العلاقة بين المركبات والطريق

مقدمة عامة:

تعتمد حياة الأفراد في كل مجتمع متطور على اختصار زمن انتقالهم من مكان الى آخر، وكذلك على سرعة حصولهم على متطلبات حياتهم اليومية ووصولهم إلى أماكن عملهم، وهذا بدوره مرتبط بشكل أساسي بشبكات المواصلات المتوفرة وبدرجة رقيها وتطورها وملاءمتها للغرض الذي وجدت من أجله.

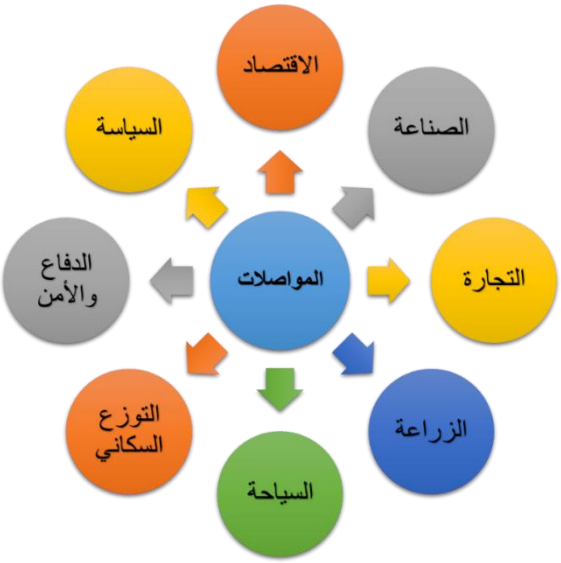
تعتبر المواصلات بشكل عام والطرق بشكل خاص الشريان الأساسي والحيوي لكل المجتمعات، وأفضل تشبيه لها يتمثل في كونها الشريان الحيوي للمجتمع، لأن وظيفتها شبيهة بوظيفة الشرايين في جسم الإنسان، كما تعد الطرق خارج المدن من أقدم أنواع المواصلات المستخدمة للتواصل بين الشعوب، وتعود بداياتها إلى العصور الأولى لتحضّر الإنسان.

<u>تعريف المواصلات:</u>

هي نقل الأفكار والأشياء والأحياء من مكان إلى آخر بواسطة وسائط نقل واتصال محددة وعبر منشآت مخصصة، لذلك تعتبر المواصلات الشريان الأساسي والحيوي لكل مجتمع من المجتمعات، بحيث أن تقدم الأمم والشعوب أصبح يقاس بدرجة تطور شبكة المواصلات لديها.

وتعتبر المواصلات بحد ذاتها عملاً منظماً يكون مردوده استطاعة نقل الأفكار من مكان لآخر، أو نقل الأشخاص من المسكن إلى العمل أو أماكن الترفيه وغيرها، وكذلك نقل المواد الأولية أو الزراعية من أماكن استخراجها إلى أماكن تصنيعها ومن ثم تسويقها وايصالها للمستهلك، وبالتالي المواصلات خاصة أساسية إنتاجية في حياة كل مجتمع، وتنعكس على كل مفاصله،

وتتطلب هذه الخاصية تشييد منشآت خاصة بها وتصنيع وسائط النقل، بهدف تقديم الخدمات للفرد والمجتمع على مستوى من الرقي والتطور.



شكل توضيحي لترابط المواصلات مع مجالات ونشاطات حياة المجتمع المختلفة

أنواع المواصلات:

تقسم المواصلات حسب طبيعة مساراتها إلى:

- **أرضية (سكك حديدية وطرق)**
- **مائية**
- **جوية**

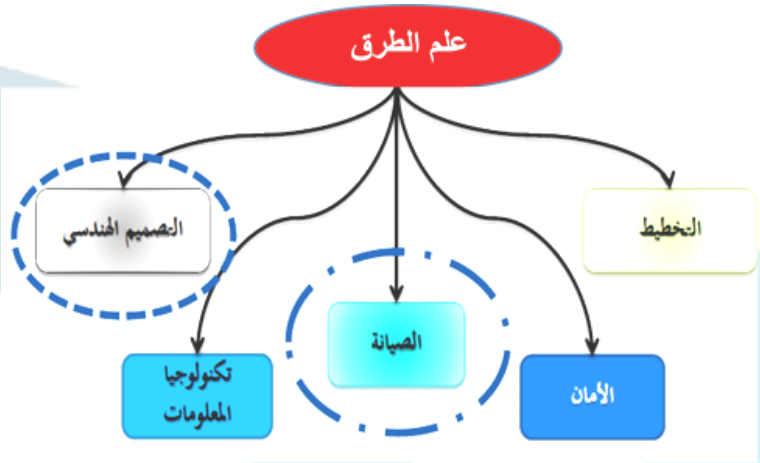
المواصلات الأرضية (الطرقية)

وتعتبر شريحة مهمة وأساسية من شرائح المواصلات، حيث تمتاز بمرونة عالية، تحدد مساراتها على اليابسة، وتتمثل بشريط من الأرض محدد ومجهز لسير العربات. يقتصر دور المواصلات الطرقية على اليابسة الذي يعتبر جيد للمسافات القصيرة والمتوسطة، ويكمل بنفس الوقت النقل بالسكك الحديدية التي تأخذ الأولوية للنقل بكميات كبيرة ولمسافات متوسطة وطويلة على سطح اليابسة، ولا يمكن تخطي العوائق المائية إلا باستخدام النقل البحري البطيء الأكثر أماناً واستطاعةً، ويكمل الأنواع المذكورة سابقاً النقل الجوي السريع، أي أنه من غير الممكن اعتماد وتعميم نوع واحد من المواصلات لتلبية احتياجات المجتمع، بل لابد من التنسيق والتكامل بين كافة أنواع المواصلات، بحيث نحصل على **وحدة نقل كاملة متكاملة**.

