حصاد الضباب مصدرا مستدام للمياه بمنطقة الجبل الغربي

دراسة حالة: مدينة الزنتان

■ د. محمد نصر امحمد بن نصر *

● تاريخ استلام البحث 2023/12/09م ● تاريخ قبول البحث 30 /2024/01م

■ **المستخلص:**

إن تعاقب مواسم الجفاف وخاصة في السنوات الأخيرة وندرة مصادر المياه التقليدية اضطرنا إلى البحث عن مصادر بديلة وغير تقليدية ومستدامة للمياه فنحن في وقت نحتاج فيه لكل قطرة ماء، ومن مبدأ استغلال الموارد الطبيعية المتاحة الاستغلال الأمثل وبدون إلحاق الضرر بالبيئة الأمر الذي يعد من أهم أهداف التنمية المستدامة، فإن عملية جمع المياه من الضباب أو ما يعرف (بحصاد الضباب) تقنية بسيطة ومستدامة للحصول على المياه العذبة وكمصدر لمياه الشرب وللاستهلاك البشري والحيواني في المناطق التي تكون فيها المياه العذبة قليلة وبما أن الضباب يحدث بشكل متكرر خاصة في فصل الشتاء بالمناطق الجبلية وخاصة القريبة من السواحل كمنطقة الجبل الغربي، الامر الذي شجعنا على إجراء دراسة بمدينة الزنتان عن طريق إجراء اختبار بتركيب وحدة من تقنية حصاد الضباب القياسي The standard fog collector(SFC) وهي عبارة عن شبكة مصنوعة من مادة البولي بروبلين مقاسها 1م2 والمثبتة بقاعدة على ارتفاع 2 م فوق سطح الأرض مثبتة عمودياً مقابل مسار الرياح المحملة بالضباب، مع استمرار عملية تكاثف المياه على سطح الشبكة تتجمع قطرات المياه مع بعضها البعض لتشكل قطرات أكبر حجماً مما يؤدي إلى سقوطها في حوض التجميع الموجود بأسفل الشبكة بفعل الجاذبية ،كانت المدة الزمنية للاختبار 24 شهراً من يناير2021 إلى ديسمبر 2022، لهدف الحصول على نتائج وبيانات شاملة ودقيقة تشمل جميع فصول السنة ولنتعرف على مدى التذبذب في النتائج بين كل سنة وأخرى بناءً على المواسم المناخية

*محاضر بقسم البيئة، كلية العلوم، جامعة الزنتان E- mail: mohamed.nasar.bnnasar@gmail.com

الرطبة والجافة لنتحصل على معدل تقريبي لعملية حصاد الضباب، فقد كانت كميات المياه المجمعة من حصاد الضباب خلال المدة الزمنية للاختبار في عامي (2021 - 2022) هي على التوالي: 420.5 لتر/ م^2 / سنة، 361 لتر/ م^2 / سنة، وبمعدل سنوي لا يتعدى 1.1 لتر/ م^2 / يوم / سنة.

● **الكلمات المفتاحية:** المياه المستدامة، الرطوبة النسبية، الارتفاع عن مستوى سطح البحر، حصاد الضباب، حاصد الضباب القياسي.

■ Abstract :

The succession of dry seasons, especially in recent years, and the scarcity of traditional water sources, forced us to search for alternative, non-conventional, and sustainable sources of water, we are at a time when we need every drop of water, and from the principle of exploiting the available natural resources optimally and without harming the environment, which is one of the most important goals of sustainable development, is the process of collecting water from fog or what is known as (fog harvesting) is a simple and sustainable technique, to obtain fresh water as a source of drinking water and for human and animal consumption in areas where there is little fresh water, and since fog occurs frequently, especially in the winter. In mountainous areas, especially near the coasts, such as the western mountain region, which encouraged us to conduct a study in the city of Zintan, by conducting a test by installing a unit of the standard fog collector (SFC). It is a network made of polypropylene measuring 1m2 and installed on a base 2m above the ground and installed vertically against the path of the fog-laden winds, with the continuation of the process of water condensation on the surface of the network, water droplets gather with each other to form larger droplets, which leads to their fall into the collection basin located under the network due to gravity. The period for the test was 24 months from January 2021 to December 2022, to obtain comprehensive and accurate results, the data includes all seasons of the year, as well as learning about the extent of fluctuation in results between each year

and another based on the wet and dry climatic seasons to obtain an approximate rate of the fog harvesting process. The quantities of water collected from fog harvesting during the test period in the years 2021 and 2022 respectively are 420.5 l/m2/year and 361 l/m2/year, with a annual average not exceeding 1.1 l/m2/day/year.

- **Keywords:** fog harvesting; height above sea level; relative humidity; standard fog collector (SFC); sustainable water.

1. المقدمة

يعد الضباب مصدرا من المصادر الطبيعية للمياه وغير المستغل حالياً وفي ظل الظروف المناخية السائدة في البلاد من مناخ صحراوي وشبه صحراوي والتصحر وتعاقب أعوام الجفاف في السنوات الأخيرة، يزداد الوضع سوءاً بالنسبة للمناطق التي تعاني من شح المياه كمنطقة الجبل الغربي بعد التغيرات المناخية الهائلة التي أثرت بشكل مباشر على المصادر التقليدية للمياه مثل تساقط الامطار، وجريان الاودية، والمياه الجوفية التي تعد مصدر غير مستدام ومكلفا في أغلب الأحيان، ما يضعنا أمام أزمة مياه حقيقية في ظل تناقص الإمدادات وزيادة الطلب على المياه، كل ذلك يحتم علينا البحث عن مصادر جديدة ومستدامة للمياه واستغلال كل قطرة مياه ممكنة وعدم الاستهانة بها. إن تقنية جمع المياه من الضباب أو ما يعرف بحصاد الضباب غير مكلفة ومستدامة وصديقة للبيئة، وتتركز مشاريع جمع المياه من الضباب في المناخات المدارية وشبه المدارية القاحلة وشبه القاحلة. تعد المياه المتأتية من الضباب مصدرا بديلاً للمياه التقليدية حيث لا تلبي المصادر الأخرى متطلبات المياه ويعد الضباب جزءًا طبيعيًا من الدورة الهيدرولوجية، مثله مثل هطول الأمطار، ويوفر مصدراً حيوياً للمياه وقد أظهرت الأبحاث حول حصاد مياه الضباب في السنوات القليلة الماضية بساطته واستدامته لإنتاج المياه في العديد من المناطق حول العالم (Talaat & Mohie El Din & EL Gammal، 2017).

