أهمية المعلومات الجيومورفولوجية في تخطيط المشاريع الهندسية
بحث في الجيوموفولجيا التطبيقية

د. خلف حسين علي الدليمي
قسم الجغرافية / كلية التربية / جامعة الأنبار

المقدمة

يعد تخطيط المشاريع الهندسية من المشاكل التي تعاني منها الدول المتقدمة والنامية والذي يتمثل في تحديد مواقع ومواضع تلك المشاريع، أي تحديد مواقعها بالنسبة للأقاليم في أي مكان، وعملية التحديد ليست سهلة بل تكتنفها مشاكل عدة وذلك لكثرة المعايير التي يجب مراعاتها عند التخطيط، وقد ازدادت الحالة سواً عندما أنيطيت هذه المهمة بأناس ليست لهم علاقة بذلك فقد يتصور الكثير أن المهندس هو الشخص المؤهل لذلك ولكن في حقيقة الأمر ليس كذلك لأن الهندسة شيء والتخطيط شيء أخر فتخطيط عمارة في مكان ما ليست كتخطيط مدينة على مساحة واسعة لأن العمارة إذا كان موقعها غير مناسب يمكن هدمها أما المدينة فلا يمكن هدمها، وكذلك الحال بالنسبة إلى الطرق والمطارات والسدود والخزانات، وقد كان المهندسون هم المسؤولين عن عملية التخطيط منذ فترة طويلة ألا أن تطور العلوم المختلفة وظهور تخصصات جديدة في الحياة العملية ذات علاقة بالتخطيط مثل الجيومورفولوجيا التي تمت الاستفادة من معلوماته في تخطيط المشاريع الهندسية وخاصة في الدول المتقدمة وفي الربع الأخير من القرن العشرين والتي أسهمت في رفد المخططين والباحثين بمعلومات مختلفة في مجال التنمية والتخطيط، في حين لم تأبه الدول النامية إلى أهمية هذا الاختصاص رغم أنه يدرس في الجامعات منذ فترة طويلة وخاصة الجزء الوصفي منه، أما الجزء التطبيقي فلم يدرس في الجامعات ألا في أوائل الثمانينات تقريباً ألا أن الاستفادة منه في مجال الحياة العملية لا يزال محدودا.

وعليه يهدف هذا البحث إلى إبراز أهمية المعلومات الجيومورفولوجية في تخطيط المشاريع الهندسية وأثرها الفاعل فيها اعتمادا على الدراسات المختلفة المكتبية والميدانية . وقد تضمن البحث الجوانب الآتية :

١- المشاكل التي تجابه تخطيط المشاريع، وبعض المعالجات التي تحد من تلك المشاكل .

٢- أهم المشاريع الهندسة التي تتطلب دراسات جيومورفولوجية ومنها :

أ- تخطيط المشاريع العمرانية وتتضمن دراسة كيفية تخطيط المناطق العمرانية والعوامل المؤثرة على ذلك .

ب- تخطيط الطرق البرية والجسور . وتشمل دراسة الجوانب التي يجب مراعاتها عند تخطيط الطرق والمشاكل التي تواجهها، وبعض المعالجات التي تحد من ذلك .

المبحث الأول –

أهم المشاكل التي تواجه تخطيط المشاريع

Major problems that fase planning of projects

أولا– مشاكل السطح والتضاريس : The surface and relief problems

يعد شكل السطح وما يتضمنه من تضاريس من العوامل المؤثرة في تحديد الاستعمال المناسب لكل منطقة، و تمثل الصورة التضاريسية في أي أقليم ظاهرةً متميزةً ، حيث تكون المناطق الجبلية وعرة وشديدة التضرس، والهضاب أقل تضرساً في حين تكون السهول منبسطة،ولذلك يكون شكل السطح وصفة التضرس يمثل بعدا من مجموعة أبعاد لها وزنها وفاعليتها في صياغة السمات التي يتميز بها كل أقليم، ويجب على الإنسان أن يختار الأسلوب الأفضل والمناسب للواقع التضاريسي في المكان الذي يشغله،كما يجب أن يكيف نفسه للحياة بشكل يتلاءم مع الواقع التضاريسي للإقليم الذي يعيش فيه.(١)

وتختلف مشاكل التضاريس حسب نوعها فالمناطق الجبلية مشاكلها أكثر صعوبة من الهضاب والسهول والتي من أهمها :

١– الأنزلاقات والانهيارات الأرضية .

تتحرك المواد المكونة للمنحدرات نحو الأسفل بسرع متفأوتة وتتراوح ما بين زحف التربة وزحف الصخور البطيئة الحركة وانهيار وسقوط الصخور التي تتحرك بسرعة، حيث تحدث تلك العمليات بأشكال مختلفة كالانسياب والانزلاق والسقوط والانخساف والتدفق الطيني ، وقد يحدث ذلك تحت تأثير المواد المكونة للمنحدر والبنية والتركيب الجيولوجي وشكل المنحدر وطبوغرافية الموضع والمناخ ونشاط الأنسان والغطاء النباتي والماء والزمن.(٢)

وقد يكون لتشبع السفوح بالماء وإضافة أحمالاً جديدة فوق تلك السفوح الأثر الكبير في زيادة قوة السحب وتقليل قوة الاحتكاك، حيث يؤدي امتلاء المسامات بالماء إلى انفصال بعض الجزيئات فيقلل من قوة التماسك والاحتكاك بينهما.(٣)

كما يؤدي وجود المياه الجوفية وارتفاع مناسيبها إلى مثل هذه الحالة .وقد حدثت الانهيارات في عدة مناطق من العالم وأدت إلى حدوث كوارث كبيرة ذهب ضحيتها الآلاف من الأشخاص فضلاً عن الخسائر المادية، ومثال ذلك في البرازيل عام ١٩٦٧ الذي أدى إلى وفاة ١٧٠٠ شخصاً ، وما حدث في بيرو عام ١٩٧٠ الذي حدث على أثر زلزال وذهب ضحيته أكثر من ٢٠٠ شخص.(٤)

وكذلك ما حدث في ولاية أركون الأمريكية الذي أدى إلى تدمير ٤٢ داراً وجزء من سكة الحديد فكانت الخسائر المادية أكثر من ربع مليون دولار.(٥)

ومن أهم أنواع الانهيارات الأنزلاقات ما يأتي :

أ–سقوط الكتل الصخرية **fall Rocks** : وتكون على شكل كتل صخرية منفرة أو طبقات هائلة ويحدث هذا النوع فوق السفوح التي يترأوح انحدارها بين ٧٠–٩٠ درجة .

ب- زحف التكوينات الطينية : وتحدث عندما تتحرك بعض السفوح الطينة بشكل بطيء ولمسافة قصيرة والتي تؤثر على ما فوقها من أبنية وما تحتها من أنابيب وسكك حديد وطرق وابنية.

ج- التدفق الطيني **flow mud** : ويحدث هذا النوع على المنحدرات الخالية من الغطاء النباتي والتي تتكون من الحجر الطيني الضعيف التماسك، خاصة عندما تتعرض ألي الرطوبة العالية فتتشبع تلك التكوينات بالماء فتتحرك من أعلى السفوح إلى أسفلها مغطية كل ما يقع تحت سفوح المرتفعات ولمسافة تصل عدة كيلومترات ، وتتكرر تلك الحالة في المناطق الرطبة الغزيرة الأمطار.

د- الزحف **creep** : تتعرض مكونات السفوح من الرمل والطين والجلاميد للزحف خاصة إذا تعرضت إلى الرطوبة والجفاف بشكل متعاقب لذا تؤدي إلى انحناء الأسيجة أو أعمدة الكهرباء وزحف النصب التذكارية وأنحراف الأشجار.(٦) .

١-١--أساليب الحد من مظاهر الانهيارات الأنزلاقات .

١- الحد من كمية الرطوبة في تربة المنحدرات بواسطة حفر خنادق كونكريتية أو مد أنابيب لنقل المياه من أعلى السفوح إلى أسفلها، أو حفر أبار عميقة لتجميع المياه من المناطق المحيطة بها ومن ثم سحبها وضخها خارجاً،أو من خلال تغطية تلك السفوح بطبقة غير نفيذة كالأسمنت والإسفلت أو أي مادة كيمأوية تزيد من التحام المواد المفككة وتقلل من مسامية الطبقة السطحية .

٢- أقامة جدران ساندة بالقرب من سكك الحديد والطرق والمباني.(٧)

٣- تسوية أو تعديل المنحدرات لتقليل درجة انحدارها من خلال قشط المناطق المرتفعة ودفن المناطق المنخفضة، أو عمل مصاطب صخرية تستقر عليها الكتل الساقطة ألا أنه يجب تنظيم عملية تصريف المياه عبر كل مصطبة .

٤- أقامة جدران كونكريتية أو أسلاك يُمْلأ ما بينها بالحجارة، أو تثبيت قضبان من حديد أو كونكريت قرب قاعدة المنحدر ثم تربط بقوة لمقأومة الانزلاق .

٥- استخدام مسامير ضخمة لربط الصخور الضعيفة الاستقرارية بالصخور المستقرة.(٨)

٦- استعمال شبكة حديدية تغطي وجه المنحدر الصخري الذي يحتمل أن يحدث فيه انهيار .

٧- وضع حاجز من الأسلاك المعدنية في أسفل المنحدرات لمنع تدحرج الكتل الصخرية نحو المنشآت التي تقع اسفل تلك المنحدرات.(٩)

٢--حركات الهبوط الانخساف:

تحدث حركات الهبوط والانخساف في بعض المناطق التي تتوفر فيها الشروط المسببة لذلك ومن تلك المناطق ما يأتي:

١- المناطق السهلية المنبسطة التي تكون فيها الطبقات التحت السطحية هشة حيث تهبط الأرض من الأعلى إلى الأسفل في حركة رأسية دون حدوث زحزحة جانبية .

٢- المناطق الجلدية التي ترتكز فيها رواسب الطفل الجليدي فوق الجليد نفسه فعندما يتعرض إلى الذوبان تهبط الرواسب التي تقع فوقه .

٣- مناطق الكار ست الجيرية حيث تعمل التجوية الكيمأوية والمياه الجوفية على عمل الكهوف في باطن الأرض من خلال ذوبان وتأكل الصخور الجيرية حتى تصبح الطبقة السطحية رقيقة لا تقوى على حمل ما فوقها من ثقل فتنخسف أو تهبط إلى الأسفل .

٤-مناطق المناجم التي تتم عملية إزالة الطبقات التحت السطحية فتؤدي إلى هبوط الطبقات السطحية .

٥- المناطق التي تتعرض إلى ضغط يفوق طاقة تحملها وخاصة بعض الأجزاء السطحية من الطرق البرية فيؤدي إلى هبوطها.(١٠)

١- المناطق التي يتم سحب المياه التي تقع تحتها وتكون تلك الطبقات ضعيفة فتهبط نحو الأسفل .

ثانيا- مشاكل التربة Soil problems :

تعد التربة من وجهة نظر بيئة نظاماً مفتوحاً ساهم في تكوينها تفاعل عدة عوامل كالمناخ والتضاريس والصخور الأساسية والنشاط العضوي وعامل الزمن، وتعتبر التربة ذات أثر كبير في تحديد الاستثمار الأمثل للأرض ولذلك يتطلب تخطيط أي مشروع هندسي مسح التربة في المنطقة المختارة لموقع المشروع .(١١)

حيث يتم التعرف على أصل التربة منقولة أم لا وتحديد خصائصها الفيزيائية و الكيميائية لمعرفة نوع المعادن التي تحتويها تلك التربة، فضلاً عن التعرف على أفاق التربة التي تختلف خصائصها من أفق إلى أخر والتي تعكس نوع العمليات التي تحدث في التربة ومدى قابليتها على التحمل وأثر الرطوبة فيها.(١٢)

وقد يسبب عدم تماسك التربة وضعفها متاعب كثيرة في تخطيط المشاريع الهندسية ولاسيما أعمال الإنشاء،لذا اهتمت الجيولوجيا الهندسية بهذا المجال لأهميته في تخطيط المشاريع، وتم تقسيم التربة إلى عدة أنواع مختلفة الخصائص هي -:

١-الطين والغرين الهش Clay and silt soft :

وهي رواسب حديثة التكوين ولم تتاح لها الفرصة لكي تتصلب تحت طبقات من الرواسب أحدث منها عمرا، وينتشر هذا النوع من الرواسب في الأودية النهرية والد لتوات، وتعتبر من الرواسب الضعيفة التماسك ودرجة تحملها منخفضة جداً ولذلك تكون المشاريع الهندسة في مثل تلك المناطق مكلفة جداً .

