الفصل الخامس

المياه الأرضية في

الرسوبيات غير المتصلبة

5 - 1 تقديم

5 - 2 المسامية ، النفاذية ، والإنتاجية النوعية

5 - 3 الوديان النهرية

5 - 3 - 1 الخصائص العامة 5 - 3 - 2 النفاذية

5 - 3 - 3 إنتاجية الآبار 6 - 3 - 4 التحري عن المياه الأرضية

5 - 3 - 5 نوعية المياه

5 - 4 الوديان ذات الأصل التكتوني

5 - 4 - 1 أنواع الرسوبيات 5 - 4 - 2 المسامية، النفاذية، والإنتاجية

5 - 4 - 3 تعيين مواقع الآبار 5 - 4 - 4 مشاكل انضغاط الحشرج

5 - 4 - 5 نوعيه المياه

5 - 5 السهول الساحلية

5 - 6 مناطق الرسوبيات الهوائية

5 - 7 المناطق المغطاة بالجليد

5 - 8 مناطق الرسوبيات المتنوعة

الفصل الخامس

المياه الأرضية في الرسوبيات غير المتصلبة

5 - 1 : تقديم :

يبدأ البحث عن المياه الأرضية عادة مع التحري في الرسوبيات غير المتصلبة . وهناك أسباب ترجح هذا التفضيل . الأول ، سهولة الحفر في هذه الرسوبيات ، لذلك سيكون التحري سريعًا ورخيصًا . الثاني ، توجد هذه الرسوبيات في معظم الأحيان في الوديان حيث تكون مستويات المياه الأرضية قريبة من السطح وبذلك سيكون رفع الضخ للمياه قليلاً . الثالث ، أن الرسوبيات غير المتصلبة تقع في أماكن مناسبة لتغذية المياه الأرضية من مصادر سطحية وجوفية للمياه وخصوصًا الأنهار والبحيرات . الرابع ، تمتلك الرسوبيات غير المتصلبة بصورة عامة إنتاجية مياه عالية نسبة لإنتاجية التكوينات الأخرى . الخامس ، وربما السبب الأكثر أهمية ، نفاذية هذه المواد أعلى بكثير من نفاذية المواد الطبيعية الأخرى باستثناء الصخور البركانية الحديثة والجيرية المتكهفة .

يمكن تقسيم الرسوبيات غير المتصلبة على عدد كبير من الأنواع على أساس أصل تكوينها . وأكثر هذه الأنواع أهمية هي الفيضية الغرينية alluvium ، رواسب الجلاميد الصلصالية التي يرسبها الجليد till ، الرسوبيات الملامسة للجليد ، رواسب اللويس التي حملتها الرياح loess ، الكثبان الرملية dune sand ، الرمال والأطيان البحرية marine sands & clays ، والرواسب البحيرية الرملية ،الطينية Lacustrine sands & clays .

5 - 2 : المسامية ، النفاذية ، والإنتاجية النوعية :

تتراوح مساميات الرسوبيات غير المتصلبة من 20% في الغرين الخشن ضعيف الانتظام إلى حوالي 90% في الأطيان الناعمة والمواد العضوية الجافة . وعمومًا المساميات بين 25 - 65 تعتبر مألوفة كثيراً . (لاحظ الجدول 5 - 1) . تتراوح قيم الإنتاجية النوعية لهذه الرسوبيات من صفر تقريبًا إلى حوالي 50%. في الغرين الناعم والطيني أقل من 10% . في الرمل الخشن والحصو أكثر من 50% . على عكس قيم المسامية المنسجمة هناك اختلافات واسعة في نفاذية الرسوبيات غير المتصلبة المختلفة . أعلى النفاذيات المسجلة كانت أكثر من 10^9 مرة أكبر من أوطأ النفاذيات . رغم المدى الواسع لهذه القيم يمكن وضع قيمة تقريبية للنفاذية إذا كان الأصل الجيولوجي للرسوبيات معلومًا .

تعتمد كل من المسامية والإنتاجية النوعية والنفاذية على شكل وتجمع ، وتوزيع حجم والتحام الدقائق المكونة للرسوبيات غير المتصلبة . تميل الدقائق الزاوية (كثيرة الزوايا) للتماسك عن بعد من خلال الأركان الحادة والزوايا غير المنتظمة معطية قيمًا عالية للمسامية والنفاذية والإنتاجية النوعية لقطر حبيبي معين . في حين أن الدقائق ذات الأركان المحدبة قليلاً والزوايا القليلة بحيث يسهل تشابكها مع بعضها فإنها تعطي انضغاطية قصوى . والدقائق المدورة لا تستطيع التشابك وبذلك تكون أقل انضغاطًا وستكون ذات مسامية ونفاذية وإنتاجية نوعية مماثلة لما في الدقائق الزاوية جداً . وإضافة إلى طبيعة زوايا الدقائق يؤثر الشكل الكلي للدقائق تأثيراً كبيراً على طبيعة تجمع الدقائق وانتظامها . الدقائق المصفحة (ذات سطوح) تميل لتكوين فتحات صندوقية خصوصًا في المواد ناعمة الحبيبات حيث يمكن لقوى التماسك الصغيرة مقاومة الوزن القليل للحبيبة الواحدة التي تميل للدوران نحو أقرب تراص أو تراكم (الشكل 5 - 1) . نظريًا يمكن أن تتراص الكرات الصلدة وتنتظم لتعطي

مسامية تتراوح بين 25.95 - 47.64% . أما الدقائق ذات الشكل الصفائحي (ذات سطوح) فإنها يمكن أن تتراص وتنتظم لتعطي مسامية تتراوح بين صفر تقريبًا إلى 100% تقريبًا .

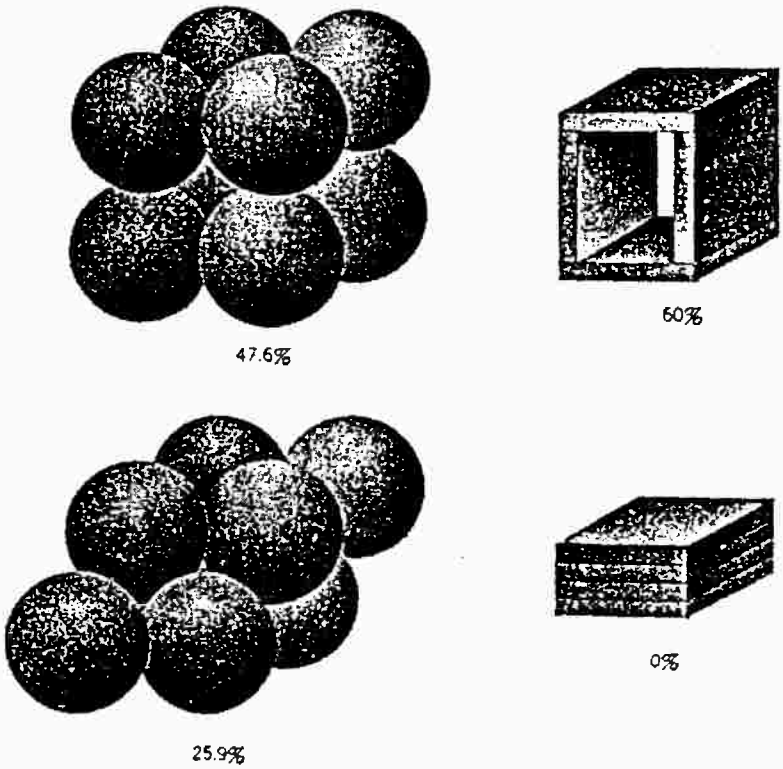
Sample Number	Orientation of Sample	Type of Sediment	Dominant Size	Permeability, darcys	Porosity, per cent	Specifice Yield	References
1	Vertical	alluvium	fine sand	26.4	51.1	45.5	26
2	horizontal	alluvium	fine sand	25.3	51.5	45.8	26
3	vertical	alluvium	fine sand	16.5	47.0	39.9	26
4	horizontal	alluvium	fine sand	13.2	45.7	39.0	26
5	vertical	loess	silt	0.33	49.3	33.1	26
6	horizontal	loess	silt	0.22	50.7	34.7	26
7	horizontal	marine	clay	0.000016	48.5	3.6	26
8	vertical	marine	medium sand	38.5	41.7	38.3	26
9	horizontal	marine	medium sand	55.0	40.2	37.6	26
10	...	alluvium	fine sand	5.5	52.2	...	42
11	...	alluvium	coarse sand	189	33.3	...	42
12	...	alluvium	gravel	1130	25.1	...	42
13	...	artificial	gravel (large than 38 mm)	43500	38.0	...	2
14	...	...	clay (kaolinite)	0.0015	50.0	...	2
15	...	...	clay (montmorillonite)	0.000015	66.6	...	2
16	...	dune sand	medium sand	28.0	35.8	34.5	8

Note : Samples 1 and 2,3 and 4,5 and 6, and 8 and 9 are paired samples from identical locations.

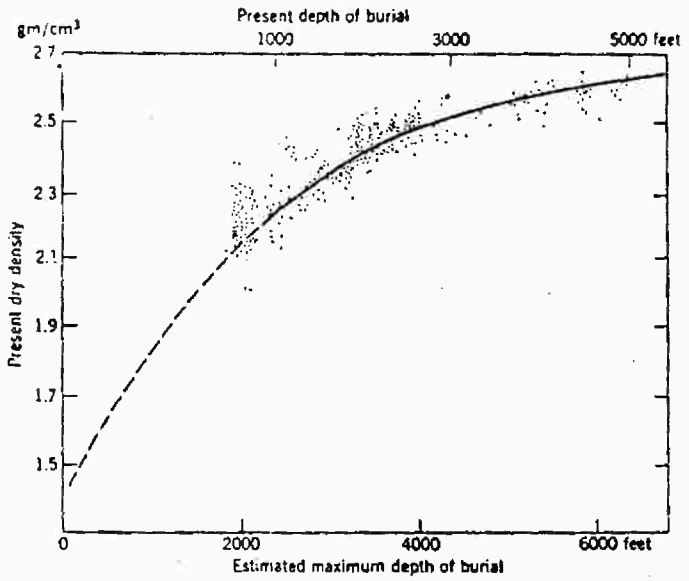
(**الشكل 5-1**) مسامية ونفاذية رسوبيات غير متصلبة ممتازة

إن طريقة أو أسلوب الترسيب سيكون لها بعض الأثر على انتظام أو تراص الدقائق . مثال ذلك ، الترسبات الصلصالية تحت الجليد ستكون ذات مسامية أقل مسامية رسوبيات الطيني الجاري ذات نفس التركيب . أن الرمال المترسبة على الجانب المحجوب عن الرياح من الكثيب الرملي ستكون أكثر مسامية من الرمال ذات نفس الحجم التي تترسب في الجانب المواجه للرياح . يؤثر عمق الدفق أيضًا على انتظام الدقائق نتيجة الزيادة الطبيعية في الضغط (الشكل 5-2) . معدل النقص في المساحية ضمن الألف قدم العليا قد يزيد قليلاً على 5% ، رغم أن دراسات النماذج المختبرية قد أوضحت اختلاف واسع في النتائج حتى أنه قد وجدت زيادات وليس نقص في المسامية مع العمق ذلك نتيجة التغيرات في حجم وشكل الدقائق . يعتبر نقص المسامات نتيجة الدفق مهم جداً في الترب والرسوبيات الطينية والصلصالية إلا أنه قليل الأهمية إلى حد كبير في الرمال والحصى . يعزى معظم النقص في المسامية إلى الآثار الناتجة عن الحركة التبادلية بين الحبيبات التي لا تؤثر على شكل الحبيبات بل تؤثر على طبيعة رصفها وتراصها وانتظامها . ويحدث بعض التشويه المرن للحبيبات والذي سُرعان ما يختفي وتعود الحبيبات إلى شكلها الطبيعي بعد إزالة الضغط حيث تتمدد الحبيبات لتعود إلى شكلها الأصلي وبذلك يزداد حجم النموذج الذي يستخرج من الأعماق عند إرساله إلى المختبر ولابد أن يؤخذ هذا التمدد بالحسبان خصوصًا تلك النماذج التي تؤخذ من أعماق تزيد على 100-200 قدم . تعتبر كل من المسامية والنفاذية والإنتاجية النوعية حساسة لحجم الدقائق وتوزيع الحجم الدقائقي وطبيعة ترتيب وانتظام الدقائق . يحدد حجم الدقائق الأهمية النسبية للشد السطحي والقوى الجزيئية الأصغر التي تمسك بالمياه ضمن الفراغات المسامية . كذلك يساعد حجم الدقائق على

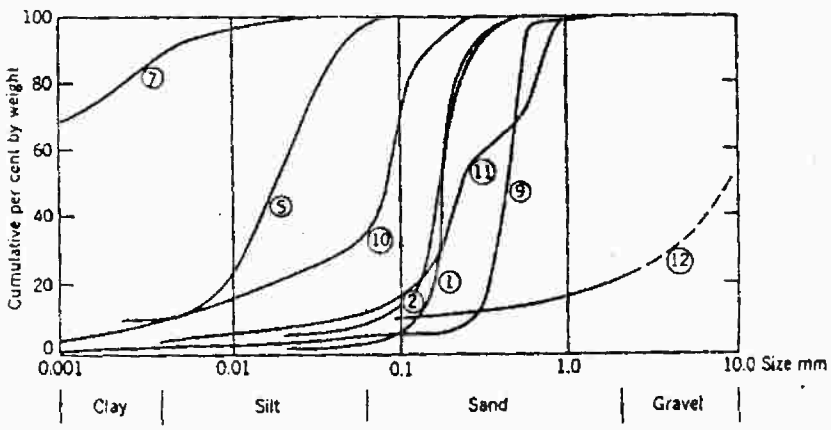
تحديد أقطار المسامات ذات التأثير المباشر على النفاذية (الشكل 5-3) والإنتاجية النوعية . أما توزيع الحجم (Sorting) فيحدد مدى تداخل الحبيبات الصغيرة بين الحبيبات الكبيرة لشغل الفراغ الموجود بينها (الشكل 5 - 4) .



