مروری بر کاربرد DFN در نفوذپذیری توده سنگ های درزه دار

محمدالقاصی چگنی [1i]علی عالی انوری[2]، عباس کمالی بندپی[3]

1- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه کاشان، mani862@gmail.com
2- استادیار مکانیک سنگ، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه کاشان، Ali_aalianvari@kashanu.ac.ir
3- دانشجوی پست دکترا، kamabbband@gmail.com ، Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), Chicoutimi (Québec), Canada

کلمات کلیدی

- ناپیوستگی
- توده سنگ درزه دار
- DFN
- تحیل عددی
- اجزا مجزا

چکیده

دراین تلاش به بررسی پیشینه مطالعات نفوذپذیری پرداخته شده و سیر تکاملی تحلیل عددی نفوذپذیری توده سنگ که از روشهای تحلیلی اغاز شده و با آنالیز المان محدود ادامه پیدا کرده و سپس با روش های آنالیز المان های مجزا تکامل یافته است آورده شده، در نهایت روش کاربرد DFN توسعه پیدا کرده و در حال تکامل است. امروزه استفاده از روشهای DFN روشی معمول برای تحلیل عددی نفوذپذیر در توده سنگ بوده وبیشترین کاربرد را تحلیل نفوذپذیری در سنگ را دارند، در کنار این موضوع در خصوص توابع احتمال توزیع درزه به منظور مشخص نمودن پارامترهای هندسی درزه ها مانند (بازشدگی درزه، طول درزه، فاصله داری درزه ها و ....) توضیحاتی ارائه شده است و سیر استفاده و تکامل توابع مختلف احتمال توزیع تشریح شده است.

[i] محمد القاصی چگنی دانشجوی دکترای مهندسی معدن، مکانیک سنگ دانشگاه کاشان، 09120322887.

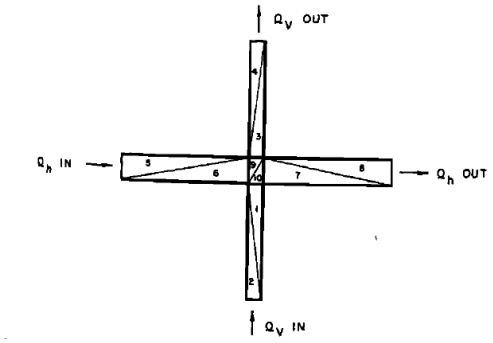
1- مقدمه

نفوذپذیری در توده سنگ های درزه دار یکی از مهمترین پارامترهای مورد توجه برای تحلیل رفتار آب زیرزمینی در حین طراحی، ساخت وبهره برداری وهمچنین برآورد ایمنی سازه ها می باشد. میزان نفوذپذیری توده سنگ در تونل سازی، ساخت سد ها، استخراج نفت و گاز، دفن زباله های هسته ای، مخازن طبیعی نفت و گاز و منابع زمین گرمایی مورد توجه است [1]، زیرا که نفوذپذیری سنگ علاوه بر فرار سیال می تواند پایداری سازه را تحت تاثیر قرار دهد، همچنین با توجه به اینکه هزینه حفر گمانه ها جهت انجام عملیات تزریق و زهکشی در پروژهای عمرانی قابل توجه است [2]، تعیین بهینه ترین راستای حفر گمانه ها موضوعی مهم میباشد که با شناخت نفوذ پذیری و شبکه ناپیوستگی توده سنگ مستقیم در ارتباط است.

آگاهی داشتن از فرآیندهای هیدرومکانیکی و اثرات آنها بر تغییرات هندسی سازه ها و رفتار ساختاری توده سنگهای شکسته، تحت تاثیر بارهای استاتیکی و دینامیکی و یا ترکیب این دو ,و ارتباط بین جریان سیال و فشار برای یک تحلیل قابل اعتماد مسائل مهندسی سنگ بسیار ضروری می باشد. خصوصا زمانی که فرایند هیدرومکانیکی بر روی محیط زیست تاثیر می گذارند درک آنها بسیار ضروی و مهم است[3]. توده سنگ بر خلاف ماده سنگ كه محيطي پيوسته مي باشد، معمولاً شامل ناپيوستگي هايي نظير درزه است كه محيط را ناپيوسته مي نمايد و چون اين محيط ناپيوسته، آنيزوتروپ، ناهمگون و غيرآلاستيک است، لذا تعيين رفتار مكانيكي و هيدروليكي (تغيير شكل پذيري، مقاومت و ...) درچنين محيطي، فرآيندي پيچيده و مشكل است [4]. تاکنون روابط وروشهای تحلیلی و عددی متعددی به منظور برآورد نفوذ پذیری در توده سنگ ها ارایه شده است ولی به علت عدم توجه به ناپیوستگیها ویکسان فرض نمودن مشخصات ناپیوستگیها و یا همسانگرد فرض نمودن محیط و عدم توجه کافی به پارامترهای تاثیر گذار در نفوذپذیری توده سنگ مقداربرآورد مذکور واقع بینانه نبوده است. رفتار هیدرولیکی توده سنگ درزه دار (در سنگ های با بافت پیوسته) غالبا توسط هندسه درزه ها کنترل می شود [5]. این خصوصیات هندسی شامل طول، فاصله داري، جهت، چگالي و فراواني، بازشدگي، محل، پیوستگی درزه ها و رابطه میان پارامترهاي هندسي شكستگي ها می باشند همچنین شرایط سطح ناپیوستگی، انحناء در مسیر ناپیوستگی، ارتباط ناپیوستگی ها با هم در شبکه ناپیوستگی، مقاومت و رفتار توده سنگ در برابر تنشهای استاتیک و دینامیک، ویسکوزیته سیال و..... در رفتار هیدرومکانیکی توده سنگ تاثیر مستقیم دارند که تعیین ومحاسبه دقیق رفتار نفوذپذیری سنگ هر کدام این پارامترها از اهمیت خاص خود برخوردار است [6].

