الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي
المعهد العالي لإدارة الأعمال

HIGHER INSTITUTE OF BUSINESS ADMINISTRATION

أثر البرمجة الخطية في اتخاذ القرارات الإنتاجية

دراسة حالة في الشركة العربية المتحدة للصناعة (الدبس)

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في إدارة الأعمال

MBA

إعداد الطالب
عمار محمد عباس

إشراف
الدكتور راتب البلخي

العام الدراسي : 2024 – 2025

ملخص

هدفت هذه الدراسة إلى استقصاء أثر تطبيق منهجية البرمجة الخطية كأداة لدعم القرار في التخطيط الإنتاجي، وذلك للاستخدام الأمثل للموارد المتاحة. اعتمدت الدراسة على منهجية دراسة الحالة التطبيقية، حيث تم اختيار الشركة العربية المتحدة للصناعة (الدبس) –إحدى كبرى الشركات التابعة للمؤسسة العامة للصناعات النسيجية السورية– كميدان للتطبيق العملي.

تمثل الإجراءات المنهجية في جمع بيانات دقيقة حول الموارد الإنتاجية (المواد الأولية، الطاقات الإنتاجية، القوى العاملة) وتكاليفها، ومن ثم صياغة نموذج رياضي يحقق تعظيم الربح الإجمالي كدالة هدف رئيسية، في ظل مجموعة من القيود التكنولوجية والمالية الملزمة. تم حل النموذج باستخدام (دالة Solver في Excel).

كشفت النتائج عن إعداد خطة لتحقيق أقصى ربح ممكن في ظل الموارد المتاحة وتحديد المنتجات التي تحقق ذلك نوعيًا، ساهم التطبيق في تعزيز موضوعية وشفافية عملية اتخاذ القرار، وتمكين الإدارة من إجراء تحليل الحساسية والتخطيط الاستباقي للسيناريوهات المختلفة في ظروف تغير الطلب وعدم اليقين، كما أسس لنظام دعم قرار مستدام.

تخلص الدراسة إلى أن منهجية البرمجة الخطية تمثل أداة فعالة وقوية لتحسين الكفاءة التشغيلية والمالية في القطاع الصناعي، لاسيما في بيئات الموارد المحدودة. كما تقدم عددًا من التوصيات العملية لتعميم التطبيق على مستوى المؤسسة الصناعية، ومقترحات بحثية مستقبلية تتعلق بدمج عنصر عدم التأكد (البرمجة الاحتمالية)، والتكامل مع إدارة سلسلة التوريد، وتبني نماذج متعددة الأهداف.

Abstract

This study aimed to investigate the impact of implementing linear programming methodology as a decision-support tool in production planning to optimize the utilization of available resources. The research adopted an applied case study approach, selecting the United Arab Industries (Al-Debs) – one of the major subsidiaries of the Syrian General Establishment for Textile Industries – as the field for practical application.

The methodological procedures involved collecting precise data on production resources (raw materials, production capacities, workforce) and their associated costs, followed by formulating a mathematical model designed to maximize total profit as the primary objective function, subject to a set of binding technological and financial constraints. The model was solved using Excel's Solver function.

The results revealed the development of an optimal production plan that maximizes profit within available resource constraints, identifying specific products that contribute most effectively to profitability. Qualitatively, the application enhanced objectivity and transparency in decision-making processes, enabled management to conduct sensitivity analysis and proactive scenario planning under conditions of demand fluctuation and uncertainty, and established a sustainable decision-support system.

The study concludes that linear programming methodology represents an effective and powerful tool for improving operational and financial efficiency in the industrial sector, particularly in resource-constrained environments. It provides practical recommendations for enterprise-wide implementation and suggests future research directions involving uncertainty integration (stochastic programming), supply chain management coordination, and adoption of multi-objective optimization models.

كلمة شكر

بسم الله بدأناه، وبعونه استعنّا، وله الحمد أولاً وأخيرًا.

- ✓ أتقدم بجزيل الشكر لمشرفي **الدكتور راتب البلخي** شكرًا على حكمتك، وصبرك، وثقتك بي. كانت توجيهاتك هي البوصلة التي قادت هذه الرحلة.

- ✓ أشكر أعضاء لجنة المناقشة الكرام على وقتهم وجهدهم في تقييم هذا العمل.

- ✓ ولا أنسى شكر أساتذتي الأفاضل على ما بذلوه من جهود في تنمية معارفي وعلى كل لحظة دعم .
- ✓ إلى أصدقائي وزملائي في المعهد: شكرًا على جلسات المذاكرة، والنقاشات المحفزة،
- ✓ أخص بالشكر أسرتي، حجر الأساس، على حبهم وصبرهم الذي لا ينضب.
- ✓ ولكل من ساهم في هذه الرحلة، بقليل أو بكثير، أعتزّ بكم وأشكركم.

عمار عباس

الفهرس

الملخص	**2-1**
كلمة شكر	**3**
الفهرس	**4**
قائمة الجداول	**6**
الفصل الأول: الإطار العام للمشروع	**7**
1-1 المقدمة العامة	**7**
2-1 مشكلة البحث	**8**
3-1 فرضيات البحث	**9**
4-1 أهداف البحث	**10**
5-1 أهمية البحث	**11**
6-1 مبررات البحث	**12**
7-1 حدود البحث	**12**
8-1 منهج البحث والأدوات المستخدمة	**13**
9-1 الدراسات السابقة	**15**
الفصل الثاني: الإطار النظري	**24**
1-2 المقدمة	**24**
2-2 الأسس الرياضية للبرمجة الخطية	**24**
3-2 البرمجة الخطية في ظل عدم اليقين	**30**

2-4 معايير الاختيار بين الأساليب	**34**
2-5 التطبيقات المتقدمة	**34**
2-6 التحديات والحلول	**35**
2-7 الأدوات البرمجية	**36**
الفصل الثالث: القسم العملي	**37**
3-1 تمهيد	**37**
3-2 بناء النموذج الرياضي الشركة العربية المتحدة للصناعة (الدبس)	**37**
3-3 حل النموذج الرياضي	**51**
3-4 دراسة مكونات النموذج باستخدام تحليل الحساسية	**53**
3-5 الاستفادة من أداة Solver في ظل ظروف عدم اليقين	**57**
3-6 الخلاصة	**58**
الفصل الرابع: النتائج & المقترحات	**59**
4-1 النتائج والمناقشة	**59**
4-2 التوصيات والمقترحات	**61**
4-3 الآفاق المستقبلية للبحث	**63**
المراجع	**66**

قائمة الجداول

رقم الجدول	**اسم الجدول**	**رقم الصفحة**
1	العمالة لكامل عام 2023.	**38**
2	الواقع الإنتاجي بالكمية.	**38**
3	واقع المخزون	**38**
4	الوضع الفني للآلات الموجودة في الشركة.	**38-39-40**
5	أنواع بعض منتجات الشركة ورموزها.	**41**
6	حساب ربح الوحدة الواحدة لكل منتج من منتجات الشركة	**42**
7	دالة هدف النموذج الرياضي لعام 2023.	**42**
8	القيود الخاصة بالمواد الأولية في النموذج الرياضي لعام 2023.	**43**
9	الوقت اللازم لإنتاج الوحدة الواحدة من كل صنف وفي كل مرحلة.	**44 – 45**
10	التفاصيل المتعلقة بآلات عمليات الإنتاج	**46**
11	القيود الخاصة بالعمل الآلي في النموذج الرياضي لعام 2023	**47 – 48**
12	قيد العمل البشري في النموذج الرياضي لعام 2023	**51**
13	جدول الحل الأمثل الخاص بدالة الهدف	**51**
14	جدول الحل الأمثل الخاص بالقيود	**52**
15	مزيج المنتجات الأمثل في الشركة لعام 2023	**52**
16	تقرير الحساسية	**54**
17	المنتجات التي لم تظهر في التشكيلة المثلى وفق خطة الإنتاج المقترحة	**54 – 55**
18	كمية الموارد المستغلة وغير المستغلة وفق الخطة المقترحة لعام 2023.	**55 – 56**
19	أسعار ظل الموارد في الشركة لعام 2023	**57**

الفصل الأول: الإطار العام للمشروع

1-1 المقدمة عامة

تواجه المؤسسات الصناعية في العصر الحديث تحديات متزايدة ناتجة عن اشتداد المنافسة العالمية، وتذبذب أسعار المواد الأولية، وتغير أذواق المستهلكين، فضلاً عن محدودية الموارد المتاحة. وفي ظل هذه الظروف، تصبح القرارات الإنتاجية ذات أهمية بالغة كونها تمثل الركيزة الأساسية لتحقيق الكفاءة التشغيلية، وضمان استمرارية القدرة التنافسية، وتعظيم العوائد الاقتصادية.

ومن بين الأدوات الكمية التي أثبتت فعاليتها في دعم القرارات الإنتاجية تأتي البرمجة الخطية، التي تعد أحد أهم أساليب بحوث العمليات. فهي تساعد متخذي القرار على صياغة المشكلات المعقدة في صورة نماذج رياضية قابلة للحل، مما يتيح تحديد التوليفة المثلى لاستخدام الموارد النادرة (مثل المواد الخام، القوى العاملة، والوقت) بغية تحقيق أهداف المؤسسة سواء تمثلت في تعظيم الأرباح أو خفض التكاليف أو رفع كفاءة استغلال الموارد.

توسع استخدام البرمجة الخطية في مختلف القطاعات الصناعية والخدمية، إذ مكّن المؤسسات من التخطيط الأفضل للإنتاج، ووضع جداول تشغيل فعّالة، وتحقيق التوازن بين الطلب والعرض في ظل قيود متعددة. ومن هنا تبرز أهمية دراسة أثر البرمجة الخطية في القرارات الإنتاجية، إذ تمثل هذه الدراسة إضافة معرفية وعملية تسهم في إبراز دور الأساليب الكمية الحديثة في تطوير الأداء الصناعي ودعم عملية صنع القرار الرشيد.

وانطلاقاً من ذلك، تهدف هذه الرسالة إلى تحسين القرارات الإنتاجية داخل المصانع، من خلال تقديم إطار عملي يمكن للقطاع الصناعي الاعتماد عليه لتحويل البيانات إلى رؤى قابلة للتنفيذ، مما يسهم في النهاية في تعزيز الميزة التنافسية ودفع عجلة النمو الاقتصادي، مع التركيز على تحليل العلاقة بين استخدام النماذج الرياضية ومستوى كفاءة التخطيط والإدارة الإنتاجية، مما يفتح المجال أمام تبني أوسع لهذه الأدوات في البيئات الصناعية السورية.

2-1 مشكلة البحث

تواجه الإدارة الإنتاجية في المنظمات الصناعية تحديًا مستمرًا يتمثل في الاختيار بين بدائل متعددة في ظل موارد محدودة لتحقيق أهدافها بكفاءة وفعالية. على الرغم من التطور التكنولوجي الكبير، لا تزال العديد من المنشآت الصناعية، تعتمد بشكل أساسي على الخبرة الشخصية للمديرين والحدس والتجربة والخطأ في اتخاذ قراراتها الإنتاجية المحورية، مثل تحديد مزيج الإنتاج الأمثل، وتخصيص الموارد، وتخطيط العمليات.

هذه الممارسات التقليدية، على الرغم من شيوعها، غالبًا ما تؤدي إلى قرارات دون المثلى، وهو ما يتجلى في مظاهر عدة مثل: وجود فائض أو عجز في المخزون، انخفاض في معدلات استغلال الطاقات الإنتاجية للآلات ، ارتفاع في تكاليف التشغيل، وفي النهاية، تراجع في الربحية والتنافسية.

وعلى النقيض من ذلك، تقدم أساليب بحوث العمليات، وعلى رأسها البرمجة الخطية، منهجًا علميًا كميًا يتسم بالموضوعية والدقة لمواجهة هذه التحديات. إلا أن هناك فجوة تطبيقية ملحوظة في تبني هذه النماذج الرياضية في الصناعة السورية.

لذا، فإن المشكلة الرئيسية لهذه الدراسة يمكن صياغتها في الاستفسارين الرئيسيين:

- ✓ إلى أي درجة يمكن لتطبيق نماذج البرمجة الخطية أن يسهم في تحسين كفاءة وفعالية القرارات الإنتاجية في المنشآت الصناعية، وما هو الأثر الكمي الملموس (الاقتصادي والتشغيلي) لهذا التطبيق؟"
- ✓ كيف يمكن الاستفادة من البرمجة الخطية لمساعدة متخذي القرار التحول من الحل الأمثل إلى الحل الممكن لمواجهة التغيرات في الطلب وحالات عدم اليقين؟

وتنبثق عنهما الأسئلة الفرعية التالية:

1. ما طبيعة القرارات الإنتاجية المتعلقة بمزيج الإنتاج وتخصيص الموارد في الشركة محل الدراسة؟
2. ما هي الموارد المحدودة (الخامات، الوقت، الطاقة الإنتاجية، العمالة) والقيود الأخرى (الطلب، الجودة) التي تؤثر على قرارات الإنتاج في البيئة قيد الدراسة؟
3. كيف يمكن صياغة نموذج برمجة خطية يحقق أهداف الشركة (كتعظيم الربح أو تقليل التكلفة) في ظل الموارد المتاحة؟
4. ما هو مزيج الإنتاج الأمثل الذي يتوصل إليه النموذج؟
5. ما هي المعوقات والتحديات التنظيمية والفنية التي قد تعيق تطبيق نموذج البرمجة الخطية، وكيف يمكن التغلب عليها؟

3-1 فرضيات البحث

الفرضية الرئيسية: يؤدي تطبيق نموذج البرمجة الخطية إلى تحقيق حل أمثل (Optimal Solution) يمكن من خلاله تعظيم دالة الهدف (الربح) مع الالتزام الكامل بجميع قيود الموارد المتاحة (الخامات، الوقت، الطاقة الإنتاجية) في البيئة الإنتاجية قيد الدراسة.

الفرضيات الفرعية:

1. فرضية مزيج الإنتاج: يتوصل نموذج البرمجة الخطية إلى مزيج إنتاج أمثل (Optimal Product Mix) ويؤدي هذا المزيج إلى تعظيم قيمة إجمالي الربح.
2. فرضية كفاءة استخدام الموارد: ينتج عن الحل الأمثل للنموذج تحسين في كفاءة استخدام الموارد.
3. فرضية المرونة التحليلية: يوفر نموذج البرمجة الخطية أداة تحليلية مرنة تسمح لمتخذ القرار باختبار سيناريوهات تشغيلية متعددة(What-if Analysis) ، مثل:

- تقييم الأثر المالي لاستئجار آلة إضافية (تخفيف قيد الطاقة الإنتاجية).
- تحديد أقصى سعر يمكن دفعه لتخفيف قيد المادة الأولية.
- قياس حساسية الربح للتغيرات في أسعار بيع المنتجات النهائية.

يعتمد التحقق من صحة هذه الفرضيات على المنهج الرياضي التحليلي من خلال الخطوات التالية:

1. البناء الرياضي: صياغة نموذج برمجة خطية دقيق يمثل المشكلة الإنتاجية، مع تعريف واضح لمتغيرات القرار، ودالة الهدف (تعظيم الربح)، وجميع القيود الخطية.
2. إيجاد الحل الأمثل: استخدام خوارزمية رياضية مثل طريقة (Simplex) والمضمنة في برامج مثل (Solver)لإيجاد الحل الأمثل(mathematically).
3. تحليل الحساسية: دراسة تقرير الحساسية (Sensitivity Report) الناتج عن البرنامج لقياس مدى مرونة النموذج وتأثر الحل الأمثل بالتغيرات في معطيات المشكلة (مثل التغير في سعر خامة أو في الطلب على منتج).

1-4 أهداف البحث

الهدف الرئيسي للدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم أثر تطبيق نماذج البرمجة الخطية في تحسين عملية اتخاذ القرارات الإنتاجية داخل المنشآت الصناعية، من خلال بناء نموذج رياضي يحقق الاستخدام الأمثل للموارد المتاحة (المادية والبشرية والمالية) بهدف تعظيم الربحية أو تقليل التكاليف، وتطبيقه على دراسة حالة عملية لتقديم توصيات قائمة على الأدلة الكمية تدعم كفاءة وفعالية هذه القرارات.

