

فعالية البرمجة الخطية الرياضية في إدارة الموارد المائية للتركيبية المحصولية المروية / دراسة حالة

مايا العبد الله^{1*} و عفراء سلوم² و صفوان أبو عساف¹¹ الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، إدارة بحوث الدراسات الاقتصادية والاجتماعية، سورية.² قسم الاقتصاد الزراعي، كلية الهندسة الزراعية، جامعة دمشق، سورية.*للمراسلة: مايا العبد الله، البريد الإلكتروني: Mayaabdala6@gmail.com

تاريخ الاستلام: 2024 / 5 / 11 تاريخ القبول: 2024 / 9 / 16

الملخص

يهدف البحث إلى التوصل إلى عدة بدائل من التركيب المحصولية المروية المثلى والتي تحقق تدنية استهلاك مياه الري، وتعظيم صافي العائد من وحدة المياه في محافظة السويداء، في مناطق انتشار زراعة المحاصيل والخضار الشتوية والصفية المروية لموسم عام 2020 وذلك ضمن قيود الموارد الإنتاجية الزراعية المتاحة. من خلال معالجة البيانات الثانوية وتحليلها، والبيانات الأولية التي جُمعت من خلال استمارة المسح الميداني وصياغة نموذج برمجة خطية رياضية يتم به إعادة هيكلة التركيب المحصولي وإعادة توزيع المساحات المحصولية والموارد الإنتاجية، وبينت النتائج: أن البديل الأول حقق زيادة 13.26% عن صافي عائد وحدة مياه الري في التركيبة الفعلية، بقيمة فرق 2.54 مليون ل.س، والبديل الثاني حقق وفر بنسبة 44.86% عن كمية المياه التركيبية الفعلية مع ضمان الاحتياج الأمثل من مياه الري لكل محصول، فبلغ إجمالي الاحتياج المائي للتركيبية المقترحة 3.25 مليون م³، مقابل 5.9 مليون م³ من المياه للتركيبية الفعلية، ونظراً لمرونة النماذج المقترحة وفقاً لتغير المدخلات وأسعارها أوصت الدراسة ب: تعديل التركيب المحصولي في السويداء لتحقيق التركيب المحصولي الأمثل الذي يحقق تدنية مياه الري، وتعظيم العائد من وحدة مياه الري كاستراتيجية تخطيطية سنوية وفقاً للتغيرات الحاصلة.

الكلمات المفتاحية: إدارة مثلى، برمجة خطية، تدنية، تعظيم، السويداء.

المقدمة:

إن دور القطاع الزراعي في التنمية المستدامة والنمو الاقتصادي وتحقيق وظائف عديدة بيئية واجتماعية وجمالية، إضافة لتأمين مصدر دخل لجزء مهم من سكان الريف، تجعل من الضروري العمل على إدارته بالشكل الذي يحقق استدامة موارده، مع الأخذ بعين الاعتبار أن الإدارة المزرعية تُعد العامل الأهم الذي يتحكم في عوامل الإنتاج الزراعي كافة، إلا أنها تواجه العديد من التحديات المتمثلة بأنها لا تواكب التطورات في الأساليب الحديثة للإدارة، ولم تطبق المبادئ العلمية للإدارة التي تمكن من الاستفادة من الخبرات العلمية في الإنتاج والتسويق، وبخاصة في القطاع التقليدي ولدى صغار المزارعين (المنظمة العربية للتنمية الزراعية، 2007). هذا وتعد الموارد المائية من أهم الموارد الزراعية ذات الإسهام المركزي في التنمية الزراعية، فلها الأثر الأكبر بتقليص سلبات تقلبات الأمطار التي تُعد سمة بالغة الأهمية في البيئات شبه الجافة كما هي الحال في سورية، فإن الاستخدام الأمثل للموارد المائية الذي يحقق أقصى جدارة إنتاجية لها يعد من أهم الإشكاليات الواجب التعامل معها ضمن القطاع الزراعي السوري.

واثبتت الدراسات أن استخدام تقانة البرمجة الخطية كأحد أساليب اتخاذ القرار تعد فعالة جداً في مجال إدارة الموارد وتخصيص الموارد الاقتصادية في الإنتاج الزراعي وتحقيق الجدارة الاقتصادية للموارد المستغلة، ففي دراسة (Ren et al., 2019)، تبين أن