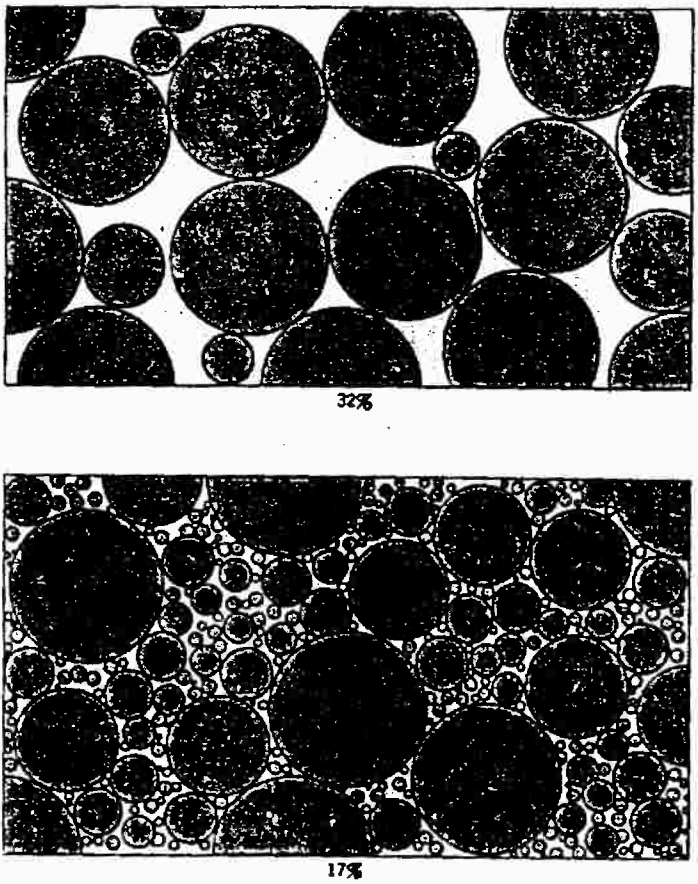
(**الشكل 5-1**) الانتظام والرصف المتقارب والمفتوح لدقائق مصفحة وأخرى كروية . تبين الأشكال المسامية العظمى والدنيا للترتيبات المختلفة المستقرة للدقائق .



(الشكل 5 - 2) زيادة كثافة الصلصال مع العمق في نماذج صخرية



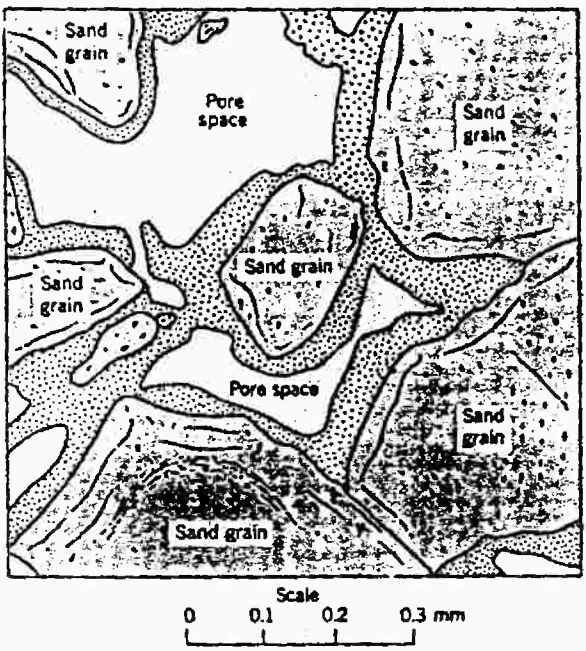
(الشكل 5 - 3) التوزيع الحجمي لنماذج مختلفة مدرجة في الجدول 5-1 . يمكن ملاحظة أهمية الحجم في تأثيره على النفاذية من مقارنة الحجوم المتوسطة مع النفاذية . عدد النماذج على المنحنيات تتقابل مع عدد النماذج في الجدول .



(الشكل 5 - 4) الفرق في المسامية الناتج عن الاختلاف في التوزيع الحجمي Sorting للحبيبات الأرقام تحت الأشكال تمثل نسبة المسامات في النماذج (المسامية) .

كل الرسوبيات تقريبًا توجد فيها كمية قليلة من المواد السمنتية رغم ذلك تعطي مظهر كونها غير متصلبة كليًا . الطين والمواد الغروية الموجودة في جميع الرسوبيات (عدا النقية جداً) تميل لتكوين أغشية أو أغلفة على الدقائق الأكبر منها. تنمو الأغشية الطينية جيداً في ضمن نطاق B من الترب (الشكل 5-5) حيث يمكن أن تنخفض النفاذية إلى قيمة صغيرة مقارنة بقيمها الأصلية .

ونظراً لانتفاخ الطين عند التميؤ فإن نفاذية المواد المسمنتة بالطين ستتأثر بكمية الرطوبة الموجودة تأثراً كبيراً . أما السليكا ، الكالسايت ، الليمونايت، ومواد السمنتة الأخرى المألوفة في الصخور الرسوبية فهي غير مهمة نسبيًا في نظيراتها غير المتصلبة .



(**الشكل 5 - 5**) أغلفة أو غشاءات الطين التي تغلف حبيبات الرمل في الترب الرملية كما تظهر في الرسم بالمناطق الخفيفة المنقطة .

5 - 3 : الوديان النهريَة River Valleys :

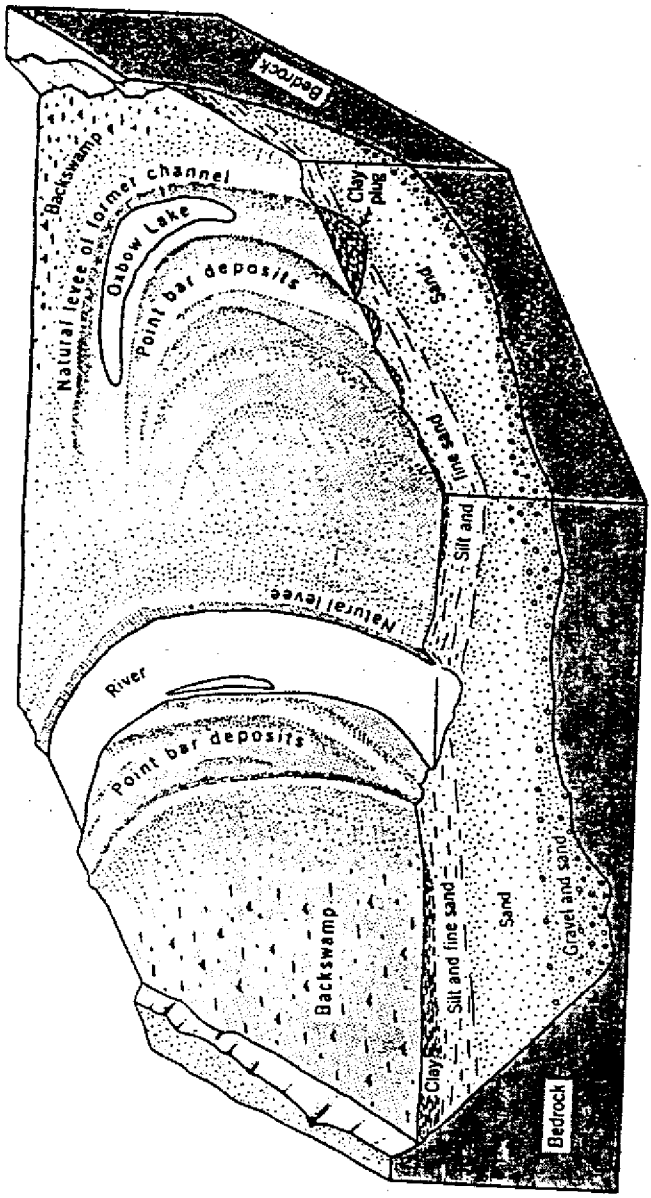
5 - 3 - 1 : الخصائص العامة :

إن توزيع نسب الطين ، الغرين ، الرمل ، والحصو في وديان الأنهار معقد جداً . إلا أن الأشكال العامة لها منتظمة ويمكن التعرف عليها . في الوديان الواسعة التي يشغل منها مجرى النهر جزء محدود يمكن أن تصنف الرسوبيات على أساس أشكالها الطوبوغرافية ومواقعها بالنسبة لمجرى النهر (الشكل 5-6). أخشن الرسوبيات التي توفر أفضل الحشارج هي الرمال والحصى حيث تشكل هذه الرسوبيات الحمولة الثقيلة للنهر والتي تترسب مباشرة ضمن مجرى النهر . أما رسوبيات ما يسمى بسد الجرف (Point bav) فهي رسوبيات تتكون عند انعطاف المجرى والتواءاته حيث يحدث الترسيب لحمولة النهر من المواد عند الجرف أو الجانب المحدب من النهر (لاحظ الشكل 5 - 6) لانخفاض سرعة الجريان في الجانب المحدب من الالتواء وزيادة السرعة في الجانب المقعر من التواء النهر حيث يحدث التآكل في هذا الجرف . وكلما غير النهر مجراه ترك بجانبه سدود جرفية مع منخفضات اعتراضية كانت تمثل مجراه الأصلي . ثم تمتلئ هذه المنخفضات تدريجيًا بفعل ترسبات الطين والغرين أثناء فترات فيضان مياه النهر . ونتيجة لعمليات الترسيب هذه وانتقال المجرى إلى مواقع متتالية تظهر في المنطقة سلسلة من شرائح مقوسة من الرسوبيات ناعمة التكوين تغطي طبقة رملية أكثر سمكًا . ترسبات الفيضانات المستمرة سوف تبني طبقة سميكة من الرسوبيات الناعمة تتراوح بين الغرين الخشن عند السداد الجانبية الطبيعية للنهر إلى الطين الغرين الناعم ضمن المستنقعات الخلفية Back Swamp . تصل رسوبيات الفيضان ناعمة الحبيبات إلى أعلى سمك لها عندما تملأ الانعطافات الأولى المقتطعة من النهر . تسمى هذه الامتلاءات الناعمة بسداد الطين Clay plugs .

ليست كل وديان الأنهار تظهر هذه السلسلة الكلية من رسوبيات سهل الفيضان العديد من الأنهار التي تحمل كميات كبيرة من العوالق الخشنة والناعمة تبين سهول فيضية واسعة تتخللها إعداد المجاري المتقاطعة . هذه القنوات المتقاطعة لا تبني أكتاف بارزة أو منخفضات ممتلئة بالرسوبيات أو أية أشكال رسوبية ناتجة عن مجاري ذات قنوات مستقيمة أو ملتوية .

يمكن أن تسبب التغيرات في نظام مجرى النهر السائد انقطاعات مفاجئة في النهر تاركة مواد السهل الفيضي الأولية كرسوبيات مدرجة . وتظهر هذه الرسوبيات عمومًا نفس أنواع الرسوبيات كما في رسوبيات الوادي المتاخمة باستثناء التغيرات التي قد تحدث في مصدر الرسوبيات وسعة حمولة النهر بسبب التغيرات في صرف المياه في منطقة التغذية .

