ISSN: 1994-4217 (Print) 2518-5586(online)

Journal of College of Education

Available online at: https://eduj.uowasit.edu.iq

Asst.Pro.Dr. Sahar Saeed Qassim Altaee

College of Education for Human Sciences, University of Mosul

Email: sahar.altaee@uomosul.edu.iq

Keywords:

Fog harvesting, sustainable development, investment, GIS, RS

CC BY

A r t i c l e i n f o

Article history:

Received 28. Aug.2026

Revised 25. Sep.2026

Accepted 27. Sep.2026

Published 25. Nov.2026

Fog harvesting and the possibility of utilizing it for sustainable development using RS & GIS.

A B S T R A C T

Fog harvesting is one of the modern scientific methods of collecting water and relies on climatic conditions to provide water for human use. With climate change and successive years of drought, there has been a need to find alternative ways to obtain water resources, relying on geographic information systems and remote sensing applications to identify the best sites to capture the maximum amount of water and manage it for sustainable development. This was the main issue observed in the White Mountain area in the city of Duhok, where several villages needed drinking water and water for livestock. This prompted a study on this topic due to its importance and the need to determine the best places to choose in areas suffering from water scarcity. Work was done to derive the natural variables affecting the collection of the maximum usable water to achieve sustainable development for the selected village populations, including Qazfashar village and the surrounding areas, which were the best in the northwest, and Bajlor village, which was on the eastern side of the mountain, where the essential needs of the residents for water provision were met in these areas.

© 2026 EDUJ, College of Education for Humans Sciences, Wasit University

DOI: https://doi.org/10.31185/eduj.Vol65.Iss2.5553

حصاد الضباب وإمكانية استثماره باستعمال RS & GIS

أ.م.د. سحر سعيد قاسم الطائي

جامعة الموصل ـ كلية التربية للعلوم الإنسانية

الملخص

يعد حصاد الضباب أحد الطرق العلمية الحديثة لعملية تجميع المياه ويعتمد على الظروف المناخية لتوفير المياه للاستخدامات البشرية وفي ظل التغيرات المناخية وتوالي سنوات الجفاف بين سنة وأخرى كانت الحاجة الى انتخاب طرق بديلة للحصول على الموارد المائية بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية وتطبيقات التحسس النائي لتحديد افضل المواقع للاستفادة من أكبر كمية للمياه وحصرها وصولاً للتنمية المستدامة وهذه كانت المشكلة الأساسية التي تمت ملاحظتها في منطقة الجبل الأبيض في مدينة دهوك حيث كانت هناك عدد من القرى بحاجة الى المياه الصالحة للشرب وسقي الحيوانات وهذا مما دعا الى

دراسة هذا الموضوع لأهميته وتحديد أفضل الأماكن لانتخاب هذه المواقع التي تعاني من شحة المياه. حيث تم العمل على اشتقاق المتغيرات الطبيعية المؤثرة في الحصول على اكبر كمية مستثمرة من المياه لتحقيق تنمية مستدامة لسكان القرى المنتخبة ومنها قرية قزفشر والمناطق المحيطة بيها كانت افضل منطقة منتخبة في الجهة الشمالية الغربية وقرية باجلور التي كانت في الجهة الشرقية من الجبل حيث توفرت فيهم الحاجة الأساسية للسكان لتوفير المياه في هذه المناطق لان تُعد تقنية Sky Lineحلاً مبتكراً ومستداماً لمواجهة أزمة الشح المائي في المناطق الجبلية والجافة، وتساهم بشكل مباشر في تحقيق عدة أهداف من أهداف التنمية المستدامة .

الكلمات الدالة: حصاد الضباب ، التنمية المستدامة ، الاستثمار ، GIS، RS

المقدمة

إن حصاد الضباب هو طريقة غير تقليدية لإنتاج المياه العذبة الصالحة للشرب من السحب القادمة المحملة بالماء والتي تتكاثف عند موجاتها للمنطقة الجبلية بمساعدة العوامل الطبيعية الأخرى حيث تتم دراسة استدامة مشروع جمع الضباب في منطقة الجبل الأبيض التابعة الى محافظة دهوك شمال العراق وجدوى مشاريع جمع حصاد الضباب من خلال توفر انتخاب مواقع تكون مؤهلة لحصاد كمية وفيرة من المياه الصالحة للشرب وللاستعمالات الأخرى

جامعي الضباب وأنواع الشبكات حيث يتم التحقيق في جوانب الاستدامة لمشاريع جمع الضباب بما في ذلك كمية ونوعية مياه المستخدمة للحصاد. ويتم تقييم جدوى مشاريع جمع حصاد الضباب، مقارنة بالمصادر الأخرى لإمدادات المياه العذبة بما في ذلك البنية التحتية المقابلة، تكلفة امداد شبكة مياه الاسالة والتكاليف التشغيلية بالإضافة الى فترات الاستهلاك للمصروفات المادية وعليه يتم عرض رؤية تنفيذ مشروع جمع الضباب بما في ذلك معايير اتخاذ القرار (Batisha, 2015: 2)

مشكلة البحث :

تتحدد مشكلة البحث هل بالإمكان تحديد أفضل الأماكن لانتخاب مناطق حصاد الضباب في منطقة الجبل الأبيض وفق المعايير المناخية والطبيعية لخدمة السكان الموجودين في هذه المناطق عن طريق اختيار أفضل طريقة لذلك لصعوبة الحصول على المياه الصالحة للشرب في هذه المناطق.

فرضية البحث

يمكن من خلال فرضية البحث التوصل الى أفضل الأماكن لاختيار مناطق حصاد الضباب بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد من خلال توظيف جميع المعايير التي نحتاجها لذلك للوصول الى توفير المياه بأقل تكلفة ممكنة.

هدف البحث

يهدف البحث الى تحديد مناطق حصاد الضباب في منطقة الجبل الأبيض في مدينة دهوك عن طريق الاستفادة الرطوبة العالية والغيوم الملامسة لسفوح الجبال كمصدر مستدام وبديل للمياه وتركز هذه الدراسة على اختيار المرتفعات الجبلية البارزة والمعرضة للرياح المحملة بالبخار لتقليل أزمة شح المياه.

أهمية البحث

تعد عملية استدامة المياه من المتطلبات الرئيسة في الحياة عن طريق توفير مصدر إضافي ونظيف للمياه الصالحة للزراعة أو الشرب في المناطق الجبلية الوعرة. بالإضافة الى الاستفادة من التضاريس ذات الارتفاعات العالية لسلاسل الجبال المحيطة بدهوك ومنها الجبل الأبيض منطقة الدراسة حيث تشهد تكثيفاً للضباب والغيوم ومن خلال ذلك تم الاعتماد على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية لتحديد المواقع الأكثر كفاءة لتركيب شباك التقاط الضباب

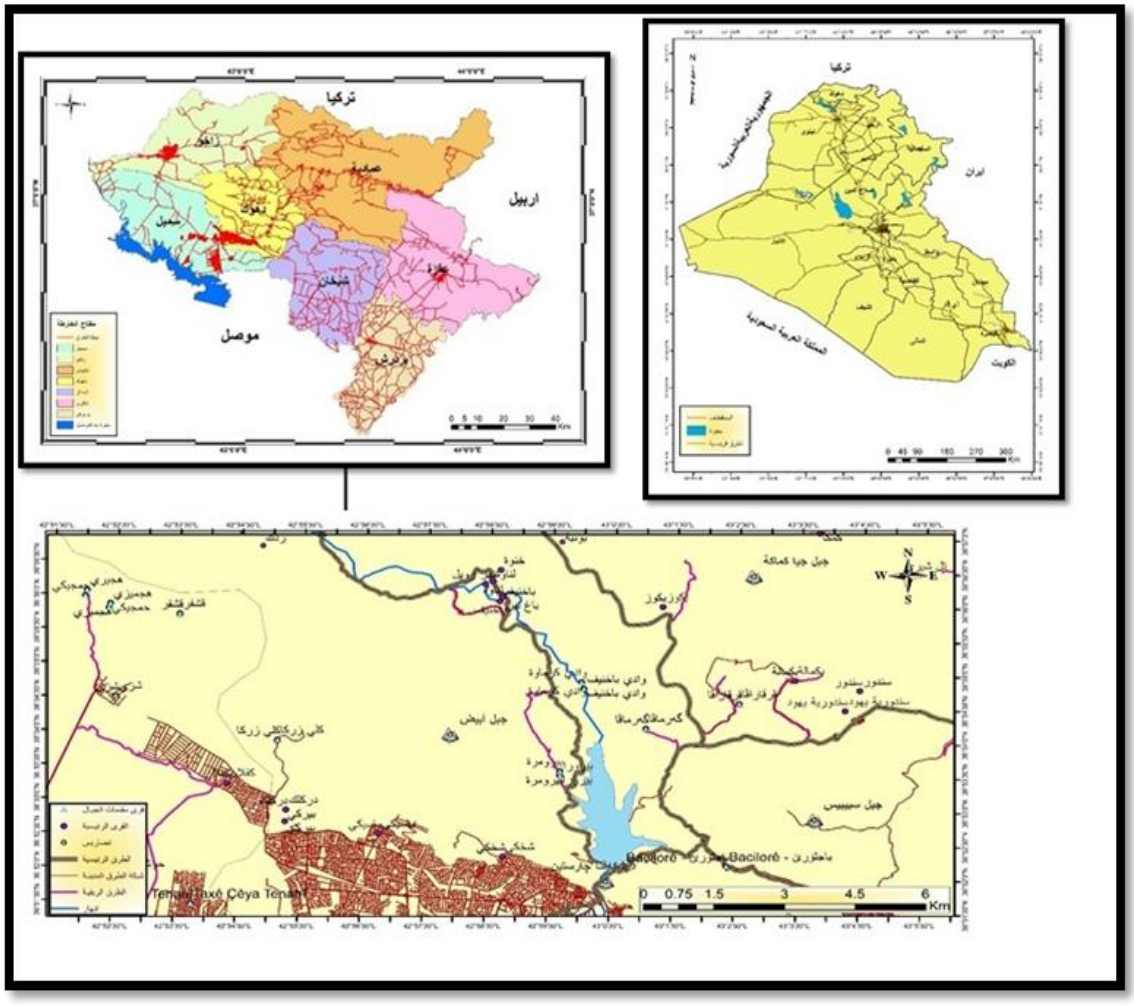
منهج البحث

يعتمد منهج البحث العلمي في تحديد ودراسة مناطق حصاد الضباب في منطقة الدراسة على المنهج الاستقرائي والأسلوب التحليلي للبيانات، مستخدماً تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد لبناء قاعدة بيانات دقيقة تفسر المتغيرات الطبيعية والمناخية وتأثيرها على تكاثف الضباب

موقع منطقة الدراسة

وتدعى بسلسلة الجبل الابيض وهي منطقة الدراسة التي يبلغ ارتفاعها قرابة (١١٨٧ متر) فوق مستوى سطح البحر ومن جهتها الجنوبية جبل زاوة المعروفة محلياً بالجبل الاسود البالغ ارتفاعه (٩٠٠ متر) وبهذا يعد الجبل الابيض أحد الجبال التي تقع ضمن سلسلة الجبال الالتوائية ويحده جنوباً مدينة دهوك وغرباً سهل سميل وشرقاً سدة دهوك ويعتبر الجبل ذات موقع استراتيجي مهم كونه يعد بمثابة دفاع للمدينة وحمايتها اضافة الى الموارد الطبيعية التي تحتويها منطقة الدراسة (اسكندر, ٢٠١٣: ١٥). ويقع بين خطي طول(٣٠ً ٥١ً ٤٢ٌ – ٣٠ً ٥ً ٤٣ٌ) شرقاً وبين دائرتي عرض (٣٠ً ٥٦ً ٣٦ٌ– ٣٠ً ٥١ً ٣٦ٌ) شمالاً (موسيس, ٢٠٠٥: ١٥) كما موضح في الخارطة رقم (١).

الخارطة (١): موقع منطقة الدراسة



المصادر للخرائط بالاعتماد على : العراق، وزارة التخطيط، مديرية التخطيط محافظة دهوك، شعبة.GIS. خارطة حدود محافظة دهوك، ٢٠٢١.

– جمهورية العراق، وزارة التخطيط، الجهاز المركزي للإحصاء، شعبةGIS ، خريطة العراق الإدارية لسنة ٢٠١٢.

حصاد اضباب واهميته

يُعدّ نقص موارد المياه العذبة مشكلة اقتصادية واجتماعية وسياسية بالغة الأهمية في جميع أنحاء العالم، وهي مشكلة تتفاقم مع ازدياد نسب التلوث أو استنزاف مصادر المياه العذبة (Rijsberman, 2006: 5-22) ، وعلى هذا الأساس اتجه تفكير دول العالم نحو طرق مبتكرة للتزويد بالمياه منها طريقة حصاد الضباب والتي تعتمد على أجهزة تعمل على تجميع مياه الضباب في حل هذه المشكلة من خلال توفير مصادر جديدة للمياه العذبة في بعض المناطق القاحلة حول العالم، تساعد في الاستهلاك البشري أو سقي الماشية، وكذلك لأغراض الري (Abdul-Wahab et al., 2010: 100-109).

