الفصل الثالث

المياه الأرضية

في

الصخور النارية والمتحولة

3 - 1 الصخور النارية المتحولة والبلوتونية

3 - 1 - 1 المسامية والنفاذية

3 - 1 - 2 تغير النفاذية مع العمق

3 - 1 - 3 إنتاجية الآبار

3 - 1 - 4 تعيين موقع البئر

3 - 1 - 5 نوعية المياه

3 - 2 الصخور البركانية

3 - 2 - 1 النفاذية والمسامية

3 - 2 - 2 تحديد مواقع الآبار

3 - 2 - 3 نوعية المياه

الفصل الثالث

المياه الأرضية في الصخور النارية والمتحولة

3 - 1 : الصخور النارية المتحولة والبلوتونية :

Metamorphic and plutonic Igneous Rocks

تشمل الصخور النارية المتحولة الصخور التي تبدلت عن صورتها الأصلية إلى صورتها الحاضرة نتيجة التغيرات الحاصلة بفعل الظروف الطبيعية كدرجة الحرارة والضغط أو العوامل الكيميائية ومن أمثلتها الشست Shist والسليت Slate . أما الصخور النارية البلوتونية فهي الصخور النارية التي تصلبت وهي في باطن الأرض أي أن برودتها كانت بطيئة وكان الوقت واسعًا أمام مختلف المعادن لتتبلور ومن أمثلتها الغرانيت والديورايت .

• • •

3 - 1 - 1 : المسامية والنفاذية :

تمتلك القطع الصلبة من الصخور النارية المتحولة والبلوتونية مساميات أقل من 3% وربما أقل من 1% . والمسامات القليلة الموجودة بصورة عامة صغيرة وغير متصلة مع بعضها . ونتيجة لذلك تكون نفاذيات هذه الصخور قليلة إلى حد يمكن أن تعتبر معدومة في معظم المسائل العملية . تنشأ النفاذيات والمساميات المحسوسة عادة خلال تكسر وتجوبة الصخور . فمثلاً القياسات المختبرية لنفاذية النماذج غير المتكسرة للصخور الرسوبية المتحولة شمال ولاية مشيغان الأمريكية أعطت قيمًا متوسطة أقل من (0.01 millidarcys) (لاحظ الجدول 3-1) . وقد أظهرت فحوصات الحشارج وبوضوح أن نفس الصخور

كمجموعة كانت أكثر نفاذية بمقدار ألف مرة أكثر من النماذج الفردية غير المتكسرة . كما أوضحت الفحوصات أن النفاذية الموازية للطبقات تعادل مرتين أو ثلاث مرات معدل النفاذية .

الانكسارات غير المصحوبة بالصدوع السائدة تعطي زيادة طفيفة فقط في المسامية الكلية للصخور . حيث تشير الملاحظات في حفريات الأسس الإنشائية وفي الصخور المعرضة للسطح (الظاهرة فوق السطح) في القنوات وممرات الطرف ، تشير إلى أن الحجم الكلي للفضاء المفتوح ضمن الانكسارات لا يشكل إلا نسبة ضئيلة من الحجم الكلي للصخور . في أغلب الأحيان تكاد تكون الشقوق مغلقة دائمًا ولا توجد شقوق يزيد عرضها على 2 مليمتر أو أنها توجد بندرة .

تشير إنتاجية الآبار إلى إن النفاذية الناتجة من انكسارات الصخور غير المعرضة للتجوية ضمن عدة مئات من الأقدام من السطح تتراوح عمومًا بين 0.001 إلى 0.0 / دارسي (darcys) . تتراوح النفاذية من ما يقرب الصفر في الصخور الصلدة إلى عدة مئات من الدارسي في الصخور المتكسرة كثيراً . ونتيجة الاتجاه الأحادي لمعظم الانكسارات الحاملة للمياه فإن نفاذية الصخور بشكل عام غير متناظرة (غير متساوية بين الاتجاهات) .

الجدول (3-1) نفاذية بعض الصخور المتحولة

Table 9.1 Permeability of Metasediments from Marquette Mining District, Michigan (Stuart, Brown, and Rhodehamel 44)

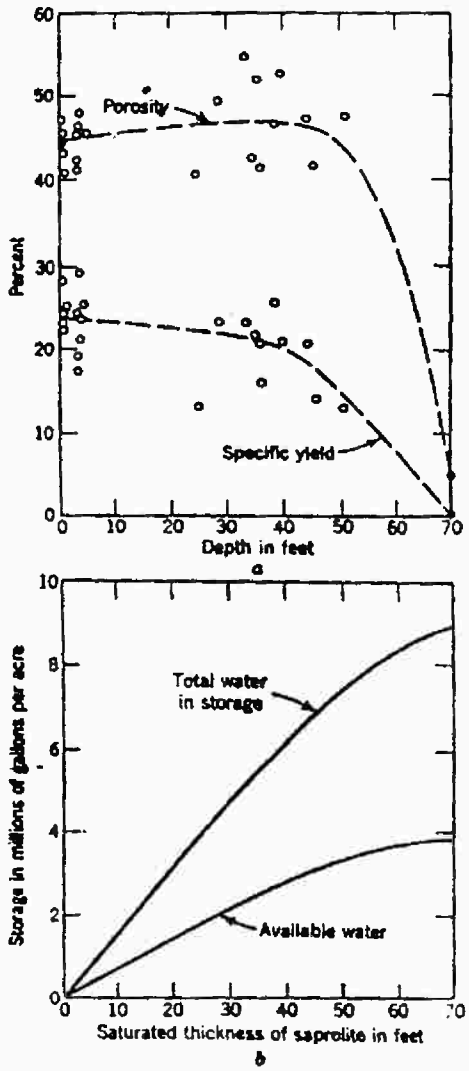
Rock Type	Number of Samples	Permeability of Unfractured Samples, millidarcys			
		Mean	Median	Highest	Lowest
Iron Formation and iron ore	36	1.65	0.006	38.0	0.00011
Graywacke	5	0.033	0.003	0.15	0.00027
Slate	9	0.006	0.0013	0.045	0.0005
Chert	1	...	0.00019	...	...
State with quartz seams	1	...	181.0	...	...
Mica schist	1	...	0.0021	...	...
Quartzite	1	...	0.0019	...	...
Conglomerate	1	...	0.028	...	...

يمكن أن يمتد تأثير التجوية إلى عمق أكثر من 300 قدم في الطبقات الصخرية في المناطق ذات التجوية الفعالة . ومن الاعتيادي ملاحظة أعماق تجوية تتراوح من 5 إلى 50 قدم بصورة عامة تعمل المعادن المتميأة في الصخور المعرضة للتجوية عند السطح على تكوين حبيبات متفككة ذات مسامية أكثر من 35% . (لاحظ الشكل 3-1) . وتتناقص المسامية من العمق حتى تصل إلى الطبقات التي تكون المعادن المكونة لها قد تعرضت إلى تغيير بسيط جداً. ففي بضعة الأقدام الأخيرة فوق الطبقات الصخرية غير المتحولة تكون المعادن متميأة قليلاً ، إلا إن هذا التميؤ كافيًا لاعطاء تمدد متميز من حبيبات المعادن وهذا التمدد أو التوسع يعمل بدوره على إيجاد مسامية تتراوح من 2 - 10٪ .

عمومًا ، توجد النفاذية العظمى ضمن الصخور المتحللة جزئيًا تحت نطاق الطبقات ذات الحجم الحبيبى الطينى الوافر . حيث تشير إنتاجيات الآبار من المياه إلى أن نفاذية الجزء السفلي من الصخور المعرضة للتجوية هي أكبر من نفاذية الصخور غير المتحولة .