تشير الأبحاث الحالية إلى أن حاصدات الضباب تعمل بشكل أفضل في المناطق

الساحلية حيث يمكن حصاد المياه عندما يتحرك الضباب إلى الداخل مدفوعًا بالرياح. ومع ذلك، يمكن لهذه التقنية أيضاً أن توفر المياه للاستخدامات المتعددة في المناطق الجبلية إذا تم حصاد المياه الموجودة في السحب الطبقية، على ارتفاعات تتراوح من 400م إلى 1200م تقريباً (Richard & Walter & Kirk، 1997).

إن الموقع الجغرافي للبلاد المطل على البحر المتوسط جعلها عرضة لتشكل الضباب فنرى الضباب يتشكل على طول المناطق الساحلية والمناطق الجبلية خاصة في أشهر الشتاء، وبسبب الموقع الجغرافي للجبليين (الجبل الغربي والجبل الأخضر) القريبين من البحر جعلهما عرضة لتشكل الضباب ونصيبهما منه أكبر من أي منطقة أخرى في البلاد، فعلى سبيل المثال يتشكل الضباب في منطقة الجبل الغربي ابتداء من شهر اكتوبر حتى نهاية شهر مارس وتكثر الأيام الضبابية في أشهر الشتاء الثلاثة أكثر من غيرها من الشهور وتختلف الأيام الضبابية من موسم لآخر حسب ظروف الطقس ومواسم الجفاف.

■ **مشكلة الدراسة**

يمكن تلخيص مشكلة الدراسة في النقاط التالية:

1. شح المياه العذبة الصالحة للشرب.
2. تعاقب مواسم الجفاف خلال العقد الاخير وخاصة الثلاث سنوات الاخيرة.
3. قلة المصادر الطبيعية للمياه، فالمنطقة تعتمد اعتماد شبه كلي على مياه الامطار خاصة في الزراعة.
4. الحصول على مصدر جديد ومستدام للمياه غير مستغل حالياً.

■ **أهداف الدراسة**

تتلخص أهداف الدراسة في التالي:

1. استغلال الموارد الطبيعية المتاحة الاستغلال الامثل وبدون إلحاق الضرر بالبيئة وهذا يعتبر من أهم أهداف التنمية المستدامة.

2. استغلال مصدر من مصادر المياه المستدامة وغير المستغل حالياً والصديق للبيئة (الضباب).

3. إجراء اختبارات أولية باستخدام وحدة من تقنية حاصد الضباب القياسي Standard Fog Collector (SFC) خلال فترة زمنية محددة لتقدير كمية المياه القابلة للحصاد، الأمر الذي يعد كقاعدة بيانات أساسية ومرجعا يرتكز عليه كل من يريد الاستثمار في هذا المجال.

4. الحصول على مياه عذبة بأبسط الطرق وأقلها تكلفة.

5. يمكن أن تساعد هذه التقنية مربي المواشي والرعاة في المناطق الرعوية في منطقة الجبل الغربي والحمادة الحمراء وسهل الجفارة ومنطقة الجبل الأخضر على الحصول على المياه العذبة وتجنيب اصحاب المواشي والرعاة مشقة جلب المياه من مسافات بعيدة.

6. المساهمة في التقليل من استنزاف المياه الجوفية.

7. المساهمة في حل مشكلة ندرة المياه ولو جزئياً.

■ منطقة الدراسة

تقع مدينة الزنتان جغرافياً في وسط الجبل الغربي تقريباً الذي يتراوح ارتفاعه بين 600- 750 م فوق سطح البحر (شرف، 1979)، أما فلكياً فهي تقع عند تقاطع خط طول 1512.° شرقاً بدائرة العرض °5531 شمالاً، وتبعد عن ساحل البحر المتوسط بحوالي 90 كم، لذلك فمناخ المنطقة متأثر بمناخ البحر المتوسط حيث إن المنطقة معتدلة إلى حارة صيفاً، باردة إلى شديدة البرودة شتاءً بفعل ارتفاعها عن مستوى سطح البحر حيث إن درجة الحرارة تنخفض درجة مئوية واحدة كلما ارتفاعنا 150م عن مستوى سطح البحر (حسنين، 1998). الشكل رقم 1 يبين موقع منطقة الدراسة.

الشكل 1 : موقع منطقة الدراسة

■ المنهجية العلمية

اعتمدت الدراسة على المنهج التجريبي حيث يعد المنهج التجريبي من أهم مناهج البحث العلمي المتبعة بالمجالات التطبيقية مثل علوم الطبيعة والظواهر الفيزيائية، وهو منهج يعتمد في الأساس على المراقبة والملاحظة الدقيقة والتجربة العلمية، وهذه هي السميات التي نعتمد عليها في هذه الدراسة حيث استمرت تجربة تقنية حصاد الضباب لمدة سنتين مع المراقبة الدقيقة وجمع البيانات لهدف الحصول على نتائج دقيقة.