ويعتمد "حصاد الضباب " على فكرة مبتكرة عن طريق استخراج الماء من الضباب في قمم الجبال المرتفعة عبر اعتراضه بشبكات مصممة لذلك (Alzahrani and Abdelbaki, 2025: 265). وتزويد سكان المناطق التي تعاني نقصا حادا من الماء بعد تجميعه ومعالجته واشتغلت منظمة مغربية غير حكومية وهي جمعية دار سي حماد على هذا المشروع في منطقة سيدي إفني بجنوب المغرب منذ أكثر من عشر سنوات بشراكة مع مؤسسة ميونيخ ري الألمانية. ويحقق هذا المشروع اليوم نجاحا باهراً، حيث تمكن من تغيير حياة خمس قرى جبلية إلى الأفضل، ونال جائزة التشجيع للأمم المتحدة حول التغيرات المناخية خلال فعاليات مؤتمر المناخ كوب ٢٢ في المغرب (COP22) هو قمة عالمية لعلاج تغير المناخ، عُقد في مدينة مراكش بالمغرب خلال الفترة من ٧ إلى ١٨ نوفمبر ٢٠١٦، بهدف تفعيل اتفاق باريس ودعم الدول النامية، ويزود المشروع حاليا أكثر من ٩٢ أسرة (حوالي ٤٠٠ شخص) في خمس قرى بالماء الصالح للشرب، ويدفع السكان اشتراكا رمزيا شهريا لدعم المشروع يقدر بحوالي ٢ يورو لكل ١٠٠٠ لتر من المياه المستهلكة، وفق معطيات نشرتها جمعية دار سي حماد (مؤتمر الأمم المتحدة للتغير المناخي, ٢٠١٦).

إن مشروع حصاد الضباب أنقذ السكان من معاناة نقص المياه وساهم في استقرارهم وتوقف الهجرة إلى القرى والمدن المجاورة، وتوفير مياه الشرب لأطفال القرية لمتابعة دراستهم بعد أن كانوا يساعدون عائلتهم في البحث عن المياه. وهناك تجربة ثانية مبتكرة قوامها تجميع المياه من رطوبة ورذاذ الضباب في جبال بوتمز كيدة ٣٥ كم عن سيدي إفني في المغرب، حيث يتم نصب شباك من مادة بروليبر وبيلان المعروفة بحساسيتها لاستشفاف ما يحمله الضباب من رذاذ ورطوبة على ارتفاع ١٢٢٥ متر باتجاه الشمال الغربي في الطرق الجبلية لاستثمار الضباب الجبلي (إفني, ٢٠٢٠). وبناء على ما تقدم تم العمل من خلال البحث على تحديد أكثر المواقع ملائمة في الجبل الأبيض لحصاد الضباب بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد من خلال طرق علمية سيتم تتعبها للوصول الى الموقع الأمثل لتحقيق التنمية المستدامة في المنطقة. وبناء على ذلك تم التوجه نحو اقتراح انشاء شبكات مجمعات مياه الضباب الفعلية، وأن هناك حدًا أقصى لمعامل التجميع الديناميكي الهوائي يتراوح بين ٢٠–٢٤.٥٪ لمعاملات التظليل بين ٠,٥ و ٠,٦ ، للشبكة المحددة التي تمت محاكاتها لتجميع أكبر كمية من الضباب من خلال زيادة كفاءة التجميع الديناميكي الهوائي عن طريق جعل مجمع مياه الضباب مقعرًا وتحسين الديناميكية الهوائية لألياف الشبكة المقترحة (Ghosh and Ganguly, 2020: 994-1014) كما موضح الصورة رقم (١)

الصورة (١): توضح الشبكات المستخدمة في حصاد الضباب



https://fieldstudyoftheworld.com/moroccan-fog-harvesting-project-relieves-water-stress-rural-poverty/#comments

وقد وجد أن هناك ثلاثة عوامل تؤثر بشكل أساسي على كفاءة التجميع هي معامل الظل للشبكة، وطول التنقيط الفعال لقطرات الماء على طول شبكة الضباب، وزاوية ميل الشبكة فيما يتعلق بتيار الضباب الصاعد رأسياً. وكفاءة التجميع المرصودة أكثر من ضعف تلك الموجودة في جامعات الضباب الأخرى العاملة عالميًا. وتقدم النتائج أسس التصميم لأنظمة حصاد الضباب كاملة النطاق والتي يمكن نشرها في أبراج تبريد محطات الطاقة ومجموعة واسعة من مولدات الضباب الاصطناعي الأخرى (Fessehaye et al., 2015: 5) حيث أعلنت الأمم المتحدة الفترة ٢٠٠٥-٢٠١٥ بوصفها العقد الدولي للعمل "الماء من أجل الحياة (محمد نصر, ٢٠٢٣: ٢٤٤) .

وبناء على ذلك وجد أن الضباب هو أحد المصادر البديلة المحتملة للمياه العذبة ذات الجودة الجيدة مع نظام جمع منخفض التكلفة للغاية. ونتيجة لذلك، تم محاولة العديد من مبادرات جمع الضباب في أكثر من ١٧ دولة بما في ذلك الصحاري الساحلية في بيرو وسلطنة عمان وصحراء ناميب واليمن وفي تلال نيبال وتضمنت المشاريع الجوانب التالية: (أ) تصميم وإقامة وتشغيل نظام لحصاد مياه السحب؛ (ب) مراقبة جودة المياه والتحقيق في العلاقات بين المتغيرات الجوية المختلفة وإنتاج مياه السحب؛ و(ج) تدريب المجتمع وبناء القدرات وإنتاجية المياه التي تم الحصول عليها، فضلاً عن جودة المياه اختيار الموقع يجب أخذ أربعة عوامل رئيسية في الاعتبار عند تحديد الموقع المناسب لمركز تجميع المياه العذبة، وهي: (أ) إمكانية جمع كميات كبيرة من المياه، (ب) القرب من مجتمع فقير بالمياه، (ج) إمكانية الوصول، و(د) الأمن (محمد نصر, ٢٠٢٣: ٢٤٥).

وتشير النتائج إلى أنه من حيث الجودة وحجم العائد، يمكن استخدام حصاد مياه السحب بنجاح لتكملة إمدادات المياه في المناطق المعرضة للضباب في البلاد. ومن الناحية المثالية يفضل أن يكون الموقع معرضًا لرياح ضبابية متكررة في المناطق الجبلية ويجب أن يكون ارتفاعه أكثر من ١٠٠٠ متر (Alzahrani and Abdelbaki, 2025: 3).

حصاد الضباب في الجبل الأبيض

يعد الجبل الأبيض في محافظة دهوك أحد الجبال المهمة ويطلق عليها أيضا جبل بيّخير ويُعرف محلياً بالجبل الأبيض نظراً لطبيعته الصخرية الكلسية الفاتحة، ولأنه يكتسي بثوب ناصع البياض خلال فصل الشتاء عند تساقط الثلوج. ويحتل الجبل موقعا جغرافيا كشريط جبلي يحيط بمدينة دهوك من الجهة الشمالية والشمالية الغربية، ويصل ارتفاع أعلى قممه إلى حوالي ١٨٧٨ متر فوق مستوى سطح البحر (بينما تطل بعض القمم القريبة مثل قمة "شدا" بارتفاعات مميزة تمنح رؤية بانورامية للمنطقة). يطل الجبل مباشرة على مدينة دهوك، ويوفر مناظر خلابة تجمع بين المدينة وسد دهوك وبحيرته الشهيرة (بحيرة سد دهوك) (موسيس, ٢٠٠٥: ١٦).

وهذا ما تم تطبيقه في منطقة الجبل الأبيض في دهوك الضباب هو الحصول على مصدر للمياه العذبة الصالحة للشرب من خلال جمع مياه الضباب وتحديد مواقع مثلى يمكن الاعتماد عليها من قبل المنظمات او المؤسسات الحكومية للوصول الى استراتيجية مستدامة يتم من خلالها الحصول على مياه الشرب للاستهلاك البشري والحيواني في المناطق الضبابية الجبلية (التي يصعب الوصول إليها والاستفادة منها من قبل السكان المحليين) كما موضح في الصورة رقم (2)، في مناطق باجلو وقره فشر التي تم الاطلاع على الجبل كامل خلال الزيارة الميدانية حيث أنه حتى في غياب الغطاء النباتي يمكن التقاط الضباب الجبل كمصدر للمياه في ساعات الصباح الباكر وقد تم اقتراح حصاد مياه الضباب لغرض استهلاك المياه العذبة في العقود الأخيرة للمواقع التي يكون ذلك مبررًا اقتصادي مستدام.

الصورة (٢): توضح مناطق من الجبل الأبيض خلال الزيارة الميدانية



المصدر من عمل الباحثة خلال الزيارة الميدانية بتاريخ ٢٠٢٥/٨/٢٠

البيئية التي تؤثر على تكوين الضباب (موسيس, ٢٠٠٥: ١٦). تشير المتغيرات البيئية إلى الظروف المناخية والطوبوغرافية والهيدرولوجية التي تحكم تكوين الضباب من خلال استخدام بيانات الاستشعار عن بعد ومنها نموذج الارتفاع الرقمي لتقدير المتغيرات التي تخدم البحث حيث يمثل حصاد الضباب حلاً مستدامًا ومبتكرًا لشح المياه من خلال استغلال الرطوبة الجوية للوصول الى الاستثمار الأمثل في ظل التطور العلمي والتكنولوجي .

وبناء على ما تقدم سيتم الإشارة الى العوامل الطبيعية والبشرية المؤثرة في المنطقة للوصول الى تحديد الموقع الأمثل من خلال عدة عوامل سيتم التطرق اليها وتعتبر من الأسس العلمية المهمة في نشوء وتكوين حصاد الضباب .

العوامل المناخية الموثرة في حصاد الضباب

إن دراسة المناخ له أهمية كبيرة حيث يعد المناخ من العوامل التي تؤثر في تشكيل ظاهرة حصاد الضباب وتطورها لزيادة الاستثمار للمياه الصالحة للشرب والتي بدورها تمثل إحدى أهم المقومات العلمية لعنصر المكان، كما أنها تؤثر تأثيرا مباشرة على الحياة اليومية حيث ان المناخ له أهمية الكبيرة في معرفة أكثر الفصول في السنة ملائمة تبعا لمواقع الشبكات المختارة للحصاد مما يساعد على زيادة الاستثمار والوصول للتنمية المستدامة (National Weather Service, 2024: 1) وسوف سيتم الى العناصر المناخية الموثرة في حصاد الضباب وتتمثل بالشكل التالي :

١- درجة الحرارة للفترة من ٢٠٢٠-٢٠٢٥ :

تعد درجة الحرارة من العوامل المناخية الحاسمّة التي تحدد مدى نجاح أو فشل مشروع حصاد الضباب، حيث تؤثر بشكل مباشر على تكوّن الضباب، كثافته، واستمراريته. من خلال نقطة الندى وتكاثّف الرطوبة

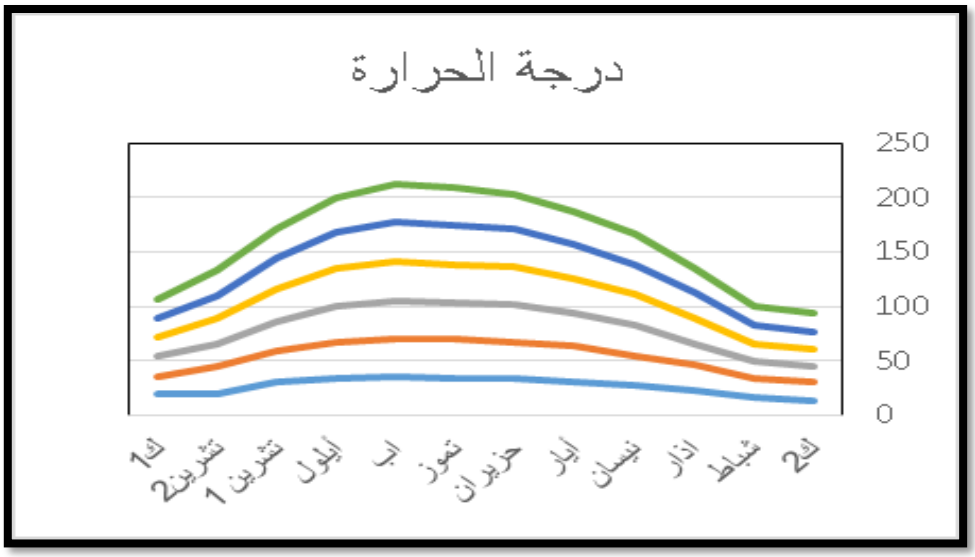
لكي يتحول البخار المحمول في الهواء إلى قطرات ضباب ملموسة، يجب أن تنخفض درجة حرارة الهواء حتى تتساوى مع "درجة نقطة الندى". انخفاض الحرارة يقلل من قدرة الهواء على حمل البخار، مما يجبره على التكثّف حول ذرات الغبار أو الأسطح (كالشباك المخصصة للحصاد). وكذلك الفارق الحراري اليومي تعتمد العملية بشكل كبير على الانقلاب الحراري (وجود طبقة هواء دافئة فوق طبقة باردة ملاصقة للأرض أو السلاسل الجبلية) (محمد نصر, ٢٠٢٣: ٢٢٥) يساعد هذا الفارق الحراري على احتجاز الرطوبة في الطبقات السفلى لتشكل سحبًا منخفضة وضبابًا كثيفًا. وكما موضح من خلال الجدول (رقم ١) ان درجة الحرارة تتفاوت خلال السنوات من ٢٠٢٠-٢٠٢٥في محطة دهوك حيث تكون مناسبة تشرين الثاني (٢٠.٢٢ °) سنة ٢٠٢٠ بينما ارتفعت سنة ٢٠٢٣ الى ٢٤.٨٢ ثم انخفضت سنة ٢٠٢٥الى ٢٣.٦٧° وفي الحقيقة ان درجة الحرارة منخفضة أكثر في اعلى الجبل ولكن تم الاعتماد على محطة دهوك التي تكون أقرب ما يكون من الجبل.