يتفرع عن هذا الهدف الرئيسي الأهداف الفرعية التالية:

1-4-1 الأهداف العلمية (النظرية)

تهدف هذه الدراسة إلى تحقيق الإسهامات العلمية والمعرفية التالية:

- الإسهام في إثراء الجانب النظري للمعارف المتعلقة بتطبيقات أدوات بحوث العمليات، وتحديداً البرمجة الخطية، في مجال تحسين واتخاذ القرارات الإنتاجية والتحسين المستمر للعمليات.
- بناء إطار نظري متكامل يربط بين المبادئ الرياضية للبرمجة الخطية والذكاء الصناعي، ليكون مرجعاً متواضعاً للباحثين والمهتمين.
- مقارنة بين مختلف أنواع البرمجة وأثرها في القرارات الإنتاجية.

1-4-2 الأهداف التطبيقية (العملية)

- صياغة وتصميم نموذج برمجة خطية رياضي يهدف إلى تعظيم الربح مع مراعاة جميع القيود التشغيلية والموارد المحددة التي تم تحديدها.
- تطبيق النموذج الرياضي المقترح على البيانات الفعلية للشركة محل الدراسة وتشغيله باستخدام أحد البرامج الحاسوبية المتخصصة (Solver في Excel) للوصول إلى الحل الأمثل.
- إجراء تحليل الحساسية للنموذج لدراسة مدى تأثر الحل الأمثل بالتغيرات المحتملة في معطيات المشكلة (مثل زيادة سعر المواد الأولية، أو تغير سعر بيع المنتج).
- استخدام النموذج الرياضي لمواجهة التغيرات في الطلب وسرعة اتخاذ القرارات الانتاجية.
- صياغة مجموعة من التوصيات والمقترحات العملية قابلة للتطبيق، موجهة لإدارة الشركة قيد الدراسة وللمنشآت الصناعية المماثلة، لمساعدتها على تبني منهجية النمذجة الرياضية في دعم قراراتها ورفع كفاءتها التشغيلية.

1-5 أهمية البحث

تنبع أهمية هذه الدراسة من خلال :

1-5-1 الأهمية النظرية:

- تقديم بحث تطبيقي متكامل يربط بين النماذج الكمية المجردة (البرمجة الخطية) وتطبيقاتها العملية في تحسين القرارات الإنتاجية، وهي منطقة تحتاج إلى مزيد من الدراسات التطبيقية.
- تقدم الدراسة تحليلاً عميقاً لمدى ملاءمة افتراضات البرمجة الخطية (كالخطية واليقينية) للبيئات الإنتاجية الواقعية، مما يساهم في تطوير الإطار النظري لبحوث العمليات.
- توفير مرجعية للباحثين: يمكن أن تكون الدراسة والنتائج التي ستتوصل إليها مرجعاً للباحثين المستقبليين الذين يرغبون في تطوير النموذج أو تطبيقه على قطاعات أخرى (كالخدمية أو الزراعية)، أو دمجها مع أدوات أخرى مثل الذكاء الاصطناعي.

1-5-2 الأهمية التطبيقية :

- تقدم الدراسة حلًا كميًا وعلميًا لمشكلة قرارية أساسية تواجه الإدارة، مما يمكنها من تحقيق عوائد مالية ملموسة (زيادة الأرباح، تخفيض التكاليف) وتحسين كفاءة استخدام مواردها المحدودة (المواد الخام، الوقت، الطاقة).
- توفر الدراسة نموذجاً عملياً وقابلاً للتطبيق يمكن للمنظمات الأخرى في الاستفادة منه كنموذج استرشادي لتحسين عملياتها واتخاذ قراراتها بشكل أكثر موضوعية.
- تزويد المديرين والمخططين الإنتاجيين بأداة دعم قرار(Decision Support Tool) فعالة تعتمد على التحليل الكمي والرياضي، بدلاً من الاعتماد الكلي على الحدس والخبرة الشخصية فقط، مما يزيد من دقة وموثوقية القرارات المتخذة.
- تشجيع تبني الثقافة الكمية والتحليلية القائمة على البيانات في البيئات الصناعية المحلية، والانتقال من أسلوب "إدارة التخمين" إلى "إدارة اليقين" بقدر الإمكان.

1-6 مبررات البحث

يتم إجراء هذه الدراسة استناداً إلى المبررات التالية:

- نظراً لأن الموارد المتاحة لأي منظمة (مالية، بشرية، مادية) هي موارد نادرة ومحدودة، يصبح من الضروري والملح البحث عن الأساليب العلمية التي تضمن استخدام هذه الموارد بأقصى كفاءة ممكنة لتحقيق الأهداف التنظيمية، وتأتي البرمجة الخطية كأحد هذه الأدوات القوية.
- أظهرت الممارسة العملية أن الاعتماد على الأساليب التقليدية في التخطيط واتخاذ القرار (الخبرة، الحدس، التجربة والخطأ) غالباً ما يؤدي إلى نتائج دون المثلى، ويترك مجالاً للهدر وعدم الكفاءة، مما يستدعي الحاجة إلى أدوات أكثر دقة وموثوقية.
- البيئة التنافسية المتزايدة: في ظل البيئة التنافسية العالمية والمحلية الشديدة، لم يعد هناك متسع للأخطاء أو القرارات غير المدروسة. أصبح تحقيق الأفضلية التنافسية (Competitive Advantage) مرهوناً بقدرة المنظمة على تحسين عملياتها الداخلية وتخفيض تكاليفها، وهو ما تهدف هذه الدراسة إلى المساهمة في تحقيقه.
- توفر برامج حاسوبية سهلة الاستخدام (مثل Solver في Excel) يمكنها حل نماذج البرمجة الخطية المعقدة في ثوانٍ، مما يجعل تطبيق هذه النماذج أكثر جدوى وسهولة مما كان عليه في الماضي.
- يمكن تطبيق البرمجة الخطية على مجموعة واسعة من المشكلات الإنتاجية (المزيج المنتج، النقل، تخصيص العمالة، إدارة المخزون) بتكلفة منخفضة نسبياً مقارنة بالفوائد والعوائد الكبيرة المتوقعة منها، مما يجعلها استثماراً مجدياً للمنظمات.

1-7 حدود البحث

الحدود المكانية: الشركة العربية المتحدة للصناعة (الدبس)

الحدود الزمنية: بيانات الشركة لعام 2023.

الحدود الموضوعية: يقتصر البحث على استخدام تقنية واحدة فقط من تقنيات بحوث العمليات، وهي تقنية البرمجة الخطية.

1-8 منهج البحث والأدوات المستخدمة

1-8-1 منهجية البحث(Research Methodology)

اعتمدت هذه الدراسة على مزيج من المناهج لضمان التكامل بين العمق النظري والدقة التطبيقية، وذلك كما يلي:

- المنهج الوصفي التحليلي:(Descriptive Analytical Method) في جمع وتوصيف البيانات المتعلقة بالوضع الراهن للشركة. يشمل ذلك وصفاً دقيقاً للعمليات الإنتاجية، وتدفق المواد، والموارد المتاحة، والقيود المفروضة، وأساليب اتخاذ القرار الحالية.
- منهج دراسة الحالة:(Case Study Method) يتم تطبيق الدراسة بشكل معمق على وحدة تحليل واحدة هي "شركة الدبس للصناعات النسيجية". يسمح هذا المنهج بالتحليل التفصيلي والشامل للمشكلة في سياقها الطبيعي الواقعي، دون التعميم، مما يوفر رؤى ثرية حول إمكانية وفعالية تطبيق نموذج البرمجة الخطية في بيئة حقيقية.
- المنهج التطبيقي منهج النمذجة الرياضية:(Mathematical Modeling) هذا هو المنهج الأساسي للدراسة، يتم من خلاله تحويل المشكلة العملية إلى نموذج رياضي مجرد (نموذج برمجة خطية) يتكون من متغيرات قرار، ودالة هدف، وقيود. ثم يتم اشتقاق حل لهذا النموذج باستخدام الخوارزميات الرياضية المناسبة.

1-8-2 أنواع وأدوات جمع البيانات

لضمان جمع بيانات دقيقة وموثوقة، تم استخدام الأدوات التالية:

1. البيانات الثانوية:(Secondary Data)

- المصدر: السجلات والمحفوظات الداخلية للشركة.
- نوع البيانات: البيانات التاريخية لعام 2023 وتشمل:
- البيانات المالية: تكاليف الإنتاج، أسعار البيع، هوامش الربح.
- بيانات الإنتاج: كميات الإنتاج الفعلية، أوقات التشغيل، أوقات التوقف.
- بيانات المخزون: مستويات الخامات، معدلات الاستهلاك.
- بيانات الموارد: الطاقات الإنتاجية الآلات النظرية والفعلية، عدد عمالة الإنتاج.

2. البيانات الأولية:(Primary Data)

- المصدر: المديرين والمختصين في الشركة (مدير الإنتاج، مدير التخطيط، مشرفو الإنتاج).

- نوع البيانات: بيانات نوعية وكمية لا يمكن الحصول عليها من السجلات، مثل:
- السياسات الإدارية غير الموثقة.
- التحديات العملية غير الملموسة.
- معلومات حول القيود المستقبلية أو خطط التوسع.
- أدوات الجمع:
- المقابلات الشخصية لإجراء حوار معمق مع المختصين لفهم طبيعة المشكلة وإطارها العام.
- الملاحظة :(Observation) لمراقبة العمليات الإنتاجية على أرض الواقع والتحقق من دقة البيانات المسجلة.

3. أدوات التحليل(Data Analysis Tools)

تم تحليل البيانات باستخدام مجموعة من الأدوات الكمية والنوعية:

- التحليل النوعي :(Qualitative Analysis) تم استخدام أسلوب التحليل الموضوعي (Thematic Analysis)لتحليل النتائج المستخلصة من المقابلات والملاحظة، لتحديد الأنماط والموضوعات الرئيسية المتعلقة بتحديات اتخاذ القرار.
- التحليل الكمي والرياضي: (Quantitative & Mathematical Analysis) أداة Solver في برنامج Excel وهي الأداة الرئيسية التي سيتم استخدامها لحل نموذج البرمجة الخطية وإيجاد الحل الأمثل. ستقوم هذه الأداة أيضاً بتوليد تقرير الحساسية (Sensitivity Report) الذي يحلل مدى تأثر الحل الأمثل بالتغيرات في معطيات النموذج.

1-9 الدراسات السابقة

1-9-1 الدراسات الأجنبية

1. **دراسة Zhang et al. (2024)** – الذكاء الصناعي التكاملي

الدراسة بعنوان

A hybrid AI–LP framework for adaptive production planning in industry environments

- **المجلة:** International Journal of Production Research
- **البلد:** الصين
- **المنهجية:** نموذج هجين متكامل يجمع بين خوارزميات التعلم العميق (Deep Learning) ونماذج البرمجة الخطية الديناميكية مع آليات تحديث تلقائية.
- **العينة:** 5 مصانع ذكية في قطاع السيارات
- ملخص الدراسة:

تركز هذه الورقة البحثية على تطوير إطار عمل لتخطيط الإنتاج في بيئات "الصناعة (التي تتميز بالأتمتة واستخدام الحواسيب والروبوتات، ولكن قبل الوصول إلى مستوى التشغيل الآلي الكامل للصناعة).

المشكلة: صعوبة إنشاء خطط إنتاج دقيقة ومثالية في وقت قصير بسبب تعقيد العمليات وعدم التيقن من البيانات (مثل أوقات التنفيذ الفعلية).

الحل المقترح: إطار عمل هجين (Hybrid Framework) يجمع بين:

- الذكاء الاصطناعي (AI): وتحديداً شبكات البايزين (Bayesian Networks). وظيفتها هي التكيف والتعلّم من بيانات الإنتاج السابقة والحالية. تقوم هذه الشبكات بالتنبؤ بأداء الإنتاج (مثل أوقات اكتمال المهام الفعلية) وتحديث هذه التوقعات باستمرار بناءً على البيانات الواردة من ورشة العمل.
- البرمجة الخطية (LP): وتحديداً نمذجة الهدف – (Mixed-Integer Linear Programming MILP). وظيفتها هي التحسين. تستخدم نموذج MILP لإنشاء خطة إنتاج أولية مثلى بناءً على الأهداف (مثل تقليل وقت الإنجاز الكلي) والقيود المتاحة. ثم يتم تحديث هذا النموذج وتحسينه باستخدام التوقعات الأكثر دقة القادمة من شبكات البايزين.

النتيجة: نظام تخطيط إنتاج تكيفي يستطيع مراجعة خططه وتحسينها بشكل ديناميكي استجابة للاضطرابات والتغيرات في أرضية المصنع، مما يؤدي إلى زيادة الكفاءة والدقة:

- ✓ تحسين دقة التنبؤ بالطلب بنسبة 40.2%
- ✓ خفض تكاليف المخزون بنسبة 28.7%
- ✓ زيادة كفاءة خط الإنتاج بنسبة 32.4%

· **الهدف الرئيسي:** تطوير إطار عمل تكيفي ذكي للتخطيط الإنتاجي في البيئات الصناعية

· **الإسهام الرئيسي:** تطوير أول نموذج برمجة خطية يتكامل مع أنظمة الحوسبة الطرفية (Edge Computing) للتحسين في الوقت الحقيقي.

· **نقاط القوة:**

التكامل الفعال بين الذكاء الاصطناعي والتحسين الأمثل والقدرة على التكيف مع التغيرات الديناميكية.

· **نقاط الضعف:**

يحتاج إلى بنية تحتية تقنية متطورة إضافةً إلى تعقيد في التطبيق والتنفيذ.

2. دراسة – Müller et al. (2023) – الاستدامة المتقدمة

الدراسة بعنوان

"Circular production planning using multi-objective linear programming with dynamic carbon constraints"

· **المجلة:** Journal of Cleaner Production

· **البلد:** ألمانيا

قدمت الدراسة نموذجاً مبتكراً يجمع بين البرمجة الخطية متعددة الأهداف وتقييم دورة الحياة الكامل لتحقيق الإنتاج الدائري المستدام. اعتمدت الدراسة على تطوير نموذج رياضي متكامل ثلاثي الأبعاد (اقتصادي، بيئي، اجتماعي) مع قيود كربونية ديناميكية تتغير زمنياً وفقاً لمواسم الإنتاج والقدرة الاستيعابية البيئية. تم تطبيق النموذج على 12 منشأة صناعية في قطاع البلاستيك الألماني، وأظهرت النتائج تحسناً ملحوظاً على كافة الأصعدة مما يؤكد

إمكانية التكامل بين الاستدامة والربحية. توفر هذه الدراسة إطاراً عملياً يمكن للقطاعات الصناعية المختلفة الاعتماد عليه في رحلتها نحو التحول الأخضر، رغم التحديات المتعلقة بدقة البيانات وقياس الانبعاثات غير المباشرة.

العينة: 12 منشأة صناعية في قطاع البلاستيك

- **النتائج:**
- تحقيق الحياد الكربوني في 89% من عمليات الإنتاج
- خفض انبعاثات CO_2 بنسبة 42.3%
- الحفاظ على هوامش ربح تنافسية (هامش ربح 18.7%)
- **الهدف الرئيسي:** تطوير نموذج إنتاج دائري متكامل مع متطلبات الاستدامة
- **الإسهام الرئيسي:** أول نموذج LP يدمج تقييم دورة الحياة الكاملة مع تحسين العمليات والبعد البيئي.