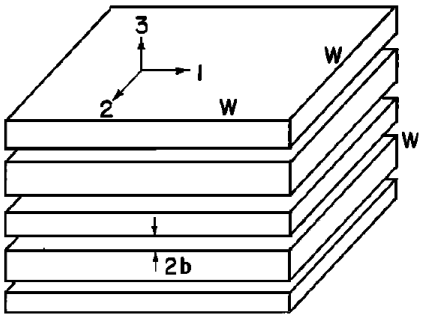
2- نفوذ پذیری در سنگ

تا قبل از بررسی رفتار توده سنگ درزه دار به روش تحلیل های عددی دانشمندان بر روشهای تجربی محاسبه نفوذ پذیری توده سنگ و از جمله مهمترین قانون محاسباتی قانون دارسی تاکید داشتند، بررسی نفوذپذیری توده سنگ با روشهای عددی به اواسط دهه شصت میلادی و اوایل دهه هفتاد میلادی بر می گردد، در سال]1974[Paul A.Witherspoon & Charls R.Willson با انتشار مقاله ای با استفاده از روش تحلیل عددی اجزا محدود دو بعدی، با در نظر گرفتن المانهای مثلثی، که با المانهای پیوسته و نامحدود روش تحلیل اجزای محدود تفاوت داشتند، دست به تحلیل شبکه ناپیوستگی درزه ها با جهت های تصادفی و باز شدگی های متفاوت زدند،[7]. آنها با درنظر گرفتن هر دسته ناپیوستگی به صورت یک بلوک نفوذپذیری با رفتار متفاوت در توده سنگ و استفاده از روشهای آماری در برداشت درزه ها که قبلا توسط محققانی مانند [1965] Snow [1965, 1969, 1970], Serafim and delCampo , Romm [1962, 1966], Smekhoo et al. [1958], [1967] Louis, Wittke [1970] و [1970] Sharp مورد بررسی قرار گرفته بود به تحلیل نفوذپذیری در سنگ پرداختند، در این تحقیق داده های برداشت شده از سایت، مانند بازشدگی درزه، فاصله داری درزه ها و جهت داری آنها دارای اهمیت خاصی بودند. آنها در تحقیق خود به تحلیل جریان سیال در فونداسیون سدها پرداختند و به این نکته اذعان داشتند که برای تحقیقات بیشتر می توان با مطالعات بیشتر به وسیله روشهای دیگر به نتایج بهتری دست یافت.



شکل 1- المانهای مثلثی به کار رفته برای تحلیل دوبعدی تقاطع دو ناپیوستگی عمود بر هم، [1974]، Paul A.Witherspoon.

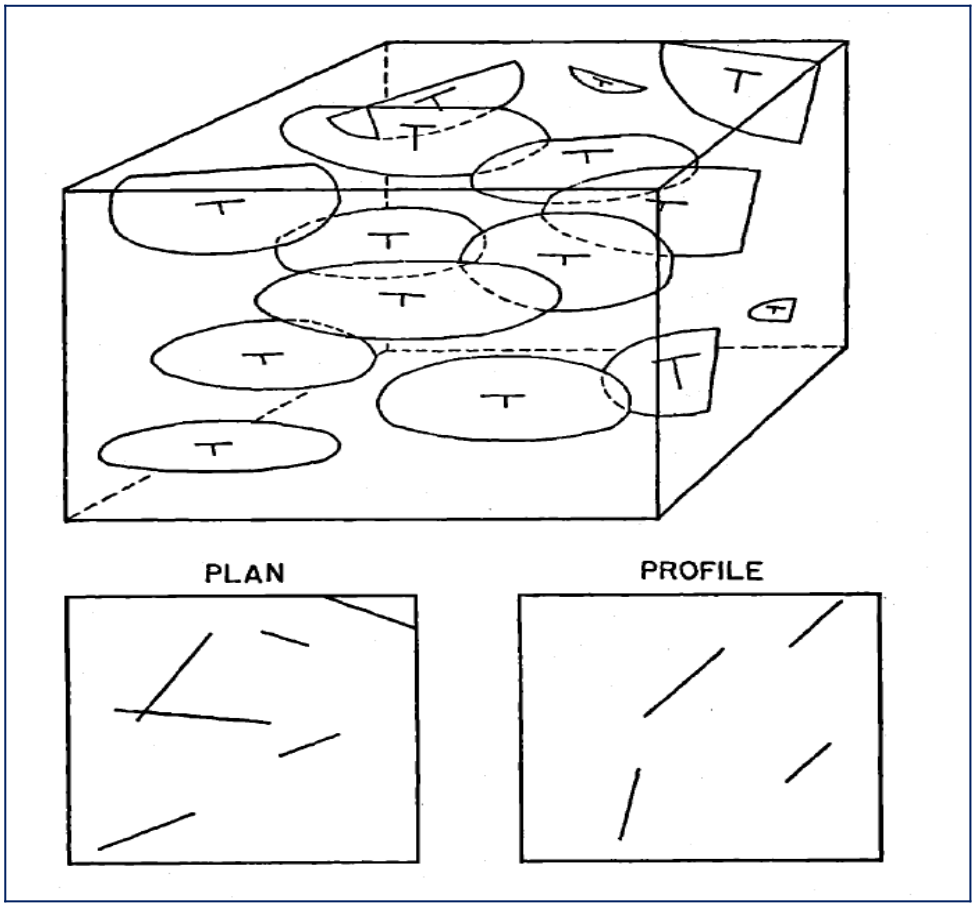
همانطور که در بالا اشاره شد، استفاده از توابع احتمال در توزیع شبکه های ناپیوستگی توسط Snow [1965, 1969, 1970] بررسی و ارائه گردید، وی با در نظر گرفتن انیزوتروپی در نفوذپذیری توده سنگ به عنوان یک ویژگی ذاتی و حفر سه گمانه متعامد در محدوده سد و انجام تست های تزریق آب، به بررسی نفوذپذیری در محیط سه بعدی پرداخت، برای بررسی رفتار درزه ها با نمونه گیری از یک درزه و موازی در نظر گرفتن آنها، ویژگیهای مهندسی تک درزه را مورد بررسی قرارداد و با استفاده از قوانین Navier-Stokes در سیال های نیوتنی و جریان های غیر مغشوش،[1937]Muskut، [1932]Lamb و [1898]Hele-shaw خصوصیات نفوذپذیری یک تک درزه را بررسی نموده و سپس با در نظر گرفتن دسته درزه های موازی به عنوان یک سیستم نفوذپذیری رفتار آنها را تحلیل نمود.