الجدول (١): المعدلات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة لمحطة دهوك ٢٠٢٠-٢٠٢٥

السنة	ك٢	شباط	اذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين ١	تشرين٢	ك١	المعدل
2020	13.42	16.21	22.93	26.66	31.04	33.44	34.08	34.92	34.31	30.13	20.22	19.37	26.43
2021	17.01	18.06	22.74	27.04	31.94	34.08	35.81	35.28	32.15	28.75	23.89	16.43	26.98
2022	13.8	15.35	19.96	29.82	31.18	33.64	33.76	34.86	33.63	27.38	20.62	17.98	26.05
2023	15.98	16.12	22.79	26.98	30.96	35.18	34.87	36.13	34.08	29.75	24.82	18.6	27.25
2024	15.66	17.1	23.72	28.04	31.55	35.64	36.39	35.86	33.94	27.73	20.05	16.59	26.88
2025	18.27	17.5	22.69	27.55	30.68	31.65	34.65	35.04	31.92	28.14	23.67	17.82	26.68

المصدر: بالاعتماد على بيانات المحطة المناخية الفضائية لمنطقة الدراسة:
https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer

الشكل (١): المعدلات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة لمحطة دهوك



المصدر من عمل الباحثة بالاعتماد على بيانات جدول رقم (١).

٢- الاشعاع الشمسي

يعد الإشعاع الشمسي المصدر الرئيسي لطاقة الغلاف الجوي كونه المسبب الرئيسي لاختلاف العناصر المناخية والطقسية، وتعد عدد ساعات سطوح الشمس من عناصر المناخ ذات تأثير كبير في تحديد الموقع الأمثل لحصاد الضباب من خلال ساعات شرق الشمس وارتفاع درجات الحرارة التي تعمل على اذابة المياه ومن خلال ذلك نستطيع ملاحظة البيانات من جدول (٢) ان عدد ساعات السطوع الشمسي في شهر (كانون الثاني) لسنة ٢٠٢٠ كانت سجل أدنى المعدلات والبالغة (٦.٢٣٠) ساعة / يوم، واقصاها سجلت في شهر (تموز) والبالغة (٨,٠٤٠) ساعة / يوم. بينما نلاحظ ان هناك اختلاف واضح في الاشعاع الشمسي لسنة ٢٠٢٥ تمثلت في شهر كانون الثاني ١٠.٨٣ساعة / يوم بينما كان الاشعاع شهر تموز تقريبا متشابه (٧.٢٢٠) ساعة / يوم.

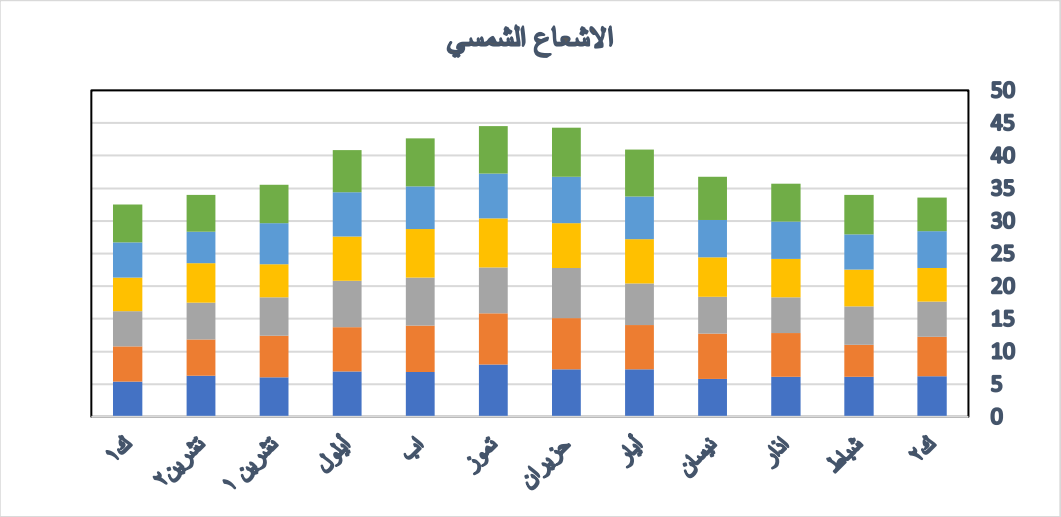
الجدول (٢): المعدلات الشهرية والسنوية لعدد ساعات السطوع الشمسي (النظري) ساعة/ يوم٢٠٢٠-٢٠٢٥

السنة	ك٢	شباط	اذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	اب	أيلول	تشرين ١	تشرين٢	ك١	المعدل
2020	6.230	6.090	6.160	5.770	7.300	7.250	8.040	6.860	6.930	6.040	6.310	5.390	6.540
2021	6.000	4.980	6.630	6.960	6.760	7.850	7.820	7.080	6.830	6.410	5.530	5.400	6.520
2022	5.420	5.810	5.490	5.690	6.360	7.720	7.020	7.370	7.080	5.840	5.650	5.390	6.230
2023	5.130	5.690	5.910	6.010	6.800	6.830	7.510	7.480	6.740	5.080	6.040	5.180	6.200
2024	5.660	5.400	5.740	5.740	6.540	7.080	6.900	6.510	6.800	6.250	4.820	5.340	6.070
2025	5.150	6.010	5.780	6.570	7.190	7.560	7.220	7.370	6.470	5.910	5.610	5.820	6.390

المصدر: بالاعتماد على بيانات المحطة المناخية الفضائية لمنطقة الدراسة:

https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer

الشكل (٢): المعدلات الشهرية والسنوية لعدد ساعات السطوع الشمسي (النظري) ساعة/ يوم٢٠٢٠-٢٠٢٥



المصدر من عمل الباحثة بالاعتماد على بيانات جدول رقم ٢

٣- رطوبة التربة ٢٠٢٠-٢٠٢٥ :

تؤثر رطوبة التربة بشكل مباشر في حصاد الضباب من خلال تحديد كفاءة استغلال المياه المجمعة، ودعم الغطاء النباتي، وتحقيق التوازن المائي في المناطق الجافة. تعتمد هذه التقنية على التقاط بخار الماء المتكاثف لتحويله إلى موارد مائية (National Weather Service, 2024: 2) حيث يتضح لنا ان اعلى مستويات رطوبة التربة كانت في سنة ٢٠٢٥ في شهر ك ١ هي ٠.٦٥ %بينما اقل النسب كانت في سنة ٢٠٢٣-٢٠٢٤ هي ٠.١٪ وهذا يدل على زيادة نسبة الجفاف وارتفاع كمية التبخر كما موضح بالجول رقم 3.

الجدول (٣): يوضح المعدلات الشهرية والسنوية لكمية رطوبة التربة % للسنوات ٢٠٢٠-٢٠٢٥

السنة	ك٢	شباط	اذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	اب	أيلول	تشرين ١	تشرين٢	ك١	المعدل
2020	0.65	0.68	0.71	0.72	0.57	0.24	0.15	0.11	0.09	0.11	0.43	0.51	0.41
2021	0.6	0.61	0.6	0.39	0.18	0.12	0.1	0.09	0.08	0.11	0.53	0.58	0.33
2022	0.65	0.66	0.65	0.57	0.43	0.16	0.12	0.09	0.09	0.2	0.55	0.66	0.4
2023	0.64	0.69	0.67	0.66	0.54	0.22	0.13	0.1	0.13	0.32	0.5	0.64	0.44
2024	0.67	0.69	0.68	0.64	0.57	0.21	0.13	0.1	0.14	0.23	0.53	0.54	0.43
2025	0.53	0.53	0.53	0.57	0.37	0.16	0.11	0.17	0.13	0.16	0.42	0.65	0.36

المصدر : بالاعتماد على بيانات المحطة المناخية الفضائية لمنطقةالدراسة :
https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer

٤- كمية السحب ٢٠٢٠-٢٠٢٥

تعتمد كمية المياه المحصودة في حصاد الضباب بشكل مباشر على كثافة السحب المنخفضة، وحجم المياه العالقة فيها، وسرعة الرياح وتتأثر كمية السحب والضباب حجم الإنتاج كلما زادت كثافة السحب الضبابية وكميتها، زادت قطرات

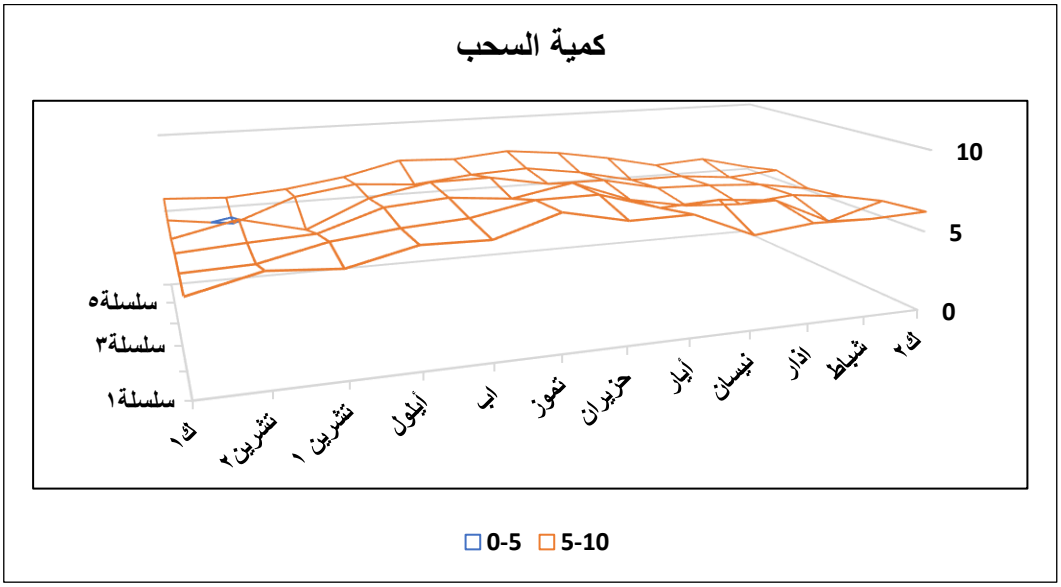
الماء التي تصطدم بالشبكات وتتكاثف لتعطي كميات أكبر من المياه. ويحدد جدوى المشروع من كمية المياه المتوافرة في السحب مما يساعد في معرفة ما إذا كانت المنطقة مناسبة لبناء محطات وحابسات الضباب أم لا. لتحديد مقدار استدامة الكميات المنتجة تتراوح وتتغير تبعاً لحركة السحب المحملة بالرطوبة واتجاه الرياح الداعمة (National Weather Service, 2024: 2) حيث نستطيع ان نلاحظ من خلال الجدول رقم ٤ ان اعلى نسبة للسحب كانت في شهر تموز سنة ٢٠٢٠ وهي ٨,٠٤ أوكتا بينما في شهر حزيران من سنة ٢٠٢٥ كانت ٧.٥٦ أوكتا وهذا يساعد بشكل أساسي على التزويد بالضباب وزيادة كمية تجميع المياه لأشهر الصيف .

الجدول (٤): يوضح المعدلات الشهرية والسنوية لكمية السحب (الأوكتاس) في الجبل الابيض

السنة	ك٢	شباط	اذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	اب	أيلول	تشرين ١	تشرين٢	ك١	المعدل
2020	6.23	6.09	6.16	5.77	7.3	7.25	8.04	6.86	6.93	6.04	6.31	5.39	6.54
2021	6	4.98	6.63	6.96	6.76	7.85	7.82	7.08	6.83	6.41	5.53	5.4	6.52
2022	5.42	5.81	5.49	5.69	6.36	7.72	7.02	7.37	7.08	5.84	5.65	5.39	6.23
2023	5.13	5.69	5.91	6.01	6.8	6.83	7.51	7.48	6.74	5.08	6.04	5.18	6.2
2024	5.66	5.4	5.74	5.74	6.54	7.08	6.9	6.51	6.8	6.25	4.82	5.34	6.07
2025	5.15	6.01	5.78	6.57	7.19	7.56	7.22	7.37	6.47	5.91	5.61	5.82	6.39

المصدر : بالاعتماد على بيانات المحطة المناخية الفضائية لمنطقة الدراسة:
https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer

الشكل (٣): يوضح المعدلات الشهرية والسنوية لكمية السحب في الجبل الأبيض



من عمل الباحثة بالاعتماد على بيانات الجدول رقم ٤

٥- سرعة الرياح ٢٠٢٠-٢٠٢٥

تُعتبر الرياح المحرك الأساسي لنظام حصاد الضباب فالضباب في أصله عبارة عن قطرات ماء معلقة في الهواء وبدون حركة الرياح لن تمر هذه القطرات عبر شباك التجميع ولن تتصادم بها. وتأثير سرعة الرياح على كفاءة الحصاد عندما تكون السرعة المثالية (٣ – ٨ متر/ثانية) حيث تُعادل تقريباً (١٠ – ٣٠ كم/ساعة) وتعمل هذه السرعة على توفر

الدفع الكافي لمرور كتل الضباب عبر ثقوب الشباك واحتجاز قطرات الماء بفاعلية دون السماح لها بالهروب أو التبخر. وتعمل الرياح الخفيفة أو الساكنة (أقل من ٢ متر/ثانية):

يبقى الضباب معلقاً في الهواء دون حركة ملموسة، مما يؤدي إلى انخفاض حاد في كمية المياه المجمعة لعدم وجود قوى اصطدام كافية بالشباك. بينما الرياح القوية والعاصفة (أعلى من ١٠ – ١٢ متر/ثانية):