تحتوي العديد من الصخور المتحولة وعدد قليل من الصخور النارية على معادن كاربوناتية حيث تتعرض هذه المعادن لتحلل وذوبان سريع نسبيًا من قبل المياه الأرضية المتحركة . رغم الكهوف الهائلة المتكونة بالتحلل في الصخور والنفاذية الموضعية التي يمكن أن تكون عالية ، فأن الفراغ المسامي للحجوم الكبيرة من الصخور ربما لا يكون أكبر من 2 - 5٪ . ذلك لأن التحلل والذوبان متركز بدرجة كبيرة في الصدوع والانكسارات ولا يؤثر بالصخور ككل .. في بعض المناطق ربما تكون المنخفضات الموجودة عند السطح في صخور الكوارتزايت والكرانوديورايت (granodiorite) قد تكونت نتيجة التحلل المباشر للصخور مكونًا معادن سليكانية .

• • •



الشكل (3 - 1) نتائج فحوصات مختبرية على نماذج من صخور متحولة متعرضة إلى درجة عالية من التجوية .

a - المسامية والإنتاج النوعي .

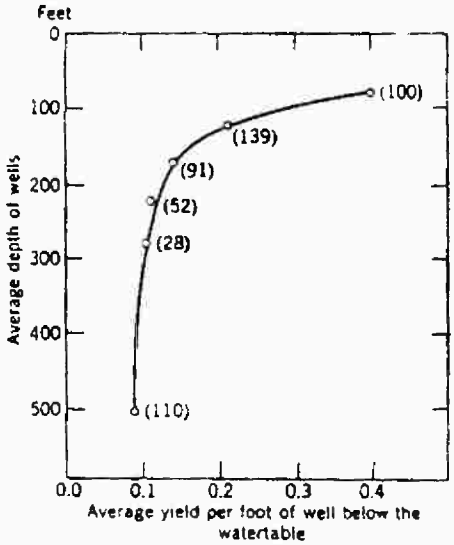
b - الماء الكلي المخزون (الموجود في الطبقات) والماء المتيسر للآبار .

3 - 1 - 2 : تغير النفاذية مع العمق :

بتناقص معدل نفاذية الصخور النارية المتحولة والبلوتونية بسرعة مع العمق (الشكل 3 - 2) يأتي هذا التناقص من تأثير مشترك لوزن الطبقات العليا من جهة ، وميل الاضطرارات السطحية إلى التغلغل فقط لمسافة قصيرة نحو الطبقات الصخرية . كما تبدي الصدوع والفواصل والانكسارات الأخرى قليلاً إلى الانغلاق مع العمق بسبب ثقل الطبقات فوقها . بعض الفتحات التي تعتبر مهمة للهيدرولوچين يمكن أن توجد في جميع الأعماق . إن جريان الماء نحو بعض الإنفاق والقنوات الموجود بمئات وأحيانًا آلاف الأقدام تحت سطح الأرض يبين بأن الفتحات تحت الأعماق العالية كبيرة بما يكفي لتجهيز المياه إلى الآبار.

تشمل الاضطرابات السطحية التي تسبب نفاذية الصخور ، الإنزلاقات الأرضية ، مساقط الصخور ، تخفف الثقل على الطبقات التحتية بفعل التآكل والتعرية ، التجوية الكيميائية ، تغلغل الجذور النباتية إضافة إلى فعاليات الإنسان المختلفة ، الانزلاقات الأرضية ومساقط الصخور تؤثر فقط على الجزء الأعلى من الصخور التحتية وتنتج رواسب من حطام الصخور التي يمكن أن تعتبر نطاقات مهمة للتغذية السريعة للمياه الأرضية وكطبقات حاملة للمياه عند تشبعها . يعتقد أن التعرية والتآكل تعمل على إيجاد بناء صفائحي في صخور الكرانيت المتماسكة . الانكسارات الضيقة الموازية بصورة أو بأخرى للسطح في البناء الصفائحي تعتبر مصادر مياه محلية مهمة . تزداد المسافة بين الانكسارات بسرعة من العمق بحيث تصبح نادرة أو غير موجودة تحت عمق عدة مئات من الأقدام .

أن التجوية الكيميائية فكما ذكرنا فإنها محدودة عادة بالـ 300 قدم العليا من الصخور . وتغلغل جذور النباتات فعال فقط لعدة عشرات من الأقدام تحت سطح الأرض .



الشكل (3 - 2) تناقص إنتاجية الآبار مع العمق في الصخور المتلورة .

- الأعداد الظاهرة قرب نقاط المنحنى تبين عدد الآبار المستعملة في كل نقطة ملاحظة.

• • •

3 - 1 - 3 : إنتاجية الآبار :

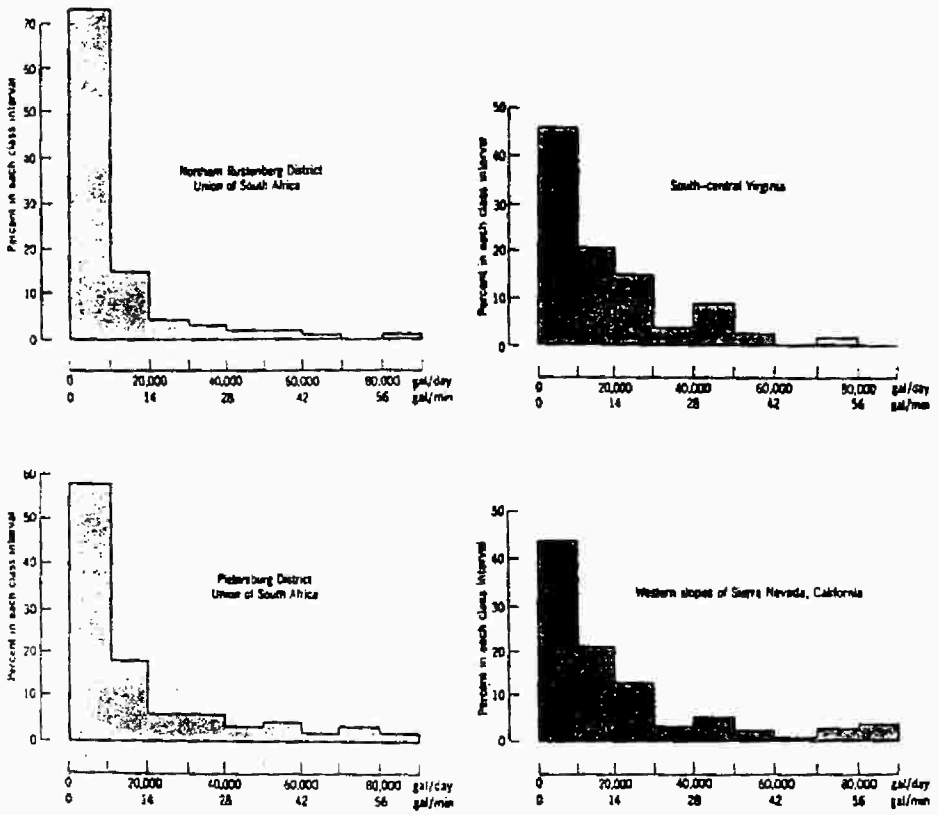
بصورة عامة تعتبر إنتاجية الآبار منخفضة في معظم الصخور النارية المتحولة والبلوتونية . ويتراوح معدل الإنتاج لجاميع من الآبار في مناطق مختلفة من 10-25 غالون بالدقيقة . الصخور المتعرضة للتجوية العميقة مع تغذية وافرة من المياه المحلية يمكن أن تمتلك معدلات إنتاج عالية تصل إلى 50 غالون/دقيقة . تكون التغيرات بالانتاجية ضمن منطقة محددة كبيرة ، لكن هناك ميلاً لمعظم الانتاجيات لتكون صغيرة مع عدد محدود فقط من الانتاجيات العالية (لاحظ الشكل 3 - 3) . من 2 - 10٪ من الآبار تمتلك إنتاجية أكثر من 50 غالون / دقيقة . من ناحية أخرى تصنف 50٪ من الآبار

في بعض المناطق على أنها آبار فاشلة ، رغم أن من 5 - 20% من حالات الفشل تعتبر مألوفة .

