در شرایط واقعی عواملی مثل وجود یک درخت یا زهکشی آسیب‌دیده در مجاورت آن نیز می‌تواند موجب این امر گردد. برای رسیدن به نتیجه در مورد محتمل‌ترین دلیل وقوع این حالت باید به صورت متناوب از محل اطلاعاتی را جمع‌آوری نماییم. چنان‌چه درخت و یا زهکشی در مجاورت آن سازه موجود نباشد و میزان حرکت‌ها هم قابل ملاحظه باشد، ناگزیر باید اقدام به حفر گمانه‌هایی برای آزمایش کنیم تا خصوصیات پی و خاک تحتانی را بتوانیم تعیین نماییم. تنها با این اقدامات تشخیص نهایی امکان‌پذیر خواهد بود. همیشه ترک‌هایی وجود دارد که لزوماً نمی‌توانیم با یک بازدید چشمی اولیه علت آن را تشخیص دهیم.

۱.۲ ترک‌ها و الگوهای ترک خوردگی

«با دنبال کردن اصول ساده‌ی کشش و فشار، اغلب ترک‌ها را می‌توان به سرعت عیب یابی نمود. ممکن است دلایلی الگوهای ترک خوردگی را منحرف نماید. با دانستن عواملی که شکل و راستای یک ترک را تغییر می‌دهد، می‌توان به تشخیص قابل اطمینان تری دست پیدا کرد.»

صرفاً با اعمال اصول اولیه‌ای که در گام ۱ توضیح دادیم، اغلب ترک‌ها را می‌توان طی چند دقیقه تشخیص داد. احتمالاً از میان هر ۱۰ ترک، ۹ تایی آنها را می‌توان بلافاصله تشخیص داد. با ترسیم نموداری مشابه با آنچه در مثال‌ها داشتیم، که نمایش‌دهنده‌ی ساختمان، الگوی ترک‌ها و فلش‌های کششی عمود به ترک است؛ موقعیت و جایگاه هر حرکتی معمولاً واضح و روشن می‌شود.

با این حال، چندین عامل وجود دارد که می‌تواند نحوه‌ی بروز ترک‌ها را تغییر دهد و منحرف نماید. به منظور ارتقاء دادن سرعت تشخیص موفقیت‌آمیز باید این عوامل را شناسایی نماییم.

۱.۳ حرکت دورانی

«هنگامی که ساختمانی دچار نشست می‌شود، به‌ندرت این پایین آمدن به‌صورت متقارن و مساوی صورت می‌گیرد. هنگامی که یک قسمت به نسبت قسمت دیگری پایین برود، اثر «مفصل شدگی» به‌وجود می‌آید. این اثر مفصل‌شدگی منجر به وقوع دوران می‌گردد. این پدیده جابه‌جایی افقی ترک را در ارتفاع افزایش می‌دهد. ترک‌های ناشی از نشست یا فروکش معمولاً در پایه نازک بوده و هرچه به بالاتر می‌رود عریض‌تر می‌شود.»

زمانیکه ساختمانی تحت تأثیر نشست قرار می‌گیرد، به‌طور مستقیم این پدیده به‌ندرت رو به پایین می‌باشد. در مورد ساختمانی که می‌خواهد به‌صورت مستقیم به پایین نشست کند، این نشست می‌بایستی در تمامی محیط ساختمان یکسان باشد، که البته این مورد نادر است. نقصانی در یک ناحیه معمولاً دلیل اصلی نشست بوده، که سپس از مرکز نقصان توزیع می‌گردد.

مثلاً شکل ۱، ۳، ۱ یک ترک ناشی از نشست را نشان می‌دهد که بر اثر جمع‌شدگی خاک رس و قرار گرفتن در مجاورت یک درخت می‌باشد. این درخت رطوبت را از خاک رس به خود جذب می‌کند. بدین ترتیب خاک رس دچار جمع‌شدگی می‌شود و لذا پی‌های نزدیک‌تر به درخت شروع به فرونشست می‌کنند.

از آن‌جا که آجرچینی انجام شده به یکدیگر متصل است، در مقابل حرکت مقاومت به وجود می‌آید. این کشیده شدن موجب ایجاد اثر مفصل‌شدگی می‌گردد و دیوار دچار دوران می‌شود. به محض دوران، ساختمان از حالت عمودی خارج می‌شود. این پدیده موجب می‌شود تا جابه‌جایی افقی به‌خصوص در قسمت‌های بالایی بیشتر گردد. این پدیده یکی از ویژگی‌های کلیدی در ترک‌خوردگی ناشی از نشست می‌باشد که عبارت از عریض‌تر بودن ترک‌ها در قسمت‌های فوقانی

نسبت به قسمت‌های تحتانی می‌باشد.

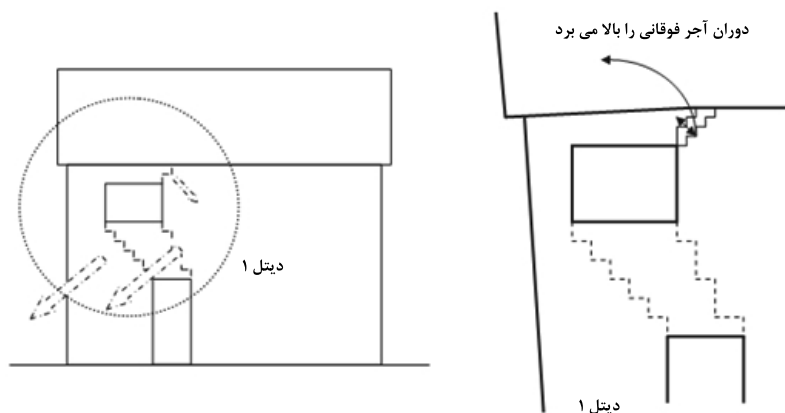
مقدار عریض‌شدگی در موارد گوناگون بسته به اینکه چه میزان حرکت دورانی نسبت به حرکت عمودی داشته باشیم، متفاوت است. مثلاً دیوارهایی که خارج از خط مرکزی پی بنا شده‌اند خروج از مرکزیت ایجاد می‌نمایند و طبعاً جابه‌جایی افقی دورانی بیشتر از حالتی خواهد بود که در آن دیوارها درست در خط مرکزی پی‌ها بنا شوند.