٢- الطين المتماسك والصلب Stiff clays :

وهي تكوينات قديمة تعرضت إلى ضغط الرواسب التي تعلوها مما زاد من تماسكها وتصلبها وظهرت إلى السطح بعد أن أزيلت الطبقات التي تعلوها، ومن مشاكلها وجود شقوق صغيرة وكثيرة فيها والتي تؤثر على خصائصها الميكانيكية فتكون مواقع ضعف تساعد على انزلاق الأنفاق والجسور التي تبنى فوقها، ويسود نوع من الترب الجلمودية في المناطق التي تعرضت إلى الجليد قديماً وتكون اكثر تماسكاً من التربة السابقة .

٣- الرمل والحصى : Sand and gravels

يمتاز هذا النوع بنفاذية عالية وعدم التماسك أي أنها تنساب بسهولة لذا تسبب مشاكل كبيرة للأعمال الهندسية خاصة عندما تحتوي على مياه جوفية، حيث تكون عرضة للانهيارات وتسرب كميات كبيرة من المياه أثناء الحفر ولذلك يتطلب استغلالها بعض المعالجات مثل حقنها بمواد تزيد من تماسكها وصلابتها وخفض كمية المياه الجوفية الموجودة فيها .

٤- الخشب الصخري والتربة العضوية : Peat and soil orgonic

ويعد هذا النوع من الترب أكثر أنواع الترب تأثيراً على المشاريع الهندسية حيث يتطلب مد الطرق فيها أزالتها أو استخدام دعائم ترتكز على الطبقات الصلبة التي تليها، وفي كل الحالات تكون عملية المعالجة مكلفة كما تكون لتلك التربة مخاطر كبيرة عندما تكون تحت الطبقات السطحية، وخاصة المباني التي تشيد فوق مثل هذه التكوينات والتي من خصائصها الانكماش عند الجفاف والانتفاخ عند الترطيب، ولذلك تتعرض الأبنية إلى التصدع والانهيار.(١٣)

وتعتبر قابلية التربة على الانكماش والانتفاخ **Shrinkage, swelling** من المشاكل التي تعاني منها المناطق العمرانية بسبب احتوائها على معادن لها القابلية على امتصاص الماء بكميات يفوق حجمها بحوالي ١٥ مرة، فيؤدي إلى انتفاخها ومن ثم انكماشها عند الجفاف، مثل معدن المنتمورلونايت الذي يعد أكثر المعادن تأثرا بهذه الظاهرة، ولذلك يجب تحليل التربة كيمائياً للتعرف على نوع المعادن التي تحويها فضلا عن التعرف على خواصها الأخرى لتجنب الترب ذات الصلابة العالية والنفاذية الواطئة والانضغاطية العالية وخاصة المشاريع الضخمة، كما تتأثر قابلية التربة بعوامل منها :

أ- الإجهاد الذي يسببه ثقل المنشات الكبيرة فيؤدي التي تصلب التربة التي تقع تحته وفي حالة إزالة التربة من المناطق المجأورة لتلك المنشاءات فيؤدي ذلك إلى انسياب التربة من تحت تلك المنشاءات نحو المناطق المحفورة فيتبع ذلك هبوط المبنى ومن ثم تشققه أو انهياره .

ب- وجود المياه في التربة فيكون لها تأثيران خطيران على التربة الأول وجودها مابين حبيبات التربة فيقلل من قوة تماسكها والثاني العمل على تقليل مقأومة حبيبات التربة .

ج- التأثر بالبيئة حيث تتأثر التربة بعناصر المناخ وخاصة الحرارة من حيث ارتفاعها أو انخفاضها، أو تتأثر المعادن المكونة للتربة بذلك حسب معامل تمددها الحراري فتؤدي إلى تفكك التربة وقلة تماسكها.(١٤)

ثالثا- مشاكل جيولوجية :Geological problems

تعد دراسة البنية والتركيب الجيولوجي ذات أهمية كبيرة في تحديد مدى الاستفادة من الأرض وبيان التحديات التي تفرضها بنية الأرض وتركيبها عند استخدامها حيث توضح صلابة وضعف الصخور ودرجة تحملها، وعلى ضوء ذلك يمكن تحديد الاستعمال المناسب أو مدى ملائمة المنطقة إلى الاستعمال المقترح كطريق للسيارات أو سكة

حديد أو مطار أو مبنى أو سد أو جسر وغير ذلك، ويجب أن يكون الاستعمال المقترح متوافق مع التركيب الصخري وقدرته على التحمل.(١٥)

ويتم تصنيف الطبقات الصخرية إلى نوعين ضعيفة **soft Rocks** كالصخور الطباشيرية والطينية والحجر الرملي والجيري، وصلبة **hard Rocks** مثل الجرانيت والبازلت والصوان، ويعود ذلك إلى الخصائص الكيميائية والفيزيائية لتلك الصخور والظروف البيئية التي تكونت بها والعمليات الجيومورفولوجية المختلفة التي تتعرض لها ، أي هنالك مظاهر ضعف نوعية تعود إلى تكون تلك الصخور وما تحويه من معادن ودرجة تبلورها ونسجتها ومسا ميتها ونفاذيتها والمواد اللاصقة لمكوناتها، فضلاً عن بنيتها، أو تكون مظاهر ضعف مكتسبة ناتجة عن تأثير البيئة والعمليات الجيومورفولوجية الداخلية والخارجية التي تعرضت لها.(١٦)

ويؤدي اختلاف معدل تركز فعل العمليات الجيومورفولوجية في تلك الصخور والذي يكون أما عمودياً أو أفقياً حسب توزيع مظاهر الضعف في تلك الطبقات إلى تكون عدة أشكال أرضية وبالتالي أقاليم مختلفة.(١٧)

وقد تنعكس آثار تلك العمليات وما ينتج عنها من أشكال على المشاريع التي يراد تخطيطها في تلك المناطق، ولذلك يجب دراسة المنطقة جيولوجياً بشكل مفصل ودقيق لتحديد صلاحية المنطقة للمشروع المخطط .

رابعا – مشاكل المياه الجوفية The ground water problems

يؤدي وجود المياه الجوفية في التربة والصخور القريبة من مستوى الأسس إلى مشاكل تواجه تخطيط المشاريع الهندسية لما تسببه من تغيير في الخصائص الكيميائية والفيزيائية لتلك الطبقات وبالتالي تتغير قابليتها على التحمل، كما يؤدي وجود المياه الجوفية إلى تنشيط عمليات ألحت الكيماوي (**corrasion**) أي عمليات التحلل والتعرية الكيماوية الذي يحدث على سطح التربة وفي مقاطعها والذي يؤدي إلى تأكل الأنابيب والقابلوات ومراسي السفن وأعمدة الأسيجة المدفونة في التربة، وتزداد تلك الحالة كلما زادت نسبة الملوحة في التربة.(١٨) كما تعمل المياه الجوفية على تدمير المنشاءات المختلفة بدرجات متفاوتة سيتم تفصيلها لا حقاً .

خامسا – مشاكل فيضانات الأنهار: River floods problems

تتعرض مناطق واسعة من العالم وخاصة وديان الأنهار إلى فيضانات تلك الأنهار وبما أن النشاط البشري يتركز في تلك الأودية لذلك فأنه يتعرض إلى أخطار تلك الفيضانات بصورة مباشرة أو غير مباشرة، والمشاريع الهندسية هي جزء من ذلك النشاط الذي يتعرض إلى تلك المخاطر، أما من خلال طغيان مياه الفيضانات على تلك المناطق أو عن طريق ارتفاع مناسيب المياه الجوفية التي تطول آثارها تلك المشاريع .

سادسا – مشاكل الكثبان الرملية : The sand dunes problems

تنقل الرياح السائدة ما يعترض طريقها من الرمال والأتربة إلى الأماكن التي تمر بها والتي تكون مصدر خطر على النشاط البشري في تلك المناطق، حيث يتعرض العمران والطرق البرية والمطارات إلى الرمال فتؤدي إلى أعاقة الحركة

وتلوث البيئة بشكل مستمر،و يعاني من هذه الظاهرة معظم الدول العربية بسبب موقعها عند أطراف المناطق الصحراوية أو في وسطها،و رغم المحاولات الجادة للحد من هذه الظاهرة كنقل الرمال أو عمل مصدات أو اكساء المناطق الرملية بالحصى والطين أو رشها بالقار أو الإسفلت أو النفط الأسود.(١٩)

المبحث الثاني

أهم المشاريع الهندسية التي تتطلب دراسات جيومورفولوجية .

أولا- تخطيط المراكز العمرانية :

يتطلب تخطيط المراكز العمرانية تحديد معالم الموضع التي تؤثر عليها ويتم وضع تصاميم استعمالات الأرض اعتمادا على الدراسات المختلفة التي مر ذكرها ويتم توزيع تلك الاستعمالات بشكل ملائم لطبيعة الأرض، حيث يتم تحديد الأراضي الملائمة للسكن والخدمات والنشاطات، وغير الملائمة مثل الجبال والوديان، ويتم ذلك بشكل يحقق الترابط المتبادل بين تلك الاستعمالات، مع الأخذ بنظر الاعتبار حركة المرور والنقل في المدينة وتخطيط الشبكات الهندسية للمرافق العامة الخاصة بخدمة سكان المدينة.(٢٠)

وقد ظهرت عدة نظريات أسهمت في تطور المناطق الحضرية التي يسكنها الأنسان والعمل على تحسينها باستمرار لتوفير متطلبات الراحة، ومن تلك النظريات ما يأتي :

أ- نظرية البنية الحضرية

ب- نظرية العلاقات الوظيفية – المكانية واستخداماتها الأرضية على المستوى الحضري

ج – نظرية التجديد الحضري

د- نظريات استخدام الأرض

هـ – نظريات تنظيم التنمية الحضرية.(٢١)

وأكدت جميع الدراسات ذات العلاقة على الخصائص الطبيعية للموضع والموقع، ويعني الموضع (site) المساحة التي تحتلها المدينة ويتم تحديده على أساس السطح والتضاريس الأرضية ودرجة الانحدار ونوع التربة والتركيب الجيولوجي والمناخ السائد والعمليات الجيومورفولوجية المختلفة .

إما الموقع (Location) فيعني موقع المدينة بالنسبة للمناطق المحيطة بالموضع والتي تقع خارج حدودها المعمورة.(٢٢)

والتي يكون بعضها صالحاً لتوسع المراكز العمرانية في المستقبل .

العوامل المؤثرة على تخطيط المراكز العمرانية .

١- التضاريس Relief

تعتبر الحقائق التضاريسية أو الطوبوغرافية ذات أهمية كبيرة في إبراز التلاؤم والتناسق في شكل البناء وإمكانية التوسع الأفقي بالاتجاهات المناسبة، وعندما لا يتوافق شكل المدينة وامتدادها مع الوضع الطبيعي يترتب على ذلك عدم انسجام استعمالاتها مع ما يمليه الواقع الطبيعي في المكان الذي تقام عليه، فتكون المدينة غريبة عنه، وربما يتضرر وضعها ومكانتها من خلال عدم التوافق مع الواقع الطبيعي.(٢٣)

وقد تنوعت مواقع المدن اعتماد على تنوع التضاريس وتعتبر أفضل المواقع الأرضية السهلية والمنبسطة، أما السهول الفيضية رغم أنها أرض منبسطة ويمكن امتداد العمران عليها في كل الاتجاهات إلا أن من مشاكلها تكون تربتها ضعيفة التحمل ويتطلب تحسين خواصها تكاليف باهضة .