شکل2- توده سنگی که به وسیله دسته درزه های موازی از هم جدا شده است،[8].

وی همچنین بیان نمود که در یک توده سنگ، دسته درزه های موازی به صورت مجزا عمل کرده و در نهایت نفوذپذیری توده سنگ برایندی از عملکرد تمام این دسته درزه ها می باشد، به منظور مشخص نمودن جهت تعداد دسته درزه های مشخص در توده سنگ با استفاده از ثابت پراکندگی فیشر Fisher [1953]، $e^{K_f \cos\theta}$ که در آن k_f ثابت پراکندگی فیشر و $\cos\theta$ گرایش به مرکز دسته درزه ها میباشد و θ میزان تمایل درزه ها به مرکز کل داده می باشد.جهت درزه ها را تعیین نمود. وی با اشاره به محیط معادل مجازی، نفوذپذیری معادل را برای توده سنگ را مطرح نمود.

آقایان G. B.Beacher & Einstein. H. H [1977] با ارائه مقاله ای به بررسی آماری برداشت 0درزه ها در [9]. آنها با بررسی در سایت مشاهده کردند که توابع توزیع نمایی، گاما، نرمال و لاگ نرمال برای توصیف طول اثر درزه قابل استفاده هستند. برای فاصله داری درزه ها، از توابع توزیع نمایی استفاده نمودند، آنها یک مدل مفهومی از وضعیت سه بعدی درزه ها ارائه نمودند که می توان گفت پایه ای برای دیگر تحقیقات در مورد نفوذپذیری در سنگهای توده ای است. شکل 3.

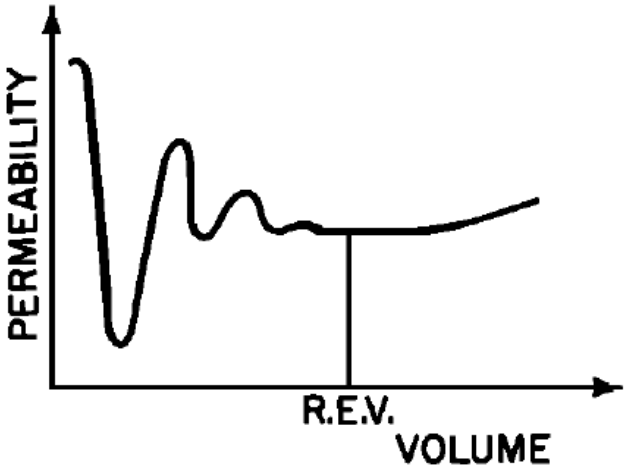


شکل 3- مدل مفهومی از وضعیت درزه ها نسبت به هم در توده سنگ،[9].

این ایده مفهومی بر أساس فرضیات ذیل مطرح گردید، درزه های دیسک هایی دو بعـدی می باشـند، مرکز دیسک ها به صورت تصادفی و بر أساس توزیع پواسون تعـیین می شـوند، شـعاع دیسـک هـا بـر أساس توزیع لاگ نرمال تعریف می شوند، شعاع درزه ها، شـیب آنهـا و مـوقعیت فضـایی درزه هـا از نظر آماری ارتباطی بایکدیگر ندارند[9]..

محقق هایی مانند LONG. G. S. C, REMER. J. S, WILSON. C. R, WITHERSPOON. P. A, [1982] بررسی نفوذپذیری توده سنگ را به دو دسته تقسیم کردند، دسته اول درزه ها را بـدون انتهـا و تـوده سـنگ را مملو از شکسـتگی در نظـر می گیرنـد و دسـته دوم درزه هـا را محـدود و گسـترش درزه هـا را قابـل اندازه گیری در نظر می گرفتند، بعضی از درزه ها که بـا دیگـر درزه هـا نقطـه تقـاطعی نداشـتند در نفوذپذیری تاثیر خاصی نداشته و برایند نفوذپذیری تمام درزه معرف نفوذپذیری توده سنگ می باشد، دانشمندانی که امتداد درزه را محدود می دانستند، با دو روش به بررسی نفوذپـذیری پرداختنـد، روش اول توسط آقایان1971,1972] Parsons [1966] and Caldwell [, از روش مقایسه ای استفاده کردند، و در روش دوم با استفاده از داده های به دست آمده در سایت سعی در تصحیح روشهای به کاررفته در مدلهای ریاضی نفوذپذیری نمودند، Rocha and Franciss [1977]، این روش به صورت تجربی به کار می رفت و به خصوصیات فیزیکی و هندسی درزه ها توجهی نداشت.