لقد ارتبطت مهنة المهندس المدني بكل ما له علاقة بتصميم وإنشاء البنى التحتية لوسائل النقل والمواصلات المختلفة، وصار لزاماً تأمين آلية للربط بين عملية رسو السفينة مع حركة الروافع العملاقة وبجانبها السكك الحديدية والطرق المجاورة، ومن ثم تناول الحاويات وتنسيقها في ساحات، من خلال روافع متحركة على دواليب إلى شوارع قريبة، وتأمين حركة القطارات بجانبها لإخراجها من المرفأ أو تأمين طرق الحركة الخاصة بالشاحنات أيضاً.

أهمية تخطيط الطرق

احتل تخطيط الطرق وتصميمها حيزاً كبيراً من الأهمية في بداية القرن العشرين، وجاء ذلك نتيجة لتطور العربات، وتعتبر مشاريع الطرق من أهم مشاريع البنية التحتية التي تساعد على تنامي الاقتصاد القومي، والتي تعبر عن مدى تقدم الأمم ورقي الشعوب، وهي من المشاريع التي تستهلك الكثير من موارد الدول المالية، والتي تسترد تكاليفها على المدى الطويل، لذلك ومن الضروري الاهتمام بكل من تصميم وتنفيذ هذه المشاريع للتأكد من الوصول للعمر التصميمي المرجو، ولتوفر تكاليف الصيانة الناتجة عن أي تقصير في التصميم أو في التنفيذ.

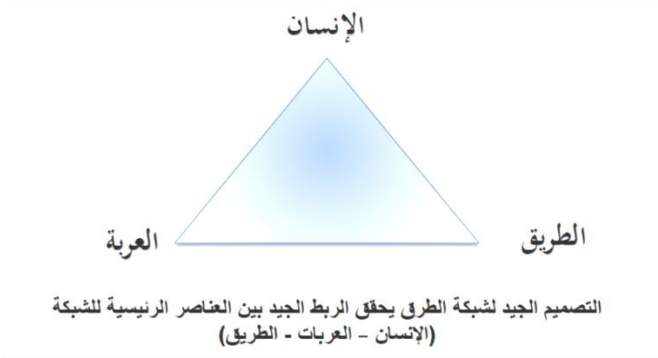


ويعرف التصميم الهندسي للطرق على أنه عملية ايجاد الأبعاد الهندسية لكل طريق وترتيب العناصر المرئية له مثل المسار ومسافات الرؤية والانحدارات..... الخ، ومن أهم المعطيات اللازمة للتصميم الهندسي للطرق هي:

- **أهمية المشروع وأهدافه.**
- **المسح الطبوغرافي لمسار الطريق ووضع المخططات المطلوبة.**
- **ميكانيك التربة وتحديد أنواع الترب وقدرة التحمّل لكل منها.**
- **الدراسة الهيدرولوجية ومواقع المسيلات والأعمال الصناعية المتوقّعة.**

- **القيم المرورية المتوقّعة ونسب العربات.**
- **نتائج الدراسات الاستطلاعية والأولية لمسار الطريق بمختلف أنواعها.**
- **نتائج الاستقصاءات الميدانية لمسار الطريق وجواره، التي يجب على المصمّم القيام بها.**
- **نقاط التحكم الإجبارية والتي تعترض المسار الأفقي للطريق.**

عناصر شبكة الطرق



التصميم الجيد لشبكة الطرق يحقق الربط الجيد بين العناصر الرئيسية للشبكة
(الإنسان – العربات - الطريق)

ومن خلال مراقبة التبادل بين هذه العناصر ودور العامل البشري في حركة النقل نجد أن:

- ✓ الإنسان (سائقون، ركاب، مشاة، دراجين) عنصر مهم وفعال في شبكة الطرق ويؤثر في كل مرحلة من مراحل التصميم والإدارة، وهو المستفيد الأول والأخير من الشبكة الطرقية.
- ✓ الصفات الإنسانية متنوعة بشكل كبير وتصرفات البشر غير متوقعة في كثير من الأحيان من حيث القدرات أو الخصوصية.
- ✓ الصفات الإنسانية الفيزيائية (يمكن أن تقاس وأن تحدد قيم لها)، أما الصفات الإنسانية النفسية (من الصعب قياسها وتحديد قيم خاصة لها).

قيادة العربة هي عملية معقدة ومستمرة زمنياً طوال فترة القيادة، وتتضمن مراقبة كل العوامل المحيطة بالسائق من طريق وعربات ومشاة وراكبي دراجات، ومن ثم اتخاذ القرارات المناسبة لذلك. تتضمن قيادة العربات ثلاث مهام رئيسية:

- **التحكم: (التحكم بالسرعة، التسارع، الفرملة، التحكم بمقود العربة).**
- **التوجيه: (أي الحفاظ على مسافات الأمان المناسبة، البقاء في الحارات المخصصة للحركة، تجنب الاصطدام بالمحيط).**
- **القيادة: (اختيار المسار الصحيح، تتبع لوحات الدلالة والإرشاد وإشارات المرور المنظمة**

يستخدم السائق خلال قيادة العربة الحواس التالية:
الشعور والتوازن (بين القوى المحيطة والقوى الداخلية للعربة)، الرؤية (حيث أن 90% من المعلومات التي يتلقاها السائق تكون عن طريق البصر)، السمع (وهو مهم جداً للتفاعل مع البيئة والطريق)، الشم (من أجل تحديد وضع العربة في حالات الطوارئ).