وتعتبر أفضل التضاريس ملائمة لتخطيط المدن وبناءها هي التي يتراوح انحدارها ما بين ٠,٥-١٠°، إما في المناطق الجبلية فيصل إلى ٣٠° وفي حالة قلة الانحدار عن ٠,٥ فأن ذلك يعرقل عملية تصريف مياه الأمطار والصرف الصحي، إما المناطق التي تكون شديدة الانحدار فإن ذلك يزيد من تكاليف البناء عليها حتى على شكل مدرجات، فضلاً عن صعوبة المواصلات لشدة المنعطفات التي تزيد من مخاطرها.(٢٤)

وقد ينتج عن شدة التضرس وما يرافقها من انحدارات شديدة ومتوسطة مشاكل عدة منها التعرض إلى الانزلاقات والانهيارات التي تؤدي إلى تدمير المباني والمنشات التي توجد تحت تلك السفوح ، وقد تتعرض المنشاءات العمرانية الواقعة على السفوح إلى عمليات زحف بطيئة تؤدي إلى تشقق الجدران وميل الأبواب والشبابيك وعدم غلقها بسهولة، وكذلك ميل الأسيجة والجدران وأعمدة التلغراف، أو حدوث كسور في أنابيب المياه المدفونة أو تسرب المياه من أحواض السباحة أو ميل الأشجار أو ظهور شقوق على سطح الأرض المحيطة بالعمران أو وجود نضوح في قاعدة المنحدرات.(٢٥)

ومن المشاكل الأخرى للتضرس هو تشتت المراكز العمرانية ونموها في اتجاهات مختلفة وبشكل غير متجانس، حيث تفرض وعورة المنطقة نفسها فتظهر المراكز العمرانية في المناطق الملائمة قافزتاً المناطق غير الملائمة من وديان وجبال ومستنقعات مما يفقد المدينة خصوصية تجانسها العمراني والاجتماعي .

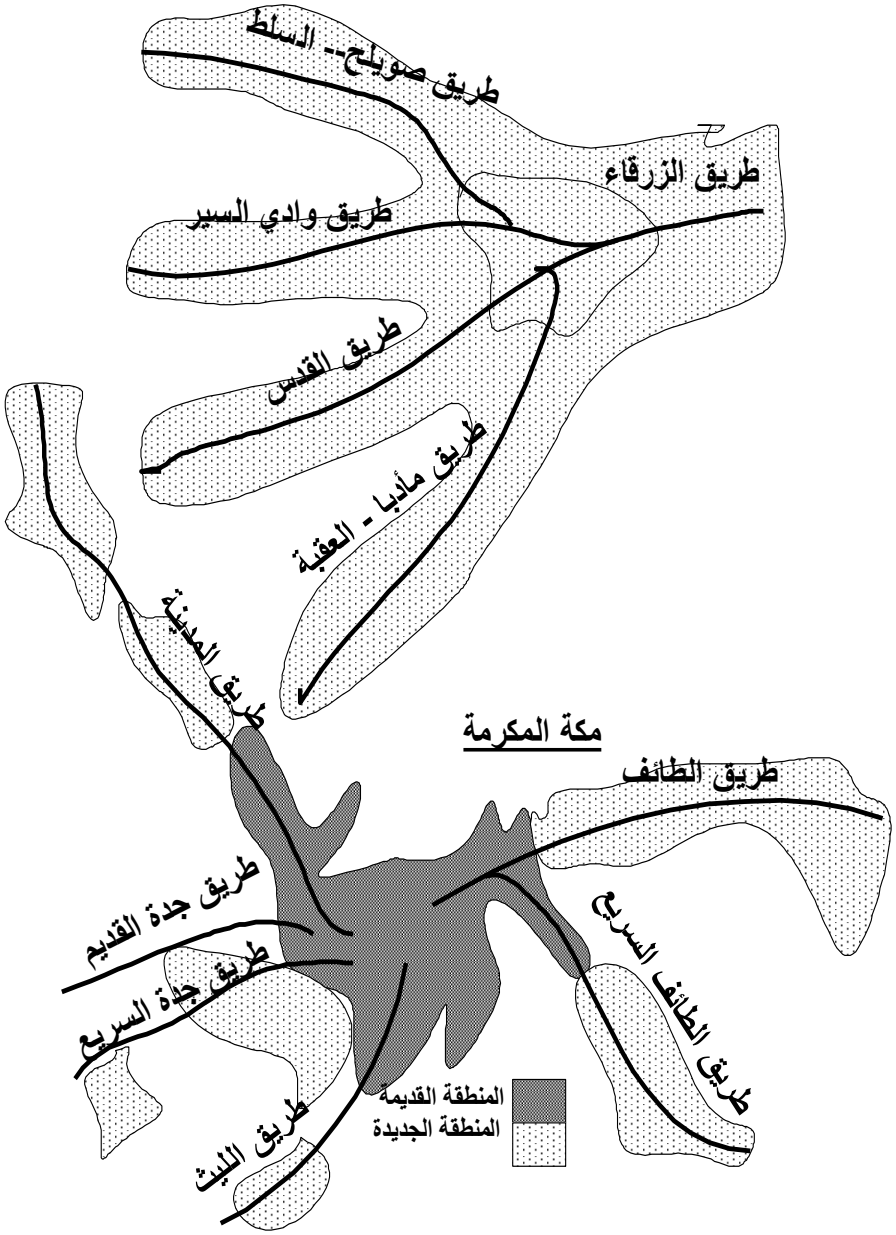
كما ينعكس ذلك على توفير الخدمات المختلفة من نقل وأمن وصحة وتعليم وخدمات الماء والكهرباء والهاتف والمجاري إذ يكون توفيرها باهض التكاليف وخاصة في الدول ذات الموارد الاقتصادية المحدودة .

وتعتبر مدينة عمان من بين المدن التي تتصف بهذه الخاصية إذ نشاءت المدينة فوق منطقة مرتفعة ثم أخذت تتوسع في عدة اتجاهات على سفوح التلال الوعرة فأصبحت بشكل يشبه أصابع اليد (شكل رقم ١).(٢٦)

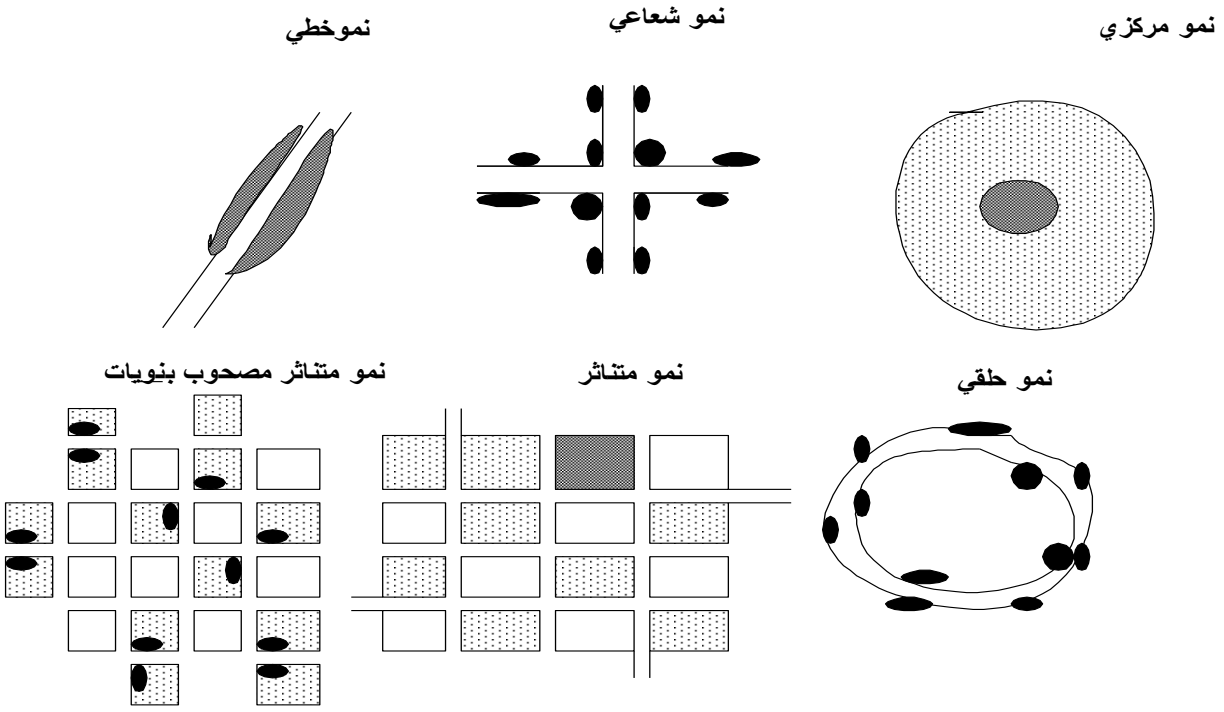
وكذلك الحال بالنسبة إلى مكة المكرمة التي نشأت في وادي إبراهيم عليه السلام وتحيط بها الجبال من عدة جهات فأثرت على نمو المدينة، فبعد أن أمتد العمران على جميع المنطقة السهلية زحف إلى السفوح الجبلية التي يمكن استغلالها وحتى شمل السفوح الشديدة الانحدار أي التي تزيد على ٤٥° وبعد ذلك أندفع التوسع وراء المناطق

الجبلية التي تحيط بالحرم الشريف بمحاذاة امتداد الطرق الخارجة من مركز المدينة وعلى شكل تجمعات عمرانية متباعدة عن بعضها وعن مركز المدينة (شكل رقم ١). (٢٧)

شكل رقم (١)



وقد كان للتضاريس الأثر الفاعل في ظهور أنماط مختلفة من النمو العمراني كالنووي والدائري والشبكي والمتناثر وغيرها (شكل رقم ٢)



٢- التربة والصخور

تؤثر التربة على المشاريع العمرانية من حيث خواصها الفيزيائية كالنسجة والمسامية والنفاذية وتركيبها الكيميائي المتمثل بتكوينها المعدني حيث تنعكس تلك الخصائص على عدة جوانب ذات تأثير كبير على المنشآت العمرانية ومنها ما يأتي :

أ- قدرة تحمل الصخور والتربة، والتي يتحدد على ضوءها نوع الأسس الملائمة إذ توجد صخور و ترب ذات درجة تحمل عالية، جدول رقم (١) يوضح نوع الصخور و التربة وقدرة تحملها.

وتكون معظم التكوينات الصخرية شديدة الصلابة وغير قابلة للإنضغاط والتي يمكن البناء فوقها مباشرةً، في حين تكون معظم الترب هشة قابلة للإنضغاط وغير مستقرة، وبصورة عامة تتفاوت تلك الترب في درجة تحملها حسب طبيعة نسجها وكما موضح في الجدول.

جدول رقم (١) يوضح نوع الصخور والتربة وقابلية تحملها

نوع التربة	التحمل كغم /سم٣
١- صخور صلدا	٣٠-٤٠
٢- صخور غير صلدا	١٠- ١٢
٣- صخور هشة	٨-١٠
٤- تربة حصوية أو حصوية رملية	٦- ٨
٥- تربة رملية خشنة متراصة	٢,٥- ٤
٦- تربة طينية جافة وصلبة	٢-٣
٧- تربة طينية ورملية	١,٥-٢
٨-تربة رملية ناعمة	١-٢
٩-تربة طينية رخوة	½-٤/٣
١٠- تربة دفن	¼- ½

وقد لا يتوقف تأثير التربة على الأسس التي تقع فوقها بل يشمل جوانب الأسس عندما يتم دفنها دفنها لرفع منسوب البناء، وعليه يجب عدم استخدام الترب السطحية الحاوية على المواد العضوية النباتية والحيوانية والأنقاض إذ تكون مشوهة وذات خصائص رديئة لذا يجب قشط التربة السطحية على سمك لا يقل عن ١٥ سم لأزاله تلك الطبقة واستخدام الطبقة التي تليها.(٢٨)

ب- تأثير التركيب الكيميائي للتربة والصخور على العمران .