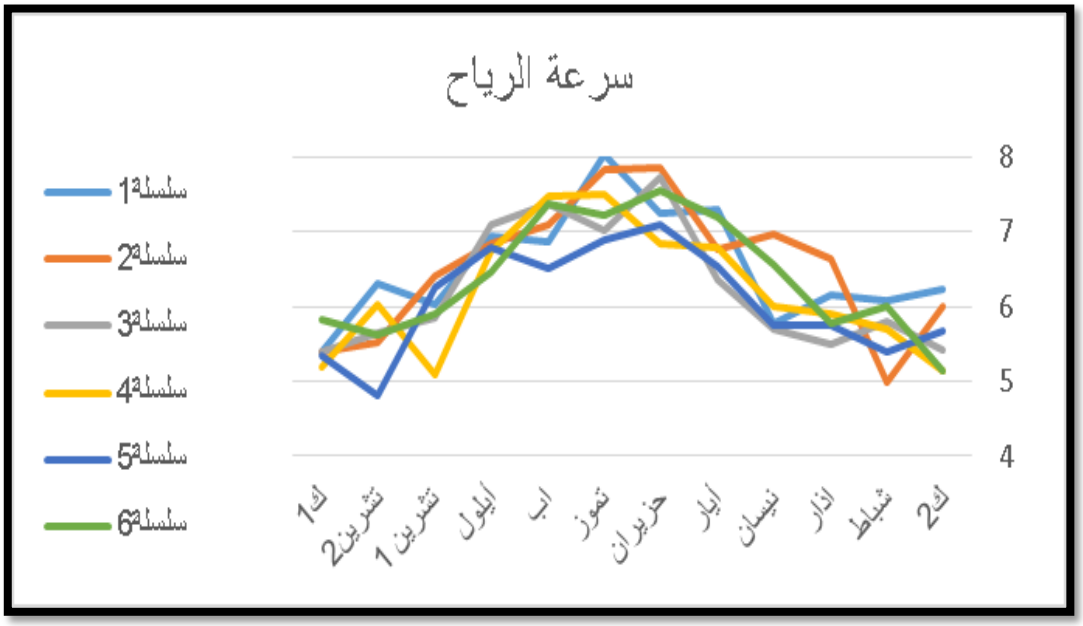
تؤدي إلى نتيجتين سلبيتين: تمزيق قطرات الماء: تشتيت القطرات المتجمعة وإعادة تطايرها في الهواء قبل أن تنزلق إلى قنوات التجميع. وأضرار هيكلية: إحداث أضرار ميكانيكية بالشباك وأعمدة التثبيت نتيجة قوة السحب والضغط الهيدروديناميكي (Valjarević et al., 2023: 3) . ونستطيع ان نلاحظ من خلال الجدول ان الرياح في سنة ٢٠٢٠ في شهر تشرين الثاني كانت ٦.٣١ متر في الثانية وهي مناسبة وكذلك في جميع السنوات لا تتجاوز ٨ متر بالثانية.

الجدول (٥): المعدل الشهري والسنوي لسرعة الرياح م/ثا للسنوات– (٢٠٢٠–٢٠٢٥)

السنة	ك٢	شباط	اذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	اب	أيلول	تشرين ١	تشرين٢	ك١	المعدل
2020	6.23	6.09	6.16	5.77	7.3	7.25	8.04	6.86	6.93	6.04	6.31	5.39	6.54
2021	6	4.98	6.63	6.96	6.76	7.85	7.82	7.08	6.83	6.41	5.53	5.4	6.52
2022	5.42	5.81	5.49	5.69	6.36	7.72	7.02	7.37	7.08	5.84	5.65	5.39	6.23
2023	5.13	5.69	5.91	6.01	6.8	6.83	7.51	7.48	6.74	5.08	6.04	5.18	6.2
2024	5.66	5.4	5.74	5.74	6.54	7.08	6.9	6.51	6.8	6.25	4.82	5.34	6.07
2025	5.15	6.01	5.78	6.57	7.19	7.56	7.22	7.37	6.47	5.91	5.61	5.82	6.39

المصدر: بالاعتماد على بيانات المحطة المناخية الفضائية لمنطقةالدراسة :
https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer

الشكل (٤): المعدلات الشهرية والسنوية لسرعة الرياح م/ثا للسنوات– (٢٠٢٠–٢٠٢٥)



من عمل الباحثة بالاعتماد على بيانات الجدول رقم ٥

العوامل الطبيعية الموثرة في حصاد الضباب

تعتمد تقنية حصاد الضباب (Fog Harvesting) بشكل أساسي على توفر ظروف بيئية ومناخية وطبوغرافية دقيقة تتيح تحويل قطرات الماء المجهرية العالقة في الهواء إلى مياه سائلة ومستدامة، وتتلخص تأثيرات العوامل الطبيعية في زيادة أو تقليل إمكانية نجاح هذه التقنية فيما يلي:

١. عامل الارتفاع ويتمثل في نموذج الارتفاع الرقمي: يؤدي عامل الارتفاع دوراً جوهرياً وحاسماً في نجاح مشاريع حصاد الضباب في المناطق الجبلية، مثل السلاسل الجبلية في محافظة دهوك (التي تتراوح ارتفاعات قممها ومرتفعاتها بشكل عام بين ١٠٠٠ إلى أكثر من ٢٠٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر). ويمكن تلخيص تأثير الارتفاع في زيادة كفاءة حصاد الضباب في هذه المناطق عبر النقاط التالية:

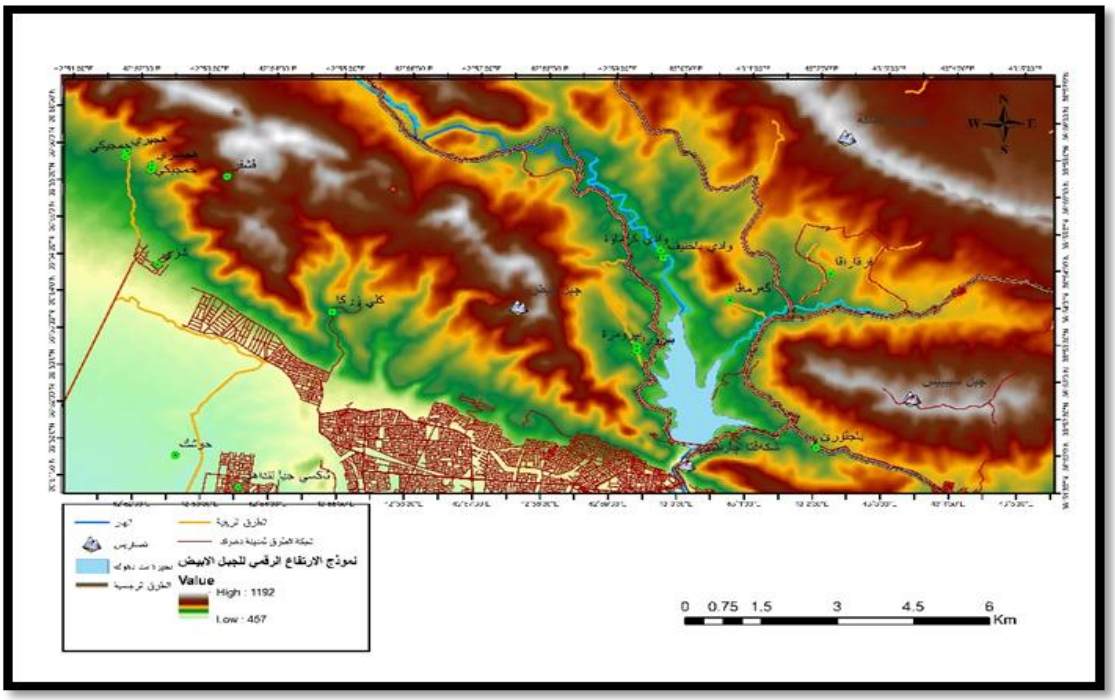
٢. زيادة فرص اعتراض السحب المنخفضة والضباب: نطاق التكثيف الفعّال: تتشكل الغيوم المنخفضة والضباب غالباً في طبقات الجو القريبة من السطح على ارتفاعات محددة (تتراوح عادة بين ٥٠٠ إلى ١٥٠٠ متر أو أكثر). الارتفاع المناسب للجبل يجعله يخترق مباشرة هذه الطبقات الغنية بالرطوبة (Valjarević et al., 2023: 3).

٣. حجز الكتل الهوائية: كلما زاد ارتفاع الجبل عمل كحجز طوبوغرافي عملاق يجبر الكتل الهوائية الرطبة القادمة على الصعود للأعلى، مما يؤدي إلى تبريدها فجأة وتكثيف قطرات الماء المجهرية العالقة فيها وتحويلها إلى ضباب كثيف قابل للاعتراض بواسطة الشباك.

٤. سرعة وحركة الرياح المساعدة: تشهد المناطق المرتفعة عادة سرعات رياح تكون أكثر نشاطاً واستقراراً مقارنة بالمناطق السهلية المنخفضة. هذه الرياح المعتدلة هي المحرك الأساسي لدفع كميات أكبر من الضباب باستمرار عبر شباك الحصاد، مما يرفع من معدل تجمع قطرات الماء وسقوطها نحو أحواض التجميع بفعل الجاذبية.

٥. درجات الحرارة المنخفضة (التبريد الطبيعي): يرتبط الارتفاع ارتباطاً طردياً بانخفاض درجات الحرارة، وكلما انخفضت الحرارة على قمم الجبال وسفوحها المرتفعة، زادت كفاءة وسرعة تكاثف بخار الماء وتحوله من الحالة الغازية أو رطوبة الهواء إلى قطرات سائلة ملتصقة بشباك الحصاد (Jamal, 2026) كما موضح بالخارطة رقم ٢

الخارطة (٢): توضح نموذج الارتفاع الرقمي للجبل الأبيض

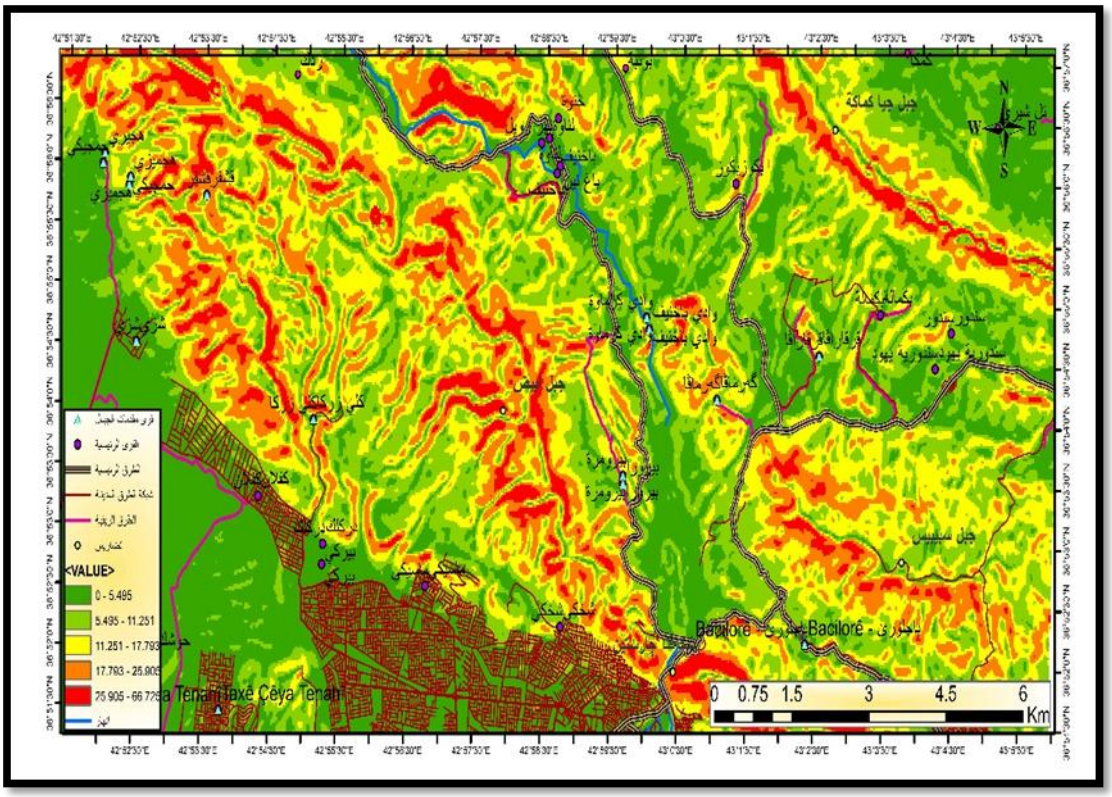


من عمل الباحثة بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (SRTM-DEM) بدقة ١٢.٣٠

الانحدار:

يؤثر عامل الانحدار في تضاريس الجبال (مثل سلسلة جبل بيخير المعروف بـ "الجبل الأبيض" في محافظة دهوك) بشكل مباشر على حركة الرياح وتوزيع الكتل الهوائية وكفاءة تجميع المياه، وذلك عبر الآليات التالية: ١. توجيه وسرعة الكتل الهوائية (تأثير الرفع التضاريسي) الانحدار المواجه للرياح (السفوح الأمامية): السفوح التي تتميز بانحدار منتظم ومواجه للرياح المحملة بالرطوبة تعمل بمثابة "مستوى مائل" يجبر الهواء الرطب على الصعود القسري إلى الأعلى بشكل سلس (Valjarević et al., 2023: 5). هذا الصعود المنتظم يسرّع من عملية تبريد الهواء وزيادة تكثيف الضباب وتحويله إلى قطرات مائية كثيفة. زاوية الميل المناسبة: الانحدارات شديدة التعرج أو العمودية تماماً قد تحدث اضطرابات شديدة وتيارات دوامية هوائية غير مستقرة تعيق اصطدام قطرات الضباب بالشباك، بينما الانحدارات المتوازنة تضمن تدفقاً أفقياً مستقراً للرياح عبر شباك الحصاد. إدارة وتجميع المياه بفعل الجاذبية الانحدار وسرعة التجميع الضباب يساهم انحدار سفح الجبل في تسهيل عملية مد شبكات الأنابيب وتوجيه المياه المحصولة من شباك الضباب إلى أحواض التجميع وخزانات التخزين بطريقة تعتمد بالكامل على الجاذبية الأرضية دون الحاجة لمضخات أو طاقة كهربائية مكلفة. بالإضافة الى ذلك تجنب الركود يساعد الانحدار الجيد على تصريف المياه الزائدة بعيداً عن قواعد الهياكل والمنشآت الخاصة بالحصاد، مما يحمي البنية التحتية للمشروع من الانجراف أو التآكل نتيجة الرطوبة العالية. والانحدارات الجبلية في سلسلة جبل بيخير (الجبل الأبيض) بدهوك والتي تلعب دوراً أساسياً في تحديد مسارات الرياح والظروف البيئية المحلية.