زمن رد فعل السائق: هو التأخر الزمني بين ظهور الحدث في البيئة المحيطة بالسائق وبداية اتخاذ رد الفعل المناسب لهذا الحدث، ويتضمن زمن رد الفعل كل مراحل اتخاذ القرار:

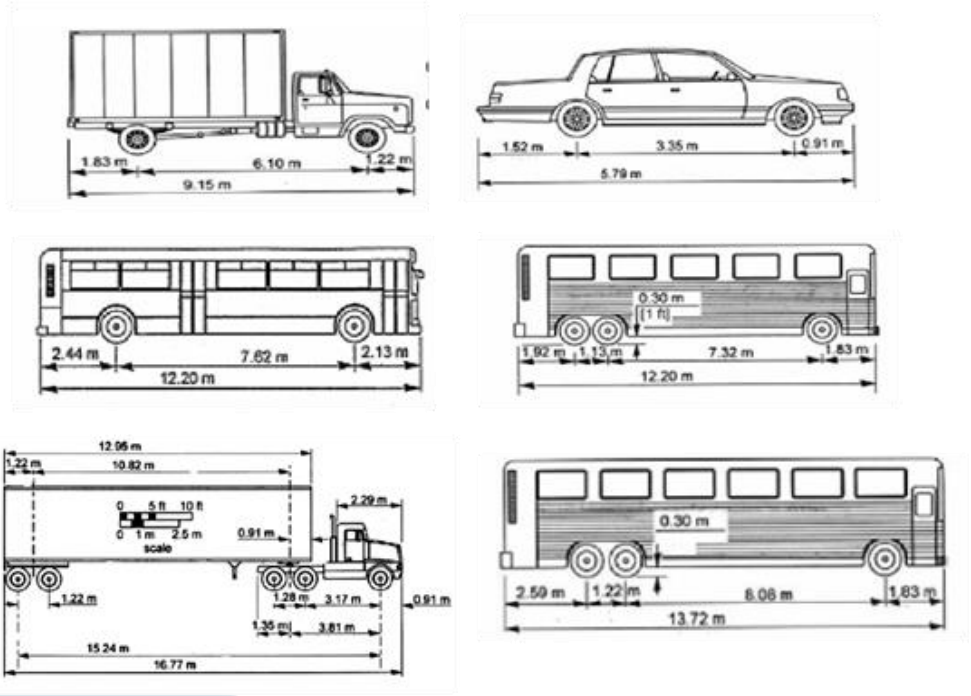
- **الحواس واستقبال البيانات (رؤية عائق على الطريق).**
- **تحليل البيانات وتحديد الخيارات (تحديد نوع العائق).**
- **اتخاذ القرار بالمقاربة بين الحالة والأهداف (تجنب العائق أم متابعة السير عليه).**
- **بداية تنفيذ القرار (بدء تحريك القدم أو اليدين للتحكم بالمكابح أو بمقود العربة).**

يتراوح زمن رد الفعل بين 0.5 و7 ثواني، ولكن معظم السائقين لديهم زمن رد الفعل بين 1 و2 ثانية، وتغطي نسبة 85% من زمن رد فعل السائقين القيمة 2.5 ثانية، ووفق الآشتو AASHTO (American Association of Highway and Transportation Officials)، (تقطع العربة مسافة 70 متر إذا كانت سرعتها 100 كم/ سا). **تؤثر عوامل مختلفة في اختلاف زمن رد فعل السائق:**

- ظروف الطريق (مبلل أو جاف أو جليد أو ثلج – نهار أو ليل – حضري أم خارجي)
- عمر السائق
- القدرة على الرؤية
- حالة السائق الفيزيائية: (التعب – حدة البصر – الحالة الصحية - تحت تأثير المخدرات أو الخمور)
- مستوى تعقيد القرار و الحالة
- مستوى تعقيد العمل المطلوب
- الحالات المتوقعة و الحالات غير المتوقعة.

العربة التصميمية:

تتحكم الميزات الفيزيائية للعربة وأبعادها **(نسبة قوة الجر إلى الوزن، ارتفاع العربة وعرضها وقدرتها على الانعطاف ونصف قطر الانعطاف الأصغري لها)**، بالتصميم الهندسي للطريق، أما عناصر الطريق المؤثرة فهي تتضمن اختيار الميل الأعظمي، عرض حارة المرور، اتساع المنعطف الأفقي للحركة، تصميم التقاطعات.