تحتوي بعض الترب والصخور على معادن لها القابلية على الانتفاخ والانكماش كما مر ذكرها و يكون لبعضها القابلية على الذوبان بالماء فتتحول إلى حفر غائرة أو كهوف وخاصة في المناطق الرطبة، وخاصة في الصخور الجيرية والطباشيرية فيترتب على ذلك حدوث فراغات تحت الأسس وبالتالي هبوطها، فتؤدي تلك العمليات إلى تصدع الأبنية وتشقق الجدران والأضرار بالأبواب والشبابيك وربما يؤدي إلى انهيار الأبنية .

كما يكون لبعض المعادن القابلية على التمدد بالحرارة وحسب معامل تمددها الحراري وقد يكون هذا المعامل كبير فيؤدي إلى تمدد تلك المعادن وتقلصها بشكل يعمل على تفكك الكتل التي تحتوي تلك المعادن.

كما تتضمن التربة معادن لها القابلية على التفاعل مع معادن الأنابيب والمكونات الحديدية المختلفة المدفونة في الأرض مما يؤدي إلى أتلافها بعد فترة زمنية تتحدد بطبيعة التفاعل وتوفر الظروف التي تزيد من شدة التفاعل

كالرطوبة، وقد يؤدي ذلك إلى إحداث أضرار كبيرة بالمنشآت العمرانية المقامة بالقرب من تلك الأنابيب بسبب ما تسربه من مياه تعمل على تدمير الأسس والجدران والماشي والأرضيات فيترتب على ذلك خسائر اقتصادية كبيرة .

ج- قلة نفاذية ومسامية بعض الترب فتكون كتيمة وتعتبر هذه الخاصية جيدة لأغراض البناء لزيادة درجة التحمل ، إلا إن قلة قابليتها على ترشيح المياه إلى داخل التربة يؤدي إلى تجميع مياه الأمطار ومياه الاستعمالات المنزلية في المناطق السكنية التي لا توجد فيها مجاري في المناطق المنخفضة قرب الأسس والمنشآت المختلفة فتتسرب كمية من المياه نحو الأبنية فيؤثر على الأسس والجدران، وتختلف درجة التأثير باختلاف مادة البناء وما يتخللها من فراغات فينتج عن ذلك تدمير الماشي والأرضيات والجدران السفلية فتكون مشوهة المنظر، كما أن من آثار هذه الظاهرة تبخر تلك المياه تاركتاً طبقة ملحية على سطح الأرض والتي تتفاعل مع بعض معادن الصخور ومواد البناء الأخرى فتحللها فتؤدي إلى تدمير الأسس والجدران بمرور الزمن .

د- ترب مناطق طمر النفايات، أي مناطق جمع النفايات وطمرها حيث تكون تربة تلك المناطق هشة وغير مستقرة لفترة طويلة وبشكل بطيء، فضلاً عن حدوث تفاعلات بين المواد المطمورة فينتج عن ذلك تكون غازات مختلفة وربما تكون بكميات تؤدي إلى حدوث انفجار في تلك المنطقة وبالتالي تتعرض المنشآت المشيدة فوق تلك المناطق إلى مخاطرة الهبوط والانفجار، ولذلك يجب تجنب مثل هذه الأماكن واستغلالها باستعمال مناسب لا يتطلب تشييد منشآت ثقيلة فوقها .

هـ- ترب ضعيفة التحمل، كالترب الرملية واللويس والمتجمدة، ولغرض الحد من المشاكل التي تواجه العمران فيها فأن ذلك يتطلب تكاليف باهضة لتحسين خواصها والتخلص من مشاكلها .

وأخيراً مما يجب التنويه عنه إن أمر أقامة المنشآت العمرانية لا يتوقف على خصائص التربة السطحية فقط بل يتطلب دراسة الطبقات التحت السطحية أي التعرف على الحقائق الجيولوجية لتقرير نوع البناء وارتفاعه وحجمه وتحديد نوع الأسس التي تستخدم في البناء إذ يتم استخدام نوعين من الأسس اعتمادا على الحقائق الجيولوجية للمنطقة هي :

١- أسس قريبة من سطح الأرض ولا تكون عريضة بالنسبة للبناء المشيد عليها لتزداد قابليتها على تحمل ثقل الأعمدة والجدران، ويسود هذا النوع في المناطق ذات التكوينات غير قابلة للإنضغاط والتي يمكن البناء فوقها، أما في حالة كون المنشآت ثقيلة ومن المحتمل أن تتغير خصائص التربة في المستقبل فيتم استخدام الأسس الحصيرية أي تغطى جميع المساحة المخصصة للمبنى بالمواد الكونكريتية الصلبة .

٢- أسس عميقة ويستخدم هذا النوع في المنشآت الضخمة التي تقام فوق تربة وصخور هشة أو ضعيفة إذ يتم استخدام أسلوب الركائز التي ترتكز على الطبقات الصلبة التحت السطحية ، وقد يتطلب اختيار نوع ومواقع الأسس مراعاة الجوانب الآتية :

أ- تحديد مواقع الأسس بصورة دقيقة مع مراعاة التأثيرات المستقبلية بقدر الإمكان .

ب- معرفة نوع التربة والصخور التي تقام عليها الأسس والتأكد من عدم وجود طيات وفوالق وكسور تحت الأسس، وعدم وجود صخور ضعيفة وهشة التي قد تؤدي إلى حدوث انهيارات .

ج- عدم تأثير الاستقرار العمودي للأسس بعد الإنشاء على البناء المقام فوقها ،

ولذلك يجب تحديد طاقة تحمل التربة بشكل دقيق والتأكد من حالة تجانس مكوناتها، إذ تزداد خطورة التربة إذا تخللت طبقاتها الرخوة طبقات صلبة حيث تتباين قدرة التحمل فيؤدي ذلك إلى الانهيار إذا كان الثقل أكبر من طاقة التحمل.(٢٩)

ويتم إعداد الخرائط الخاصة بجيولوجية المنطقة .

٣- المياه الجوفية والرطوبة :

تعتبر المياه الجوفية في التربة والصخور القريبة من مستوى الأسس من المشاكل التي تواجه إقامة المشاريع الهندسية وحفر الأنفاق، حيث يؤدي ارتفاع مناسيب المياه إلى تغير خصائص التربة المختلفة ومن ثم تغير قدرتها على التحمل، وقد تكون أضرار الرطوبة كبيرة على المنشآت عندما تكون آثارها إنشائيا وجمالياً وصحيا،فقد تؤدي إلى حدوث ظاهرة التزهر وتنشيط تفاعل الأملاح وخاصة الكبريتية منها مع المركبات الأسمنتية والتي تسبب إضعاف الخرسانة والمواد الأسمنتية المختلفة .

كما يؤدي إنجماد الماء داخل الكتل الخرسانية إلى تفككها فضلاً عن صدأ وتآكل بعض المعادن ومن ثم تغير لون المادة بشكل يشوه المنظر العام لها كما هو الحال في جدران الأبنية حيث تتحلل مادة الجص البيضاء اللون ويتغير لونها إلى الأسمر، وقد تنتقل الرطوبة إلى الأبنية من خلال المنافذ الآتية :

أ- انتقال المياه من التربة إلى الجدران والأرضيات بواسطة الخاصية الشعرية فتزداد مع ازدياد مناسب المياه .

ب- وجود خلل في السقوف والجدران يؤدي إلى تسرب المياه من خلالها .

ج- وجود خلل في مجاري المياه سواء أنابيب مياه الشرب أو الصرف الصحي أو الأمطار والذي يؤدي إلى نضح المياه نحو الأبنية القريبة منها .

د- عدم جفاف المواد الإنشائية عند استعمالها فيؤدي إلى ترك الأملاح عليها بعد الجفاف .

هـ- تعرض الأجزاء الخارجية من المباني إلى الرطوبة بسبب تكاثف بخرا الماء الموجود في الهواء فوقها.(٣٠)

و- ارتفاع مناسب مياه الأنهار إلى مستوٍ يؤدي إلى تسرب المياه إلى المناطق المجاورة عن طريق ظاهرة النزيز وبشكل يؤدي إلى غمر أسس و أرضية الأبنية القريبة من النهر أو ارتفاع الرطوبة فيها فتكون آثارها كبيرة على تلك الأبنية.

٤- مواد البناء

يستخدم في البناء مواد متنوعة ولها خصائص مختلفة وينعكس هذا الاختلاف على سلوكها عند استخدامها في البناء والتأثر بالظروف البيئية في المنطقة، ومن أهم تلك المواد هي:

أ- الصخور

ومن أهم أنواعها :

١- حجر الطفل **shale stone**: ويكون على نوعين حجر مضغوط ضعيف المقاومة وحجر متماسك أكثر صلاحية للبناء، وبصورة عامة يعتبر الحجر الطيني غير ملائم للعديد من المشاريع الهندسية.(٣١)

٢- الصخور الكلسية **Lime stone**: ومن خواص هذا النوع القابلية على الذوبان بالماء في المناطق الرطبة ويكون على أنواع عديدة تختلف عن بعضها من حيث تركيبها المعدني، وبالتالي تختلف في صلابتها عن بعضها ومن تلك الأنواع هي :

أ- الحجر الجيري الحبيبي وهو صخر متجانس التركيب والتكوين ومعتدل الصلابة .

ب- حجر جيري دولومايتي وهو أكثر صلابة من السابق .

ج- حجر جيري متبلور ويعتبر أكثر الصخور الجيرية صلابة ويستخدم على نطاق واسع في البناء ويكون على ألوان لاحتوائه على أكاسيد تقلل من صلابتها .

٣- الحجر الرملي يكون على أنواع وتعتمد صلابته على نوع المادة اللاصقة لحبيباته .

٤- حجر السر بنتين وهو من الصخور النارية ويكون على ألوان مختلفة لاحتوائه على أكاسيد تقلل من صلابته .

٥- صخر الجرانيت ويعتبر أكثر الصخور صلابة وصعب التقطيع ويستخدم على نطاق واسع.(٣٢)

ب- الأسمنت وهو على نوعين مقاوم و يستخدم في الأسس وعادي وهو يستخدم في بناء الأجزاء التي لا تتعرض للرطوبة من الأبنية .

وفي الماضي كانت تستخدم النورة بدلاً من الأسمنت وهي ذات خصائص تفوق السمنت المقاوم من حيث الصلابة، وتصنع من الحجر الجيري .