۱.۴ حرکت پاد دورانی

«حرکت دورانی یک ساختمان اغلب دیواره‌ی آجری را در قسمت‌های فوقانی به بالا می‌برد. تصور کنید یک اثر الاکلنگی رخ دهد. به طوریکه بالا رفتن موجب ایجاد ترک خوردگی شود به نحوی که در خلاف جهت حرکت اصلی باشد. این نوع ترک خوردگی را باید شناسایی نمود تا بتوان به تشخیص درستی رسید. این تأثیر را در قالب یک تمرین نشان خواهیم داد.»

حرکت دورانی گاهی اوقات اثر دیگری هم بر روی الگوی ترک خوردگی دارد، بدین مفهوم که بعضی مواقع موجب به وجود آمدن ترک‌هایی می‌شود که در خلاف الگوی کلی حرکت می‌باشد. این حرکت خلاف را باید شناخت و آن را کنار گذاشت تا به اشتباه نیفتیم.

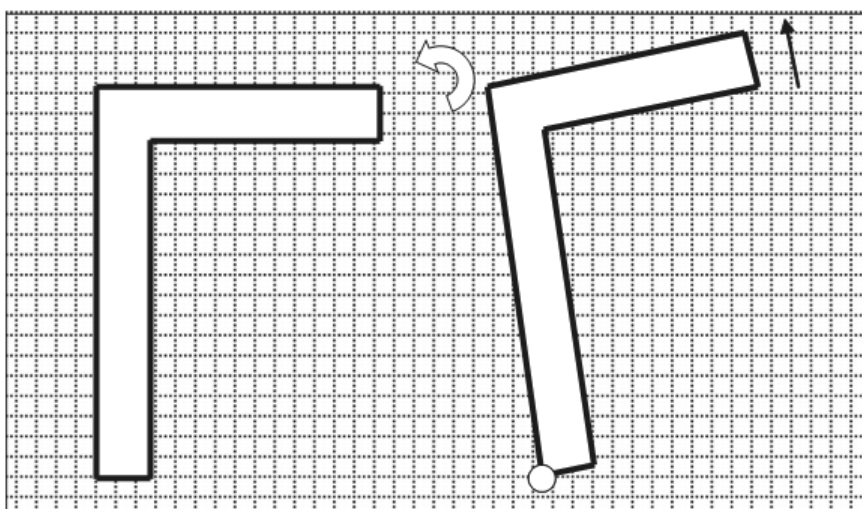
شکل ۱.۴.۱ بیانگر یک الگوی نشست بوده که در آن ترک تقریباً 45° می‌باشد. البته در اطراف بازشوهای پنجره، تغییراتی هم در این زاویه پدید می‌آید. با ترسیم فرضی «فلش‌های کششی» خواهیم دید که حرکت اصلی از پایین به چپ خواهد بود. با این وجود در قسمت‌های فوقانی دیواره، ترک در جهت مخالف گسترش می‌یابد. هر فلش فرضی کشش در محل ترک خوردگی در جهت مقابل حرکت اصلی می‌باشد.



شکل ۱.۴.۱ حرکت پاد دورانی

این پدیده را می‌توان از طریق اثر دورانی توجیه نمود. نشست دورانی در گوشه‌ی سمت چپ منجر به خارج شدن دیوار از حالت قائم می‌گردد. هرچه دیوار از یک انتها به سمت پایین می‌لغزد، از انتهای دیگر به بالا می‌رود. این پدیده تا حدودی شبیه بازی الاکلنگ است. تیر نعل درگاهی بالای پنجره هم به‌عنوان یک اهرم عمل می‌کند. یعنی این تیر دیوار آجری را در سطح فوقانی بلند می‌کند و باعث ایجاد الگوی ترک خوردگی در جهت مقابل ترک اصلی می‌گردد. این دوران، ترکی را به وجود می‌آورد که خلاف حرکت اصلی در قسمت فوقانی دیوار است. برای توصیف این پدیده هیچ عنوان رسمی وجود ندارد. در این متن ما برای این پدیده نام «حرکت پاد دورانی» را انتخاب نمودیم.

در مثال فوق، این تیر نعل درگاهی بود که با داشتن مقاومت کششی کافی توانست به عنوان یک اهرم عمل نماید و دیواره‌ی آجری را بالا ببرد. اثر مشابهی هم اغلب در جابه‌جایی مثل قسمت داخلی یک دیوار دوجداره یا قسمت داخلی یک قاب که قادر به انتقال بار کششی می‌باشد رخ می‌دهد. مثلاً دیوارهای دوجداره‌ی ساخته شده با ورق داخلی مسلح شده‌ی بتنی از این نوع می‌باشند. از دیگر مثال‌هایی که می‌توان نام برد، ساختمان‌هایی با قاب چوبی یا فولادی می‌باشد. به منظور شفاف‌سازی در مورد چگونگی رخداد حرکت دورانی به تمرین زیر توجه نمایید.



شکل ۱.۴.۲ تمرین در کاغذ شطرنجی در مورد حرکت پاد دورانی

در یک تکه مقوا قطعه‌ای را به شکل «L» ببرید و آن را به‌صورت واژگون روی کاغذ شطرنجی

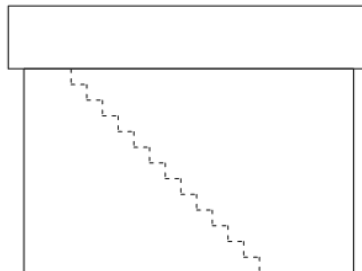
همانند شکل ۲، ۴، ۱ قرار دهید. گوشه‌ی پایین سمت چپ را به عنوان محور دوران در نظر بگیرید و قطعه‌ی «L» شکل را در خلاف جهت عقربه‌های ساعت بچرخانید. هرچه شکل را به سمت چپ دوران دهیم، گوشه‌ی سمت راست به سمت بالا می‌رود و از موقعیت اولیه‌ی خود فاصله می‌گیرد.

