

الإنتاج الأمثل لمحاصيل الأعلاف في ظل وفرة ونقص إمدادات المياه الجوفية بالمنطقة الغربية من المملكة العربية السعودية

Optimal Crop Production Under Availability and Shortage of Groundwater Supply: Western Province of Saudi Arabia

خالد بن سعيد بن عبدالله بالخير

Khaled Saeed Balkhair

قسم علوم وإدارة موارد المياه - جامعة الملك عبدالعزيز - ص.ب. 80233 - جدة 21589 - المملكة العربية السعودية

Dept. of Hydrology and Water Resources Management - King Abdulaziz University

PO Box 80233 - Jeddah 21589 - Saudi Arabia

المستخلص: أهمية المحافظة على موارد المياه لا تقل عن الدور الاستراتيجي للقطاع الزراعي الهادف إلى تضييق الفجوة الغذائية وتحقيق الاكتفاء الذاتي من خلال إنتاج يتناسب مع الامكانيات المتاحة، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم اقتصادي لإنتاج خمسة محاصيل في ظل وفرة ونقص إمدادات المياه الجوفية وحساب التوفير الممكن للمياه في ظل سياستين للإنتاج، تمت هذه الدراسة على محطة أبحاث زراعية نموذجية تابعة لجامعة الملك عبد العزيز بمنطقة مكة المكرمة، وقد استخدمت طريقة البرمجة الخطية كنموذج رياضي لتقييم الجدوى الاقتصادية للنشاط الزراعي اعتماداً على بيانات الإنتاج والتكاليف المتوفرة بالمحطة للسنتين السابقتين، تبنت الدراسة سياستين للإنتاج في ظل توفر ونقص المياه وهما سياسة الإنتاج المفتوح وسياسة الإنتاج المقيد، وبناءً عليه تم بناء نموذج رياضي مكون من دالة الهدف ومجموعة القيود المناسبة لكل سياسة، وب تطبيق أسلوب البرمجة الخطية أمكننا إيجاد الحلول المثلى من حيث كميات الإنتاج والإيرادات، وتحليل نتائج البرمجة تعرفنا على تأثير الزيادة والنقص في معاملات دالة الهدف والموارد المتوفرة وحسبنا كمية المياه الممكن توفيرها، وتبين من النتائج أن سياسة الإنتاج المفتوح يمكن أن توفر كمية مياه تصل نسبتها إلى 58% مقارنة بسياسة الإنتاج المقيد وتعطي ربح أعلى من سياسة الإنتاج المقيد بنسبة 32%، وتبين أيضاً أن نقص إمداد الاحتياقات المائية في ظل السياستين أدى إلى انخفاض مباشر في الإيرادات وأن العلاقة بين إمداد الاحتياقات المائية والإيرادات خطية.

كلمات مدخلة: المحافظة على المياه، الإنتاج الأمثل، برمجة خطية، شح المياه الجوفية، جدوى اقتصادية

Abstract: Water resources conservation is no less important than the strategic role of the agriculture sector. It aims to minimize the food demand gap and achieve self sufficiency through production with existing facilities and capabilities. This study is the evaluation of five crops grown economically under conditions of groundwater supply shortage. It further calculates the possible water savings under two production policies. The study was conducted at the Agriculture Research Station that belongs to King Abdulaziz University in the Makka region. Linear programming was used as a mathematical model in the economic evaluation process. The station's historical records of production and expenses have been utilized during model formation. Two production policies were adopted under the conditions of water availability and water shortage. These are open and restricted production policies. Consequently, the mathematical model was built containing appropriate objective function and constraints for each policy. Optimal production and income was obtained by solving the linear programming problem. Sensitivity analysis was conducted and the effect of objective function coefficient and available resources on the solution was determined and water savings were also calculated. An open production policy leads up to 58% of water savings and achieved 32% more income than the restricted production policy. Results also showed that shortage of groundwater supply in both policies leads to direct reduction in income. A linear relationship was obtained between them.

Keywords: Water conservation, optimal production, linear programming, groundwater shortage, economical feasibility

مقدمة

عليها وكذلك محدودية إمكانات تنمية المياه السطحية والجوفية المتجددة التي تعتمد كمياتها على الأمطار، وبالرغم من المنجزات التي حققها قطاع المياه خلال مسيرة التنمية إلا أنه ما زالت هناك العديد من القضايا المتداخلة في مجال إدارة المياه وتنميتها، ومن أبرز هذه القضايا نقص المعلومات والحاجة إلى زيادة إجراءات المحافظة على المياه وضرورة مراعاة أولويات استخدام المياه.

تمثل المياه في المملكة العربية السعودية بحكم ظروفها المناخية الجافة وموقعها الجغرافي في بيئة صحراوية عنصراً أساسياً ومؤثراً في تحديد مسار عمليات التنمية الاقتصادية والاجتماعية المستدامة، وتعد ندرة موارد المياه من القضايا الأساسية التي تواجه هذه التنمية، ومما يزيد هذه القضية تعقيداً وجود اختلال بين موارد المياه وتزايد الطلب

مما لا شك فيه أن الاستثمار في الزراعة باستخدام البيوت المحمية أحد أهم الاستثمارات الزراعية التي تلقى دعماً من الدولة، نظراً لما يحققه هذا النوع من الزراعة من زيادة في الإنتاج وارتفاع في كفاءة استخدام المياه مقارنة بالزراعة المكشوفة وهو ما يتفق مع الدور الاستراتيجي المأمول للقطاع الزراعي الرامي إلى تضيق الفجوة الغذائية وتحقيق الأمن الغذائي من خلال إنتاج سلع زراعية تتناسب مع إمكانية الموارد المائية المتاحة، وبالمقارنة وجد أن متوسط إنتاجية البيوت المحمية سنوياً حوالي 265 طن/هكتار بينما لا يتعدى في الزراعة المكشوفة 30 طن/هكتار (المبدالقادر، 1999 م) كما أن الزراعة المحمية توفر ما نسبته 82% - 87% من الاستهلاك المائي للزراعة المكشوفة (الدويس وحسن، 1995 م).

وبالرغم من ميزة البيوت المحمية في كفاءة الإنتاج الزراعي وتوفير المياه بنسب عالية إلا أنه لا يمكن زراعة جميع ما يحقق الأمن الغذائي في هذه المحميات، فالأعلاف والحبوب مثلاً لا تزرع داخل البيوت المحمية فلا بد من زراعتها زراعة مكشوفة وهذا لا يعني خسارة ربحية إذا ما قورنت بالبيوت المحمية بل إن إنتاج الزراعة المكشوفة يقارن بمثله للتقييم من حيث الإنتاج والاستهلاك المائي، وفي دراسة لمعرفة الإنتاج الأمثل للقمح والشعير في ظل هدف الأمن الغذائي والمائي قام (القحطاني وآخرون 1996 م) بتقويم مدى اتفاق الخطة الإنتاجية للقمح والشعير مع أهداف التنمية الزراعية بالمملكة وتحديد الخطة الإنتاجية المثلى لهما في ظل وجود ظاهرتي التمنطق وثبات الأصول الرأس مالية، وقد استخدموا أسلوب البرمجة القطاعية على مستوى مناطق المملكة لتحديد مناطق التوسع والانكماش واستخدموا عدة معايير لتقويم الخطة الإنتاجية، ومن النتائج تبين أن الخطة الإنتاجية للقمح والشعير لا تتفق مع ما ينبغي أن يكون في ظل أهداف الأمن الغذائي والمائي، إذ حققت الخطة خسارة إجمالية مقدارها 24 مليار ريال سعودي خلال (1986 م - 1990 م)، وبتطبيق قاعدة الميزة النسبية لإنتاج أي من المحصولين بمياه جوفية غير متجددة وبين استيراد أي منهما تبين أفضلية الاستيراد عن الإنتاج المحلي، ولما كان من الضروري توفير قدر معين مقبول من مستوى الاكتفاء الذاتي فإنه لا بد من ترشيد إنتاج كلا المحصولين بالطريقة التي تخدم أهداف التنمية.