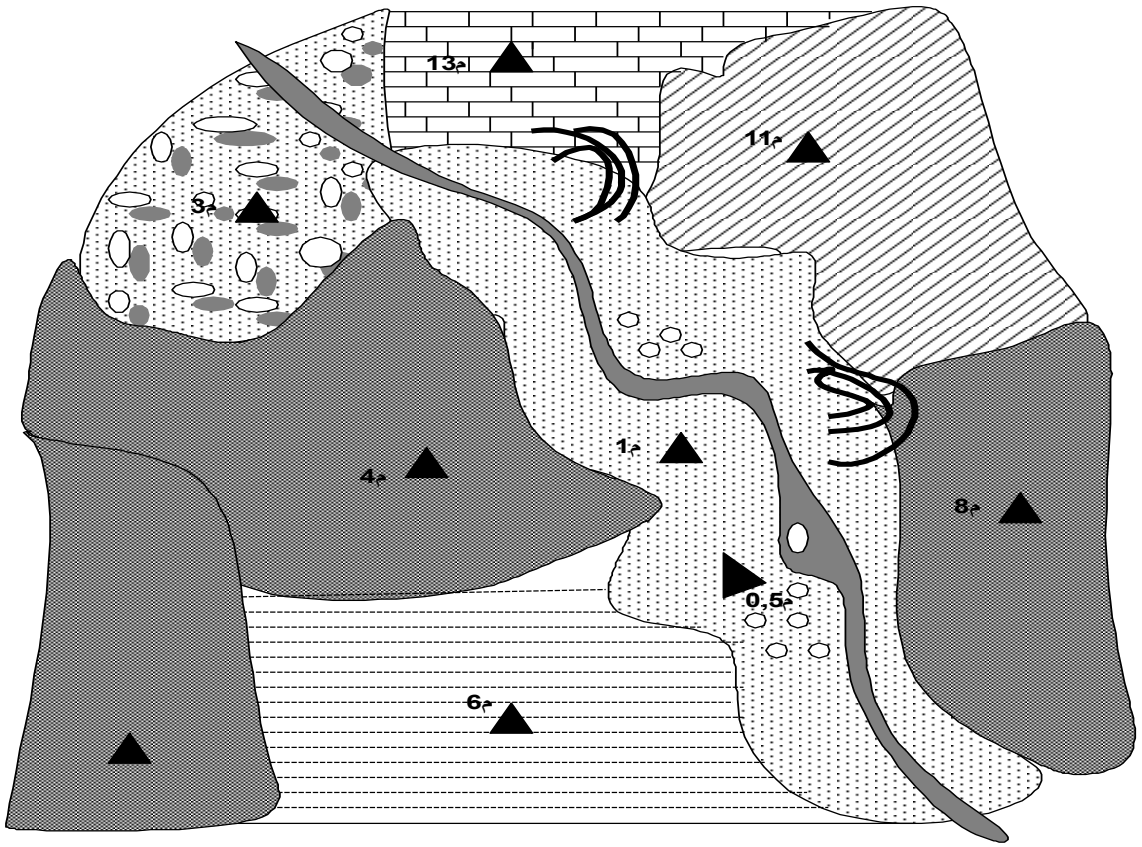
ج- الجص : ويستخدم في بناء الأجزاء التي تبنى فوق الأسس والبعيدة عن الرطوبة .

د- الحصى والرمل، وتستخدم في الخرسانات المختلفة للأرضيات والسقوف، وقد يؤدي وجود الأملاح والمواد الطينية فيها إلى أضعاف الخرسانة لقابلية الأملاح على الإذابة في الماء والتحلل، وقابلية مواد أخرى على امتصاص الماء فيكبر حجمها .

٥- مجاري الأنهار:

اتخذت مدن عديدة مواقعها على مجاري الأنهار وذلك للتمتع بالخصائص الطبيعية لتلك المجاري التي توفر البيئة المريحة للأنسان ولكن غير آمنة لما تتعرض له من مخاطر بسبب الفيضانات التي تؤدي إلى غمر العديد من تلك المدن رغم الإجراءات المتخذة للحد من مخاطرها وبالتالي تكون الخسائر كبيرة وربما توازي أو تفوق المنافع المتحققة من تلك المواقع.

وعليه تحتاج مواقع ومواضع المدن إلى دراسة تتضمن جوانب متعددة، ويتم رسم خرائط لتحديد مواقع تواجد كل ظاهرة وابعادها ونطاق انتشارها. شكل رقم (٣)



ثانيا – تخطيط الطرق والجسور:

١– تخطيط الطرق:

يختلف تخطيط الطرق عن غيرها من المشاريع لأنها لا تحتل موضعا معينا على مساحة محددة بل تمتد لمسافة طويلة وضمن مناطق ذات أشكال وتكوينات متنوعة بعضها ملائم لإنشاء الطرق والبعض الأخر غير ملائم وتحتاج إلى معالجات معينة، وقد يؤدي إهمال بعض المشاكل إلى تدمير الطريق وعرقلة المرور فوقه، وربما تكون تكاليف معالجتها باهضة مقارنة بتكاليف المعالجة منذ البداية، ولغرض تغطية الموضوع بشكل افضل سيتم تناول مد الطرق عبر مظاهر السطح كل على حده لمعرفة المشاكل التي تعترضها في كل نوع من تلك المظاهر وكما يأتي:

أ– المناطق الجبلية:

تعد الجبال من اكثر المناطق تعقيدا في مد الطرق خلالها وذلك لشدة تضرس المنطقة لما تتضمنه من مرتفعات وأودية عميقة حيث تتميز معظم السفوح بشدة انحدارها وعدم استقرارها، لذا يجب التعامل مع تلك المتغيرات وتخطيط الطرق بما ينسجم وطبيعة تلك المنطقة، ففي بعض المناطق تقطع سفوح بعض الجبال أو تحفر أنفاق وخاصة عندما تكون الجبال تعترض مد الطريق بين منطقتين منبسطتين أو اقل ارتفاعا منها، أما إذا كانت الطرق لغرض الوصول إلى قمم تلك المرتفعات أو إلى سفوحها فيتم مدها فوق السفوح المستقرة من تلك المرتفعات وحسب طبيعة تلك الجبال وارتفاعها ففي الجبال ذات القمم المنفردة تكون حلزونية أو دائرية، وفي الجبال التي تكون على شكل سلسلة متصلة تخطط الطرق بشكل زجزاجي أو متدرج عبر امتداد سفوحها متبعة المواضع المستقرة، شكل رقم(٤).

ويتحكم بطبيعة امتداد الطرق عبر سفوح الجبال درجة انحدارها وستقرار مكوناتها والبيئة السائدة رطبة أو جافة حارة أو باردة، حيث تتطلب كل حالة معالجة متميزة عن الأخرى، ففي السفوح غير المستقرة ذات التكوينات الهشة تستبدل بأخرى صلبة أو أنشاء مساند كونكريتية تحول دون تحرك تلك التكوينات وتعمل على استقرارها، كما يجب الانتباه إلى طبيعة تصريف المياه فوق تلك السفوح ومنع جريانها عبر الطرق أو التجمع فوقها أو تحتها، وقد تتضمن بعض السفوح مجاري مائية تجمع المياه من الأعلى وتنقلها إلى الأسفل وتكون بعضها عميقة وواسعة والبعض الآخر صغيرة ومتشعبة إلى عدة مجاري، فعندما تعترض مد الطرق يجب اتخاذ التدابير اللازمة وعمل قنوات تمر من تحت الطريق لنقل تلك المياه إلى الجهة الأخرى.

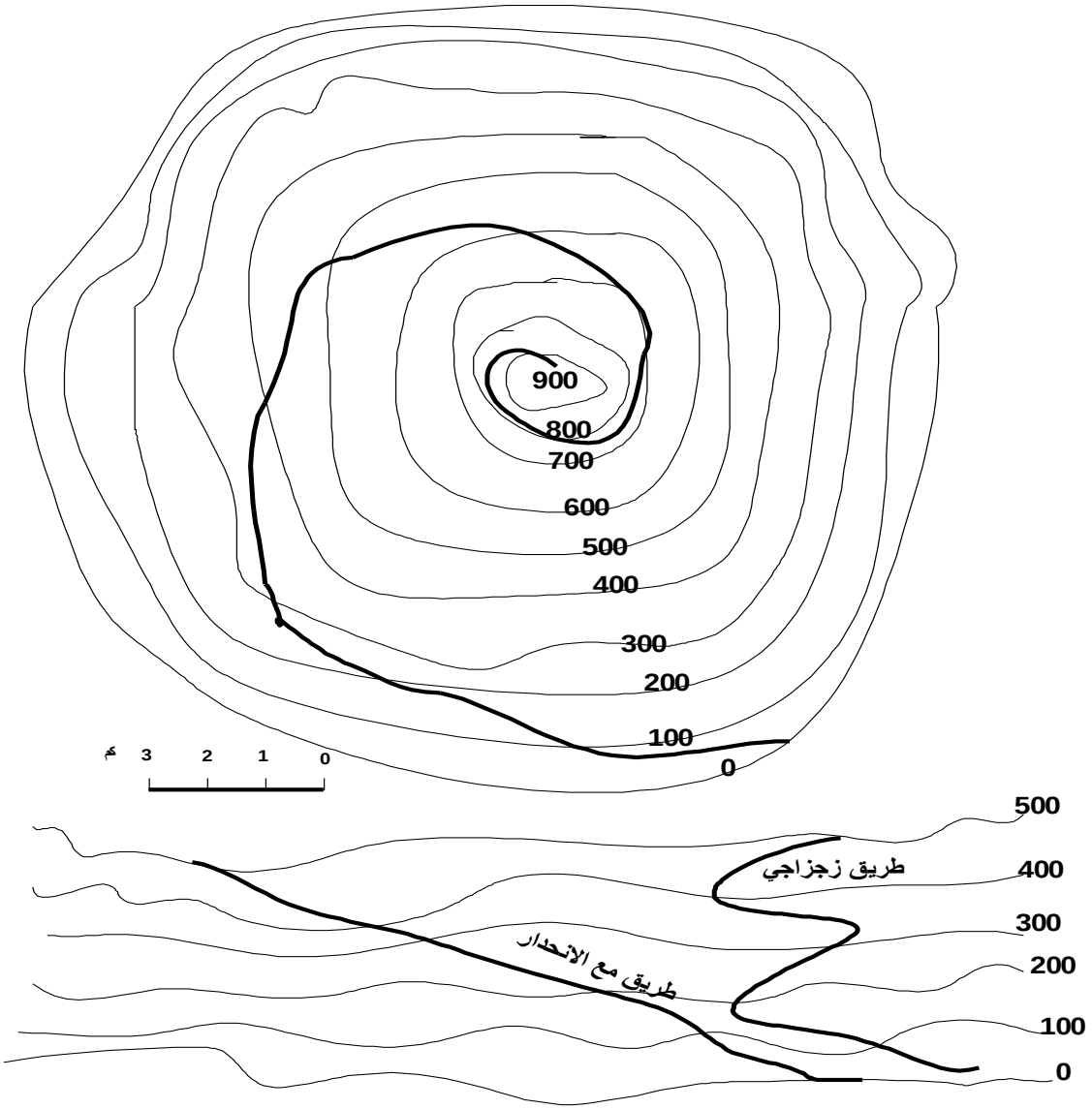
ولزيادة الأمان وتجنب حدوث المشاكل في السفوح التي تعلو الطريق والتي تنعكس أثارها على عليه تعالج مشكلة تجمع المياه فوقها أن وجدت، والتي تعد المصدر الرئيسي لتلك المشاكل وما ينتج عنها من عمليات جيومورفولوجية كالتدفق الطيني والهبوط والانزلاق وغيرها، والتي تلحق الضرر بالطريق.

ولغرض تحديد مسار الطريق لابد من الاستعانة بخريطة كنتورية للمنطقة فيتم تحديد المواضع التي سيمر عبرها الطريق متبعا السفوح المستقرة والمعتدلة الانحدار، وتعيين المواضع التي تحتاج إلى معالجة، ويجب أن يتوفر في تلك

المسارات الآمان وسهولة المرور وبشكل يتناسب مع قدرة محرك المركبات التي ستسير عليه، وهذا يحتاج مراعاة درجة انحدار الطريق الذي يكون بشكل يتناسب مع نوع المركبات وبقياسات محسوبة بحيث تكون لكل مسافة مستوى معين، فعلى سبيل المثال في الشكل رقم (٤) خريطة كنتورية مرسوم عليها طريق ضمن منطقة جبلية ذات قمة منفـــــردة

مقياس رسمها ١\ ١٠٠٠٠٠ وعلى افتراض أن السفوح مستقرة ويجب مراعاة الانحدار بحيث يكون على سبيل المثال $\frac{10}{200}$ أي تنحدر السفوح ١٠م كل ٢٠٠م أو ١٠٠م كل ٢٠٠٠م ، وبما أن الفاصل الرأسي بين خط واخر ١٠٠م لذا تكون المسافة الأفقية للطريق بين خط واخر ٢٠٠٠م، وبما أن مقياس الرسم كل ١سم = ١٠٠٠م لذا تكون المسافة على الخريطة ٢سم، وبذلك يكون مسار الطريق كما موضح في الشكل المذكور.(٣٣)

شكل رقم(٤) أنواع الطرق في المناطق الجبلية



ومن والجوانب المهمة الأخرى التي يجب مراعاتها هي مدى استجابة مكونات السفوح الترابية والصخرية لعمليات التعرية والتجوية والسقوط والانزلاق والهبوط وخاصة في المناطق التي تتعرض إلى سقوط الأمطار والثلوج التي تسقط في المواسم الباردة وتذوب في المواسم الدافئة فينتج عن ذلك عمليات مختلفة تؤثر على السفوح ومن ثم على الطرق، وهذا ما حدث في ولاية كاليفورنيا في أمريكا حيث أدى زحف مكونات إحدى السفوح إلى إزاحة الطريق المشيد أسفله كما أدى إلى كسر أنابيب المياه.