الخارطة (٣): توضح الانحدار في منطقة الجبل الابيض



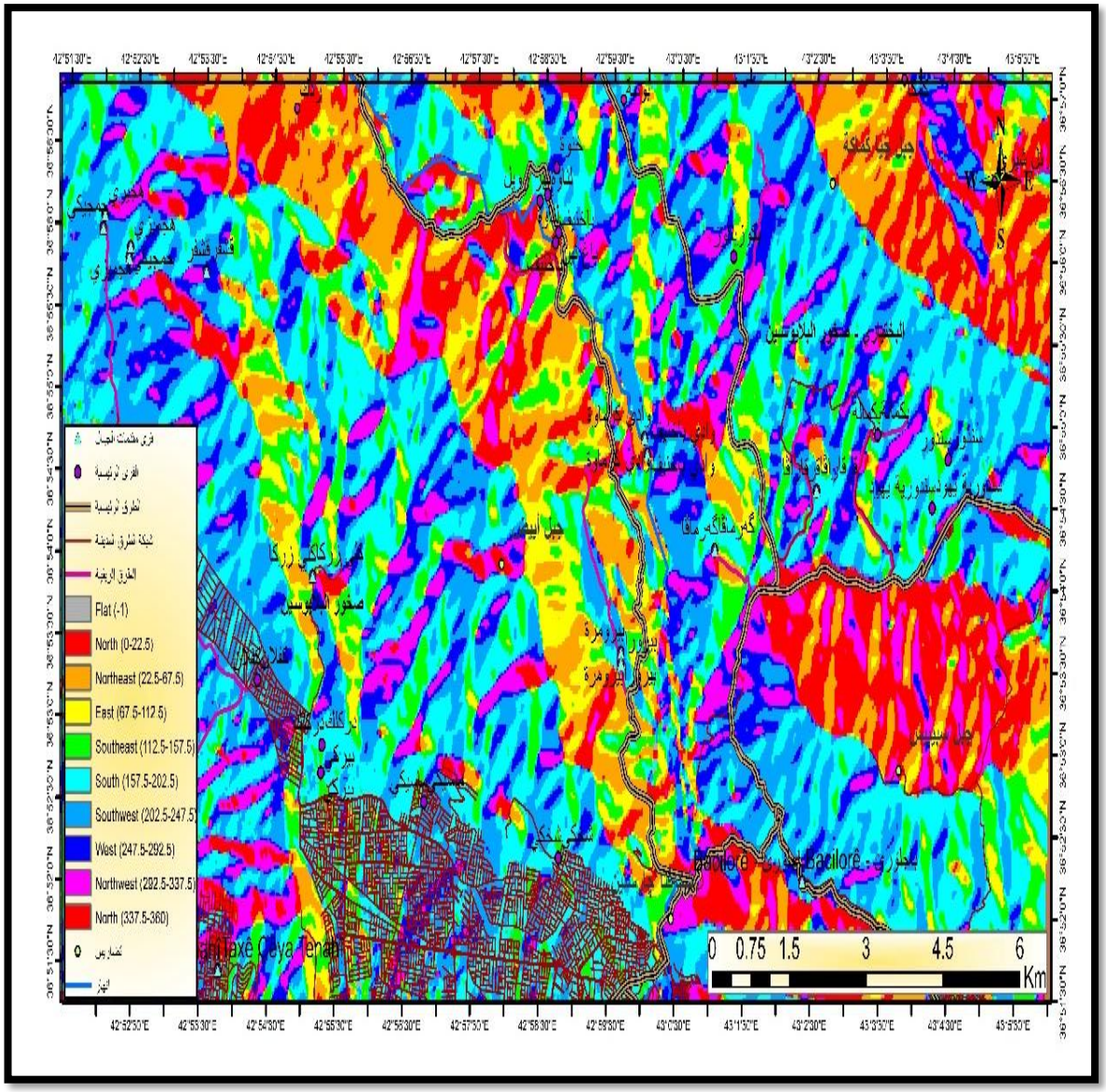
من عمل الباحثة بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي بدقة ١٢.٣٠

اتجاه الانحدار

يعتبر تحديد اتجاه الانحدار من العوامل الأساسية في الدراسات العلمية التطبيقية لما له من أهمية في الأنشطة البشرية ، وترتبط اتجاهات سطح الأرض بالطبيعة الصخرية وميل الطبقات حيث يؤثر اتجاه الانحدار في تباين كثافة

الغطاء النباتي وكذلك التعرية ومناطق تجمع المياه من الضباب ، وكما موضح في الخارطة الاتجاهات الانحدارية مهمة لتحديد أماكن وضع الشبكات تزامنا مع الانحدار لاختيار الموقع الأنسب .مثل السفوح الشمالية والشمالية الغربية لانها اكثر عرضه لحركة الرياح وتواجد الضباب والسحب بها بكمية كبيرة كما موضح بالخارطة رقم (٤).

الخارطة (٤): توضح الانحدار في منطقة الجبل الابيض

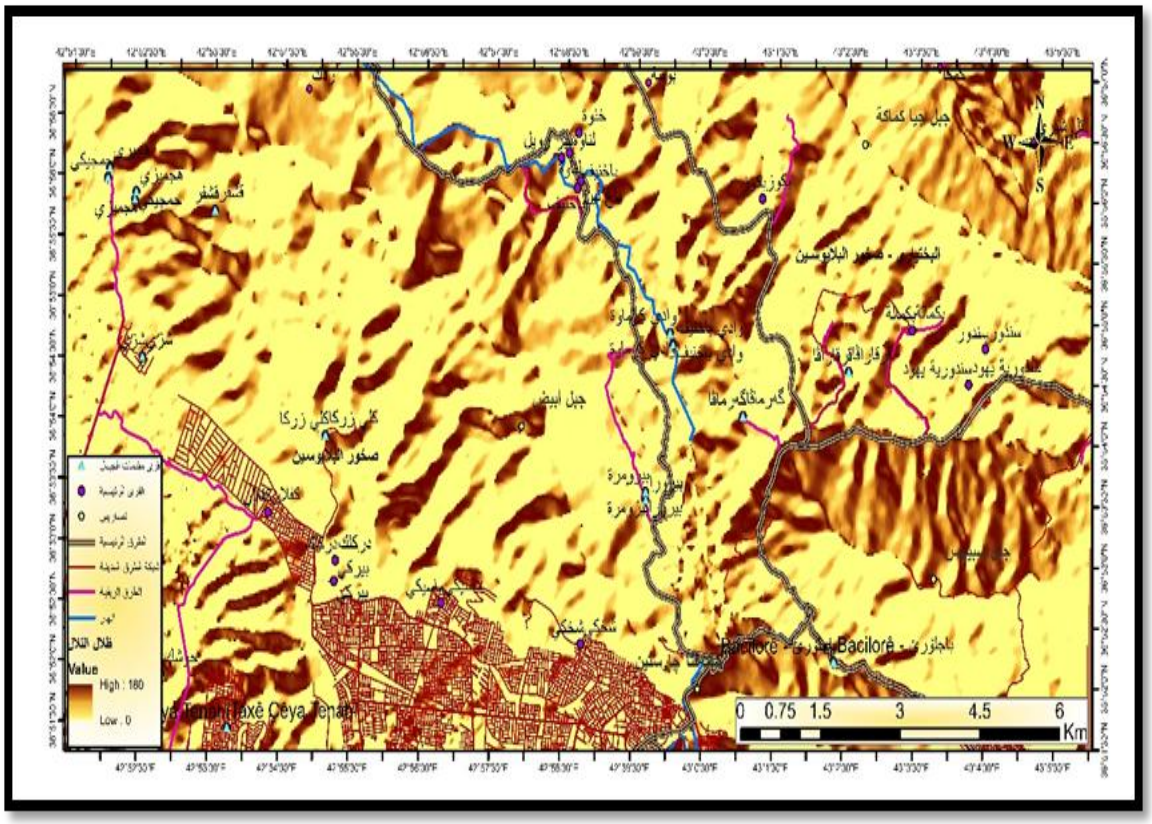


ظلال التلال

تُساعد ظلال التلال في حصاد الضباب من خلال خفض درجات الحرارة للمناطق الواقعة خلفها أو عليها، مما يُعزز تكثيف قطرات الماء الدقيقة ويحمي الشباك والمجمعات من التبخر السريع بفعل أشعة الشمس المباشرة، لزيادة كمية المياه المُتجمعة بكفاءة (Olivier et al., 2015: 121)

حيث نلاحظ ان دور ظلال التلال والمرتفعات هو تبريد الهواء حيث تساهم التلال في إجبار الكتل الهوائية الرطبة على الصعود للأعلى، مما يؤدي إلى تبريدها وتشكيل الضباب. وكذلك تقليل عمليات التبخر حيث تعمل الظلال على حجب أشعة الشمس القوية عن مواقع التجميع، مما يمنع تبخر قطرات الماء المجمعة حديثاً على الشباك. و توجيه الرياح المواجهة لتضاريس التلال تساعد في خلق ممرات هوائية مستقرة تدفع الضباب بانتظام نحو أجهزة الاستشعار والشباك العمودية.كما موضح في الخارطة رقم ٥.

الخارطة (٥): توضح ظلال التلال في منطقة الجبل الابيض



من عمل الباحثة بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي بدقة ١٢.٣٠

خطوط الكنتور

تكمن أهمية خطوط الكنتور في تحديد المناطق الأكثر أهمية في حصاد الضباب في عدة جوانب رئيسية تشمل الآتي:

١. تحديد قمم التلال والحواف المواجهة للرياح (Ridge Lines) حيث تتطلب مشاريع حصاد الضباب مناطق مرتفعة لتعترض التيارات الرطبة القادمة المحملة بذرات الماء الى كميات وفيرة منه. دور الكنتور تساعد الخرائط الكنتورية في قراءة التضاريس بدقة لتحديد الخطوط الكنتورية المغلقة ذات الارتفاعات العالية (القمم، الحواف الحادة، والممرات الجبلية الضيقة) التي تشكل نقاط اصطدام مثالية للضباب والسحب المنخفضة قبل أن تتبدد في الداخل.

٢. حساب درجات الانحدار واختيار المواقع المستوية للتخزين آلية العمل: تعتمد كفاءة شبكات حصاد الضباب على ثبات الهياكل وقوة تحماها للرياح، فضلاً عن سهولة نقل المياه المجمعة (Olivier et al., 2015: 122).

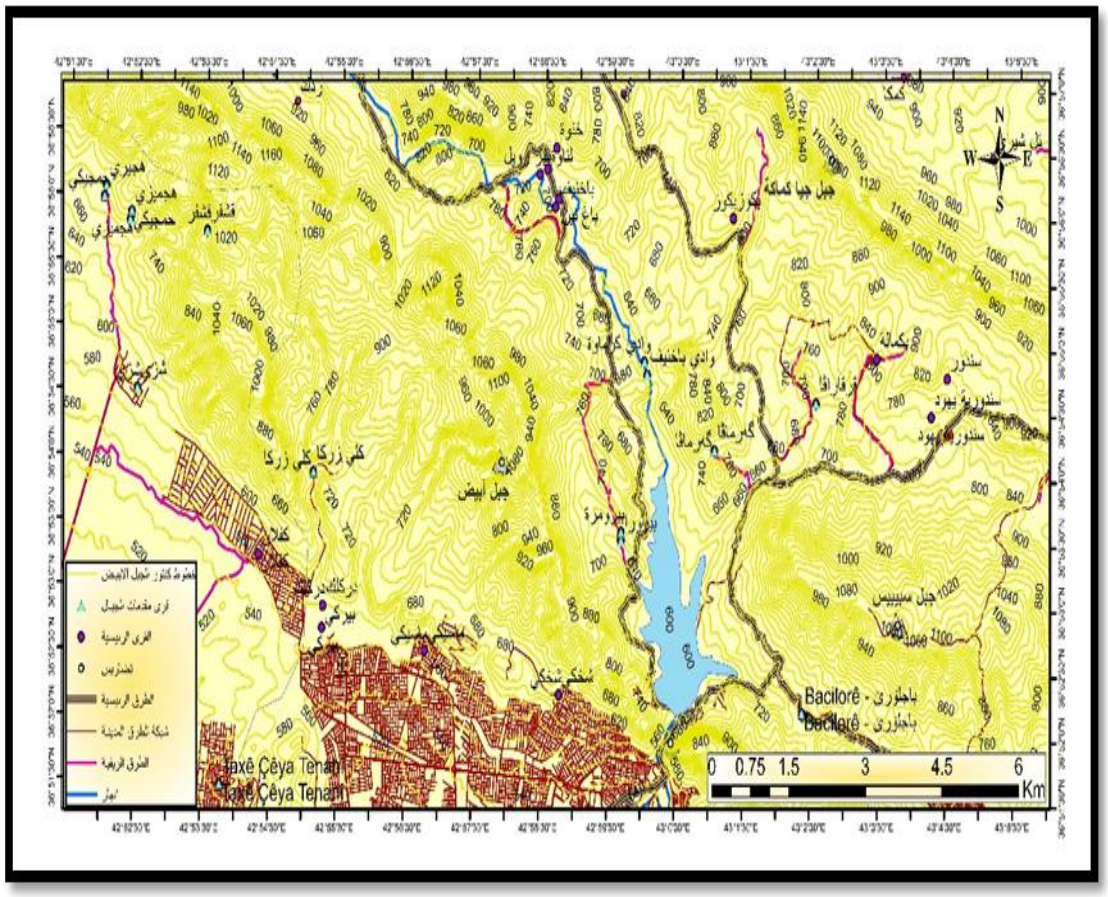
٣. دور الكنتور: تباعد خطوط الكنتور أو تقاربها يعطي دلالة فورية على طبيعة المنحدر (شدة أو انبساط). هذا يساعد المهندسين في: إيجاد مساحات مسطحة نسبياً أو مدرجات آمنة لتثبيت أعمدة الشباك ودعمها بأوتاد الشد دون خوف من الانزلاقات الأرضية. اختيار مواقع منخفضة ومناسبة (بالتوازي مع خطوط الانحدار) لوضع خزانات التجميع.

