

استعراض آليات للحد من مدى الرؤية بسبب الأمطار والطرق المبتلة

Review of the Mechanisms of Visibility Reduction by Rain and Wet Road

إعداد المهندس / سمير عمار مدير إدارة المكتب الفني

المقدمة (1) Introduction

الأمطار تؤدي إلى تعديل جذري في البيئة البصرية لمستخدمي الطرق وخصوصاً في الليل وكذلك تؤدي إلى تغير الرؤية من خلال التأثير على المصابيح الأمامية والزجاج الأمامي والرصف وعلامات المرور بالإضافة إلى ذلك فإن الأمطار تقلل من أداء المصابيح الأمامية وغيرها من مصادر الضوء من خلال تصفية جزء من قوتها مضيئة وبالتالي تؤدي إلى تقليل الإنارة على الطريق في المسافة الواقعة أمام السيارة وكذلك تؤثر الأمطار على قدرة السائق على الرؤية من خلال الزجاج الأمامي وتؤثر الأمطار أيضاً على الرؤية من خلال تغيير كمية المصباح الرجعية التي يعكسها سطح الطريق نحو السائق ودورة المياه على الرصف تجعل ترسيم علامات عبور المشاة غير مرئية تقريباً من خلال إلغاء الخصائص الانعكاسية الرجعية من العواكس في مواد الطلاء وكذلك بالنسبة لنفس الظاهرة المادية فإنها تجعل الرصف يبدو أكثر قتامة مما كانت عليه في الظروف الجافة وهذه هي قائمة موجزة من الحقائق الشائعة بشأن التأثيرات البصرية من الأمطار **في المرجع رقم (١٠)** فيما يلي ونحن نسعى إلى الأرض والبدنية والنفسية أن تكون واضحة من هذه الحقائق استناداً في ذلك إلى المراجع العلمية والخطوط العريضة للورقة هي كما يلي :-

في القسم الأول: نقوم بدراسة التأثيرات البصرية من تساقط الأمطار

أما في القسم الثاني: علينا أن نعالج التأثيرات المرئية من رش الماء

أما في القسم الثالث: فإننا نجهز قائمة لخصائص المواد الرطبة وعلامات الرصف خصيصاً وأخيراً فإننا نقترح الرسومات التخطيطية التركيبية التي تصف آثار الأمطار بشأن رؤية الطريق

(٢) تأثيرات بصرية من تساقط الأمطار

Visual effects of the falling rain

(١/٢) الطبيعة والتركيب المجهرى للأمطار The nature and microstructure of rain

الأمطار من قطرات الماء الساقطة والسكان تتفاعل مع بعضها البعض ومع البيئة بينما التوقع بانخفاض الأمطار يخضع لتشوهات شكلها السريع وهذا الشكل هو حجم يعتمد على قطرات صغيرة وعادة ما تكون كروية الشكل ولكن كما ينمو حجمها فإنها تميل إلى شكل كروي مفلطح وصفت على شكل إسقاط الأمطار **في المرجع رقم (٢)** كما هو تشويه لكرة التمام في ترتيب العاشرة

$$r(\theta) = a \left(1 + \sum_{n=1}^{10} c_n \cos(n\theta) \right) \quad \text{المعادلة رقم (١)}$$

حيث

(a) هي دائرة نصف قطرها من المجال غير مشوهة

و (C1 ، C2 ، ... ، C10) هي معاملات تعتمد على دائرة نصف قطرها من الانخفاض

و (θ) هي زاوية الارتفاع القطبية حيث (θ) = (٠) يتوافق مع اتجاه الأمطار

ويتم تقديم أشكال مختلفة في الحجم من قطرات الأمطار في الشكل رقم (a) نظراً لأن قطرات الأمطار تأتي في مجموعة متنوعة كبيرة من الأحجام وتأخذ شكل غالباً حجم توزيعها باستخدام التوزيع (المارشال بالمر) **في المرجع رقم (١٦)** :

$$N(a) = N_0 e^{-\Lambda a} \quad \text{المعادلة رقم (٢)}$$

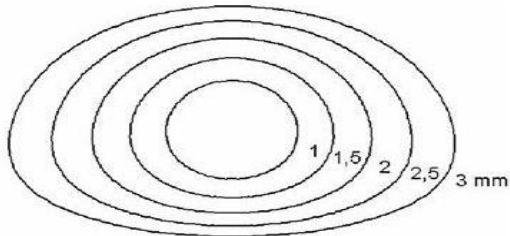
حيث

(a) هي دائرة نصف قطرها من قطرة

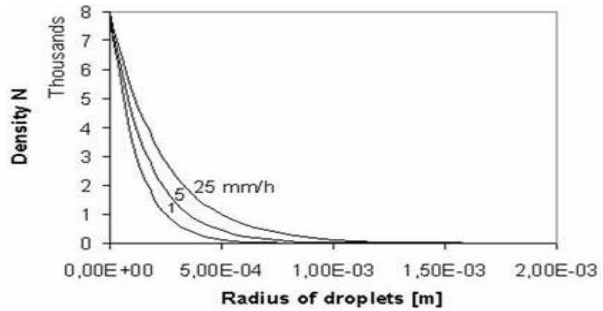
N(a) عدد القطرات لكل وحدة حجم من الأحجام ما بين (a) و (a+da)

$$N_0 = 0.08 \text{ cm}^{-4} \quad \text{و} \quad \Lambda = 82R^{-0.21} \quad \text{و} \quad R \text{ هي كثافة الأمطار في } \text{mm.h}^{-1}$$

