حاجة الطرق البرية إلى مهارب آمنة للمركبات

د. عبد الملك بن علي الجنيدي
قسم الهندسة الميكانيكية
د. عبد الرحيم بن حمود الزهراني
قسم الهندسة المدنية
جامعة الملك عبد العزيز

الملخص

تغطي شبكات الطرق البرية معظم أنحاء المملكة وتمثل هذه الطرق عصب الحياة في المدن والقرى الجبلية في مناطق مكة المكرمة والباحة وعسير. هذه الطرق الجبلية المسفلتة تتسم بوجود المنحدرات والمنعطفات مما يستوجب وجود مهارب آمنة Safety Runaways يلجأ إليها السائق عند فقدانه السيطرة على مركبته. تقدم هذه الورقة مقترحا لوجود هذه المهارب ومدى الحاجة إليها. وتناقش أسس التصميم المتبعة لهذه المهارب. كما تقدم الورقة مثالا واقعيا حيا لحادث اليم نتج بسبب غياب هذه المهارب في أحد المنعطفات الخطرة على طريق ٢٠٥ الموصل بين محافظة الطائف ومدينة أبها في صيف ١٤١٩هـ.

المقدمة

أصبحت السلامة المرورية و المواضيع المتعلقة بها والنقل البري ووسائله من الأمور اليومية الهامة في حياة الفرد والمجتمع. ويرجع السبب إلى عنصرين، الأول: كون كل أفراد المجتمع يعيشون النقل ووسائله في كل يوم، فما منا من أحد إلا ويملك مركبة يتنقل بها كل يوم على مدار العام. ثانيا: الخسائر الباهضة والمروعة التي تنتج عنها الحوادث المرورية سواء في الأرواح أو الممتلكات. هذه الخسائر تبدو مخيفة ومزعجة إذا ما قيست بالأسباب الأخرى المؤدية للوفاة أو الإصابة أو الإعاقة. أما الخسائر المادية فتعد بالمليارات وتمثل نسب مرتفعة من حاصل الإنتاج القومي تصل إلى ٢,٢ % من إجمالي الناتج القومي في الولايات المتحدة الأمريكية[١].

ويقدر عدد الأشخاص الذين لقوا حتفهم في دولة مثل الولايات المتحدة بما يزيد على ٤٠٠٠٠ نسمة عام ١٩٩٥ م [٢] بينما تقدر عدد الحوادث المسجلة رسميا في دولة نامية صغيرة الحجم والمساحة مثل لبنان بأكثر من ٥٠٠٠ حادث سنة ١٩٩٤ م [٣]. أما من ناحية تكاليف الحوادث المرورية فقد بلغت حوالي ٢ بليون ريال سعودي في المملكة عام ١٩٨٥ م [٤].

شبكة الطرق البرية في المملكة التي تغطي معظم أنحاء المملكة لا تخلو من منحدرات ذات ميول عالية (Descending Grades) سواء في المناطق الجبلية مثل مناطق مكة المكرمة والباحة وعسير أو غيرها من المناطق. هذه الطرق تعاني من عدم وجود منحدرات للإفلات Escape

أخذنا في الاعتبار أن معظم سائقي الشاحنات في المملكة هم من خارجها وليسوا على علم كامل بالطرق. كما أن عدم إلمام السائق باللغة العربية أو الإنجليزية يحول دون وصول الإرشادات التحذيرية على جانبي الطريق إلى مخيلته.