در سال 1982 دانشـمندانی ماننـد، Ferrandon [1948] , Collins [1961] , کـه از قـانون دارسـی بـرای نفوذپذیری استفاده کرده بودند، به بررسی نفوذپذیری توده سنگ در مسـیرهای درزه هـا پرداختنـد بـه طوری که نفوذپذیری را عامل برایند جهت گرادیان هیدرولیکی و جهت شکستگی تعریف کرده و برایند محلی نفوذپذیری درزه ها را انقدر با گسترش مقیاس ادامـه دادنـد کـه بـه یـک نماینـده نشـان دهنـده نفوذپذیری در توده سنگ رسیده و نفوذپذیری معادل را مطرح نمودند مطابق شکل شماره 4،



شکل 4- نماینده نفوذپذیری توده سنگ،[10].

آنها در محاسبه میزان نفوذپذیری معادل عدم قطعیت هایی را مطرح نمودند، این عدم قطعیت ها عبارتند از 1- تانسورهای نفوذپذیری معادل دریک شرایط مرزی ممکن است توانایی پیش بینی نفوذپذیری توده سنگ را در شرایط مرزی دیگری نداشته باشند، 2- نفوذپذیری معادل برای یک توده تضمینی برای پیش بینی درست میزان نفوذپذیری در حالتی که هد متوسط باشد به دست نمی دهد، آنها به مشخصات فیزیکی درزه ها مانند درزه های موثر، جهت، مکان و اندازه درزه ها پرداختند تا بتوانند نفوذپذیری معادل را محاسبه نمایند، در تحقیقات به عمل آمده توسط Gale [1975] تفاوت زیادی بین نفوذپذیری با بازشدگی ظاهری درزه و بازشدگی هیدرولیکی دررزه به دست آمد، ایشان با استفاده از آنالیز مونت کارلو به بررسی آماری داده های به دست آمده از سایت پرداخت و از توابع احتمال توزیع استفاده نمود و در نهایت با استفاده از روش تحلیل عددی آنالیز المان محدود به بررسی نفوذپذیری توده سنگ پرداخت، موردی که او بر آن تاکید داشت متفاوت بودن نفوذپذیری سنگ با توجه غیر متقارن بودن ماهیت توده سنگ ها بود، نکته دیگری که به آن توجه شد حساسیت نفوذپذیری توده سنگ در طول های متفاوت درزه به مقیاس مورد مطالعه درزه بود، بدین معنا که اگر مقیاس مطالعه کمتر از طول درزه باشد رفتار درزه شبیه به درزه های نامحدود محاسبه می گردد. می توان گفت در این تلاش تاکید گردید که برای بررسی نفوذپذیری باید به تحلیل سه بعدی توده سنگ اقدام نمود.

آقای Gregory B. Baecher[1983] با انتشار مقاله ای درباره تکنیک های برداشت درزه ها به موضوع کوتاه کردن و سانسور کردن درزه ها در برداشت درزه ها پرداخت تا بتوان به شکل مطمین تری از توابع احتمال توزیع استفاده نمود[11].

آقایان LONG. JANE C. S, GILMOUR. PEGGY, WITHERSPOON. PAUL A [1985] به پیشرفتی هایی در تحلیل عددی نفوذپذیری توده سنگ دست یافتند، بدین معنا که در مرحله اول به بررسی سه بعدی نفوذپذیری توده سنگ اقدام کرده و شکل درزه ها را به صورت دایره هایی در ارتباط با هم در نظر گرفتند، شکل شماره 5

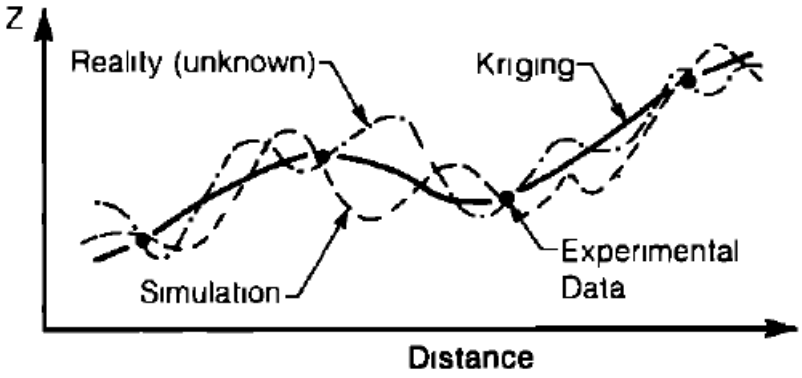
شکل 5- مدل مفهومی از وضعیت درزه های دایره ای نسبت به هم در توده سنگ،[12].

این محققان برای اولین بار استفاده از روش تحلیل عددی تفاضل محدود را معرفی کردند، آنها با ترکیب کردن روش تحلیلی با روش عددی اولین گام را در تحلیل عددی با روش تفاضل محدود را برداشتند، آنها با تحلیل ریاضی هر ترک و برقراری معادلات بقای ماده پرداختند، پیش فرض آنها به این صورت بود که هر گره در شبکه تحلیلی آنها یا یک نقطه منبع و یا یک نقطه تخلیه آب می باشد. هر ترک به عنوان یک محل گذر آب دیسکی و در یک توده سنگ نفوذناپذیر عمل می کند. در نهایت با محاسبه متوسط هد آب در هر گره به تحلیل نفوذپذیری درزه ها پرداختند. آقایان LONG. JANE C. S, WITHERSPOON. PAUL A, [1985] در مقاله ای به بررسی تاثیر ارتباط بین میزان نفوذپذیری و تقاطع درزه ها با هم در توده سنگ پرداختند، و دلایل میزان بالای مقادیر محاسباتی نفوذپذیری در روشهای عددی تا آن زمان را به شرح ذیل معرفی کردند 1- وجود درزه هایی که با درزه های دیگر تقاطعی ندارند، 2 – درزه هایی که تنها یک تقاطع به دیگر درزه ها دارند و 3- این حقیقت که تاثیر نفوذپذیری یک درزه بستگی به نحوه ارتباط آن درزه با دیگر درزه ها دارد، آنها یک کد محاسبه بر اساس روش عددی المان محدود به نام LINEL را مورد استفاده قرار دادند[13]،که در آن اصول محاسبه بر اساس قانون مکعب تعریف شده بود، آنها برای کنترل درستی محاسبات خود از مجموع مربعات خطا استفاده نمودند، آنها در تحلیل عددی با مشکل توانایی کامپیوتر ها برای محاسبات مواجه شدند و برای رفع این مشکل در آن زمان محدودیت برای اندازه درزه ها قائل شدند.