تعكس الاختلافات في إنتاجية الآبار مقدار وطبيعة الاختلافات في درجة التجويه أو الانكسار أكثر مما تعكس الاختلافات في التركيب المعدني أو النسيجي في الصخور . أي أن الفروقات في الإنتاجية تأتي نتيجة الاختلاف في درجة التجوية والانكسار أكثر مما تأتي بسبب الاختلافات في التركيب والنسجة للطبقات . لوحظ في أحد مناطق السويد أن ثلاثة آبار واقعة على صدع انكسار واحد تنتج ما بين 15000 , 25000 لتر / ساعة ، في حين كان المعدل للمنطقة التي تملك نفس نوع الصخور 300 لتر / ساعة فقط .

يلاحظ من البيانات الواردة في الجدول 3 - 2 لمناطق مختلفة إنه لا يمكن وجود فروقات كبيرة في معدلات الإنتاجية تعزى إلى نوع الصخور وحده . تظهر أقل الانتاجيات في الصخور المتحولة التي يزداد صغر وانسداد الصدوع والمفاصل مع العمق . في حين تظهر أكبر الانتاجيات من صخور الكاربونات التي تعمل فيها المياه المتحركة علي توسيع الانكسارات والشقوق بأذابة الكالسايت والدولومايت .

رغم ذلك ليس لنوع الصخور وحده تأثير مهم دائمًا على الإنتاجية ، في حين أن التاريخ التكتوني وما يتبعه من تجوية لكل من الصخور النارية والمتحولة في المنطقة سيكون متميزاً في تأثيره على إنتاجية الآبار . لذلك ، في منطقة واحدة يمكن أن يكون معدل الإنتاجية لصخور الشيست المكوفية مساويًا لضعف معدل الإنتاجية لصخور الشيست الأمفيبولية . بينما في منطقة أخرى يمكن أن يحدث العكس . حتى في نفس النوع من الصخور يمكن أن توجد إنتاجيات مختلفة في مناطق متجاورة كما في حالة وجود صخور متكسرة صفائحية مجاورة لصخور أصلية ذات تركيب مماثل .



الشكل (3 - 3) هستروكرامات إنتاجيات آبار من مناطق ذات صخور نارية متحولة دبلوتونية.

a - الآبار في منطقة كرانيت معرض في معظمه للتجوية 16% منها في حواجز صخور الدياباز diabase . من ضمن الـ 234 بئر المجدولة 50% صنفت على أنها فاشلة .

b - الآبار في صخور مختلفة من الشيست ، النيس ، الماربل والقاعدي . من بين 269 بئر مجدولة 25% منها مصنفة فاشلة .

c - معظم الآبار في صخور الشيست والنيس . من بين 303 من الآبار المجدولة 3% تنتج أكثر من 90.000 غالون/ يوم و6% تنتج أقل من 1000 غالون / اليوم .

d - معظم الآبار في صخور كرانو دايو رايت . من بين 239 بئر مجدولة 8% تنتج أكثر من 20000 غالون/ يوم . 16% تنتج 1000 غالون / يوم أو أقل ، 8% مصنفة على أنها آبار جافة .

Table 9.2 Mean Yield of Wells in Various Rock Types, yield in gpm

	Lithology							
	Granite	Gabbro	Gneiss	Schist	Phyllite	Slate	Dolomite	Quartzite
Pretoria- Johannesbury Union of South Africa (9)	10	...	...	25	...	...	...	...
Northern Rhodesia (36)	...	...	...	15	6	...	34	...
Western Rajasthan, India (45)	6	...	...	...	...	8	...	...
Sweden (27)	9	...	10	...	...	...	...	10
United States :								
Connecticut (11)	13	...	12	14	...	...	...	...
Maryland (6)	...	11	12	24[1]	8	...	...	...
Virginia (15,22)	12	...	17	12[2]	...	...	...	...
North Carolina (20)	17	30[3]	23	22	...	...	...	...
Maine (1)	25	...	...	20	...	15[4]	...	...
Southern New England (2)	38	...	9	10	...	...	...	...

(1) Wissahickon Formation-Schist, phyllite, and quartizite, "albite facies"

(2) Wissahickon Formation .

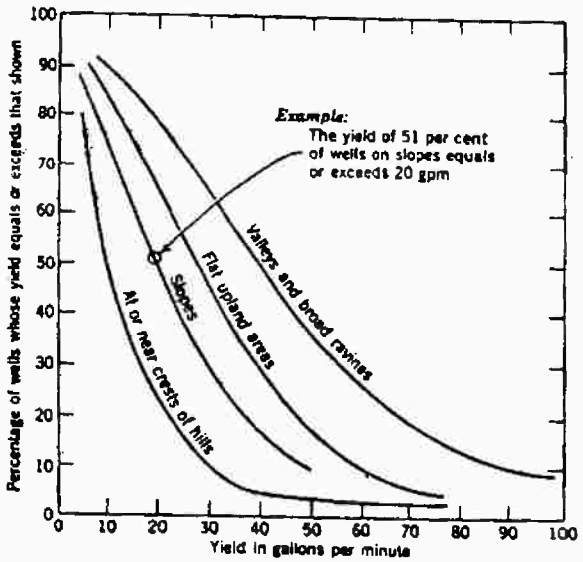
(3) Also includes diorite

(4) Median yield of 91 wells is only 8 gpm

الجدول (3 - 2) معدل إنتاج آبار في أنواع مختلفة عن الصخور . الإنتاج بالغالون / دقيقة

يمكن الحصول على إنتاجيات من الصخور في مناطق المناخات الرطبة أعلى من الإنتاجيات في صخور المناطق الجافة عندما تكون بقية العوامل متكافئة . ربما يكون سبب ذلك أن الأعماق إلى المياه الأرضية بصورة عامة أقل في المناطق الرطبة وأن المياه ستشبع الصخور الأكثر نفاذية قرب السطح . كذلك ، تعمل كمية المياه الكبيرة المتحركة في المنطقة على زيادة النفاذية من خلال تعجيل التجوية قرب السطح وزيادة تحلل وذوبان المعادن على طول الانكسارات .

لقد وجد أن طوبوغرافية المنطقة تعطي مؤشر مهم عن إنتاجية الآبار في مناطق معينة (الشكل 3 - 4) تنتج الآبار المحفورة في الأراضي المستوية المرتفعة وفي الوديان كميات أكبر من المياه على خلاف الآبار المحفورة في جوانب الوادي والقمم الحادة للتلال والجبال . إن شحة المياه في أو قرب المنحدرات الشديدة يمكن أن تفسر بحقيقة أن التعرية قد عملت على إزاحة معظم الصخور المتجوية عالية النفاذية . وتنخفض مناسيب المياه الأرضية كذلك بسبب بزلها إلى نقاط التعريف في المناطق المنخفضة المجاورة.



الشكل (3 - 4) إنتاجية الآبار في ظروف طوبوغرافية مختلفة .

تشير التجارب العملية على أن أعلى إنتاجية تكون للآبار المحفورة في أو قرب الوديان الضيقة الشديدة الانحدار . تنشأ هذه الوديان عادة في عدة أماكن على طول النطاقات المنكسرة عالية النفاذية مما يفسر الإنتاجية العالية للآبار المحفورة فيها .

تتأثر جميع إنتاجيات الآبار بطرق الفحص ونوعية طرق التنفيذ في الحفر . ويعتبر هذا مهمًا بصورة خاصة عند مقارنة البيانات الخاصة بمناطق فيها آبار للاستخدام المنزلي ثم حفرها بأعماق تكفي للحصول على غالونات قليلة بالدقيقة مع البيانات الخاصة بمناطق فيها آبار عامة وآبار صناعية ثم حفرها إلى أعماق أكبر كثيراً لأجل الحصول على أقصى كمية ممكنة من المياه . لذلك ستكون معدلات الإنتاجية غير ذات قيمة مهمة ما لم يؤخذ بالحسبان عمق وقطر البئر ، وتفاصيل الإنشاء الأخرى . من ناحية أخرى ، تنتهي فحوصات الضخ عادة بسرعة بحيث أن الإنتاجيات المسجلة أكثر بكثير من القيم الحقيقية .