■ الدراسات السابقة

تقع تقريباً جميع البلدان التي استخدمت تقنية حصاد الضباب في مناخات مدارية وشبه المدارية الجافة، ومعدل هطول الأمطار السنوي في العديد من مناطق هذه البلدان منخفض جدًا، ونتيجة لذلك لا تعد مصادر المياه السطحية خياراً مستداماً بسبب محدودية كميات الأمطار. علاوة على ذلك، فإن معظم هذه المناطق توجد في تضاريس جبلية، وبالتالي فإن تنفيذ نظام إمدادات المياه التقليدي صعب من الناحية العملية وغير اقتصادي. ولذلك، فإن توفر موارد مائية موثوقة ومتجددة ومجدية اقتصادياً يصبح تحدياً كبيراً للعديد من هذه المناطق (Fessehayea & *et al*، 2014). فعلى سبيل المثال

فقد استخدمت تقنية حصاد الضباب في مناطق مختلفة من العالم في كلٍ من البيرو والمكسيك وغواتيمالا والتشيلي والأكوادور وكولومبيا واريتريا وجنوب افريقيا وناميبيا وفي بعض مناطق آسيا وأوروبا وقد حققت نجاحاً رائعاً، استخدمت هذه البلدان تقنية حصد الضباب حيث إن لديها بيئة مناخية وطبوغرافية طبيعية مواتية لتكوين الضباب حيث تمتلك جميع هذه البلدان تقريباً جبالاً عالية الارتفاع يزيد ارتفاعها عن 500م فوق مستوى سطح البحر وتقع على مقربة من سواحلها، ونتيجة لذلك، تتأثر هذه السلاسل الجبلية في الغالب بالمناخ الساحلي وعادةً ما تغطي قمم الجبال أنواعاً من الضباب والضباب الجبلي معظم أيام السنة، فعلى سبيل المثال في تشيلي الجزء الشمالي من الساحل الغربي للبلاد يغطيه الضباب كل يوم تقريباً، وفي كولومبيا تبلغ الفترة التي يتوفر فيها الضباب 210 أيام ، وفي البيرو 210 أيام أيضاً، وفي إسبانيا 142 يوماً وفي إريتريا 166 يوماً في السنة (Fessehayea & et al، 2014). وقد شجع تواجد الضباب الكثيف في السلاسل الجبلية لفترات طويلة هذه الدول على اعتبار الضباب مصدراً بديلاً للمياه، وذلك باستخدام تكنولوجيا حصد الضباب لمعالجة نقص المياه لديها. ويبين الشكل رقم 2 المناطق في العالم التي نجحت في استخراج المياه من الضباب وهي أغلبها مناطق ذات مناخ جاف أو جاف فصلياً وتتوفر فيه الشروط الملائمة لتشكل الضباب بكثافة ملائمة (Otto & et al، 2014). وفي منطقتنا العربية كان السبق للمملكة المغربية وسلطنة عمان واليمن وبعض مناطق بلاد الشام في استخدام تقنية حصاد الضباب، فعلى سبيل المثال في المملكة المغربية وبسبب ما تعانيه بعض القرى الجبلية هناك من الجفاف وندرة وبعد مصادر المياه، استخدمت تقنية حصاد الضباب لتزويد بعض القرى الجبلية بجنوب غرب المغرب بالمياه العذبة ولسد جزء كبير من احتياجات هذه القرى من المياه الصالحة للشرب، وكانت النتائج مذهلة إذ جنبت هذه التقنية السكان مشقة قطع عشرات الكيلومترات كل يوم من أجل الحصول على حاجتهم من ماء الشرب (Dodson & Bargach، 2015). ومن أمثلة نجاح هذه التقنية أيضاً ما حصل في صحراء تشيلي الساحلية (تشونغونغو) حيث أدى نظام إمداد المياه الناتج عن جمع الضباب إلى نتيجة مبهرة وأصبح دليلاً عملياً على

نجاح التقنية، كان النظام قيد التشغيل منذ عام 1989 إلى غاية عام 2000م، حيث كان ينتج كل يوم ما متوسطه 15000 لتر من المياه الصالحة للشرب من 100 وحدة من وحدات حاصد الضباب الكبير The Large Fog Collector (LFC) لجميع أفراد القرية البالغ عددهم 300 فرد (Fessehayea & et al، 2014).

الشكل 2: المناطق حول العالم التي نجحت في الحصول على المياه من الضباب

■ العوامل المناخية المساعدة

الضباب هو سحابة تلامس الأرض تحتوي على جزيئات الماء (قطرات الماء الصغيرة) وتتراوح أقطار قطراتها من 1 إلى 40 ميكرون، ويتشكل الضباب بسبب عدة طرق وعوامل جوية، حيث يمكن أن تتشكل السحب الطبقية المنخفضة فوق مسطح مائي بارد إلى حد ما، وقد يصل ارتفاع قاعدة السحابة الناتجة فوق السطح وسمك السحابة إلى بضع عشرات أو مئات الأمتار ومع هبوب الرياح الإقليمية باتجاه الجبال الساحلية يتشكل الضباب في المنطقة الجبلية، هناك طريقة أخرى لإنتاج الضباب وهي التبريد الأديباتي (adiabatic) للكتل الهوائية الرطبة أثناء نقلها صعوداً (Otto & et al، 2014)، تعد المحيطات والبحار مصادر رئيسية للرطوبة، لذا فإن الجمع بين المحيط أو البحر ومنطقة جبلية قريبة من الساحل يعد مكاناً مناسباً لجمع المياه من الضباب، وهذا ما تتميز به منطقة الدراسة، حيث تتمتع منطقة الجبل

الغربي وبالتحديد مدينة الزنتان بالموقع الجغرافي والعوامل المناخية الملائمة لاختبار تقنية حصاد الضباب ومن أهم العوامل المناخية التي تعتمد عليها نجاح حاصدات الضباب في الموقع المراد إنشائها فيه هي: الارتفاع (ارتفاع المنطقة عن مستوى سطح البحر)، البعد عن المسطحات المائية (بحار ومحيطات)، الرياح، الرطوبة النسبية، وتوفر الضباب:

1. الارتفاع والبعد عن المسطحات المائية:

تقع المدينة على قمم الجبل الغربي على ارتفاع أكثر من 500م تقريباً فوق مستوى سطح البحر وعلى بعد 90 كم من ساحل البحر المتوسط.