المشكلة البحثية

تعد الموارد المائية أحد المحددات الرئيسية لبرامج وخطط التنمية الزراعية بالمملكة ومن ثم فإن ترشيد استخدام المياه وتحقيق الاستخدام الأمثل لها من الأهمية بمكان عند الرغبة في التوسع الزراعي، وقد ترتب على التوسع الزراعي ازدياد الطلب على استهلاك المياه الجوفية بمعظم مناطق المملكة مما اخل بحالة التوازن بين العرض والطلب على المياه وتجاوز استهلاك المياه بالقطاع الزراعي بحوالي 4 أضعاف ما كان مخطط له وأصبح القطاع الزراعي يستهلك بمفرده في حدود 86% من جملة الموارد المائية المتاحة وبالتالي فإن معدلات استهلاك المياه الجوفية فاقت معدلات استعاضة المخزون (القحطاني وآخرون 1996 م).

انتهجت المملكة العربية السعودية في التخطيط للتنمية استراتيجية ذات أفق زمني بعيد المدى يحدد الإطار العام الذي تتواصل فيه خطط التنمية المتعاقبة، ومن الإنجازات التي تحققت خلال خطة التنمية السادسة أن اتخذت وزارة الزراعة والمياه إجراءات للمحافظة على المياه الجوفية غير المتجددة ومحاولة إيجاد توازن بين الأمن المائي والغذائي ومن أبرزها التخفيض التدريجي لإنتاج الحبوب وإيقاف إصدار تصاريح جديدة لمشروعات زراعة الأعلاف وتكثيف برامج ترشيد استخدام المياه وتنويع الإنتاج وفقاً للمزايا النسبية للمناطق والاحتياجات المائية للمحاصيل، وفي إطار تلك التوجهات حقق قطاع الزراعة معدل نمو سنوي متوسط بلغ 2.2% بالأسعار الثابتة لعام 1415 هـ وبلغت نسبة إسهامه في الناتج المحلي الإجمالي للقطاعات غير النفطية 10.4% ونسبة العمالة الزراعية 7.8% من إجمالي العمالة بالمملكة، ومن أهم المنجزات التي حققها قطاع الزراعة خلال خطة التنمية السادسة هو تغيير التركيب المحصولي حيث تم تقليص المساحة المزروعة بالقمح والشعير والحبوب بنسبة 32.6% و 69.9% و 34.7% على التوالي في الوقت الذي زادت فيه المساحات المزروعة بالخضروات والفواكه بنسبة 23.9 و 28.8 على التوالي.

وجاءت خطة التنمية السابعة (1420 هـ - 1425 هـ) لتؤكد على زيادة فاعلية إدارة المياه وتنميتها من خلال مجموعة من السياسات التي تأخذ في الحسبان الاحتياجات المستقبلية مع مراعاة الجوانب الاقتصادية والاجتماعية والبيئية المتعلقة بالمياه، ومن أبرز هذه السياسات:

- المحافظة على موارد المياه العذبة بالمملكة.
- الحد من التوسع غير المقنن في استخدام المياه للأغراض الزراعية والحفاظ على احتياطي مخزون المياه غير المتجددة.
- تكثيف برامج تنمية موارد المياه السطحية والجوفية المتجددة وضمان حسن استغلالها لكونها المورد الاقتصادي الأول للمياه بالمملكة.
- إرساء قاعدة بيانات ومعلومات المياه والعمل على تحليل البيانات ونشرها والاستفادة منها في إعداد خطة وطنية حديثة للمياه.

إن موضوع استهلاك الموارد المائية للأغراض الزراعية قضية مشتركة تواجه قطاعي الزراعة والمياه وتتميز هذه القضية بالزيادة المطردة في استهلاك الموارد المائية للأغراض الزراعية وخاصة الموارد المائية غير المتجددة نتيجة التوسع الزراعي في المناطق التي تعتمد على المياه الجوفية غير المتجددة، حيث بلغ الاستهلاك الزراعي وحده أكثر من 85% من جملة الموارد المائية المتاحة (الزهراني وآخرون 1992)، ومن الحلول المطروحة لمعالجة هذه القضية خفض مساحة المحاصيل الزراعية ذات المتطلبات المائية العالية مثل الأعلاف الخضراء والبرسيم وإيقاف توزيع الأراضي البور إلا في المناطق ذات الموارد المائية المتجددة والتوسع في زراعة المنتجات الزراعية ذات المتطلبات المائية المنخفضة واتباع عدد من الإجراءات الفعالة لترشيد استخدام المياه في الأغراض الزراعية وتحديد المقننات المائية للمنتجات الزراعية ومراقبة استهلاك المياه وتمثيل نتائج الأبحاث العلمية ذات الاختصاص والعمل على خطط إنتاج مثلى لتحقيق مردود مجزي مع مراعاة مورد المياه المتاح.

الجفاف أو قلة الأمطار، توجد بالمحطة خمسة آبار ارتوازية تضخ يومياً كميات تفي باحتياجات المحطة من المياه في ظروف توفر المياه في المنطقة، أما في ظروف الجفاف لعدم تساقط الأمطار لفترات طويلة فإن توفير المياه للأغراض الزراعية ليس أمراً سهلاً وقد يؤدي إلى تقليص الإنتاج أو الاستغناء عن بعض قطاعات الإنتاج التي تتطلب وفرة مياه.

منهج البحث

تستند هذه الدراسة على طريقة البرمجة الخطية كنموذج رياضي لتقييم الجدوى الاقتصادية للنشاط الزراعي بمحطة الأبحاث الزراعية بهذا الشام، وتعتمد الدراسة على بيانات كل ما يتعلق بالإنتاج والتكاليف والمتوفر من المصادر للسنتين السابقتين، وبناءً عليه تم بناء نموذج رياضي لدراسة الجدوى الاقتصادية في ظل ظروف المنطقة وظروف نقص إمداد المياه، وقد تبيننا سياستين للإنتاج في ظل توفر ونقص المياه وهما سياسة الإنتاج المفتوح وسياسة الإنتاج المقيد، وبما أن الهدف من إنشاء المحطة هو إجراء التجارب ومشاريع البحث العلمي فيما يتعلق بالإنتاج الزراعي والمياه فإن إنتاج المحطة ومن ثم نتائج هذه الدراسة لا يمكن مقارنتها بمشاريع الشركات الكبيرة الهادفة للربح المادي البحث، إلا أن طريقة البحث وخطواته تعتبر نموذجية ويمكن تطبيقها على كافة المستويات مع الأخذ في الاعتبار ظروف كل دراسة.