ويتم رسم هذا التوزيع في الشكل رقم (b)



(a)



(b)

الشكل رقم (١) يوضح : (a) أشكال قطرات المطر (b) توزيع حجم قطرة المطر مارشال بالمر

قطرات الأمطار تقع وبسرعة ثابتة تسمى في السرعة النهائية ويرد في دراسة تجريبية **في المرجع رقم (١١)** على السرعة النهائية من قطرات الأمطار لانخفاض الأحجام المختلفة ويتم تقريب هذه البيانات **في المرجع رقم (٢٧)** مع الدالة التالية :

$$V_{term} = 9,4 \left(1 - e^{-1,57 \times 10^3 a^{1,15}} \right) \quad \text{المعادلة رقم (٣)}$$

(٢/٢) تشتت الضوء في الأمطار Light scattering in rain

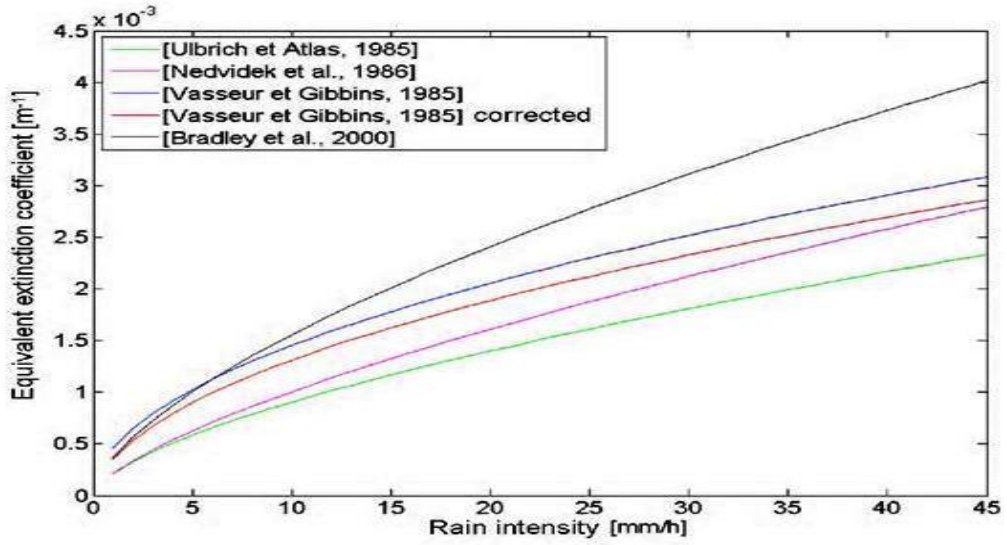
بعض التجارب أجريت في محاولة ربطها بالانقراض البصرية على مسافة طويلة لكثافة الأمطار في المرجع رقم (٢٦) يتضمن تقارير عن نتائج من خمسة دراسات أخرى وتخلص إلى أن العمق البصري (t) التي حصل عليها من القياسات يقابل خلال ٢٥ ٪ من القيمة المحسوبة على أساس توزيعات مختلفة انخفاض المطر ويتم حساب العمق البصري من خلال الدمج بمعامل الانقراض بولاية كانساس (ks) على طول المسار الضوئي (L) على النحو التالي :

$$\tau = \int_0^L k_s dz \quad \text{المعادلة رقم (٤)}$$

عموماً العلاقة التي وجدت في انقراض معامل كانساس k_s (m^{-1}) وكثافة الأمطار R ($mm.h^{-1}$) هي التالية :

$$k_s = aR^g \quad \text{المعادلة رقم (٥)}$$

حيث أن (a) و (g) تختلف فيما يخص الموقع والأجهزة البصرية المستخدمة في التجارب وفي النهاية يتم رسم المنحنيات التجريبية كما في الشكل رقم (٢) في المرجع رقم (٢٦) تقاس الخلفية تشتت مصدر الضوء في الأمطار إستناداً إلى تلك القياسات وأنهم اقترحوا نموذجاً تجريبياً ومع ذلك لم يتم اختبار مدى ملائمة هذا النموذج



الشكل رقم (٢) يوضح المنحنيات التجريبية المختلفة المتعلقة بمعامل الانقراض في الغلاف الجوي وكثافة الأمطار