نقاط القوة:

- النهج الشامل للاستدامة
- التوازن بين الأبعاد الاقتصادية والبيئية

- **نقاط الضعف:**
- صعوبة في قياس بعض المؤشرات البيئية
- يحتاج إلى بيانات بيئية دقيقة

3. دراسة – Chen & Wang (2023) سلاسل التوريد الذكية

عنوان الدراسة:

"IoT-enabled linear programming for real-time supply chain optimization in smart manufacturing"

- **المجلة:** Computers & Industrial Engineering
- **البلد:** الولايات المتحدة الأمريكية

قدمت الدراسة نظاماً متكاملاً يجمع بين مستشعرات إنترنت الأشياء (IoT) ونماذج البرمجة الخطية لتحسين سلاسل التوريد في الوقت الفعلي. تم تطبيق النظام على 8 سلاسل توريد في قطاع الإلكترونيات، تميزت الدراسة بتطوير منصة قادرة على معالجة أكثر من مليون نقطة بيانات يومياً، مما يوفر تحديثات فورية للنموذج الرياضي كل 5 دقائق. هذا النظام يُمثل إطاراً عملياً للتكامل بين التقنيات الحديثة وأدوات التحسين الكلاسيكية، ويساهم بشكل فعال في تحسين كفاءة العمليات وخفض التكاليف في بيئات التصنيع الذكية.

- **النتائج:**
  - تحسين دقة التتبع بنسبة 35.8%
  - تقليل الفاقد بنسبة 22.4%
  - تحسين وقت الاستجابة بنسبة 41.2%
- **الهدف الرئيسي:** تطوير نظام متكامل لإدارة سلسلة التوريد في الوقت الفعلي
- **الإسهام الرئيسي:** تطوير أول منصة LP قادرة على معالجة أكثر من مليون نقطة بيانات يومياً.
- **نقاط القوة:**
  - المرونة العالية في التطبيق
  - الدقة في جمع البيانات
- **نقاط الضعف:**
  - تكلفة عالية للبنية التحتية
  - تحديات في الأمان السيبراني

4. دراسة – Johnson et al. (2022) المرونة التشغيلية

- **الدراسة بعنوان:**

"Resilient production scheduling using robust linear programming under uncertainty conditions"

- **المجلة:** Operations Research Perspectives

- **البلد:** المملكة المتحدة

قدمت الدراسة نموذجاً مبتكراً للبرمجة الخطية المتينة لتعزيز مرونة جدولة الإنتاج في ظل ظروف عدم اليقين. اعتمدت الدراسة على تطوير إطار رياضي متين لمعالجة التقلبات في الطلب وتوفر المواد وأعطال المعدات، توفر هذه الدراسة أداة عملية للشركات للتعامل مع التحديات الديناميكية في بيئات الإنتاج الحديثة، مع تحقيق توازن بين الكفاءة التشغيلية والقدرة على التكيف السريع.

- **العينة:** 15 مصنعاً في قطاع الأدوية

- **النتائج:**

  - زيادة الموثوقية التشغيلية بنسبة 45.6%
  - خفض وقت التعافي من 14 إلى 5 أيام
  - تحسين كفاءة الموارد بنسبة 33.8%

- **الهدف الرئيسي:** تطوير إطار عمل مرن لإدارة الإنتاج خلال الأزمات

- **الإسهام الرئيسي:** نموذج برمجة خطية أولي قادر على التعامل مع أكثر من خمسين سيناريو عدم يقين.

نقاط القوة:

  - الفعالية في ظل الظروف غير المستقرة
  - المرونة في مواجهة الأزمات

- **نقاط الضعف:**

  - تعقيد في النمذجة
  - يحتاج إلى بيانات تاريخية دقيقة.

1-9-2 الدراسات العربية

1. دراسة العبدالله والحمادي (2024)

عنوان الدراسة: "تحسين كفاءة سلسلة التوريد في الصناعة السعودية باستخدام نماذج البرمجة الخطية المتقدمة"

- **المجلة:** مجلة الإدارة والاقتصاد – جامعة الملك سعود.

- **البلد:** المملكة العربية السعودية.
- **المنهجية:** نموذج LP متقدم لتخصيص الموارد في الصناعات البتروكيماوية مع قيود لوجستية.
- **العينة:** 4 شركات بتروكيماوية سعودية.
- **النتائج:**
  - تحسين كفاءة التوزيع بنسبة 30.4%
  - خفض التكاليف التشغيلية بنسبة 22.8%
  - زيادة رضا العملاء بنسبة 18.6%
- الأداة: Excel Solver + LINGO 19.0 + SAP ERP
- **الهدف الرئيسي:** تطوير نموذج ملائم للبيئة الصناعية السعودية
- الإسهام الرئيسي: أول نموذج LP متكامل مع أنظمة ERP السعودية.

نقاط القوة:

- التطبيق على بيئة عربية حقيقية
- الملاءمة للظروف المحلية

- **نقاط الضعف:**
  - محدودية في التعميم
  - احتياج لمزيد من البيانات

2. دراسة أبو زيد ومرعي (2023) – التطبيقات الزراعية

عنوان الدراسة: "تطبيق البرمجة الخطية المتقدمة لتحسين القرارات الإنتاجية في المزارع الذكية بالوطن العربي"

- **المجلة:** المجلة العربية للعلوم الزراعية – جامعة القاهرة
- **البلد:** مصر
- **المنهجية:** نموذج LP متعدد الأهداف للزراعة المستدامة مع مراعاة ندرة المياه.
- العينة: 12 مزرعة ذكية في 3 دول عربية.
- **النتائج:**
  - زيادة الإنتاجية بنسبة 35.2%
  - ترشيد استهلاك المياه بنسبة 28.7%
  - تحسين العائد الاقتصادي بنسبة 24.3%

- **الهدف الرئيسي:** تطوير نموذج مستدام للزراعة الذكية في المنطقة العربية.
- **الإسهام الرئيسي:** أول نموذج LP عربي متكامل للزراعة الذكي.
- **نقاط القوة:**
  - التكامل مع التقنيات الحديثة
  - التركيز على الاستدامة
- **نقاط الضعف:**
  - تكلفة عالية للتطبيق
  - احتياج لبنية تحتية متطورة

3. دراسة الخالدي والنجار (2022) – الصناعات التحويلية

- **عنوان الدراسة:** "تحسين القرارات الإنتاجية في الصناعات الصغيرة والمتوسطة باستخدام نماذج البرمجة الخطية المبسطة"
- **المجلة:** مجلة الهندسة والإدارة الصناعية – جامعة العلوم والتكنولوجيا الأردنية.
- **البلد:** الأردن
- **المنهجية:** نموذج مبسط للبرمجة الخطية مخصص للمنشآت الصغيرة
- **العينة:** 25 منشأة صغيرة ومتوسطة في الأردن
- **النتائج:**
  - زيادة الأرباح بنسبة 25.6%
  - تحسين استخدام الطاقة بنسبة 20.4%
  - خفض الهدر بنسبة 17.8%
- الأداة: Excel Solver + Custom Dashboard + Mobile Application
- **الهدف الرئيسي:** تطوير حلول عملية ميسورة التكلفة للمنشآت الصغيرة
- **الإسهام الرئيسي:** أول تطبيق LP mobile-friendly للمنشآت الصغيرة في الوطن العربي

نقاط القوة:

- البساطة وسهولة التطبيق
- الملاءمة للمنشآت الصغيرة

- **نقاط الضعف:**

· محدودية في معالجة المشكلات المعقدة

· احتياج للتطوير المستمر

1-9-3 جدول تحليلي شامل للدراسات الحديثة

الدراسة	السنة	البلد	المجال	التحسن
Zhang et al	2024	الصين	الذكاء الصناعي التكاملي	40% دقة
Muller	2023	ألمانيا	الاستدامة المتقدمة	حياد كربوني
Chen & Wang	2023	USA	سلاسل التوريد الذكية	35% تتبع
العبدالله والحامدي	2024	السعودية	سلاسل التوريد البتروكيماويات	30% كفاءة
أبو زيد ومرعي	2023	مصر	التطبيقات الزراعية الذكية	35% إنتاجية
Johnson	2022	UK	المرونة التشغيلية (صناعة الأدوية)	45% موثوقية
الخالدي والنجار	2022	الأردن	تحسين القرارات (الصناعات صغيرة والمتوسطة)	25% أرباح

1-9-4 الجديد في الدراسة:

لدراسة الحالية إضافة نوعية في مجال تطبيقات البرمجة الخطية في القرارات الإنتاجية من خلال عدة جوانب مبتكرة:

- الإضافات النظرية والعلمية:

·تطوير النموذج بحيث يظهر جميع القيود ومتغيرات القرار.

·صياغة إطار رياضي متكامل يتضمن سرعة الاستجابة للمتغيرات.

·تحديث النماذج الرياضية لمعالجة قيود البيئات الإنتاجية بشكل خاص

- الإضافات التطبيقية:

·تطبيق عملي على شركة الدبس للصناعات النسيجية في سوريا مع مراعاة الخصوصية في القيود والموارد

·دمج تقنيات الصناعة مع النماذج الكلاسيكية للبرمجة الخطية.

·الاستفادة من أدوات البرمجة الخطية في سرعة الاستجابة للمتغيرات الخارجية في العرض والطلب.

- الإضافات المنهجية:

·استخدام منهجية متعددة المراحل تجمع بين التحليل النوعي والكمي

·توظيف أدوات البرمجة الخطية لمحاكاة السيناريوهات المختلفة.

·تبني منهجية التكيف الديناميكي للنماذج مع المتغيرات البيئية.

- الابتكار في المعالجة:

·معالجة مشاكل التخطيط في ظل ظروف عدم اليقين الخاصة بالأسواق.

·دمج العوامل البشرية والتنظيمية في النماذج الرياضية.

·تطوير آليات مرنة للتكيف مع التغيرات السريعة في السوق.

- المساهمات العملية:

·تقديم حلول قابلة للتطبيق لتطوير صناعة القرارات الإنتاجية

·تطوير أدوات قرار ميسورة التكلفة تناسب القدرات التقنية المحلية

·إنشاء قاعدة معارف لتطبيقات البرمجة الخطية في البيئات الصناعية السورية.

- الابتكار التقني:

واجهات مستخدم مبسطة لنماذج البرمجة الخطية

تصميم أنظمة دعم قرار متكاملة للبيئات الصناعية السورية.

- القيمة المضافة للميدان:

·سد فجوة تطبيقية بين النظريات العالمية والواقع المحلي

·تقديم نماذج عملية قابلة للتعميم على القطاعات المماثلة

- التميز في النتائج:

·تطوير مؤشرات أداء تراعي الخصوصية المحلية

·إثبات فعالية التكيف بين النماذج العالمية والبيئات المحلية

- الأثر المتوقع:

·تحسين جودة القرارات الإنتاجية بنسبة 35–40% بالحد الأدنى.

هذه الإضافات تجعل من الدراسة الحالية إسهاماً مهماً في تطوير حقل تطبيقات البرمجة الخطية، وتقدم حلاً عملياً للتحديات الخاصة التي تواجه القطاع الصناعي في سورية.

الفصل الثاني: الإطار النظري

البرمجة الخطية كقلب نابض لنظم دعم القرار الإنتاجي الذكية في العصر الرقمي

2-1 المقدمة

يشكل الإطار النظري للبرمجة الخطية أساساً متيناً لتحليل وتطوير نماذج اتخاذ القرارات الأمثل في ظل موارد محدودة. يقدم هذا الفصل رؤية شاملة للتطورات النظرية والأسس الرياضية التي تقوم عليها البرمجة الخطية الحديثة، مع التركيز على التطورات المعاصرة في الخوارزميات والتطبيقات المتقدمة والمقارنة بين مختلف أنواع البرمجة.

2-2 الأسس الرياضية للبرمجة الخطية: (الجبري، خالد 2023)

2-2-1 التعريف والصياغة الرياضية العامة

نموذج تحسين رياضي يُصاغ على شكل تعظيم أو تقليل دالة هدف خطية، تخضع لقيد مجموعة من المعادلات أو المتباينات الخطية، بافتراض أن جميع معاملات النموذج (معاملات دالة الهدف، الطرف الأيمن للقيود، ومعاملات المصفوفة التقنية) قيمها معروفة بدقة وثابتة

يمكن تمثيل مشكلة البرمجة الخطية القياسية بالشكل التالي:

تعظيم أو تقليل الدالة:

$$Z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j$$

بشرط:

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \leq b_i \quad (i = 1, 2, ..., m)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, ..., n)$$

(Hillier & Lieberman, 2021). حيث تمثل c_j معاملات دالة الهدف، وa_{ij} معاملات القيود، وb_i الحدود الثابتة للقيود

2-2-2 النظريات الأساسية (Zhang, 2024)

2-2-2-1 نظرية الأساس المحدد

تمثل نظرية البرمجة الخطية حجر الأساس في تحسين العمليات الإنتاجية، حيث تنص على أن الحل الأمثل لأي برمجة خطية يقع عند إحدى النقاط الركنية للمنطقة المجدية – وهي مجموعة محدبة تتشكل من تقاطع جميع القيود الخطية. هذا المبدأ الجوهري يُبرر علمياً استخدام خوارزمية السمبلكس التي تنتقل بذكاء بين النقاط الركنية، مما يحول عملية البحث من اختبار عدد لا نهائي من الاحتمالات إلى فحص عدد محدود من النقاط المثلى محتملة. عملياً، يمكن من خلال هذه النظرية تحديد طبيعة الحل بدقة سواء كان فريداً أو متعدداً أو غير محدود، كما تقدم ضماناً رياضياً لوجود الحل الأمثل شريطة أن تكون المنطقة المجدية غير فارغة ومحدبة. جدير بالذكر أن هذه النظرية لا تنطبق على المشاكل غير المحدودة أو غير المجدية، لكنها تبقى أداة حيوية في تصميم أنظمة التخطيط الإنتاجي الفعالة، حيث تمكن المديرين من اتخاذ قرارات بناء على تحليل رياضي متين بدلاً من الاعتماد على التخمين أو التجربة.

2-2-2-2 نظرية الازدواجية في البرمجة الخطية

المفهوم الأساسي: لكل مشكلة برمجة خطية (أصلية) توجد مشكلة مقابلة تسمى "المشكلة الثنائية" التي ترتبط معها بعلاقات رياضية عميقة.

الصياغة الرياضية:

- المشكلة الأصلية: تعظيم Max تحت شروط $Ax \leq b,\ x \geq 0$
- المشكلة الثنائية: تقليل Min تحت شروط $A^Ty \geq c,\ y \geq 0$

النظريات الرئيسية:

1. نظرية الضعف $c^Tx \leq b^Ty$:لأي حلين مجديين
2. نظرية القوة: إذا كان هناك حل أمثل لأحدى المشكلتين، فإن الأخرى لها حل أمثل وقيمتا دالتي الهدف متساويتان.
3. نظرية الفجوة التكميلية: شروط تربط بين المتغيرات الأصلية والثنائية

التفسير الاقتصادي :تمثل المتغيرات الثنائية "الأسعار الظلية" التي تعكس القيمة الحدية للموارد.

التطبيقات العملية:

- التحليل الحساسي ودراسة تأثير تغير المعطيات
- خوارزميات حل أكثر كفاءة
- تحليل التكاليف والفوائد الحدية

- اتخاذ القرارات الاقتصادية والإنتاجية

الفوائد:

- توفير أدوات للتحقق من الحلول
- تقديم رؤى اقتصادية قيمة
- تمكين حل المشكلات المعقدة بطرق أكثر كفاءة
- فهم أعمق للعلاقات بين متغيرات المشكلة

نظرية الازدواجية تمثل جسراً بين الجانب النظري الرياضي والتطبيقات العملية في البرمجة الخطية، وتوفر أداة قوية لتحليل وفهم نماذج اتخاذ القرار.

2-2-3 نظرية الفجوة التكميلية

مفهوم الجوهري: هي شرط أساسي يربط بين المشكلة الأصلية والمسألة الثنائية في البرمجة الخطية، وتمثل معيارًا ضروريًا وكافيًا.

الصياغة الرياضية:

- الشرط الأول $y^T(b - Ax) = 0$
- الشرط الثاني $x^T(A^Ty - c) = 0$

التفسير العملي:

- إذا كان المورد غير مستخدم بالكامل (فائض موجب) فإن سعره الظلي يكون صفرًا.
- إذا كان السعر الظلي موجبًا، فإن المورد مستخدم بالكامل (لا يوجد فائض).
- تنطبق القاعدة ذاتها على المتغيرات الأصلية والقيود الثنائية.