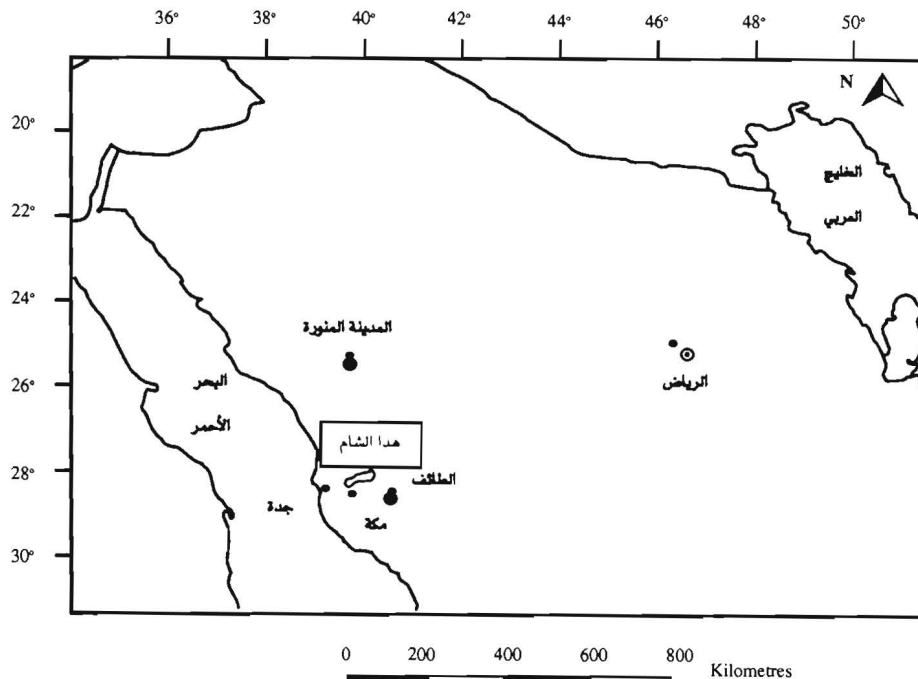
النموذج الرياضي

النموذج الرياضي للبرمجة الخطية يتكون من جزئين أساسيين هما دالة الهدف ومجموعة القيودات، ففي دالة الهدف يتم التعبير عن الغرض من المشروع بتحقيق أقصى صافي دخل ممكن أو بتدنية التكاليف إلى أقل حد ممكن، ويوضع الهدف في شكل دالة خطية تسمى دالة الهدف، أما مجموعة القيودات فهي التي يعمل في ظلها المشروع وتوقع تحقيق الهدف ثم توضع في شكل متباينات أو معادلات خطية تعبر عن تلك القيود (عثمان، 1999).

نتيجة لتشجيع الدولة للقطاع الزراعي من خلال منح القروض والإعانات للمزارعين والمستثمرين وفي ظل عدم وجود تقنين لاستخدامات المياه المتاحة فقد توسعت الشركات الزراعية في هذا الاستثمار دون النظر إلى القيمة الحقيقية للمياه، وحققت أرباحاً غير مسبوقة في ظل التسهيلات الممنوحة لها للعقدين الماضيين، مما أدى إلى تدهور حاد في المخزون المائي في معظم مناطق المملكة.

المحافظة على الموارد الطبيعية والإنتاج الزراعي للاكتفاء الذاتي أو الأمن الغذائي مطلبان مرجوان لمجمل خطط التنمية، هذه الدراسة تهدف إلى حساب وتحديد الإنتاج الأمثل لمنتجات زراعية مختلفة في ظل تقييدات متنوعة من ضمنها ظروف المناطق الجافة التي تتمثل في نقص المياه المتاحة للأغراض الزراعية، وقد تمت هذه الدراسة على محطة الأبحاث الزراعية بهذا الشام التابعة لكلية الأرصاء والبيئة وزراعة المناطق الجافة بجامعة الملك عبدالعزيز، وهي تعتبر محطة أبحاث نموذجية في المنطقة الغربية من المملكة العربية السعودية إذ تبعد 120 كم عن مدينة جدة في اتجاه الشمال الشرقي (انظر الشكل 1)، حيث يوجد بالمحطة قطاعات إنتاج مختلفة تشمل الإنتاج الحيواني (منتجات ألبان ولحوم ودواجن) والإنتاج النباتي ويشمل الزراعة المكشوفة (برسيم وشعير وذرة... الخ) وبيوت محمية لزراعة الخضار والفواكه وكذلك قطاع الغابات والنخيل والمنحل.

تقع منطقة هذا الشام بين خطي طول $40^{\circ} 15'$ - $39^{\circ} 42'$ وخطي عرض $22^{\circ} 10'$ - $21^{\circ} 30'$ وتقع محطة الأبحاث الزراعية في أسفل وادي هذا الشام المتكون أصلاً من ثلاثة أودية رئيسية هي وادي اللصب ووادي العلق ووادي الحشاش، تعتمد المنطقة في مواردها المائية اعتماداً كلياً على الأمطار الموسمية التي تهطل على الأودية وتغذي الخزان الجوفي من خلال رواسب الأودية، ونتيجة لعدم وجود تقنين للمياه في المنطقة أدى السحب الجائر للمياه لاستنزاف المخزون الجوفي من المياه مما اضطر كثير من المزارعين إلى تعميق آبارهم للحصول على المياه أثناء فترات



شكل (1): خريطة المملكة العربية السعودية توضح منطقة الدراسة

جدول (1) البيانات الأساسية للإنتاج والاحتياجات المائية لمحطة الأبحاث الزراعية بهذا الشام

نوع المحصول	المساحة المخصصة (م ²)	معامل النبات	احتياج المحصول (مم/سنة)	البخر نتج (م ³ /سنة)	معامل دالة الهدف	الإنتاج الحالي بالطن	الاحتياجات الموسمية (م ³ /طن)	تكلفة الإنتاج (ريال/طن)	مساحة الإنتاج (م ² /طن)
برسيم	38313	0.9	1936	66757	2500	12.5	2225	160	3065
شعير	15120	0.87	1936	25467	1700	4.5	2358	200	3360
حشيشة السودان	15708	0.91	1985	28374	1600	8.3	1424	127	1893
ذرة رفيعة	37124	0.9	1905	63649	1800	7.35	3608	231	5051
حشيشة زرقاء	9425	0.85	1985	15902	3550	7.4	895	203	1274

القيد المحددة للإنتاج (Constraints)**دالة الهدف (Objective function)****1. الاحتياجات المائية**

تعد الاحتياجات المائية للمحصول من أهم عناصر الإنتاج ، إذ أن لكل محصول احتياج يحدده نوع المحصول والظروف الجوية السائدة أثناء الزراعة ، وفي ظل ترشيد استهلاك المياه للأغراض الزراعية فإن مقدار الري المطلوب للمحصول يعادل كمية البخر نتج لذلك المحصول ، وبهذا نكون قد اقتصدنا في إمداد المياه بما يضمن النمو الآمن للنبات ، وبمعرفة معامل النبات واستخدام إحدى الطرق المعروفة لحساب البخر نتج للنبات أمكننا من تقدير الاحتياج المائي لكل محصول [(الديبكي 1420هـ) ، وزارة الزراعة والمياه (1988م)] كما هو مبين في الجدول (1) ، وبما أن مصدر المياه محدود يمكننا كتابة تقييد الاحتياجات المائية على أنه مجموع الاحتياج المائي لكل المحاصيل بحيث لا يتعدى هذا المجموع المتوفر من المصدر خلال الموسم (114000 م³) ، وقد تم حساب المتوفر على أساس كمية الضخ اليومي من آبار المحطة:

$$\sum_{i=1}^n w_i X_i \leq W_T \quad (2)$$

w_i : الاحتياجات المائية للمحصول i في الموسم (م³/طن).

W_T : كمية المياه المتوفرة في الموسم (م³).