۱.۵ مسیرهای ضعیف

«بازشدگی‌ها در دیوارها که برای تعبیه‌ی پنجره‌ها و دیوارها به وجود می‌آیند، از مقاومت دیواره‌ی آجری می‌کاهند. جهت و راستای ترک هم می‌تواند به دلیل مکان نسبی بازشوها در یک دیوار یا عرض ساختمان از مسیر خود منحرف شود. نیروی کششی هم عموماً در راستای ضعیف ترین مسیر موجب گسیختگی می‌شود. بسته به موقعیت نسبی بازشوها، زاویه‌ی ترک هم می‌تواند به راستای افق یا قائم متمایل شود.»

معمولاً ساختمان‌ها در دیوارهای خود بازشوهایی برای پنجره و درب دارند. در مکانی که بازشویی در دیوار موجود باشد، مقاومت دیوار آجری کاسته می‌شود. نیروی کششی هم در راستای خطی که ضعیف ترین مسیر را داشته باشد به مقاومت دیوار آجری غلبه می‌کند. بسته به اینکه موقعیت بازشو کجا باشد، زاویه در الگوی ترک خوردگی تغییر خواهد کرد.

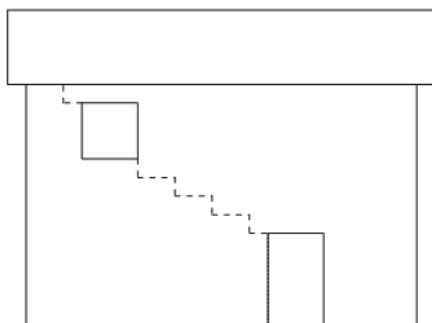
در شکل‌های ۱.۵.۱، ۱.۵.۲ و ۱.۵.۳ با وجود اینکه همگی از یک ترک هستند، با این حال زاویه‌ی ترک‌ها متفاوت هستند. زیرا مسیرهای ضعیف در هریک مختلف است. در شکل ۱.۵.۱، ۱.۵.۲ و ۱.۵.۳ هیچ‌گونه بازشویی در خود ندارد. مقاومت دیوار تقریباً یکنواخت است. معمولاً ترک ناشی از نشست با زاویه‌ی تقریبی 45° خواهد بود و مسیر خود را از میان آجرها و درزهای ملات‌ها طی می‌کند.



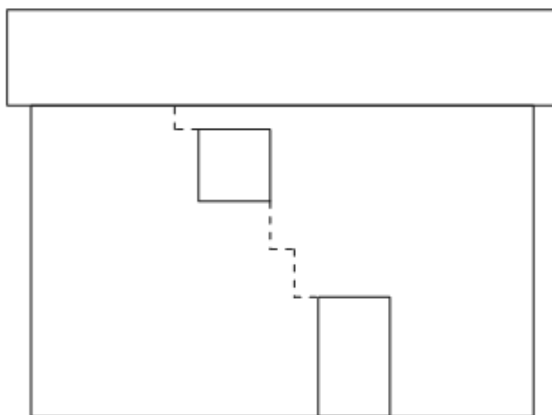
شکل ۱.۵.۱ نمونه‌ای از ترک ناشی از نشست با زاویه‌ی تقریباً 45° درجه

در شکل ۲، ۵، ۱ بازشوهایی در دیوار وجود دارد. این بازشدگی‌ها همان نقاط ضعیف هستند. در نتیجه ترک در اطراف بازشوها گسترش می‌یابد. این بازشوها عبارت از یک درب واقع در طبقه‌ی همکف و یک پنجره در طبقه‌ی اول می‌باشد. در میان این بازشدگی‌ها، ترک در ضعیف ترین مسیر

و ناحیه‌ای که در آن کمترین میزان مقاومت کششی وجود دارد، رشد می‌کند. این مسیر خطی، قطری میان این بازشدگی‌هاست. چنان‌چه بازشدگی‌ها طوری قرار داشته باشند که خط با زاویه‌ی کمتر از 45° باشد، ترک حاصل هم زاویه‌ی کمتر از 45° خواهد داشت.



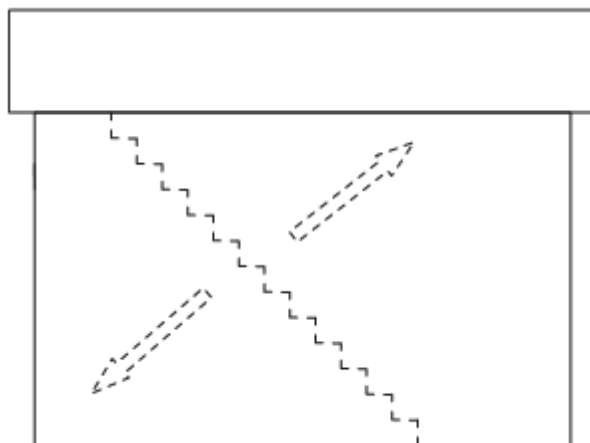
شکل ۲. ۱. زاویه‌ی کاهش یافته به کمتر از 45° درجه در اثر مکان قرارگیری بازشوها