رغم التغير الجانبي الكبير في رسوبيات وادي النهر فإن معظم رسوبيات الوادي ذات تعاقب عمودي بسيط من الحصى أو الرمال الخشنة قرب قاع النهر إلى الغرين والطين عند القمة . يعتمد السمك النسبي للطبقات الخشنة والناعمة على نوع الرسوبيات التي يحملها النهر والتاريخ الجيولوجي للنهر في المنطقة موضوع البحث . المواد الخشنة المنجرفة بفعل الجليد والتي تملأ وادي جبلي تمتلك عادة كمية قليلة فقط من المواد ذات الحبيبات الناعمة في الأعلى . يكون بعض هذه الوديان ممتلئًا بأكثر من 200 قدم من المواد المحمولة الخشنة . من ناحية أخرى ، عندما تغلق الأنهار بصورة مفاجئة قرب مصباتها فإنها يمكن أن تملأ وديانها بالطين والغرين حيث سترسب معظم حمولتها من المواد العالقة بعد انخفاض سرعة الجريان . تزداد رسوبيات معظم الأنهار سمكًا عند الشواطئ لأنها تملأ الوديان الأولى التي قد تعمقت بسبب مستويات ماء البحر المنخفضة خلال العصور الجليدية .



(**الشكل 5 - 6**) رسوبيات وأشكال طوبوغرافية نموذجية كسهول فيضية واسعة لأنهار كبيرة .

5 - 3 - 2 : النفاذية :

أجريت العديد من الدراسات حول خواص حمل المياه من قبل الغرين المترسب من وديان مجاري الأنهار الاعتيادية . تعتبر الرسوبيات ذات الحبيبات الناعمة عديمة النفاذية . أما الغرين والأطيان الهشة غير المنضغطة تملك نفاذية عدة ملي دارسي على الأقل . وفي العديد من الرسوبيات الأخرى تصل النفاذية إلى عدة مئات من الملي دارسي . يمكن أن نفسر بعض النفاذية على أساس البناء المفتوح للطين الأصلي وحبيبات الغرين . فيما يعزى معظم النفاذية إلى البناءات الثانوية كثقوب الجذور النباتية ، جحور وملاجيء الديدان والحشرات ، وشقوق التجفيف . معظم نطاقات الرسوبيات الغرينية الحاملة للمياه ذات نفاذية تتراوح بين 10 - 100 دارسي ، ولا يستبعد وجود نفاذيات عظمى تصل إلى 500 دارسي .

• • •

5 - 3 - 3 : إنتاجية الآبار :

يمكن الحصول على إنتاجية معتدلة للآبار تتراوح من 10 - 50 غالون/دقيقة من جميع الرسوبيات النهرية تقريبًا والمتأصلة من مجاري دائمية كبيرة . الإنتاجيات الأكبر التي تتراوح من 100 - 2000 غالون / دقيقة هي مألوفة أيضًا عندما تكون النطاقات النفاذة بسمك 10 قدم على الأقل والنطاق المشبع من الرسوبيات بسمك 40 قدم على الأقل .

لا يمكن حساب الإنتاجية الدقيقة للآبار قبل الحفر . لكن يمكن تقديرها بافتراض قيم نفاذية معقولة بعد الأخذ بالحسبان السمك الكلي المتوقع للحشارج ، ومواقع مناسيب المياه قرب الآبار ، وقرب الحدود الهيدرولوجية . مثال ذلك ، بئر فحص قرب نهر أركنساس أظهر 15 قدم من الرمل الخشن، ذو

قطر حبيبي حوالي 0.8 ملم ، ورمل ناعم بسمك 5 قدم ذو قطر حبيبي مقدار 0.1 مليمتر . والمتبقي من عمق بئر الفحص يقع ضمن طبقات غرين وطين . وباستعمال المنحنى المبين في الشكل (5 - 7) لاستخراج قيمة الإيصالية الهيدروليكية Hydraulic conduetivity حيث تضرب هذه القيمة بالسمك تحصل على القابلية النقلية trausmissirity والتي ستكون 16000 غالون/يوم- قدم . إذا كانت الحشارج التي يخترقها البئر محصورة Confined وتقع على بعض المسافة من الحدود الهيدرولوچية فإنه يمكن استخدام التعبير الآتي (تقريبي) :

$$T = \frac{1.22\ Q}{S}$$

حيث T = القابلية النقلية trausmissivity

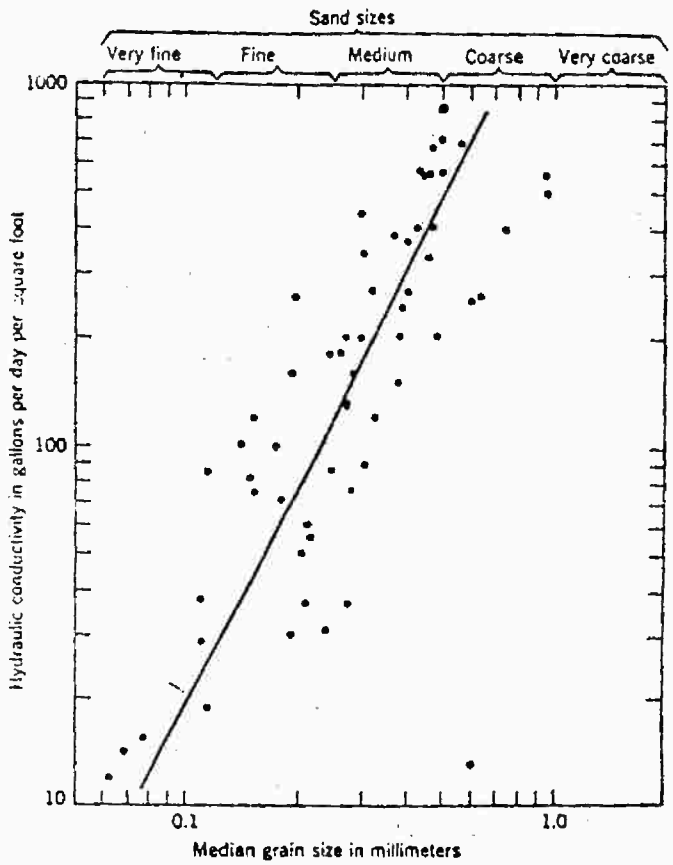
Q = تصريف البئر

S = الهبوط في منسوب المياه الأرضية في البئر

يجب تقدير قيمة S بأخذ الفرق في الارتفاع بين مستوى الماء الأرضي الابتدائي وموقع معتدل لمستوى الماء الأرضي المستقبلي (بعد الضخ) ويمكن أن يكون هذا الموقع السطح العلوي للحشرج الرئيسي . إذا فرضت S = 20 ft (في المثال) فإن الإنتاجية المتوقعة (Q) ستكون :

$$16000 \times \frac{20}{1.22} \times 1440 = 182\text{g pm}$$

هذه الطريقة تقريبية لتقدير إنتاجية الآبار ويجب عدم استعمالها إذا توفرت طرق أخرى . ومع ذلك يمكن أن تكون مفيدة للمساعدة في تحديد مضخات الفحص ، وفي التوصية على نوع تنفيذ البئر ، وتقرير الحاجة إلى آبار فحص أخرى من عدمها .



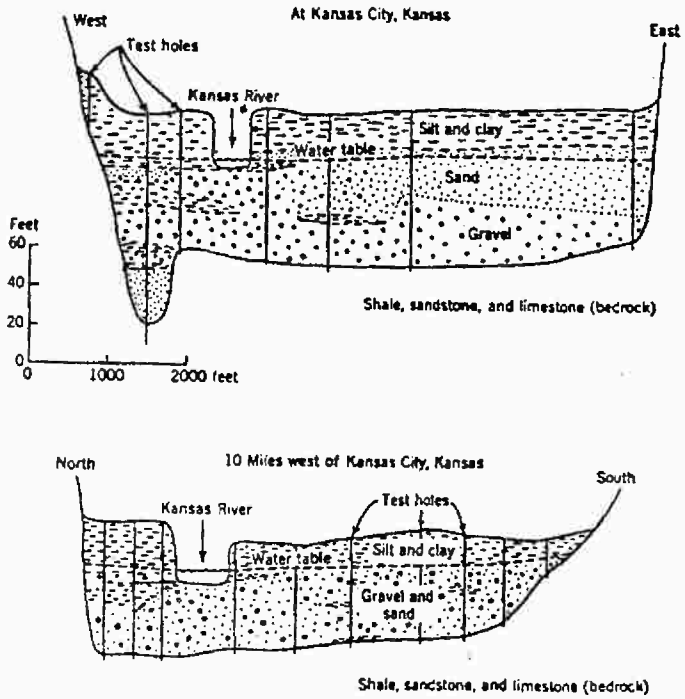
(الشكل 5 - 7) العلاقة بين متوسط حجم الحبيبات الرملية ونفاذية الرمل في وادي نهر أركنساس .

5 - 3 - 4 : التحري عن المياه الأرضية :

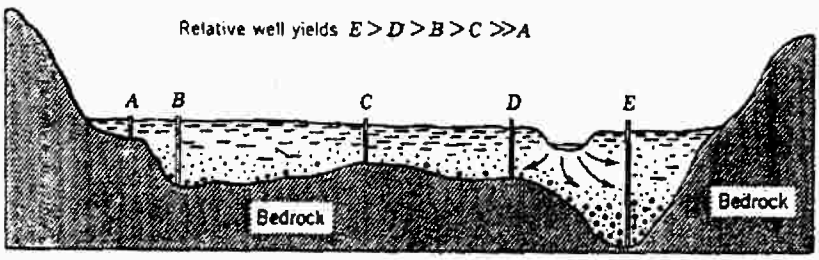
لا نحتاج إلى خبرة عالية للحصول على آبار ذات إنتاجية معتدلة ضمن الوديان الرسوبية ذات المجاري المائية السطحية الدائمة . من ناحية أخرى ، ربما يحتاج تحديد مواقع الآبار ذات الإنتاجية العالية إلى خبرات الجيوفيزيائيين إضافة إلى الهيدروجيولوچيين عمومًا لا بد من محاولة تجنب المناطق ذات

رسوبيات المياه البطيئة الجريان والتي ستكون في معظمها طين وغرين وإيجاد مناطق قرب مصادر التغذية ذات السمك الأعلى من طبقات الرمل والحصو المشبعة بالمياه . يكون التاريخ الجيولوچي معقداً في مناطق الإنسيابات الجليدية والبركانية الحديثة لوجود عدد من التغيرات في أساليب الصرف إضافة إلى وجود مواد غير رسوبية مندفعة نحو وديان الأنهار مما يجعل مهمة الهيدروچيولوچي صعبة .

إن السطوح الفاصلة بين الطبقات الصخرية التحتية وبين الطبقات الرسوبية غير المتصلبة العلوية في السهول الفيضية لا تكون أفقية أو منبسطة تمامًا، بل تحتوي على وديان داخلية ممددة صنعتها الأنهار بالتعرية والحث للصخور التحتية عندما كانت الأنهار تجري مباشرة فوق الصخور قبل تكوّن السهول الفيضية الارسابية . (لاحظ الشكل 5 - 8 والشكل 5 - 9) . إن تحديد مسار الوادي المدفون هو أحد المهمات الأولى التي يقوم بها الهيدروجيولوچي وبذلك يمكن تعيين مواقع الآبار التي تتقاطع مع أعلى سمك من الحصى والرمل . بعد تحديد مسار الوادي المدفون سيكون من السهل تعيين مواقع الآبار في أقرب الأماكن الممكنة لمصادر التغذية (لاحظ الشكل 5 - 9) .



(الشكل 5 - 8) وادي داخلي مدفون تحت رسوبيات نهر كنساس قرب مدينة كنساس الأمريكية الوادي المدفون (المقطع الأعلى في الشكل) معروف جيداً لدى أهالي المدينة ويقع على مسافة عشرة أميال إلى الغرب من مجرى النهر الحالي .