در تحقیقی که توسط آقایان ROULEAU.A , GALE. J. E, [1987] انجام شد، از مدلی به نام SDF نام برده شد که کوتاه شده مدل المان مجزای تصادفی بود، در این مدل محاسباتی از روش المان محدود استفاده شده است. این مدل در ابتدا به صورت دوبعدی مورد استفاده قرار گرفته تا سپس بتواند به

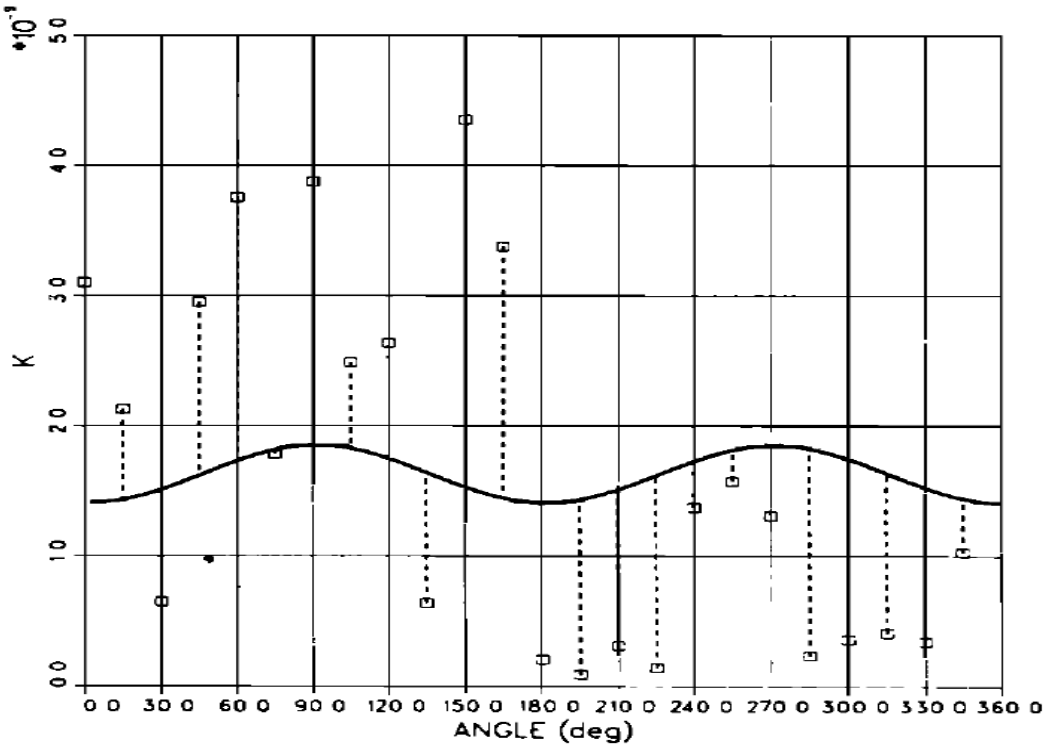
صورت سه بعدی و با محور های متعامد مورد استفاده قرار گیرد. انها به بررسی یک سایت با سنگ گرانیت نمودند تا بتوانند با وجود اطلاعات کافی از وضعیت سنگ منطقه و همچنین نبود گسلهای عمده به بررسی نفوذپذیری توده سنگ با روش المان مجزا بپردازند. آنها برای طراحی شبکه ناپیوستگی از کدهای NETWRK و NETFLO استفاده نمودند، پس از ساخت شبکه و تعیین حدود مرزی در شبکه برای محاسبه میزان دبی در گره های شبکه و این محققان از الگوریت چولسکی [14]، استفاه کردند تا بتوانند میزان دبی در هر گره را محاسبه نمایند. باردیگر به دلیل کم بودن توانایی کامپیوترها آنها فقط توانستند تا محدوده ای به طول 16 متررا تحلیل عددی نمایند و پیشرفت در تحلیل عددی در آن زمان وابسته به پیشرفت در توانایی کامپیوترها بود.

در تلاشی که LONG. JANE C. S, BILLAUX. DANIEL M, [1987]. به عمل آوردند، از یک کد تولید شبکه درزه در توده سنگ به نام FMG که قبلا طراحی شده بود و هر درزه را در یک شبکه درزه به طور مجزا طراحی می نمود و سپس با بر هم نهی این درزه ها یک شبکه درزه را طراحی می کرد، استفاده نمودند، آنها برای تعیین ضریب نفوذپذیری توده سنگ در جهت مختلف از روش عددی المان محدود استفاده کردند[15]، البته به این نکته اذعان داشتند که در تعیین ضریب نفوذپذیری در توده سنگ درمواقعی که راستای درزه های با گرادیان هدرولیکی زاویه دارد تنها می توان با همگن فرض کردن سنگ به تحلیل آن پرداخت که در صورت همگن نمودن سنگ امکان استفاده از روش عددی المان محدود میسر نمی باشد. برای حل این مشکل آنها از روش رگرسیون خطی برای کاهش خطا در محاسبات نفوذپذیری استفاده نمودند. به منظور مشخص نمودن وضعیت درزه ها در توده سنگ آنها از روشهای زمین آماری و شبیه سازی استفاده نمودند تا بتوانند تخمین درستی از وضعیت درزه در توده سنگ داشته باشند، در شکل شماره 6 نمونه ای از تاثیر گذاری روشهای زمین آماری و شبیه سازی نمایش داده شده است.