٤. توظيف الجاذبية الأرضية في نقل المياه من خلال آلية العمل: بعد تكاثف قطرات الضباب على الشباك وتساقطها نحو المزاريب، يجب نقل المياه إلى الخزانات بأقل تكلفة ممكنة.

٥. دور الكنتور: تتيح دراسة الفروق الارتفاعية لخطوط الكنتور تصميم شبكة أنابيب انسيابية تعتمد كلياً على الجاذبية الأرضية لنقل المياه من أعلى الجبل إلى الخزانات أو القرى المستفيدة في الأسفل، مما يلغي الحاجة نهائياً لاستخدام مضخات تعمل بالكهرباء أو الوقود.

٦. دراسة مسارات واتجاهات الرياح آلية العمل: يجب أن تُوجه شبكات الحصاد بشكل عمودي تماماً على اتجاه الرياح السائدة المحملة بالضباب لضمان أعلى نسبة التقاط (محمد نصر، ٢٠٢٥: ٢٤٧) فهي تختصر الكثير من الوقت والجهد الميداني عبر توجيه الباحثين نحو النقطة التضاريسية الأكثر رطوبة وارتفاعاً، والأكثر ملائمة هندسياً لتنفيذ المشروع واستدامة تدفق المياه العذبة (محمد, ٢٠٢٥: ٢٤٧)

الخارطة (٦): الخارطة الكنتورية لمنطقة الجبل الابيض

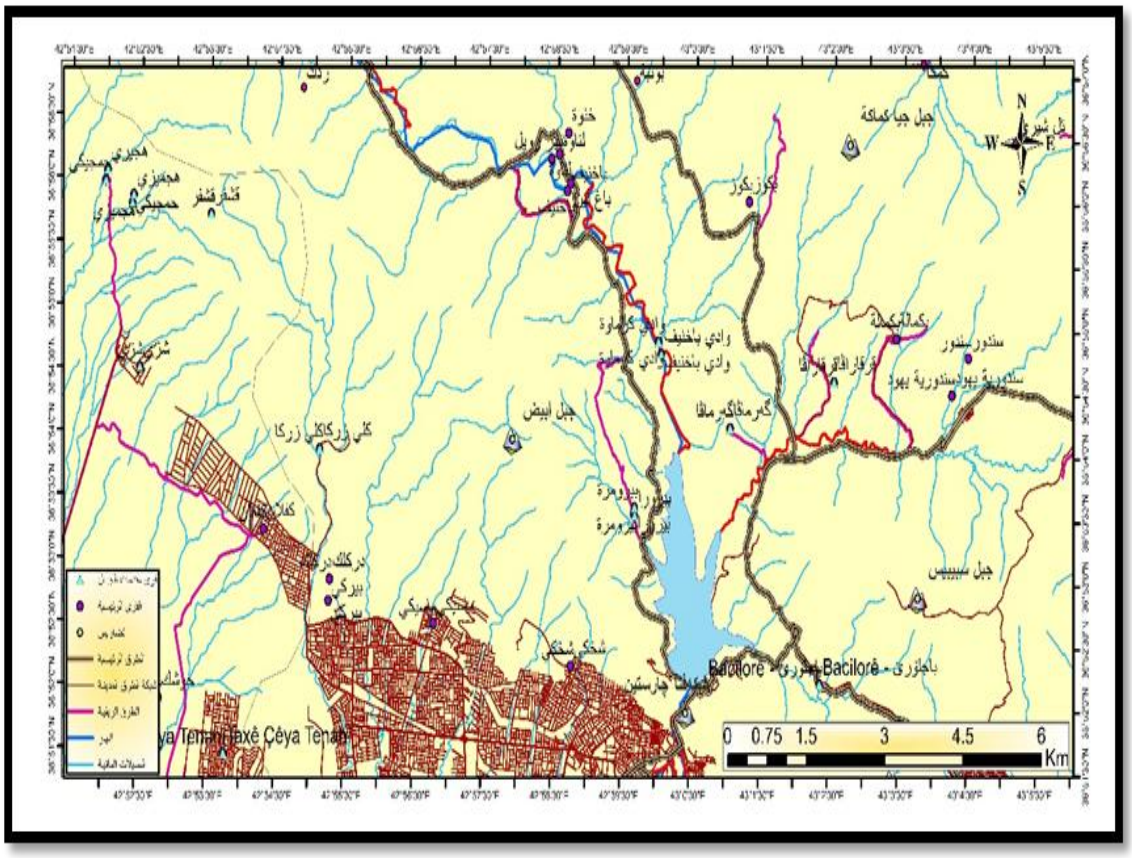


من عمل الباحثة بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي بدقة ١٢.٣٠

المسيلات المائية:

تحديد المسيلات المائية (الوديان الضيقة، المجاري الطبيعية، والمنخفضات التي تتوجه فيها المياه السطحية أو قطرات التكاثف) يمثل عنصراً حاسماً في نجاح واستدامة مشاريع حصاد الضباب. فبينما تُعنى خطوط الكنتور باختيار الارتفاعات وقمم الجبال، تأتي المسيلات المائية لتنظم الجانب الهيدرولوجي والعملي لتجميع ونقل المياه. تظهر أهمية تحديد المسيلات المائية من خلال مسارات التصريف ونقل المياه بكفاءة للعمل على تجميع كميات كبيرة من المياه حيث تعمل المسيلات الطبيعية دوراً مركزياً كمجاري تصريف رئيسية تمنع برك المياه العشوائية وتوجه المياه المجمعة نحو نقاط التخزين بسهولة (Valjarević et a., 2023: 3). وكذلك الاستفادة من الانحدار الطبيعي عن طريق تتبع المسيلات المائية يضمن للمهندسين مسارات جاهزة ومستقرة لمد شبكات الأنابيب دون الحاجة لأعمال حفر صعبة أو تكاليف باهظة لتسوية الأرض. حيث تمثل عادة الخطوط الأقصر الواصلة بين أعمدة الضباب المرتفعة والمناطق السكنية أو الأراضي الزراعية في الأسفل عن طريق استخدام هذه المسارات يقلل بشكل كبير من أطوال الأنابيب المطلوبة، مما ينعكس إيجاباً على خفض التكلفة الرأسمالية للمشروع (امين, ٢٠١٦: ٢٥).

الخارطة (٧) تحديد المسيلات المائية لمنطقة الجبل الأبيض



من عمل الباحثة بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي بدقة ١٢.٣٠

التكوينات الجيولوجية لمنطقة الجبل الأبيض:

تقع منطقة الدراسة ضمن نطاق الطيات العالية الرصيف غير المستقر في حزام شقلاوة – عمادية. وحسب توزيع الأنطقة التكتونية الرئيسية للعراق الذي ورده بودي Buday سنة ١٩٨٠ وحسب التقسيم الفيزيوغرافي لسطح العراق ضمن نطاق المنطقة الجبلية ، وتكمن اهمية دراسة التكوينات في التعرف على خصائصها وطبيعة صخورها ومدى تجانسها ودرجة مقاومتها للعمليات الجيموريولوجية (التجوية، التعرية، الترسيب وهي العمليات المسؤولة عن نشوء التربة وتباين انواعها كما موضح في الخارطة رقم (٨) الى مجموعة أنواع على شكل الحواف والنتوءات الجيولوجية وتعرضت المنطقة الى النحت الجيولوجي الطبيعي عبر الزمن يخلق حوافاً جبلية حادة وفتحات صخرية تساهم في إحداث تأثير "الديناميكا الهوائية" (Orographic Effect) ، حيث تنضغط الرياح المحملة بالرطوبة وتصطدم مباشرة بهذه التكوينات الصخرية، مما يعزز كثافة الضباب وتكاثفه (امين, ٢٠١٦: ٩٥).

كما أهمية التكوين الجيولوجي (طبيعة الصخور، أنواع التربة، والتركيب البنيوي للقشور الأرضية) في مشاريع حصاد الضباب بكونه الأساس الذي يحدد استقرار المشروع، وسلامة تخزين المياه، واستدامة البيئة المحيطة. حيث تتلخص الأهمية الكبرى للتكوين الجيولوجي في النقاط التالية:

١. استقرار وثبات الهياكل والبنية التحتية من نوع الصخور وقوة التحمل: تتطلب أعمدة وشباك حصاد الضباب قواعد صلبة ومستقرة لمقاومة الرياح الشديدة على قمم الجبال. التكوينات الجيولوجية الصلبة (مثل الجرانيت أو الصخور الرسوبية المتحجرة) توفر أساساً متيناً لتثبيت الكابلات والأعمدة، بينما التكوينات الهشة أو التربة المفككة تعرض المشروع لخطر الانهيار واقتلاع الهياكل.

٢. مقاومة الانهيارات الأرضية: دراسة طبقات الأرض والطبقات الصخرية تقلل من مخاطر الانزلاقات الأرضية في المناطق الرطبة المعرضة للضباب والأمطار.

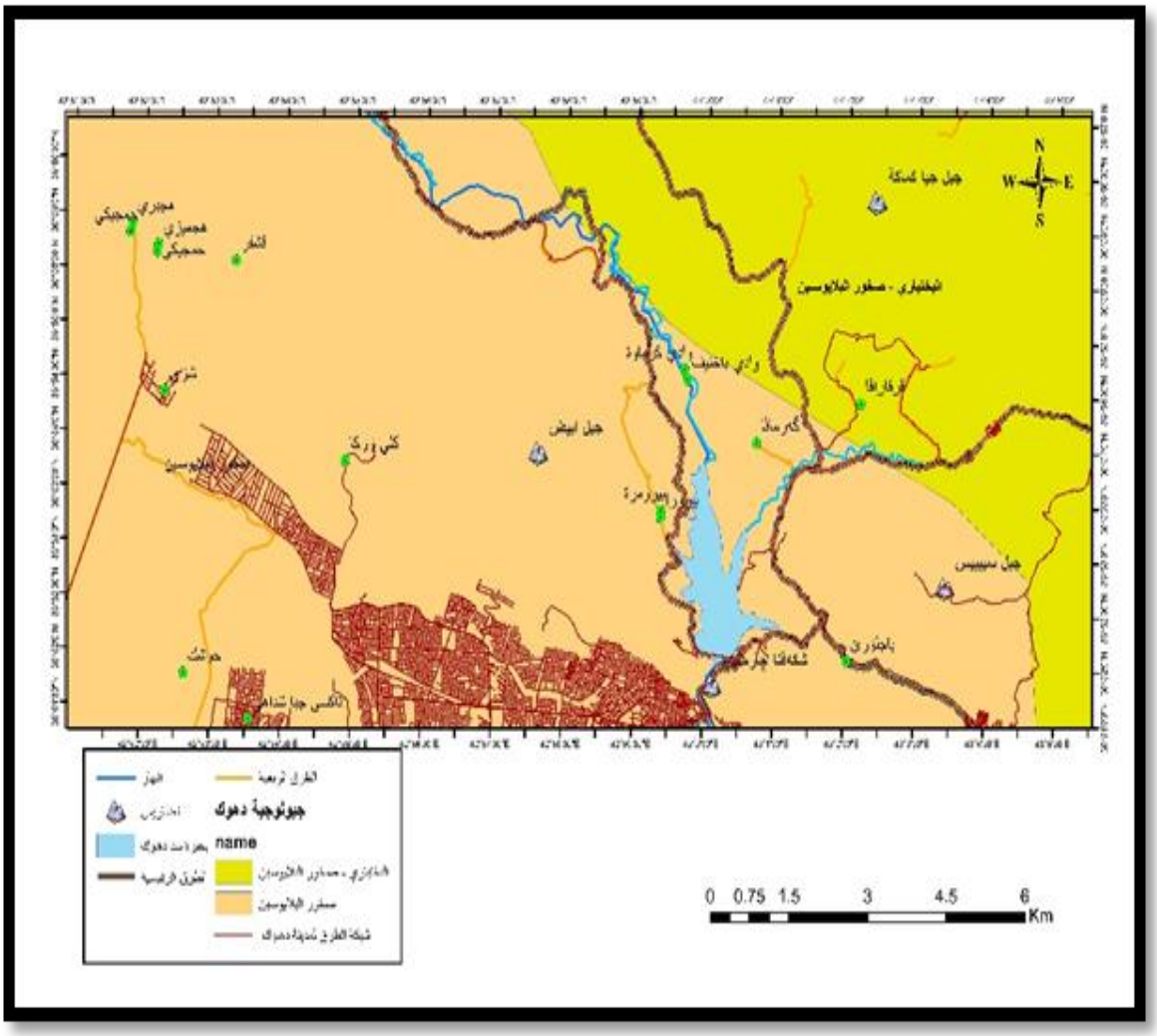
٣. نجاح وأمان تخزين المياه الجوفية أو السطحية

٤. نفاذية الصخور والتربة: يحدد التكوين الجيولوجي ما إذا كانت المنطقة صالحة لحفر خزانات جوفية أو إنشاء بحيرات تجميع. الصخور النفاثة أو التشققات الكارستية قد تسبب تسرب المياه المجمعة وفقدانها، بينما الصخور غير النفاذة (كالصلصال أو الصخور الصماء) تحافظ على المياه وتمنع تسريبها.