(٣/٢) آثاره على رؤية الطريق Consequences on roadway visibility

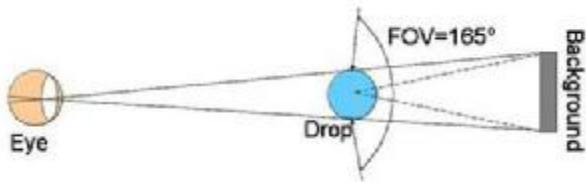
تشتت الضوء في المطر هي محدودة نوعاً ما وباستخدام المقارنة مع التأثيرات البصرية من الضباب يمكن للتأثيرات في تشتت المطر أن تكون مشكلة للقيادة عند رؤية الأرصاد الجوية ($V_{met}=3/k_s$) إلى أقل من ٤٠٠ متر وهو ما يعادل أمطار $300 mm.h^{-1}$ وفقاً للمعادلة رقم (٥) ونادراً ما لوحظ مثل هذه المستويات لهطول الأمطار

(٣) التأثيرات البصرية برش المياه

Visual effects of sprayed water

(١/٣) التأثيرات البصرية من الأمطار على الزجاج الأمامي Visual effects of rain on the windshield

إلى حد علمنا لا يوجد نموذج تحليلي شامل للحد من وضوح الرؤية الناجمة عن الأمطار على الزجاج الأمامي في المرجع رقم (٢٦) التركيز على مظهر من قطرات الأمطار فهي تبين أن مجال الرؤية ينكسر بواسطة قطرة كروية حوالي ١٦٥ درجة مئوية وإستيعاب الانخفاض مع عدسة عين السمكة ويقدم الرسم التخطيطي المناظرة البصرية في الشكل رقم ٣ (a)



الشكل رقم (٣) الرسم التخطيطي البصري الذي يوضح تأثير عدسة عين السمكة التي أنشأتها قطرة المطر

ويمكن للمرء أن يفترض أن قطرات المطر على الزجاج الأمامي ليكون له تأثير مماثل باستثناء تشوه قطرات كروية على الزجاج الأمامي فلقطرات على الزجاج الأمامي تقريبا تعكس بيئة الطريق الذي هو موضح في الشكل رقم ٣ (b) ومن ناحية أخرى فإن العديد من الدراسات التجريبية على استخدام مسحات الزجاج التي تركز على وضوح الهدف والرؤية عن بعد إقتصرت هذه الدراسات على رؤية السائق إلى مركبات ثابتة في الأمطار الصناعية **في المرجع رقم (١٣) وفي المرجع رقم (١٨)** وقد أجريت دراسات أخرى في الأمطار الفعلية وأظهر الباحثون أن مسحات الزجاج لا تتعارض مع تصور مشهد الطريق فيما يخص حركة العين **في المرجع رقم (٦)** وعلاوة على ذلك إن رؤية المسافات تنخفض بشكل ملحوظ عندما تزداد كثافة الأمطار **في المرجع رقم (٣) وفي المرجع رقم (١٢) وفي المرجع رقم (١٧)** وعلى وجه الخصوص تحققت مسافة الرؤية للسيارة المستهدفة تحت الأمطار الطبيعية والمراقبون على متن السيارة وعندما أبلغت اكتشاف السيارة المستهدفة بينما كانوا يعملون على مساحات أو توقفت في الآونة الأخيرة وأظهرت هذه التجارب أن الكشف عن انخفاض مسافات كبيرة مع الإضاءة المحيطة ووضوح تلك المسافة يتناقض مع زيادة كثافة الأمطار وتم العثور على مسافة الرؤية أن تكون أقل بالنسبة للمراقبين على متن سيارة نقل (مقابل ثابت) بسبب ارتفاع تركيز الماء على الزجاج الأمامي. بناء على هذه التجارب واقترح نموذجا لمسافة الرؤية للسيارات من خلال الزجاج الأمامي في حالة المطر في حالة النهار. ويمكن تبسيط هذا النموذج بواسطة :

$$D = c_0 (rt)^{-c_1} e^{c_2 Lb} \quad \text{المعادلة رقم (٦)}$$

حيث

c_0, c_1, c_2	هي قيم ثابتة إيجابية تماما
rt	تميز من تراكم مياه الأمطار على الزجاج الأمامي
r	هي كثافة الأمطار
t	الوقت بين تحركات ممسحة الزجاج
Lb	الإتارة الخلفية

(٢/٣) التأثيرات البصرية من الماء بواسطة رش السيارات الأخرى

Visual effects of water sprayed by other vehicles

رش الماء من المركبات التي لا يمكن إنكارها له تأثيرات على الرؤية **في المرجع رقم (١٧)** ودراسة هذه التأثيرات للأسف لا يوجد لها نموذج وجاء الخروج منه وذلك بسبب الصعوبات التي تعرقل تجارب عديدة في تحديد المعايير الساندة وأظهرت دراسات أخرى أنه يتم تخفيض البداية والرزاز بنسبة ٩٥ ٪ على مسامية الأسفلت بالمقارنة مع غيرها من أسطح الرصف العادية والشكل رقم (٤) مأخوذ من **المرجع رقم (٢٠)** يظهر مركبة ثقيلة على مقطع الطريق مع أو دون الأسفلت التي يسهل اختراقها ومع ذلك فإن مثل هذا الرقم مشكوك فيه نظرا لعدم عمل النسخة مع قياس البروتوكول وقد أجريت الأعمال الأكثر صرامة لتطوير الأجهزة المركبة الثقيلة لتخفيض الرش وعلى الرغم من أن هذه الأبحاث لا تعالج مباشرة رؤية السائق ولكن يمكن استخدام أنظمة القياس التي استخدمت لدراسة مثل هذه الأجهزة للتحقيق في هذه المشكلة بالذات ويقترح تجميع الأعمال التي أجريت قبل عام ٢٠٠٠ **المرجع رقم (١٥)**