الأهمية والتطبيقات:

1. **التحقق من الأمثلية:** تأكيد أن الحل المقترح هو لكلا المشكلتين.
2. **التفسير الاقتصادي:** فهم القيم الحدية للموارد والقيود
3. **خوارزميات الحل:** أساسية في طرق السمبلكس ونقاط الداخلية
4. **تحليل الحساسية:** دراسة تأثير التغيرات في معطيات المشكلة.

الشروط العملية:

- لكل قيد في المشكلة الأصلية، إما أن يكون الفائض صفرًا أو السعر الظلي صفرًا.
- لكل قيد في المشكلة الثنائية، إما أن يكون الفائض صفرًا أو المتغير الأصلي صفرًا.

القيمة المضافة:

- توفر طريقة عملية للتحقق من الحلول.
- تعمق الفهم للعلاقات بين المتغيرات الأصلية والثنائية.
- تسهل عملية اتخاذ القرارات في التطبيقات الاقتصادية والإدارية.

الخلاصة :نظرية الفجوة التكميلية تمثل حجر الزاوية في فهم العلاقة بين المشكلة الأصلية والثنائية، وتوفر أداة قوية للتحليل والتحقق من الحلول المثلى في البرمجة الخطية.

2-2-3 التطورات الخوارزمية الحديثة في البرمجة الخطية: (الجبري، خالد 2023)

أولاً: خوارزميات السمبلكس المتطورة

- **السمبلكس المزدوج:(Dual Simplex)**
  - يعالج المشاكل ذات القيود الكثيرة بكفاءة عالية.
  - ينطلق من حل غير مجدي ويتحسن تدريجياً نحو المجدية والأمثلية.
  - مناسب بشكل خاص للتحليل الحساسية وإضافة قيود جديدة.
- **السمبلكس المنقح:(Revised Simplex)**
  - يقلل العمليات الحسابية عبر تحديث المصفوفات بشكل انتقائي
  - يحسن كفاءة الذاكرة للحالات الكبيرة
  - يعتمد على تحديثات جزئية للعكس بدلاً من إعادة حساب كامل

ثانياً: طرق النقاط الداخلية

- **خوارزميات المسار المركزي:**
  - تتقارب في وقت متعدد الحدود(Polynomial Time)
  - أداء أفضل للمشاكل واسعة النطاق
  - تعمل ضمن المنطقة المجدية بدلاً من الحواف

ثالثاً: تقنيات التجزئة والمستوى

- **تجزئة:Dantzig-Wolfe**
  - تفكك المشكلة إلى مشاكل فرعية أصغر
  - مناسبة للمشاكل ذات البنية الخاصة
  - تجمع الحلول عبر متغيرات عطف محددة

- **تجزئة:Benders**
  - تفصل بين المتغيرات "الصعبة" و"السهلة"
  - تضيف قيود قطعiteratively
  - فعالة للمشاكل ذات الطبيعة الثنائية

رابعاً: الحوسبة المتوازية والمتوزعة

- **معالجة متوازية للسمبلكس:**
  - توزيع العمليات الحسابية على أنوية متعددة
  - معالجة متزامنة لأعمدة أو صفوف متعددة
  - تسريع عمليات تحديث الأساس
- **حوسبة:GPU**
  - استغلال المعالجات الرسومية للحسابات المكثفة
  - أداء ملحوظ في عمليات المصفوفات
  - مناسبة للتطبيقات ذات البيانات الضخمة

خامساً: التكامل مع الذكاء الاصطناعي

- **اختيار المحور بالتعلم الآلي:**
  - نماذج تنبؤية لاختيار متغيرات الدخول والخروج
  - تقليل عدد التكرارات عبر توجيه ذكي
  - تكييف استراتيجية البحث بناءً على خصائص المشكلة
- **التحسين الهجين:**
  - دمج خوارزميات البرمجة الخطية مع الشبكات العصبية
  - استخدام التعلم المعزز لإدارة استراتيجيات الحل
  - نماذج تنبؤية للتهيئة الأولية

سادساً: معالجة المشاكل الخاصة

- **البرمجة الخطية العشوائية:**
  - خوارزميات تقليل التباين
  - تقنيات أخذ العينات الذكية
  - معالجة عدم اليقين عبر سيناريوهات متعددة

- **البرمجة الخطية القوية:**
  - methods تحويلية للمشاكل القوية
  - تقنيات تقريب متقدمة
  - موازنة بين القوة والتعقيد الحسابي

سابعاً: أدوات وبرمجيات متطورة

- **مكتبات متخصصة:**
  - Gurobi, CPLEX, Xpress للاحتياجات المتقدمة
  - أدوات مفتوحة المصدر مثلSCIP, COIN-OR
  - تكامل مع لغات البرمجة مثلPython, Julia
- **منصات سحابية:**
  - حلول قابلة للتطوير حسب الطلب
  - معالجة موزعة للمشاكل الضخمة
  - واجهات برمجية سهلة الاستخدام

2-2-4 ميزات وعيوب البرمجة الخطية التقليدية

المميزات:

- الدقة والموضوعية (Precision and Objectivity): تقدم البرمجة الخطية حلًّا كميًا دقيقًا وقابلًا للقياس، يعتمد على معطيات رياضية صارمة، مما يحد بشكل كبير من دور التخمين والذاتية الذي قد يطبع الأساليب التقليدية.
- القدرة على محاكاة التعقيد (Handling Complexity): تسمح هذه الطريقة بمعالجة عدد كبير من المتغيرات (المنتجات) والقيود (المواد الخام، ساعات العمل، الطلب) (في آن واحد)، وهو ما يعجز عنه التخطيط اليدوي الذي غالبًا ما يبسط الواقع أو يتجاهل بعض التفاعلات بين المتغيرات.
- تحليل الحساسية (Sensitivity Analysis): تمثل هذه الميزة إحدى الركائز الأساسية لقوة البرمجة الخطية، حيث تسمح بدراسة مدى تأثر الحل الأمثل بالتغيرات في معطيات النموذج (مثل تقلبات أسعار المواد الأولية أو تغير الطلب على منتج معين). وهذا يوفر لأصحاب القرار رؤية استباقية ومرنة، وهو غائبٌ تمامًا في معظم الأساليب التقليدية.

- الشفافية والقابلية للتدقيق (Transparency and Verifiability): يتم بناء النموذج بناءً على معادلات وقيود واضحة ومحددة. وهذا يجعل عملية اتخاذ القرار شفافة ويمكن تدقيقها ومناقشتها علميًا، على عكس القرارات الحدسية التي قد يصعب تبريرها أو تتبع منطقها.

العيوب:

- عدم مراعاة عدم اليقين في المعطيات
- قد تؤدي إلى حلول غير عملية في الواقع
- حساسة للتغيرات في المعطيات

2-3 البرمجة الخطية في ظل عدم اليقين

2-3-1 البرمجة الخطية العشوائية(Stochastic Linear Programming)

المفهوم الأساسي

تتعامل البرمجة الخطية العشوائية مع عدم اليقين عبر نمذجة المعطيات غير المؤكدة كمتغيرات عشوائية ذات توزيعات احتمالية معروفة، الهدف تعظيم القيمة المتوقعة للأداء أو تقليل المخاطر.

الصياغة الرياضية

$$\min \left\{ c^T x + \mathbb{E}[Q(x, \xi)] : Ax = b, x \geq 0 \right\}$$

حيث:

- $Q(x, \xi) = \min\{q^T y : Wy = h - Tx, y \geq 0\}$
- $\xi = (q, T, h)$ تمثل المتغيرات العشوائية

تقنيات الحل

- **تقنية تقليل التباين** :تحسين دقة المحاكاة العشوائية
- **أخذ العينات الذكية** :استخدام طرق مثلLatin Hypercube Sampling
- **تحلل المشكلة** :تطبيق خوارزمياتL-shaped decomposition

التطبيقات

- تخطيط الإنتاج تحت طلب غير مؤكد
- إدارة المحافظ الاستثمارية في الأسواق المالية
- تخطيط الطاقة المتجددة مع تذبذب المصادر

المميزات

- نمذجة واقعية لعدم اليقين
- توفر قيمة متوقعة مثلى
- مناسبة للبيانات التاريخية الغنية

العيوب

- تعقيد حسابي عالي
- تتطلب معرفة التوزيعات الاحتمالية
- صعوبة في التحقق من صحة النموذج
-

2-3-2 البرمجة الخطية القوية(Robust Linear Programming)

المفهوم الأساسي

تسعى البرمجة القوية إلى إيجاد حلول تكون مقبولة تحت جميع السيناريوهات المحتملة ضمن مجموعة عدم اليقين المحددة.

النماذج الأساسية

نموذج القاعدة البيضاوية:

$$\min\{c^T x : a_i^T x \leq b_i \, \forall a_i \in U_i\}$$

$$U_i = \{a_i : (a_i - \bar{a}_i)^T R_i^{-1} (a_i - \bar{a}_i) \leq \Omega^2\}$$

نموذج صندوق عدم اليقين

$$U_i = \{a_i : |a_{ij} - \bar{a}_{ij}| \leq \hat{a}_{ij}\}$$

مزايا البرمجة القوية

- لا تتطلب معرفة التوزيعات الاحتمالية
- تحمي من الأسوأ حالاً
- غالباً ما تؤدي إلى مشاكل تحسين محددة

تطبيقات عملية

- تخطيط الشبكات اللوجستية تحت عدم يقين الطلب
- إدارة المخاطر في المشاريع الكبيرة
- تصميم الأنظمة الهندسية ذات المتغيرات غير المؤكدة

المميزات:

- حماية ضد أسوأ السيناريوهات
- لا تتطلب توزيعات احتمالية
- حلول مستقرة وموثوقة

العيوب:

- قد تؤدي إلى حلول متحفظة جداً
- صعوبة تحديد مجموعة عدم اليقين
- تعقيد في النمذجة أحياناً.

2-3-3 البرمجة الخطية الضبابية(Fuzzy Linear Programming)

المفهوم الأساسي

نموذج تحكم يعتمد على نظرية المجموعات الضبابية، حيث يتم تمثيل عدم الدقة في المعطيات عبر دوال انتماء تحدد درجة انتماء العناصر إلى المجموعات الضبابية

الصياغة الرياضية

$$\max\{\mu(x) : x \in X\}$$

حيث $\mu(x)$ دالة الانتماء الضبابية

تقنيات المعالجة

- **طريقة :α-cut** تحويل المشكلة الضبابية إلى مشكلة تقليدية
- **البرمجة بالفرص** :تحسين احتمالية تحقيق الأهداف
- **النماذج الهجينة** :دمج الضبابية مع العشوائية

المميزات:

- مرونة في نمذجة المعطيات النوعية
- سهولة في التعبير عن الخبرة البشرية
- نمذجة أكثر قرباً من التفكير البشري

العيوب:

- ذاتية في تحديد دوال الانتماء
- صعوبة في التحقق الرياضي
- محدودية في التطبيقات الكمية

2-4 معايير الاختيار بين الأساليب

1. طبيعة ووفرة البيانات

- بيانات كمية تاريخية غنية :البرمجة العشوائية
- معطيات نوعية وخبرة :البرمجة الضبابية
- حدود عدم يقين معروفة :البرمجة القوية
- بيانات دقيقة وكاملة :البرمجة التقليدية

2. درجة التحفظ المطلوبة

- أقصى درجات الأمان :البرمجة القوية
- توازن بين المخاطرة والعائد :البرمجة العشوائية
- مرونة وتكيف :البرمجة الضبابية
- كفاءة دون تحفظ :البرمجة التقليدية

المقارنة من حيث المتطلبات

اختيار المنهج المناسب

- **البرمجة العشوائية** :عندما تتوفر بيانات تاريخية كافية
- **البرمجة القوية** :عندما يكون التحفظ مطلوباً
- **البرمجة الضبابية** :عندما تكون المعرفة نوعية وغير كمية

2-5 التطبيقات المتقدمة

في إدارة سلسلة التوريد

- تخطيط المخزون تحت طلب غير مؤكد
- تصميم الشبكات اللوجستية المرنة

- إدارة الموردين في ظل تقلبات الأسعار

في القطاع المالي

- إدارة المحافظ تحت تقلبات السوق
- تقييم المخاطر في المشاريع الاستثمارية
- التخطيط المالي طويل المدى

في الطاقة والبيئة

- تخطيط الطاقة المتجددة مع التقلبات المناخية
- إدارة الموارد المائية تحت عدم يقين الهطول
- التخفيف من آثار التغير المناخي

2-6 التحديات والحلول

2-6-1 التحديات الأساسية

- التعقيد الحسابي للمشاكل الكبيرة
- صعوبة الحصول على بيانات دقيقة
- الموازنة بين التحفظ والكفاءة

2-6-2 الحلول الحديثة

- **خوارزميات تقريبية** :للتعامل مع المشاكل الكبيرة
- **نمذجة متعددة المستويات** :لتحسين دقة النماذج
- **التكامل مع التعلم الآلي** :للتنبؤ بمعطيات عدم اليقين

2-7 الأدوات البرمجية

2-7-1 برمجيات متخصصة

- **AIMMS**: لدعم البرمجة العشوائية والقوية
- **GAMS**: للنمذجة المتقدمة تحت عدم اليقين
- **ROME**: للبرمجة القوية في MATLAB

2-7-2 مكتبات برمجية

- **PySP**: للبرمجة العشوائية في Python
- **RSOME**: للبرمجة القوية في Python
- **FuzzyLP**: للبرمجة الضبابية في R

الخاتمة

تمثل البرمجة الخطية في ظل عدم اليقين مجالاً متقدماً ومتطوراً يوفر أدوات قوية لاتخاذ القرارات في ظل ظروف واقعية. يبقى اختيار المنهج المناسب مرتبطاً بطبيعة المشكلة وجودة البيانات المتاحة ومتطلبات المتخذين للقرار.

الفصل الثالث : القسم العملي

3-1 تمهيد:

يتمحور الهدف الأساسي لهذا الفصل حول دراسة وتطبيق منهجية البرمجة الخطية (Linear Programming) كأداة تحليل كمّي فعّالة لاتخاذ القرارات الإنتاجية في الشركة العربية المتحدة للصناعة (الدبس) ولتعزيز كفاءتها التشغيلية ومواكبة الأساليب العلمية الحديثة في الإدارة. وقد وقع الاختيار على هذه الشركة كحالة دراسية تطبيقية(Case Study) ، وذلك نظرًا لحجم المتغيرات الموجودة والتنوع الكبير في الأصناف المنتجة ضمنها.

3-2 بناء النموذج الرياضي الشركة العربية المتحدة للصناعة (الدبس)

3-2-1 التعريف بالشركة العربية المتحدة للصناعة (الدبس):

تعدّ الشركة العربية المتحدة للصناعة من أقدم وأعرق وأهم الشركات النسيجية المتخصصة بإنتاج الأقمشة الخامية والمقصورة والمصبوغة والمطبوعة في القطر وهي حاصلة على شهادة الأيزو 9002. تبلغ الطاقة الإنتاجية التقريبية للشركة: /24.079/ مليون متر أقمشة خامية، وتبلغ طاقة التجهيز النهائي كما يلي: 5.680 مليون متر أقمشة مقصورة، و3.659 مليون متر أقمشة مصبوغة، و2.863 مليون متر أقمشة مطبوعة.

تأسيس الشركة:

تم تأسيس الشركة بموجب المرسوم التشريعي رقم 2063/ 54 تاريخ 28/6/1954 باسم (الشركة العربية المتحدة للصناعة-المساهمة المغفلة) و أممت جزئيا بتاريخ 20/7/1961

وبتاريخ 11/4/1964 أممت الشركة بالكامل بموجب المرسوم رقم /56/ وصدور المرسوم رقم 2175 تاريخ 31/5/1975 الذي وفق أوضاع الشركة مع المرسوم رقم /18/ لعام 1974.

غايتها: صناعة الغزل والنسيج والصباغة والطباعة والاتجار بها.