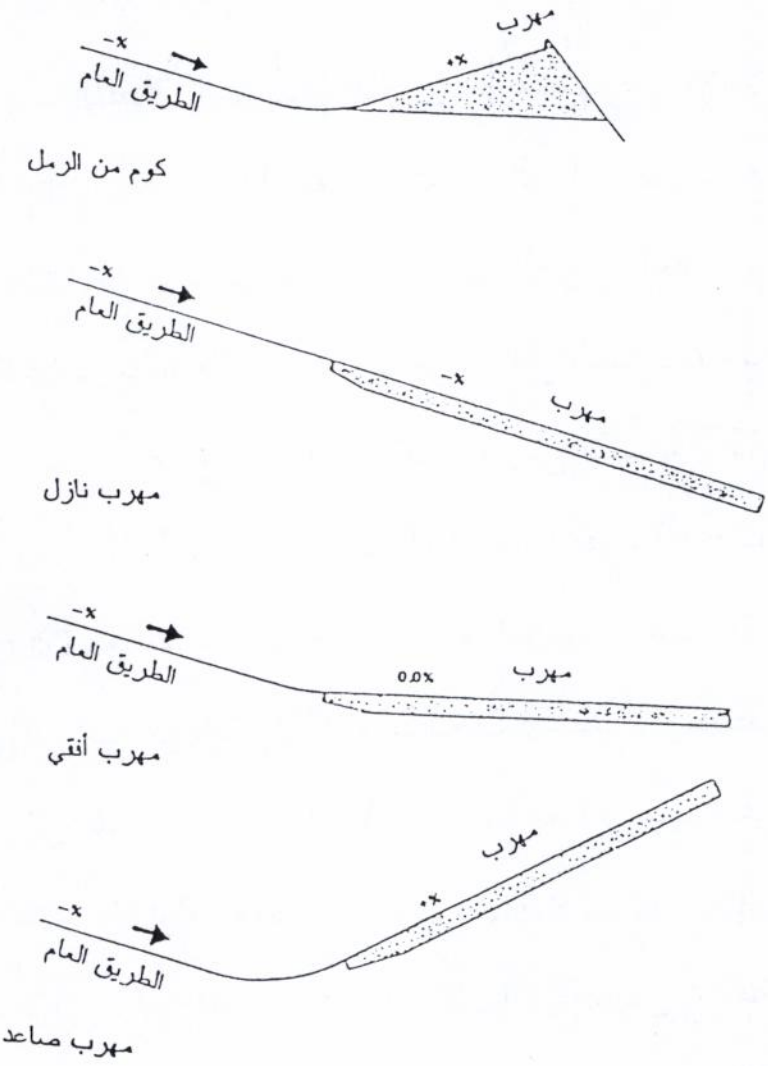
هذه الورقة تلفت النظر إلى الحاجة إلى مهارب آمنة للمركبات في الطرق الجبلية في المملكة. يتناول الجزء التالي تعريفا عاما بمنحدرات الإفلات وأنواعها بينما يتناول الجزء الثالث الأسس المتبعة في تصميم هذه المهارب. الجزء الرابع يقدم مثالا واقعيا من الحوادث المرورية والتي كان بالإمكان تفاديه لو وجد المهرب الآمن المناسب. هذه الورقة تختتم بتوصيات عن الحاجة إلى وجود هذه المهارب.

٢. منحدرات الإفلات Escape Ramps

تعرف الجمعية الأمريكية للطرق السريعة والنقل [٥] منحدرات الإفلات (الهروب) الطارئة Emergency Escape Ramps بأنها منحدرات من الرمل تستخدم لتهدئة أو إيقاف المركبة التي أصبحت غير مسيطر عليها بعيدا عن الطريق العام. ويتم ذلك بأن تغوص الإطارات في مادة المهرب (عادة ما تكون من الرمل السائب) وبالتالي تعيق حركة المركبة حتى تقف بسبب مقاومة الرمل للإطار وليس بسبب المكابح. ويعمل الرمل على إيقاف السيارة أو المركبة بمقاومة حركة السيارة بقوة احتكاك تخامدية Damping Frictional Force معاكسة في الاتجاه لحركة السيارة. هذه القوة تعتمد على تماسك الرمل وعمقه وإطارات المركبة وتركيبة سطحها السفلي. ويضطر سائق المركبة التي فقد السيطرة عليها إلى الهروب إلى هذا الطريق رغم ما قد يسبب لمركبته من مشاكل قد تؤدي إلى إتلاف إطاراتها ونظام التعليق Suspension System وغير ذلك. وبالرغم من كون العديد من هذه المنحدرات تم إنشائها في مناطق مختلفة من الولايات المتحدة إلا أنه لا توجد قواعد خاصة لتصميمها. وتقسم منحدرات الإفلات إلى أربعة أنواع رئيسية هي[٥]:

السلامة المرورية (١)

١. المنحدر الملاصق حيث يتم وضع كوم من الرمل Sandpile على جانب الطريق بطول يقارب ١٠٠ متر. هذا الكوم يعمل ككابح Arrester وهو يتكون من الرمل السائب Loss الجاف ويمكن استخدام الكثبان الرملية الصحراوية لهذا الغرض. أنظر الشكل رقم (١).



شكل رقم ١: الأنواع الرئيسية لمنحدرات الإفلات [٥].

٢. المنحدر النازل Descending وهو عبارة عن طبقة أرضية مغطاة بالرمل أو الحصى الصغيرة الحجم على جانب الطريق. ويلاحظ هنا أن الجاذبية الأرضية تعمل على إطالة مسافة الانزلاق في هذا المنحدر.

٣. المنحدر الأفقي Horizontal وهو يشبه النوع السابق لكن قوى الجاذبية لا تأثير لها هنا. ويمكن استخدام هذا النوع من المهارب في نهاية الطريق المنحدر.

٤. المنحدر الصاعد Ascending وتعمل قوى الجاذبية هنا على إيقاف المركبة على بعد أقل مسافة من مدخل المنحدر. و هذا النوع يناسب الطرق الجبلية الوعرة مثل طرق العقبات في المملكة.

وقد تم الاهتمام من قبل الباحثين في مجال هندسة النقل بتصميم منحدرات الإفلات ودراستها. ومن ذلك التجارب التي أجريت في جامعة ولاية بنسلفانيا [٦&٧] حول طرق تصميم المصائد هذه. والتي استنتج منها إلى أن الحصباء النهرية المستديرة Rounded River Garvel هي أفضل المواد المستخدمة للمهارب. الجدير بالذكر أن استخدام هذه المصائد قد تم الاهتمام بها كمهارب آمنة للطائرات في نهاية مدرج الإقلاع أو الهبوط كآخر حل يلجأ إليه الطيار في حالة فشل الإقلاع أو الوصول إلى نهاية المدرج دون توقف [٨].