٥. جودة ونقاء المياه: تمر المياه المجمعة أحياناً عبر طبقات التربة؛ لذا فإن معرفة التركيب المعدني للصخور يمنع تلوث المياه بعناصر ضارة (مثل الأملاح الثقيلة أو المعادن السامة) ويضمن سلامتها للشرب أو الزراعة (Olivier et al., 2015). كما موضح بالشكل رقم ١٥

٦. خفض التكاليف الهندسية والإنشائية وسهولة الحفر والمد: معرفة التكوين الجيولوجي للتربة والصخور يسهل على المهندسين تحديد أسهل الطرق لحفر خنادق أنابيب نقل المياه وإنشاء أساسات الخزانات، مما يجنب المشروع مفاجآت صخرية مكلفة تتطلب معدات حفر ثقيلة وخاصة (Olivier et al., 2015: 125).

الخارطة (٨) يوضح جيولوجية منطقة الدراسة



المصدر من عمل الباحثة بالاعتماد على بيانات وزارة الصناعة والمعادن –هئية المسح الجيولوجي والتعدين ، خارطة العراق الجيولوجية ١/١٠٠٠٠٠ ، لوحة رقم ١ الطبعة الثالثة ، بغداد ٢٠٠٠ ، برنامج ArcMap10.8.

الصورة (٣): توضح جودة ونقاء المياه



تحديد مناطق حصاد الضباب في الجبل الأبيض:

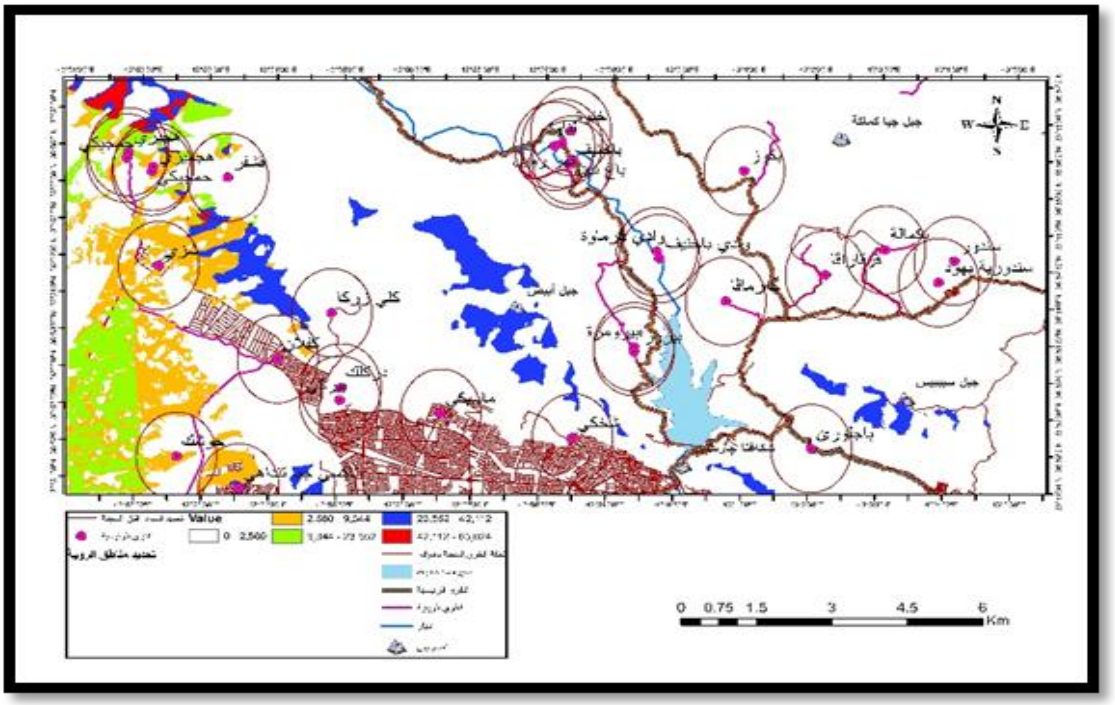
يعتمد حصاد الضباب بالأساس على التقاط قطرات الماء المعلقة في الهواء أثناء مرور السحب التي تكون الضباب فوق المرتفعات. ولكي تنجح العملية يجب أن تكون الشباك المخصصة للحصاد معرضة بشكل مباشر ومباشر للرياح المحملة بالضباب دون أي حواجز تضاريسية قد تعترضها أو تغير مسار الرياح. وعليه في البداية تم تحديد نقاط المراقب (observe point) كما موضح في الخارطة رقم (٩) التي تحدد مواقع القرى في الجبل على سطح نموذج الارتفاع الرقمي ومن كل موقع على سطح الراستر للبيانات المدخلة التي تم العمل عليها لتكون قيمة كل خلية هي أقل ارتفاع يجب إضافته إلى خلية غير مرئية لجعلها مرئية على الأقل لمراقب واحد وبهذا نلاحظ ان عدد وحدات x , y على الأرض لكل وحدة z على السطح. وعليه تم استبعاد القرى التي لا تدخل ضمن هذا المعيار والتي لا تنطبق عليها شروط الأولية لحصاد الضباب كما موضح بالخارطة رقم (١٠). وتعتبر طريقة خط الأفق (Skyline Analysis) في نظم المعلومات الجغرافية (واحدة من أهم الأدوات المكانية المستخدمة في اختيار وتقييم المواقع المثالية لمشاريع حصاد الضباب حيث تتجلى أهمية تحليل "خط الأفق" في هذا المجال من خلال النقاط التالية:

١. قياس الانكشاف التضاريسي ((Topographic Exposure) تحدد طريقة خط الأفق أقصى زاوية رؤية أو ارتفاع للشرائح التضاريسية المحيطة بنقطة معينة (٣٦٠ درجة حول النقطة).

- **في حصاد الضباب:** تسمح لك هذه الأداة بلمحة سريعة بمعرفة ما إذا كان الموقع **منكشفاً تماماً للجهة القادمة منها الرياح الرطبة** أم أن هناك قمم جبلية أو مرتفعات مجاورة تحجب الرياح وتمنع الضباب من الوصول.

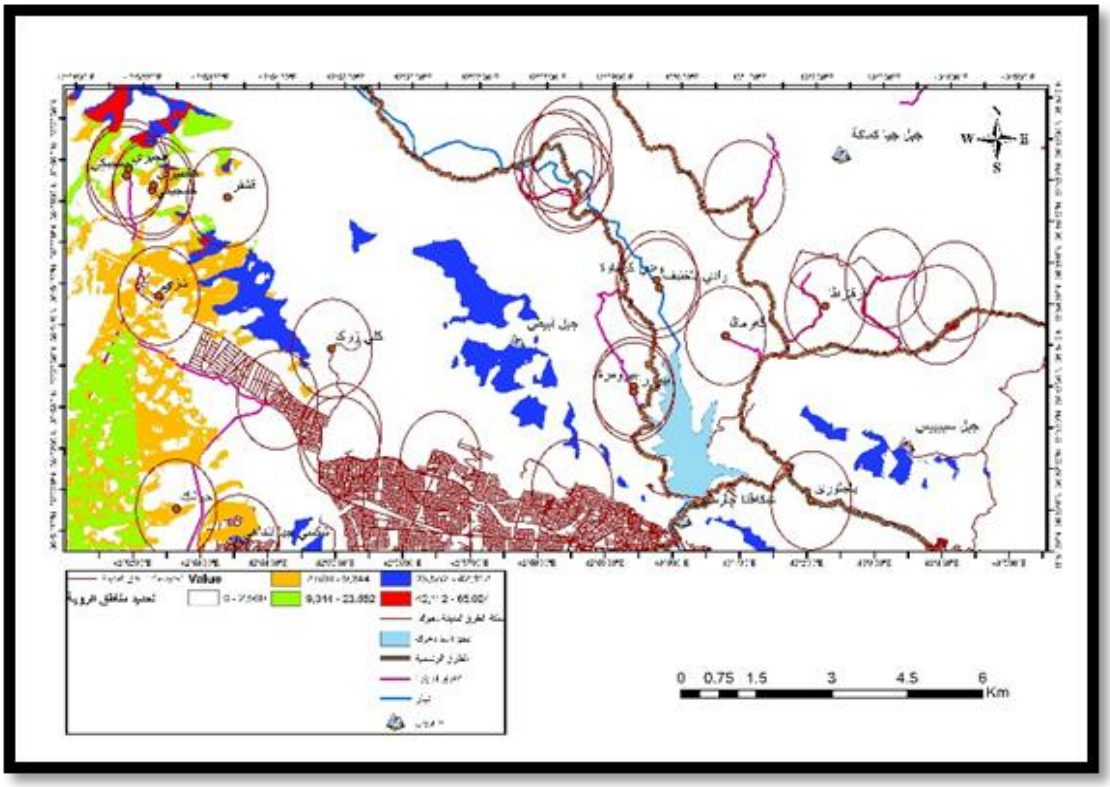
حيث عملت هذه الطريقة من خلال تحديد المناطق الزرقاء والحمراء أكثر المناطق احتمالية لتواجد الضباب وتم عزل القرى التي لا تنطبق عليها الاحتماليات السابقة.

الخارطة (٩): توضح تحديد نقاط المراقب



المصدر من عمل الباحثة بالاعتماد على مواقع القرى

الخارطة (١٠): توضح طريقة خط الأفق



المصدر من عمل الباحثة بالاعتماد على مواقع القرى

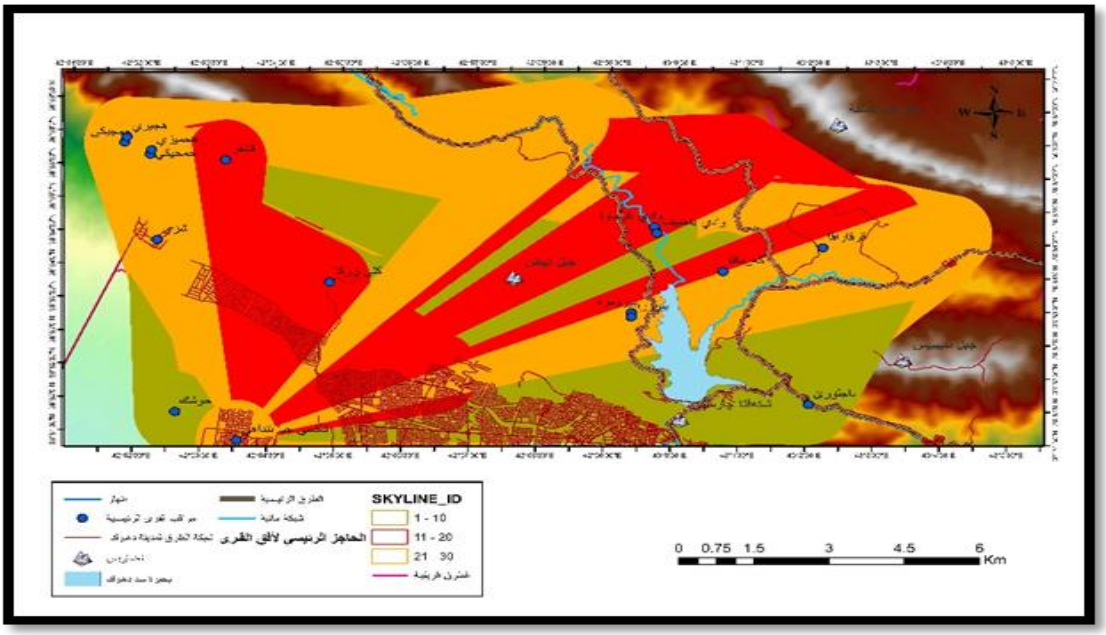
الضباب يتحرك على ارتفاعات منخفضة نسبياً ويتأثر بشكل مباشر بتضاريس الأرض بنموذج الارتفاع الرقمي.

- تقوم أداة Skyline باستخراج **بارامترات الانكشاف الرأسي والأفقي**، مما يساعد في محاكاة المسارات التي سيسلكها الضباب عند صعوده على السلاسل الجبلية .(Anabatic Winds)
- تؤكد الأداة عدم وجود "ظل تضاريسي" (Topographic Shadow) يُشتت تيار الضباب قبل وصوله للشباك.
- تساعد بيانات خط الأفق المأخوذة من الموقع المباشر في حساب **الزاوية الدقيقة زاوية السمت (Azimuth)** والارتفاع الأنسب لنصب محطات الحصاد للحصول على أعلى كفاءة تقاطر.