الشكل رقم (٤) المياه ترش بواسطة مركبة ثقيلة على طبقة الاسفلت العادية والتي يسهل اختراقها **المرجع رقم (٢٠)**

(٤) التأثيرات انعكاسات الضوء على المواد المبتلة

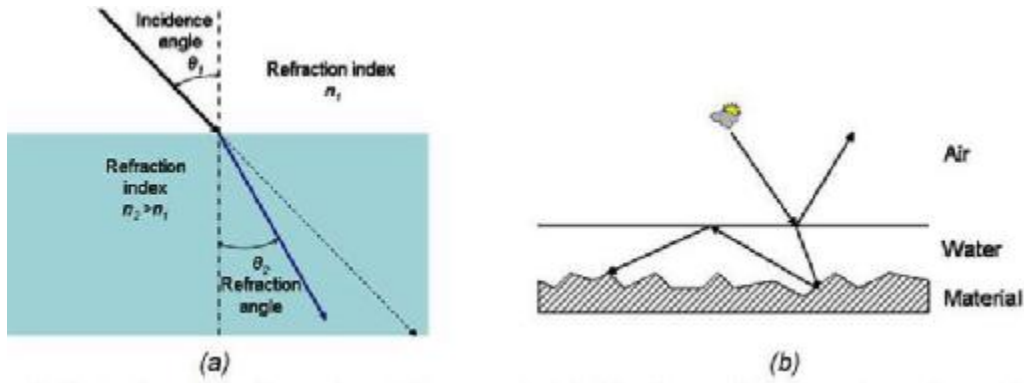
Light reflections on wet materials

(١/٤) المياه على السطح

المياه على السطح مثل بركة موحلة على الرصف يجعلها مرآتيه لأن واجهة الهواء والماء على نحو سلس والتفاعلات الضوئية على السطح يحكمها معادلة المواد العازلة (معادلة Fresnel)

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad \text{المعادلة رقم (٧) (معادلة Fresnel)}$$

فيلم من الماء على السطح يحتفظ كحمل يمكن أيضا أن يجعل السطح يبدو أكثر ظلام **المرجع رقم (١٤)** وهذا هو السبب الرئيسي من خلال انعكاسات داخلية على واجهة الماء في الهواء حيث ينعكس جزء من الضوء كحمل يحتفظ وينعكس للسطح مرة أخرى عندما يضرب واجهة الماء في الهواء لأن هذا الضوء مرة أخرى يخضع لإمتصاص المواد من على السطح قبل أن ينعكس مرة أخرى مما يؤدي إلى بسلسلة من حيث استيعاب قاتما على السطح

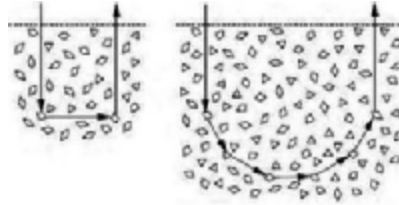


الشكل رقم (٥) : توضيحات من (معادلة Fresnel فرينيل)

وهي مادة مع طبقة من الماء على سطحه ويعكس ضوء أقل بسبب الانعكاسات الداخلية في واجهة الماء في الهواء

Water underneath the surface المياه تحت السطح (٢/٤)