أن وجود مثل هذه المهارب الآمنة أصبح ضرورة ماسة في الطرق البرية في المملكة خاصة إذا أخذنا في الاعتبار زيادة الحركة المرورية على هذه الطرق عما كانت عليه

قبل عقد من الزمن بالإضافة إلى وجود العديد من طرق العقبات الموصلة بين جبال السروات وسهول تهامة.

٣. التصميم

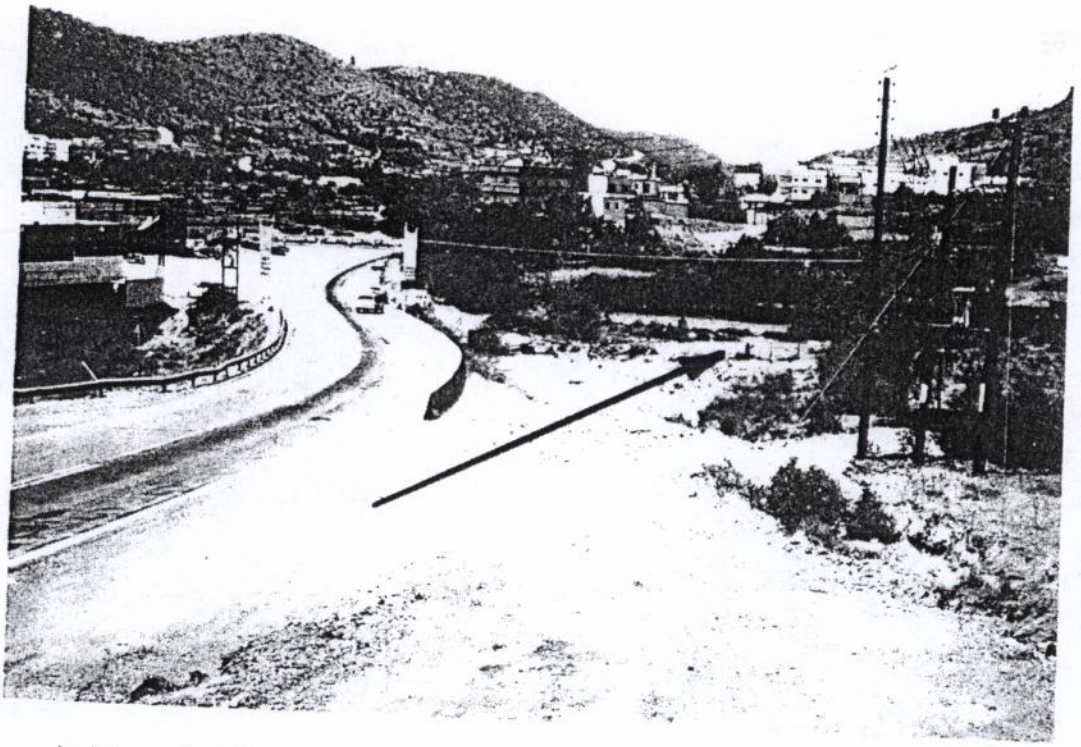
يبنى تصميم هذه المهارب أو المصايد Arresters على عدة عوامل رئيسية مثل سرعة المركبة ووزنها ودرجة انحدار الطريق ومادة المهرب وطوله وعمقه وغير ذلك. العوامل الخارجية تتمثل في سرعة المركبة وكتلتها ومساحتها الأمامية وعدد الإطارات والتركيبة السفلية للمركبة. أما العوامل الداخلية فتشمل نوع المهرب وطوله وعمقه ونوع مادته.

١,٣ أسس التصميم

تمثل سرعة المركبة العامل الرئيس الهام إذ لا حاجة للمهرب في الحالات التي تكون سرعة المركبة فيها قليلة كما أن المهرب لا يفيد في الحالات التي تكون السرعة فيها عالية جدا". ويعود ذلك إلى أن الطاقة الحركية في المركبة تتناسب طرديا مع مربع السرعة إذا ما اعتبرت المركبة كجسم متحرك. أما وزن المركبة والشاحنة فهو عامل هام أيضا إذ تتناسب الطاقة الحركية طرديا مع كتلة المركبة. بالنسبة لطول المهرب فيجب أن يكون كافي لامتصاص الطاقة الحركية للمركبة الغير مسيطر عليها. لكن طبيعة الأرض تعد عاملا أساسيا في تحديد طول المهرب ففي طرق العقبات مثلا نجد أنه لا يمكن اقتراح أطوال عالية للمهرب. وتوضح الصورة رقم (١) الموقع المفترض لهذا المهرب في أحد المنحنيات بمنطقة الباحة على طريق ٢٠٥ وهو منحنى المراصعة بوادي فيق.