أزمة نقص المياه الحادة أحدثت تأثيراً سلباً على التنمية المستدامة لمنطقة الدراسة في مقاطعة ميناك في الصين، وبالتالي هدف نموذج البرمجة المقترحة تدنية استخدام مورد مياه الري آخذاً بعين الاعتبار تحسين كفاءة استخدام المياه، بالإضافة للقدرة على التعامل مع عدة حالات من عدم اليقين، وقدم النموذج المقترح عدة مخططات للتوليفة بحيث يتم اختيار المخطط السليم والذي يلبي صانع القرار لتحقيق أقصى فائدة اقتصادية لكل وحدة من المياه. في حين بين محمد وآخرون (2019) بدراسة اقتصاديات الموارد المائية لتحقيق الأمن الغذائي في مصر، أن محددات التركيبة المحصولية تتمثل بالأرض الزراعية والموارد المائية، وأثبتت النتائج البحثية أن القيود المستخدمة في نموذج البرمجة الخطية لتحقيق دالة الهدف المتمثلة بتدنية كمية المياه المستخدمة تضمنت قيد المساحة المحصولية، قيد صافي العائد الفدائي، وحقق النموذج المقترح وفق نموذج البرمجة زيادة في إجمالي العائد ما نسبته 12.19% عن نظيره في التركيب المحصولي الفعلي، كما حقق النموذج انخفاض في إجمالي كمية المياه ما نسبته 13.45% عن مثيله بالتركيب الفعلي. كما أظهرت نتائج دراسة لـ (Hussain et al., 2007) الهدف منها الحصول على تركيب محصولي أمثل لزيادة إنتاجية المياه من خلال إعادة تخصيص الموارد في منطقة البنجاب في الهند، زيادة إنتاجية مياه قصب السكر بنسبة 20% في المزارع الكبيرة، وأظهرت دورات القمح/ الحمضيات، والبرسيم/ الحمضيات زيادة كبيرة في إنتاجية المياه في جميع المزارع، وبالتالي تشير النتائج إلى أن إنتاجية المياه يمكن تعظيمها من خلال تحسين الري والزراعة وتخصيص نمط المحاصيل.

تتمثل مشكلة البحث باستمرار زيادة الطلب على الموارد المائية في الزراعة بجانب ندرتها، مما يتطلب إعادة النظر في استخدام هذا المورد لتحقيق الاستخدام الأمثل والأوفق الذي يحقق العائد الأفضل من استخدام عنصر المياه والموارد الأخرى فيما يخص المحاصيل والخضار المروية الصيفية منها والشتوية، الإشكالية التي زادت حدتها بعد ظروف الأزمة، وموجات الجفاف المتلاحقة والاستنزاف الكبير للمياه الجوفية والتوسع في حفر آبار الري بشكل عشوائي، مما أثر سلباً على هذا المورد.

يهدف البحث بشكل أساسي إلى التوصل إلى عدة بدائل من التركيب المحصولية المروية المثلى تحقق تدنية استهلاك مياه الري المقدمة للمحاصيل وفقاً لتقديرات الاحتياج الأمثل لكمية مياه الري لكل محصول، ومعظمة صافي العائد من وحدة المياه للمحاصيل والخضار الشتوية والصيفية ضمن قيود الموارد الإنتاجية الزراعية المتاحة. من خلال معالجة البيانات الثانوية وتطيلها (المنشورة منها وغير المنشورة)، وذلك لبناء سيناريوهات (نماذج) مرنة تتغير وفقاً لتغير المدخلات ان كان ما يخص الأسعار أو أنواع المحاصيل ومساحاتها أو باقي الموارد أو سياسات الاكتفاء الذاتي والإنتاج والتسويق، والبيانات الأولية التي جُمعت من خلال استمارة المسح الميداني وصياغة نموذج برمجة خطية رياضية يتم به إعادة هيكلية التركيب المحصولي وإعادة توزيع المساحات المحصولية والموارد الإنتاجية، وفقاً لقيود تتحدد تبعاً للسياسة الزراعية المراد تطبيقها، والتي تسهم في استدامة الموارد الزراعية، وخاصة الموارد المائية التي لها الدور الرئيسي في وجود واستمرارية النشاط الزراعي، آخذين في الاعتبار الترابط بين مختلف الجوانب البيئية والاقتصادية والاجتماعية المحددة، انطلاقاً من أهمية هذا القطاع على صعيد المحافظة تحقيقاً للاكتفاء الذاتي من جهة، وضرورة التطرق لدراسة هذا الجانب من إدارة الموارد بالشكل الأمثل من جهة أخرى هذا مع المحافظة على المساحة المخصصة لزراعة المحاصيل الأساسية كمحصول القمح والبنودرة.

مواد وطرق البحث:

- منطقة الدراسة: تمت الدراسة في محافظة السويداء، في مناطق انتشار زراعة الخضار المروية لموسم عام 2020.

- **البيانات وحجم العينة:** اعتمد البحث على البيانات الأولية من خلال استبيان استهدف مزارعي المحاصيل والخضار المروية، تضمن أسئلة خاصة بالتركيبة المحصولية المعتمدة من المزارعين. وكذلك اعتمد على البيانات الثانوية فيما يخص أعداد آبار الري العاملة لمدة لا تقل عن ثلاث سنوات متتالية في ري محاصيل الخضار. حُدد المجتمع المستهدف بأصحاب آبار ري الخضار والمحاصيل المروية في محافظة السويداء، تم تحديد حجم العينة وفق القانون: (Yamane, 1967) (Glenn, 2012):

حيث: $n = \frac{N}{1+N(e)^2}$: حجم المجتمع المدروس 221 بئر (دائرة الارشاد الزراعي، 2020). e: مستوى الدقة، وقد تم اعتماد مستوى $\pm 7\%$ ، n: حجم العينة. وعليه بلغ حجم العينة الكلي 106 مزارع، بواقع 48.06% من حجم المجتمع الإحصائي المدروس.