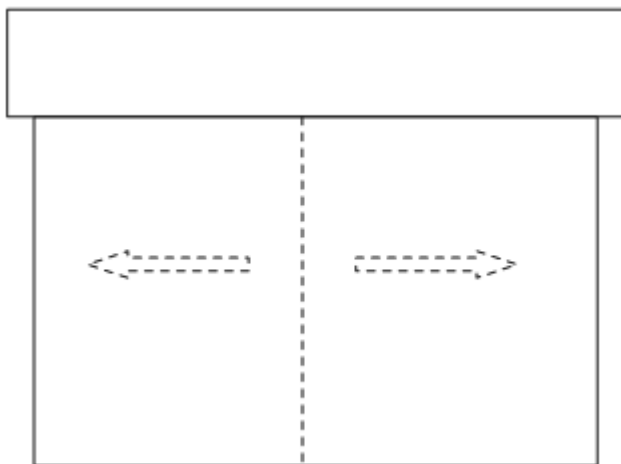
شکل ۳. ۱. زاویه‌ی تندتر از 45° درجه در اثر مکان قرارگیری بازشوها

در شکل ۳، ۵، ۱ هم اصول یکسانی برقرار است. در این نمونه نحوه‌ی قرارگیری بازشوها به ترتیبی است که مستقیم‌ترین مسیر که کمترین مقاومت را دارد، دارای زاویه‌ی تندتر از 45° است. چنان‌چه فلش‌های فرضی کشش که عمود بر ترک می‌باشند، را در هر سه شکل ترسیم کنیم، شاهد زاوایای متفاوتی خواهیم بود. در شکل ۲، ۵، ۱ که ترک زاویه کمتر از 45° نسبت به افق

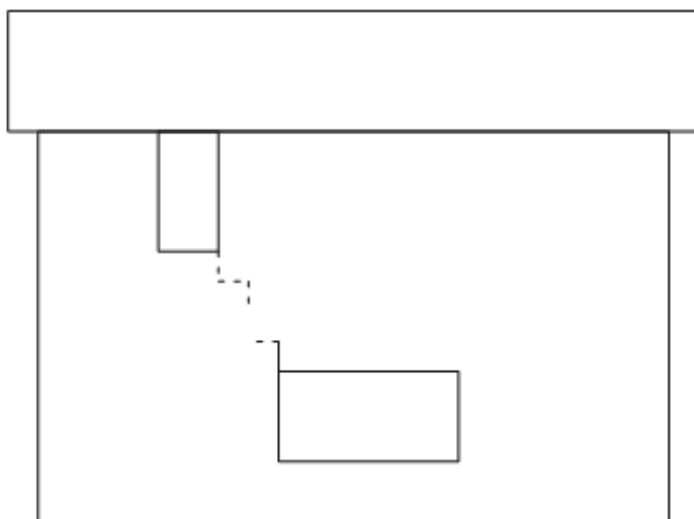
دارد، زاویه‌ی کشش به راستای قائم متمایل تر است. ترک باز زاویه‌ی تندتر در شکل ۳، ۵، ۱ هم، دارای زاویه‌ی کششی خواهد بود که به راستای افق تمایل بیشتری دارد. فرض بر آنکه می‌توانیم تشخیص دهیم الگوهای ترک خوردگی به دلیل مکان قرارگیری بازشدگی‌ها منحرف شده‌اند، زاویه‌ی «فلش‌های کشش» را می‌توانیم تنظیم کنیم. این یکی از مواردی است که نیاز به قضاوت حرفه‌ای و تجربه‌ی کافی دارد. فلش‌های کشش تنظیم شده در چنین مواردی دیگر دقیقاً متعامد بر ترک واقعی نیستند. این فلش‌های کششی بسته به مورد (اینکه زاویه‌ی بازشدگی‌ها نسبت به راستای 45° چگونه باشد) باید الگوی ترک خوردگی منحرف شده را با توجه به مکان بازشدگی‌ها اصلاح و تنظیم نمود. مسیرهای ضعیف هم موجب می‌شوند تا الگوهای ترک خوردگی انبساطی، کاملاً مشابه با الگوهای نشست به نظر برسد. برای اینکه بتوانیم تفاوت میان این دو را تشخیص بدهیم، باید نه تنها به الگوی کلی ترک خوردگی توجه کنیم، بلکه به خود ترک هم دقت داشته باشیم. شکل ۴، ۵، ۱ یک نمونه از ترک خوردگی که همراه با نشست و با زاویه‌ی تقریباً 45° شکل گرفته نشان می‌دهد. شکل ۵، ۵، ۱ هم مثالی از الگوی ترک خوردگی انبساطی قائم را نشان می‌دهد.



شکل ۴. ۵. ۱ نمونه‌ای از ترک ناشی از نشست



شکل ۵.۵. ۱ نمونه‌ای از ترک انبساطی

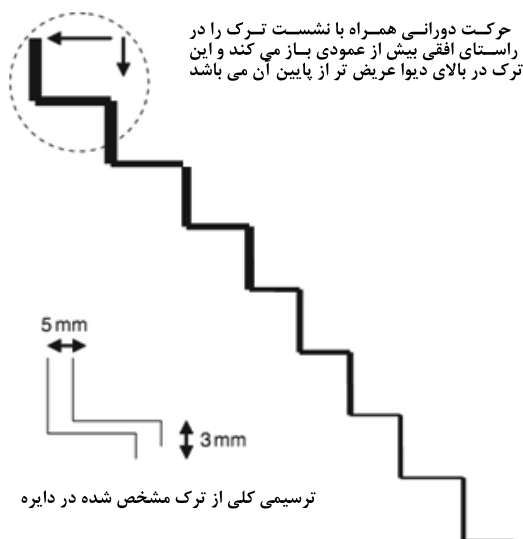


شکل ۶.۵. ۱ ترک انبساطی منحرف‌شده توسط بازشدگی‌ها

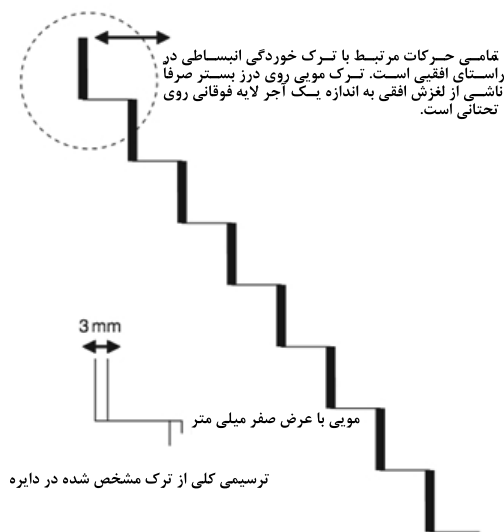
جزئیات بیشتر در مورد این الگوهای ترک خوردگی به همراه نکات کلیدی که می‌تواند در تشخیص