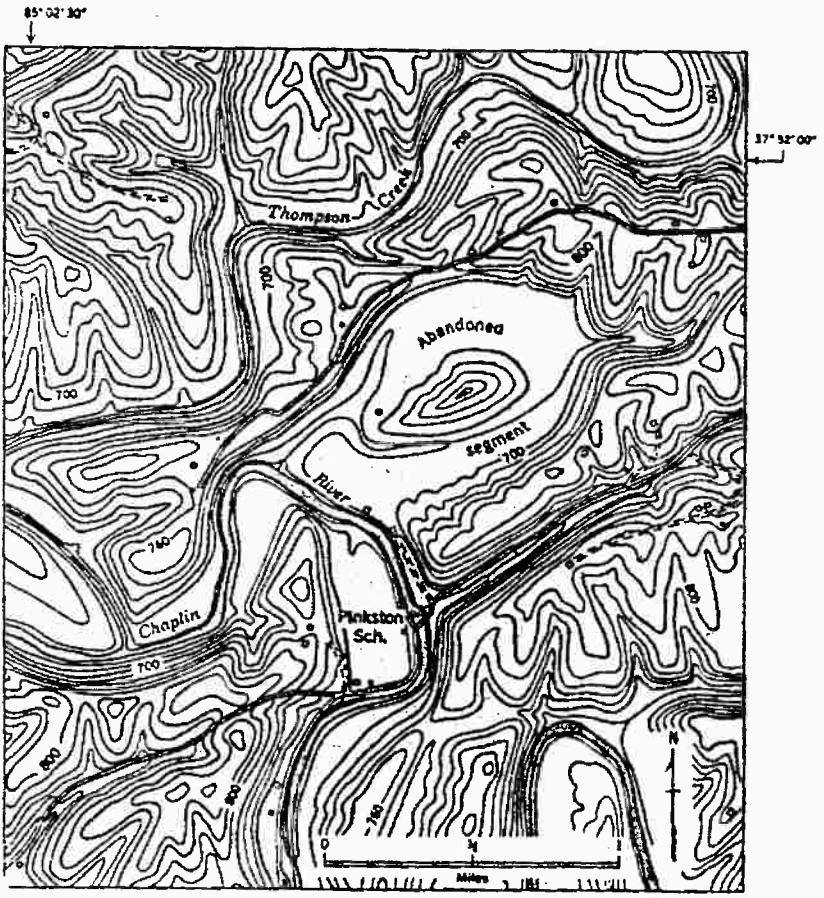


(الشكل 5 - 9) مقطع في وادي رسوبي يبين تأثيرات سمك الحشرج والحدود الهيدروجيولوجية على إنتاجية الآبار .

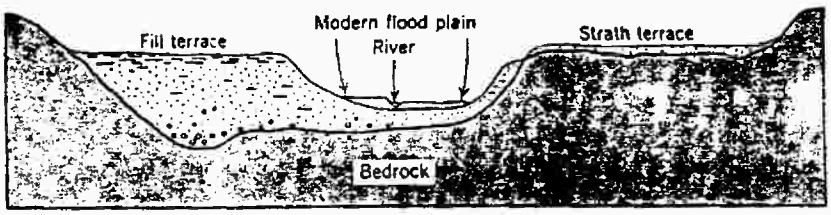
توجد دلائل جيولوجية قليلة على السطح تشير إلى مواقع الوديان الداخلية المدفونة . إذا كان الترسيب جديداً ، أو أن جوانب الوادي المكشوفة تقاوم التآكل ، فإن وجود جروف عالية حادة الانحدار بعيدة عن المجرى الحالي ربما يشير إلى إن المجرى الأصلي للنهر كان يرتطم بهذه الجروف . ولسوء الحظ ، تنحرف مجاري معظم الأنهار الحديثة بسرعة لا يمكن معا الربط بين طوبوغرافية جانب الوادي وبين موقع الجزء الأعمق من الرسوبيات . كما أن وجود مجاري جانبية صغيرة تحمل كميات كبيرة من الطمى إلى المجرى الرئيسي يمكن أن تكون إشارة أخرى . تميل هذه المجاري الصغيرة إلى دفع المجرى الرئيسي إلى الجانب المقابل من الوادي .

يمكن استخدام الطرق الجيوفيزيائية وآبار الفحص للحصول على معلومات جيولوجية معول عليها في سمك ونوع الرسوبيات في وديان الأنهار . وتأتي الصعوبات التي يمكن مواجهتها في تفسير معلومات آبار الفحص، من ضعف التسجيل والتفسير الطبقي غير الصحيح . حيث يمكن أن يفسر الصلصال Shale على أنه رسوبيات طينية متصلبة ، أو تفسر الجلاميد الكبيرة على إنها طبقات صخرية . لكن البيانات الزلزالية يمكن الركون إليها دائمًا تقريبًا شريطة أن تفسر من قبل جيوفيزيائيين متمرسين . أما التقنيات الكهربائية ، رغم كونها أقل كلفة ، فلا يعول عليها كما يعول على الطرق الزلزالية . الرمل المترسب على الصخور الرملية والطين الملامس للصلصال والعديد من الارتباطات الأخرى بين الرسوبيات والطبقات الصخرية يمكن أن لا تعطي الفروقات المحسوسة في المقاومات الكهربائية الضرورية للتمييز بين هذه الطبقات المترابطة ، المتشابهة الخواص تقريبًا . من ناحية أخرى يمكن الحصول على نتائج ممتازة في رسوبيات الوديان ضمن مناطق من الصخور النارية والمتحولة حيث تكون الفروقات في المقاومة الكهربائية ربما عشرة أضعاف أو أكثر بين الرسوبيات والصخور التي تحتها .

الوديان النصف دائرية الموجودة بدون أنهار يمكن أن تشير إلى مواقع وديان نهرية متروكة تحتها رسوبيات سميكة (الشكل 5 - 10) . توجد المدرجات أيضًا على امتداد معظم الأنهار الكبيرة . ويمكن أن تكون هذه المدرجات موجودة أصلاً ضمن منحدر جانب الوادي (صخرية) ولا تحتوي على مواد قادرة على خزن المياه كما يمكن أن تكون مدرجات إملائية رسوبية تعتبر مثالية لحمل المياه الأرضية (لاحظ الشكل 5 - 11) .



(**الشكل 5 - 10**) جزء وادي متروك لنهر شابلن في الولايات المتحدة .



(**الشكل 5 - 11**) مقطع يبين مدرج تكونت بفعل الأملاء الرسوبي على أحد جوانب النهر ، ومدرج صخري بتربة خفيفة موجود أصلاً ضمن صخور الوادي في الجانب الاخر من النهر .

5 - 3 - 5 : نوعية المياه :

تعتبر النوعية الكيميائية للمياه جيدة في معظم وديان الأنهار . باستثناء المناطق الصحراوية ، تأتي المياه الأرضية من التغذية المحلية على سطح الوادي ومن الجريان الداخلي الجانبي القادم من المجاري والحشارج الموجودة في الوديان الفرعية المتصلة بالوادي الرئيسي . تتحكم في كيميائية المياه في الوديان النهرية عدة عوامل أهمها الغطاء النباتي وأنواع الصخور في المجاري الجانبية وعلى سطح الوادي . فعلى سبيل المثال ، في وسط الولايات المتحدة حيث تكون الصخور الكاربوناتية هي السائدة ، فإن معظم المياه الأرضية هناك ذات تركيز عالي بالكالسيوم ، المغنيسيوم والبايكر بونات . في غرب الولايات المتحدة تحمل الرسوبيات على امتداد العديد من المجاري مياه أرضية غنية بالكالسيوم والسلفايت المشتقة من الصخور القريبة الغنية بالجبس والأنهايدرايت .

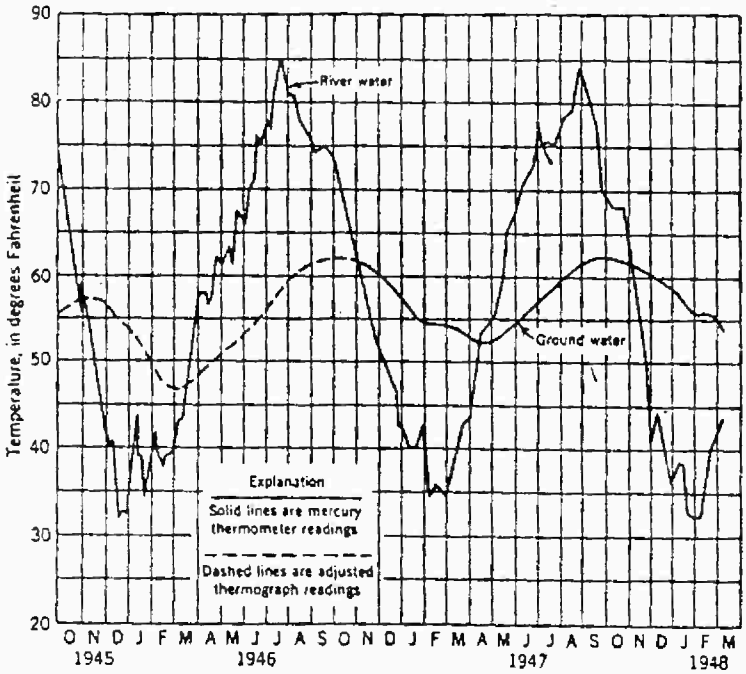
عندما يكون استثمار المياه الأرضية مكثفًا وتتلقى الحشارج تغذية مباشرة من الأنهار فإن نوعية المياه تتأثر بنوعية مياه الأنهار المغذية . في العديد من المناطق تتماثل تقريبًا نوعية مياه الأنهار مع المياه الأرضية المحلية . وفي

مناطق أخرى يكون الفرق محدوداً . أحد النواحي المزعجة للتغذية النهرية هي التذبذبات في درجات الحرارة التي تسببها في المياه الأرضية (اشكل 5 - 12). ودرجات الحرارة الصيفية العالية لمياه النهر يمكن أن تقلل الفائدة من المياه المستعملة في أغراض التبادل الحراري في المباني المكتبية والمشاريع الصناعية.

الآبار المائية المنفذة عميقًا قرب الصخور يمكن أن تسحب مياه ذات نوعية رديئة من أسفل الرسوبيات . في معظم الأماكن تكون هذه المياه أصلية طبيعية قد تسربت ببطء إلى الرسوبيات الواقعة فوق تلك الصخور .

تقريبًا الصحوبة الوحيدة التي تواجه من حيث نوعية المياه في كل المناطق تقريبًا هو الوجود المبعثر للمياه عالية النسبة من الحديد والمنخفضة من المغنيسيوم . وقد يكون توزيع هذه المكونات ناجم التراكمات تحت السطحية للنفايات العضوية .

تلوث الآبار المائية في الرسوبيات بالأحياء المجهرية المرضية نادر الحدوث . الطبقات والعدسات الكبيرة من الغرين والطين والموجودة دائمًا تقريبًا تعمل على ترشيح الأحياء المرضية هذه وحتى في الحشارج الحصوية . الحصو النفاذ يعزز من الحركة السريعة نسبيًا للملوثات الكيميائية التي يمكن أن تتقدم عرضيًا نحو المشاريع الرسوبية .



(الشكل 5 - 12) تذبذبات درجة الحرارة في المياه الأرضية الناتجة في جزء منها من التغذية من نهر أوهايو .

5 - 4 : الوديان ذات الأصل التكتوني Valleys of Tectonic origin:

5 - 4 - 1 : أنواع الرسوبيات :

يرجع أصل الوديان الكبيرة عمومًا إلى الحركات التكتونية أكثر من رجوعه للتعرية بواسطة مجاري الأنهار . بعض هذه الوديان محاطة بأنظمة تصدع طويلة . ومن أمثلتها الوديان الضيقة العميقة لنهر الأردن ونهر أونز في كلفورنيا . السهول الرسوبية الواسعة كسهل نهر بو في إيطاليا وسهل نهر جانجيز في الهند لم تكن مثيرة كالوديان العميقة إلا أنها بسبب حجمها تحتوي على كميات كبيرة من المياه الأرضية . الوديان الواسعة متمركزة بواسطة التواءات القشرة الأرضية . والعديد من هذه الوديان مجزأة بواسطة حواجز

وتلال منخفضة . ومن أمثلة هذه الوديان الكبيرة المعقدة الوادي الأوسط في تشيلي .