- **برامج التحليل الإحصائي:** استخدم البرامج التالية في تحليل البيانات ومعالجتها: IBM SPSS 28: لتحليل البيانات الوصفي والكمي. Excel Solver: لحل مشاكل الأمثلية في البرمجة الرياضية وحيدة الهدف. FAO Cropwat 8.0: استعين بهذا البرنامج وهو المعتمد من قبل منظمة الفاو لتقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل الزراعية المدروسة.

- **أساليب التحليل المستخدمة:** اعتمدت الدراسة على أساليب التحليل الوصفي كالمتوسطات والأهمية النسبية، وعلى منهجية البرمجة الرياضية حيث يمكن استخدام تقنية البرمجة الخطية لحل مجموعة واسعة من المشاكل الناشئة في الأعمال التجارية والزراعية والحكومية والصناعية وغيرها، فأثبتت قدرتها في مختلف المجالات مثل الإنتاج والتمويل والتسويق والبحث والتطوير وإدارة شؤون الموظفين وذلك من خلال تحديد مزيج المنتج الأمثل (مزيج من المنتجات التي يعطي أقصى قدر من الربح).

- وبالتالي يمكن تعريف البرمجة الخطية بأنها: تقنية تساعد في اتخاذ القرارات المتعلقة بتخصيص الموارد التخصيص الأمثل (Render et al., 2012)، وبأنها نموذج رياضي يستخدم للتخصيص الأمثل للموارد النادرة أو المحدودة للتنافس على المنتجات أو الأنشطة في ظل افتراضات مثل اليقين والخطية والتكنولوجيا الثابتة والربح الثابت لكل وحدة (Murthy, 2007).

- بناء نموذج البرمجة الرياضية الخطية: إن خطوات بناء النموذج الرياضي للبرمجة الخطية وعناصرها، تتمثل بما يلي: (برونسون، 1988) (الموسوي، 2006): 1: صياغة المشكلة والفهم الدقيق لمتغيراتها ومحدداتها، 2: صياغة دالة الهدف، 3: محددات النموذج (القيود)، 4: عدم السلبية.

- تأخذ الصياغة الرياضية لنموذج التركيب المحصولي الأمثل الشكل العام التالي: (Vanderbei, 2001):

$$(maximization) \text{ or } (minimization) z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

subject to:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m$$

$$x_j \geq 0 \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, n$$

- دالة الهدف Z : تتمثل في حال التعظيم بإجمالي صافي العائد المتوقع من وحدة مياه الري للتركيب المحصولي من الأنشطة الزراعية المدروسة، وفي حال التندنية تعبر عن تندنية إجمالي كمية مياه الري المقدمة والمفترض أنها تتضمن فائض وفقاً لمعايير الاحتياج الأمثل لكل محصول.
- معاملات دالة الهدف C_i : وتعتبر عن قيمة البدائل في دالة الهدف وتكون معروفة، وتتمثل في حال التعظيم بصافي عائد الوحدة المائية للأنشطة الزراعية الداخلة بالنموذج، وتتمثل في حال التندنية بالاحتياج المائي لكل نشاط زراعي.
- معاملات القيود a_{ij} : وتعتبر عن معاملات المتغيرات القرارية (الأنشطة) وتكون معروفة، أي قيمة المعامل الفني الخاص بالنشاط j وبالمرور i ، وتتمثل في حال التعظيم والتندنية بالكمية المستخدمة من الموارد في كل قيد.
- الأنشطة أو المتغيرات القرارية X_j : وتمثل البدائل لتحقيق دالة الهدف، وتمثل المتغيرات المطلوب معرفتها، أي الأنشطة الداخلة في النموذج المختار والمتمثلة هنا بالمحاصيل المختارة.
- الطرف الأيمن من كل قيد b_i : وتمثل المتاح من الموارد والتي تكون معروفة ومحددة.
- شرط اللاسلبية ($X_j \geq 0$): وذلك لضمان عدم سالبية الأنشطة المدروسة، وترمز n لعدد الأنشطة، وترمز m لعدد القيود.
- ومن خلال دراسة البيانات الخاصة بالتركيبية المحصولية المروية لعينة الدراسة في محافظة السويداء للموسم 2019-2020 تم بناء إطار تحليلي للوصول إلى التركيب المحصولي الأمثل من خلال اقتراح نموذجين أو (بدلين) للتركيب المحصولي الأمثل الذي يحقق معظمة صافي العائد من وحدة مياه الري، وتندنية مياه الري باستخدام البرمجة الخطية الرياضية، كما يلي:
- **البديل الأول:** نموذج البرمجة الخطية لتعظيم صافي العائد من وحدة المياه، يمكن التعبير عن دالة الهدف والقيود الخاصة كما يلي:

دالة الهدف:

$$\text{Max } z = \sum_{i=1}^n c_i x_i$$

z : تعظيم عائد وحدة مياه الري

c_i : عائد وحدة مياه الري بالليرة السورية للنشاط المحصولي i

X_i : النشاط أو المحصول i

قيود نموذج التركيب المحصولي موضع الدراسة:

أ: قيود الموارد الأرضية: التي تشتمل على ثلاثة قيود:

- قيد إجمالي مساحة المحاصيل والخضار الشتوية المروية لا تزيد عن إجمالي المساحة الشتوية المروية للموسم المدروس.