2. الميزانية المخصصة

تكلفة إنتاج أي محصول تشمل قيمة السماد والمبيدات والبذور والعمالة وبالتالي تم تخصيص ميزانية لإنتاج المحاصيل للموسم (62000 ريال) على أساس إحصائيات تجارب السنين السابقة وهذه الميزانية مرتبطة بميزانيات باقي قطاعات الإنتاج بالمحطة ، وبذلك يمكن كتابة تقييد الميزانية على أنه مجموع تكاليف إنتاج جميع المحاصيل بحيث لا تزيد على الميزانية المخصصة للموسم B :

الغرض من دالة الهدف في هذه الدراسة هو تحقيق أقصى ربح ممكن من جراء إنتاج خمسة محاصيل زراعية مختلفة ، ويتحقق الربح بعملية ضرب كمية المحصول المنتج في معامل ربح المحصول ، وقد تم الحصول على معامل الربح للمحصول بعد طرح قيمة التكاليف للمحصول وبذلك يكون الربح للمحصول i يساوي حاصل ضرب الكمية المنتجة (طن) من المحصول i في معامل الربح للمحصول ، وبالتالي فإن الربح الكلي يكون مجموع ربح كل المحاصيل ، ويمكن كتابته كما يلي:

$$\text{MAX } Z = \sum_{i=1}^n c_i X_i \quad (1)$$

c_i : معامل الربح للمحصول i (ريال/طن).

X_i : كمية إنتاج المحصول i (طن).

n : عدد المحاصيل.

يلاحظ أن دالة الهدف كتبت بطريقة توجي بتحقيق ربح مطلق نتيجة إنتاج أي كمية من أي محصول ، أي أن احتمال الخسارة غير وارد في هذه الصيغة ، في الحقيقة إن تكاليف الإنتاج الثابتة ابتداءً من بدء الموسم إلى نهايته لم تؤخذ في الاعتبار ، وتشمل هذه التكاليف أنظمة الري والتوصيلات والصيانة والطاقة... الخ ، ولتقييم الجدوى الاقتصادية للنشاط الزراعي قيد الدراسة يجب حساب حساب قيمة هذه التكاليف ومن ثم طرحها من الإيرادات الحاصلة والمتمثلة في دالة الهدف ، غير أن هذه الصيغة صالحة لمقارنة الإيرادات الحاصلة لسياستي الإنتاج وكذلك عند نقص إمدادات المياه الجوفية.

$$X_i \geq p \min_i X_{\max_i} \quad i = 1, 2, \dots, 5 \quad (7)$$

$P_{\min_i}$: أقل نسبة يجب إنتاجها من المحصول i .
 $X_{\max_i}$: أكبر كمية يمكن إنتاجها من المحصول i (طن) في حالة استغلال كامل المساحة.
 $X_{\max}$: أكبر كمية يمكن إنتاجها من مجموع المحاصيل (طن).

النتائج والمناقشة

تم حل مسألة البرمجة الخطية للسياسيتين المقترحتين أعلاه بطريقتي السيمبلكس (Simplex) وباستخدام برنامج ليندو (LINDO)، حيث يمتاز البرنامج بسهولة استخدامه وهو اختصار لجملة (Linear interactive and discrete optimizer) طوره (Schrage, L (1986)، ويعمل البرنامج على حل مسائل البرمجة الخطية والبرمجة التربيعية والبرمجة ذات المتغيرات الصعبة (Winston, W (1995)، ويقدم البرنامج في مخرجاته نتائج مختصرة ونتائج مفصلة، أما النتائج المختصرة فهي تحتوي على قيمة دالة الهدف وقيم متغيرات القرار وذلك بعد إيجاد الحل الأمثل للمسألة، وأما النتائج المفصلة فهي مهمة وذات فائدة كبيرة وهي في الحقيقة تحليل لحساسية الحل الأمثل قيد الدراسة، وتحتوي التفاصيل على قيم التكلفة المخفضة (Reduced cost) للمتغيرات وأسعار الظل (Shadow price) والمدى المسموح بالزيادة أو النقص للمتغيرات والطرف الأيمن للقيود، لا شك أن كل هذه المخرجات ساعدت في تحليل الحل الأمثل وأسهمت في الوصول إلى قرارات مناسبة كم سيأتي معنا.

سياسة الإنتاج المقيد

الإنتاج المقيد يعني وجود تقييدات لضمان إنتاج الحد الأدنى من المحاصيل والتي توفر الكمية المطلوبة للأبحاث خلال الموسم، لذلك جميع التقييدات الخمسة أخذت في الاعتبار ضمن هذه السياسة، الجدول (2) يوضح النتائج المختصرة لحل مسألة البرمجة الخطية لهذه السياسة حيث وجد أن الحل الأمثل يحقق إيراد مقداره 241061 ريال وهو قيمة دالة الهدف نتيجة إنتاج أطنان المحاصيل المبينة في الجدول، وهذا الإيراد لا يعني حصول ربح مطلق نتيجة لهذه السياسة وذلك لعدم اخذ قيمة التكاليف الثابتة في الاعتبار كما ذكر سابقاً، يلاحظ أنه تم إنتاج الحد الأدنى فقط لجميع المحاصيل ما عدا الحشيشة الزرقاء حيث بلغ إنتاجها 57 طن، الجدير بالذكر أن برنامج ليندو لا يفرق بين أنواع المحاصيل إلا أنه يتعامل مع المعاملات المدرجة ضمن دالة الهدف والتقييدات المختلفة، بالإضافة إلى أن الجدول يعطي عدد الأطنان المثلى للإنتاج ألا أنه يبين أيضاً قيمة التكلفة المخفضة لكل محصول، وقد حصلنا على قيمة صفر لكل المحاصيل المنتجة، وإذا رجعنا إلى تعريف التكلفة المخفضة للمنتج وهو ما يعني الكمية التي يجب أن يتحسن فيها معامل المحصول في دالة الهدف قبل أن نحصل على برمجة خطية يكون فيها المحصول نفسه متغير أساسي، وبما أننا حصلنا على صفر لجميع قيم التكاليف المخفضة فإنه لا يوجد مجال لتحسين المعاملات في دالة الهدف من أجل الحصول على حل أمثل آخر.

$$\sum_{i=1}^n w_i X_i \leq B \quad (3)$$

b_i : تكاليف إنتاج المحصول i (ريال/طن).
 B : الميزانية المخصصة لإنتاج جميع المحاصيل (ريال).

3. مساحة الأرض المتاحة

محطة الأبحاث الزراعية مقسمة إلى عدة قطاعات إنتاجية منها الإنتاج الحيواني والبيوت المحمية والزراعة المكشوفة (محاصيل) ومناطق غير إنتاجية مثل صادات الرياح ومنطقة الغابات والورش والمسكن، وبناءً عليه فإن مساحة الأرض المتاحة الإجمالية لزراعة المحاصيل محددة وبالتالي يمكن كتابة تقييد الرقعة الزراعية على أن مجموع مساحات الأراضي المخصصة لزراعة المحاصيل لا تتعدى مساحة الأرض الكلية المتاحة A_T :

$$\sum_{i=1}^n a_i X_i \leq A_T \quad (4)$$

a_i : المساحة المخصصة لإنتاج طن من المحصول i (م²/طن).
 A_T : المساحة الكلية المتوفرة لكل المحاصيل (م²).