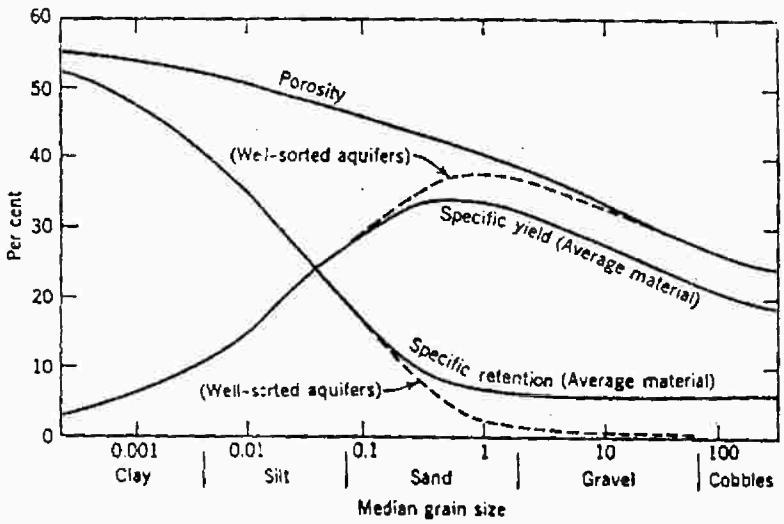
تمتلئ الوديان الكبيرة على نحو مميز بترسبات الأنهار المتكونة من كميات هائلة من المواد المتعرية من الجبال المحيطة . كما توجد أنواع أخرى من الرسوبيات ربما تكون أكثر أهمية . واعتماداً على التاريخ الجيولوجي ، المواد البحيرية ، البركانية ، المواد التي تجلبها الرياح ، وحتى المواد الجليدية يمكن أن تكون أكثر أهمية من الرسوبيات الطموية . يتجاوز السمك الكلي لمثل هذه الرسوبيات 2000 قدم ويمكن أن يصل في بعض الوديان إلى أكثر من 5000 قدم . تقاس كمية المياه الأرضية المخزونة في مثل هذه الوديان بمئات الملايين من الأيكر - قدم .

الوادي الأوسط في كلفورنيا (ويسمى أيضًا الوادي العظيم) يظهر العديد من المعالم المألوفة في الوديان الكبيرة ذات الأصل التكتوني . هذا الوادي محاط في معظم جهاته بالجبال العالية التي تطرح الرسوبيات فيه لمدة خمسين مليون سنة على الأقل ويمكن أن تصل إلى 100 مليون سنة . تحتضن منطقة الوادي حاليًا أكثر من 25000 قدم من الرسوبيات معظمها ذات أصل بحري ومشبعة بالماء الصالح . ومنها 500 - 3000 قدم رسوبيات ذات أصل غير بحري تقع مباشرة تحت السطح وتحتوي واحد من أكثر خزانات المياه الأرضية أهمية في الولايات المتحدة .

نطاقات المياه العذبة في الوادي الأوسط هذا تكونت بفعل المجاري النهرية الكثيرة في الوادي والتي تضيف رسوبياتها إلى الرسوبيات الطموية للمجاري الرئيسية . ورغم أن أكثر من 90% من هذه الرسوبيات قد جاءت مع المجاري فإن الأطيان البحيرية المختلفة والكثبان الرملية عند السطح تشير بأن بعض الرمال تحت السطحية هي أيضًا قد جلبتها الرياح .

5 - 4 - 2 : المسامية النفاذية ، والإنتاجية النوعية :

خصائص رسوبيات الوديان الكبيرة لحمل المياه تماثل تلك التي لوديان الأنهار الضيقة باستثناء وفرة المواد ناعمة الحبيبات في الوديان الكبيرة . كذلك تميل المواد الناعمة المدفونة لتكون ذات نفاذية منخفضة نتيجة الانضغاط بواسطة وزن الطبقات الجاثمة فوقها . وعمومًا تلك النطاقات الحاملة للمياه نفاذيات تتراوح من 10 - 100 دارسي ونطاقات الغرين والطين ذات نفاذية أقل من 0.1 دارسي . وتتراوح مسامية المواد تحت السطحية من حوالي 25% إلى 06% . والإنتاجية النوعية من عدة بالمائة إلى 40% (الشكل 5 - 13) . وتتراوح إنتاجية الآبار في الرسوبيات العميقة في الوديان بـ 300 - 3000 غالون / دقيقة .



(الشكل 5 - 13) العلاقة بين متوسط حجم الحبيبات وخواص خزن المياه للطمى في الوديان الكبيرة.

5 - 4 - 3 : تعيين موقع الآبار :

يصعب إلى درجة كبيرة التنبؤ بموقع الحشارج تحت السطحية فى رسوبيات الوادي اعتماداً على المسح الچيولوچي السطحي وحده . الحشارج الفردية هي عادة رسوبيات مجرى نهري قديم احتفظت بالأشكال المتقطعة والملتوية لنظيراتها في المجاري الحديثة .

الطرق الچيولوچية السطحية أكثر نجاحًا في تحديد الخطوط العامة للأشكال الهيدرولوچية مما في تحديد مواقع الحفر . يمكن تخطيط حدود الطبقات الصخرية للوادي وتحديد سطوح التماس القريبة من السطح . كما يمكن التمييز بين الوحدات الچيولوچية ضمن رسوبيات الوادي . ويمكن تمييز الرسوبيات الطموية الأكثر قدمًا من خلال التعرية والتجوية الكثيرة للبروزات السطحية . إذا كانت الرسوبيات الأقدم تشكل سطح تلامس مستوى مع الرسوبيات الأحدث (العليا) فإنه يستدل من ذلك أن السطح الفاصل بينهما سيكون منحدراً نحو الأسفل بشدة . من ناحية أخرى إذا كانت الرسوبيات الأقدم (السفلى) ذات سطح تلامس غير منتظم (متعرج) فإنه يستدل أن السطح الفاصل قليل الإنحدار قريب من السطح (الشكل 5 - 14) يمكن تحديد المناطق ذات التغذية العظمى من خلال تخطيط المناطق الرملية والحصوية البارزة على السطح . دراسات أحواض الصرف الفرعية إلى الوديان الكبيرة يمكن أن تشير إلى أنواع الرسوبيات المتوقعة في الوادي الرئيسي . تميل أحواض الصرف الصغيرة إلى طرح الحطام والكتل الرسوبية غير المصنفة (غير مفرزة مختلفة الأنواع) إلى الوادي الرئيسي الكبير كنتيجة للفيضانات الومضية (المفاجئة). فى حين أن أحواض الصرف الأكبر يمكن أن تمتلك مجاري مائية دائمية تعمل على فرز وتصنيف الرسوبيات ونقل الرمال النظيفة والحصى إلى الوادي

الرئيسي . أحد المعالم الجيولوجية السطحية الأكثر أهمية هي التي يرافقها التصدع . الصدوع القديمة الممتدة إلى الطبقات تحت السطحية سوف تعطي بعض الإشارة إلى سمك الرسوبيات الموجودة تحت السطح . كما أن الصدوع الفعالة تعطي إشارات إلى التشخن النسبي للوحدات تحت السطحية إضافة إلى وجود الحدود الهيدرولوجية تحت السطح .

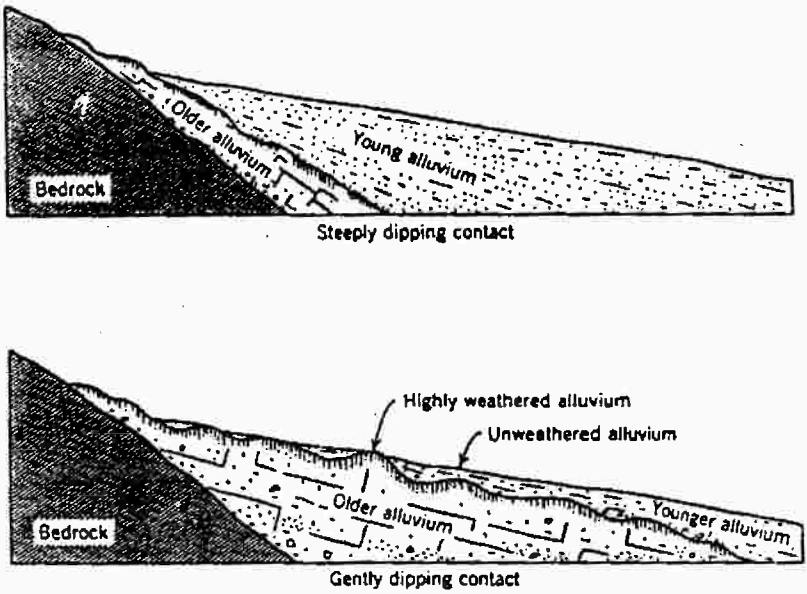
بدون شك ، هناك العديد من العوامل التي تجعل الصدوع في الرسوبيات غير المتصلبة تميل إلى تكوين الحدود والحواجز الهيدرولوجية . ومن أهمها ، الأول فعل الصدع في سحق الصخور والمعادن على طول سطح الصدع . وسيكون هذا السحق فعالاً في الأعماق الكبيرة حيث يزداد الاحتكاك بين الدقائق بازدياد الضغط . العامل الثاني أن الطبقات الصماء قد تصعد أو تنزل على امتداد الصدع لتقابل الطبقات النفاذة وتغلقها . ويصبح هذا الأثر الأكثر أهمية عندما يكون عدد النطاقات النفاذة محدوداً . الثالث ، تميل الصخور القديمة المنبسطة للدوران بموازاة سطح الصدع وبذلك تقلل النفاذية العمودية على الصدع . الرابع ، ترسيب المعادن على امتداد سطح الصدع سيقلل من النفاذية أيضًا .

وجد أن النمط الرسوبي الكلي في الأحواض الصحراوية ذو الحجم المتوسط مهما . تتكون الأجزاء العليا من المروحيات الرسوبية من مواد أكثر قدمًا أو أنها غنية بالسيول الطينية والمواد الأخرى غير المصنفة جيداً الناتجة عن الفيضانات الومضية وبذلك ينخفض معدل نفاذيتها عما هي في الرسوبيات السفلية من المروحة الرسوبية . أما رسوبيات الجزء الوسطي (بين الأجزاء السفلى والأجزاء العليا) من المروحة الرسوبية فإنها تتجدد بفعل المجرى وتصبح ذات نفاذية أعلى رغم الحبيبات الصغيرة الحجم . الأجزاء البعيدة (السفلى) من المروحيات الرسوبية تتداخل مع رسوبيات تسود فيها الحبيبات الناعمة . الآبار

المحفورة في الأجزاء النائية من المروحية الرسوبية أقل إنتاجية من الآبار في الأجزاء الوسطية .

المجسات الچيولوچية والجيوفيزيائية مع دراسات السطح يمكن أن تستعمل معًا لتعطي فكرة جيدة عن الظروف الچيولوچية تحت السطحية . يعتمد نجاح العمل في جزء منه على الكثافة الجغرافية ودقة المجسات والمعلومات الأخرى المتوفرة . رغم صعوبة الكشف عن الطبقات الفردية المستقلة إلا أنه يمكن الحصول على معلومات طبقية أخرى مفيدة . تعتبر استمرارية الطبقات الصماء ونصف الصماء ذات أهمية خاصة . والألوان أو الطبيعة الطبقية المتميزة هي الأخرى تعتبر مفاتيح مفيدة . من العلامات الجيدة الأطيان البحيرية ، طبقات الرماد ، إنسيابات الحمم البركانية ، الترب المدفونة ، ونطاقات الأنسجة النباتية المتحللة . الطبقات التي تعتبر علامات ستمكن من تحديد انحدارات وأشكال السطوح الفاصلة للطبقات الأخرى وتساعد في معرفة كون الطبقات مستمرة أو غير مستمرة . كما يمكن أن تساعد المجسات الجيوفيزيائية بترتيبات مميزة على تحديد استمرارية طبقات الطين . بعد تحديد مدى الطبقات الصماء يصبح تفسير حركة المياه الأرضية أكثر سهولة .

عمومًا ، لا تساعد الطرق الجيوفيزيائية في تحديد الحشارج الأعمق ضمن الوديان الكبيرة . إلا إنها أكثر فائدة في تحديد مدى وإرتفاع البازلت ، المارل ، الرمل المتحجر ، والنطاقات الأخرى ذات الفروقات المتميزة في المقاومة والخواص الزلزالية . إذا كانت الحشارج قريبة من السطح يمكن تحديدها بالطرق المقاومة الكهربائية .



(الشكل 5 - 14) علاقات التماس بين الرسوبيات القديمة والحديثة ، في حالة عدم توفر تمييز طبقي معروف يمكن الاستفادة من عدم انتظام السطح الفاصل للتنبؤ بارتفاع الرسوبيات القديمة.

5 - 4 - 4 : مشاكل إنضغاط الحشرج :

انخفاض الضغط الارتوازى في رسوبيات الوادي السميكة تعزز من انضغاط الحشارج وطبقات الغرين والطين المتاخمة لها . تشير الفحوصات المختبرية إلى أن انضغاط الحصى والرمل قليل نسبيًا وأن معظم التغير في الحجم ناجم عن انضغاط المواد ذات الحبيبات الناعمة . من ناحية أخرى ، إن حدوث التغيرات الحجمية بسرعة بعد التغيرات بالضغط يؤكد أن الرسوبيات الأقرب إلى الحشارج هي فقط التي تتأثر حالاً بعد انخفاض الضغط . على أية حال ، بسبب انخفاض الضغط السائد انضغاط المواد ذات الحبيبات الناعمة الموجودة مباشرة فوق أو تحت الحشرج . إن هبوط سطح الأرض في رسوبيات الوادي ناتج عن انضغاط الحشارج والرسوبيات المتاخمة لها وليس بسبب

الهبوط التكتوني الملاحظ من خلال بروز بطانة البئر فوق السطح بعد انخفاضه نحو قعر البئر . وقد أوضحت الدراسات أن معدل الهبوط سيتعلق بمعدل انخفاض الضغط الإرتوازي .