- قيد إجمالي مساحة المحاصيل والخضار الصيفية لا تزيد عن إجمالي المساحة الصيفية المروية للموسم المدروس.

- قيد إجمالي المساحة المروية تساوي مجموع المساحة الصيفية والشتوية للموسم المدروس.

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_{ij} \leq WL_i$$

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_{ij} \leq SL_i$$

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_{ij} = SL_i + WL_i$$

ب: قيود تنظيمية: وهي قيود يمكن تغييرها بمرونة وتحددها السياسات الزراعية وصناع القرار وفقاً للخطط الزراعية (أي يمكن تغيير النسب وفقاً لمعطيات كل سنة): يبلغ عددها 34 قيد، حيث تم وضع حدود دنيا وعليا لمساحة كل محصول:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij}x_{ij} \geq 0.1 \sum_{i=1}^n x_{ij}$$

- قيود الحد الأدنى لكل نشاط محصولي لا تقل عن 10% من إجمالي مساحة المحصول المزروع خلال الموسم في عينة الدراسة عدا (البندورة، والقمح لا تقل عن 50%).

$$\sum_{i=1}^n a_{ij}x_{ij} \leq \sum_{i=1}^n x_{ij}$$

- قيود الحد الأعلى لكل نشاط محصولي لا تزيد عن إجمالي مساحة المحصول المزروع خلال الموسم في عينة الدراسة عدا (البندورة، القمح، البطاطا، البطيخ الاحمر).

ج: قيود الموارد المائية: وعددها 19 قيد:

$$\sum_{i=1}^n w_{ij}x_{ij} \leq \sum_{i=1}^n w_{ij}x_{ij}$$

- قيود الحد الأعلى للاحتياج المائي لكل نشاط محصولي لا تزيد عن كمية المياه المتاحة لكل محصول والتي تم استخدامها من قبل المزارعين.

$$x_{ij} \geq 0$$

د: قيد عدم السلبية.

- البديل الثاني: نموذج مدني لكمية مياه الري، ضمن المتاح من المساحة المروية المزروعة فعلياً، والموارد المائية المتاحة عند المزارعين، على أن يحصل المحصول على الاحتياج المائي الأمثل، يمكن التعبير عن دالة الهدف والقيود الخاصة كما يلي:

دالة الهدف:

W : تدنية كمية مياه الري م3

W_i : الاحتياجات المائية للنشاط المحصولي i

X_i : النشاط أو المحصول i

قيود نموذج التركيب المحصولي موضع الدراسة:

$$\text{MIN } W = \sum_{i=1}^n W_i x_i$$

$$\sum_{i=1}^n w_{ij}x_{ij} = SL_i + WL_i$$

أ: قيد الموارد الأرضية: إجمالي المساحة المروية تساوي مجموع المساحة الصيفية والشتوية للموسم المدروس.

$$\sum_{i=1}^n a_{ij}x_{ij} \geq 0.1 \sum_{i=1}^n x_{ij}$$

ب: قيود تنظيمية: قيود الحد الأدنى لكل نشاط محصولي وبلغ عددها 19 قيد، بحيث لا تقل عن 10% من إجمالي مساحة المحصول المزروع خلال الموسم في عينة الدراسة.

$$\sum_{i=1}^n w_{ij}x_{ij} \leq \sum_{i=1}^n w_{ij}x_{ij}$$

ج: قيود الموارد المائية: قيود الحد الأعلى للاحتياج المائي لكل نشاط محصولي وعددها 19 قيد، بحيث لا تزيد عن كمية المياه المتاحة لكل محصول والتي تم استخدامها من قبل المزارعين على أن يوفر الاحتياج الأمثل من المياه لكل محصول ضمن الشروط البيئية لموسم الدراسة في عينة البحث.

$$x_{ij} \geq 0$$

د: قيد عدم السلبية.

النتائج والمناقشة:**أولاً: التركيبة المحصولية الفعلية في عينة الدراسة:**

1: **المساحة المحصولية:** بلغت المساحة المنفذة من قبل مزارعي العينة المدروسة حوالي 8116.3 دونم، وتصدرت محاصيل البندورة والبطيخ الأحمر والقمح المساحة بقيمة بلغت 3541.4، 1194.5، 1009.9 دونم لكل منها بالترتيب.

2: **إجمالي المستهلك من مياه الري:** قدرت كمية الاحتياجات المائية الكلية المستهلكة في التركيبة المحصولية المعتمدة من قبل المزارعين في عينة الدراسة 5.9 مليون م³، وكان أعلى استهلاك مائي في التركيبة المعتمدة من نصيب محاصيل البندورة، البطيخ الأحمر فبلغت كمية المياه لهما بالترتيب حوالي 3179823.06، 833999.90 م³.