نماذج لعربات نموذجية تصميمية

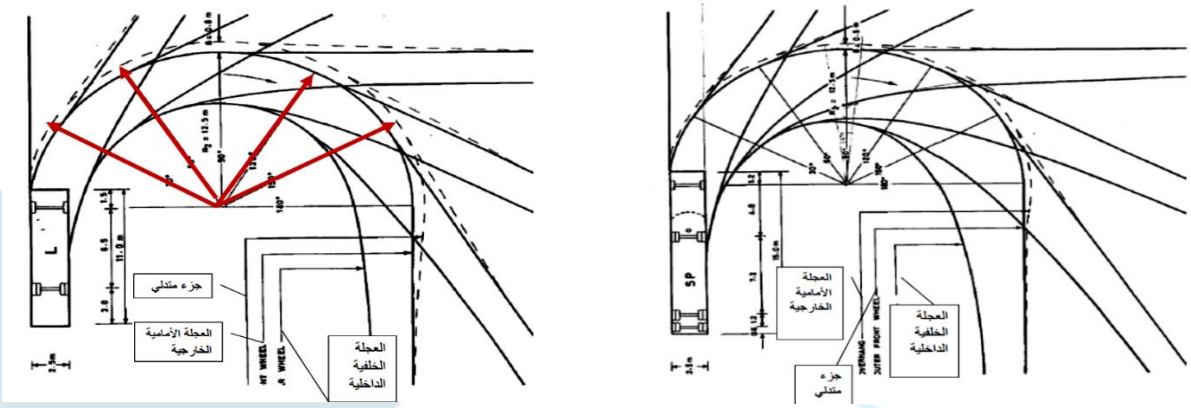
أبعاد وميزات العربة التصميمية

العربة التصميمية	رمز العربة التصميمية	الكل (m)			الأجزاء المتدلية(m)		عجلة أساسية	نصف قطر الانعطاف التصميمي الأصغري(m)
		الارتفاع	العرض	الطول	الأمامية	الخلفية		
عربة صالحة للاستخدام	DV1	1.3	2.1	5.8	0.9	1.5	3.4	7.3
شاحنة مفردة	DV2	4.1	2.6	11.0	1.5	3.0	6.5	12.8
باص مفرد	DV3	4.1	2.6	12.1	2.1	2.4	7.6	12.8
عربة نصف مقطورة مفردة	DV4	4.1	2.6	15.2	1.2	1.8	4.8+8.4=13.2	13.7

أنواع العربات النموذجية وأبعادها

أنصاف أقطار الدوران لمسارات العربات النموذجية في التصميم الهندسي للطرق

تصنيف العربة	نصف القطر الأصغري(م)	نصف القطر الدوراني المحوري(م)	نصف القطر الداخلي الأصغري(م)
P	7.3	6.4	4.4
SU	12.8	11.6	8.6
WB-12	12.2	11	5.9
WB-15	13.7	12.5	5.2
WB-19	13.7	12.5	2.4
WB-20	13.7	12.5	1.3
WB-20D	13.7	12.5	5.9
BUS-12	13.7	12.4	8.4
BUS-14	13.7	12.4	7.8
S-BUS-11	11.9	10.6	7.3
S-BUS-12	12	10.8	7.7
A-BUS	12.1	10.8	6.5



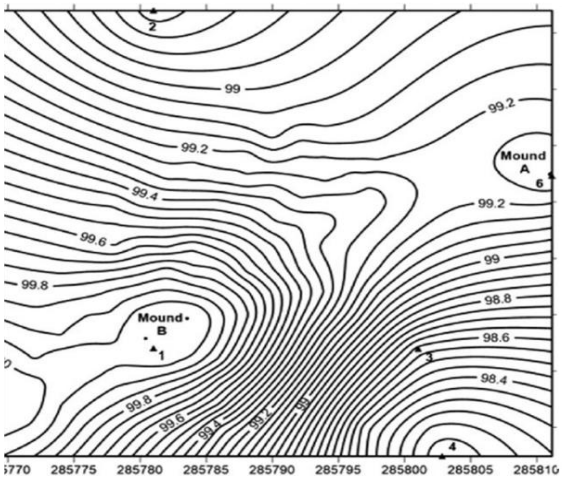
أشكال توضيحية لطريقة الإنعطاف الأعظمية المناسبة لعربات مختلفة (شاحنة مفردة، عربة نصف مقطورة مفردة) بهدف ايجاد قيمة نصف قطر المنعطف الأصغري المناسب للحركة المريحة والآمنة.

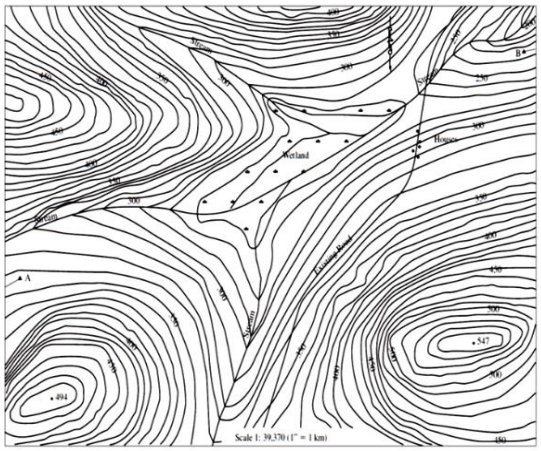
ومن أهم المعطيات اللازمة للتصميم الهندسي للطرق هي:

- **أهمية المشروع.**
- **المسح الطبوغرافي لمسار الطريق ووضع المخططات المطلوبة بمقاييس مختلفة.**
- **تحديد أنواع الترب وقدرة التحمّل لكل منها.**
- **الدراسة الهيدرولوجية ومواقع المسيلات.**
- **القيم المرورية المتوقّعة ونسب العربات الثقيلة.**
- **الدراسات الاستطلاعية والأولية لمسار الطريق.**
- **نقاط التحكم الإجبارية التي تعترض المسار الأفقي للطريق.**

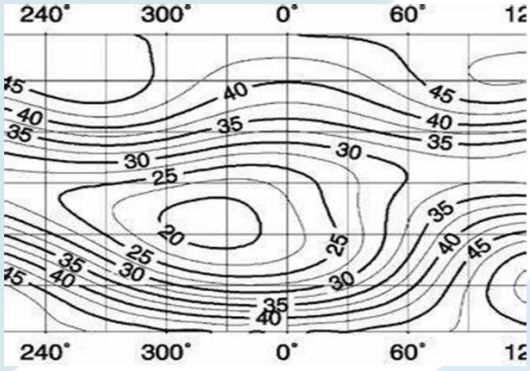
أعمال المساحة وأعمال الخرائط الكونتورية
Surveys and mapping