أما عرض المهرب فيجب أن يكفي لمركبة واحدة على الأقل لكن ظروف السائق الصعبة عند استخدامه للمهرب تقتضي بأن يكون العرض أكثر من عرض الطريق. فإذا أضفنا في اعتبارنا احتمال استخدام المهرب من قبل سائق آخر في نفس الوقت فيجب أن يكون عرض المهرب مساويا لعرض خانتين من الطريق العام.

مادة المهرب تكون من الرمل ذو الحبيبات الكبيرة أو من الحصى الصغيرة ذات المقاومة العالية للتدحرج Rolling. و يجب أن تكون جافة خالية من البلل ومن الأعشاب السطحية وباختصار يجب أن تكون خالية من أي مادة تعمل على تماسكها. كما يجب تقليب مادة المهرب من وقت إلى آخر وذلك في محاولة للمحافظة على جزيئات الرمل غير متماسكة. ويفضل أن تكون حبيبات الرمل من نفس الحجم حتى لا يؤدي ذلك إلى تماسكها بوجود حبيبات دقيقة فيما بينها.



صورة رقم (١): المهرب المفترض وجوده في هذا المنعطف الخطر.

عمق المهرب يجب أن يكون كافي لتغطية نصف إطارات المركبة ويكفي لأداء ذلك عمق يساوي نصف متر لمركبات المسافرين أو ٧٥سم للشاحنات. وطالما أن الهدف إيقاف المركبة ذات أسوأ احتمال فيمكن اقتراح عمق يصل ما بين ٧٥ سم إلى ١ متر. لكن يجب التدرج في عمق المهرب ابتدأ من الصفر في مدخل المهرب إلى متر واحد بعد مسافة مناسبة. السبب في ذلك يرجع إلى تلافي انقلاب المركبة عند دخولها إلى المهرب بسبب وجود قوى مقاومة عالية عند الإطارات الأمامية في الوقت الذي لا تزال الإطارات الخلفية على الطريق المسفلت العام.

هناك قواعد عامة أخرى في تصميم المهرب منها:

١)وجود عدد كافي من اللوحات الإرشادية باللغتين العربية والإنجليزية على جانب الطريق حتى يتنبه السائق لوجود مهرب أمامه.

٢)وجود المهرب في مكان واضح لا يحتاج إلى تخمين السائق أو إلى الانحراف بدرجة كافية لانقلاب المركبة، ولتسهيل ذلك يجب أن يكون المهرب مستقيما و على امتداد تماس الطريق العام.

٣)بالنسبة للطرق المزدوجة (مسار في كل اتجاه) يجب تلافي وضع المهرب في الجهة الأخرى من الطريق (الجهة اليسرى) حتى لا يؤثر على الحركة في الاتجاه المعاكس إلا في حالات الضرورة القصوى المتمثلة في عدم وجود مساحة كافية على الجانب الأيمن من الطريق. أما بالنسبة للطرق السريعة (متعددة المسارات) فيمكن وضع المهرب في الجهة اليسرى من الطريق إذا وجدت المساحة المناسبة بين الطريقين.

٤)يجب أن يكون الدخول إلى المهرب بالإطارين الأماميين سويا حتى لا يؤدي ذلك إلى انحراف المركبة ويتم ذلك بتوفير جزيرة مسفلتة على شكل مثلث توصل ما بين الطريق العام وبداية المهرب.

٢,٣ طول المهرب

إن الطاقة الحركية الموجودة في مركبة منطلقة على الطريق العام يمكن حسابها

$$P = (C_r M_v g + \frac{1}{2}\rho_a C_d A_v S_v^{\,2}) S_v \quad (1)$$

بالمعادلة التالية [٩]

بحيث تكون P: الطاقة الحركية مقاسه بوحدات *Watts* ، C_r: معامل مقاومة التدحرج وتتراوح قيمته ما بين ٠,٠١٢ إلى ٠,٠١٥ على الطريق العام، M_v: كتلة المركبة بمن فيها مقاسه بالكيلو غرام، g: ثابت التسارع الأرضي وقيمته ٩,٨١ م/ث^2، ρ_a: كثافة الهواء المحيط، C_d: عامل مقاومة الهواء Drag ويكون مداه ما بين ٠,٣ إلى ٠,٥ بالنسبة لسيارات الركاب، A_v: مساحة المركبة الأمامية بالمتر المربع، S_v: سرعة المركبة بالمتر لكل ثانية.

يمكن حساب طول المهرب بمعادلة الطاقة الحركية الموجودة في المركبة مع مقاومة

$$L = \frac{V^2}{255\,(R \pm G)} \quad (2)$$

مادة المهرب للإزاحة الناتجة من مجرى الإطار وتعطى بالعلاقة [٥]،

بحيث يمثل L طول المهرب بالمتر، وتمثل V سرعة المركبة عند المدخل مقاسه بوحدات كم/ساعة، وتمثل R مقاومة مادة المهرب للتدحرج والتي تتراوح ما بين ١،٠ للخرسلنة الأسمنتية و ٢,٥ للحصباء الحبيبية Pea Grave، بينما تمثل G نسبة انحدار المهرب. ويوضح الجدول رقم ١ مقاومة التدحرج لبعض المواد المستخدمة في رصف الطرق.