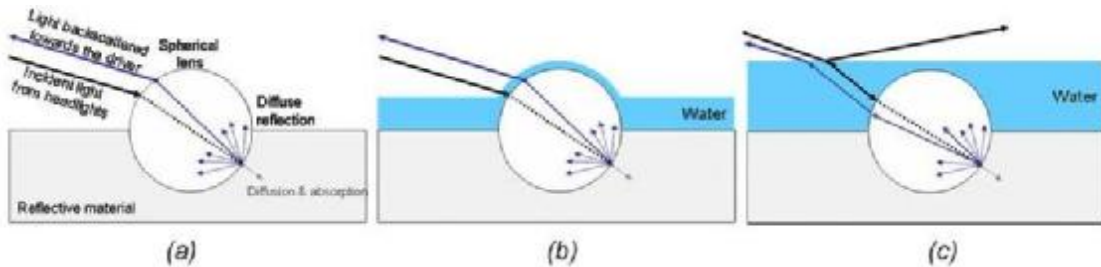
وجود الماء تحت السطح هو عامل مهم آخر يؤثر على المظهر المادي حيث أنه في حالة المواد المسحوقة (الرمل أو الحجر الجيري) يمكن إختراق المياه داخل فتحات مليئة سابقا مع الهواء وهذا تعديل انعكاس خصائص المادة لصالح إعادة توجيه التشتت المرجع رقم (٢٥) لأن السبب الرئيسي هو أن مؤشر إنكسار المياه أعلى من الرقم القياسي للهواء وعادة ما يكون أقرب إلى مؤشر المادة وهذا يعني أن بصيص من ضوء يدخل المادة هو أقل ويتخلله لأن مؤشر الإنكسار هو الأكثر تجانسا عندما تكون المادة هي الرطوبة كما هو موضح في الشكل رقم (٦) والنتيجة هي أن يخضع لمزيد من تشتت الأشعة قبل أن يغادر سطح الأرض وهذا يزيد إجمالي مقدار استيعابها للضوء وفي هذا الشأن العام هي مواد انعكاسية فيما تنخفض والشكل رقم (٦) يوضح أقصر مسار شعاع من الضوء لدخول وخروج المواد مع (اليسار بزواوية تشتت ٩٠ درجة) في المتوسط ومع (اليمين بزواوية تشتت ٣٠ درجة) في متوسط



الشكل رقم (٦) يوضح أقصر مسار شعاع من الضوء لدخول وخروج المواد

Consequences on roadway visibility آثاره على رؤية الطريق (٣/٤)

المطر يغير الجانب المرني من الطريق وسطح الطريق يبدو أكثر قتامة أو مرآتيه اعتماداً على زاوية المراقبة ويمكن أن يكون هذا الإبهار للسائق وخاصة في النهار مع الشمس في زوايا المراعي أو في الليل مع تعارض المصابيح الأمامية مع أداء بصري يضر بواسطة التوهج فإنه أكثر صعوبة بالنسبة للسائق كشف المخاطر كما أن بروز علامات الطريق العاكسة للضوء أيضاً إعاقه خاصة وصممت هذه العلامات لإرسال الأمامي إلى الوراء في اتجاه السيارة أنها عادة لوحة ركوب مع ارتفاع مؤشر إنكسار الضوء (ما بين ١.٥ و ٢.٥) موضح في الشكل رقم ٧ (a) وصفت الخصائص البصرية من الخرز في مزيد من التفاصيل في المرجع رقم (٢٣) والمرجع رقم (٢٩) في وضع النهار على الطرق المبللة والمواد العاكسة الرجعية تعكس أشعة الشمس ويبدو في بعض الأحيان أكثر قتامة من الرصف وفي الليل عندما يكون الطريق رطب قليلا وانخفاض كفاءة الرجعية يعكس الخرز كما هو موضح في الشكل رقم ٧ (b) وعندما يكون الطريق رطب وطبقة المياه أعلى من حجم الخرز ينعكس في الغالب الضوء العلوي في واجهة الهواء والماء كما هو موضح في الشكل رقم ٧ (c) لذلك قد تختفي العلامات وهذا هو السبب في وضع جميع علامات الطقس ويقترح إدخال الجيد في هذه المسألة بالذات في المرجع رقم (٥)

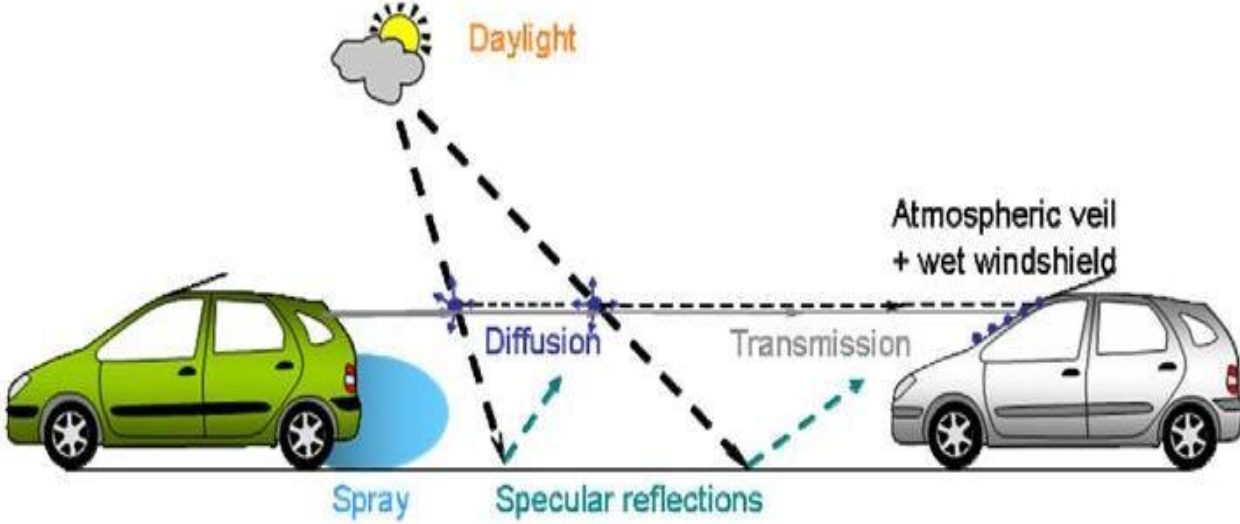


الشكل رقم (٧) الآليات المتكاملة البصرية الرجعية انعكاسا على علامات الرصف مع الخرز المغطى في (a) الجاف (b) والرطوبة (c) الظروف الرطبة