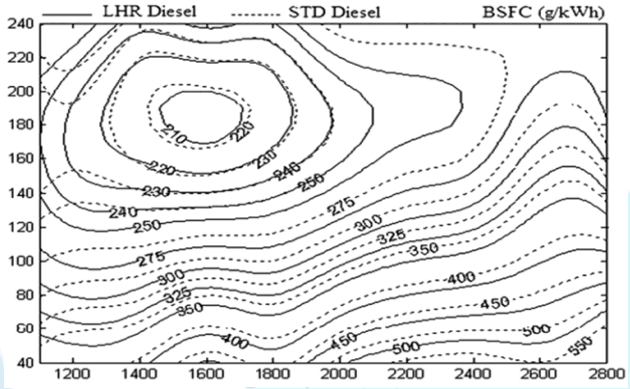
المسوحات الطبوغرافية: هي تمثيل دقيق لسطح الأرض بعناصره الطبيعية والبشرية (أي تمثيل لتضاريس سطح الأرض)، وهي عبارة عن رسم هندسي مصغر لجزء من الأرض التي توضح كل المعالم والمظاهر ذات الأهمية الاستراتيجية.





خط التسوية -أو الكونتور- هو **خط يصل بين مجموعة من النقاط ذات ارتفاع متساوٍ عن منسوب المقارنة** (عادةً يؤخذ منسوب سطح البحر المساوي للصفر)، ما يعني إذا افترضت أنك تسير على خط تسوية واحد فلن يتغير ارتفاعك على الرغم من اختلاف التفاصيل من حولك بنحو كبير، وعادةً لا تتقاطع خطوط التسوية مع بعضها؛ إذ يمثّل كل خط منها منسوباً منفصلًا، فلا يمكن أن يوجد منسوبان للنقطة نفسها.





يكون شكل سطح الأرض الطبيعية حسب التضاريس (أراضي سهلية – أراضي هضبية – أراضي جبلية)، حيث تؤثر تضاريس سطح الأرض بشكل كبير على مختلف مكونات التصميم الهندسي للطريق، ونميز ثلاث أنواع من تضاريس سطح الأرض:

1- مناطق سهلية: تسير فيها المركبات الثقيلة بسرعة سير المركبات السياحية.

2- مناطق هضابية: تسير فيها المركبات الثقيلة بسرعة أقل من سرعة المركبات السياحية، وببطء شديد.

3- مناطق جبلية: تسير فيها المركبات الثقيلة بسرعة بطيئة جداً.

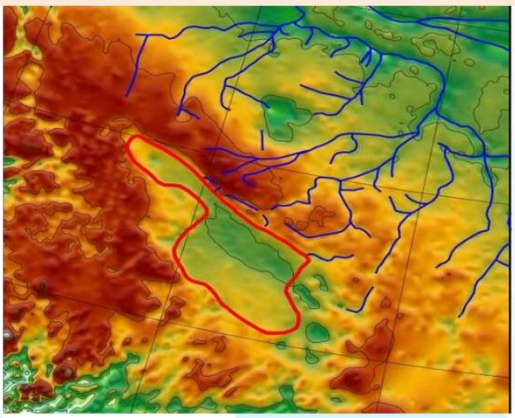
التحريات الجيوتكنيكية

الجيولوجيا هي العلم الذي يدرس نظرياً وعملياً الترب التي يبني المهندسون بها أو عليها منشآتهم، ويدرس نظرياً وتجريبياً تأثير القوى في توازن وسلوك التربة تحت تأثير الماء والحرارة، ويدرس التأثير المتبادل بين المنشأة والتربة، وهو أيضاً العلم الهندسي الذي يتعامل مع خواص وسلوك وأداء التربة كمادة إنشاء.

1- تحدد قدرة تحمل التربة على المسار والتي لها تأثير قوي على سماكة الرصف.
2- تحدد نوع وتحمل وكمية المواد المناسبة لبناء طبقات الطريق.
3- تساعد على الوصول إلى تقدير أدق لكلفة الطريق.

التحريات الهيدرولوجية

الهيدرولوجيا هو العلم الذي يتعامل مع المياه من حيث تكوينها ودورتها وتوزيعها على سطح الأرض، وهو وسيلة علمية لاستنتاج شبكة الصرف ، ورسم حدود الأحواض (خطوط تقسيم الماء) ، وكذلك حدود الأحواض الفرعية للروافد، وحساب سعة التخزين في منشآت الخزن مثل الخزانات و السدود، وحسابات العبارات والجسور.



1- تحديد مسارات السيول أو الأنهار المائية المتواجدة في المنطقة المحيطة بالطريق.
2- تقدير غزارات السيول والأنهار المائية في موسم الفيضانات.
3- تقدير ارتفاع الجسور وأبعاد وارتفاع العبارات لتجنب تعرض الطريق للفيضانات.
4- تحديد مستوى البساط المائي للمنطقة المحيطة بالطريق.

التحريات البيئية

ايكولوجيا الطريق هو دراسة التأثيرات البيئية (الإيجابية والسلبية) للطرق، مثل الضوضاء وتلوث المياه والاضطرابات البيئية (المحميات الطبيعية من بحيرات وغابات)، تدرس الغازات المنبعثة وجودة الهواء المحلي، حيث تؤثر وسائل النقل البري على البيئة تأثيراً مباشراً وغير مباشر (آثار محتملة مثل الرصاص في وقود السيارات)، وتكون التأثيرات على الصعيد المحلي (مثل الضجيج) أو العالمي (مثل التأثير على الغلاف الجوي)، دون أن نتجاهل التأثير على الحياة البرية.