3: **صافي عائد وحدة مياه الري للتركيبة الفعلية:** بلغ حوالي 19.19 مليون ل.س للتركيبة الفعلية، وكانت أعلى نسبة عائد لوحدة مياه الري محققة في كل من محاصيل البندورة، والبطيخ الأحمر والقمح حيث بلغت 71.70%، 14.64%، 7.71% لكل منها بالترتيب من إجمالي صافي عائد وحدة المياه للتركيبة الفعلية.

ثانياً: التراكيب المحصولية المثلى المقترحة وفق نموذج البرمجة الخطية الرياضية:

يتناول هذا الجزء دراسة نماذج البرمجة الخطية الرياضية وحيدة الهدف للتركيبة المحصولية المروية المثلى وتحليلها في محافظة السويداء الخاصة بالمحاصيل والخضار الصيفية والشتوية بغض النظر عن الأشجار المثمرة المروية بسبب عدم المرونة في تغيير تركيبها على المدى القصير، وذلك من خلال دراسة البيانات الخاصة بالتركيبة المحصولية المروية لعينة الدراسة للموسم الزراعي 2019-2020، والمتعلقة بالمساحات الزراعية الفعلية الكلية ولكل محصول، والبيانات المناخية التي استخدمت لحساب الاحتياج المائي الأمثل بواسطة برنامج FAO CROPWAT 8.0، وبني إطار تحليلي للوصول إلى التراكيب المحصولية المثلى، على ألا يستثنى أي من محاصيل وخضار التركيبة المحصولية الفعلية إن كانت الصيفية أو الشتوية، وضمن المتاح من الموارد المائية المستخدمة في العينة، والموارد الأرضية المتاحة لكل محصول على حدة، ولإجمالي المساحة المزروعة، وذلك من خلال:

- البديل 1: تركيبة محصولية مثلى معظمها لصافي عائد وحدة المياه ضمن المتاح من المساحة المروية المزروعة فعلياً، والمتاح من الاحتياجات المائية المثلى في العينة.

- البديل 2: تركيبة محصولية مثلى مدنية لكمية مياه الري، ضمن المتاح من المساحة المروية المزروعة فعلياً، والموارد المائية المتاحة عند المزارعين، على أن يحصل المحصول على الاحتياج المائي الأمثل.

البديل الأول تركيبة محصولية مثلى معظمها لصافي عائد وحدة المياه:

تم بناء النموذج الرياضي مع الأخذ بالحسبان المعايير الاستراتيجية التالية:

- صافي العائد المراد تعظيمه هو صافي عائد وحدة المياه (ل.س/م³) المحقق لكل محصول في عينة الدراسة للموسم 2019-2020، ويساوي صافي العائد الكلي ل.س ÷ الاحتياج المائي الكلي م³.

- حدد الحد الأدنى لكل نشاط محصولي فلا تقل عن 10% من إجمالي مساحة المحصول المزروع خلال الموسم عدا كل من محاصيل البندورة والقمح لا يقل الحد الأدنى عن 50% كونها محاصيل مهمة تحقيقاً للاكتفاء الذاتي في المنطقة.

- قيود الحد الأعلى للاحتياج المائي لكل نشاط محصولي لا تزيد عن كمية المياه المتاحة لكل محصول التي استخدمت من قبل المزارعين على أن يوفر الاحتياج الأمثل من المياه لكل محصول ضمن الشروط البيئية لموسم الدراسة في عينة الدراسة.

أ. المساحة المحصولية للتركيبية المقترحة وفق البديل الأول المقترح:

بعد حل النموذج الرياضي للتركيبية المحصولية المقترحة، أوضحت نتائج التقدير أنه صافي عائد وحدة المياه للتركيبية المحصولية المعتمدة تطلب زيادة المساحة المزروعة من بعض المحاصيل وتخفيض المساحة من محاصيل أخرى، وثبات في مساحة بعض المحاصيل الأخرى، ووفقاً لهذا البديل وحسب الجدول (1): اقترح النموذج زيادة في مساحة كل من محصولي البطيخ الأحمر والقمح بنسبة 107.92%، 45.74% عن الفعلي بالترتيب لكل منها، وتخفيض مساحة كل من المحاصيل: بامياء، قثاء، كوسا، فليفلة، ملفوف، باذنجان، بطاطا، خيار، زهرة، بطيخ أصفر، يصل بنسبة 90% لكل منها ونسبة 3.75% لمحصول البندورة. بينما اقترح النموذج ثبات مساحة كل من المحاصيل: فاصولياء، ثوم، بازلاء، فول، والبقدونس

ب. صافي عائد وحدة مياه الري في التركيبية المحصولية المقترحة:

يُلاحظ أن إجمالي صافي العائد من وحدة مياه الري للتركيبية المقترحة ازداد بنسبة 13.26% عن صافي عائد وحدة مياه الري في التركيبية الفعلية، ضمن قيود المتاح من الموارد المائية والأرضية في عينة الدراسة، فبلغ إجمالي صافي العائد من وحدة مياه الري للتركيبية المقترحة حوالي 21.73 مليون ل.س، مقابل 19.19 مليون ل.س للتركيبية الفعلية، وهذا ما يوضحه الجدول رقم (1)، فبلغت قيمة الفرق بين التركيبتين 2.54 مليون ل.س.