به ما کمک کند در قسمت دوم و سوم این کتاب آورده شده است. چنانچه در دیوارها بازشوهایی وجود داشته باشد که منجر به ایجاد یک مسیر ضعیف گردند، به دنبال آن زاویه‌ی ترک هم می‌تواند منحرف شود. شکل ۶، ۵، ۱ یک ترک انبساطی را نشان می‌دهد که به دلیل محل قرارگیری بازشوها منحرف شده و ایجاد یک مسیر ضعیف گردیده است. ظاهر کلی ترک مورب و زاویه‌دار است. برای اینکه ترک را نشست اشتباه نکنیم و بتوانیم میان این دو تمایز قائل شویم، ضرورت دارد که به خود ترک توجه کنیم و به میزان جابه‌جایی قائم و افقی دقت نماییم.

یک ترک ناشی از نشست معمولاً علاقه مند به جابه‌جایی در هر دو راستای افقی و قائم می‌باشد. عرض ترک اندازه‌گیری شده در حالت افقی اندکی بیشتر از حالت قائم است، بدان علت که حرکت دورانی، ترک خوردگی افقی را بیشتر گسترش می‌دهد. همچنین، وزن مصالح و جاذبه باعث بسته‌تر شدن جابه‌جایی قائم می‌گردد و این کار با لغزش آجرهای بالای ترک روی آجرهای زیرین آن رخ می‌دهد. همچنین به دلیل حرکت دورانی، عموماً این نوع ترک در قسمت فوقانی از تحتانی عریض‌تر است.



۱.۵.۷ شکل ظاهری یک ترک ناشی از نشست



۸. ۵. شکل ظاهری یک ترک انبساطی که به دلیل قرارگیری بازشوهای پنجره از مسیر خود منحرف شده

ترک‌های انبساطی تقریباً عرض یکنواختی دارند و همه‌ی جابه‌جایی‌ها به‌صورت افقی رخ می‌دهد. تنها حرکت روی اتصال به کف، جایی است که آجرها از سمتی به سمت دیگر لغزش می‌کند. این ترک روی اتصال به کف به‌صورت مویی و ظریف خواهد بود و آجرها و ملات به همین دلیل متاثر خواهند بود.

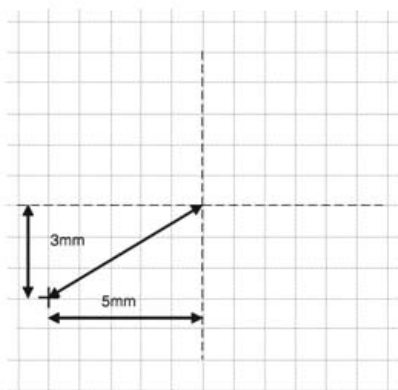
شکل ۷، ۵، ۱ قسمتی از یک ترک را نشان می‌دهد که ناشی از نشست پدید آمده است. این الگوی ترک خوردگی تقریباً زاویه‌ی 45° دارد. این اثر دورانی میزان جابه‌جایی افقی را افزایش می‌دهد، البته این افزایش به‌نسبت جابه‌جایی قائم می‌باشد. این میزان دوران از موردی به مورد دیگر متفاوت خواهد بود و لذا در این گونه مواقع «قضاوت حرفه‌ای» باید صورت بپذیرد. برای ترک‌هایی با آشکار کمتر، صرفاً نیازمند تجربه‌ی بالا هستیم.

در شکل ۷، ۵، ۱ توضیح کوتاهی در مورد قسمتی از ترک آورده شده است. این نمونه نشان می‌دهد که یک جابه‌جایی عمودی به‌اندازه‌ی ۳ mm می‌تواند منجر به جابه‌جایی افقی ۵ mm گردد. این شکل صرفاً با هدف ارائه یک نمونه می‌باشد. میزان جابه‌جایی در هر مورد می‌تواند بسته به شرایط متفاوت باشد، اما ارقام مذکور در شکل نمایان‌گر آن چیزی است که در یک مورد واقعی انتظار آن را داریم.

حالا شکل قبلی را با ترک انبساطی نشان داده‌شده در شکل ۸، ۵، ۱ مقایسه نمایید. الگوی

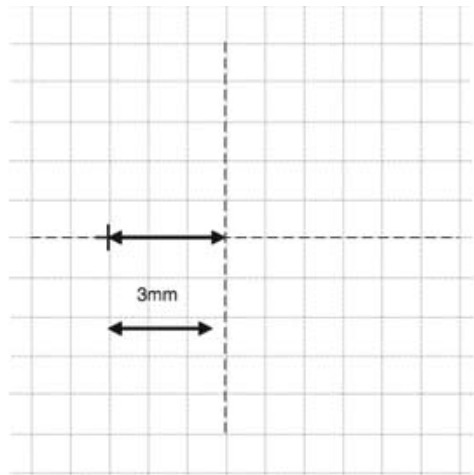
ترک خوردگی انبساطی در این مثال تبدیل به یک ترک پله‌ای شده، و این امر به دلیل محل قرارگیری بازشوهای پنجره در دیوار می‌باشد. الگوی ترک این شکل در حالت کلی مشابه با ترک خوردگی ناشی از نشست نشان داده شده در شکل ۷.۵. ۱ می‌باشد. با این وجود، انجام یک بازدید دقیق از ترک نشان خواهد داد که کل جابه‌جایی و جدایی ترک صرفاً به صورت گرفته افقی می‌باشد. هیچ جدایشی در اتصال به کف وجود ندارد و ترک صرفاً به صورت مویی و خیلی ظریف می‌باشد. این ترک خوردگی مویی در اتصال به کف یک عمل برشی است که ناشی از لغزش افقی آجرهای فوقانی روی آجرهای تحتانی است.