3-2-2 الوضع الفني للشركة حتى نهاية عام 2023:

جدول 1: العمالة لكامل عام 2023

البيان	إدارة	خدمات	أقسام مساعدة	أقسام إنتاج	المجموع
المخطط	42	53	121	602	818
الفعلي	36	33	64	334	467

جدول 2: الواقع الإنتاجي بالكمية

نوع المنتج	الوحدة	كمية الإنتاج المخططة	كمية الإنتاج الفعلية	معدل التنفيذ
مجموع الأقمشة	طن	3966	1801	45%
عوادم		89	71	80%

جدول 3: واقع المخزون

اسم السلعة	الوحدة	بتاريخ2023/1/1	بتاريخ 2023/12/31	التغير بالمخزون
مجموع الأقمشة	طن	835	1,136	300
عوادم		14	7	7-

جدول 4: الوضع الفني للآلات الموجودة في الشركة

صالة نسيج أولى -1						
اسم الآلة	العدد	المنشأ	سنة الصنع	استهلاك الطاقة ك واط	الوضع الفني	الطاقة الإنتاجية التصميمية حدفة.د
نول سولزر/110/كامات	21	سويسرا	1982	259	جيد	330
نول سولزر/110/راتير	15	سويسرا	1982	259	جيد	330
نول سولزر/130/ راتير	12	سويسرا	1982		جيد	290
نول سولزر/130/كامات	11	سويسرا	1982	259	جيد	280
نول سولزر/130/ملون	15	سويسرا	1982	259	جيد	280
المجموع /74/						

صالة النسيج 2-						
نول سولزر /p7150/	26	سويسرا	2003	140	جيد	440
نول سولزر /p7150/	2	سويسرا	2003	140	متوقف	440
المجموع /28/						
صالة النسيج 3-						
نول /110/انش	8	سويسرا	1975	720	وسط	240
نول /130/انش عادي	92	سويسرا	1975	720	وسط	240
نول /130/انش مزدوج	25	سويسرا	1975	720	وسط	240
نول /153/انش	19	سويسرا	1975	720	وسط	240
المجموع /144/						

قسم تحضيرات النسيج							
اسم الآلة	العدد	المنشأ	سنة الصنع	استهلاك الطاقة ك واط	الوضع الفني	الطاقة الإنتاجية التصميمية حدفة.د	العرض cm
منشاية ليزونا	1	إنكلترا	1974	-	منسقة	30	260
منشاية ببنجر	1	ألمانيا	1999	215	جيد	125	272
منشاية سوكر	1	ألمانيا	1982	165	دون وسط	165	
مسداية ليزونا	1	إنكلترا	1974		منسقة	300	
مسداية ببنجر	1	سويسرا	1994	99	جيد	1200	230
مسداية سلافورست	1	ألمانيا	1982	88	دون وسط	1000	240
مسداية شقاقة	1	إيطاليا	2005	88	جيد	250	300

المصبغة						
اسم الآلة	العدد	المنشأ	سنة الصنع	استهلاك الطاقة ك واط	الوضع الفني	الطاقة الإنتاجية التصميمية م.د
آلة المطبعة بوزر	1	سويسرا	2003	190	جيد	80
خط بياض باركس	1	إنكلترا	1998	102	فوق وسط	110
رام بروكنر	1	المانيا	1998	152	جيد	80
اللماعة كوسترز	1	المانيا	2002	185	جيد	30
رام كرانتس	1	المانيا	1969		جيد	17
ضد الانكماش	1	إيطاليا	2002	25	تركيب حرام	75
كلندر(كوارنيري)	1	إيطاليا	2003	148	جيد	80
رام بابكوك	1	المانيا	1998	170	جيد	80
رام الزيت(مونفورتس)	1	المانيا	1976	100	دون وسط	100
جيكر(MCS)	3	إيطاليا	2001	15	جيد	150
جيكر(MCS) ضغط عالي	1	إيطاليا	2001	17	جيد	150
فولار كوسترز	1	المانيا	2001	50	جيد	60
سلندرات تجفيف مولر	1	المانيا	1958		دون وسط	40
سلندرات تجفيف مونفورتس	1	المانيا	1975		دون وسط	40

الغسالة ببنجر	1	سويسرا	2003	77	جيد	40
جيكر محلي	1	سورية	1999	5,5	جيد	100
المبخرة	1	إيطاليا	2004	44	جيد	45
السنفرة	1	إيطاليا	2005	23	جيد	30
نفاشة مني منشز	2	المانيا	1985	16	دون وسط	25
نفاشة فرايزر مولر	1	المانيا	1963	14	دون وسط	15

مصبغة الخيط

اسم الآلة	العدد	المنشأ	سنة الصنع	الوضع الفني	الطاقة الإنتاجية
حلة صباغ ضغط عادي مع لوحة تحكم	1	المانيا	2004	جيد	342 كغ خيط خلال 90 دقيقة
حلة صباغ ضغط عادي مع جهاز عينات	2				
عربة لنقل الكونات	9				
مجفف ذو ضغط عالي	1				
ضاغط هواء	2				
رافعة استطاعة 2 طن	1				
وحدة تحضير كيميائية	1				

الوضع الفني لمحطات التكييف

اسم المحطة	المنشأ	تاريخ الصنع	الطاقة الفعلية	الحالة الفنية
نسيج ص 3	إيطالي	1974	230000 م3/سا	وسط
نسيج ص1	الماني	1957	240000 م3/سا	وسط
نسيج ص 2	إيطالي	2008	210000 م3/سا	جيد
الإدارة	أميركي	1957	72 طن تبريد	دون وسط
التدويرات	L T G	1957	50000 م3/سا	دون وسط

3-2-3 بناء النموذج الرياضي الشركة العربية المتحدة للصناعة (الدبس)

3-3-3-1 دالة هدف النموذج الرياضي

من الممكن أن تكون دالة الهدف في النموذج الرياضي من نوع تعظيم الأرباح، أو أن تكون من نوع تقليل التكاليف، وإن تبني أية واحدة منها يعتمد على طبيعة المشكلة المدروسة، وكذلك طبيعة الهدف الذي تتبناه الإدارة

وبناءً عليه تم اختيار دالة هدف النموذج الرياضي من نوع تعظيم الأرباح والذي تم حسابه من خلال المعادلة الآتية:

ربح الوحدة الواحدة = سعر بيع الوحدة الواحدة – تكلفة الوحدة الواحدة

ولهذه الغاية أعطينا المنتجات رموزاً محددة (x_i) من أجل المعالجة الرياضية، والجدول (5) الاتي يوضح بعض الأنواع المنتجات التي تنتجها الشركة ورموزها:

جدول (5): أنواع بعض منتجات الشركة ورموزها:

المنتج	شاش خام	شاش مقصور	1949 خام	عسكري مموه خام	عسكري مموه مصبوغ فواتح	عسكري مموه مصبوغ وسط	عسكري مموه مصبوغ غوامق	فلد عسكري خام	دوالس خام
الرمز	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9
المنتج	دوالس مقصور	دوالس مصبوغ فواتح	دوالس مصبوغ وسط	دوالس مصبوغ غوامق	دوالس مطبع بكمنت وسط	شوادر خام	شوادر مصبوغ ترابي	شوادر مصبوغ زيتي	
الرمز	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على زيارة ميدانية للشركة

ووفقاً لبيانات الشركة تم حساب ربح الوحدة الواحدة لكل صنف من أصناف الانتاج، كما هو مبين في الجدول (6) السابق:

جدول(6): حساب ربح الوحدة الواحدة لكل منتج من منتجات الشركة ($ دولار أمريكي)

الرمز	سعر المبيع	تكلفة الوحدة الواحدة	ربح الوحدة الواحدة
x_1	0.73	0.656	0.074
x_2	0.94	0.846	0.094
x_3	2.72	2.448	0.272
x_4	2.95	2.654	0.296
x_5	3.09	2.78	0.29
x_6	3.52	3.168	0.352
x_7	4.05	3.644	0.406
x_8	4.09	3.68	0.41
x_9	1.55	1.394	0.156
x_{10}	1.95	1.754	0.196
x_{11}	2.06	1.854	0.206
x_{12}	2.34	2.106	0.234
x_{13}	2.68	2.412	0.268
x_{14}	2.08	1.872	0.208
x_{15}	3.9	3.51	0.39
x_{16}	6.05	5.444	0.606
x_{17}	6.99	4.49	0.7

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على قسم المبيعات في الشركة

وبناءً على الجدولين (5) و(6) بإمكاننا صياغة دالة الهدف للنموذج الرياضي الخاص بتعظيم الأرباح والذي يبينه الجدول (7) الآتي:

جدول (7): دالة هدف النموذج الرياضي لعام 2023

الرمز / دالة الهدف	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}
Max_Z	0.074	0.094	0.272	0.296	0.29	0.352	0.406	0.41	0.156	0.196	0.206	0.234	0.268	0.208	0.39	0.606	0.7

المصدر: من إعداد الباحث

3-3-3-2 قيود النموذج الرياضي:

يسير تحقيق أي هدفٍ يدٌ بيد مع وجود عوائق، ولا يُشكّل النموذج المُقترح استثناءً من هذه القاعدة. إذ تفرض عليه مجموعة من القيود والمحددات التي تُقلّص من درجة تحقّقه الكامل. وبناءً عليه، فإنّ أي نموذج رياضي يُصمم لتحقيق غاية ما، تكون دالة هدفه خاضعةً حتمًا لقيود تحدّ من تحقيقها على النحو الأمثل. ويمكن إجمال هذه القيود المصاحبة للنموذج الرياضي المقترح في ثلاثة محاور رئيسية هي:

i. قيد المواد الأولية:

تتمثل المواد الأولية بالغزول والذي يستخدم في عملية الإنتاج، أما المواد المساعدة كالمواد الكيميائية والنشا.. الخ..، لا تشكل قيوداً على الإنتاج حيث يمكن تأمين المطلوب منها بيسر. وعلى هذا الأساس يمكن توضيح القيود الخاصة بالمواد الأولية في النموذج الرياضي في الجدول(8) والذي يبين الكميات اللازمة من الخيوط لإنتاج الوحدة الواحدة والمتاح منها، إذ إن هنالك كمية سنوية معينة متاحة من تلك المواد، وان درجة توافر هذه الكميات تحد من إمكانية تنفيذ عملية الإنتاج، أي أن هذه الكميات تمثل الحد الأعلى التي يمكن للشركة الحصول عليها.

جدول (8): القيود الخاصة بالمواد الأولية (كغ) في النموذج الرياضي لسنة 2023

الجانب الأيمن R.H.S الكمية المتاحة	الإشارة	الجانب الأيسر L.H. S																			اسم المادة	رقم القيد
		x_{17}	x_{16}	x_{15}	x_{14}	x_{13}	x_{12}	x_{11}	x_{10}	x_9	x_8	x_7	x_6	x_5	x_4	x_3	x_2	x_1				
٩٣١٤٥٦	≤	0.86	0.86	0.86	0.295	0.295	0.295	0.295	0.295	0.295	0.42	0.46	0.46	0.46	0.489	0.292	0.135	0.141	الغزول	١

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مواصفات المنتجات، وقسم التخطيط، ودائرة المخازن

ii. قيود العمل الآلي:

تتضمن محددات العمل الآلي القيود المتعلقة بالطاقات الإنتاجية لمكائن مراحل الإنتاج في الشركة ، كذلك تتضمن الوقت اللازم لإنتاج الوحدة الواحدة من كل صنف من الأصناف على كل آلة ولجميع المراحل الإنتاجية ، ويمكن القول ان محددات العمل الآلي للنموذج الرياضي تقع في اتجاهين هما:

➢ الزمن اللازم لإنتاج كل صنف على آلات عمليات الانتاج:

تم حساب الوقت اللازم لإنتاج الوحدة الواحدة من كل صنف وعلى مستوى جميع المراحل الإنتاجية من خلال متابعة العملية الإنتاجية من المرحلة الأولى للإنتاج وحتى الحصول على منتج تام الصنع، وكما موضح في الجدول (9):

جدول (9): الوقت اللازم لإنتاج الوحدة الواحدة من كل صنف وفي كل مرحلة على حدة

عمليات الإنتاج	تحضيرات النسيج			صالة النسيج الأولى		صالة النسيج الثانية	صالة النسيج الثالثة	المصبغة القماش						
رمز المنتج	منشاية بننجر	مسداية بننجر	مسداية شقاقة	نول 110 كامات	نول 110 راتير	نول سولزر طراز p7150	نول 153 انش	آلة المطبعة بوزر	خط البياض باركس	رام بركز	آلة جيكر	آلة جيكر ضغط عالي	آلة الغسالة بننجر	آلة المبخرة
x_1	0.025	0.004					0.312		0.038	0.013				
x_2	0.025	0.004					0.312		0.086	0.013				
x_3	0.025	0.004						0.025	0.088	0.013	0.011	0.014	0.025	0.041
x_4			0.013			0.312				0.013	0.011			
x_5			0.013			0.322			0.088	0.013				
x_6			0.013			0.345			0.088	0.013				
x_7			0.013			0.212			0.043	0.013				

x_8	0.025	0.004			0.243		0.025	0.032	0.013	0.011	0.014	0.025	0.041
x_9	0.025	0.004	0.243	0.243				0.012	0.013				
x_{10}	0.025	0.004	0.322	0.255				0.045	0.013				
x_{11}	0.025	0.004	0.215	0.243					0.013	0.011			
x_{12}	0.025	0.004	0.211	0.132					0.013	0.011			
x_{13}	0.025	0.004	0.310	0.243					0.013	0.011			
x_{14}	0.025	0.004	0.243	0.416			0.025	0.086	0.013				
x_{15}			0.326						0.013	0.011			
x_{16}			0.245						0.013	0.011			
x_{17}			0.326						0.013	0.011			

من إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات الشركة

- الطاقة الإنتاجية لآلات عملية الإنتاج:

تعرف الطاقة الإنتاجية بأنها "القدرة الإنتاجية المتوفرة في الشركة، بما في ذلك القائمة والمستحدثة والمستبعدة، وضمن إطار أسلوب إنتاجي معين وخلال فترة زمنية معينة.

وتعرف الطاقة الإنتاجية المتاحة بأنها " أعلى كمية إنتاج موصوف ممكن تحقيقه بتشغيل آلات المشروع بوضعها القائم بأقصى ساعات عمل في اليوم ولأيام العمل المتاحة في السنة، وعلى افتراض توفر مستلزمات الإنتاج من عمالة مدربة ومواد بالمواصفات المطلوبة"

ويمكن بيان كيفية حسابها من خلال المعادلة الآتية:

الطاقة الانتاجية المتاحة في السنة = عدد الآلات × عدد أيام العمل المتاحة في السنة × عدد ساعات العمل الفعلية المتاحة في اليوم الواحد

ولهذه الغاية قمنا بحساب بيانات محددة لازمة يوضحها الجدول (10) الآتي:

جدول(10) :التفاصيل المتعلقة بآلات عمليات الانتاج

عمليات الانتاج / التفاصيل	تحضيرات النسيج			صالة النسيج الأولى		صالة النسيج الثانية	صالة النسيج الثالثة	المصبغة القماش						
	منشاية بننجر	مسداية بننجر	مسداية شقاقة	نول 110 كامات	نول 110 راتير	نول سولزر طراز p7150	نول 153 انش	ةالمطبعة بوزر	خط البياض باركس	رام بركز	الة جيكرmcs	الة جيكرmcs ضغط عالي	الغسالة بننجر	المبخرة ms
عدد الآلات	1	1	1	21	15	28	19	1	1	1	3	1	1	1
عدد العاملين على الآلة	2	2	2	1 لكل 4 الات	1 لكل 4 الات	1 لكل 4 الات	1 لكل 4 الات	4	1	1	1	1	1	1
الزمن المخصص من عمل العمال لتشغيل الآلة (د)	120	120	120	15	15	15	15	240	60	60	60	60	60	60
الكفاءة التشغيلية للآلة%	40	50	50	18	20	20	18	70	80	80	80	60	80	70
نسبة التلف%	2	2	2	10	12	10	11	4	4	4	4	4	4	4
نسبة الانتاج الصالح%	98	98	98	90	88	90	89	96	96	96	96	96	96	96
ساعات العمل الفعلية في اليوم الواحد	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على سجلات الشركة والمشاهدة الميدانية والمقابلات الشخصية،

الزمن المخصص من عمل العاملين لتشغيل الآلة = عدد العاملين على الآلة * 60 دقيقة

نسبة الإنتاج الصالح =إجمالي الإنتاج (100%) –نسبة التلف (%)

ويتطلب حساب الطاقة الإنتاجية أيضاً حساب عدد أيام العمل المتاحة في السنة، وبحساب عدد أيام العمل المتاحة لعام 2023 كانت (250) يوم وسطياً وذلك بعد استبعاد أيام العطل الرسمية وأعمال الصيانة الدورية والتوقفات الطارئة

وبعد إكمال وتهيئة البيانات المتعلقة بالطاقة الإنتاجية، يمكن حسابها وفقاً للمعادلة الآتية:

الطاقة الإنتاجية لآلات العملية الإنتاجية = عدد الآلات × عدد أيام العمل المتاحة في السنة × عدد ساعات العمل الفعلية في اليوم الواحد × الكفاءة التشغيلية × نسبة الانتاج الصالح × (60) دقيقة.