البديل الثاني تركيبة محصولية مثلى منبئة لكمية مياه الري وفقاً للاحتياج الأمثل:

لطالما اعتمدت استراتيجيات التنمية الزراعية بكثير من الأحيان على إمكانية استدامة الموارد الطبيعية وخاصة المائية منها بحيث يحقق الاستخدام الأمثل لها أقصى جدارة إنتاجية، مخففاً بذلك استنزاف المياه الجوفية للمحافظة على مخزونها ما أمكن، لذلك في هذا الجزء اقترحت تركيبية محصولية تدني مياه الري باستخدام نموذج البرمجة الخطية بالاعتماد على المعايير الاستراتيجية التالية:

- حساب الاحتياج المائي الأمثل لكل محصول باستخدام برنامج FAO CROPWAT 8.0.

- لا تزيد كمية المياه عن الكمية المتاحة لكل محصول التي تم استخدامها من قبل المزارعين على أن يوفر الاحتياج الأمثل من المياه لكل محصول ضمن الشروط البيئية والمناخية لموسم الدراسة في عينة البحث.

- وتحديد الحد الأدنى لكل نشاط محصولي فلا تقل عن 10% من إجمالي مساحة المحصول المزروع خلال الموسم.

أ. المساحة المحصولية للتركيبية وفق البديل الثاني:

بعد حل النموذج الرياضي للتركيبية المحصولية المقترحة، أوضحت نتائج التقدير أنه لتدنية كمية مياه الري للتركيبية المحصولية المعتمدة تطلب زيادة المساحة المزروعة من بعض المحاصيل وتخفيض المساحة من محاصيل أخرى، ووفقاً لهذا البديل وحسب

الجدول (2): اقترح النموذج زيادة في مساحة كل من محاصيل بازلاء، فول، بقدرنس، فاصولياء، ثوم، فليفلة، ملفوف، كوسا، باذنجان، خيار، زهرة، أي بنسبة 691.96%، 656.21%، 398.72%، 277.98%، 204.51%، 175.44%، 118.21%، 88.43%، 61.56%، 32.43%، 23.82% عن الفعلي بالترتيب لكل منها، والمحاصيل التي يقترح النموذج تخفيض مساحتها هي بامياء، بطيخ أصفر، قثاء، بطاطا، بطيخ أحمر، بندورة، قمح، بصل أي تخفيض عن مساحات التركيبة الفعلية بنسبة 12.08%، 15.24%، 18.54%، 28.66%، 83.75%، 88.32%، 90% بالترتيب.

الجدول (1): مساحة وإجمالي صافي عائد وحدة المياه للتركيبة المقترحة لسيناريو البرمجة المقترح.

المحصول	صافي عائد وحدة المياه ل.س/دوم	المساحة / دوم		إجمالي صافي العائد لوحدة المياه / ل.س		الفرق	%
		المقترحة	الفعلية	المقترحة	الفعلية		
بندورة	3884.18	3408.76	3541.4	13240248	13755433	-515185	-3.75
باذنجان	240.19	27.16	271.6	6523.52	65235.22	-58711.7	-90
فليفلة	267.49	16.05	160.5	4293.2	42931.97	-38638.8	-90
بطيخ أحمر	2354.52	2483.64	1194.5	5847781	2812478	3035303	107.92
بطيخ أصفر	1227.08	10.05	100.5	12332.19	123321.9	-110990	-90
خيار	394.55	19.6	196	7733.25	77332.53	-69599.3	-90
كوسا	212.56	7.74	77.4	1645.22	16452.25	-14807	-90
قثاء	287.24	4.6	46	1321.3	13213	-11891.7	-90
بامياء	58.41	1.6	16	93.45	934.54	-841.08	-90
فاصولياء	286.69	45	45	12900.91	12900.91	0	0
بطاطا	239.09	31.7	317	7579.14	75791.36	-68212.2	-90
بصل	1592.47	10	100	15924.65	159246.5	-143322	-90
ثوم	7925.03	28	28	221900.9	221900.9	0	0
ملفوف	363.4	16.01	160.1	5818.03	58180.32	-52362.3	-90
زهرة	259.91	35.31	353.1	9177.32	91773.25	-82595.9	-90
بازلاء	434.26	325.9	325.9	141526.3	141526.3	0	0
فول	191.71	149.9	149.9	28737.67	28737.67	0	0
بقدرنس	431.5	23.5	23.5	10140.32	10140.32	0	0
قمح	1465.72	1471.78	1009.9	2157215	1480229	676985.9	45.74
المجموع	22116	8116.3	8116.3	21732890	19187759	2545132	13.26

المصدر: جمعت وحسبت بالاعتماد على نتائج برنامج excel solver.