توضیح مختصری هم در قسمت دایره‌ای شکل در مورد ناحیه‌ی کوچکی از ترک وجود دارد. این ارقام نشان داده شده نیز صرفاً به هدف نشان دادن یک نمونه می‌باشد. میزان جابه‌جایی هم بسته به ضریب انبساط مصالح بتایی و تغییرات دمایی دیوار تغییر خواهند داشت. با این وجود این ارقام تا حد توان واقع‌بینانه انتخاب شده‌اند. ضریب انبساط معیاری است از اینکه هر ماده با هر یک درجه تغییر دمایی، چه میزان منبسط می‌گردد. هر ماده‌ای هم نرخ انبساطی متفاوتی دارد. بتن هم در مقایسه با مصالح آجری از ضریب انبساطی بالاتری برخوردار می‌باشد.



جایجایی اندازه‌گیری شده ناشی از ترک حاصل از نشست که در کاغذ شطرنجی ترسیم شده

شکل ۹، ۵، ۱ نشست ترسیم شده روی کاغذ شطرنجی



جابجایی ناشی از ترک خوردگی انبساطی، ترسیم شده در کاغذ شطرنجی

شکل ۱۰، ۵، ۱ انبساط ترسیم شده روی کاغذ شطرنجی

برای اینکه این پدیده را به نحو دیگری نشان بدهیم، (اگر اندازه‌گیری جابه‌جایی افقی و قائم در محل ممکن باشد) پس از اندازه‌گیری و ترسیم آن در کاغذ، زاویه‌ی حرکت (زاویه‌ی خطوط فرضی کشش) مشخص می‌شود.

می‌توان پس از اندازه‌گیری‌ها، با استفاده از قوانین هندسی زاویه‌ی حرکت را نیز محاسبه نمود. چنانچه محور قائم و افقی روی قطعه‌ای از کاغذ شطرنجی ترسیم شود، این جابه‌جایی را می‌توان با مقیاس مناسب ترسیم کرد. در عمل مقیاس کردن هر یک سانتی‌متر به یک میلی‌متر منطقی می‌باشد.

شکل ۹. ۵. ۱ را ملاحظه فرمایید که در آن جابه‌جایی به‌اندازه‌ی ۳ mm به پایین و ۵ mm به طرف چپ از نقطه‌ی محور مرکزی است. هر خط ترسیمی از محور مرکزی به سمت نقطه‌ی مورد نظر نشان‌دهنده‌ی راستا و جهت حرکت می‌باشد، که همان «فلش‌های فرضی کشش» می‌باشد. خط ترسیم شده دقیقاً زاویه‌ی 45° ندارد. همان‌طور که قبلاً هم اشاره شد، علت وجود این زاویه را می‌توان به اثر دورانی نسبت داد یا آنرا با یک قضاوت حرفه‌ای توجیه نمود. این حرکت رو به پایین و چپ می‌باشد.

در شکل ۹، ۵، ۱، جابه‌جایی ۳ میلی‌متری به سمت چپ ترسیم شده است. جابه‌جایی عمودی خط مویی هم عملاً صفر می‌باشد. این نقطه‌ی ترسیم شده عملاً روی خط محور افقی می‌باشد. با متصل نمودن نقطه‌ی محور مرکزی به نقطه‌ی ترسیم شده، خواهیم دید که راستای حرکت افقی

می‌باشد. حرکت افقی از ویژگی‌های متداول ترک‌خوردگی انبساطی می‌باشد. در این مثال، ظاهر کلی ترک انبساطی در اثر محل قرارگیری بازشوهای پنجره به صورت شیب‌دار شده است. با این وجود اگر جابه‌جایی واقعی ترسیم گردد، تنها حرکت افقی نشان داده خواهد شد. در نتیجه از روی الگوی پلکانی ترک‌خوردگی، می‌توانیم «خطوط فرضی کشش» را نسبت به راستای واقعی کشش (که افقی می‌باشد) را توجیه نماییم. با نگاهی به ظاهر خود ترک به همراه الگوی کلی، می‌توان تمایز میان یک ترک ناشی از نشست که با زاویه گسترش می‌یابد، و یک ترک انبساطی شیب‌دار که از زاویه‌ی خود منحرف شده است را مشاهده نماییم.

۶.۱ توزیع بار

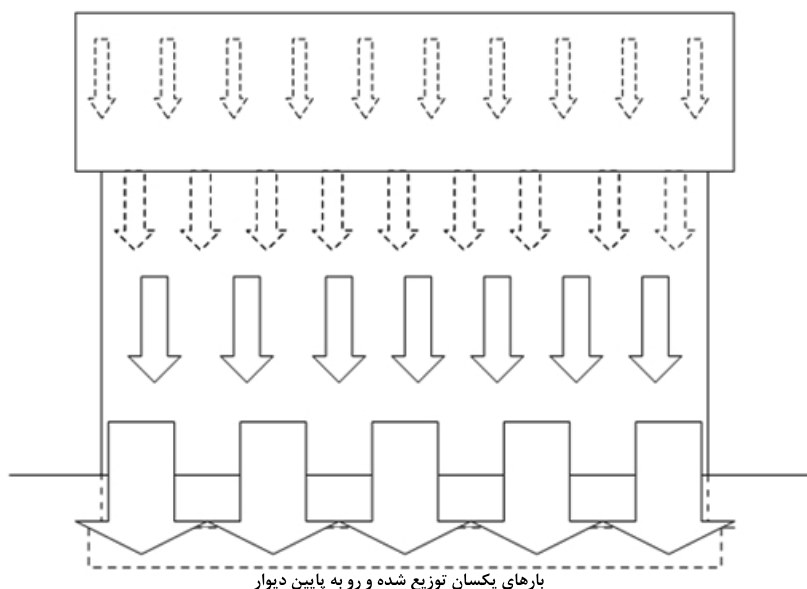
«نیروهای ایجاد شده در یک ساختمان (یا المانی از آن) می‌توانند قسمت‌هایی را که کمتر بارگذاری شده‌اند به میزان بیشتری از قسمت‌هایی که بیشتر بارگذاری شده‌اند حرکت دهند. بر روی یک ساختمان بار به صورت متقارن و مساوی توزیع نمی‌شود. در قسمت‌های تحتانی دیوار از قسمت‌های فوقانی بار بیشتری وجود دارد. در نقاط تکیه‌گاهی روی بازشوها هم تمرکز بار پدید می‌آید. بارها اغلب روی تیرهای باریک دیواره‌ی آجری متمرکز می‌شوند. برای تصور بهتر از «جریان» بارگذاری در ساختمان و اطراف بازشوها، می‌توان یک نمودار خطی ساده را ترسیم نموده و درک بهتری پیدا کرد.»