• • •

3 - 1 - 4 : تعيين موقع البئر Well Location :

إن إمكانية إنتاج أكثر من 50 غالون / دقيقة من عدة آبار في معظم المنطقة تؤكد وجود نطاقات ذات نفاذية عالية وأنه يمكن استعمال الطرق الجيولوجية والجيوفيزيائية لإثبات فرص تحديد المياه في تلك النطاقات . في حالات مختلفة في جنوب استراليا استطاع الجيولوجيون تحديد المياه في الصخور المتحولة في حين فشلت طرق التخمين الأخرى . كما نجحت طرق المجسات المقاومة الكهربائية السطحية في منطقة في جنوب أفريقيا بتحديد مواقع خمسة آبار ناجحة من مجموعة ستة . حيث كانت نسبة النجاح 10% فقط للآبار المعينة بالطرق الأخرى .

إذا كانت أجزاء الصخور المعرضة للجو كثيرة ومتعددة في المنطقة فأن معلومات جيولوجية مفصلة تغيير في تحديد مدى الفواصل ، والصدوع ، والخنادق ، وسطوح التماس الجيولوجية . (الشكل 3 - 5) . عمومًا ، أكثر نطاقات حمل المياه أفضلية توجد في الرخام والدولومايت المنكسر بالصدع والمزاج جزئيًا بالذوبان . يأتي بعدها في الأهمية النطاقات المنكسرة والحاوية على الصدوع . العديد من نطاقات الصدوع المفتوحة في الماضي الجيولوجي تعرضت في أغلب الأحوال إلى التماسك والتصلب ثانية بفعل الكوارتز أو الكالسايت أو بمعادن أخرى . يجب تجنب مثل هذه الصدوع بصورة عامة . تميل الصخور التي تشوهت بصورة ملحوظة إلى إيجاد منكسرات حاملة للمياه قرب الفجوات والثغرات الميكانيكية مثلاً على طول عروق الكوارتز الضيقة الصلدة التي تقطع صخور الفيلايت . إذا كان العرق أو الخندق يمتلك نفس الصفات الميكانيكية للصخور التي يمر بها فأن الانكسار سيكون عمومًا أقل كثيراً .

معظم الصدوع والفواصل وفي العديد من المناطق تكون عمودية تقريبًا . تتراوح المسافات الفاصلة بين المفاصل بصورة عامة من 0.5 إلى 10 قدم أو تساوي أو أكبر من قطر معظم الآبار المحفورة .

فالآبار التي هي عمودية غالبًا ستتقاطع بسبب ذلك فقط مع واحد واثنين من المفاصل في الطبقات . مثال ذلك ، وجد في أوغندا أنه بعد وجود انكسار واحد حامل للمياه فأن فرص وجود انكسار آخر في الـ 20 قدم التالية من الحفر هي فقط أكثر قليلاً من 1% وفرص وجود انكسار آخر في 140 قدم هي حوالي 33% . الآبار الأفقية في مثل هذا التشكيل الجيولوجي ستكون أكثر نجاحًا بسبب العدد الأكبر من الانكسارات التي يمكن أن تتقاطع مع مقطع البئر . إن كلفة حفر المسافات العمودية البعيدة للوصول إلى الأعماق الضرورية لتنفيذ أذرع جانبية ضمن الصخور المشبعة بالمياه ستكون بصورة عامة أكبر من قيمة

المياه المنتجة . ومع ذلك يعتبر العديد من الآبار الأفقية ناجحًا في الصخور المتجوية بصورة عميقة عندما يكون حفر المسافات الإضافية غير مكلفًا . أو في المنحدرات الجبلية الحادة حيث يمكن أن يبدأ الحفر الأفقي من السطح .

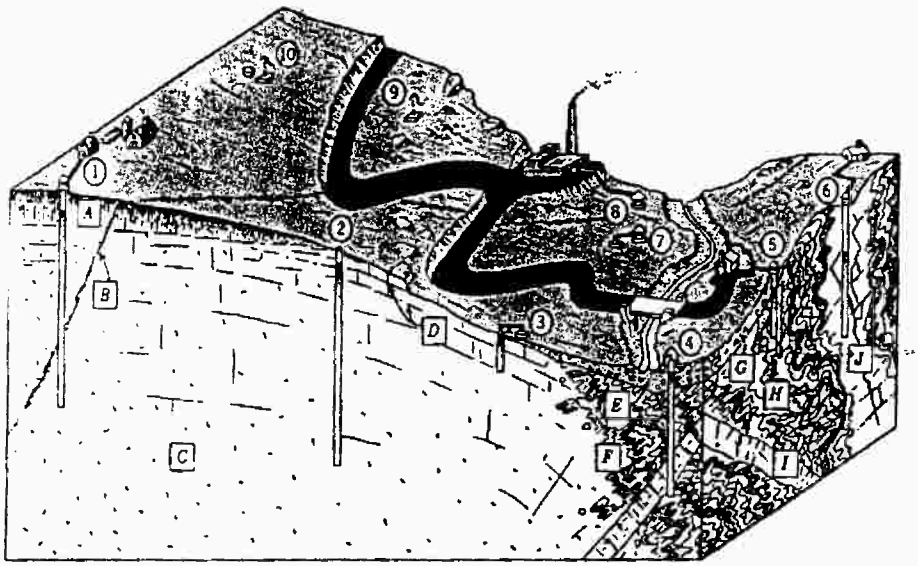


Figure 3.5 Hypothetical region showing the relationship between geologic features and expected well yields.

Type of well	Use	Depth (feet)	Production (gpm)	Source of water
1 Drilled	Farm	210	25.0	Lower part of weathered granite and fault zone. Small amount from joints.
2 Drilled	None	200	0.1	Very small amount from joints.
3 Drilled	Stock	30	0.5	Small amount from joints. Water is artesian.
4 Drilled	Observation	125	15.0	Lower part of alluvium and fractures and joints in and near dike.
5 Drilled	Domestic	80	1.5	Lower part of colluvium and joints in schist.
6 Drilled	Domestic	130	45.0	Cavernous zone in small body of marble.
7 Dug	Stock	20	4.5	Alluvium.
8 Drilled	Industry	160	35.0	Lower part of alluvium and same fault as in well # 1.
9 Dug	None	15	0.2	Small amount from joints. Well dry during droughts.
10 Dug	Stock	25	0.7	Weathered granite.

GEOLOGIC UNITS

A. Residual soil on granite	Granite	E. Alluvium	G. Colluvium.	J. Aplite dike.
B. Fault	I. Joints in granite	F. Contact between granite and schist.	H. Schist.	J. Marble.

الشكل (3 - 5) يبين العلاقة بين المعالم الجيولوجية وإنتاجية البئر المتوقعة.

يجب استعمال الطرق غير المباشرة في تحديد مواقع الآبار المائية ضمن المناطق ذات التربة الثقيلة أو الغطاء النباتي الكثيف . تعتبر التعميمات المتعلقة بالطوبوغرافية ، أعماق الآبار ، وأنواع الصخور المحلية التي نوقشت آنفًا دلائل أولية في تحديد الآبار يمكن أن تكون الدراسات الجيومورفية المفصلة قادرة على تحديد المناطق ذات الصخور السميكة المتجوية أو المناطق التي توجد فيها طبقات رسوبية . تبرز الصور الجوية عادة الاختلافات الصغيرة في طبيعة التربة أو الغطاء النباتي ، وفي نسجة الصرف ، وكذلك في مسارات السلاسل الصغيرة . هذه الاختلافات يمكن أن تشير إلى وجود الصدوع والارسابات ، وطبقات صخور الكاربونات .