ومما يزيد من مشاكل الطرق في المناطق الجبلية كثرة الأودية التي تقطعها تلك الطرق خاصة وأنها ذات أعماق سحيقة وسفوح شديدة الانحدار، وقد تكون بعض السفوح ضعيفة التكوينات وتحتاج إلى معالجة فتزداد كلف أنشاء الطريق والمشاكل والمخاطر المحتملة.

وقد تعترض مسار الطريق مرتفعات ذات تكوينات هشة لايمكن قطعها أو المرور عبر سفوحها وتمتد تلك المرتفعات على نطاق محدود لذا يستخدم أسلوب الأنفاق إذا كانت التكوينات تحت السطحية ملائمة لذلك، ومن الجدير بالذكر أن الأنفاق تستخدم منذ فترة طويلة في حل مشكلة النقل في العديد من الدول حيث تم التغلب على مشكلة الازدحام المروري الذي تشهده الطرق فوق سطح الأرض، واستطاعت تلك الدول من تأمين المواصلات لكل سكان المدن الكبرى عبر الإنفاق وبدون مشاكل حيث تتوفر عناصر الأمان والسرعة والراحة واختصار الوقت، وقد استخدمت القطارات والباصات الكبيرة في هذا المجال لأنها تؤدي خدمة افضل من الأنواع الأخرى، وتعتمد المدن الكبرى مثل لندن وباريس وطوكيو وغيرها على النقل عبر الأنفاق.

وتحتاج عملية إنشاء الأنفاق إلى تحري موقعي للتعرف على ما يأتي:

أ- نوع الصخور وما تتضمنه من تراكيب واتجاه ميل الطبقات.

ب- سمك الطبقات التي سيقطعها النفق.

ج- مدى تأثير المنشآت السطحية على الأنفاق التي ستمر من تحتها.

د- عمل مجسات رأسية لفحص نوع التكوينات إلى الأعلى والأسفل من النفق لمعرفة مدى استجابتها للعمليات المختلفة في الوقت الحاضر وفي المستقبل.

هـ- مصادر المواد التي تستخدم في إقامة النفق ومدى توفر البعض منها أو جميعها في المناطق القريبة منه.

و- تحديد المناطق الضعيفة التي تحتاج إلى إقامة دعائم تزيد من متانتها.

ز- طبيعة الوضع الهيدرولوجي السطحي والجوفي ومدى تأثيره على مد النفق.

ح- المناخ السائد في المنطقة وتأثير عناصره على النفق عند التنفيذ أو بعده .

ط- أثار العمليات الجيومورفولوجية الحالية والمتوقعة على النفق.

تتخذ الأنفاق أوضاعا مختلفة اعتمادا على تلك المعطيات وتعد طبيعة امتداد الطبقات الصخرية من اكثر العناصر أهمية والتي تتحكم في نوع النفق الذي يمر عبرها، ومنها ما يأتي:

أنفاق تقام في الصخور الرسوبية والتي تتخذ أوضاعا متباينة حسب طبيعة امتداد وميل الطبقات الصخرية وما تتضمنه من تراكيب أولية وثانوية.

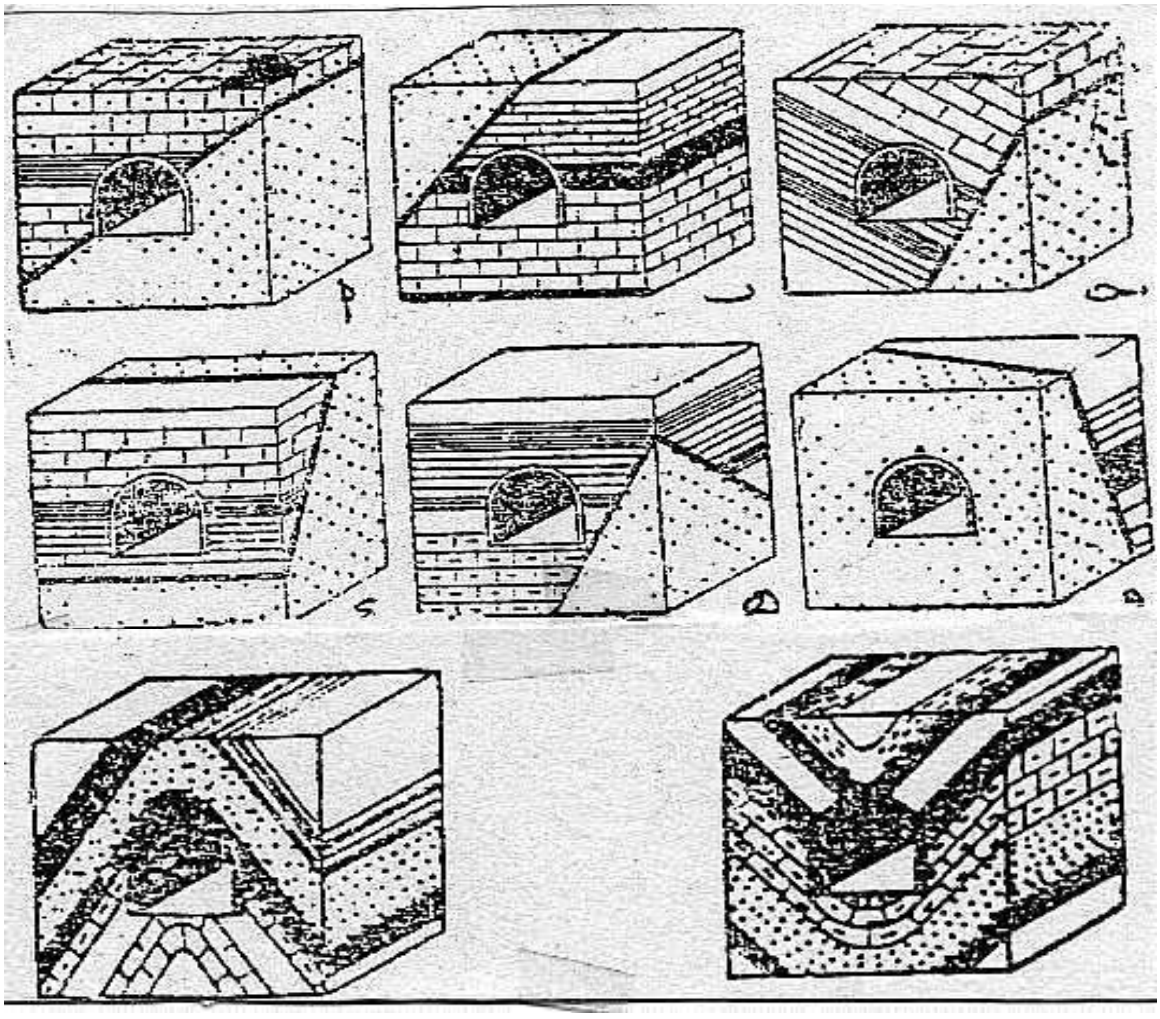
أنفاق تقام عبر الصخور النارية التي تقل فيها التراكيب الثانوية من فواصل وكسور لأنها كتلية وليست طبقية، واكثر صلابة من الرسوبية والمتحولة، شكل رقم(٥أ)

أنفاق عبر صخور هشة ضعيفة التماسك وأنها تحتاج إلى معالجات يترتب عليها تكاليف كبيرة،

أنفاق عبر الطيات، وتكون بعيدة عن قمة الطية لأنها تعد من اكثر النقاط تعرضا للاجهادات والضغط، شكل رقم(٥ب).

أنفاق في طبقات صخرية ذات فوالق وتعد من التراكيب التي تسبب مخاطر على الأنفاق، وفي حالة الاضطرار إلى إنشاء الأنفاق عبرها يجب أن تكون بوضع يتقاطع معها.(٣٤)

شكل رقم(٥) مواقع الأنفاق ضمن بعض التكوينات والتراكيب الصخرية



ب – السهول الفيضية:

تتميز السهول الفيضية عن بقية مظاهر سطح الأرض بانبساطها والتي تسهل عملية مد الطرق فوقها من حيث المبدأ، ألا أن المشاكل التي تعترض ذلك كثيرة ستظهر عند القيام بالتنفيذ بعضها منظورة وأخرى غير منظورة ومنها ما يأتي:

تتكون السهول الفيضية من تربة رسوبية منقولة ضعيفة التماسك والتحمل فيتعرض الطريق إلى الهبوط وخاصة عند مرور مركبات الحمل الثقيلة، لذا تحتاج إلى معالجة لتحسين خواصها أو استبدالها.

وجود قنوات الري والبزل والتي تمتد على شكل شبكات يتقاطع الطريق معها في عدة مواقع ويحتاج ذلك إلى قناطر وجسور فتزداد كلفة الطريق.

تتضمن بعض السهول بحيرات هلالية ومستنقعات لايمكن مد الطريق عبرها لسعتها وضعف صلابة تكويناتها لتشبعها بالمياه وصعوبة أنشاء جسر عليها، لذا يجب الابتعاد عنها نحو مناطق افضل في خصائصها واقل كلفة ومشاكل ألا أنها أطول مسافة.

ارتفاع مناسيب المياه الجوفية بسبب الري المستمر وارتفاع مناسيب مياه النهر خاصة في مواسم الفيضان فتؤثر على خصائص التربة.

التعرض إلى فيضانات الأنهار بشكل مباشر فتعمل على تدمير الطريق.

تأثير المنعطفات النهرية وخاصة على الطرق التي تمر قرب ضفاف الأنهار حيث تعمل على زيادة المسافة حسب نوع الانعطاف، كما تتعرض الطرق القريبة من قمة المنعطفات إلى مخاطر التعرية التي أدت إلى تدمير العديد من الطرق.

يظهر مما تقدم أن مد الطرق عبر السهول الفيضية تعترضه الكثير من المشاكل والتي تحتاج إلى كلف إضافية لغرض تجاوزها، وربما يكون البعض منها يصعب معالجتها مثل الفيضانات التي لا يزال الأنسان غير قادر في السيطرة عليها، وفي نفس الوقت يسعى العالم إلى توفير الطرق التي يتحقق فيها الأمان والراحة وسرعة الوصول.

ج – الهضاب:

تعد الهضاب من الأشكال الأرضية التي تشغل حيزا واسعا من سطح الكرة الأرضية وبأشكال وتكوينات متباينة، فبعضها ذات سطح منبسط وأخري سطحها متضرس، كما تتباين في نوع مكوناتها من حيث الصلابة ، ولكل نوع مشاكل معينة تواجه مد الطرق لذا سيتم تناول كل نوع على حدة وكما تأتي:

هضاب منبسطة:

تتكون بعض الهضاب من تكوينات صخرية جيرية أو طباشيرية أو أي نوع من الصخور الرسوبية الأخرى والتي من خصائصها قابليتها على الذوبان بالماء في المناطق الرطبة التي تتعرض إلى سقوط الأمطار بكميات غزيرة، وربما تسمح طبيعة الطرق بتجمع المياه فوق بعض المواضع لوجود حفر وشقوق ضمنها أو لانخفاضها عما يجاورها أو فوق المناطق

المحاذية لتلك الطرق مباشرة، فتعمل تلك المياه على إذابة بعض مكونات الطريق فينتج عنها تشقق الطبقة العليا منه وتسرب المياه إلى الطبقة التي تليها فتعمل على أضعاف تماسكها وصلابتها ومن ثم هبوطها.