4. ساعات العمل المتاحة

عدد العمال وساعات العمل من العناصر المحددة في مثل هذه المشاريع لأنها ترتبط مباشرة بالتكاليف، فمن تجارب السنين الماضية أمكن معرفة عدد ساعات العمل المخصصة لإنتاج أي محصول (جدول 1) وبالتالي يمكن كتابة تقييد ساعات العمل بأنه مجموع ساعات إنتاج جميع المحاصيل بحيث لا يتعدى هذا المجموع ساعات العمل الإجمالية المتاحة في الموسم H_T :

$$\sum_{i=1}^n h_i X_i \leq H_T \quad (5)$$

h_i : ساعات العمل المخصصة لإنتاج طن من المحصول i (ساعة/طن).
 H_T : ساعات العمل الإجمالية المتوفرة في الموسم (ساعة).

5. قيود إنتاج فنية

القيود الفنية عادة تكون منطقية تساهم في إيجاد حلول مقبولة للبرمجة الخطية مثل التقييد الآتي الذي يقرر أن كمية إنتاج أي محصول X_i لا تزيد على أكبر كمية يمكن إنتاجها من مجموع المحاصيل $X_{\max}$:

$$\sum_{i=1}^n X_i \leq X_{\max} \quad (6)$$

وحيث أن الهدف من إنشاء المحطة هو الأبحاث الزراعية المختلفة فإن نسبة معينة من إنتاج المحاصيل يستهلك في التجارب البحثية أما الباقي فيباع للمستهلكين بسعر السوق، وبالتالي يمكن كتابة هذا التقييد على أن لا تقل كمية إنتاج أي محصول عن النسبة المخصصة للتجارب البحثية:

أما بالنسبة لقيم الزيادة والنقص المسموح به في معاملات دالة الهدف فإنها تعطي مدلولات أخرى تفيد في تحليل حساسية الحل الأمثل، فعلى سبيل المثال فإن معامل محصول البرسيم في دالة الهدف هو 2500 والزيادة المسموحة هي 3700 هذا يعني أن إنتاج المحاصيل لا يتغير طالما أن المعامل لم يتعدى الزيادة المسموحة ولكن قيمة دالة الهدف تتغير بهذه الزيادة. فلو افترضنا أننا رفعنا معامل محصول البرسيم إلى 6199 فإننا سنحصل على نفس إنتاج المحاصيل قبل الزيادة بينما تصبح قيمة دالة الهدف 268803 ريال بدل من 241061 ريال ولورفعنا قيمة المعامل إلى 6201 فإننا نحصل على إيراد مقداره 268822 ريال ويتغير إنتاج البرسيم من 7.5 طن إلى 11.5 طن وكذلك إنتاج الحشيشة الزرقاء من 56.8 طن إلى 59.9 طن مع البقاء على باقي المحاصيل بنفس سقف الإنتاج، ينطبق هذا المدلول على باقي المحاصيل كما هو موضح في الجدول (2) إلا أنه يختلف الوضع في حالة محصول الحشيشة الزرقاء حيث وجد أن الزيادة المسموحة في معامل المحصول لا حدود لها وهذا يعني أنه مهما زدنا من قيمة المعامل فإننا سنحصل على نفس سقف الإنتاج المبين في الجدول (1) مع زيادة مصاحبة في قيمة دالة الهدف، وفي المقابل فإن النقص المسموح به هو 2118.5 مما يعني أننا لو غيّرنا المعامل إلى قيمة أقل من 1431.5 فإننا سنحصل على قيم جديدة لإنتاج المحاصيل مختلفة عن القيم في الجدول (1)، فعلى سبيل المثال لو خفضنا معامل الحشيشة الزرقاء إلى 1431 فإننا سنحصل على إنتاج 12.8 طن من حشيشة السودان بدلاً من 6.1 و 49.3 طن من الحشيشة الزرقاء بدلاً من 56.8 طن وبالتالي ينخفض الإيراد إلى النصف تقريباً ليصبح 120651 ريال.

جدول (2) نتائج حل مسألة البرمجة الخطية تبين كمية الإنتاج والزيادات المسموحة للمعاملات في ظل سياسة الإنتاج المقيد

المحصول	الإنتاج (طن)	السعر المخفّض (ريال/طن)	مدى الزيادة والنقص المسموح به لمعاملات دالة الهدف		
			القيمة الحالية	الزيادة المسموحة	النقص المسموح
برسيم	7.5	0	2500	3700	ما لا نهاية
شعير	5.2	0	1700	4871	ما لا نهاية
حشيشة السودان	6.1	0	1600	2368	ما لا نهاية
ذرة ريفية	1.1	0	1800	8254	ما لا نهاية
حشيشة زرقاء	56.8	0	3550	ما لا نهاية	2118.5

النتائج المفصلة المدرجة في الجدول (3) تبين قيم المتغير الراكد (slack) أو الفائض (surplus) وسعر الظل لكل تقييد، يعرف سعر الظل للتقييد بأنه الكمية التي يمكن أن تتحسن بها دالة الهدف إذا زدنا قيمة الطرف الأيمن للتقييد بوحدة واحدة، فعلى سبيل المثال حصلنا على سعر ظل مقداره 2.78 لتقييد الاحتياجات المائية (جدول 3)، هذا يعني أننا لو زدنا من وفرة المياه بوحدة واحدة (1 م³) فإننا نحصل على زيادة في الإيراد بمقدار 2.78 ريال، وينطبق هذا المفهوم على جميع التقييدات ذات أسعار ظل موجبة، بينما التقييدات التي لها أسعار ظل سالبة فإن تأثيرها يكون سلبي على دالة الهدف بمعنى أنه أي زيادة في هذه الكميات يؤدي إلى انخفاض في الإيراد، فلو افترضنا أننا رفعنا الحد الأدنى لإنتاج البرسيم إلى 8.5 طن بدل من 7.5 طن فإننا سنحصل على إيراد مقداره 237361 ريال بدلاً من 241061 ريال أي بانخفاض مقداره 3700 ريال وهو سعر الظل السالب لتقييد البرسيم، الزيادة في الطرف الأيمن للتقييد ليس فقط يغير قيمة دالة الهدف بل يغير أيضاً كميات إنتاج المحاصيل المختلفة وهذا يعني تغيير الحل الأمثل بالكامل، ففي المثال السابق تغير إنتاج الحشيشة الزرقاء من 56.8 طن إلى 55 طن نتيجة زيادة الحد الأدنى لإنتاج البرسيم إلى 8.5 طن، أما التقييدات التي لها أسعار ظل تساوي صفر فإن زيادة طرفها الأيمن لن يؤثر على الحل الأمثل، وعلى هذا فإن زيادة الميزانية أو زيادة مساحة الرقعة الزراعية أو زيادة ساعات العمل أو زيادة عدد أطنان الإنتاج الكلية أو زيادة إنتاج الحشيشة الزرقاء لن يؤثر في قيم متغيرات القرار (إنتاج المحاصيل) ولا في صافي الإيراد، في الحقيقة هذه التحاليل لمسألة البرمجة الخطية تفيد كثيراً صانعي القرار والمخططين والمزارعين وذوي الاختصاص في معرفة العناصر ذات الأهمية في المسألة المبرمجة ومكان الربح والخسارة للمشروع. ففي كثير من الأحيان يغلب الظن على أن زيادة في كمية مصدر من المصادر المتوفرة يزيد من ربح المشروع وهذا قد لا يكون صحيح كما هو الحال في مسألتنا هذه حيث أثبتنا أن أي زيادة في مساحة الرقعة الزراعية لا يصاحبها زيادة في الربح ولا تغيير في الإنتاج، بالطبع هذا الاستنتاج لا يمكن إطلاقه على جميع المشاريع أو حتى المتشابهة منها بل هو خاص بهذه المسألة حيث يتم تحليل جميع التقييدات مع دالة الهدف جملة واحدة.