يمكن أن تكون الدراسات الجيوفيزيائية مفيدة جداً في تحديد المعالم الجيولوجية المخفية ، رغم ذلك يعتبر التحديد المباشر للمياه الأرضية متعذراً . تحدد المسوحات المغناطيسية مواقع الصخور الفنية نسبيًا بالحديد . ويساعد تخطيط مواقع هذه الصخور في تحديد الصدوع . كذلك يمكن أن تتعرض الصخور القاعدية للتجوية بعمق أعلى مما في الصخور المجاورة ، وبذلك يمكن أن تكون مواقع مفصلة لتواجد المياه الأرضية . أما طرق المقاومة الكهربائية والزلزالية فإنها تستعمل على مدى أوسع من الطرق المغناطيسية في مناطق الصخور النارية المتحولة والبلوثونية . يتم التطبيق الأولي لتحديد سمك الصخور المتجوية ، مثال ذلك ، قرب لوساكا شمال روديسيا تبين المناطق ذات المقاومة الواطئة وجود مواد طيات سميكة تملأ الجزء العلوي من معالم منهارة في الدولومايت ، ثم حفر ثمانية آبار إلى الصخور المتهدمة كان معدل إنتاجها 660 غالون / دقيقة مقارنة بمعدل مقداره 34 غالون / دقيقة لطبقة الدولومايت ككل وحوالي 18 غالون / دقيقة لجميع الصخور في المنطقة . علاقات عديدة

لموقع الانكسار ، عرض الانكسار ، وكمية المياه المخزونة قرب البئر يمكن أن تعطي أي نوع من منحنى السحب . عدد من الحالات الممكنة مبينة في الشكل (3 - 6) . الحالة المألوفة في سحب المياه من الآبار من أنظمة الانكسارات هي الإنتاجية العالية أو المتوسطة والتي تتناقص بسرعة مع الوقت . والسبب في ذلك عادة هو الخزن غير الكافي للمياه قرب البئر . لذلك من الحكمة تحديد الآبار بحيث يمكن سحب المياه من النطاقات المتجوية أو الارسابات المتشبعة لأن هذه المواد تحتوي من 20 - 40 مرة من المياه في وحدة الحجم بقدر ما تحتويه الصخور غير المتجوية . إذا كان بالامكان تحقيق التقاوة البايولوجية بواسطة الترشيح الكفؤ فإنه يمكن حفر الآبار قرب المجاري الدائمة أو البحيرات لتجنب استنزاف أنظمة الانكسارات .

• • •

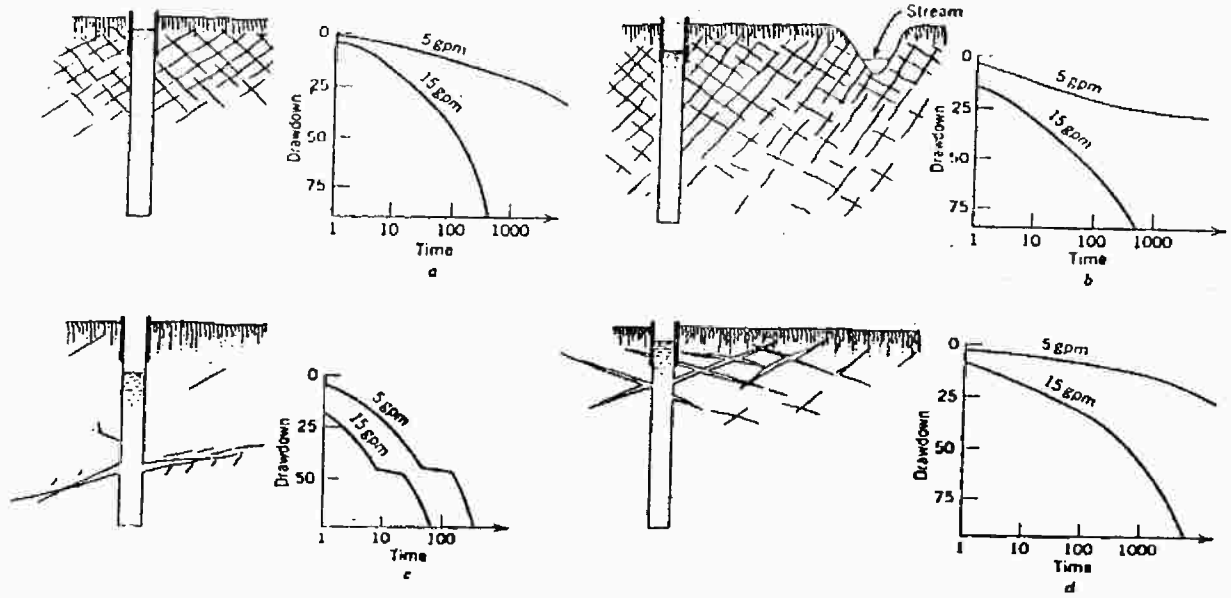
3 - 1 - 5 : نوعية المياه :

الخصائص الكيميائية للمياه المستخرجة من الصخور النارية المتحولة والبلوتونية هي على العموم ممتازة . وجدت استثناءات في المناطق الجافة حيث يمكن أن تتركز الأملاح في مياه التغذية بسبب التبخر أو في بعض المناطق بسبب هجرة مياه البحر إلى انكسارات الصخور .

المياه المستخرجة من الدولومايت والرخام يمكن أن تمتلك عسره متوسطة إلى عالية والمياه الموجودة في السربنتين ، الدولومايت ، الكابرو ، الأمفيبولايت وصخور أخرى معينة تمتلك تراكيز عالية من المغنيسيوم مقارنة بتراكيز الكالسيوم . الصخور التي تحتوي القليل من الكوارتز ولكن تحتوي الكثير من معادن السليكات الأكثر ذوبان الأخرى مثل صخور الديورايت والسينايت ستمتلك نسبة عالية من السليكا الذائبة تتراوح من 25 - 55 جزء بالمليون على

عكس الكوارتزايت ، الرخام ، السليت ، والفيلايت والتي تمتلك أقل من 30 جزء بالمليون سليكا . لقد لوحظ أن المياه المستخرجه من صخور الفرانيت ، النيس ، الشست ، والريولايت في شمال ولاية كارولينا تميل لتكون حامضية قليلاً وتمتلك متوسط مواد صلبة ذائبة حوالي 71 جزء بالمليون وعسرة متوسطة مقدارها 23 جزء بالمليون . على عكس ذلك المياه المستخرجة من صخور الكابرو ، الديورايت ، أو الأنوسايت تمتلك مياه ذات قاعدية قليلة مع متوسط كلي لمواد صلبة ذائبة مقداره 233 جزء بالمليون ومتوسط عسرة 145 جزء بالمليون .

توجد مشكلة التلوث البيولوچي للمياه الأرضية حيثما كانت التربة ضحلة أو غير موجودة أصلاً فوق الصخور الحاملة للمياه . رغم ذلك يمكن أن تتحرك الأحياء المجهرية المرضية في انكسار عرضه أقل من مليمتر واحد بحرية وكفاءة أكثر من حركتها في الطبقات الرسوبية . وتزداد المشكلة سوءاً بحفر الآبار إلى أعماق قليلة في الصخور وعدم حمايتها في معظم الأحيان من الجريان السطحي المباشر لمياه الأمطار والتي تدخل إلى البئر .



الشكل (3 -6) منحنيات السحب لآبار محفورة في صخور متبلورة متكسرة :

a - سحب مياه البئر من انكسارات صغيرة قرب السطح . معدل الضخ المضمون لهذا البئر هو أقل من 5 غالون / دقيقة .

b - انكسارات صغيرة ولكن كثيرة تحيط بهذا البئر مع مصدر دائم قريب للتغذية (مجرى) . المعدل المضمون للضخ من هذا البئر حوالي 5 غالون / دقيقة .

c - هذا البئر فاشل باستثناء كونه مصدر لكمية صغيرة جداً من المياه . يعكس المنحنى كيفية تغذية البئر من الانكسار الوحيد المعزول الذي يقطعه البئر .

d - انكسارات كبيرة تسحب المياه من الصخور المتجوية النفاذة لتثبت إنتاجية متوسطة حوالي 5 غالون / دقيقة للبئر .