إذا كان المهرب صاعدا Ascending فيعني ذلك أن الإشارة موجبة وعليه يكون طول المهرب أقصر منه إذا كان أفقيا Horizontal حيث تكون قيمة G صفراً. أما المهرب

النازل Descending فتكون قيمة G بالسالب وعليه يكون طول المهرب أكبر ما يمكن.

إذا افترضنا وجود ثلاثة مهارب صاعد وأفقي ونازل وكان انحدارها ١٠%، ٠% و -١٠% على التوالي. وافترضنا مادة المهرب من الرمل (R=١,٥) وكانت سرعة المركبة عند مدخل المهرب تساوي ١٢٠ كم/ساعة فإن أطوال المهرب هي على التوالي ٣٥ متر، ٣٨متر، ٤٠ متر. ويلاحظ اعتماد طول المهرب بشكل رئيس على مدى مقاومة مادته للتدحرج لتغير قيمتها بشكل كبير بينما لا تتجاوز قيمة شدة انحدار الطريق ١٠% في التصاميم القياسية. أما إذا اعتبرنا المهرب الأفقي (G=٠) وكانت سرعة المركبة تساوي ١٢٠ كم/ساعة فإن طول المهرب يتراوح ما بين ٥٦٥ متر من مادة الخرسانة الأسمنتية إلى ٢٣ متر من الحصباء الحبيبية.

٤. مثال واقعي

الطريق ٢٠٥ الموصل بين محافظة الطائف ومدينة أبها من الطرق الهامة في المملكة. يحتوي الطريق على العديد من المنحدرات ذات الدرجات العالية من الانحدار والمنحنيات التي تكون في بعض الأحيان خطرة. المنحنيات تبدأ من شمرخ بمنعطفات سبيحة ومحوية والقسمة وهياس وهملان وشبرقة والبراقة حتى مدينة الباحة وتستمر بشكل منتظم مرورا بالزاوية والصلبات وأدمة والهدارة ببالقرن والمطلع ببني عمر وربوع السرو وخميس العرق وعقبة تنومة وصبح باللحمر وغيرها حتى مدينة أبها. وتكون هذه المنحنيات خطرة على المركبة والمسافر وقد أودت بحياة الكثير من المسافرين من أبناء هذه المناطق ومن غيرهم.

جدول رقم ١: خاصية مقاومة التدحرج لبعض المواد المستخدمة في رصف الطرق [٥].

Surfacing Material	المادة	المقاومة
Portland Cement Concrete	الخرسانة الأسمنتية	0.1
Asphalt Concrete	الخرسانة الإسفلتية	0.12
Compacted Gravel	الحصباء المرصوفة	0.15
Earth, Sandy, Loose	التربة الرملية السائبة	0.37
Loose Crushed Aggregate	الخرسانة المكسرة السائبة	0.5
Loose Gravel	الحصباء السائبة	1.0
Sand	الرمل	1.5
Pea Grave	الحصباء الحبيبية	2.5

أما المنحدرات فتبدأ من شمرخ ثم تكون بسيطة بعض الشيء في مناطق زهران لتزدد انحدارا في بلاد غامد خاصة طلعة مرارة ووادي فيق والغبر لتصل إلى معدلات عالية في بلاد شمران وبالتحديد في شرى بختعم ومرتفعات الصلبات والبلس وكذلك في الباردة ببالقرن وثلاثاء بني عمر وعقبة تنومة ببني شهر وصبح باللحمر وغيرها الكثير. وتزداد خطورة الطريق عندما يحتوي على منعطفات خطرة ومنحدرات شديدة ومن ذلك مناطق الغبر والصلبات وثلاثاء بني عمر.