یکی دیگر از عوامل مؤثر بر شکل یک ترک، توزیع بار می‌باشد. در یک ساختمان تمامی قسمت‌ها به‌طور مساوی بارگذاری نمی‌شوند. در اطراف بازشوها که تیرها، وزن و بارها را از بالا انتقال می‌دهند، تمرکز بار پدید می‌آید. درست در قسمت پایینی بازشوهای پنجره هیچ‌گونه باری روی دیواره‌ی آجری به جز وزن خود دیواره وارد نمی‌شود.

در قسمت‌های بالای یک دیوار وزن اندکی وجود دارد که مربوط به وزن پشت بام می‌شود. هرچه به سمت قسمت‌های پایین‌تر دیوار پیش برویم، وزن دیواره‌ی آجری بیشتر می‌شود، تا جایی که در نهایت دیواره‌ی آجری، تمامی بار قسمت‌های فوقانی را تحمل نماید. در شرایطی که نیروی یکسانی وجود داشته باشد، این نیرو ساده‌تر به ناحیه‌هایی که بارگذاری چندانی روی آن نشده به نسبت ناحیه‌هایی که بارگذاری زیادی روی آن شده است، منتقل می‌گردد. این امر نیز می‌تواند منجر به انحراف در الگوی ترک‌خوردگی شود. برای مثال در بخش قبل، ترک‌های انبساطی با ترک‌های ناشی از نشست مورد مقایسه قرار گرفت. ترک‌های انبساطی عموماً در عرض و ارتفاع یکنواخت هستند، در حالی که ترک‌های ناشی از نشست به دلیل اثر دورانی در ارتفاع به تدریج عریض می‌شوند. در واقع ترک‌های انبساطی هم در قسمت‌های فوقانی اندکی بیشتر از قسمت‌های پایینی هستند، که این به دلیل اثر وزن می‌باشد. نیروی انبساطی ایجاد شده از حرارت هم در قسمت‌های فوقانی که بارگذاری اندکی روی آن است، می‌تواند دیوار را حرکت دهد. در

قسمت‌های پایینی نیز که وزن بیشتری وجود دارد، در نتیجه اصطکاک بیشتری پدید می‌آید، لذا مقاومت در مقابل حرکت افزایش می‌یابد. با این وجود این تفاوت اندک بوده و از اختلافی که دوران پدید می‌آورد، کمتر می‌باشد.

هنگامی که به نمای یک ساختمان نگاه می‌کنیم، باید تصور نماییم که به چه نحوی بارها به سمت پایین جریان یافته و در دیوارها منتقل می‌شود. این جریان را می‌توانیم به رودهایی تشبیه نماییم که در انتهای یک تپه به یک رودخانه تبدیل می‌شود.



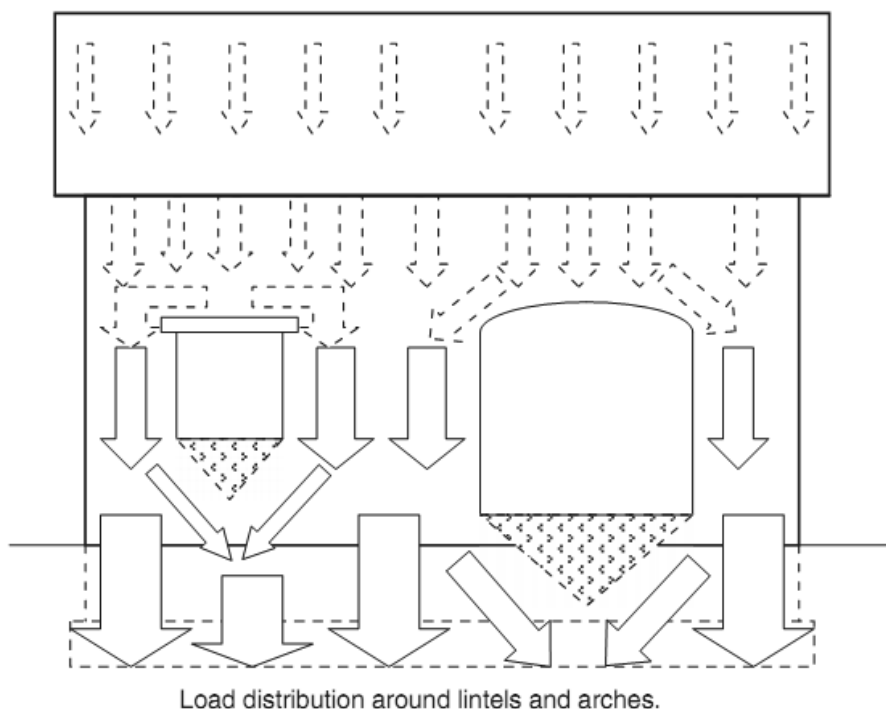
شکل ۱.۶.۱ مسیر بار به صورت ساده

چنانچه ساختمانی بدون هیچ بازشویی به صورت کاملاً متقارن ساخته شود، بارها به صورت مساوی از پشت بام و دیوارها توزیع می‌شوند، همان‌طور که در شکل ۱، ۶، ۱ هم نشان داده شده است. به همین ترتیب بارها به سمت پایین حرکت می‌کند تا جایی که پی به‌طور مساوی، بار را به زمین توزیع می‌کنند.

