

بناء نموذج أمثلي حصين لسلسلة التوريد متعدد الأهداف ومتعدد الإنتاج في ظل عدم التأكد مع تطبيق عملي

Building an optimal, fortified model for the multi-objective and multi-production supply chain in light of Uncertainty with a work application

أ. د. مروان عبد الحميد عاشور / المشرف
P.Dr. Marwan Abdul Hammed
dr- marwan2012@gmail.com

حسام كردي عبد حسين / الباحث
Husam Kurdi Abbd Hussin
tuqa4190@gmail.com

كلية الادارة والاقتصاد/ جامعة بغداد

الكلمات المفتاحية: الأمثلية الحصينة، سلسلة التوريد، متعدد الأهداف، متعدد الإنتاج، عدم التأكد
Keywords: Robust optimization, supply chain, multi- objective, multi-Production, Uncertainty.

المستخلص:

تُعاني معظم أنظمة المنشآت أو الشركات من حالة (عدم التأكد) في البيانات، حيث تواجه سلسلة التوريد مشكلة (عدم التأكد) في مختلف مجالاتها كأن تكون في المواد الخام، الموارد البشرية، الطلب، مخزون الأمان، تكاليف النقل والتصنيع..... الخ.

يهدف البحث إلى بناء نموذجاً رياضياً حصيناً لأمثلية سلسلة التوريد متعدد الأهداف ومتعدد الإنتاج ومصاغاً بترمجة الأعداد الصحيحة المختلطة لحل مشكلة (عدم التأكد) التي تعاني منها شركة بغداد للمشروبات الغازية المتعلقة بكميات الطلب وكلف الإنتاج والنقل والخزن المتغيرة والحصول على الحل الأمثل من خلال تقليل هذه الكلف (كلف الإنتاج وكلف النقل وكلف الخزن) والتقليل من مستوى العجز المتوقع وإعطاء كميات مثلى للإنتاج خلال سلسلة التوريد المتعاقبة.

تم استعمال النماذج الحصينة لمعالجة مشكلة (عدم التأكد) التي تعاني منها سلسلة التوريد وهو النموذج الحصين لبرمجة التمكن الحصينة والذي يستند على برمجة قيد المصادفة والبرمجة الحصينة الواقعية والتي تحسب مدى الانحرافات العليا والدنيا لقيمة دالة الهدف عن قيمتها المتوقعة وكذلك تتعامل مع المعلومات الضبابية في مصفوفة معاملات النموذج.

وبعد اجراء التحليلات الرياضية والاحصائية اللازمة باستعمال لغة البرمجة (Matlab) وبعد حل النموذج بتطبيق طريقة برمجة التمكن الحصينة على البيانات التي تم الحصول عليها أظهرت النتائج عدم وجود عجز في كميات الانتاج لجميع مناطق الطلب كما وتم الحصول على كميات الإنتاج المثلى المنقولة من المصنع الرئيسي الى جميع مراكز التوزيع ومن مراكز التوزيع الى جميع مناطق الطلب والتي تحقق هدف الشركة بتقليل التكاليف الى أقل ما يمكن، كما وأظهرت النتائج إن مستوى الخزين في جميع مراكز التوزيع يساوي صفراً.

Abstract

Most of the systems of establishments or companies suffer from a state of (uncertainty) in the data, where the supply chain faces the problem of (uncertainty) in various fields of demand, its components, safety, and costs, such as the costs of manufacturing, in the form of costs. ...etc.

The research aims to build a fortified mathematical model for multi-objective and multi-production supply chain optimization. It was formulated by programming mixed integer numbers to solve the problem (uncertainty) that the Baghdad Company suffers from. Soft drinks are related to the quantities of demand and the changing costs of production, transportation, storage, and obtaining. The optimal solution is through reducing these costs (production costs, transportation costs, and storage costs) and reduce the level of expected deficits and overpayments.

The robust models were used to address the (uncertainty) problem that the supply chain suffers from, which is the immune model of the robust empowerment programming, which is based on the programming under chance, and the realistic robust programming, which calculates the extent of the upper and lower deviations of the value of the target function from its expected value, as well as dealing with fuzzy parameters in a coefficients matrix form.

And after conducting the necessary mathematical and statistical analyzes using the programming language (Matlab) and after solving the model by applying the impenetrable enabling programming method to the data obtained, the results showed that there is no shortage in production quantities for all areas of demand, and the optimal production quantities transferred from the main factory to all Distribution centers and from distribution centers to all areas of demand, which achieve the company's goal of reducing costs to the least possible. The results also showed that the level of inventory in all distribution centers is zero.