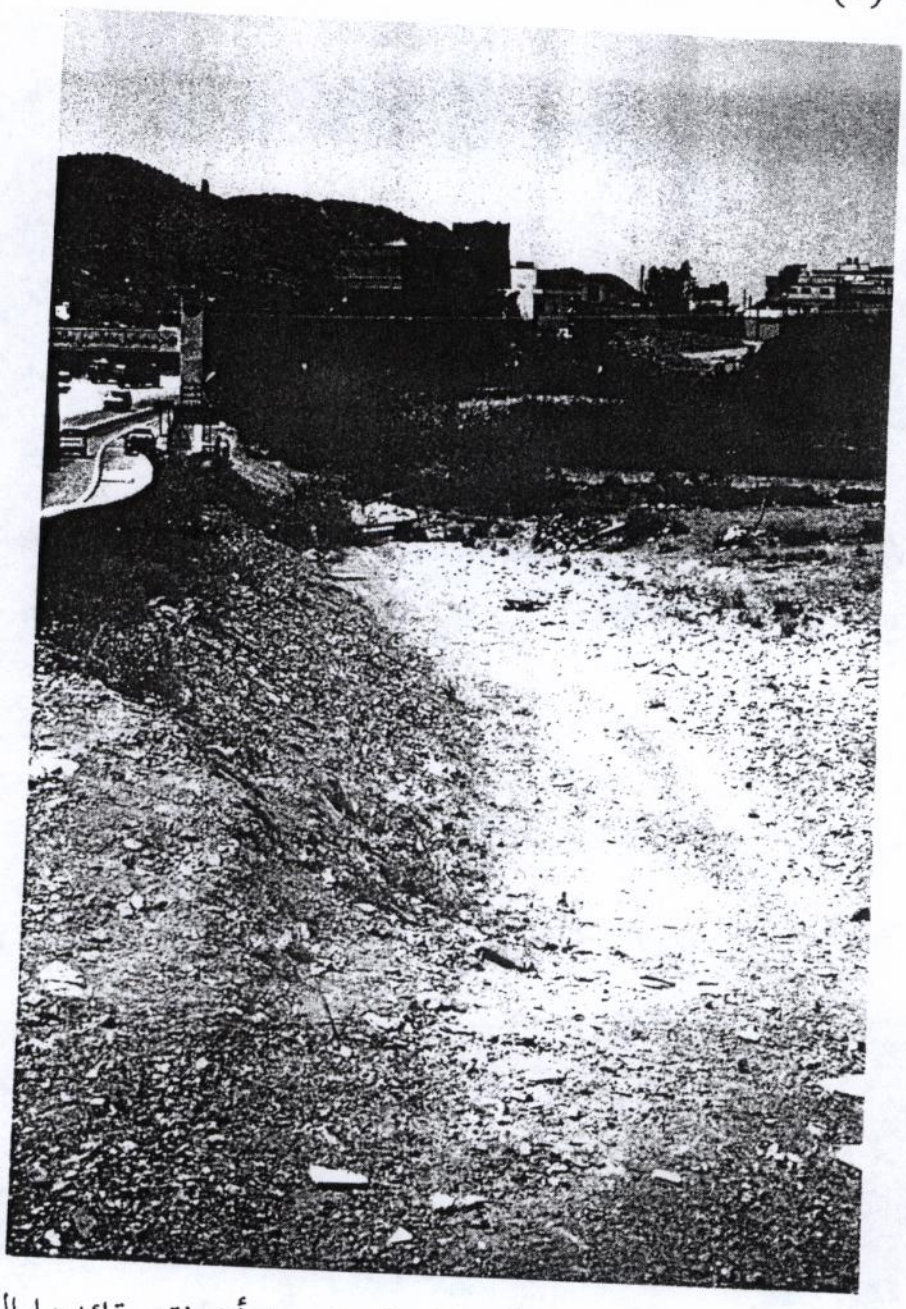
وقد شهد هذا الطريق وغيره من طرق العقبات الكثير من الحوادث المرورية التي أدت إلى وفات المئات من عابري الطريق بالإضافة إلى الخسائر المادية التي تقدر بالملايين. ويعتبر الحادث الأليم الذي وقع قبل ما يقرب من عامين بمنطقة عسير والذي تعرضت له حافلة لنقل المتخلفين من العمرة والحج حيث أدى إلى مصرع العشرات من ركاب الحافلة أكبر دليل على عظم هذه القضية. والذي حدث هو أن سائق الحافلة فقد السيطرة عليها بعد أن فشل نظام الكابح أثناء نزولها من إحدى المرتفعات الجبلية

مما أدى إلى انزلاقها في إحدى الأودية.