التحريات الاستطلاعية الحقلية

بعد رسم المسارات الأولية للطريق لابد من إجراء الاستطلاعات الحقلية التالية:

1- الاطلاع على جميع العوائق الغير ظاهرة بالخرائط والتي تعترض المسارات المقترحة.

2-عدد ونوع المنشآت الصناعية المتوقعة لكل مسار من المسارات المقترحة.

4- منسوب المياه الجوفية وأثره على المناطق المحيطة بمسارات الطريق.

5- نوع وطبيعة التربة من خلال ملاحظة الجوانب الجيولوجية.

6- مصادر مواد الإنشاء للطريق وكيفية ايصالها لموقع العمل.

الجدوى الاقتصادية

١- تكاليف الدراسة والإشراف الهندسي والأعمال الخدمية لتنفيذ المشروع.

٢- تكاليف التشييد (الأعمال الطرقية - الأعمال الصناعية - الأعمال التكميلية).

٣- تكاليف الصيانة (الطارئة والدورية).

الخواص الديناميكية للعربات

يتم تصميم الطرق بحيث تحقق الأمان الكامل لحركة العربات ضمن السرعة الحسابية المفروضة، إلا أنه كلما كانت غزارة المرور على الطريق أكبر كلما زادت العراقيل المتبادلة فيما بينها، وهذا بالتالي يؤدي إلى نقصان سرعة حركتها، لذلك فإن أسس حساب بعض عناصر المحور يجري تحديدها انطلاقاً من شروط حركة عربة إفرادية واحدة على الطريق.

يولد المحرك في العربة طاقة ميكانيكية تنتقل إلى الدواليب من خلال أجهزة تحويل الحركة في العربة، وينجم عن عزم الدوران ظهور قوتين:

1 -قوة جر تنتج عنها حركة العربات إلى الأمام

2- قوة مطبقة على سطح التماس بين الدولاب وسطح التغطية.

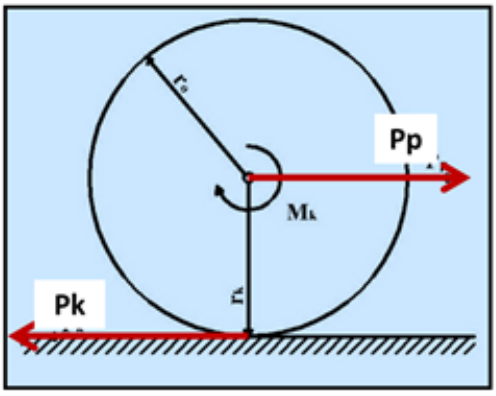
$$P_P = \frac{M_K}{r_K}$$

$$r_K = \lambda . r_o$$

عزم الدوران المطبق على العجلات

نصف القطر الفعال

عامل تشوه للعجلات المطاطية (0.95-0.93) حسب نوع العربات خفيفة أو ثقيلة



$$M_k = M_e . i_k . i_o . \eta$$

عزم المحرك (Kg.m)، وله علاقة باستطاعة المحرك (حصان بخاري)

نسب تخفيض في علبة السرعة وفي أجهزة نقل الحركة

عامل المردود الميكانيكي لأجهزة نقل الحركة في العربة

سرعة العربة هي المسافة التي يقطعها محيط الدولاب في واحدة الزمن:

$$v = \frac{2\pi r_k . n_k}{60}$$

سرعة العربة ، م/ثا

سرعة دوران الدولاب ، دورة / دقيقة وهي تتعلق بعدد دورات الكرنك ، دورة / دقيقة، مع الأخذ بعين الإعتبار نسب التخفيض في علبة السرعة وفي أجهزة نقل الحركة.

تؤثر على حركة العربة مجموعة من القوى أثناء حركتها على الطريق، وتكون حركتها تقدمية على الأجزاء المستقيمة من محور الطريق كما أنها تدور حول محور شاقولي عند حركتها على المنحنيات، وقد تتعرض للاهتزاز أثناء حركتها في الاتجاهين الطولي والعرضي بسبب مرور الدواليب على سطح غطاء غير مستوي تماماً، لذلك وبما أنه من الصعب جداً وضع مجمل هذه العوامل في الحسبان فإننا نفترض أن العربة تتحرك بدون اهتزاز على سطح غطاء مستو وصلب وغير قابل للتشوه عند تحديد عناصر الطريق في المسقط والمقطع، ولكي نتمكن من تصميم الطريق بشكل تكون معه الحركة أمينة واقتصادية ومريحة وممتعة يجب أن يوضع في الحسبان التأثير المتبادل لمختلف العوامل التي تؤثر على نظام حركة العربة ومنها الخواص الاستثمارية للعربة ، حالة الطريق وكذلك المهارات الشخصية للسائقين.