شکل 6- نمایی از فرایند استفاده از روشهای زمین آماری و شبیه سازی در تعیین شبکه دزه ها در توده سنگ،[15].

در تحقیقی که این محققان انجام دادند به خوبی تاثیر جهت داری درزه در توده سنگ و تاثیر آن به وسیله یک نمودار به تصویر کشیده شده است شکل شماره 7.



شکل 7- تاثیر زاویه درزه ها با گرادیان هیدرولیکی موجود در منطقه مربوط به سایت معدن اورانیوم فانای اگیورس فرانسه،[15].

در دیگر تلاش انجام شده توسط ANDERSSON. JOHAN, DVERSTORP. BJORN, [1987] توسط روش عددی المان مجزا و المان مرزی به تحلیل نفوذپذیری توده سنگ پرداخته شد، که در آن از کدی به نام NAG F01BRF/F04AXF استفاده نمودند، آنها به این نکته تاکید نمودند که می بایست تحلیل نفوذپذیری توده سنگ به صورت سه بعدی انجام پذیرد زیرا که تحلیل دو بعدی همیشه مقدار کمتری از نفوذپذیری را به دست میدهد [16].

Kulatilake, Pinnaduwa H.S.W, [1989] به بررسی توابع احتمال توزیع خصوصیات درزه پرداخته و توابع مورد استفاده برای تعیین جهت داری دسته درزه ها را به صورت توابع نیمکره همشکل، نیم کره نرمال، فیشر دو متغیره، بینگهام، دومتغیره نرمال و دو متغیره لاگ نرمال معرفی نمود. برای فاصله داری درزه ها ایشان تابع توزیع نمایی منفی به همراه برداشت درزه ها در سایت را پیشنهاد نمودند، با این شرط که حداقل فاصله داری دویست درزه در سایت با تابع توزیع مقایسه شود و طول خط برداشت حداقل پنجاه برابر متوسط فاصله داری درزه ها باشد. آنها بر اساس تحقیقات دیگر دانشمندان اعلام نمود که فاصله داری دو بعدی به جهت درزه ها حساس نیست[17]، در مورد طول درزه ها توابع توزیع نمایی منفی، نرمال و لاگ نرمال مورد توجه این محققین قرار گرفت.

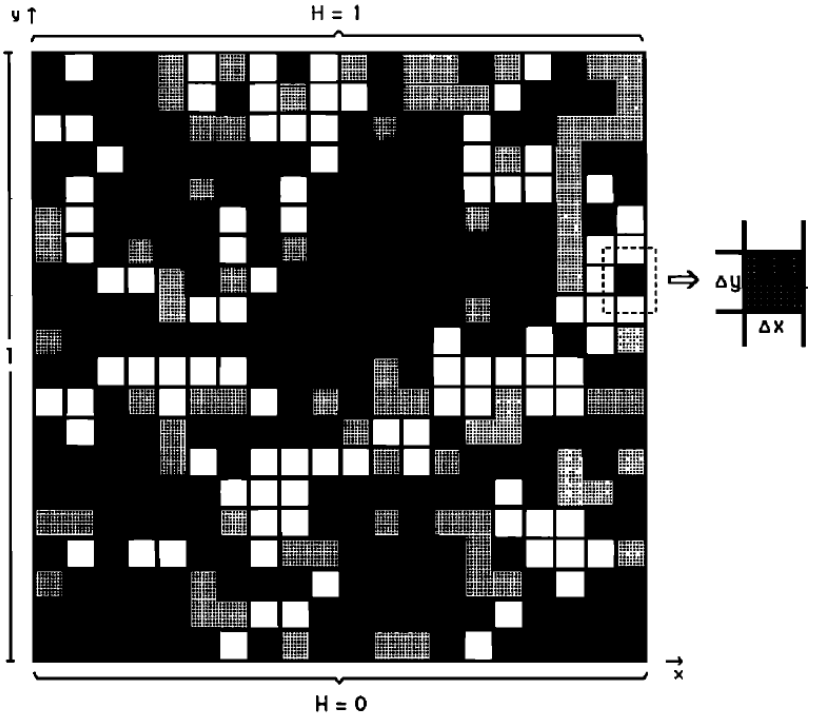
3- روش تحلیل DFN

برای اولین بار درسال 1989 کاربرد تحلیل شبکه ناپیوستگی(DFN)ـ در توده سنگ توسط DVERSTORP. BJORN, ANDERSSON. JOHAN مطرح گردید [18] ، این محققان در معدن استریپای سوئد دست به تحقیق در مورد وضعیت نفوذپذیری توده سنگ با توجه به شبکه ناپیوستگی های توده سنگ زدند، آنها کد محاسبه DISCFRAC را مورد استفاده قرار دادند، اگر چه استفاده از این کد محاسباتی مورد استفاده نوآوری به حساب می آمد اما تلاشی که انجام شده بود، با توجه به داده های ورودی، این مدل سازی نیاز به تحقیقاتی بیشتری داشت.