١,٤ تفاصيل الحادث

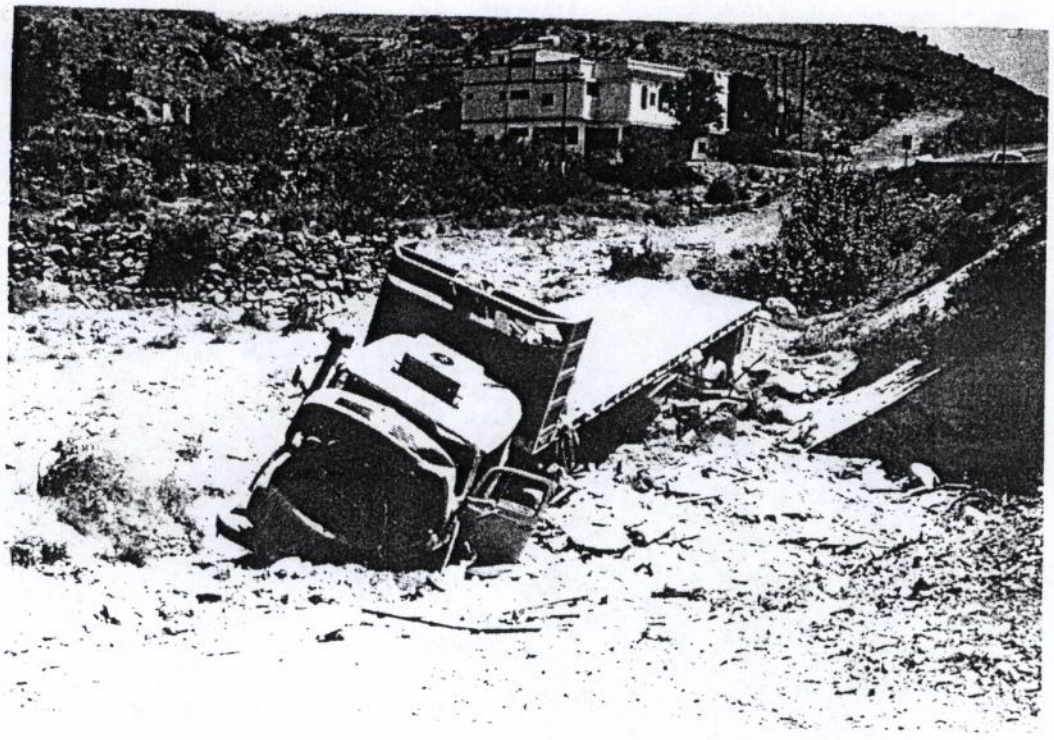
في صباح يوم الأربعاء ١٤١٩/٤/٦هـ الموافق ١٩٩٨/٧/٢٩م انحرفت شاحنة Trailer من نوع مرسيدس أثناء نزولها من منعطف المراصعة بوادي فيق وذلك بعدما فقد سائقها السيطرة عليها. وتبين الصورة رقم ١ الموقع الذي انحرفت منه الشاحنة بعد أن فقد قائدها السيطرة عليها. كما تبين الصورة رقم ٢ الطريق الذي سلكته الشاحنة أثناء خروجها عن الطريق العام بعد أن قرر سائقها أن يتجه إلى الوادي المجاور عله يصطدم بكوم من التربة أو الأشجار في محاولة أخيره منه لإيقاف الشاحنة وهو تصرف جيد أنقذ مستخدمي الطريق في الاتجاهين من كارثة محققة. الدمار الهائل الذي لحق بالشاحنة وحمولتها يمكن مشاهدته في الصورة رقم ٣ بعد أن حطت رحالها وكتبت نهايتها في وادي المراصعة.

من رحمة الله عز وجل خلو الطريق الذي سلكته الشاحنة بعد انحرافها من المشاة أو المتنزهين أو المساكن وإلا فقد تكون المأساة اشد وقعا وأعنف ألما. ويعتقد من النظر إلى الصورة الرابعة إلى إن سائق الشاحنة كان على غير علم مسبق بطبيعة الطريق الذي يسلكه إذ يشير أسم المؤسسة التابعة لها هذه الشاحنة إلى إنها قادمة من منطقة القصيم وهي منطقة تختلف طبيعة طرقها عن منطقة الباحة. كما أن الصورة تبين اختفاء المحور الأمامي Front Axle من الشاحنة بعد أن تم إزالته من مقدمة الشاحنة نتيجة لارتطامها بعبارة خرسانية لتصريف مياه السيول. هذه العبارة هي التي ساعدت على امتصاص الطاقة الحركية للشاحنة. وتبين الصورة الخامسة المنظر الخلفي للشاحنة والدور الذي لعبته العبارة الخرسانية لإيقاف الشاحنة.



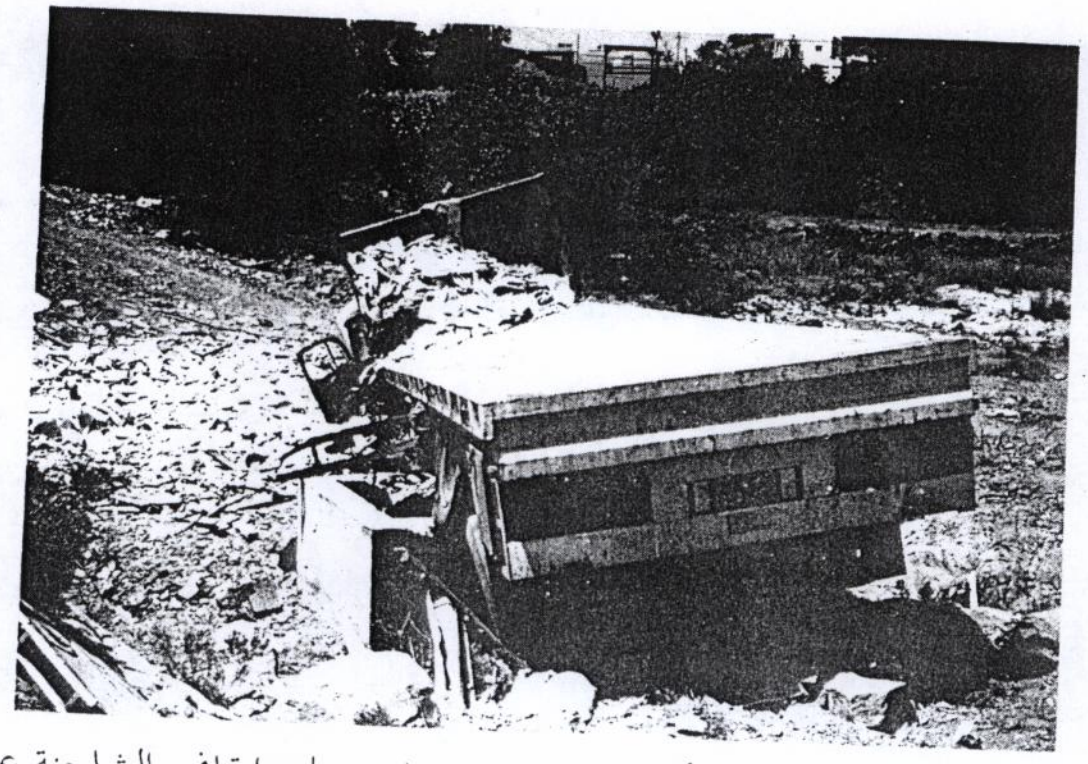
صورة رقم (٢): الطريق الذي سلكته الشاحنة بعد أن فقد قائدها السيطرة عليها.