ب. الاحتياج المائي المحقق للتركيبة المحصولية المقترحة وفق البديل الثاني:

يُلاحظ أن إجمالي كمية مياه الري للتركيبة المقترحة انخفضت بنسبة 44.86% عن كمية المياه التركيبية الفعلية، ضمن قيود المتاحة من الموارد المائية والأرضية في عينة الدراسة، فبلغ إجمالي الاحتياج المائي للتركيبة المقترحة حوالي 3.25 مليون م³، مقابل 5.9

مليون م³ من المياه للتركيبة الفعلية، وهذا ما يوضحه الجدول رقم (2)، وتبين أيضاً أن الاحتياجات المائية وفقاً للنموذج المقترح منها ما زادت قيمته ومنها ما انخفضت وذلك تبعاً لتغير مساحة كل محصول في التركيبة المقترحة، وعليه فإن المحاصيل التي زادت فيها كمية المياه وتبعاً للاحتياج المائي الأمثل وحسب المساحة المقترحة لنموذج البرمجة هي: بازلاء، فول، بقونس، فاصولياء، ثوم، فليفلة، ملفوف، كوسا، باذنجان، خيار، زهرة، أي بنسبة 691.96%، 656.21%، 398.72%، 277.98%، 204.51%، 175.44%، 118.21%، 88.43%، 61.56%، 32.43%، 23.82% عن كمية المياه المستهلكة في التركيبة الفعلية بالترتيب، والمحاصيل التي يبين النموذج انخفاض إجمالي احتياجها المائي هي: بامياء، بطيخ أصفر، قثاء، بطاطا، بطيخ أحمر، بندورة، قمح، يصل أي تخفيض عن الاحتياج المائي لمحاصيل التركيبة الفعلية بنسبة 5.14%، 12.08%، 15.24%، 18.54%، 28.66%، 83.75%، 88.32%، 90% بالترتيب.

الجدول (2): مساحة وإجمالي الاحتياج المائي للمساحة المحصولية المقترحة وفق سيناريو 2 (م3).

المحصول	الاحتياج المائي الأمثل م ³ /3 دونم	المساحة		إجمالي الاحتياج المائي للمساحة		الفرق	%
		المقترحة	الفعلية	المقترحة	الفعلية		
بندورة	897.9	575.44	3541.4	516685.16	3179823.1	-2663138	-83.75
باذنجان	782.6	438.79	271.6	343399.2	212554.16	130845.04	61.56
فليفلة	779.1	442.08	160.5	344423.47	125045.55	219377.92	175.44
بطيخ أحمر	698.2	852.21	1194.5	595014.39	833999.9	-238985.5	-28.66
بطيخ أصفر	698.2	88.36	100.5	61689.57	70169.1	-8479.53	-12.08
خيار	486.3	259.55	196	126221.2	95314.8	30906.4	32.43
كوسا	505.9	145.84	77.4	73782.64	39156.66	34625.98	88.43
قثاء	584.6	38.99	46	22794.05	26891.6	-4097.55	-15.24
بامياء	747.6	15.18	16	11347.2	11961.6	-614.4	-5.14
فاصولياء	362.7	170.09	45	61692.35	16321.5	45370.85	277.98
بطاطا	685.9	258.23	317	177122.35	217430.3	-40307.95	-18.54
بصل	992	10	100	9920	99200	-89280	-90
ثوم	182.2	85.26	28	15534.65	5101.6	10433.05	204.51
ملفوف	554	349.36	160.1	193545.74	88695.4	104850.34	118.21
زهرة	554	437.2	353.1	242207.02	195617.4	46589.62	23.82
بازلاء	73	2581.01	325.9	188413.72	23790.7	164623.02	691.96
فول	129.9	1133.56	149.9	147249.38	19472.01	127777.37	656.21
بقونس	410.5	117.2	23.5	48110.38	9646.75	38463.63	398.72
قمح	623	117.94	1009.9	73478.83	629167.7	-555688.9	-88.32
المجموع		8116.3	8116.3	3252631.3	5899359.8	-2646728	-44.86

المصدر: جمعت وحسبت بالاعتماد على نتائج برنامج excel solver.

الاحتياج المائي: حسب باستخدام برنامج FAO CROPWAT 8.0

الخلاصة:

-سيناريو1: إجمالي صافي العائد من وحدة مياه الري للتركيبية المقترحة ازداد بنسبة 13.26% عن صافي عائد وحدة مياه الري في التركيبية الفعلية، بقيمة فرق 2.54 مليون ل.س. وهذا متوافق مع (Hussain et al., 2007) الذي بين أن النموذج المقترح حسن من إنتاجية المياه مقارنة مع التركيب الفعلي.

- سيناريو2: إجمالي كمية مياه الري للتركيبية المقترحة انخفضت بنسبة 44.86% عن كمية المياه التركيبية الفعلية، فبلغ إجمالي الاحتياج المائي للتركيبية المقترحة حوالي 3.25 مليون م³، مقابل 5.9 مليون م³ من المياه للتركيبية الفعلية. وهذا متوافق مع كل من (Ren et al., 2019)، (محمد وآخرون، 2019)، فأدى تطبيق منهجية البرمجة الخطية في كل منها إلى تخفيض في كمية المقننات المائية للتركيب المحسولة المقترحة.