وتزداد المشكلة تعقيدا عند مرور مركبات الحمل الثقيلة فوقها فتعمل على توسع تلك الحفر والشقوق وهبوط تلك المواضع، وقد تصل إلى حد يصعب معه مرور المركبات الصغيرة من تلك المواضع.

وتحدث مثل تلك الظاهرة في بعض المدن وخاصة التي لا تتوفر فيها شبكات لتصريف مياه الأمطار والصرف الصحي تعمل بشكل كفوء، فتوجه مياه الاستعمالات المنزلية والأمطار نحو الشوارع فتتجمع في المواضع المنخفضة وتبقى لفترة طويلة فتؤدي إلى تدمير هذه الأجزاء من الشوارع فتتحول إلى حفر ومطبات وتكون ذات منظر مشوه للطريق. وهذا ما يجب الانتباه إليه عند تخطيط الشوارع، فيجب أن تكون درجة انحدارها كافية لانسياب المياه بشكل طبيعي من الشوارع الفرعية إلى الرئيسة ومنها إلى مجاري تنقلها بعيدا عن تلك الطرق.

هضاب متضرسة:

تتميز بعض الهضاب بقلة انبساطها وتموج سطحها لما تتضمنه من تلال وهضاب صغيرة (الميسا) ووديان متباينة الأبعاد ، لذا يواجه مد الطريق في مثل تلك الهضاب مشاكل عدة تحتاج إلى معالجات وإجراءات لتجاوزها، ففي بعض المواقع يعترض الطريق تلال أو هضاب صغيرة في مثل هذه الحالة أما أن ترفع تكويناتها السطحية للحفاظ على مستوى الطريق واستقامته أو تغيير المسار إذا كانت تكويناتها رملية أو تتضمن أشكال كارستية تؤدي إلى هبوط الطريق في المستقبل، وفي حالة عدم وجود إمكانية للقيام بتلك الإجراءات تتخذ إجراءات أخرى لتحسين تلك التكوينات مثل استبدالها بمواد اكثر صلابة مثل استخدام صخور صلبة أو كتل كونكريتية.

أما في حالة اعتراض الطريق مناطق منخفضة فيجب دفنها بتكوينات صلبة لرفع منسوبها إلى مستوى الأراضي المرتفعة المحيطة بها للحفاظ على مستوى واستقامة الطريق حسب المخطط، وربما يتطلب الأمر رفع بعض تكوينات تلك المنطقة واستبدالها بأفضل منها ذات قدرة تحمل عالية.

وفي حالة اعتراض الطريق أودية فيجب أنشاء جسور وقناطر وبأوضاع ملائمة لتلك الطرق وبارتفاع يسمح بعبور اكبر موجة سيل يشهدها الوادي لتجنب مخاطرها التي أدت إلى تدمير العديد من تلك الجسور في المناطق الصحراوية التي تعرضت إلى أمطار شديدة نتج عنها سيول عارمة غمرت الجسور فتعرضت إلى عمليات التعرية مع قوة اندفاع المياه التي تضغط بها على الجسور فتعمل على دفعها وتدميرها.

الهضاب ذات التكوينات الهشة:

يغطي سطح مساحات واسعة من المناطق الصحراوية تكوينات غير متماسكة كالرمال وتربة اللوس والتي تعد ضعيفة التحمل لذا يكون مد الطريق عبرها مكلفا، وقد يتطلب الأمر أزالتها واستبدلها بأخرى افضل منها، وربما تكون

الرمال على عمق كبير يصعب رفعها ومعالجتها ومد الطريق فوقها، مثل صحراء الربع الخالي في الجزيرة العربية وبحار الرمال في الصحراء الأفريقية.

وحتى أن تم مد تلك الطرق فهنالك مشكلة أخرى تتعرض لها في تلك المناطق وهي تحرك الرمال والأتربة نحوها فتسبب مشاكل بيئية ومرورية، الأولى تتعلق بتحديد الرؤيا والتلوث والثانية تجمع كميات كبيرة من الرمال فوق الطريق فتؤثر على حركة المرور وتعمل على عرقلته، وقد يتسبب في حوادث ينتج عنها خسائر مادية وبشرية.

وقد حدث هذا في ولاية نيفادا الأمريكية إذ يؤدي زحف الرمال إلى تغطية طريق المرور السريع مما يضطر الجهات المسؤولة إلى أزالته بين فترة وأخري وتصل إلى ثلاث مرات في السنة على الأقل، وفي كل مرة يزاح ما بين ١٥٠٠و ٤٠٠٠م٣ من الرمال ورغم المحاولات الجادة لتثبيت الكثبان الرملية ألا أنها لم تفلح .(٣٥)

ومن التكوينات الهشة في المناطق الصحراوية أراضي السبخات التي توجد في المخفضات الصحراوية التي تتجمع فيها مياه الأمطار حاملة معها رواسب واملاح مختلفة هشة وغير متماسكة، وقد تكون تلك المناطق منخفضة إلى حد ترتفع فيه مناسيب المياه الجوفية إلى مستوى قريب من سطح الأرض فتظهر الأرض وكأنها محروثة وذلك لجفاف الطبقة الرقيقة السطحية لتعرضها إلى الهواء والحرارة فتنكمش تلك الطبقة ويرتفع جزء منها بشكل بارز فيظهر سطحها متضرس، وتعد تلك المناطق ضعيفة التحمل يصعب مد الطرق فوقها ألا بعد معالجات مكلفة.

د- مناطق البحيرات والمستنقعات الجافة ومجاري الأنهار المطمورة:

يغطي سطح البحيرات والمستنقعات الجافة رواسب غير متماسكة وهشة ضعيفة التحمل لذا تتعرض إلى الهبوط والانخساف عند مرور المركبات الثقيلة فوقها، وعليه يجب معالجة تلك التكوينات بخلطها بمواد تحسن من خصائصها أو استبدالها بتكوينات افضل.

وكذلك الحال بالنسبة لمجاري الأنهار المطمورة أو المتروكة التي تتكون من رواسب رملية ضعيفة التحمل تغطيها طبقة رقيقة من الطين، فعند مد الطريق فوقها يتعرض إلى الهبوط وربما يصل مستوى المطبات إلى حد لا يمكن أن تمر السيارات عليها، وهذا ما حدث في مدينة الرمادي في العراق حيث تعرض أحد الطرق المارة فوق نهر مطمور لمسافة لاتزيد عن ١كم إلى الهبوط لمرور المركبات الثقيلة عليه وتمت معالجته بحلول ترقيعية عدة مرات والتي لم تجدي نفعا ألا أخرها وهو رفع تلك التكوينات واستبدالها بصخور صلبة، وقد كانت تكاليف المعالجة تفوق كلفة أنشاء هذا الجزء من الطريق اكثر من ضعفين.

هـ- مناطق التكوينات الجليدية:

تعد المناطق التي كان يغطيها الجليد سابقا والمناطق التي غطتها الرواسب الجليدية من المناطق الضعيفة التماسك والتحمل، حيث عمل التجمد والذوبان على أضعاف تماسك تلك التكوينات، وكذلك الحال بالنسبة للرواسب التي

نقلتها الثلوج والمياه الناتجة عن أذابتها فهي ضعيفة التماسك والتحمل، لذا عند مد الطريق فوقها يجب معالجتها من خلال حقنها بمواد صلصالية غير مسامية تزيد من تماسكها.(٣٦)

ومن الجدير بالذكر أن اختيار المواضع الملائمة لأنشاء الطريق لا يتوقف على التكوينات السطحية فقط بل يشمل التي تحتها فكلما كانت صلبة وخالية من الشقوق والكسور ساعدت على زيادة قوة تحمل الطبقة العليا وتسهم في إدامة الطريق، وبالعكس إذ يؤدي ضعفها إلى تقليل أو أضعاف الطبقة التي تعلوها، وعليه يجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار نوع تلك التكوينات عند أنشاء الطرق.

مكونات الطرق:

تتكون الطرق من ثلاث طبقات رئيسية وكما يأتي:

الطبقة السفلى أو تحت الأساس:

وتشمل مكونات سطح الأرض التي يمر فوقها الطريق والتي تختلف من مكان لاخر عبر المسافة الطويلة التي يمتد عبرها الطريق، حيث تتباين خصائص المكونات فبعضها جيد والبعض الأخر غير جيد ويحتاج إلى معالجة، وتعد تلك الطبقة ذا أهمية كبيرة لتركز ضغط حركة المركبات عليها عبر الطبقات التي تعلوها وعليه أي خلل فيها تنعكس أثاره على تلك الطبقات فيتعرض الطريق إلى التشقق والهبوط، لذا يجب أن تكون طبقة متماسكة وصلبة ولاتسمح للمياه بالتسرب خلالها وعليه يتم ضغطها بمكائن ثقيلة لزيادة تماسكها وصلابتها.

طبقة الأساس:

تقع فوق الطبقة السابقة ويتركز عليها ثقل المركبات والذي يتوزع بشكل متساوٍ على أجزاء تلك الطبقة فيكون تأثيرها على التي تحتها اقل، لذا يجب أن تتمتع بمتانة عالية بحيث لا تتأثر بعناصر المناخ، لذلك تستخدم قطع الصخور الصغيرة أو الجروشة كمواد أولية لهذه الطبقة، وفي حالة عدم توفرها تستخدم الترب الطينية الثقيلة المتماسكة والصلبة وقليلة التأثر بالعوامل الخارجية.

الطبقة السطحية:

وتمثل الجزء العلوي أو السطحي من مكونات الطريق والتي تكون عبارة عن خرسانة ممزوجة من القير أو الإسفلت أو الأسمنت والحصى المتوسط الحجم أو الصخور المجروشة، والتي تمزج وفق مقادير معينة ففي حالة زيادة نسبة القير تكون الخلطة لينة وقابلة للتمدد عند ارتفاع درجة الحرارة، أما إذا قلت نسبة القير وازدادت نسبة الحصى أو الحجر فيكون الطريق خشن وذا مسامية عالية تسمح بتسرب المياه في داخل مكونات الطريق فتعمل على أضعاف تماسكه، ولغرض تجاوز السلبيات التي تتعرض لها الطرق يجب أن تتصف المواد المستخدمة في تلك الطبقة السطحية بما يأتي:

أ- مواد صلبة ذات مقاومة انضغاطية عالية.

ب- قليلة المسامية والنفاذية

ج- خشونة أسطح الحصى والصخور المجروشة لزيادة التماسك والمتانة.

د- قلة تأثر المواد المستخدمة بعناصر المناخ.(٣٧)

المتطلبات الأساسية لإنشاء الطرق:

أن إنشاء الطرق يتطلب مراعاة جوانب مختلف تصب جميعها في تحقيق المتانة وقلة المشاكل ومنها مايأتي:

١- طبيعة تضاريس المنطقة ودرجة انحدار سطح الأرض وسفوح المرتفعات والأودية.

٢- موقع الطريق بالنسبة لشواطئ البحار ومجاري الأنهار ومدى تأثيرها عليه من خلال عمليات التعرية والتجوية وما تتضمنه من تعرجات ومنعطفات تزيد في أطوال الطرق.

٣- نوع التكوينات السطحية وتحت السطحية في المواضع التي تمر بها الطرق.

٤- طبيعة المياه الجوفية ومدى تأثيرها على الطريق عند إنشاءه .

٥- أنواع التساقط التي يتعرض لها الطريق على طول امتداده مطرية كانت أم ثلجية وأثارها على مكوناته وحركة المرور فوقه.