أن هذا المثال المروع ليبين مدى الحاجة لوجود مهارب آمنة على جنبات الطرق الجبلية المنحدرة ذات المنعطفات الخطرة. أن وجود تلك المهارب لهو لبنة أساسية تضاف إلى هذا الطريق وأمثاله في سبيل المحافظة على الإنسان و ممتلكاته العينية والمادية في هذا البلد الكريم.



صورة رقم (٣): في بضع ثواني أصبحت هذه الشاحنة التي تقدر بمئات الآلاف من الريالات هي وحمولتها لا تساوي ثمن إزالتها من موقع الحادث.

صورة رقم (٤): المحور الأمامي للمركبة تم إزالته بواسطة مصرف مياه الأمطار الخرساني ويلاحظ أسم المؤسسة المالكة للشاحنة وعنوانها.



صورة رقم (٥): مصرف مياه الأمطار الخرساني ساعد على إيقاف الشاحنة عند هذه النقطة.

التوصيات

يلمس من هذه الورقة مدى الحاجة إلى المهارب الآمنة في الطرق الجبلية في المملكة والتي تعاني من عدم وجود هذه المهارب على الإطلاق. خاصة إذا أخذنا في الأعتبار طرق العقبات Decent Roads الموصلة بين سهول تهامة ومرتفعات الحجاز والتي تعتبر طرق شديدة الانحدار. قبل البدء في تنفيذ هذه المهارب يجب القيام بدراسة إحصائية على كافة الطرق الجبلية لتحديد المواقع الخطرة التي تحتاج إلى منحدرات للإفلات وتصنيفها.

شكر وتقدير

يتقدم الباحثان بالشكر لجامعة الملك عبد العزيز على مساندتها لهذا البحث. يتقدم الدكتور عبد الملك الجنيدي بالشكر الجزيل لمدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية في الرياض على دعم هذا البحث بواسطة العقد رقم ٢-٧٤-١٩٩٨. الشكر الجزيل للمهندس عبد العزيز غنيم من إدارة الطرق والمواصلات بمدينة الباحة على اهتمامه بقضايا النقل والمواصلات بمنطقة الباحة.

المراجع

1) Koshi, M., "Road Safety-Success and Failure in Japan," *ITE Journal*, September, 1987, pp. 33-41.
2) Golias, J. C., Matsoukis, E. C. and Yannis, G. D.,"An Analysis of Factors Affecting Road Safety: The Greek Experince" *ITE Journal*, November 1997, pp. 26-48.
3) Choueiri, E. M., Choueiri, G. M. and Choueiri, B. M., "An Overview of Road Saftey in Lebanon," *ITE Journal*, January 1997, pp. 32-37.
4) Jadaan, K. S., "An Overview of Road Safety in New Zealand," *ITE Journal*, April, 1993, pp. 41-45.
5) A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, *American Association of State Highway and Transportation Officials*, AASHTO, Washington-DC, USA, 1984.
6) Wambold, J. C., 1989, "Field Study to Establish Truck Escape Ramp Design Methodology," *Transportation Research Record*, **1233**, pp. 94-103.
7) Wang, M. C., 1989, "Aggregate Testing for Construction of Arrester Beds," *Transportation Research Record*, **1250**, pp. 1-7.
8) Anon, 1995, "SAS Style of Ramp Safety," *Proceedings of the Meeting of Flight Safety Foundation*, Seattle, WA, USA, pp. 326-333.
9) Heywood, J. H., 1992, "Fundamentals of Internal Combusion Engines," Mc-Graw Hill, New York.