2. الرياح:

هي الهواء في حالة حركة وتعد عاملاً هيدرولوجياً يكون في غاية الأهمية فعن طريق الرياح يتم انتقال الحرارة والرطوبة من مكان إلى آخر على سطح الارض ويتحرك الهواء من مناطق الضغط الجوي المرتفع إلى مناطق الضغط الجوي المنخفض، حيث بلغ المتوسط السنوي لسرعة الرياح في منطقة الدراسة حوالي 4.5 م/ث، وتعد الرياح الشمالية والشمالية الغربية هي المسيطرة في فصل الشتاء وتساعد هذه الرياح في جلب السحب الطبقية المنخفضة والتي سرعان ما تتحول إلى ضباب عند اصطدامها بقمم الجبل الغربي.

3. الرطوبة النسبية:

هي عبارة عن نسبة بخار الماء الموجودة في حجم معين من الهواء إلى النسبة التي يحتاجها لكي يصل إلى درجة التشبع عند نفس درجة الحرارة، وتعتمد محتويات بخار الماء الموجود في الغلاف الجوي الارضي على درجة الحرارة والضغط واتجاه الرياح وفصول السنة وساعات اليوم وشكل التضاريس الجبلية وارتفاع المنطقة وخط عرضها وطبيعة التربة ووفرة الغطاء النباتي. والجدول رقم 1 يبين المعدل الشهري للرطوبة النسبية ٪ في منطقة الجبل الغربي في الفترة 1983 – 2020م (الضاوي، 2022).

جدول 1 : المعدل الشهري للرطوبة النسبية ٪ في منطقة الجبل الغربي 1983 – 2020

المنطقة	الجبل الغربي												
الأشهر	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	اغسطس	سبتمبر	اكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل السنوي
الرطوبة ٪	٪ 68	٪ 62	٪ 57	٪ 52	٪ 49	٪ 46	٪ 47	٪ 50	٪ 55	٪ 62	٪ 68	٪ 73	٪ 57

بناءً على الجدول رقم 1 ترتفع الرطوبة النسبية في شهري ديسمبر ويناير إلى أعلى معدلاتها عندما تتضافر العوامل التي تساعد على زيادة الرطوبة في الهواء، حيث يرتفع المعدل في منطقة الدراسة في شهر ديسمبر إلى 73 ٪ وبالتالي تتكاثر الغيوم التي ينتج عنها الضباب.

4. توفر الضباب:

تساعد العوامل الثلاثة أعلاه في عملية توفر الضباب، حيث يتوفر الضباب في فصل الشتاء ونهاية فصل الخريف وبداية فصل الربيع، حيث تكثر الأيام الضبابية وبكثافة ضباب عالية في فصل الشتاء وخاصة في المواسم المطيرة، فعلى سبيل المثال تم حساب عدد الأيام التي يتوفر فيها الضباب في موسم شتاء عام 2021 – 2022 م، بحيث قسمنا الضباب إلى نوعان بناءً على شدة وكثافة الضباب خلال اليوم إلى:

- **ضباب كلي:**

حيث يتواجد الضباب على مدار اليوم بأكمله أو أغلبه وكان عددها 21 يوماً.

- **ضباب جزئي:**

حيث يتواجد الضباب جزئياً في اليوم خاصة ليلاً وفترة الصباح وعادة ما يتلاشى هذا النوع من الضباب في ساعات الصباح الاولى أو في فترة الظهيرة وكان عددها 58 يوماً، ويعتبر هذا النوع من الضباب شائع الحدوث حيث تكاد لا تخلو ليلة من ليالي الشتاء في منطقة الدراسة من الضباب الليلي.

■ **تقنية حصاد الضباب**

تعتمد هذه التقنية المبتكرة على حقيقة أنه يمكن جمع المياه من الضباب في ظل ظروف مناخية مواتية. يعرف الضباب بأنه كتلة من بخار الماء مكثف إلى قطرات ماء صغيرة عند سطح الأرض أو فوقها بقليل، تترسب قطرات الماء الصغيرة الموجودة في الضباب عندما تتلامس مع الأشياء، هذا الضباب لديه القدرة على توفير مصدر بديل للمياه العذبة في المناطق الجافة إذا تم حصادها من خلال استخدام أنظمة جمع بسيطة ومنخفضة التكلفة تعرف باسم مجمعات الضباب أو حاصدات الضباب. إن تقنية حصاد الضباب هي إحدى الوسائل البديلة لتوفير المياه العذبة للاستخدامات البشرية، وإن من أهم مميزات هذه التقنية الآتي:

- سهوله البناء والتركيب في الموقع، حيث إن تجميع وتوصيل الشبكات مع بعضها البعض عملية سهلة وسريعة، لا تحتاج الكثير من العمّال والحرفيّة العالية، حيث يكفي وجود شخص واحد ذو خبرة في فريق العمل.
- تشغيل النظام عملية لا تحتاج إلى طاقة، حيث تعتمد طبيعيّا على خاصيّة تكثيف المياه.
- عملية إصلاح وصيانة النظام قليلة وغير مكلفة.
- نوعيّة المياه المحصودة من خلال النظام ذات جودة عالية يمكن استخدامها للشرب وللري والأعمال المنزليّة.
- **أنواع حاصدات الضباب**

توجد اختلافات بين تصاميم حاصدات الضباب أو (مجمعات الضباب) المختلفة فيما يتعلق بحجمها وشكلها، بالإضافة إلى مادة الشبكة المستخدمة حيث تتكون حاصدات الضباب من شبكات بسيطة مستطيلة أو مربعة الشكل مصنوعة من مادة النايلون أو من بولي بروبلين، مدعومة بأعمدة من الطرفين، موجّهة عمودياً على اتجاه الرياح السائدة، قد تصمم هذه الشبكة إمّا كوحدة واحدة – بسيطة التصميم والتركيب- أو بطريقة أكثر تعقيداً، حيث تصمم كسلسلة من الشبكات مرتبطة مع بعضها البعض، كما هو موضح في الشكل رقم 3، 4.