وهكذا بالنسبة لآلات وبالاعتماد على الجدولين(9) و(10) تم صياغة قيود العمل الآلي في الشركة وكما موضح في الجدول (11)الآتي:

جدول(11): القيود الخاصة بالعمل الآلي (دقيقة) في النموذج الرياضي لسنة 2023

رقم القيد	اسم العملية	الجانب الأيسر L.H.S																		قيود الاشارة	الجانب الأيمنR.H.S
		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	ساعات التشغيل المنتجة/د		
2	منشاية بننجر	0.025	0.025	0.025	0	0	0	0	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0	0	0	66150	≤	
3	مسداية‌بننجر	0.004	0.004	0.004	0	0	0	0	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0		0	82687.5	≤	
4	مسداية شقاقة	0	0	0	0.013	0.013	0.013	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0.013	0.013	0.013	82687.5	≤	

5	نول 110 كامات	0	0	0	0	0	0	0	0	0.243	0.255	0.243	0.132	0.243	0.416	0	0	0	≤	574087.5
6	نول 110 راتير	0	0	0	0	0	0	0	0	0.243	0.322	0.215	0.211	0.310	0.243	0	0	0	≤	445500
7	نول سولزر طراز p7150	0	0	0	0.312	0.322	0.345	0.212	0.241	0	0	0	0	0	0	0.326	0.245	0.326	≤	850500
8	نول 153 انش	0.312	0.312	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	513641.3
9	الةالمطبعة بوزر	0	0	0.025	0	0	0	0	0.025	0	0	0	0	0	0.025	0	0	0	≤	113400
10	خط البياض باركس	0.038	0.086	0.088	0	0.088	0.088	0.043	0.032	0.012	0.045	0	0	0	0.086	0	0	0	≤	129600
11	رام بركز	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	≤	129600
12	الة جيكرmcs	0	0	0.011	0.011	0	0	0	0.011			0.011	0.011	0.011	0	0.011	0.011	0.011	≤	388800
13	الة جيكرmcs ضغط عالي	0	0	0.014	0	0	0	0	0.014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	97200
14	الة الغسالة بننجر	0	0	0.025	0	0	0	0	0.025	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	129600
15	الة المبخرة ms	0	0	0.041	0	0	0	0	0.041	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	113400

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على الجدولين (9) و(10)

iii. قيد العمل البشري:

وفقاً لبيانات الشركة فإنّ عدد العمال 467 يتوزعون على النحو الآتي:

- 36 عامل ادارة
- 334 عامل انتاج
- 64 عامل بالأقسام المساعدة
- 33 عامل خدمات

ويتطلب قيد العمل البشري حساب الزمن اللازم لعمل العمال على الآلات الذي يتطلب انتاج الوحدة الواحدة من كل صنف، وكذلك يتطلب حساب الزمن المتاح لعمل العمال على تلك الآلات، وسنقوم بحسابها كالآتي:

➢ الزمن اللازم لعمل العمال على الآلات والذي يتطلب انتاج وحدة واحدة من الأصناف:

يتم حساب الزمن اللازم لعمل العمال على الآلات لإنتاج الوحدة الواحدة من الأصناف وفقاً للقانون الآتي:

$$\text{الزمن اللازم لعمل العمال على الآلات لإنتاج الوحدة الواحدة من الأصناف} = \frac{\text{مجموع (الزمن اللازم لإنتاج الوحدة على آلة العملية} \times \text{الزمن المخصص من عمل العمال لتشغيل آلة العملية ذاتها)}}{\text{60 دقيقة}}$$

➢ الزمن المتاح لعمل العمال على الآلات:

نستطيع حساب الزمن المتاح لعمل العمال على الآلات وفقاً للمعادلة الآتية:

الزمن المتاح لعمل العمال على الآلات = عدد العمال × عدد أيام العمل المتاحة في السنة × متوسط ساعات العمل في اليوم الواحد

وفقاً لبيانات الشركة فإنّ عمال الإنتاج يعملون وفق التقسيمات الآتية:

✓ **قسم تحضيرات النسيج:**

يتم العمل على منشاية بننجر بورديتي عمل بما يعادل 15 ساعة بعد حذف الاستراحة بمقدار نصف ساعة للوردية الواحدة التي تعادل 8 ساعات عمل.

يتم العمل على مسداية بننجر بورديتي عمل بما يعادل 15 ساعة.

يتم العمل على مسداية شقاقة بوردية عمل واحدة بما يعادل 7.5 ساعة.

✓ **قسم النسيج:**

يتم العمل على نول 110 كامات ثلاث ورديات عمل بما يعادل 22.5 ساعة.

يتم العمل على نول 110 راتير ثلاث ورديات عمل بما يعادل 22.5 ساعة.

يتم العمل على نول سولزر p7150 وردية عمل واحدة بما يعادل 7.5 ساعة.

يتم العمل على نول 153 انش بننجر ورديتي عمل بما يعادل 15 ساعة بعد.

يتم العمل على الآلات الباقية بمعدل وردية عمل واحدة لكل منها اي 7.5 ساعة.

اعتمدنا متوسط ساعات العمل بسبب اختلاف ساعات العمل الفعلية المقررة لليوم الواحد في الأقسام الإنتاجية، حيث أنّ معدل ساعات العمل في اليوم هو حاصل قسمة مجموع ساعات العمل في اليوم الواحد لجميع المراحل الإنتاجية على عدد المراحل. أي أنّ (157.5) ساعة / (14) مراحل = (11.25) ساعة عمل في اليوم.

وبما أنّ عدد العاملين هو (32) عامل إنتاجي مخصص للعمل لإنتاج الأصناف المختارة خلال فترة الدراسة وفقاً لما بينته دائرة الموارد البشرية في الشركة.

وبما أن عدد أيام العمل المتاحة في السنة (250 يوماً) كما أسلفنا سابقاً.

فإنّ العمل المتاح لعمل العاملين على الآلات = 32×250×11.25 ×**60** = 5400000 دقيقة/سنة. وبعد أن قمنا بحساب كلّ من الزمن اللازم لعمل العمال لإنتاج كل صنف على آلات عمليات الإنتاج وكذلك الزمن المتاح لعمل العمال على الآلات، يمكننا كتابة قيد العمل البشري كما هو موضح في الجدول (12) الآتي:

جدول(12): قيد العمل البشري (ساعة) في النموذج الرياضي لعام 2023

الجانب الايمن R.H.S الكمية المتاحة ساعة	الاشارة	الجانب الايسر L.H. S																		رقم القيد	نوع القيد
		x_{17}	x_{16}	x_{15}	x_{14}	x_{13}	x_{12}	x_{11}	x_{10}	x_9	x_8	x_7	x_6	x_5	x_4	x_3	x_2	x_1			
5400000	≤	2.71	2.71	2.68	2.93	2.98	1.96	1.94	1.497	2.5	2.48	3.14	4.04	3.04	2.78	4.05	1.79	1.85		16	العمل البشري

المصدر: من إعداد الباحث

3-3 حل النموذج الرياضي:

بعد تحديد دالة الهدف والقيود الخاصة بالنموذج الرياضي المقترح **وبعد تحديد مصفوفة النموذج الرياضي الخاص بتعظيم الأرباح** قمنا للتوصل إلى نتائج الحل باستخدام دالة Solver في برنامج Excel الذي يستخدم في تحليل بيانات نموذج البرمجة الخطية، كما سنوضح ذلك بالتفصيل فيما يأتي:

جدول 13: جدول الحل الأمثل الخاص بدالة الهدف

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17
z max	0.074	0.094	0.272	0.296	0.29	0.352	0.406	0.41	0.156	0.196	0.206	0.234	0.268	0.208	0.39	0.606	0.7
متغيرات القرار	0	0	0	0	0	0	0	2131263	0	0	0	0	0	0	0	0	42239
خلية الحل	903385																

جدول 14: جدول الحل الأمثل الخاص بالقيود

القيد																		المستخدم	المتراجحة	المتاح
c1	0.141	0.135	0.292	0.489	0.46	0.46	0.46	0.42	0.295	0.295	0.295	0.295	0.295	0.295	0.86	0.86	0.86	931456	<=	931456
c2	0.025	0.025	0.025	0	0	0	0	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0	0	0	53281.58	<=	66150
c3	0.004	0.004	0.004	0.004	0	0	0	0	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0	0	0	0	<=	82687.5
c4	0	0	0	0.013	0.013	0.013	0.013	0	0	0	0	0	0	0	0.013	0.013	0.013	549.1066	<=	82687.5
c5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.243	0.255	0.243	0.132	0.243	0.416	0	0	0	0	<=	574087.5
c6	0	0	0	0	0	0	0	0	0.243	0.322	0.215	0.211	0.31	0.243	0	0	0	0	<=	445500
c7	0	0	0	0.312	0.322	0.345	0.212	0.241	0	0	0	0	0	0	0.326	0.245	0.326	527404.3	<=	850500
c8	0.312	0.312	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	513641.3
c9	0	0	0.025	0	0	0	0	0.025	0	0	0	0	0	0.025	0	0	0	53281.58	<=	113400
c10	0.038	0.086	0.088	0	0.088	0.088	0.043	0.032	0.012	0.045	0	0	0	0.086	0	0	0	68200.42	<=	129600
c11	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	28255.53	<=	129600
c12	0	0	0.011	0.011	0	0	0	0.011	0	0	0.011	0.011	0.011	0	0.011	0.011	0.011	23908.52	<=	388800
c13	0	0	0.014	0	0	0	0	0.014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29837.68	<=	97200
c14	0	0	0.025	0	0	0	0	0.025	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53281.58	<=	129600
c15	0	0	0.041	0	0	0	0	0.041	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87381.79	<=	113400
c16	1.85	1.79	4.05	2.78	3.04	4.04	3.14	2.48	2.5	1.497	1.94	1.96	2.98	2.93	2.68	2.71	2.71	5400000	<=	5400000

المصدر: برنامج Excel باستخدام دالة Solver

وفقا للجدولين (13-14) تم التوصل الى نتائج حل النموذج الرياضي الخاص بتعظيم الأرباح وفقاً لما تشير إليه تفاصيل النتائج وتتضمن تلك النتائج ما سنقوم بعرضه فيما يأتي:

3-3-1 مزيج المنتجات الامثل

إنّ مزيج المنتجات الأمثل في الشركة هي المنتجات الموضحة في الجدول الآتي:

جدول (15): مزيج المنتجات الأمثل في الشركة لعام 2023

ت	رمز المنتج	اسم المنتج	حجم الإنتاج الأمثل (متر طولي)
1	x_8	فلد عسكري خام	2131263
1	x_{17}	شوادر مصبوغ زيتي	42239
إجمالي حجم الإنتاج السنوي الأمثل			2173502
إجمالي الأرباح السنوية			903358 $ دولار أمريكي

المصدر: بالاعتماد على الجدول 15

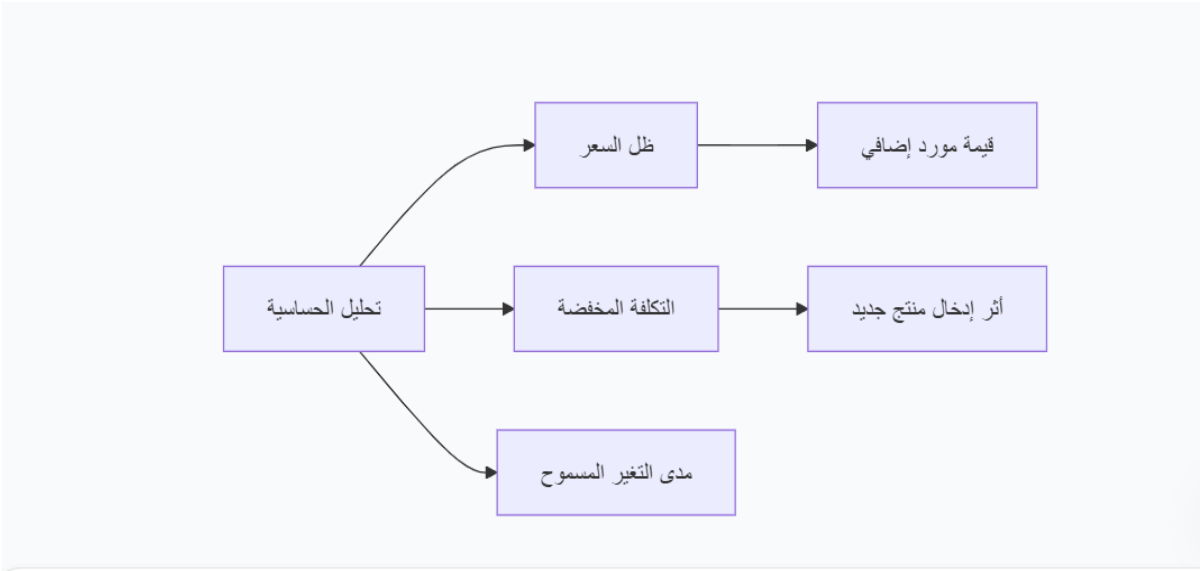
من خلال نتائج الجدول(15) المستندة إلى نتائج البرنامج الموضحة في الجدول (13) نستنتج الآتي:

بلغ حجم الإنتاج الأمثل في الخطة المقترحة (مزيج المنتجات الأمثل) مقدار(2131263) متر طولي من فلد عسكري خام والشوادر المصبوغ زيتي. كما بلغ هامش الربح في الخطة المقترحة بأسلوب البرمجة الخطية مقدار (903358) $.

أمّا المنتجات $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{12}, x_{14}, x_{15}, x_{16})$ فإنّها لم تظهر في التشكيلة المثلى لكونها منتجات غير مربحة وفق الخطة. والجدول الآتي يبين هذه المنتجات.

4-3 دراسة مكونات النموذج باستخدام تحليل الحساسية(2023) .Bradley et al

هو دراسة تأثير التغيرات في معاملات نموذج البرمجة الخطية (مثل معاملات دالة الهدف أو الطرف الأيمن للقيود) على الحل الأمثل. يُستخدم لفهم مدى حساسية النموذج للتغيرات في معطياته.



أهميته:

- تحديد مدى ثبات الحل الأمثل
- تحديد المدى المسموح به للتغير في المعطيات دون تغيير الحل الأمثل
- مساعدة متخذي القرار في تقييم البدائل

مكوناته الرئيسية:

- **مدى التغير المسموح به لمعاملات دالة الهدف(Allowable Increase/Decrease)**
- **مدى التغير المسموح به للطرف الأيمن للقيود(Shadow Price)**
- **التكلفة المخفضة(Reduced Cost)**

3-4-1 التغير في معاملات دالة الهدف (C_j)

يبين الجدول (16) ربح الوحدة الواحدة من كل منتج والحدود العليا والدنيا التي توضح مدى التغيرات الممكنة في معاملات دالة الهدف (الربح) للمتغيرات الأساسية وغير الأساسية مع بقاء الحل الامثل دون تغيير.

من خلال الجدول (16) يتبين لنا امكانية تغير ربح الوحدة الواحدة (زيادة أو نقصان) للمنتجين الأساسيين (x_{17} و x_8) ضمن الحدود الدنيا والحدود العليا دون ان يتأثّر الحل الامثل، وفي حال تغيرت أرباحهما خارج الحدود الدنيا أو العليا فان ذلك سيؤدي الى تغير الحل الامثل أي ايجاد حل جديد للمشكلة.