المقدمة

نظراً لصعوبة الوصول الى الحل الامثل في معالجة معظم انظمة المنشآت او الشركات، عبر اتخاذ القرار المناسب او البديل الامثل من بين مجموعة البدائل المتاحة، وان المعلومات والبيانات قد تكون غير دقيقة، حيث تواجه وحدات الإنتاج الصناعي مشكلة (عدم التأكد) في مختلف مجالاتها كأن تكون في المواد الخام، الموارد البشرية، الطلب، مخزون الأمان، تكاليف النقل والتصنيع.....الخ، فإن سلسلة توريد (SC) تهدف إلى تصنيع وتوزيع المنتجات عبر مستويات شبكة التوريد المختلفة لتوصيل المنتجات إلى الزبائن في التوقيت الصحيح، وفي المكان المناسب، وبالكمية الصحيحة الكافية والنوعية المناسبة وبتكلفة مقبولة ومراحل سلسلة التوريد (التوريد والتصنيع والتوزيع والبيع بالتجزئة والزبائن).

ترتبط معاً من خلال دورات، والتي تعمل مراراً وتكراراً من أجل زيادة القيمة الربحية لسلسلة التوريد أو تقليل تكاليفها.

في هذا البحث، تم تصميم نموذج برمجة خطية مختلطة ثنائية الهدف (BOMILP) لشبكة سلسلة توريد المنتجات (PSCN)، ويساعد النموذج في اتخاذ عدة قرارات منها، فتح مراكز التوزيع الرئيسية والتحكم بالتدفقات المثلى للإنتاج. ويهدف البحث إلى تقليل التكاليف الكلية (تكاليف الإنتاج وتكاليف النقل وتكاليف المخزون) إلى أقل حد ممكن وتقليل أعلى مستوى للعجز في إطار معلمات النموذج غير المؤكدة. وتم استعمال نماذج الأمثلة الحصينة المتمثلة ببرمجة التمكن الحصينة (RPP) للتعامل مع المعلمات غير المؤكدة والحصول على الحل الأمثل، وقد طُبّق هذا النموذج في دراسة حالة واقعية في شركة بغداد للمشروبات الغازية (BSDC).

مشكلة البحث: «Problem of Research» تعاني شركة بغداد للمشروبات الغازية من (عدم التأكد) في الطلب على منتجاتها، و(عدم التأكد) من كميات الطلب المرتبط بالحاجة المتغيرة على هذه المنتجات خلال الموسم الواحد، كما إنها تعاني من التغيير في كلفة الإنتاج وكلفة النقل وكلفة التخزين بسبب التغيير في أسعار المواد الأولية وأسعار الوقود وتكاليف الأيدي العاملة، كما إن مخزون الأمان في المستودعات العائدة للشركة هو أيضاً غير ثابت باعتباره جزءاً من الطلب الغير مستقر، هذه المعوقات تؤثر على أداء سلسلة التوريد، وبالتالي أدى ذلك إلى وجود ضبابية في الكميات المنتجة، فتتمت الاستعانة بنماذج الأمثلة الحصينة المتمثلة ببرمجة التمكن الحصينة (RPP) لحل هذه المشاكل الإنتاجية والمشاكل المتعلقة باتخاذ القرار.

هدف البحث: «Objective of Research» يهدف البحث إلى بناء نموذجاً رياضياً حصيناً للأمثلة سلسلة التوريد متعدد الأهداف ومتعدد الإنتاج ومصاغ ببرمجة الأعداد الصحيحة المختلطة لحل مشكلة (عدم التأكد) التي تعاني منها شركة بغداد للمشروبات الغازية المتعلقة بكميات الطلب وكلف الإنتاج والنقل والتخزين المتغيرة والحصول على الحل الأمثل من خلال تقليل هذه الكلف (كلف الإنتاج وكلف النقل وكلف التخزين) والتقليل من مستوى العجز المتوقع وإعطاء كميات مثلى للإنتاج خلال سلسلة التوريد المتعاقبة.

حدود البحث: «Limited of Research» وتشتمل على التالي:

أ. **الحدود الزمانية:** بيانات الشركة التي تم الحصول عليها امتدت من تاريخ (2019/1/1م) ولغاية (2020/1/1م) فترة عمل هذه الرسالة.