در همان سال BILLAUX. D, CHILES. J. P, HESTIR. K., LONG. J, [1989] تحقیقی سه بعدی در معدن اورانیوم فانای ارگو انجام دادند که می توان گفت تفاوت آن با دیگر تحققات انجام شده، انتخاب تابع توزیع الگوریتم پدر- دختر در تعریف نقاط مرکزی درزه ها در فضای سه بعدی بود

در تحقیقی که توسط CACAS. M. C, LEDOUX. E, DE MARSILY. G, TILLIE. B,[1990] در معدن در معدن اورانیوم فنای ارگو به انجام رساند، پیشرفت هایی مانند استفاده از تابع توزیع احتمال وان میسز- فیشر برای تعیین جهت داری درزه ها، و تقسیم محدوده مورد بررسی در مدل سازی به زیر مدلهایی برای افزایش توان محاسباتی به دست آمد، در این تحقیق می توان به این موضوع توجه نمود که هر چند از توابع احتمال توزیع برای تعریف خواص هندسی درزه ها استفاده شده، اما در نهایت برای کالیبره کردن مدل از داده های به دست آمده از سایت، مانند مپینگ، تست های آب، داده های پیزومتری استفاده شده است[20] که می توان گفت راهی برای افزایش هماهنگی بین مدل ساخته شده و واقعیت می باشد.

در یک تحقیق خاص که تنها بر روی بازشدگی درزه تمرکزکرده بود و توسط آقایان NORDQVIST. A WILLE, TSANG. Y. W, TSANG. C. F, DVERSTORP. BJORN, ANDERSSON. JOHAN, [1992] انجام پذیرفت آنها باز شدگی درزه را به صورت یک سطح نمونه که در آن درزه واقع شده شبیه سازی کردند، هر با در نظر گرفتن المانهای سطحی کوچک و اندازه های واحد گذردهی سیال را در یک درزه مدل سازی نمودند شکل شماره 8، در این تحقیق نتیجه بسیار جالبی به دست آمد و آن اینکه در شبکه شکستگی ها رابطه بین شکستگی ها سلسله مراتبی می باشد بدین معنی که یک سری از شکستگی ها گذردهی بالاتر و دیگر شکستگی ها از انها پیروی میکنند و در نهایت گذردهی سیال در شکستگیها، به نقاط گلوگاهی که کمترین بازشدگی درزه را دارند، بستگی دارد.



شکل 8- نمونه ای از گذر دهی آب در سطح یک درزه نقاط تیره رنگ نشان دهنده عدم عبور آّب می باشد، در این تصویر سه کلاس از گذردهی آب مشاهده می گردد،[21].

نکته جالب دیگری که در این تحقیق به دست آمد، این بود که در بعضی از محاسبات میزان نفوذپذیری تنها در محل های خاص از درزه ها متمرکز می شد که نشان دهنده رفتار کانالی در سیستم درزه ها می باشد.

در تحقیق به عمل آمده توسط DVERSTORP. BJORN, ANDERSSON. JOHAN, NORDQVIST. WILLE, [1992] در محل دفن زباله استریپای سوئد، از مقایسه داده های به دست آمده از آزمایش ردیابی توسط رنگ، تحلیل عددی المان مجزا و داده های به دست آمده در سایت، این نتیجه حاصل شد که در بازه خیلی دقیق با انحراف استاندارد پایین نمی توان نتیجه گیری دقیقی از تحلیل عددی به دست آورد [22]، مگر اینکه داده های اولیه هندسی درزه به روشنی مشخص شده باشند، این محققان این نکته را نتیجه گیری کردند که روش المان مجزا در شبکه ناپیوستگی نیاز به تحقیق و پیشرفت بیشتری در آینده دارد.

در سال [1993] KWlCKLIS. EDWARD M, HEALY. RICHARD W, برای محاسبه نفوذپذیری شبکه ناپیوستگی کوهستان یوکان در ایالات متحده با استفاده از کد تحلیل عدد، تفاضل محدود TOUGH که در سال 1987 طراحی شده بود، استفاده کردند[23]. آنها در فشار های متفاوت و با بازشدگی متفاوت درزه ها در یک بازه مشخص دست به تحلیل نفوذپذیری توده سنگ زدند، برای تولید شبکه ناپیوستگی آنها از کد VESFRAC استفاده کردند، در نهایت تحقیق آنها نشان داد در محیط اشبا بازشدگی درزه ها تابعی از میزان فشار موجود در درزه ها می باشد.

4- نتیجه گیری

همانطور که در قسمت بحث مطرح شد، تحلیل نفوذپذیری توده سنگ کاری مشکل و همراه با عدم قطعیت می باشد، بررسی نفوذپذیری توده سنگ از روشهای تجربی آغاز شده، با روشهای تحلیل عددی پیوسته مانند المان محدود گسترش یافته، با روشهای تحلیل عددی المان مجزا و ازحالت دو بعدی به سه بعدی پیشرفت کرده است، همانطور که مشاهده نمودید استفاده از توابع احتمال توزیع در مشخص نمودن پارامترهای هندسی درزه امری معمول است که البته با مقایسه خواص هندسی درزه محاسبه شده با برداشتهای در سایت این داده ها می تواند اعتبار سنجی شده و دقت لازم حاصل شود، از اوایل دهه نود استفاده از شبکه مجزای ناپیوستگی DFN آغاز شده و تا کنون در حال توسعه می باشد.

منابع:

[1]- Colin. T, Leung. O, Zimmerman. W, 2012, Estimating the Hydraulic Conductivity of Two-Dimensional Fracture Networks Using Network Geometric Properties, Springer Science + Business Media B.V.

[2]-Zoorabadi M, Indraratna B, Nemcik. J ,2012, A new equation for the equivalent hydraulic conductivity of rock mass around a tunnel, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences.

[3]- Birkholzera. Jens T, Chin-Fu, Tsang. ab, Alexander. E. Bondc, Hudson. John A, Jinge. Laura, Stephansson. Ove, 2019, 25 years of DECOVALEX - Scientific advances and lessons learned from an international research collaboration in coupled subsurface processes, International Journal of Rock Mechanics, and Mining Sciences.