الشكل 3: الشبكة كوحدة واحدة بسيطة التصميم والتركيب

الشكل 4: سلسلة من الشبكات مرتبطة مع بعضها البعض

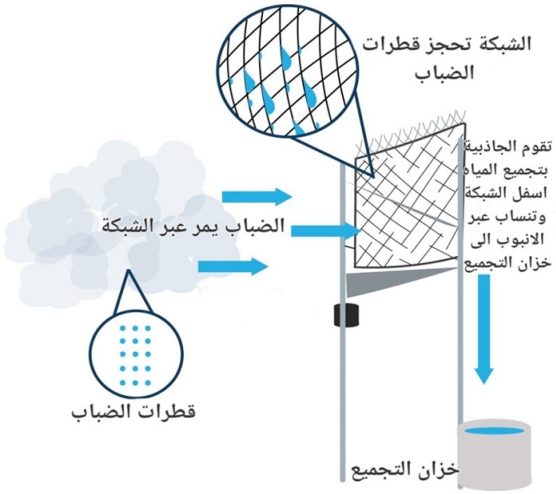
يتم استخدام نوعين من مجمعات مياه الضباب على نطاق واسع في الممارسة العملية حيث يتم استخدام:

- حاصد الضباب القياسي The standard fog collector (SFC) بمساحة 1م^2 حيث يستخدم للاختبارات الميدانية والدراسات الاستكشافية لمنطقة معينة.

- حاصد الضباب الكبير The large fog collector (LFC) بمساحة 40م^2 للاختبارات التشغيلية ويستخدم على نطاق واسع. ومع ذلك، تستخدم أيضاً حاصدات الضباب ربع الحجم Quarter-size Fog Collectors (QFCs) التي تبلغ مساحتها 0.25م^2 في الاختبارات الميدانية حيث يمكن تركيبها بتكلفة أقل نسبياً (Palanichamy & Habib & Faheemuddin، 2018).

- **حاصد الضباب القياسي The standard fog collector (SFC)**

اعتمدنا في هذه الدراسة على هذا النوع من حاصدات الضباب، لان هذا النوع يستخدم بشكل أساسي في الدراسات الاستكشافية وإجراء الاختبارات لتقييم كمية مياه الضباب التي يمكن جمعها في مكان معين (Musaddaq & et al، 2020)، وهو عبارة عن لوحة مسطحة تبلغ مساحتها 1م^2، مصنوعة من شبكة من مادة البولي بروبلين المتينة والمثبتة بقاعدة على ارتفاع 2م فوق سطح الأرض مثبتة عمودياً مقابل مسار الرياح المحملة بالضباب (Robert & Pilar، 1994) ، مع استمرار عملية تكاثف المياه على سطح الشبكة تتجمع قطرات المياه مع بعضها البعض لتشكل قطرات أكبر حجماً مما يؤدي إلى سقوطها في الحوض الأنبوبي الموجود بأسفل الشبكة بفعل الجاذبية، ثم تنتقل إلى خزان الحفظ كما في الشكل رقم 5. وتستخدم هذه الحاصدات لقياس تدفقات الضباب في أكثر من 40 بلداً في أنحاء العالم (Otto & et al، 2014).



الشكل 5: طريقة عمل حاصد الضباب القياسي

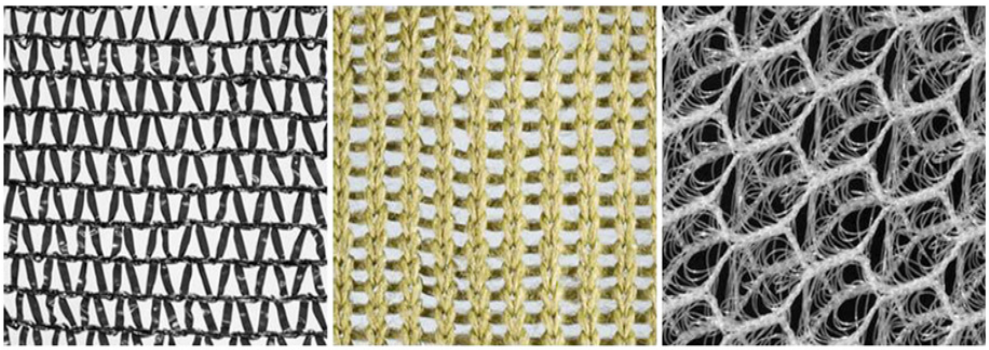
يحدد معدل تدفق الماء في الحاصد من خلال:

1- محتوى الماء بشكله السائل (LWC)، fog liquid water content.

2 - التوزيع الحجمي للقطرات المائية.

3 - الشكل الهندسي لشبكة التجميع إضافة إلى سرعة الرياح في الموقع.

وتعد مادة البولي بروبلين التي تصنع منها شبكة الحاصد آمنة غذائياً food-safe polyethylene وهي ذات سمك رفيع ومرن وفعال في عملية التجميع، يتألف نسيج الشبكة من مثلثات ممتدة طولياً وتتكون من ألياف بعرض 1 ملم وسمك 0.1 ملم مما يؤدي إلى سطح مغطى بالكامل (معامل تظليل بنسبة ~ 35 ٪)، ولتسهيل التشغيل والحصول على معامل تظليل يبلغ ~ 70 ٪، يتم استخدام طبقة مزدوجة متعاكسة في اتجاه نمط النسيج قابلة للتحرك ضد بعضها البعض بحيث تسمح بجريان سريع للماء (Nathalie & Ahmed، 2023). وبالتالي فإن سمك النسيج ونوعه ونسبة السطح المغطى لهم تأثير مباشر على كفاءة الحصاد، حيث يؤدي حجم النسيج الأصغر إلى كفاءة أفضل، ويوضح الشكل رقم 6 أنواع الأنسجة المستخدمة في شبكات حصاد الضباب، ويراعى اثناء عملية تركيب الحاصد شد الشبكة بصورة جيدة لأن عامل ارتخاء الشبكة يحد من كفاءتها في تجميع (حصاد) المياه من الضباب، وعادةً ما يتم قياس كفاءة الشبكة بواسطة نسبة كمية المياه التي وصلت إلى خزان التجميع والكمية الإجمالية للقطرات التي مرت عبر الشبكة خلال فترة محددة.