(٥) الخاتمة Conclusion

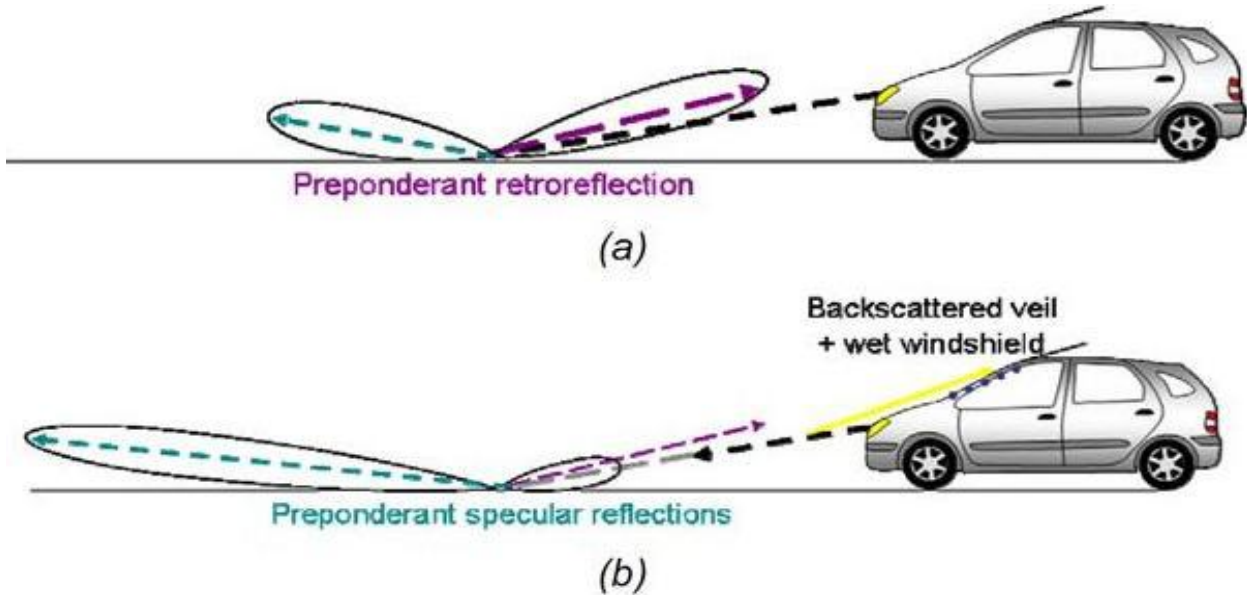
في هذه الورقة قدمنا التفسيرات المادية لآثار الأمطار على رؤية الطريق وتستند هذه التفسيرات على أي من النماذج البصرية أو النفسية وقد صنفنا التأثيرات المرئية من الأمطار إلى ثلاث فئات رئيسية الفئة الأولى تتعلق بتشتت الضوء بواسطة قطرات المطر والفئة الثانية تشمل مخاوف الدفقة والرش

انه يشمل كلا من المطر الساقط على الزجاج الأمامي ورش المياه بواسطة السيارات الأخرى والفئة الثالثة تتعلق بأسطح الطرق المبتلة وعلامات الطرق وخاصة التي يتم تعديلها من قبل ظهور طبقة المياه



الشكل رقم (٨) يوضح التأثيرات البصرية من المطر في ساعات النهار

في النهاية انخفاض انعدام الرؤية بسبب الأمطار و رش المياه الناتج من مزيج من آثار هذه الفئات الثلاث ويمكننا التقدير مسبقا أن التأثيرات من الفئات الثانية والثالثة لها أكبر أثر على الرؤية وتشتت التأثيرات قد تكون لا يعتد بها لشدة هطول الأمطار المشتركة ولإعطاء تخطيطيا لهذه التأثيرات فنحن نقترح اثنتين من الرسومات البيانية ويبين الشكل رقم (٨) التأثيرات المختلفة من الأمطار في وضوح النهار : تخفيض مهمة العابر والحجاب في الغلاف الجوي والزجاج الأمامي الرطب الرش والانعكاسات البراقة ويبين الشكل ٩ الوضع المطر ليلا مع آثار نفس الانعكاس في وضوح النهار بالإضافة إلى انعكاس براق للتغلب على الرصف من هذا الاستعراض للمؤلفات قد رأينا أن آليات الحد من رؤية الأمطار والطرق المبتلة العديدة هي الحلول التكنولوجية لتحسين مفهوم السائق في طقس ممطر وهي بالتالي أيضا عديدة : مساحات الزجاج التكيفية والمصابيح الأمامية التكيفية ومكافحة الدفق وأجهزة الرش ورصف الطرق الوعرة وعلامات تعكس الرجعية ... والخطوة التالية يجب أن تكون للتركيز على المصابيح الأمامية وينبغي إبراز النماذج الكمية لتمكين تحديد السيناريوهات ولحساب الطاقة اللازمة للتعويض عن فقدان الرؤية أو لإيجاد استراتيجيات بديلة للتعويض عن ارتداد مبعثر من الضوء