- من خلال الحدود الدنيا والعليا للمساحات المحسولة أو للكميات المائية في القيود الهيكلية للنماذج المقترحة، تظهر مرونة وفعالية استخدام نماذج بحوث العمليات في إدارة الموارد الزراعية، فهي قابلة للتغيير وفقاً للظروف التي تفرضها العملية الإنتاجية أو وفقاً للمعايير الاستراتيجية التي يريدها متخذ القرار، مع إمكانية مراعاة الظروف البيئية والمحافظة على مساحات المحاصيل الاستراتيجية تحقيقاً للاكتفاء الذاتي.

- توصي الدراسة ب: تعديل التركيب المحسولي في السويداء لتحقيق التركيب المحسولي الأمثل الذي يحقق تدنية مياه الري، وتعظيم العائد من وحدة مياه الري.

- زراعة أهم المحاصيل الصيفية والشتوية والخضار التي تحقق الاكتفاء الذاتي في المحافظة، هذا مع المحافظة على المساحة المخصصة لزراعة المحاصيل الأساسية كمحصول القمح، البطاطا، البندورة والبطيخ الأحمر في ظل حدود الموارد الأرضية المتاحة.

المراجع:

المنظمة العربية للتنمية الزراعية (2007). ورشة عمل حول الأساليب الحديثة للإدارة المزرعية. جامعة الدول العربية. القاهرة. جمهورية مصر العربية.

الموسوي، عبد الرزاق (2006)، المدخل لبحوث العمليات. الطبعة الثانية. دار وائل للنشر. عمان. الأردن.

برونسون، ريتشارد (1988). نظريات ومسائل في بحوث العمليات، سلسلة ملخصات شوم. ترجمة: حسن حسني الغباري. الدار الدولية للنشر والتوزيع. القاهرة.

محمد، محمد مختار، محمود صادق العضيبي، وبهاء الدين محمد مرسى (2019). اقتصاديات الموارد المائية لتحقيق الأمن الغذائي في مصر. مجلة اتحاد الجامعات العربية للعلوم الزراعية. جامعة عين شمس. القاهرة. مصر. 26(2D) عدد خاص: 2141-2157.

وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي. مديرية الارشاد الزراعي. دائرة زراعة السويداء. بيانات غير منشورة 2020. سوريا. السويداء.

Glenn, D. I. (2012). Determining Sample Size. In *University of Florida IFAS Extension*. Available at <Http://Edis.Ifes.Ufl.Edu>.

- Hussain, I., Hussain, Z., Sial, M. H., Akram, W., & Hussain, M. F. (2007). Optimal cropping pattern and water productivity: A case of Punjab canal. *Journal of Agronomy*, 6(4), 526–533.
- Murthy, P. ram. (2007). *operations research* (2nd ed.). New Age International (P) Ltd., Publishers.
- Ren, C., Yang, J., & Zhang, H. (2019). An inexact fractional programming model for irrigation water resources optimal allocation under multiple uncertainties. *PLoS ONE*, 14(6), 1–17.
- Render, B., Stair, R. M., & Hanna, M. E. (2012). *Quantitative Analysis For Management* (11th ed.). pearson.
- Vanderbei, R. J. (2001). *Linear Programming: Foundations and Extensions*. (2nd ed.). department of operations research and financial engineering, princeton university, princeton.
- Yamane, T. (1967). *Statistics, An Introductory Analysis* (2nd ed.). a harper international edition jointly published by harper & row, NEW YORK, EVANSTON & LONDON AND JOHN WEATHERHILL, INC., TOKYO.

The effectiveness of mathematical linear programming in water resources management of irrigated crop structure / a case study

Maya Al-Abdala^{1*}, Afraa Sallowm² and Safwan Aboassaf¹

¹General Commission for Scientific Agricultural Research (GCSAR), Syria.

²Department of agricultural economics, Faculty of Agricultural Engineering, Damascus University, Syria.



(*Corresponding author: May Al-Abdala, Email: Mayaabdala6@gmail.com)

Received: 11/ 5/ 2024 Accepted: 16/ 9/ 2024

Abstract

The research aims to reach several alternatives of optimal crop structures that achieve minimizing irrigation water consumption, and maximizing the net return from the water unit in Swaida governorate, in the areas of spread of irrigated vegetable cultivation for the 2020 season, within the constraints of available agricultural productive resources. Through the processing and analysis of secondary data, the primary data collected through the field survey form and the formulation of a mathematical linear programming model in which the crop structure was restructured and crop areas and productive resources are redistributed. The results showed that the first alternative achieved an increase of 13.26% over the net return of the irrigation water unit in the actual composition, with a difference of 2.54 million syp. The second alternative achieved savings of 44.86% over the amount of water in the actual structure, so the total water requirement for the proposed structure was 3.25 million m³, compared to 5.9 million m³ of water for the actual structure. The research recommended modifying the crop structure in Swaida to achieve the optimal crop structure that achieves the minimization of irrigation water, and maximizing the net return from the irrigation water unit.

Keywords: Optimal Management, Linear Programming, Minimization, Maximization, Swaida.