هناك العديد من مناطق الهبوط يسبب ضخ المياه الأرضية معروفة في الولايات المتحدة واليابان وانكلترا والمكسيك . مناطق الهبوط الأكثر إثارة هي الوادي العظيم الجنوبي في كليفورنيا ومنطقة مكسيكوستي والتي حدث الهبوط في وديان كبيرة ذات أصل تكتوني . في كلتا المنطقتين تجاوز الهبوط 15 قدم .

يمكن أن يسبب هذا الهبوط مشاكل واسعة . حيث تتدهور سعة خزن المياه الأرضية بدرجة كبيرة . والمناسيب الطوبوغرافية التي حددت من خلال مسوحات واسعة ومكلفة ستتغير وينبغي إعادة المسوحات بين فترة وأخرى ، وتبعًا لذلك يجب إعادة رسم الخرائط الطوبوغرافية أيضًا . وسرعة جريان المياه في الأنهار والقنوات يمكن أن تصبح بطيئة بسبب الانخفاض في الميل الهيدروليكي نتيجة هبوط الأرض في مناطقها . وإذا امتدت الآبار تحت نطاقات كبيرة معرضة للهبوط فإن مقر بطانات الآبار ستبقى مستقرة دون هبوط في حين تهبط الطبقات التي تعلوها وتسلط بذلك جهد سحب على امتداد البطانة ، والجهد الناتج ينقل إلى البطانة وعادة ما يؤدي إلى تحطيمها . كما أن ركائز المباني والمنشآت الأخرى يمكن أن تمتد إلى أو تحت نطاقات الهبوط حيث تبقى المباني ثابتة في حين ينزل مستوى الأرض مما يربك أرضية المباني ويحطمها وتتقطع كل الاتصالات الأرضية المتصلة بالمباني . وهذا التأثير كان مدمراً في مدينة مكسيكوستي حيث كان بعض الهبوط ناجم عن ضخ واستنفاذ المياه الأرضية من الخشارج الواقعة 150 قدم أو أقل تحت سطح الأرض. وأصبحت المشاكل التي سببها الهبوط في مدينة مكسيكوستي خطيرة بحيث منع ضخ المياه الأرضية عن وسط المدينة .

5 - 4 - 5 : نوعية المياه :

إن المياه الأرضية في الوديان الكبيرة ذات الأصل التكتوني تختلف كثيراً من حيث خواصها الكيميائية . يمكن أن توجد المياه المالحة المتأصلة من مياه بحر قديم أو من ذوبان الأملاح المتراكمة من التبخر في الحشارج الأعمق أو قرب السطح في الأجزاء الوسطية من الأحواض المغلقة الكبيرة . في حين أن الوديان الكبيرة التي تمتلك صرف خارجي جيد خلال تاريخها الجيولوجي يحتمل أن تكون مياهها ذات أفضل نوعية كيميائية . يمنع الصرف الخارجي تراكم المياه المالحة من خلال التبخر ويعزز الدوران السريع للمياه الأرضية والذي يعتبر الأكثر فاعلية في إزالة أية مياه طبيعية يمكن أن تتحرك نحو السطح .

معظم الرسوبيات المشتقة من الصخور الرسوبية ستحتوي علي كميات كبيرة من الكالسيوم ، المغنيسيوم ، الكاربونات ، والسلفات متيسرة للذوبان في المياه الأرضية . تحتوي هذه المياه على 50 - 200 جزء بالمليون كالسيوم ، 10 - 50 جزء بالمليون مغنيسيوم ، 100 - 250 جزء بالمليون بايكربونات ، و50 - 300 جزء بالمليون سلفات . أما نسبة الكلورايد في هذه المياه فهي متغيرة كثيراً وتعتمد على ظروف الغسل التي تعرضت لها الرسوبيات . وبالعكس ، إذا كانت الرسوبيات مشتقة من الصخور النارية المتحولة والبلوتونية فإن التركيز الكلي للمواد الذائبة أقل بكثير . وبصورة خاصة السلفات والكلورايد فهي منخفضة وعمومًا أقل من 50 جزء بالمليون لكل منها. السليكا هي الوحيدة المتوفرة أكثر مما في المياه التي تشبع الرسوبيات المشتقة من الصخور الرسوبية . إن وجود المواد البركانية سيزيد من كمية السليكا أكثر . وبصورة عامة ، يعتبر التركيز الكلي للمواد الذائبة في مياه الرسوبيات المشتقة من الصخور البركانية وسطًا بين تركيزه في مياه نوعي الرسوبيات السابقين (الرسوبيات المشتقة من الصخور الرسوبية والرسوبيات المشتقة من الصخور النارية) .

يعتبر التلوث البيولوجي مشكلة خطيرة في آبار الوديان الكبيرة . أكبر خطر للتلوث العضوي هو في مناطق الخشارج النفاذة القريبة من سطح الأرض . التنفيذ الفاشل للآبار أو الموقع غير المناسب لرمي النفايات سبب دخول الأحياء المرضية بشكل أو بآخر إلى مياه البئر .

■ ■ ■

5 - 5 : السهول الساحلية Coastal Plains :

تمتلك السهول الساحلية في الحجم ، فمنها رسوبيات الوادي الصغير المنعزل التي تصنف كرسوبيات مجري اعتيادي . ومنها السهول الواسعة عديمة المعالم تقريبًا التي تشكل حافات بعرض مئات الأميال من الشواطئ المحاذية للمحيط المتجمد الشمالي والمحيط الأطلسي . وعمومًا ، تمثل رسوبيات السهول الساحلية كلا البيئتين البحرية والبرية . وتتمثل الرسوبيات البحرية بدورها بالبحرية والشاطئية إضافة للبيئات البحرية العميقة .

العديد من الوحدات الطبقية على امتداد السهول الساحلية تصنف من رسوبيات غرينية جزئيًا إلى رسوبيات بحرية كاملة . ومعظم الرسوبيات هي الطين والغرين وتحتوي بعض المناطق على كميات وافرة من المارل والحجر الجيري .

■ ■ ■

5 - 5 - 1 : خصائص إنتاج المياه :

تعتبر خصائص إنتاج المياه في الرسوبيات الواقعة تحت السهول الساحلية مماثلة عمومًا إلى تلك الخصائص في رسوبيات الوديان الكبيرة . تتراوح نفاذية النطاقات الحاملة للمياه عمومًا بين 1 إلى 100 دارسي ونفاذية نطاقات الطين والفرين أقل من 0.01 دارسي .

التماثل العام بين الرسوبيات الغرينية مع الرسوبيات الساحلية يوحي بأن المواد الخشنة ذات إنتاجية نوعية من 15 - 35% والمواد الناعمة أقل من 10% .

إنتاجية آبار الري وآبار الأغراض الصناعية والبلدية تتراوح بين 200 إلى 3000 غالون / دقيقة ، أي نفس ما في الوديان الكبيرة تقريبًا . الإنتاجيات الأقل تكون مألوفة في الوحدات الرسوبية الأقدم والمناطق الساحلية التي تتلقى الرسوبيات في بيئات محصورة .

تحتوي رسوبيات السهل الساحلي ضمن الولايات المتحدة ، خصوصًا على امتداد خليج المكسيك أكثر احتياطيات المياه الأرضية أهمية من أية بيئة جيولوجية . إنتاجيات الآبار العالية مع التغذية الوافرة للمياه توحي بأن الاستثمار الموسع للمياه الأرضية لمعظم ساحل الخليج سيكون ممكناً من دون استنزاف سريع للاحتياطيات .

5 - 5 - 2 : نوعية المياه :

تصنف المياه في الحشارج الساحلية إلى أربعة أنواع (الجدول 5 - 2) . مياه ذات محتوى منخفض من المواد الذائبة مع كون أيونات الصوديوم، الكالسيوم، والبايكربونات هي الأكثر وفرة فيها والموجودة قرب السطح في المنطقة المكشوفة من الحشارج . عند أعماق تتراوح من عدة مئات إلى أكثر من 1000 قدم تكون معظم المياه غنية ببايكربونات الصوديوم مع كميات منخفضة جداً من السلفات ، الكالسيوم ، والمغنيسيوم . ومن المحتمل أن تكون السلفات قد خفضت من قبل البكتريا الموجودة في الحشارج في حين تم التبادل بين أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم مع أيونات الصوديوم المأخوذة من المعادن الطينية . عند عمق أكبر توجد المياه الطبيعية الممزوجة مع المياه العذبة في النطاقات الضحلة . هذه المياه غنية بكلوريد الصوديوم . النوع الرابع من المياه هي مياه

البحر التي اقتحمت الحشارج الساحلية حديثاً . هذه المياه قليلة المحتوى من السليكا ولكنها ذات محتوى من السلفات أعلى من المياه الطبيعية الاعتيادية.

توجد بعض المياه الأرضية الأكثر نفاذة من حيث كمية المواد الذائبة في رسوبيات المدرجات للسهول الساحلية الخليجية . تتلقى الحشارج معدلات تغذية عالية مصحوبة بدوران سريع للمياه . خلال فترات من مئات الآلاف من السنين ثم غسل معظم المكونات بحيث أن المياه المتغلغلة خلال الحشارج ذات اختلاف كيميائي بسيط عن مياه الأمطار الأصلية .

Fresh Water from Shallow Well near Mobile, Alabama (35)		Sodium Bicarbonate Water from "700-Foot" Sand near New Orleans Louisiana (12)	Brackish Sodium Chloride Water from a 749- Foot Well near Mobile, Alabama (35)	Water from a 60-Foot Well Contaminated with Sea Water in Mobile, Alabama (35)
SiO_2	9.4	36	16	5.5
Fe	0.1	0.25	0.4	1.9
Ca	0.6	2.0	35	159
Mg	0.2	1.7	19	439
Na	2.5	220	1680	3840
K	0.5	2.2	11	136
HCO_3	6.0	385	408	427
SO_4	2.5	0.1	6	706
Cl	2.8	131	2630	6760
F	0.0	0.4	0.8	1.0
Total Solids	27	590	4780	13.000

(الجدول 5 - 2) تصنيف نموذجي للمياه الأرضية في حشارج السهول الساحلية كل القيم معطاة بالجزء بالمليون .

5 - 6 : مناطق الرسوبيات الهوائية Regions of Eolian Deposits :

5 - 6 - 1 : توزيع وطبيعة الترسبات :

الرسوبيات الهوائية (الرسوبيات التي تحملها الرياح) أقل انتشاراً من الرسوبيات الجليدية أو رسوبيات المجاري النهرية . أجزاء عديدة من العالم كجنوب أوكرانيا ، جنوب شرق العربية السعودية وغيرهما قد غطيت بالترسبات الهوائية . يصعب إيجاد الحجم الحقيقي للترسبات الهوائية في التحري تحت السطحي بسبب صعوبة التعرف على المعالم البنائية والنسجية المتميزة في مقاطع الحفر . العديد من الرسوبيات الرملية والغرينية افترضت على أنها بحرية أو نهرية هي بالحقيقة ترسبت بفعل الرياح . يمكن تقسيم الرسوبيات الهوائية إلى نوعين ، الطفل ، والكثبان الرملية ، الكثبان الرملية مصنفة جيداً ويتراوح حجم معظمها حبيباتها من 0.05 - 0.5 مليمتر . ومتوسط حجموها عمومًا يقع ضمن 0.1 إلى 0.3 مليمتر . أما الطفل فحبيباته ذات حجم قريب من حجم حبيبات الغرين وهي أيضًا مصنفة جيداً ولكن لا تشبه الكثبان الرملية حيث يختلف متوسط حجمها كثيراً . يوجد الطفل الأكثر خشونة قرب منطقة الأصل (مصدر الرسوبيات) ويصل متوسط حجم حبيباتها إلى 0.07 ملم ، وعلى بعد عدة أميال من منطقة المصدر يكون متوسط حجم حبيبات الطفل إلى 0.009 ملم .