الشكل 6: أنواع الانسجة المستخدمة في شبكات حاصد الضباب

■ المناقشة والنتائج

● اختبار وحدة حاصد الضباب القياسي (SFC) بمدينة الزنتان

تم تركيب وحدة حاصد الضباب القياسي الاختبارية في منطقة تعرف بغابة (وسين) شمال شرق مركز المدينة بحوالي 5 كلم، حيث تتميز هذه المنطقة بقربها من حافة الجبل وبارتفاعها وبانخفاض درجة حرارتها بالمقارنة بغيرها من مناطق المدينة وتعد هذه العوامل مساعدة لتواجد الضباب، حيث تم نصب وحدة حاصد الضباب مقابل اتجاه الرياح السائدة (اتجاه الشمال) كما في الشكل رقم 7. المدة الزمنية المقررة للاختبار كانت سنة واحدة من يناير 2021 إلى ديسمبر من نفس العام لهدف الحصول على نتائج وبيانات شاملة ودقيقة تشمل جميع شهور السنة، لكن بسبب موجة الجفاف التي تضرب المنطقة، الأمر الذي أثر سلباً على ظهور الضباب في المنطقة فقد قررت تمديد فترة الاختبار إلى سنتين لهدف الحصول على نتائج أفضل ولنتعرف على مدى التذبذب في النتائج بين كل سنة وأخرى بناءً على المواسم المناخية الرطبة والجافة لنتحصل على معدل تقريبي لعملية حصاد الضباب.

الشكل 7: اختبار وحدة حاصد الضباب القياسي SFC بمنطقة الدراسة

ومن خلال الجداول رقم 2، 3 يمكن أن نتعرف على كمية المياه العذبة المتحصل عليها

(لتر/ م^2) من وحدة حاصد الضباب القياسي ((SFC في كل شهر طيلة فترة الاختبار الممتدة ل 24 شهر ابتداءً من شهر يناير2021 إلى غاية ديسمبر 2022.

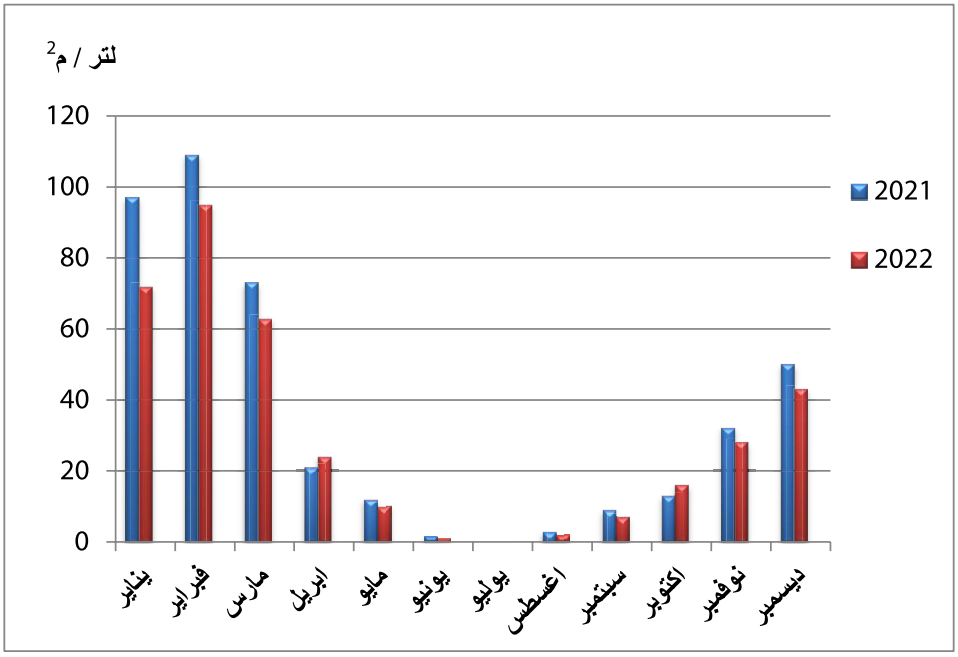
جدول 2: يبين معدلات تجميع المياه من حاصد الضباب القياسي (SFC) لسنة 2021م

السنة	2021												
الأشهر	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	اغسطس	سبتمبر	اكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المجموع
المياه المجمعة لتر/م^2	97	109	73	21	12	1.5	0	3	9	13	32	50	420.5
المعدل اليومي لتر / م^2	3.2	3.8	2.4	0.7	0.4	0.05	0	0.1	0.3	0.4	1.06	1.6	14.1
المعدل السنوي 1.15 لتر/ م^2 / اليوم													

جدول 3: يبين معدلات تجميع المياه من حاصد الضباب القياسي (SFC) لسنة 2022م

السنة	2022												
الأشهر	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	اغسطس	سبتمبر	اكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المجموع
المياه المجمعة لتر/م^2	72	95	63	24	10	1	0	2	7	16	28	43	361
المعدل اليومي لتر / م^2	2.4	3.5	2.1	1	0.8	0.03	0	0.06	0.2	0.5	0.9	1.4	12.8
المعدل السنوي 0.98 لتر/ م^2 / اليوم													

ويبين الشكل البياني رقم 8 المعدل الشهري لكمية المياه المجمعة خلال المدة الزمنية للاختبار، وتعد تقنية حصاد الضباب فعالة جداً لتجميع مياه الأمطار ايضاً، فعلى سبيل المثال في يوم 8-1-2022م هطلت أمطار على المنطقة وتحصلنا على ما يقرب 28 لتر ماء / م^2 /يوم.