3 - 2 : الصخور البركانية Volcanic Rocks :

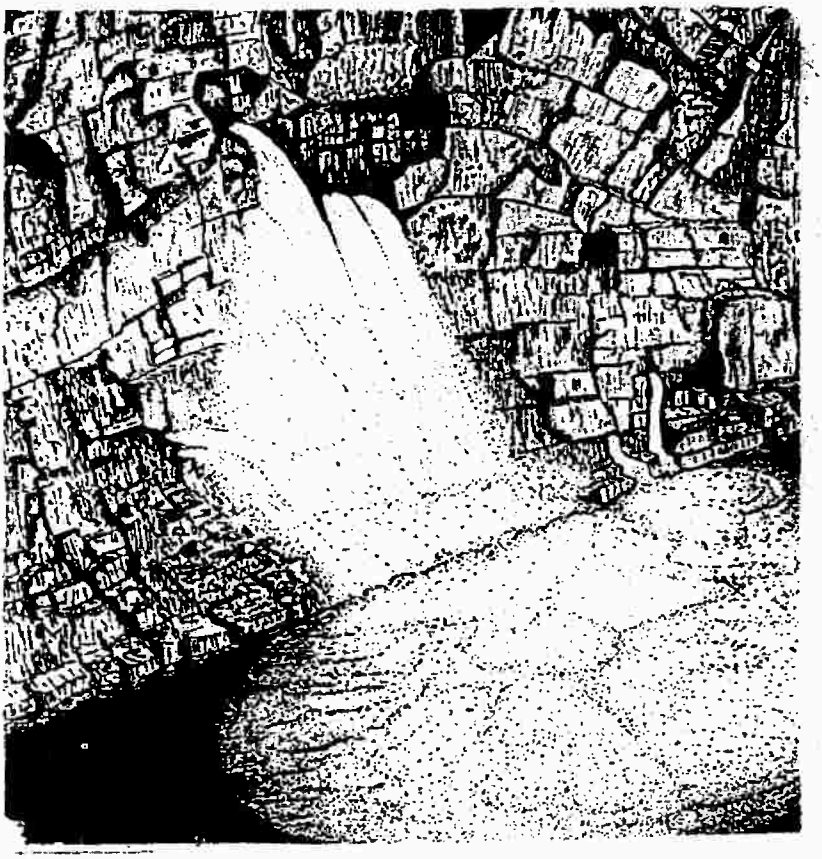
تشتمل الصخور البركانية على مواد ذات مدى واسع من الخواص الهيدرولوجية . تمتلك بعض طبقات البازلت الحديثة تقريبًا أعلى قابليات نقل (Transmissivity) معروفة . هذا على عكس ما في صخور التوف Tuffs التي تمتلك بصورة عامة مساميات عالية ولكن نفاذيات واطئة جداً . في حين تمتلك صخور أخرى مساميات ونفاذيات واطئة . ورغم قابليات النقل العالية لطبقات البازلت الحديثة إلا أنه قد يصعب جداً الحصول على المياه منها . ويعزى ذلك إلى حقيقة أن المياه الأرضية تنصرف بحرية من هذه الطبقات إلى نقاط التصريف المنخفضة المجاورة أو إلى البحر ، أو ربما يكون العمق إلى هذه المياه بعيد جداً . لذلك توجه انتباه الهيدروچيولوچي إلى النطاقات غير النفاذة التي تمنع فقدان المياه وتعمل على رفع منسوب المياه الأرضية قرب السطح . في حين يتوجه انتباه الهيدروچيولوچي نحو النطاقات النفاذة في حالة الصخور النارية المتحولة والبلوتونية .

• • •

3 - 2 - 1 : النفاذية والمسامية :

تتراوح مسامية الصخور البركانية غير المتكسرة من أقل من 1% في البازلت الصلد إلى أكثر من 85% في البيومايس Pumice . صخور الأنسياب الثقيل الكثيف ذات مسامية من 1-10% والصخور البركانية الفقاعية ذات مسامية تتراوح من 10 - 50% . رغم إمكانية كون المسامية عالية جداً فإن النفاذية تعتمد بدرجة كبيرة على البناءات الأولية والثانوية الأخرى ضمن الصخور . المفاصل الناتجة عن التبريد ، أنابيب المقذوفات ، الأشكال الشجرية، المعالم الناتجة من التواء المقذوفات المتجمدة جزئيًا والفراغات الباقية بين

الانسيابات البركانية المتعاقبة (الشكل 3 - 7) هي بعض المعالم التي تعطي لصخور الاندسايت والبازلت نفاذيتها العالية . إضافة إلى المعالم التي تسبب النفاذية ، يمكن أن تزداد المسامية موضعيًا في الصخور من خلال التجوية . تعتبر الترب في بعض المناطق ذات نفاذية أقل من الصخور البركانية وتعتبر نطاقات مهمة لتكوين المياه الجاثمة Perched waters . النطاقات النموذجية ذات المسامية والنفاذية العاليتين تلاحظ في الشكل (3 - 8) .



الشكل (3 - 7) مياه جارية من بين الفراغات الموجودة بين الانسيابات البركانية المتعاقبة .

عند وجود الوديان قرب الانفجارات البركانية فإن الحمم سوف تنساب أسفل الوديان وتدفن أي طبقات رسوبية موجودة . عندما تحتوي الوديان مجاري من أنظمة صرف واسعة . فإن طبقات سميكة من الحصى يمكن أن توجد وستكون حشارج مهمة عندما تدفن . والانهار التي تغلق بالحمم البركانية تكون بحيرات مملوءة بالغرين والطين أو الرماد البركاني . يمكن أن تكون هذه الترسبات طبقات صماء تحيط بطبقات الحصى النهري .

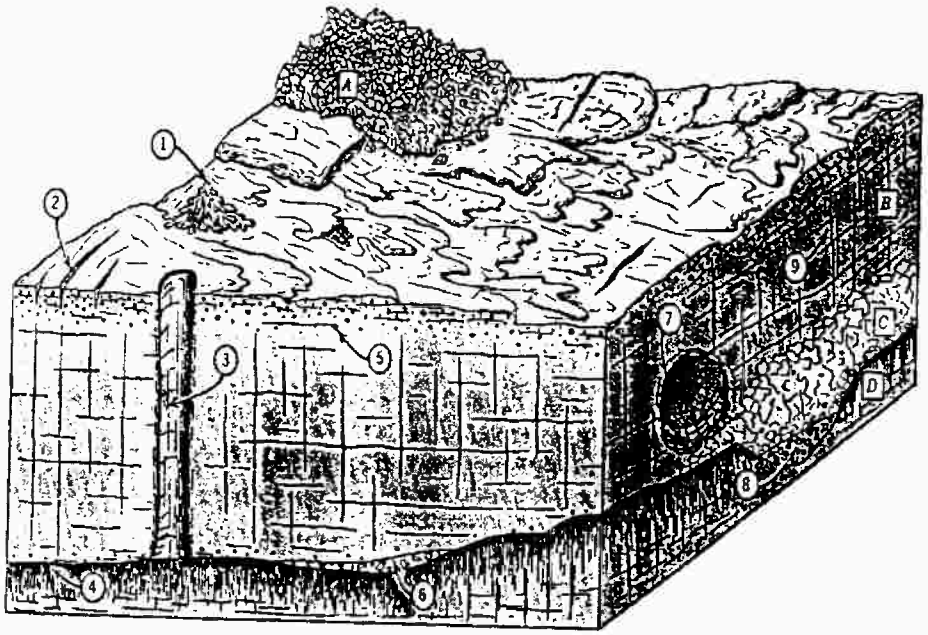


Figure 9.8 Hypothetical sequence of lava flows showing various features that produce permeability and porosity within basaltic rocks.