[4]-ZHANG. Lianyang, 2013, Aspects of rock permeability, Front. Struct. Civ. Eng.

[5]-Noorian Bidgoli. Majid, Jing. Lanru, 2015, Water Pressure Effects on Strength and Deformability of Fractured Rocks Under Low Confining Pressures, Rock Mech Rock Eng, 48:971–985.

[6]-Kayabasi .A, Yesiloglu-Gultekin. N, Gokceoglu. C,2014, Use of non-linear prediction tools to assess rock mass permeability using various discontinuity parameters, Engineering Geology.

[7]. WILSON, C, R, WITHERSPOON, P, A, 1974. “Steady-State Flow in Rigid Networks of Fractures”. WATER RESOURCES RESEARCH, Vol 10, No2.

[8]. T Snow, David, 1969. Anisotropic Permeability of Fractured Media, WATER RESOURCES RESEARCH. Vol 5, No 6.

[9]. Baecher. G.B, Einstein. H. H,1977. STATISTICAL DESCRIPTION OF ROCK PROPERTIES AND SAMPLING, Massachusetts Institute of Technology.

[10]. LONG. G. S. C, REMER. J. S, WILSON. C. R, WITHERSPOON. P. A. 1982. Porous Media Equivalents for Networks of Discontinuous Fractures. WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 18, NO. 3, PAGES 645-658.

[11]. Baecher. G. B, 1983, Statistical Analysis of Rock Mass Fracturing, Mathematical Geology, Vol. 15, No. 2.

[12]. LONG. JANE C. S, GILMOUR. PEGGY, WITHERSPOON. PAUL A, 1985. A Model for Steady Fluid Flow in Random Three-Dimensional Networks of Disc-Shaped Fractures. WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 21, NO. 8, PAGES 1105-1115,

[13]. LONG. JANE C. S, WITHERSPOON. PAUL A, 1985. The Relationship of the Degree of Interconnection

to Permeability in Fracture Networks, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 90, NO. B4, PAGES 3087-3098.

[14]. ROULEAU. A, GALE. J. E, 1987. Stochastic Discrete Fracture Simulation of Groundwater Flow Excavation in Granite into an Underground, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 24, No. 2, pp, 99-11Z.

[15]. LONG. JANE C. S, BILLAUX. DANIEL M, 1987. From Field Data to Fracture Network Modeling' An Example Incorporating Spatial Structure. WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 23, NO. 7, PAGES 1201-1216.

[16]. ANDERSSON. JOHAN, DVERSTORP. BJORN, 1987, Conditional Simulations of Fluid Flow in Three-Dimensional Networks of Discrete Fractures, WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 23, NO. 10, PAGES 1876-1886

[17]. Kulatilake, Pinnaduwa H.S.W, 1989, State-of-the-art in stochastic joint geometry modeling, Key Questions in Rock Mechanics, Cundall, et al.

[18]. DVERSTORP. BJORN, ANDERSSON. JOHAN,1989, Application of the Discrete Fracture Network Concept with Field Data Possibilities of Model Calibration and Validation, WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 25, NO. 3, PAGES 540-550.

[19]. BILLAUX. D, CHILES. J. P, HESTIR. K., LONG. J, 1989, Three-Dimensional Statistical Modelling of a

Fractured Rock Mass--an Example from the Fanay-Aug6res Mine, Int. J. Rock. Sci. & Geomech. Abstr. VOI. 26. No. 3 4. pp. 281-299

[20]. CACAS. M. C, LEDOUX. E, DE MARSILY. G, TILLIE. B, 1990, Modeling Fracture Flow with a Stochastic Discrete Fracture Network: Calibration and Validation the Flow Model, WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 26, NO. 3, PAGES 479-489.

[21]. NORDQVIST. A WILLE, TSANG. Y. W, TSANG. C. F, DVERSTORP. BJORN, ANDERSSON. JOHAN, 1992, A Variable Aperture Fracture Network Model for Flow and Transport in Fractured Rocks, WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 28, NO. 6.

[22]. DVERSTORP. BJORN, ANDERSSON. JOHAN, NORDQVIST. WILLE, 1992, Discrete Fracture Network Interpretation of Field Tracer Migration in Sparsely Fractured Rock, WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 28, NO. 9, PAGES 2327-23.

[23]. KWlCKLIS. EDWARD M, HEALY. RICHARD W, 1993, Numerical Investigation of Steady Liquid Water Flow in a Variably Saturated Fracture Network, WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 29, NO. 12, PAGES 4091-410.

[24]. KULATILAKE. P. H. S. W, WATHUGALA. D. N, STEPHANSSON. O, 1993, Joint Network Modelling with a Validation Exercise in Stripa Mine, Sweden, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 30, No. 5, pp. 503-526.

A review of the application of DFN in the permeability of jointed rock masses

Mohammad Alghasi Chegeni[1], Ali Aalianvari[2], Abas Kamali Banpay[3]

1- Ph.D. Student, Faculty of Mining, Kashan University, mani862@gmail.com
2- Faculty of Mining, Kashan University, Ali_aalianvari@kashanu.ac.ir
3- Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), Chicoutimi (Québec), Canada, kamabbband@gmail.com

ABSTRACT

in this work, we study the history of permeability studies and the evolution of the numerical analysis of permeability of rock that has been initiated by finite element analysis methods and has evolved into discrete element analysis methods and is evolving with DFN at the end. due to the use of common DFN methods and the most application of permeability analysis, this study presents discussions about joint statistic distribution functions to determine the geometrical condition of parameters such as joint opening, joint length, etc.

KEYWORDS

- Discontinuity
- Jointed rock mass
- DFN
- Numerical analysis
- Discrete element