5 - 6 - 2 : خصائص إنتاج المياه :

تمتلك الكثبان الرملية خصائص هايدروجيولوجية متجانسة أكثر من أي نوع من المواد الحاملة للمياه . تتراوح المسامية بين 35 - 40% والنفاذية بين 5-50 دارسي مع متوسط حوالي 25 دارسي . توحي المعلومات الضئيلة عن الموضوع إلى أن الإنتاجية النوعية تتراوح بين 30 - 38% . الرمال المتجوية والمواد

الكثبانية غير الاعتيادية كالجبس وحبات الطين تمتلك خواص حمل المياه تختلف كثيراً عن الرمال الكثبانية الغنية بالكوارتز .

رغم أن المقاطع الطبقية واضحة في رسوبيات الكثبان الرملية ، إلا أن الاختلافات البسيطة في حجم الحبيبات والاتجاه ، والتركيب لا تسبب ظروف عدم تماثل أو تناظر عالية . لم تستثمر حشارج الكثبان الرملية بصورة واسعة بسبب صعوبة تنفيذ الآبار التي تمنع دخول الرمل الناعم المتفكك إليها ، وبسبب الصرف السريع للكثبان الرملية النفاذة وعدم وجود النطاقات المشبعة في العديد من الكثبان ، وأخيراً بسبب عدم صلاحية مناطق الكثبان الرملية للاستيطان . رغم هذه العوائق فإن مناطق الكثبان الرملية ملائمة للتنمية المائية بسبب معدلات التغذية العالية ، نوعية المياه الجيدة ، والنفاذية العالية .

تتراوح مسامية الطفل من 40 - 55% . تأتي هذه المسامية العالية بسبب ميل دقائق الغرين للانتظام بشكل شبكات مفتوحة نتيجة فعل الالتحام (السمنتة) بواسطة الكميات الصغيرة الموجودة من الطين في الطفل . يختص الطفل الخشن بأنتاجية نوعية مقدارها 35% وأقل من 15% للطفل الناعم . وتختلف نفاذية الطفل بمدى أوسع من القيم من حوالي 10^{-4} دارسي إلى قيمة قصوى حوالي 1.0 دارسي . ومتوسط مقداره 10^{-2} دارسي .

المفاصل العمودية ، وثقوب الجذور النباتية ، وحجور الحشرات والديدان تعطي الطفل نفاذية غير متناظرة مع الاتجاهات . النفاذية العمودية للطفل أكبر بكثير من النفاذية الأفقية . في العديد من المناطق تعمل الترب المدفونة على الفصل بين صفائح الطفل ذات الأعمار المختلفة . تكون محتويات نطاقات التربة من الطين أعلى مما هي في الطفل المحيط بها لذلك ستكون نفاذية هذه الترب أقل مما في الطفل . ويمكن أن تكون الترب المدفونة صماء إلى درجة عالية بحيث يمكن أن تتكون عليها مياه جاثمة خلال المواسم المطيرة .

ليس من الضروري أن يكون الطفل حشرج حامل للمياه على الدوام بسبب نفاذيته المنخفضة وبسبب كون الطفل عندما يكون عالي النفاذية فإنه يقع عادة في الأماكن الطوبوغرافية العالية حيث يكون الصرف تحت السطحي فعالاً . إذا وقع الطفل فوق ترب صماء أو صخور متصلبة فإنه يمكن حفر آبار خدمية جيدة باستثناء فترات الجفاف الطويلة .

5 - 6 - 3 : نوعية المياه :

تتركب معظم الكثبان الرملية الفعالة من معادن نظيفة وخاملة نسبيًا وبذلك لا تسبب إلا تغيير بسيط في خواص المياد الكيميائية التي تتغلغل فيها . وكنتيجة لذلك تكون معظم المياه في الكثبان الرملية ذات نوعية جيدة باستثناء الأماكن التي تترشح إليها المياه الرديئة جانبيًا . أما المياه الأرضية في الطفل فينبغي أن تكون أكثر معدنية بسبب تغير كيميائية المياه في نطاقات التربة إضافة إلى وفرة كميات أعلى من الطين ذو القابلية التبادلية العالية، ووفرة المعادن الهشة ، والكميات الكبيرة نسبيًا من كاربونات الكالسيوم المتنقلة ضمن الطفل تحت نطاق التجوية .

■ ■ ■

5 - 7 : المناطق المغطاة بالجليد Glaciated Terrain :

5 - 7 - 1 : التوزيع وانواع الرسوبيات الجليدية :

قبل مليون سنة كان 30% من سطح الأرض مغطى بالجليد ، أما الآن فإن 10% فقط من سطح الأرض مغطى بالجليد . تتأثر هيدرولوجية المناطق غير المغطاة بالجليد بالصفائح الجليدية التي تنزلق فوقها . تزيح الجبهات الجليدية المتحركة المتكررة جزء كبير من الرسوبيات غير المتصلبة الموجودة كترب متبقية

ورسوبيات السهول الفيضية . وتلقى كميات كبيرة من الحطام المزاح من قبل الجليد قرب حافات المناطق الجليدية . أو يترسب بعد تعريته على امتداد قنوات الصرف خلف الحافات الجليدية . معظم المواد الناعمة أتت لتستقر في قيعان المحيطات أو على رسوبيات الطفل المتأصلة من التعرية الواسعة للسهول .

يمكن أن تقسم الرسوبيات الجليدية إلى مواد رديئة التصنيف تترسب مباشرة من الجليد وتسمى (till) ورسوبيات مصنفة مائيًا (صنفت من قبل المياه الجارية والتصنيف هنا يعني عزل المواد الرسوبية المختلفة حسب حجومها وأنواعها) . وتقسم المواد المصنفة مائيًا إلى مواد قادمة لتستقر في الحافات القريبة من الجليد ، أي رسوبيات ملامسة للجليد ، ومواد تحمل بعيداً عن منطقة الجليد بواسطة مجاري المياه الناتجة من ذوبان الجليد . تدعى الرسوبيات الأخيرة الرسوبيات المنجرفة Outwash .

يترسب قسم من المواد الجليدية من الجليد الذائب ببطء عند قواعد الثلاجات وتكون أكثر كثافة وأكثر قابلية للتكسر . وجميع المواد المترسبة مباشرة من الجليد رديئة التصنيف (تحتوي على أحجام وأنواع متعددة) وتتميز بالجلاميد المتناثرة .

أما الرسوبيات الملامسة للجليد فإنها تتمثل في أنواع نسيجية مختلفة تتراوح من الغرين والطين المترسب في المنخفضات والبحيرات على أو بمحاذاة الجليد إلى جلاميد خشنة وحصو كبير تترسب من خلال المجاري المائية التي تحمل الحطام المنجرف بواسطة الجليد الذائب . وتنتج أشكال طوبوغرافية واسعة الاختلاف من تراكمات الرسوبيات الملامسة للجليد . عندما يذوب الجليد يترك الحطام المنجرف كمدرج على امتداد جوانب الوادي ، ويتأثر جزء المدرج الملامس للجليد بقوة بالانهيارات والإنزلاقات المفاجئة وبذلك تتكون حواجز غير منتظمة

تواجه مراكز الوديان . ويمكن أن تزاح التجمعات الصغيرة للمواد الملامسة للجليد نحو الأسفل عند ذوبان الجليد وتتكون بهذه الطريقة تلال صغيرة تسمى الكيم Kam . وتتكون المدرجات الكيمية من تراكم الحطام الجليدي (كل ما تجرفه الصفائح الجليدية من مواد تشمل جلاميد الصخر والحصو والرمل والطين والنباتات ... إلخ) على امتداد حافات الجليد الراكدة التي تبقى فى مناطق الوادي . كما يمكن أن تكون بعض هذه التلال الكيمية عبارة عن بقايا لكتل كبيرة من الرسوبيات الملامسة للجليد والتي تعرضت لعوامل الجرف والتعرية . أما ما يسمى بالأيسكر Eskers فهي الأشكال الأكثر تميزاً من الأشكال الأرضية المختلفة المتكونة من الرسوبيات الملامسة للجليد . وهي عبارة عن حافات طويلة متعرجة تتركب من الرمل الخشن والحصى رسبتها مجاري جليدية سابقة ومعظمها تكون خلال طور الركود الجليدي .

5 - 7 - 2 : خواص حمل المياه :

الرسوبيات الجليدية رديئة التصنيف التي تتعرض لوزن الجليد الذي يعمل على انضغاطها يجعل من هذه الرسوبيات كثيفة غير نفاذة . تتراوح مساميتها بين 25 - 45% . وتوجد المساميات العالية في الرسوبيات الجليدية الغنية بالطين . تتراوح النفاذية بين 1.7×10^{-5} إلى 5×10^{-2} دارسي . نفاذية الرسوبيات الجليدية في المناطق الجبلية أكثر من ذلك وربما تصل إلى أكثر من 1.0 دارسي .

تغطي الرسوبيات الجليدية غير المصنفة عدة ملايين ميل مربع من سطح الكرة الأرضية . لكن لا يزال عدد قليل نسبيًا من الآبار التي تسحب مياهها مباشرة من هذه الرسوبيات . ومعظم الآبار التي تسحب مياهها من الرسوبيات الجليدية الطينية ربما تحصل على مياهها من المفاصل أو عدسات الرمل

الصغيرة ضمن تلك الرسوبيات . وعدد من الآبار في الوديان الجبلية تسحب مياهها من الرسوبيات الجليدية الخشنة التكوين .

خصائص حمل المياه الرسوبيات الملامسة للجليد Ice - contactdepositi تتراوح بين تلك التي في الطين وبين التي في الحصو الخشن . الآبار التي تسحب مياهها من المواد الملامسة للجليد هي أكثر شيوعًا نسبيًا حيث أن هذه الرسوبيات منخفضة طوبوغرافيًا بما يكفي لمنع الصرف السريع للمياه . إنتاجيات من 200 - 2000 غالون / دقيقة مع سعة نوعية تتراوح من 10-100 غالون / دقيقة لكل قدم هبوط مألوفة في الرسوبيات المنجرفة . الخصائص الهيدروجيولوجية للرسوبيات الجليدية المنجرفة متماثلة مع تلك الخصائص الموجودة في رسوبيات الوديان النهرية . ندرة وجود رسوبيات سهول الفيضان الناعمة ذات السمك العالي ووفرة الجلاميد الكبيرة تميز الرسوبيات الجليدية المنجرفة عن الرسوبيات النهرية الاعتيادية .

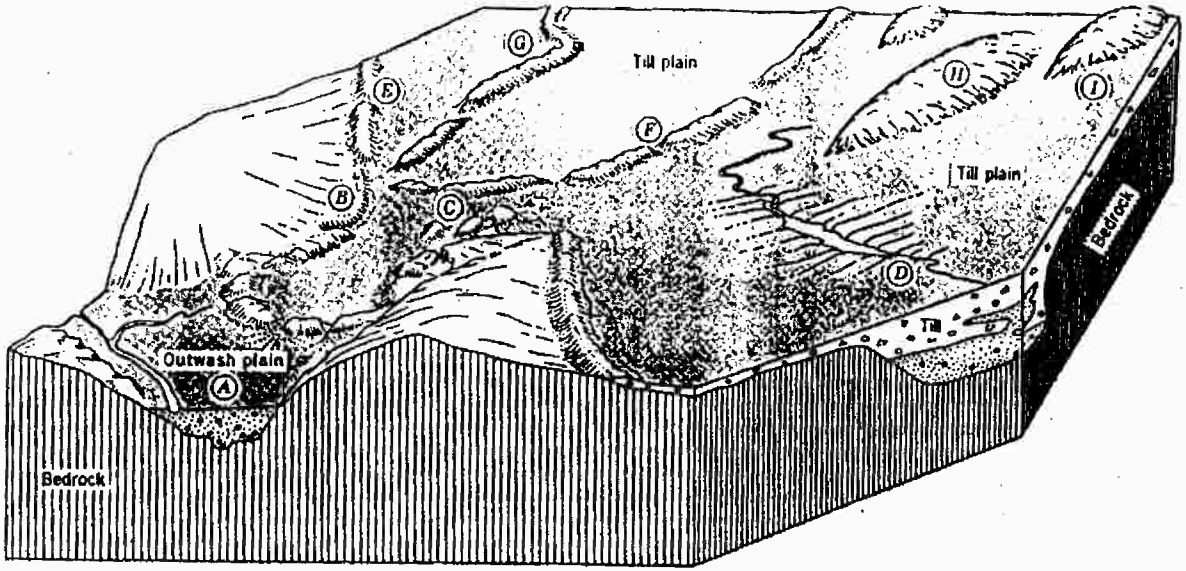
5 - 7 - 3 : التحري عن المياه الارضية :

تحديد المناطق المناسبة لتنمية المياه الأرضية في المناطق الجليدية يمكن أن يكون صعبًا للغاية . فالرسوبيات الجليدية التي لا يزيد عمرها على 100.000 سنة تحتفظ بمعظم شكلها الطوبوغرافي الأصلي . عندما تكون هذه الرسوبيات الحديثة موجودة فأن العديد من الأشكال الطوبوغرافية الأكثر تميزاً يمكن تخطيطها بالطرق الجيولوجية التقليدية بمساعدة الصور الجوية والخرائط الطوبوغرافية (الشكل 5 - 15) حتى مع التحديد الدقيق للمعالم السطحية فأنه يمكن أن يكون تحديد الحشارج صعبًا . الأسكرات Eskers ، الكيمات Kames، ومدرجات الكيم Kames Terracy ستكون في مواقع طوبوغرافية فوق المجاري المتاخمة وبذلك سيكون الصرف فعالاً جداً وبذلك يمكن أن يوجد

عدد قليل فقط من الحشارج المشبعة بالمياه ضمن الرسوبيات الملامسة للجليد . في هذه المناطق ستكون الحشارج وبأكثر الاحتمالات قوة ضمن الطمي الجليدي القديم ، وضمن الرسوبيات المنجرفة Out wash وضمن رسوبيات القنوات الجليدية المدفونة وضمن الطبقات الصخرية التحتية . كما يمكن أن توجد أعداد كبيرة من جيوب المواد المصنفة مائيًا Water Sorted ضمن الركام الجليدي الأخير . إذا كان الركام الجليدي واسعًا وهناك تغذية كبيرة كافية فإن العديد من هذه الجيوب المعزولة من المواد النفاذة يمكن أن تكون حشارج محلية مهمة .