٦- نوع البيئة التي يمر بها الطريق واثرها عليه مثل المرور في المناطق الصحراوية وما يتعرض له الطريق من مشاكل منها حركة الرمال، أو المرور في مناطق سهلية تتعرض إلى مخاطر الفيضانات، أو المرور في منطقة جبلية تتعرض إلى عمليات سقوط وانزلاق وهبوط.

٧- مدى توفر المواد اللازمة لأنشاء الطريق كالقبر والإسفلت والأسمنت والصخور والحصى.

٨- اختيار اقصر الطرق واقلها مخاطر واكثر راحة وأمانا .

٩- عمل مجاري على جانبي الطريق لتجميع مياه الإمطار والثلوج الساقطة فوق الطريق والمناطق المجأورة لها ونقلها بعيدا عنه.(٣٨)

١٠- عدم السماح بتوجيه مياه الاستعمالات المنزلية والصرف الصحي والأمطار نحو الشوارع والتي تعمل على تدميرها.

١١- تخطيط شوارع المدن بشكل يضمن انسياب مياه الأمطار نحو مناطق تخصص لتجميع المياه خارج الشوارع.

١٢- عدم مد أنابيب شبكات مياه الشرب والصرف الصحي في وسط الطرق بل تكون ضمن الرصيف المخصص للمشاة، حيث يؤدي مرور المركبات الثقيلة فوق تلك الأنابيب إلى تكسيرها وتدمير الطريق، وقد تكون الآثار غير واضحة في البداية الأبعد مرور فترة من الزمن فيتعرض الطريق إلى الهبوط أو الانخساف.

١٣- اتخاذ التدابير اللازمة لمواجهة المشاكل القائمة والمتوقعة التي تتعرض لها الطرق المارة من اسفل السفوح والتي تكون مخاطرها كبيرة على مستخدمي الطريق.

١٤- مراعاة المشاكل الناجمة عن تأثير البحار على الطرق المارة قرب السواحل من حيث التعرية والأمواج.

٣- تخطيط الجسور على مجاري الأنهار والأودية الجافة.

تقام الجسور لغرض استمرار الطريق عبر مجاري الأنهار والأودية، والتي يتم اختيار مواضعها وفق أسس معينة منها ما يأتي:

أ- اختيار أضيق المناطق ضمن المجرى لغرض الأمان وقلة التكاليف.

ب- يتقاطع الجسر مع المجرى بشكل مستقيم وليست مائل لتقليل التكاليف والمخاطر.

ج- عدم إقامة الجسور عند المنعطفات لاتساع المجرى وتركز عمليات التعرية والارساب فيها اكثر من المناطق التي تميل إلى الاستقامة مما يعرضه إلى مخاطر فضلا عن ارتفاع التكاليف.

د- أن تكون ضفاف المجرى ذات تكوينات صلبة وقابلية تحملها عالية وقليلة الاستجابة لعمليات التعرية والتجوية ، وفي حالة عدم توفر تلك الخصائص الملائمة فيجب بناء مساند كونكريتية أو استبدال التكوينات الضعيفة بأخرى صلبة.

هـ - تصميم الجسور على ارتفاع عال بحيث لا تؤثر عليه أعلى موجة فيضان يحتمل أن يشهدها النهر للحفاظ على الجسور من التدمير والتي قد يترتب عليها خسائر مادية وبشرية.

أما على الأودية الجافة فيكون الجسر على ارتفاع لا تؤثر عليه السيول عند حدوث زخات مطر شديدة، وتعد مستويات السيول في السنوات الماضية الأساس الذي يمكن الاعتماد عليه عند إقامة الجسور.

و- تصميم الجسور بشكل يتناسب مع طبيعة حركة المرور ونوع المركبات التي ستمر عليه والموضع الذي يقام الجسر فوقه، وعلى العموم تكون الجسور مقوسة في المدن بالنسبة للطرق العادية ومستقيمة في طرق المرور السريع.

ز- عدم السماح للرواسب بالتجمع في قاع المجرى أو الوادي أمام الجسور أو تحتها والتي تعمل على رفع مناسيب المياه فتؤثر على الجسور والضفاف من خلال عمليات التعرية والانهيار .

الاستنتاجات والتوصيات

أن الاستفادة من المعلومات الجيومورفولوجية في مجال تخطيط المشاريع الهندسية في الدول النامية محدود جدا لعدم تدريس تلك المادة في التخصصات ذات العلاقة، ويعود السبب إلى قلة المتخصصين في هذا المجال وعدم وجود مؤلفات فيه تتضمن المفردات الواضحة التي يستطيع الباحث العلمي الاعتماد عليها في كتابة البحوث التطبيقية المتعلقة بتخطيط المشاريع الهندسية المختلفة، ويغيب عن ذهن الكثير أن الجيومورفولوجيا والمناخ يتحكمان في أي نشاط يمارسه الأنسان، فعامل التضاريس وطبيعة المناخ في المكان يفرضان على الأنسان التكيف لهما، لذا تتعرض كثير من المشاريع بعد تنفيذها إلى مشاكل تكون كلف معالجتها تفوق كلف دراساتها قبل التنفيذ، وعليه يمكن اعتماد التوصيات الآتية الغرض تجاوز بعض المشاكل البيئية التي تتعرض لها المشاريع الهندسية:

١- أعداد معلومات تفصيلية عن الوضع الطوبوغرافي لموضع وموقع المشروع،ونوع التكوينات وطبيعة الانحدارات.

٢- دراسة طبيعة المناخ السائد وبشكل مفصل يشمل جميع عناصر المناخ والتي تؤثر على المشروع عند التنفيذ وبعده.

٣- ادخال مقرر الجيومورفولوجيا التطبيقية في مجال تخصصات التخطيط والهندسة،ليكون المختص في هذا المجال يمتلك معلومات أساسية عن اهمية الجيومورفولوجيا في مجال تخطيط وتصميم المشاريع الهندسية المختلفة.

٤- تشكل لجان خاصة بتخطيط المشاريع تضم تخصصات تتعلق بالتخطيط ومنهم مختص في الجيومورفولوجيا التطبيقية.

٥- تطرح المشاريع التي يتم اقتراحها على المؤسسات العلمية مثل الجامعات وتعقد ندوات لدراسة تلك المشاريع يشترك بها جميع الباحثين من ذوي الاختصاص ومن خلال تعدد الآراء حول الإيجابيات والسلبيات يمكن الحد من السلبيات التي قد ترافق تنفيذ المشروع وزيادة المنافع المتحققة منه.

المراجع

١- د.صلاح الدين علي الشامي، الجغرافيا دعامة التخطيط منشأة المعارف الإسكندرية ط ٢ ١٩٧٦ ص ١٧٣ .

٢- دور كلير ، الجيولوجيا الفيزيائية، ج ١ ، ترجمة د.غسان محمد السبتي ،جامعة صلاح الدين ط ١٩٨٢ ص ١٩٠

٣- جون أني ، ساندرس ، الجيولوجيا الفيزيائية، ترجمة مجيد عبود جاسم ، كلية الهندسة جامعة البصرة ١٩٨٣ ص ٣٥٣ .

٤- أدور كلير الجيولوجيا البيئية مصدر سابق ص ٢١٨

٥- جون أي ساندرس الجيولوجيا الفيزيائية مصدر سابق ص ٣٧٣

٦- المصدر السابق ٣٥٩ .

٧- المصدر السابق ص ٣٧٣ .

٨- أدور كلير الجيولوجيا البيئية مصدر سابق ص ٩٦

٩- د. زهير رمو فتوحي، الجيولوجيا الهندسية التحري الموقعي ، دار الكتاب للطباعة والنشر الموصل ١٩٩٠ ص ٢٦٤ .

١٠- د. حسن سيد أحمد أبو العنين أصول الجيومورفولوجيا، دراسة الأشكال التضاريسية لسطح الأرض ط٣ مؤسسة الثقافة الجامعية القاهرة ١٩٧٦ ص ٣٣٢ .

١١- أدور كلير الجيولوجيا البيئية مصدر سابق ص ١٠٤ .

١٢- د. صلاح الدين علي الشامي،الجغرافيا دعامة التخطيط ، مصدر سابق ص ١٧٣ .

١٣- د. محمد يوسف ، د.عمر حسين شريف ، د. عدنان باقر النقاش ، أساسيات علم الجيولوجيا مركز الكتب الأردني ١٩٩٠ ص ٢٣٦ – ٢٣٧ .

١٤- د. زهير رمو فتوحي . الجيولوجيا الهندسية مصدر سابق ٩٧ .

١٥- د. صلاح الدين علي الشامي، الجغرافيا دعامة التخطيط ، مصدر سابق ص ١٧١ .

١٦- د. حسن رمضان سلامة ، مظاهر الضعف الصخري وأثارها الجيومورفولوجية بحث منشور في مجلة الجمعية الجغرافية الكويتية ، جامعة الكويت عدد٥٣ سنة ١٩٨٣ ص٦ .

١٧- المصدر السابق ص٣٠ .

١٨- أدور كلير الجيولوجيا البيئية مصدر سابق ص ١١٠ .

١٩- د. محمد يوسف وأخرون أساسيات علم الجيولوجيا ، مصدر سابق ص ٢٧٠ .

٢٠- أنا تولي ريمشا، تخطيط وبناء المدن في المناطق الحارة ترجمة .د. دأود سلمان المنير سوريا، حلب ، سنة ١٩٧٧ ، ص ٨٧ .

٢١- د. وليد عبد الله المنيس التخطيط الحضري والإقليمي، دار ذات السلاسل للطباعة والنشر، الكويت ١٩٨٥ ص ٧٦ .

٢٢- د. عبد الرزاق عباس حسين، جغرافية المدن مطبعة أسعد ١٩٧٧، ص ٣٥ .

٢٣- د.صلاح الدين علي الشامي،الجغرافيا دعامة التخطيط،مصدر سابق،ص.٣٦٦

٢٤- - أنا تولي ريمشا ، تخطيط وبناء المدن في المناطق الحارة،مصدر سابق ١٩٧٧ ، ص ٧٣ .

٢٥-- أدور كلير الجيولوجيا البيئية مصدر سابق ص.٣٤١

٢٦-د.عبدالاله أبو عياش،مدينة عمان،دراسة في الهجرة الداخلية والتضخم الحضري .بحث مقدم إلى المؤتمر الخامس لمنظمة المدن العربية،الرباط١٩٧٧،للفترة من ٨-١٢حزيران،ص.١٨٦

٢٧- د.مصطفى حاج عبد الباقي،النمو العمراني الحضري في مدينة مكة المكرمة، المشاكل والحلول،بحث مقدم إلى المؤتمر الثامن لمنظمة المدن العربية،الرياض ١٩٨٦،ص.٢١

٢٨- ارثين ليفون،زهير ساكو،إنشاء المباني،ط١،دار الكتب للطباعة والنشر،جامعة بغداد،١٩٨٢،ص.٣٧

٢٩- المصدر السابق،ص٣٨.

٣٠- المصدر السابق ،ص٣٠٣.

٣١- أدور كلير الجيولوجيا البيئية مصدر سابق ص٩٥.

٣٢- د. زهير رمو فتوحي، الجيولوجيا الهندسية مصدر سابق،ص.١٤٤

٣٣- د.محمد صبحي عبد الحكيم وماهر عبد الحميد الليثي،علم الخرائط، مكتبة الانجلو المصرية، ،ص٢٤٧

٣٤- د. محمود توفيق سالم؛ أساسيات الجيولوجيا الهندسية، دار الراتب الجامعية بيروت ١٩٨٥ص٢١٢-٢١٤.

٣٥- أدور كلير؛ الجيولوجيا البيئية، مصدر سابق، ص ١٣٨.

٣٦- د. حسن سيد احمد أبو العينين؛ أصول الجيومورفولوجيا، مصدر سابق ص٧١٣.

٣٧- د. زهير رمو فتوحي؛ الجيولوجيا الهندسية، مصدر سابق، ص٣٠٠.

٣٨- د. حسن سيد احمد أبو العينين؛ أصول الجيومورفولوجيا، مصدر سابق، ص ٧١٨.