Features Producing porosity
1. Orifce of spatter cone
2. Crack on small pressure ridge
3. Tree mold
4. Buried Soil
5. Vesicles
6. Small pocket of pyroclastic blocks
7. Lava tube
8. Buried stream gravel
9. Cooling joint

Sequence of Flows
A. Recent aa flow
B. Recent pahoehoe flow
C. Ancient buried aa flow
D. Very old buried pahoehoe flow

الشكل (3 - 5) انسياب الحمم البركانية والمعالم المختلفة التي تسبب المسامية والنفاذية ضمن صخور البازلت

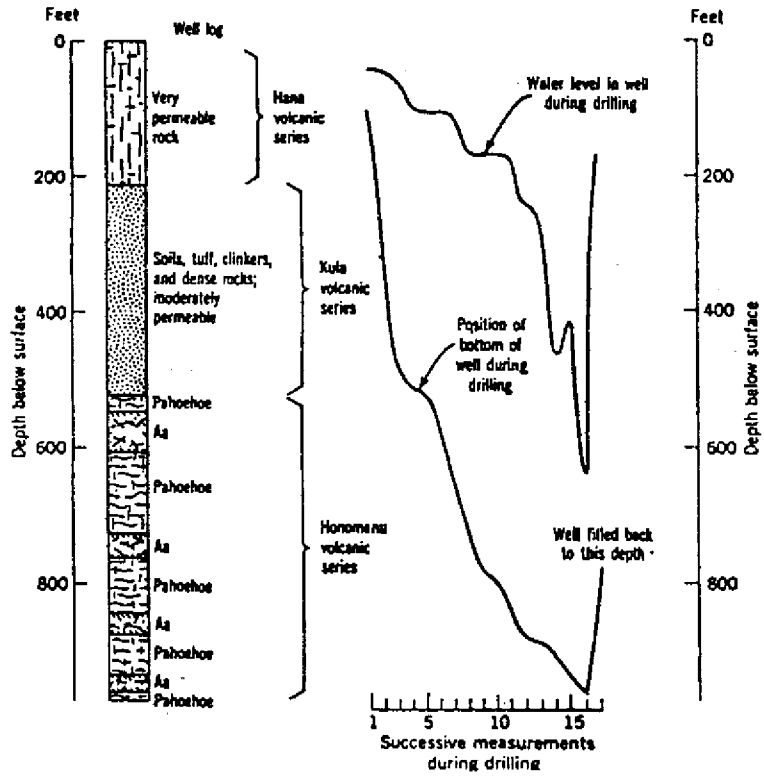
الصخور البركانية التي لا تحتوي على رسوبيات متداخلة بينها فإنها ستكون ذات نفاذية واطئة نسبيًا . إن الارتفاع السريع لمناسيب المياه الأرضية في المناطق المرورية تبين بأن المسامية يمكن أن تكون أقل من 5% في الصخور البركانية التي تعتبر حشارج جيدة إلى ممتازة . الرسوبيات المتداخلة مع الحمم البركانية تعمل بدرجة كبيرة على زيادة المسامية لكتل كبيرة من الصخور التي في معظمها صخور بركانية . تهيئ الرسوبيات تحت الظروف المناسبة فراغات خزينة للمياه الأرضية بينما تعمل الصخور البركانية على إيصال المياه إلى البئر.

إذا اقتلعت عدة أطنان من الصخور كنماذج لقياس نفاذيتها في المختبر فأن مدى القيم التي يتم الحصول عليها من مختلف أنواع الصخور البركانية ستتراوح من صفر تقريبًا إلى أكثر من 1000 دارس . تعزى النفاذية الأفقية بدرجة كبيرة إلى الفراغات المسامية بينما تعزى النفاذية العمودية غالبًا إلى انكسارات الحمم البركانية المتصلبة جزئيًا في المراحل الأخيرة من حركتها إضافة إلى التشققات الناتجة من التقلص . وفي أغلب الحالات تكون النفاذية العمودية صغيرة جداً بالمقارنة مع النفاذية الأفقية . النفاذية العمودية منخفضة في العديد من المناطق إلى درجة تكون حشارج محصورة منفصلة عن بعضها . وجدت فروقات في الضغط تزيد على 100 قدم في الحفر خلال الطبقات الكثيفة من الحمم البركانية التي تكون الطبقات المحصورة . الشكل (3 - 9) يبين تسجيلات نموذجية لمناسيب المياه في بئر محفور في سلسلة من الحشارج النفاذة في صخور بازلتية .

تميل نفاذية ومسامية الصخور البركانية إلى الانخفاض ببطء مع الزمن الجيولوجي . ويعزى بعض هذا الانخفاض إلى انضغاط الطبقات ، إلا أن أمتلاء المسامات بالمعادن الثانوية ربما يكون السبب المهم لهذا الانخفاض . الصخور البركانية في جنوب البرازيل ، غرب ووسط الهند ، وشرقي الولايات

المتحدة جميعها ذات حشارج رديئة وخواص حمل المياه مماثلة لما في الصخور النارية المتحولة والبلوتونية .

الحمم البركانية الفنية بالسليكا مثل الريولايت والداسايت هي أكثر لزوجة ومتفجرة في سيول كثيفة وسميكة وهي ذات نفاذية ومسامية تعتمد مباشرة على حجم الشظايا أو الانسجام ودرجة امتلاء المسامات بالمعادن الثانوية . الانسجام الرديء بين مكونات الصخور ووفرة المواد الناعمة سيؤدي إلى نفاذية واطئة ومسامية متوسطة إلى عالية . صخور التوف الملتحمة تعتبر ذات مسامية واطئة ونفاذية واطئة جداً .



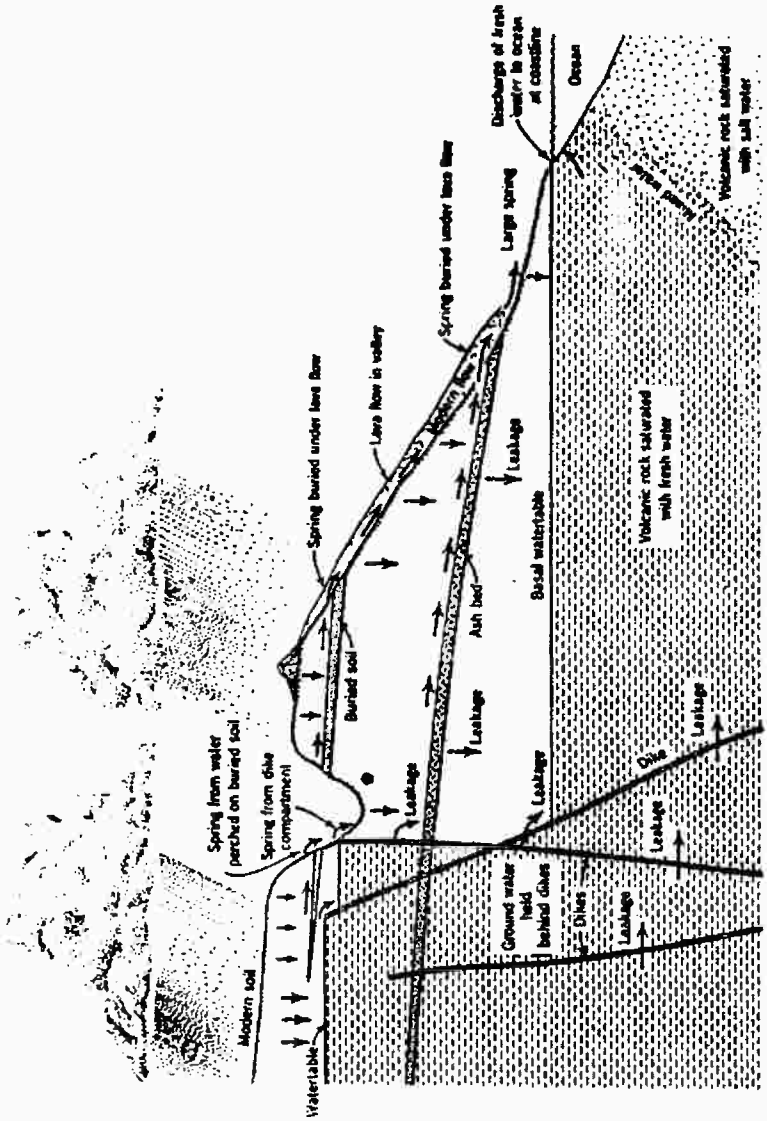
الشكل (3 - 9) تسجيل خاص ببئر يبين تذبذبات منسوب المياه كلما تقدم الحفر خلال حشارج بازلتية متعاقبة .