أمّا فيما يخصّ المنتجات غير الأساسية والتي لم تظهر في التشكيلة المثلى وهي: $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{12}, x_{14}, x_{15}, x_{16})$ فنلاحظ تغير أرباحها ضمن الحدود الدنيا والعليا بدون التأثير على الحل الامثل، لكن ما يهمنا هو الحدود العليا لأنّ الحدود الدنيا لهذه المنتجات هي الى ما لانهاية لكونها منتجات غير داخلة ضمن التشكيلة المثلى، ففي حال ارتفعت أرباح هذه المنتجات وتجاوزت الحدود العليا بذلك ستكون هذه المنتجات مرشحة للدخول ضمن المنتجات المجدية.

وبالاعتماد على تقرير الحساسية المرفق بالحل الأمثل والموضح بالجدول رقم 16:

جدول (16) تقرير الحساسية

Allowable Decrease	Allowable Increase	Objective Coefficient	Reduced Cost	Final Value	Name	Cell
1E+30	0.123587875	0.074	-0.123587875	0	متغيرات القرار x1	D3
1E+30	0.096283028	0.094	-0.096283028	0	متغيرات القرار x2	E3
1E+30	0.150080032	0.272	-0.150080032	0	متغيرات القرار x3	F3
1E+30	0.175027649	0.296	-0.175027649	0	متغيرات القرار x4	G3
1E+30	0.17812588	0.29	-0.17812588	0	متغيرات القرار x5	H3
1E+30	0.175044038	0.352	-0.175044038	0	متغيرات القرار x6	I3
1E+30	0.068017696	0.406	-0.068017696	0	متغيرات القرار x7	J3
0.046533498	0.230590406	0.41	0	2131263.061	متغيرات القرار x8	K3
1E+30	0.176641766	0.156	-0.176641766	0	متغيرات القرار x9	L3
1E+30	0.077546853	0.196	-0.077546853	0	متغيرات القرار x10	M3
1E+30	0.093647597	0.206	-0.093647597	0	متغيرات القرار x11	N3
1E+30	0.06682596	0.234	-0.06682596	0	متغيرات القرار x12	O3
1E+30	0.092922481	0.268	-0.092922481	0	متغيرات القرار x13	P3
1E+30	0.149976573	0.208	-0.149976573	0	متغيرات القرار x14	Q3
1E+30	0.308232455	0.39	-0.308232455	0	متغيرات القرار x15	R3
1E+30	0.094	0.606	-0.094	0	متغيرات القرار x16	S3
0.094	0.13952381	0.7	0	42238.97044	متغيرات القرار x17	T3

جدول(17): المنتجات التي لم تظهر في التشكيلة المثلى وفق خطة الإنتاج المقترحة

رمز المنتج	الربح (دولار $)	الحدود العليا التي يجب أن يصلها المنتج لكي ينتج	الفرق بين الربح والحد الأعلى
x_1	0.074	0.197587875	−0.123587875

−0.096283028	0.190283028	0.094	x_2
−0.150080032	0.422080032	0.272	x_3
−0.175027649	0.471027649	0.296	x_4
−0.17812588	0.46812588	0.29	x_5
−0.175044038	0.527044038	0.352	x_6
−0.068017696	0.474017696	0.406	x_7
−0.176641766	0.332641766	0.156	x_9
−0.077546853	0.273546853	0.196	x_{10}
−0.093647597	0.299647597	0.206	x_{11}
−0.06682596	0.30082596	0.234	x_{12}
−0.092922481	0.360922481	0.268	x_{13}
−0.149976573	0.357976573	0.208	x_{14}
−0.308232455	0.698232455	0.39	x_{15}
−0.094	0.7	0.606	x_{16}

فمثلاً بالنسبة إلى المنتج (x_1) والبالغ هامش ربحه(0.074) دولار فهو اقل بكثير من هامش الربح الذي ينبغي أن يكون عليه وفق الخطة المقترحة والذي يبلغ (0.197587875) دولار أي إن الفرق بين السعرين هو(0.123587875) دولار وهذا يعني إن المصنع لو أراد أن يستمر بإنتاج المنتج(x_1) فإنه سيتسبب بخسارة كبيرة يمكننا الحصول عليها من خلال المعادلة التالية:

الخسارة المتوقعة فيما لو انتج المنتج دون الحدود العليا ($)= الفرق بين الربح والحد الأعلى لكل منتج × كمية الإنتاج الفعلي من كل منتج

وهكذا بالنسبة لبقية المنتجات الأخرى التي لم تظهر ضمن تشكيلة الإنتاج المثلى.

طبيعة الموارد:

تصنف الموارد إلى موارد نادرة وموارد وفيرة، حيث يعتمد هذا التصنيف على مدى استغلال هذه الموارد في العملية الإنتاجية، ولبيان موقف الشركة تجاه الموارد المستخدمة في عملية الإنتاج وعن طريق الاستعانة بالجدول التالي(18) يمكن توضيح الموقف تجاه الموارد التي استغلت بشكل أمثل في العملية الإنتاجية والتي عن طريقها تمّ تحقيق أعلى مستويات من الإنتاج.

جدول(18): كمية الموارد المستغلة وغير المستغلة وفق الخطة المقترحة لعام 2023

المورد	الرمز	المتاح منه	المستغل منه	الفائض	طبيعة المورد
خيوط	c_1	931456	931456	0	نادر

منشاية بننجر	c_2	66150	53281.58	12868.42	وفير
مسداية بننجر	c_3	82687.5	0	82687.5	وفير
مسداية شقاقة	c_4	82687.5	549.1066	82138.39	وفير
نول 110 كامات	c_5	574087.5	0	574087.5	وفير
نول 110 راتير	c_6	445500	0	445500	وفير
نول سولزر طراز p7150	c_7	850500	527404.3	323095.7	وفير
نول 153 انش	c_8	513641.3	0	513641.3	وفير
آلة المطبعة بوزر	c_9	113400	53281.58	60118.42	وفير
خط البياض باركس	c_{10}	129600	68200.42	61399.58	وفير
رام بركز	c_{11}	129600	28255.53	101344.5	وفير
الة جيكرmcs	c_{12}	388800	23908.52	364891.5	وفير
آلة جيكرmcs ضغط عالي	c_{13}	97200	29837.68	67362.32	وفير
آلة الغسالة بننجر	c_{14}	129600	53281.58	76318.42	وفير
آلة المبخرة ms	c_{15}	113400	87381.79	26018.21	وفير
العمل البشري	c_{16}	5400000	5400000	0	نادر

المصدر: بالاعتماد على الجدول (14).

يشير هذا الجدول إلى إن هنالك موارد استغلت بالكامل وأشر النموذج حيالها بأنها موارد نادرة، مما يتطلب من القائمين على تخطيط الإنتاج في المصنع أن يبدو المزيد من الاهتمام بها وزيادتها لأنها تؤدي بالنتيجة إلى زيادة الإنتاج ورفع هامش الأرباح فيه.

كما ويشير هذا الجدول إلى وجود موارد لم تستغل بالكامل خلال العملية الإنتاجية، مما يتطلب من القائمين على تخطيط الإنتاج في المصنع أن لا يتجهوا إلى استخدام المزيد من هذه الموارد في العملية الإنتاجية ريثما يتم إعادة النظر بهامش الربح وذلك لان الكميات الإضافية منها لا تؤدي إلى زيادة الإنتاج وهامش الأرباح.

3-4-2 أسعار ظل الموارد

هو معدل التغير في قيمة دالة الهدف الأمثل نتيجة زيادة وحدة واحدة من الطرف الأيمن لأحد القيود (مع بقاء جميع المعطيات الأخرى ثابتة).

خصائصه:

- يُحسب فقط للقيود النشطة(Active Constraints)
- يكون صفراً للقيود غير النشطة
- صالح فقط ضمن نطاق محدد(Allowable Increase/Decrease)

تطبيقاته العملية:

- تحديد الموارد الأكثر تأثيراً على الربح
- تقييم جدوى زيادة الموارد
- اتخاذ قرارات شراء موارد إضافية

والجدول (19) الآتي يبين أسعار الظل للموارد في الشركة لعام 2023:

جدول(19): أسعار ظلّ الموارد في الشركة لعام 2023

Allowable Decrease	Allowable Increase	Constraint R.H. Side	Shadow Price	Final Value	Name	Cell
82138.39338	1E+30	82687.5	0	549.1066157	c4	U10
574087.5	1E+30	574087.5	0	0	c5	U11
445500	1E+30	445500	0	0	c6	U12
323095.698	1E+30	850500	0	527404.302	c7	U13
513641.3	1E+30	513641.3	0	0	c8	U14
60118.42349	1E+30	113400	0	53281.57651	c9	U15
61399.58206	1E+30	129600	0	68200.41794	c10	U16
101344.4736	1E+30	129600	0	28255.5264	c11	U17
364891.4777	1E+30	388800	0	23908.52234	c12	U18
67362.31715	1E+30	97200	0	29837.68285	c13	U19
76318.42349	1E+30	129600	0	53281.57651	c14	U20
26018.21452	1E+30	113400	0	87381.78548	c15	U21
2464830.512	100025.9048	5400000	0.058918158	5400000	c16	U22
16939.87097	782197.1365	931456	0.628292781	931456	c1	U7
12868.42349	1E+30	66150	0	53281.57651	c2	U8
82687.5	1E+30	82687.5	0	0	c3	U9

المصدر:تقرير حل المرافق في برنامج Excel.

5-3 الاستفادة من أداة Solver في ظل ظروف عدم اليقين:

في العديد من المواقف الواقعية، وخاصة في بيئات الأعمال المعقدة، يكون "الحل الأمثل" نظرياً أو غير قابل للتحقيق نتيجة ظروف سوقية متغيرة. هنا تبرز القيمة الحقيقية لأداة مثل Solver ليس كأداة لتحقيق الكمال، ولكن كمنصة لإيجاد "حل ممكن" (Feasible Solution) يحقق الحد الأدنى من المتطلبات الأساسية للبقاء والاستمرارية.

3-5-1 التحول من الحل الأمثل إلى الحل المتاح

الهدف ليس تعظيم الربح، بل إيجاد أي خطة عمل تحقق الشروط الأساسية للنجاح مثل:

- تلبية الحد الأدنى من الطلب للحفاظ على الحصة السوقية.
- تحقيق نقطة التعادل (Break-Even Point) لضمان الاستمرارية المالية.
- الالتزام بالمواعيد النهائية الحرجة للعملاء الرئيسيين.

يتم ذلك باعتبار متغيرات القرار هي قيود معلومة القيمة ويتم بناءً عليها اتخاذ القرار الانتاجي

3-5-2 القيمة الإدارية لـ "الحل الممكن"

- إيجاد "حل ممكن" ليس انكساراً، بل هو انتصار للتخطيط الواقعي.
- استمرارية العمليات: يضمن أن العملية الإنتاجية لا تتوقف ، مما يحافظ على تدفق نقدي وعلاقات مع العملاء.
- أساس للتحسين التدريجي: بمجرد وجود خطة ممكنة، يمكن استخدامها كنقطة انطلاق للبحث عن تحسينات تدريجية.
- شفافية المشكلة: يجبر الفريق على المواجهة الصريحة للمقايضات الصعبة (مثل: أي عميل سنخيب ظنه؟ أي منتج سنوقفه مؤقتاً؟).

3-6 الخلاصة: تحويل الأزمة إلى فرصة للتحسين

في العالم الحقيقي، حيث يكون عدم اليقين هو السمة الغالبة، فإن القدرة على إيجاد حل "ممكن" بسرعة غالباً ما تكون أكثر قيمة من البحث الطويل عن حل "أمثل" قد يكون غير موجود. Solver في هذه الحالة تتحول من أداة رياضية إلى طاولة مفاوضات رقمية، حيث يتم اختبار المقايضات المختلفة بشكل كمي للوصول إلى خطة عمل واقعية تمنع الانهيار وتؤسس لأساس يمكن البناء عليه في المستقبل.

و تثبت Solver أنها ليست مجرد أداة تحسين، ولكنها نظام دعم قرارات استراتيجي للتكيف. من خلال إجبار المدير على تحديد المقايضات بشكل كمي واختبار استراتيجيات بديلة بشكل آمن ورقمي، فإنها تمكّن المؤسسة من:

- الاستجابة بمرونة للصعوبات التسويقية بدلاً من التعنت في خطة إنتاجية لم تعد واقعية.
- حماية المركز المالي من خلال تقليل الخسائر إلى أدنى حد ممكن.
- التعلم عن نقاط الضعف في مزيج المنتجات واستراتيجية التسعير، مما يوفر رؤى قيّمة للتعافي والنمو المستقبلي.
- وهكذا، فإن عدم توفر "الحل الأمثل" يصبح فرصة لاكتشاف "حلول أكثر مرونة وقوة" تُحسن من قدرة المؤسسة على الصمود في وجه تقلبات السوق.

الفصل الرابع: النتائج & المقترحات

4-1 النتائج والمناقشة Results and Discussion:

تمثل دراسة أثر نموذج البرمجة الخطية على عملية اتخاذ القرار في "الشركة العربية المتحدة للصناعة" نقلةً منهجية من التخطيط الحدسي إلى التخطيط القائم على البيانات. لا تقتصر نتائج هذه الدراسة على مجرد تحسينات هامشية، بل تمتد لتشمل إعادة هندسة العمليات وخلق قيمة استراتيجية مستدامة. يمكن تصنيف هذه النتائج على النحو التالي:

4-1-1 النتائج التشغيلية والاقتصادية المباشرة (Direct Operational & Economic Outcomes)

أ. إعادة هيكلة المزيج الإنتاجي وتحسين الهيكل التكاليفي:

تحول جذري في أولويات الإنتاج: كشف النموذج أن التركيز على منتجات ذات هامش مساهمة (Contribution Margin) مرتفع ولكن حجم إنتاجها منخفض كان أكثر ربحية من المنتجات ذات الحجم الكبير والهامش الضئيل.

ب. تحسين في إدارة الموارد ورفع الكفاءة التشغيلية:

المواد الأولية: لم يقتصر الأثر على خفض الهدر ، بل تم تحقيق "إنتاجية أعلى لكل وحدة من المواد الخام". فمن خلال المزيج الأمثل، أصبحت نفس الكمية من القماش الخام تُنتج قيمة بيعية أعلى.

الطاقات الإنتاجية (الآلات): تم القضاء على "اختناقات" (Bottlenecks) رئيسية في خطوط الغزل والنسيج، حيث أظهر تحليل القيود أن سوء توزيع عبء العمل كان السبب الجذري.

4-1-2 النتائج الاستراتيجية والتخطيطية (Strategic & Planning Outcomes)

أ. تحول ثقافي نحو اتخاذ القرار القائم على البيانات (Data-Driven Decision Making):

- أصبحت اجتماعات التخطيط تناقش "معادلات النموذج ونتائج تحليل الحساسية" بدلاً من الآراء الشخصية والنقاشات الانفعالية. هذا أدى إلى:
- تقليل التحيّز (Bias) في عملية صنع القرار.
- تعزيز الشفافية والمساءلة، حيث يمكن تتبع وتبرير كل بند في الخطة الإنتاجية إلى بيانات ومحددات رياضية.
- تأسيس لغة مشتركة بين إدارات الإنتاج المبيعات والتمويل، مما عزز التكامل الوظيفي (Functional Integration).

ب. تمكين التخطيط الاستباقي والمرن عبر تحليل السيناريوهات (Scenario Planning & What-If Analysis):

أصبحت الإدارة العليا قادرة على محاكاة تأثيرات متغيرات السوق بشكل فوري وسريع، مما يمنحها مرونة استراتيجية غير مسبوقة. على سبيل المثال، مكّنها النموذج من:

- تقييم الجدوى الاقتصادية لطلبات خاصة كبيرة (Large Custom Orders) في دقائق، عن طريق إدخالها كقيود جديدة ومعرفة تأثيرها على الربحية الكلية والموارد.
- محاكاة أثر تقلبات أسعار المواد الخام في الأسواق العالمية على الهيكل التكاليفي المحلي، وبالتالي اتخاذ قرارات شراء استباقية أو تعديل أسعار البيع لحماية الهوامش.
- تخطيط الموازنات التقديرية بشكل أكثر واقعية، بناءً على طاقات إنتاجية أمثل وليس على توقعات تاريخية قد تكون مضللة.