الشكل رقم (٩) يوضح وضوح الرؤية الليلية (a) في طقس واضح (b) في طقس ممطر

References (٦) المراجع

١	[1] W. Bachman, T. Wingert, and C. Bassi. Driver contrast sensitivity and reaction times measured through a salt-covered windshield. <i>Optometry - Journal of the American Optometric Association</i> , 77(2):67–70, 2006. سائق الحساسية وعلى النقيض من رد فعل مرات يقاس من خلال الزجاج الأمامي الملح المغطاة البصريات -- مجلة جمعية البصرية الأمريكية
٢	[2] K. V. Beard and C. Chuang. A new model for the equilibrium shape of raindrops. <i>Journal of the Atmospheric Sciences</i> , 44(11):1509–1524, June 1987 مجلة علوم الغلاف الجوي
٣	[3] V. Bhise, J. Meldrum, L. Forbes, T. Rockwell, and E. McDowell. Predicting driver seeing distance in natural rainfall. <i>Human Factors</i> , 23(6):667–682, 1981 توقع السائق رؤية المسافة في هطول الأمطار الطبيعية و العوامل البشرية
٤	[4] S. G. Bradley, C. D. Stow, and C. A. Lyuch-Blosse. Measurements of rainfall properties using long optical path imaging. <i>Journal of Atmospheric and Oceanic Technology</i> , 17(6):761–772, June 2000. قياسات لخصائص الأمطار باستخدام مسار طويل التصوير الضوئي. مجلة تكنولوجيا الغلاف الجوي والمحيطات
٥	[5] D. Burns, T. Hedblom, and Miller T. Modern pavement marking systems: the relationship between optics and nighttime visibility. In 18th Biennial Transportation Research Board Visibility Symposium, 2007 العلاقة بين علم البصريات والرؤية الليلية
٦	[6] A. Cohen and H. Fischer. Does the windshield wiper impede a driver's vision? <i>International Journal of Vehicle Design</i> , 9(4-5):533–541, 1988 هل ممسحة الزجاج الأمامي تعوق رؤية السائق؟ المجلة الدولية للتصميم السيارات
٧	[7] E. Dumont. Characterization, modélisation et simulation des effets visuels du brouillard pour lousier de la route. PhD thesis, University Paris V, Novembre 2002 التوصيف والنماذج والمحاكاة البصرية للأثار الضباب لمستخدمي الطريق
٨	[8] F. Formula. Visualization des projections d'eau sur route mouillée. In Journées des Sciences de l'ingénieur, Dourdan, France, 2003 التصور من رذاذ الماء على الطرق المبتلة في أيام العلوم الهندسية
٩	[9] K. Garg and S. Nayar. Vision and rain. <i>International Journal of Computer Vision</i> , 75(1):3–27, October 2007. الرؤية والمطر. المجلة الدولية للكمبيوتر
١٠	[10] M. Green, M. Allen, B. Abrams, and L. weintraub. <i>Forensic vision with application to highway safety, third edition. Lawyers & Judges Publishing Company, 2008</i> الطب الشرعي مع رؤية التطبيق السريع
١١	[11] R. Gunn and G. D. Kinzer. Terminal velocity for water droplet in stagnant air. <i>Journal of Meteorology</i> , 248, 1949 السرعة النهائية لقطرات الماء في الهواء الراكد مجلة الأرصاد الجوية
١٢	[12] D. Ivey, E. Lehtipuu, and J. Button. Rainfall and visibility – the view from behind the wheel. Technical Report 135-2, College Station, TX: Texas Transportation Institute, 1975 وجهة النظر من هطول الأمطار والرؤية وراء عجلة القيادة معهد النقل بتكساس
١٣	[13] T. Kurahashi, Y. Fukatsu, and K. Matsui. Method of evaluating visibility provided by windshield wipers in rainy conditions. In SAE Technical Paper Series, number 851636, 1985. الظروف التي تقدمها مسحات الزجاج الأمامي في ظروف الأمطار
١٤	[14] J. Lekner and M. Dorf. Why some things are darker when wet. <i>Applied Optics</i> , 27(7):1278–1280, 1988 لماذا بعض الأمور قتامة عندما تكون البصريات التطبيقية رطبة
١٥	[15] C. MacAdam. Update on the status of splash and spray suppression technology for large trucks. Technical report, NHTSA, 2000. التحديث على وضع البداية ورذاذ التكنولوجيا قمع للشاحنات الكبيرة تقرير تقني
١٦	[16] J.S. Marshall and W.M.K. Palmer. The distribution of raindrops with sizes. <i>Journal of Meteorology</i> , 5:165–166, 1948. توزيع قطرات المطر مع الأحجام. مجلة الأرصاد الجوية