3 - 2 - 2 : تحديد مواقع الآبار :

في تحديد المواقع الفردية للآبار أو في عمل خطط نظامية لتنمية واستثمار المياه الأرضية لكل المنطقة ضمن مناطق الصخور البركانية فإن الخطوة الأولى هو إجراء مسح هيدروجيولوجي للمنطقة . إن عمليات جمع المعلومات الهيدروجيولوجية كبيانات تعريف المجرى ، قياسات مناسيب المياه في الآبار، إلى غير ذلك من النواحي الهيدروجيولوجية تعتبر هذه العمليات متماثلة تقريبًا في معظم المناطق . لا توجد مجاري مياه سطحية في المناطق البركانية بسبب سعة التسرب العالية التي تتمتع بها الصخور والتربة ، وقد لا توجد مجاري سطحية حتى وإن كانت أمطار المنطقة تصل إلى 200 أنج سنويًا . فإذا افترض أن مقدار التبخر - النتح هو 50 إنج ، فإن هناك مناطق سيكون فيها معدل التسرب السنوي من الأمطار يزيد على 150 إنج . وحتى في المناطق القليلة الأمطار فإن هناك 50٪ من هذا المطر تتسرب إلى الطبقات تحت السطحية .

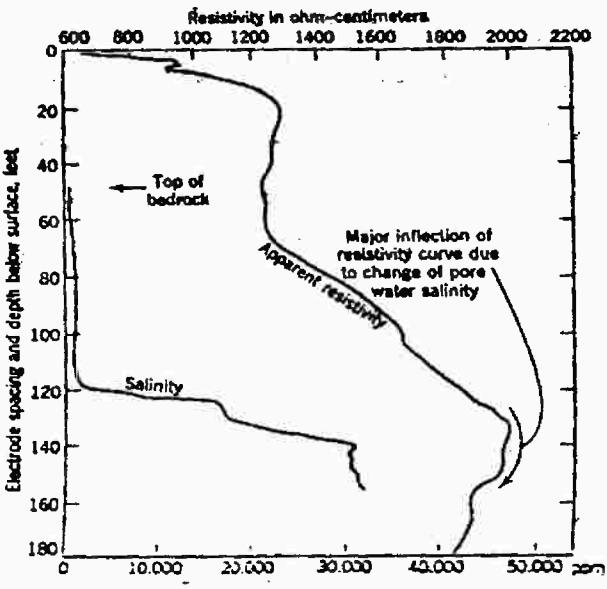
تتميز الدراسات الهيدروجيولوجية للصخور البركانية عن الدراسات التقليدية بالاهتمام الشديد الذي توليه إلى التاريخ الجيومورفي للمنطقة كعامل مساعد في تحديد مواقع الوديان السابقة ، والترب المدفونة ، والمعالم الأخرى التي تؤثر على حركة المياه الأرضية (الشكل 3 - 10) . في بعض المناطق يمكن تحديد التسلسل الطبقي لطبقات الحمم البركانية ويمكن الاستفادة منه في تحديد النطاقات النفاذة تحت سطح الأرض .

دراسات الصور الجوية مع دراسة البروزات الصخرية الظاهرة على السطح ستحددان المنطقة العامة التي تتواجد فيها السداد الجيولوجية وهذه السداد عبارة عن التخوم والحواجز العمودية الكبيرة في الصخور البركانية الحديثة . تتغير مواقع الطبقات غير النفاذة لتقابل الطبقات النفاذة بواسطة الصدوع ويمكن أن تكون حواجز عمودية محلية مهمة .



الشكل (3 - 10) دورة المياه الأرضية في صخور البازلت عالية النفاذية في جزيرة هاواي تبين الأسهم اتجاه حركة المياه . يطفو الماء العذب على تماس مع مياه البحر .

تعتبر التقنيات الجيوفيزيائية عمومًا محدودة الاستعمال في الصخور البركانية . والسبب الرئيسي في ذلك هو الافتقار إلى الفروقات الكبيرة في الحساسيات المغناطيسية، ومعدلات المرونة والايصاله الكهربائية . الاستثناء الوحيد والمهم هو في تحديد التداخل بين المياه العذبة والمياه المالحة في الصخور البركانية . مياه البحر التي تملأ الفراغات المسامية تقلل وبدرجة كبيرة من المقاومة الكهربائية للصخور لذلك ستلاحظ انجرافات متميزة عند منطقة التداخل بين المياه العذبة والمالحة . إذا كانت الصخور البركانية تحتوي بينها على رسوبيات غرينية أو أية رسوبات غير متصلبة فأن العديد من الطرق الجيوفيزيائية يمكن أن يستعمل في تحديد التماسات الجيولوجية المهمة . في بعض الأماكن، أكثر من طبقتين أو ثلاث طبقات متناوبة من الرسوبيات والبازلت تجعل من التفسير الجيوفيزيائي صعبًا. أما طرق الانكسار الزلزالي فهي عممًا غير ذات فائدة تحت الطبقة الأولى من البازلت لأنها ستحول الاشارة المبكرة إلى جميع الكاشفات . يستعمل الانعكاس الزلزالي لتحديد التماسات الجيولوجية تحت البازلت . ومما يحدد استعمالها هو الكميات الكبيرة عن المتفجرات اللازمة .



الشكل (3 - 11) نتائج مسح المقاومة السطحية مقارنة مع ملوحة المياه الأرضية من بئر محفور بعد إنتهاء المسح .

يتم حفر آبار الفحص في الصخور البركانية النفاذة عادة بطريقة معدات الآلة السلكية لأن السائل المتحرك يفقد فى النطاقات المتكهفة . أما الطبقات البركانية الأقدم والمتراصة فيمكن حفرها بأى نوع يمكنه التغلغل في الصخور الصلدة . يمكن الحفر في الرسوبيات النارية الهشة (ما لم تكن نفاذة كثيراً) بالطرق الدوارة التي تستعمل سوائل حفر دوارة مناسبة . تعتمد سعة البئر المحفور في النطاقات النفاذة من البازلت على قطر البئر فقط . وكلما كانت الطبقات قديمة وكثيفة كلما قلت إنتاجيتها من المياه .

استعملت الأنفاق بصورة واسعة في جزر هاواي لاستثمار المياه الأرضية الجاثمة على الترب المدفونة وصخور التوف المرتبطة بالحواجز والتخوم . وتستعمل الأنفاق والحفر الجانبي القصير لاستخلاص المياه العذبة ومن دون

سحب متزايد لتجنب إثارة المياه المالحة وخلطها بالمياه العذبة - الآبار المزودة بالحفر الجانبي ستنتج كميات أكبر من المياه بسبب العدد الكبير من النطاقات النفاذة التي ستتقاطع معها هذه الأنفاق الجانبية - النفاذيات الاستثنائية الموجودة في بعض صخور البازلت تشجع على إنتاج كميات كبيرة من المياه مما يؤدي إلى الانخفاض التدريجي لمناسيب المياه الأرضية .

• • •

3 - 2 - 3 : نوعية المياه:

معظم المياه المستخرجة من الصخور البركانية ذات نوعية كيميائية جيدة إلى ممتازة . وبصورة عامة تميل هذه المياه لتكون مياه بيكاربونات - مغنيسيوم - كالسيوم ، أو في حالة الصخور البركانية الحامضية مياه بيكاربونات - صوديوم مع كميات كبيرة نسبيًا من السليكا . توجد المياه ذات النوعية الكيميائية الرديئة قرب الينابيع الحارة وفوهات البراكين حيث تكون المياه ذات نسبة عالية من الصوديوم والكلورايد . حتى عندما لا تكون هذه المياه الحارة حاوية على نسبة عالية من هذه الأيونات فإن الأس الهيدروچيني PH المنخفض أو المحتوى العالي من الفلورايد ربما يكون غير مقبولاً . ويمكن أن توجد المياه ذات النوعية الكيميائية الرديئة على طول المناطق الساحلية حيث يشبع ماء البحر الصخور أو في المناطق الصحراوية حيث التبخر والأملاح الموجودة في الهواء تذوب في المياه السطحية التي تسرب إلى الطبقات تحت السطحية .

ونظراً للنفاذية العالية لبعض الصخور البركانية فإن التلوث البايولوچي يعتبر خطراً كامنًا . ولسوء الحظ تميل الصخور البركانية للتجوية بسرعة وبذلك فإن التربة السميكة الناتجة ستحرك الكثير من الأحياء المجهرية المرضية .