جدول (3) أسعار الظل وتحليل حساسية التقييدات في ظل سياسة الإنتاج المقيد

التقييد	سعر الظل	المتغير الراكد أو الفائض	القيمة الحالية	الزيادة المسموح بها	النقص المسموح به
الاحتياجات المائية (م ³)	2.78	0	114000	8510	66663
الميزانية المرصودة (ريال)	0	47196	62000	ما لا نهاية	47196
المساحة المتاحة (م ²)	0	5978	115960	ما لا نهاية	5978
ساعات العمل المتاحة (ساعة)	0	613.8	4380	ما لا نهاية	613.8
الحد الأعلى الكلي للإنتاج (طن)	0	25.3	102	ما لا نهاية	25.3
الحد الأدنى لإنتاج البرسيم (طن)	-3700	0	7.5	4	7.5
الحد الأدنى لإنتاج الشعير (طن)	-4871	0	5.2	3	5.2
الحد الأدنى لإنتاج حشيشة السودان (طن)	-2368	0	6.1	6.7	6.1
الحد الأدنى لإنتاج الذرة الريفية (طن)	-8254	0	1.1	2.4	1.1
الحد الأدنى لإنتاج الحشيشة الزرقاء (طن)	0	52.3	4.5	52.3	ما لا نهاية

للإنتاج الموضح في التقييدات ذات العلاقة. كما هو متوقع فقد انخفض الإيراد تدريجياً (من 241061 ريال إلى 55547 ريال) مع النقص التدريجي في إمداد المياه (من 114000 م³ إلى 47424 م³) وصاحب هذا الانخفاض تغير في إنتاج الحشيشة الزرقاء حيث نقصت من 56.8 طن في حال توفر المياه إلى 4.6 طن عند توفر 41.5% من المياه وحافظت باقي المحاصيل على الحد الأدنى للإنتاج والجدير بالذكر أنه لا يوجد حل ممكن لمسألة البرمجة الخطية إذا خفّضنا إمداد المياه عن 41.5% من الاحتياج المفروض بمعنى أنه لا يمكن تحقيق جميع التقييدات تحت هذه الظروف. برنامج ليندو يعطي نتائج مفصلة ويمكننا تحليل هذه النتائج لمعرفة حساسية الحل للمتغيرات كما سبق إلا أنه لا حاجة لنا هنا بتفاصيل أكثر ونكتفي بمعرفة العلاقة بين نقص إمداد المياه والإيراد وكذلك الإنتاج الأمثل. سياسة

جدول (4) الحلول المثلى تحت ظروف نقص إمداد المياه ضمن سياسة الإنتاج المقيّد

إمداد المياه (م ³)	نسبة الإمداد من الاحتياج الكلي للمياه (%)	الإيراد (ريال)	إنتاج الحشيشة الزرقاء (طن)
114000	100.0	241061	56.8
108300	95.0	225178	52.4
102600	90.0	209295	47.9
96900	85.0	193411	43.4
91200	80.0	177528	39.0
85500	75.0	161645	34.5
79800	70.0	145762	30.0
74100	65.0	129879	25.5
68400	60.0	113996	21.0
62700	55.0	98113	16.6
57000	50.0	82230	12.0
51300	45.0	66347	7.6
48450	42.5	58406	5.4
47424	41.5	55547	4.6

الإنتاج المفتوح

الإنتاج المفتوح يعني أننا نتعامل مع محطة الأبحاث الزراعية مثل أي مشروع زراعي ربحي لا يكتثر بالتنوع في إنتاج المحاصيل بقدر ما ينظر إلى صافي الربح، ففي هذه الحالة لا توجد تقييدات بخصوص إنتاج الحد الأدنى من المحاصيل، فيصبح الفرق في مسألة البرمجة الخطية بينها وبين الإنتاج المقيّد هو أننا نحذف التقييدات الخاصة بإنتاج الحد الأدنى من المحاصيل الخمسة ونجعل الإنتاج فيها مفتوح دون تحديد، ونتيجة هذا التعديل الجديد يصبح الحل أكثر مرونة وسهولة، فقد قمنا بحل المسألة تحت ظروف الإنتاج المفتوح وحصلنا على نتائج مختلفة جذرياً عن سابقتها كما هو مبين في الجداول (5) و (6) و (7)، يمكن فهم هذه الجداول بنفس الطريقة والتحليل المقدم في حالة الإنتاج المقيّد، ومن النتائج الجديرة بالذكر هنا هو أننا حصلنا على صافي إيراد مقداره 317661 ريال أي بزيادة 32% عما كانت عليه في حالة الإنتاج المقيّد، أما بالنسبة لإنتاج المحاصيل فإن هذه السياسة لا تنتج سوى حشيشة

قيم المتغيرات الراكدة أو الفائضة تعبّر عن المصادر المتوفرة للتقييدات والتي لم تستغل بعد أيجاد الحل الأمثل ويلاحظ في الجدول (3) أن حاصل ضرب قيمة المتغير الراكدة أو الفائض في سعر الظل لجميع التقييدات يساوي صفر، وهذا يعني أن أي تقييد له قيمة متغير راکد أو فائض أكبر من الصفر يكون سعر الظل له يساوي صفر والعكس صحيح، فلو نظرنا على سبيل المثال إلى المتوفر في تقييد المساحة المتاحة نجده يساوي 5978 م² وهذه المساحة لم تستغل ولو أنها استغلت فلن تقيّد في زيادة الإيراد لأن سعر الظل لهذا التقييد يساوي صفر وفي المقابل زيادة أي وحدة إضافية في مصدر الاحتياجات المائية يزيد في الربح بمعدل 2.78 ريال لكل وحدة (م³) وهذا يكون صحيح في حالة عدم وجود وفرة في المصدر، أما التقييدات التي لها قيمة متغير فائض أو راکد موجب فإنها ترتبط بالزيادة أو النقص المسموح بهما والموضح في نفس الجدول، مما يعني أن قيمة دالة الهدف لن تتغير في ظل الزيادة أو النقص المسموح بهما، نلاحظ في النتائج أن الزيادة المسموحة في الميزانية المرسودة والمساحة المتاحة وساعات العمل والحد الأعلى للإنتاج الكلي هي ما لا نهاية مما يعني أن أي زيادة في هذه المصادر لن يغير في الإيراد ولا في الحل الأمثل وينطبق هذا التفسير على النقص المسموح أيضاً إلا أن النقص هنا محدود فلو نقصت ساعات العمل أكثر من 613 ساعة فإن الحل الأمثل سيتغير وقد جربنا ذلك (لم تدرج نتائج هذه العملية) بجعل ساعات العمل 3680 ساعة بدلاً من 4380 ساعة أي بنقص مقداره 700 ساعة (أكبر من 613 ساعة) فحصلنا على نقص في إنتاج الحشيشة الزرقاء بمقدار 2.2 طن وبالتالي حصلنا على إيراد مقداره 233215 ريال أي بانخفاض 7846 ريال عما كان عليه، ومن الملاحظ أيضاً أن الزيادات المسموح بها لتقييدات الحد الأدنى من إنتاج المحاصيل لها سعر ظل سالب مما يعني أن أي زيادة في الطرف الأيمن لهذه التقييدات يؤدي إلى انخفاض في الربح بمقدار سعر الظل للتقييد ويختلف هنا محصول الحشيشة الزرقاء عن باقي المحاصيل لأن سعر الظل له يساوي صفر، فالزيادة المسموحة له هي 52.3 طن فلو زدنا هذه الكمية لتقييد الحشيشة الزرقاء فإن الحل الأمثل لن يتغير بمعنى أن الإيراد والإنتاج سيبقى كما هو وفي المقابل فإن النقص المسموح هو ما لا نهاية فلو خفّضنا الطرف الأيمن في تقييد الحشيشة الزرقاء إلى الصفر فإننا سنحصل على نفس الحل الأمثل.