١٧	[17] R. Morris, J. Mounce, J. Button, and N. Walton. Field study of driver visual performance during rainfall. Technical Report DOT-HS-5-01172, College Station, TX: Texas Transportation Institute, 1977 ميدانية أداء السائق البصرية أثناء هطول الأمطار. تقرير تقني معهد النقل بتكساس
١٨	[18] R. Morris, J. Mounce, J. Button, and N. Walton. Visual performance of drivers during rainfall. <i>Transportation Research Record</i> , 628:19–25, 1977. أداء السائقين خلال هطول الأمطار. سجل بحوث النقل.
١٩	[19] F. Nedvidek, C. Schneider, and E. Kucerovsky, Brannen. Near-infrared extinction in rain measured using a single detector system. <i>Journal of atmospheric and oceanic technology</i> , 3:391–399, 1986 تقاس الأشعة تحت الحمراء القريبة الانقراض في المطر باستخدام نظام للكشف عن واحدة مجلة تكنولوجيا الغلاف الجوي والمحيطات
٢٠	[20] J. Nicholls. Review of UK porous asphalt trials. Technical Report 264, TRL, 1997 استعراض تجارب المملكة المتحدة في الأسفلت التي يسهل اختراقها تقرير تقني
٢١	[21] D. B. Rensch and R. K. Long. Comparative studies of extinction and backscattering by aerosols, fog, and rain at 10.6 μm and 0.63μm. <i>Applied Optics</i> , 9(7):1563–1573, July 1970 دراسات مقارنة الإنقراض وارتداد مبعثر عن طريق الرذاذ والضباب والمطر
٢٢	[22] R. Rogers, M. Lamoureux, L. Bissonnette, and R. Peters. Quantitative interpretation of laser ceilometer intensity profiles. <i>Journal of atmospheric and oceanic technology</i> , 14:396–411, 1997. كثافة كمية تفسير ملامح الليزر مجلة تكنولوجيا الغلاف الجوي والمحيطات
٢٣	[23] M. Stoudt and K. Verdarn. Retroreflection from sperical glass beads in highway pavement markings 1: Specular reflection. <i>Applied Optics</i> , 17(12):1855–1858, 1998 الانعكاس من الخرز الزجاجي في رصف الطريق السريع
٢٤	[24] C. Stow, G. Bradley, K. Paulson, and L. Couper. The simultaneous measurement of rainfall intensity, drop-size distribution, and the scattering of visible light. <i>Journal of Applied Meteorology</i> , 30:1422–1435, 1991 هطول الأمطار في وقت واحد وتوزيع حجم التسرب وتشتت الضوء المرئي مجلة الأرصاد الجوية التطبيقية
٢٥	[25] S. Twomey, C. Bohren, and J. Mergenthaler. Reflectance and albedo differences between wet and dry surfaces. <i>Applied Optics</i> , 25(3):431–435, 1986 الخلافات بين البياض والأسطح الرطبة والجافة. البصريات التطبيقية
٢٦	[26] C. W. Ulbrich and D. Atlas. Extinction of visible and infrared radiation in rain: Comparison of theory and experiment. <i>Journal of atmospheric and oceanic technology</i> , 2:331–339, 1985 انقراض الإشعاع المرئي والأشعة تحت الحمراء في المطر : مقارنة بين النظرية والتجربة. مجلة التكنولوجيا في الغلاف الجوي والمحيطات
٢٧	[27] F. J. R. Van Mook. Driving rain on building envelopes. Technical report, Faculty of Architecture, Planning and Building of the Eindhoven University of Technology, 2002 الأمطار الغزيرة على ظروف يريديية المبنى التقرير التقني كلية العمارة والتخطيط والبناء في جامعة ايندهوفن للتكنولوجيا
٢٨	[28] H. Vasseur and C. J. Gibbins. Prediction of apparent extinction for optical transmission through rain. <i>Applied Optics</i> , 35(36):7144–7150, December 1996. التنبؤ بالانقراض واضحة لانتقال البصرية من خلال المطر البصريات التطبيقية.
٢٩	[29] K. Verdarn and M. Stoudt. Retroreflection from sperical glass beads in highway pavement markings 2: Diffuse reflection (a first approximation calculation). <i>Applied Optics</i> , 17(12):1859–1869, 1998. الانعكاس من الخرز الزجاجي.
٣٠	[30] H. Zwahlen. Driver eye scanning behavior in rain and during an unexpected windshield wiper failure. <i>Zeitschrift für Verkehrssicherheit</i> , 26:148–155, 1980 مسح عين السائق والسلوك في أثناء المطر وفشل ممسحة الزجاج الأمامي غير متوقعة