ب. **الحدود المكانية:** وتركزت في شركة بغداد للمشروبات الغازية (BSDC) في محافظة بغداد ومراكز التوزيع الأربع عشرة التابعة لها في محافظات (بغداد، صلاح الدين، كربلاء المقدسة، واسط، بابل، ديالى، الأنبار، النجف الأشرف، الديوانية، ميسان، ذي قار، المثنى، البصرة، نينوى) والأقضية والنواحي والقرى التابعة لها.

أدوات البحث: «Tools of Research» استخدم في جمع البيانات ومعلومات البحث الآتي:

أ- الجانب النظري: الأدبيات العلمية المتوفرة، والمجلات الأكاديمية المنشورة على شبكة المعلومات (Internet).

ب- الجانب الميداني: اعتمد في جمع بيانات الجانب العملي على المقابلات الشخصية مع بعض منتسبي الشركة والمعلومات الرسمية عن الشركة وسجلات اقسام التسويق والخزن والحسابات.
ج- الجانب التطبيقي: استخدم برنامج (Matlab) للحصول على نتائج دقيقة تقترب من الحل الأمثل وتخدم أهداف البحث.

المبحث الأول / الإطار النظري للبحث / يهدف المبحث الى تحديد مفهوم سلسلة التوريد ونهج عدم التأكد والبرمجة الحصرية الأمثلية لتحديد مسارات الجانب التطبيقي من البحث، وكالاتي:
أولاً، سلسلة التوريد Supply Chain تُعرّف سلسلة التوريد كعملية متكاملة بأنها مجموعة من الموردين والمنتجين والموزعين وتجار التجزئة تعمل معاً لتحويل المواد الخام إلى المنتجات النهائية، وتوصيلها الى مناطق الطلب وتوزيعها على الزبائن النهائيين، وتشمل عمليات الانتاج والتخزين والنقل، ان تصميم شبكة سلسلة التوريد ، لها دور هام في أداء سلاسل التوريد باعتبارها واحدة من مشاكل القرار الرئيسية في إدارة سلسلة التوريد [8].

1- القرارات في سلسلة التوريد (Decisions in Supply Chain)، قد تثير القرارات المختلفة في سلسلة التوريد المسؤولين ومديري الشركات الى دراستها ومناقشتها لأهميتها في اختيار القرار المناسب وخصوصا القرارات التي تتعلق بطول أفق التخطيط وهي: [6]
أ- القرارات الاستراتيجية طويلة المدى مثل:

1- اعداد وأحجام وأماكن (المصانع الاولى ، المصانع الثانوية ، مراكز التوزيع الرئيسية ، مراكز التوزيع المحلية والمخازن المتوسطة الاخرى).

2- شبكة الاتصال وتتضمن التخصيص من الموردين الى مواقع التصنيع ومن مواقع التصنيع الى المستودعات (المخازن) واخيرا من المستودعات (المخازن) الى الاسواق.

3- قرارات النقل مثل وسائل النقل بين المراحل المتعاقبة في سلسلة التوريد (على سبيل المثال الطرق ، سكك الحديد ، البحر..... الخ) وكمية الشحنات وحجمها.

ب- القرارات التكتيكية متوسطة المدى مثل :

1- التخطيط والانتاج والجدولة العالية المستوى للمنتجات العائلية في المرحلتين الاولى والثانوية بالنسبة الى مراكز التصنيع.

2- كيفية ادارة المخزون في المخازن الرئيسية والمخازن المحلية والمستودعات الوسيطة .

3- سياسات التجديد (التحديث).

ج- القرارات التشغيلية التنفيذية قصيرة المدى مثل: تعيين مراحل مختلفة للخطوط الانتاجية والاعداد وحجم الدفعات وطول الحملات وتدفقات المواد.