در مورد ساختمان‌هایی که به‌طور متقارن یا به‌طور یکنواخت ساخته نمی‌شوند یا دارای بازشوهایی در دیوارها برای پنجره‌ها هستند، لازم است وزن از قسمت بالا و اطراف بازشو حمل شود. این تحمل بار توسط تیرها (که به نام تیر نعل درگاهی شناخته می‌شود) یا قوس‌ها صورت

می‌گیرد.

همچنین تیرها در محل نقاط تکیه‌گاهی ایجاد تمرکز بار نقطه‌ای می‌کنند. چنان‌چه این قوس یک قوس ۱۸۰ درجه‌ی کامل نباشد، موجب به‌وجود آمدن نیروی محوری رو به بیرون می‌شود، به‌طوری‌که این نیروها در اطراف محل بازشدگی ظاهر می‌شود. هر چه این قوس بیشتر رو به تخت‌شدگی برود، نیروی محوری بیرون زننده‌ی بیشتری نیز ایجاد می‌گردد.



شکل ۱.۶.۲ مسیر بار در اطراف تیر نعل درگاهی و قوس‌ها

در شکل ۱.۶.۲ مسیر جریان بار را از نمای ساختمان در محلی که بازشدگی‌ها تشکیل شده‌اند را نشان می‌دهد. بازشدگی سمت چپ در قسمت فوقانی خود دارای یک تیر نعل درگاهی است که همان‌طور که در شکل مشخص است بارها با زاویه‌ی ۹۰ درجه پیرامون بازشدگی و با راستای قائم در کنار هر وجه آن انتقال می‌یابد. تکیه‌گاه قوس هم در قسمت فوقانی بازشدگی سمت راست موجب به‌وجود آمدن نیروی محوری رو به بیرون می‌شود. از این رو باید در هر دو طرف قوس به اندازه‌ی کافی توده‌ی جرم دیوار وجود داشته باشد تا بتواند در مقابل این نیرو مقاومت کند.

باز برای تقریب بیشتر به صورت ذهنی ، می‌توانیم این روند انتقال بار را به جریان آب رودخانه‌ای تشبیه کنیم که از طریق موانعی که همان بازشدگی‌ها هستند از مسیر خود منحرف می‌شود. در قسمت تحتانی بازشدگی‌ها هم مجدداً بارها با زاویه‌ی 45° درجه گسترش می‌یابند و به مسیر اصلی برمی‌گردند. این امر سبب می‌شود تا در قسمت پایینی بازشدگی‌ها ناحیه‌ای تشکیل شود که در آن هیچ‌گونه باری اعمال نمی‌شود. تنها نیرویی که در این ناحیه‌ی سایه‌زده شده وجود دارد، وزن خود دیواره می‌باشد. عدم حضور بار در این منطقه باعث می‌شود که حرکت این ناحیه از دیوار به سهولت انجام شود. معمولاً ترک‌های مویی که در محل درزهای ملات دیوار آجری تشکیل می‌شود و در آن ناحیه غیربارگذاری شده با ناحیه‌ی بارگذاری شده تقاطع می‌یابد، در پی خطوط ناحیه‌های سایه‌زده شده می‌باشد.

این پدیده را با عنوان ترک خوردگی مسیر بار می‌شناسیم. در ادامه‌ی این کتاب در قسمت‌های بعد یک نمونه از این پدیده به‌همراه خصوصیات کلیدی مرتبط با آن را ارائه خواهیم کرد.

۱.۷ حرکت و راستای آن

«تغییرات دما و رطوبت به‌صورت فصلی موجب به‌وجود آمدن انبساط و انقباض می‌شود. همچنین هر روز با تغییرات دما و تغییرات اثر جاذبه‌ی ماه هم مواجه هستیم. واکنش‌های شیمیایی که موجب به‌وجود آمدن حرکت می‌شود اغلب نیازمند آب به‌عنوان یک "واسطه" می‌باشند. همچنین حرارت هم به‌عنوان یک کاتالیزگر (تسریع دهنده) واکنش‌های شیمیایی نقش ایفاء می‌کند. در نتیجه نمای ساختمان و دیوارهایی که در معرض محیط بیرون هستند، بیشتر در معرض حرکت هستند.»

تمامی ساختمان‌ها به‌صورت روزانه و فصلی حرکت می‌کنند. حرکت از انبساط و انقباض ناشی از تغییر دما ناشی می‌شود. حرکت همچنین به‌دلیل انبساط و انقباض ناشی از تغییرات میزان رطوبت پدید می‌آید. این پدیده در انگلستان اغلب در نماهای جنوبی و جنوب غربی یک ساختمان به‌وجود می‌آید که دلیل آن بادهای گرم و مرطوبی است که از این جهت‌ها می‌وزد.

حرکت‌های فصلی و روزانه به ندرت محسوس می‌باشند، اما می‌تواند موجب آسیب‌های دیگری نیز گردد که به تخریب ساختمان کمک می‌کند. برای مثال، ترک‌های کوچک می‌تواند موجب ورود آب باران شود و منجر به آسیب و پوسیده شدن الوارهای چوبی سازه‌ای گردد. حرکت می‌تواند به‌دلیل واکنش‌های شیمیایی از جمله خوردگی به وقوع بپیوندد.

به‌طور کلی به عنوان یک قانون سرانگشتی، آسیب‌های ساختمانی از این نوع در نماهایی از ساختمان که در معرض نور آفتاب هستند متداول‌تر و شدیدتر می‌باشد.