الإنتاج في ظل نقص إمداد المياه

كما ذكرنا فإن نقص المياه الجوفية يحدث نتيجة قلة الأمطار وسرعة استنزاف المخزون الجوفي المتوفر، لذلك درسنا تأثير معدلات النقص الحاصل في المياه على الإنتاج والإيراد، وتم ذلك بحل مسألة البرمجة الخطية أعلاه مع تغيير التقييد الخاص بالاحتياجات المائية فقط، حيث خفّضنا كمية المياه الكلية المطلوبة بنسب متساوية ابتداءً من الاحتياج الكلي (100%) إلى الحد الأدنى المسموح والمبين في نتائج تحليل حساسية الحل ووجدنا أن هذه النسبة تساوي 41.5%. فقد تم حل المسألة عند كل مرة يتم فيها تخفيض الكمية وبالتالي حصلنا على إنتاج وريح مختلف في كل مرة، والجدول (4) يبين الحلول المثلى تحت ظروف نقص إمداد المياه، إنتاج باقي المحاصيل لم يدرج في الجدول لأنه لم يتغير عن وضعه السابق (حالة وفرة المياه) حيث كان يساوي الحد الأدنى

زرقاء حيث بلغ إنتاجها 89.5 طن وهذا معقول إذا نظرنا إلى السياسة من ناحية ربحية بحتة فالحشيشة الزرقاء أقل المحاصيل في تكلفة الإنتاج وأغلاهم سعراً عند البيع، فلو نظرنا إلى الجدول (5) حيث قيم التكلفة المخفضة والزيادات المسموحة في المعاملات نجد أن جميع المحاصيل لها تكلفة مخفضة ما عدا الحشيشة الزرقاء، ولكي ننتج هذه المحاصيل يجب أن تزيد قيمة معاملاتها في دالة الهدف بمقدار التكلفة المخفضة وهذا الأمر في غاية الصعوبة لأنه مرتبط بسعر السوق التي تتحكم فيه ظروف خارجية.

جدول (5) نتائج حل مسألة البرمجة الخطية تبين كمية الإنتاج والزيادات المسموحة للمعاملات في ظل سياسة الإنتاج المفتوح

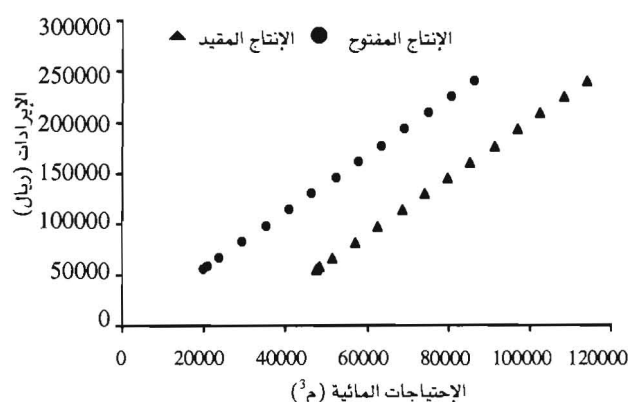
المحصول	الإنتاج (طن)	السعر المخفض (ريال/طن)	القيمة الحالية	الزيادة المسموحة	النقص المسموح	مدى الزيادة والنقص المسموح به لمعاملات دالة الهدف
برسيم	0	3700	2500	3700	ما لا نهاية	
شعير	0	4871	1700	4871	ما لا نهاية	
حشيشة السودان	0	2368	1600	2368	ما لا نهاية	
ذرة رفيعة	0	8254	1800	8254	ما لا نهاية	
حشيشة زرقاء	89.5	0	3550	ما لا نهاية	2118.5	

جدول (6) أسعار الظل وتحليل حساسية التقييدات في ظل سياسة الإنتاج المفتوح

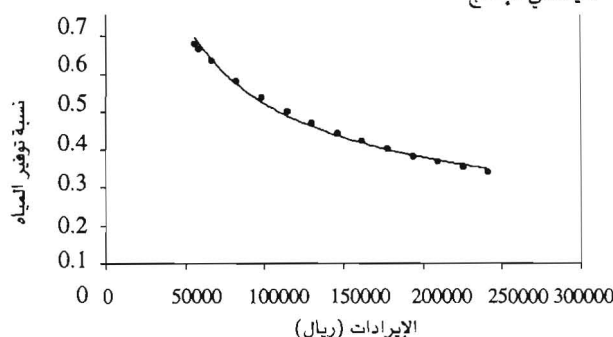
التقييد	سعر الظل	المتغير الراكد أو الفائض	القيمة الحالية	الزيادة المسموح بها	النقص المسموح به
الاحتياجات المائية (م ³)	2.78	0	114000	15948	114000.0
الميزانية المرسودة (ريال)	0	43835	62000	ما لا نهاية	43835.0
المساحة المتاحة (م ²)	0	35874	115960	ما لا نهاية	35874.0
ساعات العمل المتاحة (ساعة)	0	890	4380	ما لا نهاية	890.0
الحد الأعلى الكلي للإنتاج (طن)	0	12.5	102	ما لا نهاية	12.5

جدول (7) الحلول المثلى تحت ظروف نقص إمداد المياه ضمن سياسة الإنتاج المفتوح

إمداد المياه (م ³)	نسبة الإمداد من الاحتياج الكلي للمياه (%)	الدخل (ريال)	إنتاج الحشيشة الزرقاء (طن)
114000	100	317661	89.5
108300	95	301778	85.0
102600	90	285895	80.5
96900	85	270012	76.0
91200	80	254129	71.6
85500	75	238246	67.1
79800	70	222363	62.6
74100	65	206480	58.2
68400	60	190597	53.7
62700	55	174714	49.2
57000	50	158831	44.7
51300	45	142947	40.3
45600	40	127064	35.8
39900	35	111181	31.3
34200	30	95298	26.8
28500	25	79415	22.4
22800	20	63532	18.0
17100	15	47649	13.4
11400	10	31766	8.9.0
5700	5	15883	4.5.0



شكل (2) العلاقة بين الإحتياجات المائية والإيرادات المتحققة في ظل سياستي الإنتاج



شكل (3) نسبة المياه المتوفرة في ظل سياسة الإنتاج المفتوح لإيرادات متماثلة مع سياسة الإنتاج المقيد

الاستنتاجات

من خلال استعراضنا لنتائج هذه الدراسة يمكننا القول بأن النموذج الرياضي المبني باستخدام البرمجة الخطية أثبت جدواه في إيجاد الحلول المثلى للإنتاج والإيراد ومعرفة تأثير الزيادة والنقص في المعاملات والمصادر، ومن نتائج تطبيق هذه البرمجة على مشروع زراعة الأعلاف في ظل توفر ونقص إمدادات المياه بمحطة الأبحاث الزراعية يمكننا استنتاج ما يلي:

1. سياسة الإنتاج المفتوح أعطت إيرادات أعلى من سياسة الإنتاج المقيد بنسبة 32%.
2. تحليل حساسية الحلول المثلى أفادت في معرفة أهمية زيادة ونقص المصادر وتأثيرها على الإنتاج والربح، حيث وجد أن توفير نسب معينة من مساحة الرقعة الزراعية و الإحتياجات المائية وساعات العمل والحد الكلي للإنتاج لن يؤثر على الإنتاج أو الربح.
3. سياسة الإنتاج المقيد أدت إلى إنتاج الحد الأدنى لجميع المحاصيل ما عدا الحشيشة الزرقاء التي فاقت الحد الأدنى، بينما سياسة الإنتاج المفتوح لم تنتج سوى الحشيشة الزرقاء لتحقيق أعلى دخل.
4. نقص إمداد الإحتياجات المائية في ظل السياستين أدى إلى انخفاض مباشر في صافي الإيراد ووجد أن العلاقة بينهما خطية.
5. بمقارنة سياستي الإنتاج لإيرادات متماثلة استطعنا توفير مياه بنسبة تتراوح من 24% إلى 58% في ظل سياسة الإنتاج المفتوح.