يمكن أن تحتوي الرسوبيات الجليدية غير المصنفة (Till) قنوات مملوءة بالحصى تكونت خلال تراجع الحافات الجليدية مع التقدم اللاحق للجليد وترك الرسوبيات متداخلة بين صفائح واسعة من الرسوبيات غير المصنفة . ونظراً للمدى الواسع للرسوبيات الحصوية القنواتية هذه ضمن الرسوبيات غير المصنفة فإنها ستكون حشارج أفضل من الجيوب المعزولة من المواد الرسوبية الملامسة للجليد . ولغرض تمييز وكشف هذه القنوات الحصوية فإنه يحتاج إلى بروزات ظاهرة مختلفة ومقاطع جيوفيزيائية أو آبار فحص ضمن الرسوبيات غير المصنفة .

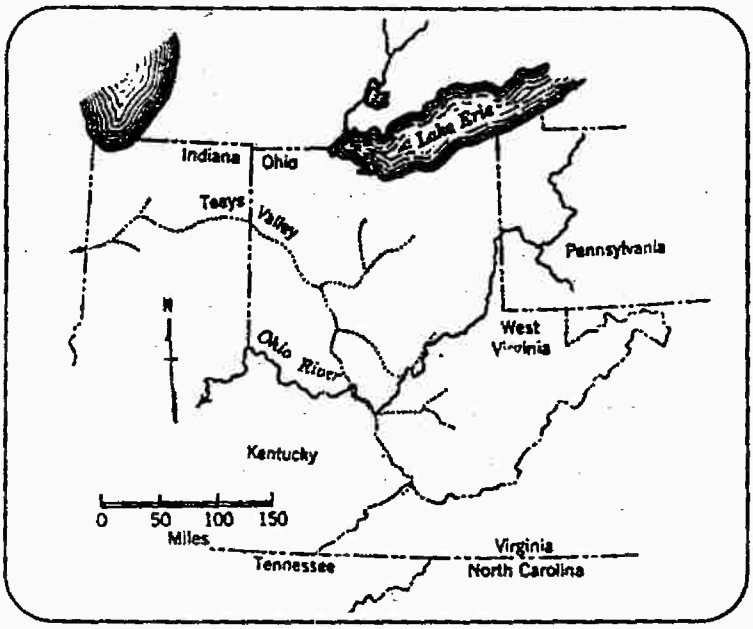
الوديان المملوءة بالرسوبيات المنجرفة جليديًا تمثل النوع الأكثر أهمية من الحشارج ضمن المناطق الجليدية في بعض الأماكن لم تملأ هذه الوديان تمامًا وبذلك فإن الوديان الحديثة تدل على موقع الوديان القديمة الأكثر عمقًا . في أماكن أخرى ، تغطي معظم سهول الرسوبيات الجليدية غير المصنفة القديمة وديانًا مدفونة تاركة معالم سطحية ضئيلة أو لم تترك أية معالم تشير إلى وجودها . والعديد من هذه الوديان مملوءة بالمواد الرسوبية الجليدية ذات السمك الإجمالي الأكثر من 50 قدم من الحصى والرمل النفاذ على امتداد الحطام الجليدي الأقل نفاذيه .



(الشكل 5 - 15) معالم طوبوغرافية لمنطقة تغطت بالجليد في العصر البليستوسيني الأخير . A . سهل الخزافي يمتلك حشارج ممتازة . B- مدرج كيمي جائم على مواد نفاذة . الموقع الطوبوغرافي العالي يوحي بأن معظم المياه الأرضية قد صرفت (بزلت) إلى خارج الرسوبيات الملامسة للجليد . C - كيمات (تلال صغيرة) ، مواد نفاذة ذات مدى محدود ، يحتمل وجود كميات قليلة من الرسوبيات المشبعة في أجزاء قواعد التلال . D - منخفض في سهل رسوبي جليدي (Till plain) يوحي بوجود رسوبيات تحتية كبيرة السمك وتعرضت للانضغاط من الطبقات العلوية . وهنا مكان محتمل ليكشف عن وادي مدفون . E - طمي جليدي جانبي . القرب من الأراضي الصخرية العالية يشير إلى أن الرسوبيات الجليدية جاثمة فوق صخور تحتية قريبة من السطح . F - ترسبات جليدية أخيرة . في هذه النقطة يحتمل أن تكون المواد الجليدية أكثر سمكًا . يمكن أن توجد كميات ضئيلة من المواد المصنفة مائيًا والتي يمكن أن تكون مشبعة بالمياه . G - أسكر Esker ، مواد نفاذة مع نطاق مشبع خفيف قرب قاعدة الترسبات . H - تل جليدي معظمه مواد رسوبية جليدية ويمكن أن يكون اللب صخري وفرصة قليلة لوجود المياه .

المجاري الكبيرة التي تتبع الخطوط الكنتورية باتجاه التقدم الجليدي سوف تغلق في العديد من المناطق أو تنحرف نحو البحيرات في مناطق أخرى . عادة ما تترسب العوالق الناعمة في أجزاء النهر السفلي العريضة القليلة السرعة . من أحسن أمثلة الوديان الجليدية المعروفة هو وادي نهر تيز Teays في الولايات المتحدة (الشكل 5 - 16) الذي كان يجري في الشمال من غرب ولاية فرجينيا إلى أوهايو . يبلغ عرض قاع وادي النهر (مجراه) في جنوب أوهايو 1.5 ميل وبمقدار 200 - 300 قدم تحت منسوب الأراضي العالية الصخرية المتاخمة له . وكان الطين والغرين المترسب في الجزء الشمالي من هذا الوادي قد وصل أعلى سمك مقداره 264 قدم . في هذا الجزء من أوهايو تكون الرسوبيات غير نفاذة بما يكفي لتكوين حشارج مائية .

ينجز التحري عن المياه الأرضية بصورة أفضل في المناطق الجليدية من خلال المشاركة بين التخطيط الچيولوچي السطحي والتحري الجيوفيزيائي ، وآبار الفحص . إذ أن التخطيط الچيولوچي ومدة لم يكن غير ذي فائدة فحسب بل قد يكون مضللاً . مثال ذلك : رسوبيات جليدية حددت من خلال تلال جليدية ذات طبقات صخرية . يمكن أن تكون المواد الرسوبية الجليدية طبقة خارجية خفيفة نسبيًا لذلك فإن المحاولات المستندة على الچيولوچي السطحية لتحديد الحشارج ربما تكون فاشلة أو لا طائل منها . من ناحية أخرى ، يمكن أن تحدد التحري الزلزالي الوديان المدفونة ، لكن المعلومات المتعلقة بالتاريخ الچيولوچي للمنطقة ستكون ضرورية لتقرير فيما إذا كان الوادي مملوء بالرمل الناعم والغرين حيث يكون غير مناسب ، أو أنه مملوء بالرمل المتوسط الحجم حيث سيكون مناسبًا كحشرج حامل للمياه . آبار الفحص ستكون الطريقة المؤكدة الوحيدة لإثبات وجود الحشارج المناسبة ، لكن كلفة الحفر ، كما ذكرنا سابقًا ، أكثر بعدة مرات من أغلب طرق التحري الأخرى . الشكل (5 - 15) يبين بعض المناطق المناسبة للمياه الأرضية في الجليدية .



(**الشكل 5 - 16**) مسارات نظام الصرف لنهر تيز (الخطوط المنقطة) في أوهايو والولايات المجاورة - مسار نهر أوهايو الحالي مبين بالخط الأسود المتصل .

5 - 7 - 4 : نوعية المياه :

نوعية المياه الأرضية في الرسوبيات الجليدية ذات الحركة الفعالة عمومًا جيدة . عندما تكون المياه الأرضية راكدة تقريبًا كالمياه الموجودة تحت صفائح الركام الجليد السميك ، فإن هذه المياه يمكن أن تحتوي الكثير من المواد الذائبة مما يعني أنها غير صالحة للاستعمال . وهذا يصح خصوصًا إذا كانت المياه الأرضية الناضحة إلى الأعلى من الصخور البحرية التحتية مالحة .

المياه المستخرجة من الرسوبيات الجليدية خالية دائمًا من الأحياء المرضية تقريبًا . مع ذلك يجب أن يتخذ الحذر الشديد لحماية الآبار في المناطق الجليدية خصوصًا عندما تكون الآبار ضحلة وقريبة من النفايات أو مجاري المياه القذرة

التي قد تتصل بها . إن الرسوبيات المنجرفة جليديًا ذات النفاذية العالية ربما تستطيع نقل الأحياء المرضية إلى مسافات بعيدة .

■ ■ ■

5 - 8 : مناطق الرسوبيات المتنوعة Regions of Miscellaneous Deposits :

ليس بالمقدور مناقشة كافة أنواع الرسوبيات غير المتصلبة التي تشمل أعداد كبيرة . لكن يمكن ذكر الأنواع الأكثر شيوعًا وبإيجاز والتي لم تتم مناقشتها في الفقرات السابقة . إن التعرف على معظم هذه الأنواع يكون صعبًا حالما يختفي شكلها الأصلي بدفنها تحت رسوبيات أخرى . عندما تظهر الطبقات في عمليات الحفر يمكن تصنيفها بسهولة على أساس حجم وشكل الحبيبات .

يمكن أن يكون حطام الأنزلاقات الأرضية ينابيع محلية مهمة تنبثق من المواد المتكسرة . عندما يكون حطام الإنزلاق الأرضي غير متصلب في بدايته فقد لا توجد شقوق مفتوحة عند العمق وأن الكتلة ككل غير نفاذة خلال المادة الخشنة التي يمكن أن تكون جزء من ركام الانزلاق .

كما أن كسر الحجر المتساقط يكون ذات نفاذية عالية جداً . ويمكن أن يغطي هذا الكسر عدة مئات من الأيكرات . تغطي المنحدرات المبنية من الحجر المتساقط الصغير الحجم أجزاء واسعة من الوديان الجبلية وتشكل مناطق تغذية مهمة للمياه الأرضية المحلية . إن كمية المياه المطلوبة لبدء التسرب نحو الداخل قليلة تمامًا في مثل هذه المناطق . وقد أشارت التجارب التي أجريت في جامعة ستانفورد بأن مياه سمكها 0.2 ملم فقط كافية لترطيب معدل سطح غير منتظم من الصخور المنكسرة ، وأن مياه إضافية (تزيد قليلاً على هذا العمق) ستؤدي إلى تغلغل المياه نحو الصخور التحتية . وتتجمع المياه الراشحة في الفراغات الكبيرة ولا ترطب السطوح الكلية للطبقات الصخرية .

حافات الشواطئ التي تكونها المحيطات أو البحيرات تجثم عادة فوق مواد نفاذة جداً . عندما يكون الحافات واسعة والتغذية فعاله ، فإن الرسوبيات الشاطئية هذه ستنتج مياه كافية لآبار الاستعمال المنزلي . الحافات الشاطئية الواقعة فوق المستويات الحالية للبحر أو البحيرة منتشرة بصورة واسعة حول بحر البلطيق شمال أوربا والبحيرات العظمى في أمريكا الشمالية وعلى امتداد العديد من السهول الساحلية في العالم .