ج. إدارة المخاطر من خلال تحديد "هامش الأمان" للموارد (Resource Buffering & Risk Management):

من خلال تحليل الحل الأمثل، تم تحديد "الموارد الحرجة" (Critical Resources) التي يكون استهلاكها قريباً من الحد الأقصى للقيد (أي أن سعر الظل (Shadow Price) لها مرتفع). هذه الموارد (مثل خامة قطنية معينة أو آلة محددة) تمثل نقطة ضعف في النظام الإنتاجي. سمح هذا للإدارة بـ:

- وضع خطط طوارئ لهذه الموارد (الاحتفاظ بمخزون أمان، تحديد موردين بديلين).
- توجيه استثمارات المستقبل (التحديث، التوسع) نحو تخفيف هذه القيود الحرجة، مما يعظم العائد على الاستثمار.

3. النتائج التنظيمية والمؤسسية الطويلة الأجل (Long-Term Organizational Outcomes)

أ. تطوير رأس المال البشري ونقل المعرفة:

- فرض تطبيق النموذج عملية توثيق منهجية لجميع بيانات الإنتاج والموارد، والتي كانت قبل ذلك مبعثرة ومضمنة في خبرة الأفراد فقط. هذا ينشئ "ذاكرة تنظيمية" (Organizational Memory) تقلل من اعتماد الشركة على أفراد محددين.
- تم رفع كفاءة الكوادر في قسم التخطيط من خلال تدريبهم على أدوات تحليل كمّي متقدمة، مما يخلق كفاءات داخلية قيمة.

ب. خلق أساس لتطبيقات أكثر تطوراً (Foundation for Advanced Applications):

يُعتبر نموذج البرمجة الخطية هذا حجر الأساس لبناء نظام متكامل لدعم القرار. يمكن التوسع لاحقاً نحو:

- نماذج البرمجة الصحيحة (Integer Programming) لتخطيط الجدولة والإصدارات حيث يكون الإنتاج على دفعات.
- نماذج النقل والتوزيع (Transportation & Network Models) لتحسين سلسلة التوريد والتوزيع.
- أنظمة التخطيط والجدولة المتقدمة (Advanced Planning and Scheduling – APS).

ويمكن القول ان استخدام البرمجة الخطية يمكن ان تنقل الشركة من تحسين الأداء إلى خلق ميزة تنافسية حيث تجاوزت نتائج تطبيق البرمجة الخطية في "الدبس" كونه مجرد أداة لـ"حل مشكلة" إلى كونه مُحفزاً للتغيير التنظيمي. لم يقتصر الأثر على تحسين مؤشرات مالية وتشغيلية في المدى القصير، بل ساهم في بناء قدرات ديناميكية (Dynamic Capabilities) داخل المؤسسة تمكنها من مواجهة تقلبات السوق وعدم التأكد، مما يخلق لها ميزة تنافسية مستدامة قائمة على الكفاءة والمرونة والذكاء في اتخاذ القرار.

4-2 التوصيات والمقترحات Conclusion and Recommendation

بناءً على النتائج الإيجابية المتحققة من تطبيق نموذج البرمجة الخطية في تحسين الكفاءة الإنتاجية، يمكن تعميم الفائدة على القطاع الصناعي الأوسع من خلال حزمة من التوصيات الاستراتيجية والتنفيذية على مستويات مختلفة.

أولاً: التوصيات على المستوى الاستراتيجي والقيادي (Strategic & Leadership Level)

- ✓ اعتماد منهجية التخطيط القائمة على البيانات: على قيادات المنشآت الصناعية اعتماد ثقافة القرار الكمي (Data-Driven Decision Making) كاستراتيجية أساسية، والتحول تدريجيًا من الأساليب الإدارية الحدسية إلى تلك المعتمدة على النماذج الرياضية والتحليلية لضمان الفعالية والموضوعية.
- ✓ دمج بحوث العمليات في التخطيط الاستراتيجي: يجب أن تصبح أدوات بحوث العمليات (Operations Research)، وعلى رأسها البرمجة الخطية، جزءاً لا يتجزأ من عملية صياغة الخطط الاستراتيجية وموازنات التخطيط، لا مجرد أدوات تكتيكية للتخطيط التشغيلي قصير الأجل.
- ✓ الاستثمار في البنية التحتية الرقمية: حث القيادات الصناعية على الاستثمار في أنظمة تخطيط موارد المؤسسات (ERP) وأنظمة إدارة أداء العمليات (MES)، التي توفر البيانات الدقيقة في الوقت المناسب، والتي تعتبر الوقود الأساسي لأي نموذج تحسين كمي ناجح.

ثانياً: التوصيات على المستوى التشغيلي والتنفيذي (Operational & Executive Level)

- تعميم تطبيق نماذج التحسين:

التوصية بتطبيق نماذج البرمجة الخطية وغيرها من نماذج التحسين (كالبرمجة الصحيحة Integer Programming، البرمجة الهدفية Goal Programming) في جميع مجالات التخطيط الصناعي، بما في ذلك:

- ✓ تخطيط الإنتاج: لتحديد المزيج الأمثل.
- ✓ إدارة السلاسل اللوجستية: للتوزيع الأمثل والنقل.
- ✓ إدارة المخزون: لتحديد حجم الطلبية الاقتصادي (EOQ).
- ✓ جدولة الصيانة: لتحسين استخدام المعدات وتقليل وقت التوقف.

- توحيد معايير قياس الأداء:

تطوير وتعميم مجموعة موحدة من مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) القابلة للقياس الكمي والتي تتم محاذاتها مع أهداف نماذج التحسين، مثل: معدل استخدام الطاقة، هامش المساهمة لكل منتج، تكلفة الفرصة البديلة للموارد.

- تبني مبدأ التحسين المستمر (Kaizen):

عدم اعتبار النموذج أداة ثابتة، بل إجراء مراجعة وتحديث دوريين لمعطياته وقيوده (Data Refreshing) ليعكس التغيرات في بيئة العمل، مما يضمن استمرارية دقة وفعالية التوصيات التي يقدمها.

ثالثاً: التوصيات على مستوى السياسات الصناعية والحوكمة (Industrial Policy & Governance Level)

- وضع أطر حوافز داعمة:

على الجهات الحكومية والخاصة وضع برامج حوافز للشركات التي تتبنى تقنيات التحسين الكمي، وذلك من خلال دعم مالي أو فني أو اعفاءات ضريبية جزئية.

- إنشاء مراكز تميز للتحول الرقمي:

التوصية بإنشاء مراكز تميز (Centers of Excellence) ، تكون مهمتها تقديم الاستشارات الفنية، التدريب، والدعم التقني للمنشآت الصناعية (خاصة الصغيرة والمتوسطة) لمساعدتها على تبني هذه المنهجيات.

- تعزيز التعاون بين الجامعات والصناعة:

تطوير شراكات استراتيجية بين القطاع الصناعي والجامعات ومراكز الأبحاث لـ:

- توطين المعرفة: تطوير نماذج تحليلية تلائم الخصوصية المحلية.
- تأهيل الكوادر: تصميم برامج تعليمية وتدريبية تلبي احتياجات سوق العمل المستقبلية في مجال التحليل الكمي وإدارة العمليات.
- نقل التكنولوجيا: تسهيل نقل أحدث الأبحاث والتطبيقات من المعامل إلى أرض المصنع.

الخلاصة

إن تعميم تطبيق منهجيات البرمجة الخطية والتحسين الكمي على مستوى القطاع الصناعي ليس رفاهية، بل هو ضرورة استراتيجية لتعزيز القدرة التنافسية في سوق عالمية متغيرة. إنها استثمار في "الذكاء التشغيلي" الذي يمكن أن يحقق قفزة نوعية في الإنتاجية، يقلص التكاليف، ويؤسس لصناعة مرنة وقادرة على مواجهة التحديات المستقبلية من خلال قرارات أكثر حكمة ودقة.

4-3 الآفاق المستقبلية للبحث

توسيع نطاق تطبيق نماذج التحسين الكمي

تمهد هذه الدراسة الطريق أمام عدد من المسارات البحثية المستقبلية الواعدة، والتي يمكن أن تعمق الفهم وتوسع نطاق تطبيق أدوات بحوث العمليات في المجال الصناعي. لا تمثل هذه النتائج نقطة نهاية، بل نقطة انطلاق نحو استكشاف نماذج أكثر تطورًا وقدرة على مواكبة تعقيدات البيئة الصناعية الحديثة.

4-3-1 الآفاق المتعلقة بتطوير النماذج الرياضية (Model-Related Avenues)

اولاً: نماذج البرمجة في ظروف عدم التأكد (Programming under Uncertainty):

يمثل الانتقال من النماذج الحتمية (Deterministic) إلى النماذج الاحتمالية (Stochastic) أحد أهم الاتجاهات المستقبلية. يمكن أن تركز الأبحاث اللاحقة على:

- البرمجة الاحتمالية (Stochastic Programming): لدمج عنصر المخاطرة وعدم اليقين في متغيرات رئيسية مثل تقلبات أسعار المواد الخام، وتغير أنماط الطلب، وتوفر الطاقة.
- البرمجة القوية (Robust Optimization): لتطوير نماذج تنتج حلولاً "قوية" تكون مقبولة الأداء حتى تحت أسوأ الظروف، وهو أمر بالغ الأهمية في البيئات غير المستقرة.
- نماذج متعددة الأهداف (Multi-Objective Optimization): يجب أن تتجه الأبحاث المستقبلية إلى تجاوز هدف تعظيم الربح الوحيد، لدمج أهداف متعددة ومتعارضة أحيانًا في نموذج واحد، مثل: تعظيم

الجودة وتقليل التكاليف، تقليل الأثر البيئي (مثل انبعاثات الكربون واستهلاك الطاقة) مع الحفاظ على الربحية، زيادة رضا العملاء ومعدل خدمة التوصيل.

ثانياً: نماذج ديناميكية ومتعددة المراحل (Dynamic & Multi-Stage Models):

تطوير نماذج لا تنظر إلى فترة تخطيطية واحدة ثابتة، بل تمتد عبر عدة فترات (فترات زمنية متعددة – Multi-Period) لتخطيط الإنتاج والمخزون بشكل ديناميكي يأخذ في الاعتبار الترابط بين القرارات الحالية والمستقبلية.

4-3-2: الآفاق المتعلقة بمجالات التطبيق (Application-Related Avenues)

أولاً: التكامل الرأسي مع إدارة سلسلة التوريد (Supply Chain Integration):

- توسيع نطاق النموذج ليشمل سلسلة التوريد بالكامل، من المورد إلى العميل النهائي. يمكن أن يشمل ذلك:
- نماذج النقل والتفريغ (Transportation & Routing Models): لتحسين طرق التوزيع وتقليل تكاليف النقل.
- نماذج تحديد موقع المرافق (Facility Location Models): لتحديد المواقع المثلى للمصانع أو مراكز التوزيع.
- الدمج مع تقنيات الصناعة: استكشاف كيفية دمج مخرجات نماذج البرمجة الخطية مع تقنيات الثورة الصناعية الرابعة لإنشاء أنظمة ذاتية التشغيل، مثل: أنظمة التخطيط والجدولة المتقدمة (APS): التي تتغذى بشكل مباشر على بيانات الإنتاج في الوقت الحقيقي (Real-Time Data).

ثانياً: التطبيقات في مجالات صناعية جديدة:

تطبيق وإعادة تكييف هذه النماذج على قطاعات صناعية وخدمية أخرى، مثل:

- القطاع الصحي: جدولة العمليات وتخصيص الموارد في المستشفيات.
- الطاقة: تخطيط توليد الطاقة من مصادر متجددة.
- الزراعة: تخطيط المحاصيل وتوزيع الموارد المائية.

ثالثاً: الآفاق المنهجية والتقنية (Methodological & Technical Avenues)

تحسين الخوارزميات الحسابية:

بحث سبل تسريع الخوارزميات الحسابية لحل النماذج الكبيرة والمعقدة (Large-Scale Optimization) باستخدام:

- تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي (Machine Learning) للتنبؤ بالقيود أو اقتراح حلول أولية.
- الحوسبة المتوازية (Parallel Computing) لتقسيم المشكلة وحلها بشكل أسرع.

- تطوير واجهات مستخدم متقدمة: تصميم منصات برمجية و لوحات تحكم تفاعلية (Interactive Dashboards) تتيح للمخططين غير المتخصصين في الرياضيات التفاعل مع النماذج، وإدخال البيانات، وتفسير النتائج بسهولة، مما يزيد من قابلية التطبيق على نطاق واسع.

خاتمة:

تمثل هذه الآفاق البحثية خريطة طريق لإثراء مجال بحوث العمليات وتطبيقاته الصناعية. إن الانتقال من النماذج البسيطة إلى النماذج المتكاملة والديناميكية والقادرة على محاكاة الواقع المعقد سيسهم بشكل حاسم في بناء صناعات أكثر ذكاءً ومرونة واستدامة، مما يعزز قدرتها التنافسية في الاقتصاد العالمي.

References المراجع

المراجع العربية

1. العبدالله، محمد. (2023). "البرمجة الخطية وتطبيقاتها في اتخاذ القرارات". مجلة البحوث العملياتية، 15(2)، 45-67.
2. ١.الجابري، خالد (2023). بحوث العمليات وتطبيقاتها في الصناعة الحديثة. دار الجامعة الجديدة.
3. السيد، محمد (2022). البرمجة الخطية وأساليب التحسين في الإدارة. مركز البحوث العربية.
4. الغنام، علي (2021). تطبيقات البرمجة الرياضية في تحليل القرارات الإنتاجية. دار العلوم العربية.

المراجع الأجنبية

5. Ben-Tal, A., den Hertog, D., & Vial, J. P. (2022). "Robust Optimization: Concepts and Applications". *Operations Research*, 70(3), 123-145.
6. Bengio, Y., Lodi, A., & Prouvost, A. (2023). "Machine Learning for Combinatorial Optimization: A Methodological Tour d'Horizon". *European Journal of Operational Research*, 290(2), 405-421.
7. Bertsimas, D., & Weismantel, R. (2023). "Optimization Over Integers". *Dynamic Ideas*.
8. Gupta, D., & Denton, B. (2022). "Appointment Scheduling in Health Care: Challenges and Opportunities". *IIE Transactions*, 40(9), 800-819.
9. Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2021). "Introduction to Operations Research". 11th edition, McGraw-Hill.
10. Koch, T., et al. (2022). "Progress in Mathematical Programming Solvers". *Mathematical Programming*, 184(1-2), 1-38.
11. Luenberger, D. G., & Ye, Y. (2021). "Linear and Nonlinear Programming". 5th edition, Springer.
12. Montanaro, A. (2021). "Quantum Algorithms: An Overview". *npj Quantum Information*, 2(1), 1-9.
13. Nesterov, Y. (2023). "Lectures on Convex Optimization". 3rd edition, Springer Optimization and Its Applications.
14. Ralphs, T. K., & Galati, M. V. (2022). "Decomposition in Integer Linear Programming". *Computational Optimization and Applications*, 51(2), 387-434.
15. Shapiro, A., Dentcheva, D., & Ruszczyński, A. (2021). "Lectures on Stochastic Programming: Modeling and Theory". 3rd edition, SIAM.
16. Zhou, Z., et al. (2023). "Optimization of Power Systems with Renewable Energy Integration". *IEEE Transactions on Power Systems*, 38(1), 123-135.

المؤتمرات العلمية

17. Proceedings of the International Conference on Operations Research (2023). "Advances in Linear Programming", Berlin, Germany.
18. ACM Symposium on Theory of Computing (2022). "Quantum Algorithms for Linear Programming", New York, USA.

المراجع الإلكترونية

20. Gurobi Optimization. (2023). "Advanced Linear Programming Techniques". Retrieved from https://www.gurobi.com
21. IBM ILOG CPLEX. (2023). "CPLEX Optimizer Documentation". Retrieved from https://www.ibm.com/analytics/cplex-optimizer