الجدول (6) يبين أسعار الظل ومتغيرات الفائض والزيادات أو النقص المسموح في المصادر المختلفة، وجد أن جميع التقييدات لها فائض لم يستغل في الإنتاج ما عدا تقييد الإحتياجات المائية الذي استغل بالكامل وله سعر ظل يساوي 2.78 وهو نفس المقدار الذي حصلنا عليه في حالة الإنتاج المقيد، اختلفت كميات المصادر الفائضة عن مثيلتها في حالة الإنتاج المقيد حيث نقص الفائض في الميزانية بمقدار 3360 ريال عما كان عليه سابقاً وزادت المساحة المتوفرة زيادة كبيرة حيث بلغت 35874 م² بينما كانت 5978 م² في السياسة السابقة وهذا يمكن عزوه إلى عدم التنوع في إنتاج المحاصيل، أما ساعات العمل المتوفرة فقد زادت بمقدار 276 ساعة وانخفض الحد الأدنى للإنتاج الكلي إلى 12.5 طن وذلك نتيجة إنتاج عدد أكبر من الأطنان في ظل السياسة المفتوحة و بالنسبة للزيادة والنقص المسموح بهما فهو مشابه لما عليه في السياسة المقيدة مع مراعاة اختلاف مقادير الزيادة والنقص.

الإنتاج في ظل نقص إمداد المياه

أوجدنا علاقة بنفس الطريقة المتبعة في السياسة المقيدة بين النقص التدريجي في إمداد المياه وما يصاحبه من إنتاج وإيراد، الجدول (7) يبين العلاقة بين إمداد المياه والإيراد الحاصل وكذلك إنتاج محصول الحشيشة الزرقاء، فقد كان الإيراد 317661 ريال في حالة توفر المياه المطلوبة (114000 م³) وبدأ يقل تدريجياً إلى أن وصل إلى 15883 ريال عند إمداد مياه 5700 م³ وهو ما يمثل 5% فقط من الإحتياجات المائية، وتجدر الإشارة هنا إلى أنه مهما نقص إمداد المياه فإننا نحصل على حل أمثلي لمسألة البرمجة الخطية على خلاف ما كان عليه في حالة السياسة المقيدة، أي أننا ننتج حشيشة زرقاء دون اشتراط توفر كمية معينة من المياه حيث بلغ إنتاج محصول الحشيشة الزرقاء 4.5 طن عندما توفر لدينا 5% فقط من الإحتياج الكلي للمياه، ويدعم هذا الاستنتاج قيمة النقص المسموح به في تقييد الإحتياجات المائية الموضح في الجدول (6) حيث انه يساوي نفس كمية الإحتياجات المائية المطلوبة (114000 م³).

توفير المياه في ظل سياستي الإنتاج

من خلال الجداول (4) و (7) أوجدنا العلاقة بين إمداد المياه والإيرادات الحاصلة في ظل السياستين، الشكل (2) يوضح أن هذه العلاقة خطية وأن الإيرادات في ظل سياسة الإنتاج المفتوحة تفوق نظيرتها في السياسة المقيدة لنفس كمية إمدادات المياه وتقدر هذه الزيادة بمقدار ثابت بلغ 76600 ريال، وبهذه العلاقة يمكننا القول أيضاً أنه عند نفس قيمة الإيراد المتحقق للسياستين فإن سياسة الإنتاج المفتوح استهلكت كميات مياه أقل من سياسة الإنتاج المقيد، ولمعرفة كميات المياه المتوفرة للإيرادات المختلفة أوجدنا العلاقة بين نسبة توفير المياه في ظل سياسة الإنتاج المفتوح مقارنة بالإنتاج المقيد والإيرادات الحاصلة، الشكل (3) يبين هذه العلاقة حيث وجدت أنها علاقة أسية تزداد فيها نسبة التوفير كلما قل الإيراد وتتراوح هذه النسبة من 24% عند إيراد مقداره 241061 ريال إلى 58% لإيراد مقداره 55547 ريال وأن التوفير الحاصل للمياه هو 27490 م³.

6. أمكن إيجاد حل أمثل لأي نقص يحصل في إمداد المياه ضمن سياسة الإنتاج المفتوح بينما إذا نقص إمداد المياه عن 41.5% عن الاحتياج في ظل سياسة الإنتاج المقيد فإن مسألة البرمجة الخطية تصبح غير ممكنة الحل.

المراجع العربية

الدويس، عبدالمعز محمد وأحمد حلمي حسن (1995)، المبررات الاقتصادية للتوسع في زراعة الخضروات داخل البيوت المحمية بالمملكة العربية السعودية، (مجلة جامعة الملك سعود: العلوم الزراعية. 7: (2): 185-207).

الزهراني، خضران حمدان ومنصور، مصطفى محمود (1992)، إمكانات وأولويات ترشيد استهلاك المياه بالمملكة من خلال خطة وطنية إرشادية. نشرة بحثية رقم 21، اقتصاد زراعي، (مركز البحوث الزراعية، كلية الزراعة، جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية).

المبدالقادر، أحمد محمد، والجلود، علي عبدالله (1999)، اقتصاديات الزراعة المحمية للخضر باستخدام نوعيات مختلفة من مياه الري في المملكة العربية السعودية (مجلة الخليج للبحوث العلمية، 17(3)، ص 412-422).

عثمان، أيهاب محمد فتح الرحمن (1999)، اقتصاديات تصنيع التمور في المملكة العربية السعودية: دراسة تطبيقية على مصنع الشركة الوطنية للتنمية الزراعية نادك - الرياض، النشر العلمي، جامعة الملك سعود، الرياض.

القحطاني، سفر حسين وشهرين أحمد شريف ومصطفى محمود منصور: الإنتاج الأمثل للقمح والشعير في ظل هدفي الأمن الغذائي والمائي بالمملكة العربية السعودية (مجلة جامعة الملك سعود: العلوم الزراعية. 8: (1): 35-62، 1996).

وزارة الزراعة والمياه (1988)، الاحتياجات المائية للمحاصيل الرئيسة في المملكة العربية السعودية. الرياض: ادارتا التنمية والأبحاث الزراعية، بالتعاون مع منظمة الأغذية والزراعة العالمية، المملكة العربية السعودية.

وزارة الزراعة والمياه (1998 م) الكتاب الإحصائي الزراعي السنوي، الرياض.

وزارة التخطيط، خطة التنمية السادسة (1415 هـ - 1420 هـ). الرياض 1420 هـ.

وزارة التخطيط، خطة التنمية السابعة (1420 هـ - 1425 هـ). الرياض 1420 هـ.

المراجع الانجليزية

Schrage, L (1997). Optimization Modeling with LINDO, 5th Ed., International Thomson Publishing Inc.

Winston, W (1995). Introduction to mathematical programming: applications and algorithms. International Thomson Publishing, Wadsworth Inc.

Received 7th March 2004; in revised form 10th May 2003