شكل 8: المعدل الشهري لكمية المياه (لتر / م^2) المجمعة من حاصد الضباب القياسي (SFC) خلال مدة الاختبار

ومن خلال الجداول 2، 3 والرسم البياني رقم 8 تمكنا من الحصول على النتائج التالية:

1- ان أكبر كمية مياه مجمعة كانت في شهور الشتاء وخاصة في شهر فبراير وهذا كان متوقعاً لأن الضباب عادة ما يتكون في منطقة الجبل الغربي خلال هذه الفترة من السنة بسبب دخول المنخفضات الجوية، بينما تقل كمية المياه المجمعة خلال فصلي الربيع والخريف وتكاد تنعدم تماماً في فصل الصيف وخاصة شهر يوليو بسبب جفاف فصل الصيف في المنطقة.

2- نلاحظ أن كمية المياه المجمعة خلال مدة الاختبار متذبذبة وآخذة في التناقص، على سبيل المثال الكمية المجمعة في عام 2021 بلغت 420.5 لتر/ م^2 / سنة، بينما في عام 2022 بلغت 361 لتر/ م^2 / سنة فقط، ويرجع ذلك بسبب موجة الجفاف الطويلة التي تضرب المنطقة منذ حوالي أكثر من 3 سنوات، الأمر الذي أثر سلباً على ظهور الضباب، وللأسف إن موجة الجفاف هذه قد واكبت اجراء الاختبار منذ بدايته.

- **مقارنة بين نتائج الدراسة وبعض الدراسات السابقة**

يبين الجدول رقم 4 مقارنة نتائج الدراسة بنتائج بعض الدراسات والأوراق البحثية السابقة المختصة في مجال حصاد الضباب، وتتمثل الدراسات السابقة التي أجريت معها المقارنة في التالي:

1. النمذجة والتحليل المبسط لنظام حصاد مياه الضباب في منطقة عسير بالمملكة العربية السعودية. (Palanichamy & Habib & Faheemuddin، 2018).
2. جدوى تجميع مياه الضباب:

دراسة حالة من عمان (Abdul-Wahab & Al-Hinai & Al-Kalbani، 2007).

3. حصاد مياه الضباب على طول الساحل الغربي لجنوب أفريقيا: دراسة جدوى (Jana، 2002).
4. تباين حصاد الضباب في سلسلة جبال الأنديز في جنوب كولومبيا (Jose and Concepción، 2008).
5. حصاد مياه الضباب في إفني، المغرب، تقييم الإمكانات والطلب (Maria & Jose، 2008).

جدول 4: يبين المقارنة بين نتائج الدراسة وبعض الدراسات السابقة

منطقة الدراسة	الارتفاع فوق مستوى سطح البحر	نوع حاصد الضباب المستخدم	مساحة حاصد الضباب المستخدم ($م^2$)	المدة الزمنية للدراسة	كمية المياه المجمعة باللتر
مدينة الزنتان، ليبيا	650 م	حاصد الضباب القياسي (SFC)	$1م^2$	من يناير 2021 إلى ديسمبر 2022	781.5 لترا
منطقة عسير، المملكة العربية السعودية	3015م	حاصد الضباب الكبير(LFC)	$40م^2$	من 27 ديسمبر 2009 إلى 9 مارس 2010	128.4 ،3 لترا
محافظة ظفار، سلطنة عمان	800-900م	فلتر مكيف هواء،	$16.8م^2$	77 يوم	995 لتر
		شبكة تظليل خضراء	$36م^2$		880 لترا
		شبكة تظليل من الالمنيوم	$36م^2$		753 لترا
الساحل الغربي لجنوب افريقيا ، منطقة كيب كولومبين	200م	حاصد الضباب القياسي (SFC)	$1م^2$	من ابريل 1995 إلى نوفمبر 1996	789.5 لترا
جبال الانديز جنوب كولومبيا	1550- 1850م	حاصد الضباب القياسي (SFC)	$12م^2$	من نوفمبر 2003 إلى فبراير 2005	600.5 ،1 لترا
منطقة افني ،المملكة المغربية	300-1225م	حاصد الضباب القياسي (SFC)	$4م^2$	من يونيو 2006 إلى ديسمبر 2007	4860 لترا

من خلال الجدول 4 يتضح لنا أن نسبة حصاد الضباب في منطقة الدراسة أقل من

نظيراتها والسبب يرجع إلى نوع الحاصد المستخدم ومساحته وارتفاع المنطقة التي اجريت بها الاختبارات والى العوامل المناخية المواتية.

■ **الاستنتاج والتوصيات**

ركزت هذه الدراسة على ايجاد حل مستدام وغير تقليدي لمشكلة ندرة المياه في منطقة الجبل الغربي والتي تعتمد اعتماداً كبيراً على تساقط مياه الامطار الآخذة بالتناقص في السنوات الاخيرة ، من خلال الاستفادة من العوامل البيئية والمناخية التي تميز منطقة الجبل الغربي عن غيرها من المناطق فبسبب هذه العوامل يتميز الجبل الغربي بظهور الضباب خاصة في فصل الشتاء والذي مـــن الممكن الاستفادة منه وجعله مصدراً مستداماً للمياه من خلال تقنية حصاد الضبـــاب البسيطة وغير المكلفة والسهلة الاستخدام، فمن خلال هذه الدراســـة والاختبار الذي قمنا به بمدينة الزنتان بتركيب حاصد الضباب القياسي The standard fog collector (SFC) استطعنا أن نحصل على بيانات مشجعة بالرغم من ان المدة الزمنية للاختبار قد واكبتها ولسوء الحظ فترة جفاف طويلة الامد تمر على المنطقة تعدت الثلاث سنوات أثرت سلباً على ظهور الضباب، فقد كانت نسب كميات المياه المجمعة من حصاد الضباب خلال المدة الزمنية للاختبار في (2021 - 2022م) هي على التوالي: 420.5 لتر/ م^2/ سنة، و 361 لتر/ م^2/ سنة، وبمعدل سنوي لا يتعدى 1.1 لتر/ م^2/ يوم / سنة، علماً أن كميات المياه هذه جمعت من مساحة صغيرة حيث تبلغ مساحة حاصد الضباب القياسي 1م^2، فاذا استخدمنا حاصد الضباب الكبير The large fog collector (LFC) ذو مساحة 40م^2 فسوف تتضاعف نسبة المياه المجمعة إلى 40 ضعفا واذا استخدمنا عددا كبيرا من هذا النوع من الحاصدات سوف نتحصل على كميات وفيرة من المياه العذبة ومن المؤكد أن هذه النسب قابلة للزيادة في المواسم الرطبة والتي يكثر فيها الضباب.