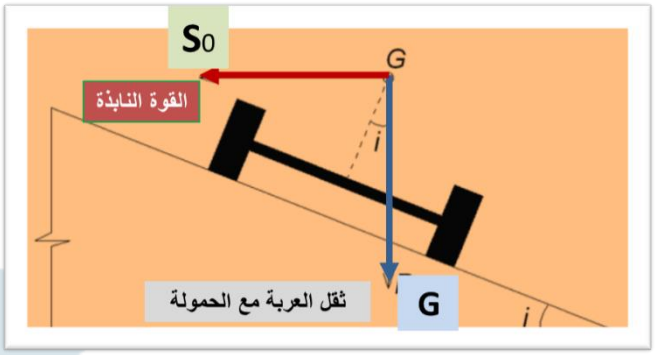
أما أهم القوى المؤثرة عليها فهي:

1- ثقل العربة مع الحمولة

2- القوة النابذة

3- ضغط الهواء

4- مزدوجة قوى الجر



القوى المؤثرة في العربة المتحركة على المنعطفات

القوة النابذة S_0

$$S_0 = m * \frac{v^2}{R}$$

S_0: Kg.m/sec² (نيوتن)

m: Kg

v: m/sec

R: m

ضغط الهواء: ويتعلق بسرعة العربة ويعطى من أجل واحدة السطح:

$$w = \frac{\rho}{2 \times 9.81} . c . v_w^2$$

- w: ضغط الهواء
- ρ: كثافة الهواء
- c: عامل مقاومة الوسط الهوائي ويتعلق بشكل الجسم المتحرك وبمساحته وبنعومة سطحه، وليس له واحدة.
- v_w: سرعة حركة العربة بالنسبة للوسط الهوائي، m/sec

قوة الجر: وهي القوة المتعلقة بالاستطاعة الفعالة للمحرك والمتعلقة أيضاً بسرعة العربة.

$$p_p = \frac{75 . N_e . z}{v}$$

- p_p: قوة الجر
- N_e: الاستطاعة الفعالة للمحرك
- z: عامل تأثير انتقال الحركة في العربة
- v: سرعة حركة العربة

$$N_e = N_i \times \eta$$

- N_e: الاستطاعة الفعالة للمحرك
- N_i: الاستطاعة النظرية للمحرك
- η: عامل تأثير ديناميكي

أو تعطى بالعلاقة التالية:

$$P_P = 716{,}2 \times \frac{N_e . i_k . i_o}{n_e . r_K} \eta$$

- P_P: نسب تخفيض في علبة السرعة وفي أجهزة نقل الحركة
- n_e: عدد دورات الكرنك (دورة /دقيقة)
- r_K: نصف القطر الفعال

القوى المقاومة لحركة العربة

1- المقاومة الناتجة عن التدحرج (قوى مقاومة دوران الدواليب).
2- قوى مقاومة الوسط الهوائي.
3- مقاومة الحركة أثناء الصعود على مرتقى بميل ما.
4- المقاومة الناتجة عن التسارع (مقاومة قوى العطالة للعربة).

1- المقاومة الناتجة عن التدحرج (قوى مقاومة دوران الدواليب):

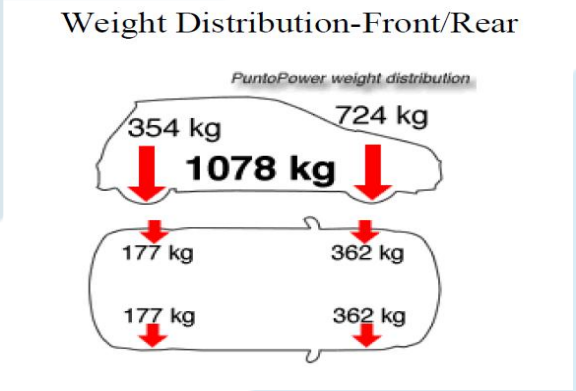
وتنتج هذه المقاومة من:

- **تشوه العجلات**
- **ضياع في الطاقة**
- **ارتطام العجلة مع تشوهات سطح الطريق**
- **الاحتكاك الناتج عن عملية التدحرج**

وتتعلق هذه المقاومة بـ:

-طبيعة العجلة (نوعها وتركيبها)

- ضغط العجلة وأبعادها ومرونتها
- نوعية غطاء الطريق وسويته
- ثقل العربة، حيث أن المقاومة تتناسب طرداً مع الحمولات على هذه الدواليب.



$$\sum P_f = \sum G_i \cdot f_i$$

عامل مقاومة الدوران لكل دولاب

حمولة كل دولاب إلى سطح الطريق

$$f = \frac{\sum P_f}{G}$$

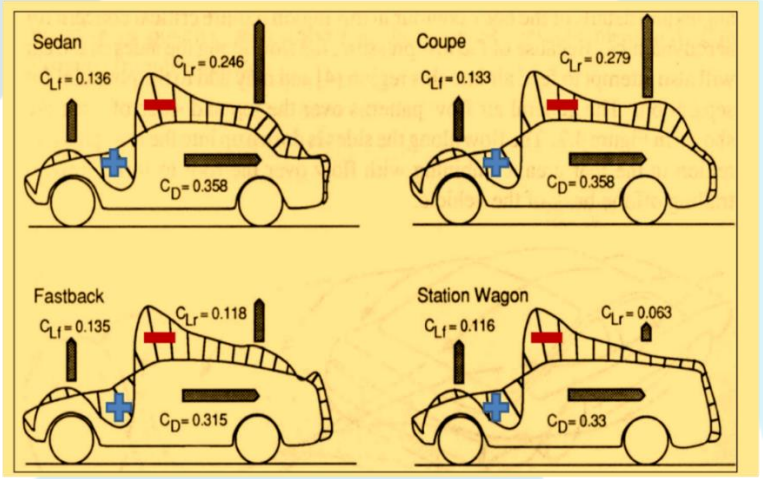
عامل مقاومة دوران الدواليب

عامل مقاومة دوران الدواليب f	نوع الغطاء
0.01 – 0.02	غطاء بيتوني أو إسفلتي
0.02 – 0.025	أغطية بحصية أو زلطية مقواة بالبيتومين ذات سطح مستوي
0.03 – 0.04	أغطية بحصية أو زلطية غير مقواة بالبيتومين ذات سطح غير مستوي بشكل جيد
0.04 – 0.05	الأغطية المبلطة بالأحجار
0.03 – 0.06	الأغطية الترابية الجافة والمتماسكة
0.15 – 0.30 أو أكثر	الزراعية المفلوحة، أو الأراضي ذات الرطوبة العالية,أو الترب الرملية المفككة