٤. تقليل التكاليف وزيادة كفاءة المشاريع بدلاً من الاعتماد على التجربة والخطأ الميداني، توفر أداة Skyline إمكانية **ترشيح مئات المواقع المحتملة** واستبعاد الأماكن المنخفضة أو المحجوبة، وبالتالي توجيه الميزانية والمعدات للمواقع ذات الإنتاجية الأعلى فقط (محمد, ٢٠٢٥: ٢٥).

عندما يتم توفير نقاط المراقب التي حددت عن طريق القرى المستفيدة فإن Skyline الناتج يُعرف باسم خط الأفق أو خط التلال. يتم إنشاء خط الأفق عن طريق رسم خط رؤية من نقطة المراقب يغطي نطاق الزاوية الأفقية المحدد في خيارات الزاوية الأفقية يمكن للأداة أيضًا توليد الظلال التي يمكن استخدامها بواسطة أداة Skyline Barrier لإنشاء أحجام الظل.. يتم التحقق من خط الرؤية بعد كل زيادة في الزاوية الأفقية، ويتم التعبير عن جميع قيم الزاوية الأفقية بالدرجات. ينتج عن زيادة أصغر عينة أكبر، مما يؤدي إلى تمثيل أدق لخط التلال. يتم إنشاء خط التلال كخط ثلاثي الأبعاد حيث كل نقطة تمثل أبعد نقطة مرئية على طول كل خط رؤية مأخوذ. وبناء على ذلك ظهرت لدينا مجموعة من القرى تنطبق عليها احتماليات الحصاد وهي جميجكي – قشفر – هيجري –باجلو وغيرها كما موضح بالخارطة رقم (١١)

الخريطة (١١) توضح خط الروية للقرى في منطقة الجبل الابيض

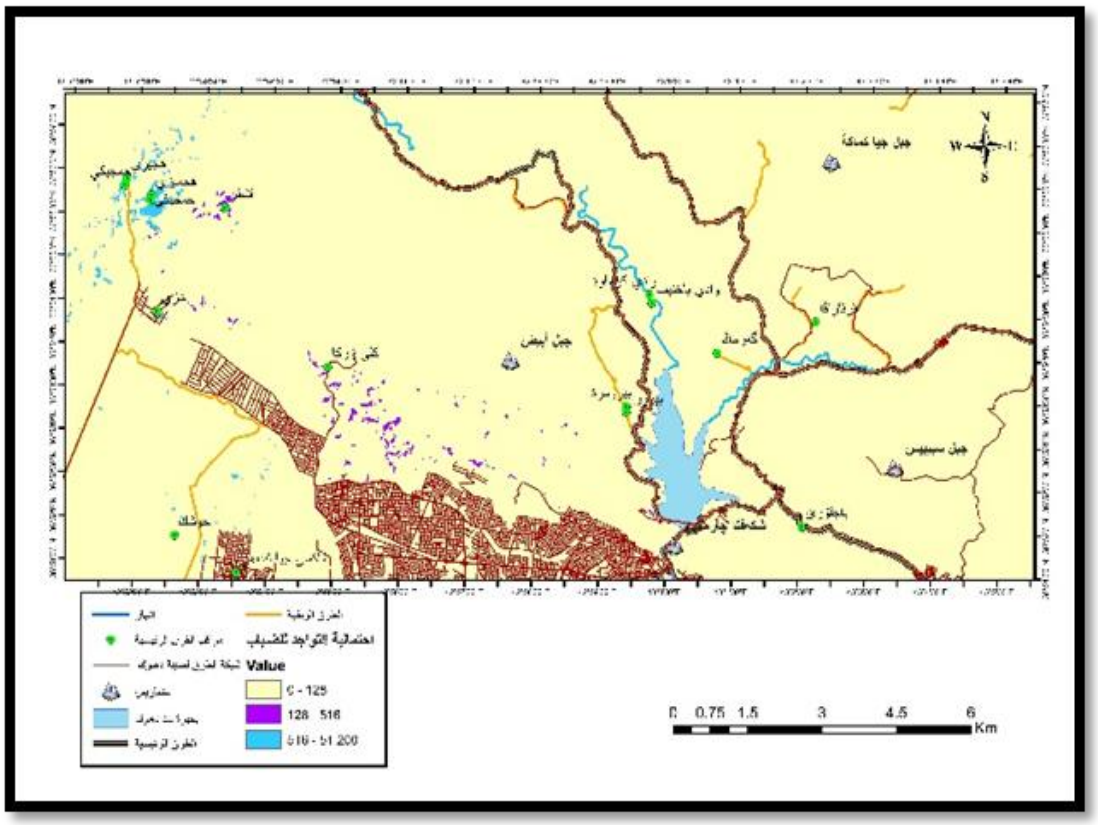


المصدر من عمل الباحثة بالاعتماد على اشتقاق العلاقات بين المتغيرات.

إذا تم النظر إلى السطح في اتجاه معين، فإن الرأس يتم إنشاؤه عند النقطة التي تصل فيها خط النظر إلى حافة السطح. إذا تم توفير نصف قطر أفق أقصى، فإن الرأس سيظل على خط النظر ولكن لن يكون أبعد من نقطة المراقب عن الحد الأقصى المحدد. بالنسبة لكل من المعلمات الثلاثة المتعلقة بالسمت، يمكن تحديد حقل من خصائص نقطة المراقب المدخلة بدلاً من تحديد قيمة، وهذا مفيد إذا كان من المزمع إنشاء أكثر من خط أفق، والذي يحدث عند النظر

لأكثر من نقطة مراقب. وبناء على ما تقدم وبعد ادخال ومعالجة جميع المتغيرات السابقة تم الحصول على النتيجة النهائية لتواجد الضباب بأكبر كمية للاستثمار واستفادة القرى والمناطق المجاورة له كما موضح بالخارطة رقم (١٢).

الخارطة (١٢): توضح المواقع المثلى لانتخاب حصاد الضاب



المصدر من عمل الباحثة بالاعتماد على اشتقاق العلاقات بين المتغيرات

وخلاصة لما تقدم تُعد تقنية **حصاد الضباب (Fog Harvesting)** حلاً مبتكراً ومستداماً لمواجهة أزمة الشح المائي في المناطق الجبلية والجافة، وتساهم بشكل مباشر في تحقيق عدة أهداف من أهداف التنمية المستدامة للأمم المتحدة

١. البعد البيئي والمناخي حيث تمثل تقنية صديقة للبيئة تعتمد التقنية على الحركة الطبيعية للرياح والجاذبية الأرضية لتجميع المياه دون الحاجة لاستهلاك الطاقة الكهربائية أو إنبعاثات كربونية (تخدم الهدف ١٣: العمل المناخي) (Ghiasi et al., 2025: 8).
٢. حماية المياه الجوفية: تقلل الضغط على الخزانات الجوفية وشبكات المياه التقليدية في المناطق الهشة بيئياً.
٣. البعد الاجتماعي والصحي توفير مياه صالحة للشرب: توفر مصدراً نظيفاً وآمناً للمياه في المناطق الريفية (تخدم الهدف ٦: المياه النظيفة والنظافة الصحية).
٤. البعد الاقتصادي والزراعي دعم الزراعة المحلية: تُستخدم المياه المجمعة في الري التقطيري للمحاصيل والمشاتل الزراعية وتوفير مياه الشرب للمواشي (تخدم الهدف ٢: القضاء على الجوع).
٥. تكلفة انخفاض التشغيل: تتميز الشباك والمعدات بتكلفة إنتاج وصيانة منخفضة مقارنة بمحطات تحلية المياه أو حفر الآبار (Owais, 2024: 1).

الاستنتاجات :

١. تعد طريقة حصاد الضباب أحد الطرق العلمية للحصول على مياه صالحة للشرب ويمكن تطبيقها لتوفر المقومات الطبيعية والبشرية لها
٢. ساعدت العوامل المناخية في منطقة الجبل الأبيض الى تحقيق الابعاد المكانية لتحقيق الظروف الملائمة لحصاد الضباب
٣. العوامل الطبيعية أعطت روية بصرية مدركة في تحقيق الأماكن المهمة لاختيار مناطق حصاد الضباب
٤. تعد طريقة SKYLine أحد الطرق العلمية الحديثة المستخدمة في تحديد المواقع المثلى واعطت نتائج جيدة لتوفير المياه الصالحة للشرب في القرى المنتخبة
٥. الوصول للتنمية المستدامة كان الهدف الرئيسي من خلال توفير مياه صالحة للشرب باقل تكلفة ممكنة مقارنة مع مد مياه الاسالة في المناطق الجبلية

المقترحات :

١. تدريب السكان المحليين على عمليات الصيانة الدورية البسيطة للشباك والأنابيب لتسهيل الاستدامة وتقليل التكاليف التشغيلية
٢. التكامل مع التخطيط المائي للوصول الى تنمية مستدامة عالية من خلال دمج مياه الضباب ضمن الاستراتيجية الوطنية للمياه للاستفادة منها في الري الذكي وإعطاء الثروة الحيوانية أهمية من خلال زيادتها دعما للإنتاج الوطني
٣. العمل على إعادة تغذية المياه الجوفية.
٤. فتح المجال أمام المنظمات البيئية والقطاع الخاص لتمويل مشاريع حصاد الضباب ضمن برامج المسؤولية المجتمعية وزيادة وتشجيع الاستثمار السياحي من خلال تواجد المياه .

قائمة المصادر والمراجع

اسكندر، ج. ب. (٢٠١٣). *قرية مار ياقو عروس الجبل الابيض*. مطبعة هاوار، دهوك. ص١

إفني، س. (٢٠٢٠). نحو توسيع مشروع حصاد الضباب، ٢٠٢٠/١٠/١٧ https://mapecology.ma/ar

امين، ش. ا. (٢٠١٦). تعرية التربة في قضاء دهوك قياسها، مخاطرها وصيانتها، جامعة دهوك، كلية العلوم الإنسانية، قسم الجغرافية، رسالة ماجستير غير منشورة. ص١٩٤

محمد نصر، ا. (٢٠٢٣). حصاد الضباب مصدراً مستداماً للمياه بمنطقة الجبل الغربي (38) ,

محمد، ح. ع. (٢٠٢٥). دور تقنية الضباب لحصاد المياه، مقالة مقدمة الى جامعة المستقبل https://uomus.edu.iq/College/Details/68926

مؤتمر الأمم المتحدة للتغير المناخي. (٢٠١٦). مراكش ، الاحتباس الحراري – كوب ٢٢ هو مؤتمر واجتماع قمة جرى عقده في مراكش خلال الفترة ما بين ٧ و١٨ نوفمبر ٢٠١٦. ويعد هذا المؤتمر النسخة ٢٢ من مؤتمر الأطراف (COP22حسب اتفاقية الأمم المتحدة المبدئية بشأن التغير المناخي https://ar.wikipedia.org/wiki_2016

نيشان, س. م. (٢٠٠٥). مقومات صناعة السياحة في محافظة دهوك، مطبعة وزارة التربية ، اربيل.

References

Abdul-Wahab, S. A., Al-Damkhi, A. M., Al-Hinai, H., Al-Najar, K. A., & Al-Kalbani, M. S. (2010). Total fog and rainwater collection in the Dhofar region of the Sultanate of Oman during the monsoon season. Water International, 35(1), 100-109.

Alzahrani, A. S., & Abdelbaki, A. M. (2025). Evaluating cloud seeding initiatives for sustainable water supply in arid environments: insights from Al Baha, Saudi Arabia. Ain Shams Engineering Journal, 16(10), 103591.

Alzahrani, A. S., & Abdelbaki, A. M. (2025). Fog harvesting implementation as a sustainable water source: a feasibility study in Al-Baha, Saudi Arabia. Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture, 1-21. https://doi.org/10.1007/s43995-025-00250-w

Batisha, A. F. (2015). Feasibility and sustainability of fog harvesting. Sustainability of water quality and ecology, 6, 1-10.

Fessehaye, M., Abdul-Wahab, S. A., Savage, M. J., Kohler, T., & Tesfay, S. (2015). The potential for scaling up a fog collection system on the eastern escarpment of Eritrea. Mountain Research and Development, 35(4), 365-373.www.mrd-journal.org

Ghiasi, B., Aslani, Z. H., & Alisoltani, T. (2025). Assessing the feasibility and sustainability of fog water harvesting as an alternative water resource. Scientific Reports, 15(1), 19254.https://www.nature.com/articles/s41598-025-03919-3

Ghosh, R., & Ganguly, R. (2020). Fog harvesting from cooling towers using metal mesh: Effects of aerodynamic, deposition, and drainage efficiencies. Proceedings of the institution of mechanical engineers, Part A: journal of power and energy, 234(7), 994-1014. https://doi.org/10.1177/0957650919890711

Jamal, J. (2026, January 3). Snow in Duhok turns into a tourist attraction: Thousands of visitors from central and southern Iraq enjoy the winter atmosphere. Kurdistan24.https://www.kurdistan24.net/ar/story/884923

National Weather Service (2024),Louisville, KYWeather Forecast Office ,How Fog Forms,p1 https://www.weather.gov/lmk/fog_tutorial

Olivier, J., Van Heerden, J., Rautenbach, H., & Pretorius, E. (2015). Optimising fog water harvesting in South Africa. Water Research Commission.

Owais, A. (2024). How Does Fog Harvesting Provide Sustainable Water Solutions , report,p1

Rijsberman, F. R. (2006). Water scarcity: fact or fiction?. Agricultural water management, 80(1-3), 5-22.

Valjarević, A., Algarni, S., Morar, C., Grama, V., Stupariu, M., Tiba, A., & Lukić, T. (2023). The coastal fog and ecological balance for plants in the Jizan region, Saudi Arabia. Saudi Journal of Biological Sciences, 30(1), 103.