● **التوصيات**

1. إن التغير المناخي وما يسببه من شح في مصادر المياه التقليدية وفي تعاقب مواسم الجفاف يحتم علينا البحث عن أي مصدر جديد للمياه غير مستغل حالياً والاستثمار في تقنية حصاد الضباب سيكون ذا فائدة كبيرة.

2. توعية وحث المجتمع المحلي في المناطق الجبلية والساحلية التي يكثر فيها الضباب بأهمية استخدام هذه التقنية غير المعقدة وسهلة الاستخدام.

3. إن استخدام هذه التقنية في منطقة الجبل الأخضر سيكون ذا جدوى لما يتمتع به الجبل الأخضر من العوامل المناخية الملائمة والتي من اهمها ارتفاعه وقربه للبحر وهذان العاملان الأهم في تكوين الضباب على المرتفعات الجبلية.

■. المراجع

● المراجع العربية

1- الضاوي علي المنتصر، (2022)، **تباين توزيع أقاليم المناخ الحيوي في إقليم الجبل الغربي**، مجلة القرطاس، العدد 21.

2- جودة حسنين، (1998)، **الجغرافية المناخية والحيوية**، دار المعرفة الجامعية، ص124، الاسكندرية.

3- عبدالعزيز طريح شرف، (1979)، **جغرافية ليبيا**، ط 2، توزيع منشأة المعارف بالإسكندرية.

● المراجع الانجليزية

1- Talaat A. Salem، Mohie El Din M. Omar and H.A.A. El Gammal، (2017)، "**Evaluation of fog and rain water collected at Delta Barrage، Egypt as a new resource for irrigated agriculture**"، Journal of African Earth Sciences، Vol. 135، pp. 3440-.

2- Richard Meganck، Walter Rast and Kirk P. Rodgers، (1997)، **Source Book of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Latin America and the Caribbean**، UNEP - International Environmental Technology Centre United Nations، Environment Programme، Unit of Sustainable Development and Environment General Secretariat، Organization of American States Washington، D.C.

3- Mussie Fessehayea، Sabah A. Abdul-Wahab، Michael J. Savage، Thomas Kohler، Tseggai Gherezghiher and Hans Hurn، (2014)، **"Fog-water collection for community us**"، Renewable and Sustainable Energy Reviews، Vol. 29، pp. 5262-.

4- Otto Klemm، Robert S. Schemenauer، Anne Lummerich، Pilar Cereceda، Victoria Marzol، David Corell، Johan van Heerden، Dirk Reinhard، Tseggai

Gherezghiher، Jana Olivier، Pablo Osses، Jamal Sarsour، Ernst Frost، María J. Estrela، José A. Valiente and Gebregiorgis Mussie Fessehaye، (2012)، "**Fog as a Fresh-Water Resource: Overview and Perspectives**"، Journal of Environment and Society (AMBIO)، Vol. 41 No. 3، pp. 221234-.

5- Leslie Dodson and Jamila Bargach، (2015)، "**Harvesting fresh water from fog in rural Morocco: research and impact Dar Si Hmad's Fogwater Project in Aït Baamrane**"، Journal of Procedia Engineering، Vol. 107، pp. 186193-.

6- Palanichamy Gandhidasan، Habib I. Abualhamayel and Faheemuddin Patel، (2018)، "**Simplified Modeling and Analysis of the Fog Water Harvesting System in the Asir Region of the Kingdom of Saudi Arabia**"، Journal of Aerosol and Air Quality Research، Vol. 18، pp. 200213-.

7- Musaddaq Azeem، Muhammad Tayyab Noman، Jakub Wiener، Michal Petru and Petr Louda، (2020)، "**Structural design of efficient fog collectors: A review**"، Environmental Technology and Innovation، Vol. 20**.**

8- Robert S. Schemenauer and Pilar Cereceda، (1994)، "**A Proposed Standard Fog Collector for Use in High-Elevation Regions**"، American Meteorological Society. Vol. 33، pp. 13131322-.

9- Nathalie Verbrugghe and Ahmed Z. Khan، (2023)، "**Water harvesting through fog collectors: are view of conceptual، experimental and operational aspects**"، International Journal of Low-Carbon Technologies، Vol. 18، pp. 392403-.

10- Abdul-Wahab، Al-Hinai and Al-Kalbani، (2007)، "**Feasibility of fog water collection: a case study from Oman**"، Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua. Vol. 56 No. 4، pp. 275280-.

11- Jana Olivier، (2002)، "**Fog-water harvesting along the West Coast of South Africa: a feasibility study**"، Water SA Journal، Vol. 28 No. 4.

12- Jose M. Molina and Concepción M. Escobar، (2008)، "**Fog Collection Variability in the Andean Mountain Range of Southern Colombia**"، DIE ERDE، Vol. 139 No. 12-، pp. 127140-.

13- Maria Victoria Marzol and Jose Luis Sanchez Megia، (2008)، "**Fog Water Harvesting in Ifni، Morocco. An Assessment of Potential and Demand**"، DIE ERDE، Vol. 139 No. 12-، pp. 97119-.