2- قوى مقاومة الوسط الهوائي: يفترض أنها تؤثر في مركز ثقل العربة والتي تنتج من:

- فرق ضغط الهواء بين مقدمة العربة ومؤخرتها في حالة الحركة
- اضطرابات هوائية خلف العربة وحول العجلات وتحت الهيكل مما ينتج عنه استطاعة ضائعة
- احتكاك الهواء مع السطوح الجانبية والبروزات المختلفة عن العربة
- مقاومة ناتجة عن الهواء في الفراغ تحت غطاء المحرك.

توزع ضغط الهواء على السيارة



وبالتالي يكون ضغط الهواء في حالة الحركة غير متساوي نتيجة لانسياب الهواء بشكل غير متساوي فتقع مناطق من سطح العربة تحت ضغط عالي ومناطق ذات تخلية هوائية.

كثافة الهواء

المساحة الجبهية للعربة، 2 m

(قوى مقاومة الوسط الهوائي) $W = \left(\frac{p}{2 * 9.81} * C * v^2\right) * T$

عامل مقاومة الوسط الهوائي

سرعة حركة العربة بالنسبة للوسط الهوائي، م/ثا

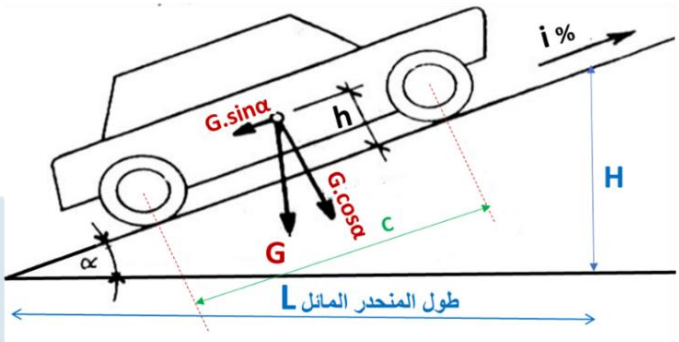
+

v = سرعة حركة العربة - سرعة حركة الرياح، م/ثا

v = سرعة حركة العربة – (– سرعة حركة الرياح)، م/ثا

3- مقاومة الحركة أثناء الصعود على مرتقى بميل ما:

مقاومة الحركة أثناء الصعود على مرتقى ميله i



نظراً للميول الصغيرة المستخدمة في الطريق فإنه يمكن إهمال الفرق بين الطول الفعلي للمنحدر الصاعد وبين مسقطه الأفقي

(كمية العمل التي تحتاجها العربة لتتمكن من الصعود) $F = G \cdot H$

$Pi = F / L = G.H/L = G.i$

مقاومة الحركة أثناء الصعود في واحدة الطول من الطريق

عامل مقاومة الحركة أثناء الصعود ويساوي تقريبا الميل الطولي للطريق

4- المقاومة الناتجة عن التسارع (مقاومة قوى العطالة للعربة)

تنتج هذه المقاومة من:

- ✓ تغيير السرعة عند التجاوز وعند التقاطعات وعند الانطلاق
- ✓ استمرارية الحركة واستمرارية الدوران لبعض أجزاء العربة

$$Pj = m * \frac{dv}{dt} = \frac{G}{g} * \frac{dv}{dt} = G * J$$

مقاومة قوى العطالة للعربة للحركة التقدمية

كتلة العربة ، كغ

التسارع

التسارع النسبي 1.dv/g.dt

معادلة حركة العربة:

وبالتالي لكي يتحقق التوازن بين قوة الجر للعربة ضد كل المقاومات التي تتعرض لها العربة، يجب أن تطبق العلاقة التالية:

$$P_P = P_f \mp P_i + P_w + P_j$$

قوة الجر أو الشد في العربة

مقاومة دوران الدواليب (المقاومة الناتجة عن التدحرج)

المقاومة الناتجة عن الصعود على مرتقى له ميل ما

مقاومة الهواء

مقاومة قوى العطالة

عندما تكون حركة العربة **على طريق جيد** .....نستخدم السرعة الأخيرة المتاحة وتكون مقاومة دوران الدواليب قليلة.

وعندما تكون حركة العربة **على طريق سيئ**..... .نستخدم النسب التخفيضية في علبة السرعة.

نتيجة هامة: يمكن للعربة أن تسير بسرعة ثابتة، أو بتسارع (أثناء الإقلاع أو زيادة السرعة)، أو أن تسير بتباطؤ (أثناء الفرملة أو إنقاص السرعة) حسب نسب المقاومات المختلفة.

ويمكن التعبير عن الخواص الديناميكية للعربة بما يسمى **العامل الديناميكي:**

هو العامل الذي يعبر عن خواص الجر ويحدد مقدار قوة الجر إلى وحدة وزن العربة المتحركة بسرعة v والتي يجب صرفها للتغلب على المقاومات Pf,Pi,Pj ولاتبقى قيمته ثابتة لأن قوة الجر ومقاومة الهواء تختلفان مع تغير السرعة.

العامل الديناميكي للعربة

$$D = \frac{P_P - P_w}{G} = f \pm i + j$$

عامل مقاومة التدحرج

عامل مقاومة الحركة أثناء الصعود

عامل التسارع النسبي