2. مكونات سلسلة التوريد Components of the Supply Chain تُقسّم هيكلية سلسلة التوريد

(Supply Chain) الى : [3]

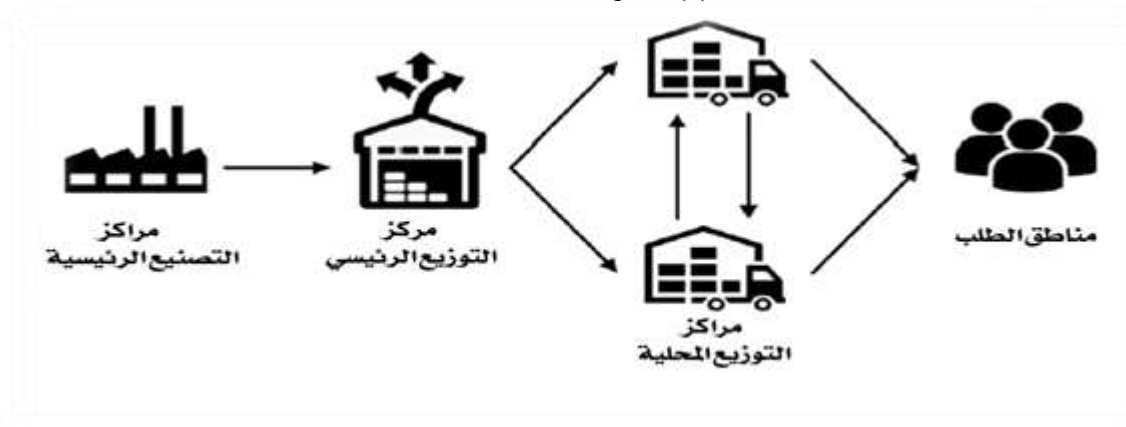
أ- مواقع التصنيع الاولى : وهي المسؤولة عن انتاج المواد الاولى والتي عادة ما تمر بمراحل التوليف الكيميائي او الفصل أو التخمر واستعادة المنتج وتنقيته.

ب - مواقع التصنيع الثانوية : والتي غالبا ما تفوق عدد مواقع التصنيع الاولى وهي المسؤولة الرئيسية عن الانتاج النهائي والمسؤولة ايضا عن أستلام المواد الاولى من قبل مواقع التصنيع الأولية وتسليمها الى مراكز التوزيع .

ج- مراكز التوزيع : والتي تلعب دوراً هاماً في السلسلة وهي المسؤولة عن تلبية طلبات الزبائن مباشرة.

د- مناطق الطلب : وتشمل تجار الجملة وأصحاب المحلات.

مخطط (1) يوضح مك ونات سلسلة التوريد



3- خصائص سلسلة التوريد، (Characteristics of the Supply Chain)، لسلسلة التوريد العديدة

من الخصائص والمميزات منها: [4]

أ. سلسلة التوريد قادرة على الاستفادة من كفاءة تقنيات التحسين والتي بدورها تلبى متطلبات السوق و بشكل كافي.

ب. سلسلة التوريد تعد وسيلة مقبولة لحماية المنتج ضد الضغوط المسببة لزيادة اساليب الربح و التغلب على العقبات التي تعترض الكفاءة.

ت. سلسلة التوريد تعمل ضمن محدودية الموارد المتاحة.

4- دوال الهدف في النماذج الرياضية لسلسلة التوريد، ركزت غالبية البحوث السابقة لسلاسل

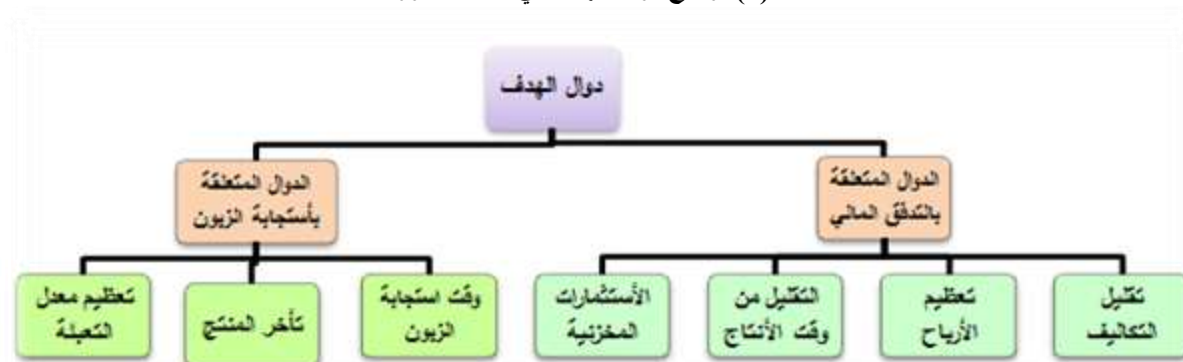
التوريد على هدف واحد فقط وهو اما تقليل التكاليف الاجمالية او تعظيم القيمة الصافية للأرباح، وعند التحقيق في القضايا الرئيسية في سلسلة توريد الانتاج مثل: اختلاف رأس المال ، تكاليف التشغيل، معدلات الضرائب ، تكاليف النقل، اسعار الصرف وغيرها من القضايا المهمة المتعلقة ببناء الانموذج فعلى اساس القضايا التي ذكرت يتم اختيار دالة الهدف للأنموذج [7]. فمثلا يرى اغلب الباحثين ان تعظيم القيمة الصافية للأرباح ذات جدوى اكثر من تقليل التكاليف (تكاليف الانتاج، تكاليف الخزن، تكاليف النقل، التكاليف الضريبية، تكاليف العجز، تكاليف التخصيص، وغيرها) وذلك لان اكثر البلدان تفرض تكاليف ضريبية (معدلات ضريبية) مختلفة من بلد لآخر، مما يؤدي الى ان تعظيم الارباح يختلف من بلد لآخر استنادا الى المعادلة:

الضريبة - تكاليف الخزن - تكاليف الإنتاج - الواردات = القيمة الصافية للربح
وممكن تقسيم دوال الهدف المتعددة لتقييم سلسلة التوريد الى مجموعتين : [5]

أ: **المشاكل المتعلقة بالتدفق المالي مثل**، 1- تقليل التكاليف. 2- تعظيم المبيعات. 3- الاستثمارات المخزنية. 4- التقليل من وقت الانتاج. 5- الارباح العائدة من الاستثمار.

ب: **المشاكل المتعلقة باستجابة الزبون مثل**، 1- وقت استجابة الزبون. 2- تأخر المنتج. 3- تعظيم معدل تعبئة المنتج.

فضلاً عن ذلك هناك عدة قرارات ممكن أن تكون دوال الهدف في نماذج تخص سلسلة التوريد مثل [4]: 1- أعداد ومواقع وتكنولوجيات الانتاج لمحطات المصانع. 2- أعداد ومواقع وقدرات مراكز التوزيع الرئيسية. 3- أعداد ومواقع وقدرات مراكز التوزيع المحلية. مخطط (2) يوضح دوال الهدف في سلسلة التوريد



5. **القيود في النماذج الرياضية لسلسلة التوريد**، أما القيود التي يمكن اخذها في عين الاعتبار عند

بناء النماذج الرياضية في سلاسل التوريد فهي على النحو الآتي: [4]

أ. قيود التخصيص (تخصيص المنتجات في مواقع التصنيع الأولية والثانوية) مما يضمن ان كل منتج في الاستثمار يتم تخصيصه على الاقل او بالضبط الى موقع تصنيع واحد.

ب. قيود القدرات التي تقلل من استخدام الموارد (المعدات والمواد وغيرها).

ت. القيود المتصلة بتوازن التدفقات بين مختلف مستويات سلسلة التوريد مثلاً: (بين الاسواق والمخازن و بين المخازن و مواقع التصنيع وغيرها).

ث. قيود التخزين والتي تحدد العلاقة بين المخزون والتدفقات الواصلة.

ج. القيود المفروضة على حجم الحملات (الدفعات الإنتاجية).

ح. قيود قدرة الموارد.

خ. قيود الوقت (المدة الزمنية المحددة لكل حملة او دفعة انتاجية).

د. قيود حجم الدفعة (كمية المنتجات التي يمكن انتاجها في كل دفعة).

ذ. قيود الطلب والكميات المطلوبة من المنتجات النهائية.

ر. تدفقات المواد بين المواقع.

ز. عدد الدفعات المسموح بتضمينها ضمن الحملة وغيرها من القيود.

ثانياً، مشكلة عدم التأكد (Uncertainty, problem) إن انعدام التأكد (Uncertainty) ينشأ من

مصادر مختلفة ويمكن تقسيمه الى قسمين هما العشوائية (Randomness) والضبابية (Fuzziness) و

يشارك كل من العشوائية والضبابية بأن كليهما يصنف عدم التأكد بالأرقام ضمن المدة [0,1] لتحديد

نوع عدم التأكد الصحيح يؤدي الى اختيار الاسلوب الملائم لتحليل المشكلة ومعالجتها بصورة صحيحة و تعالج النظرية الاحتمالية (Probability theory) عدم تأكد الناتج من العشوائية و تعالج نظرية المجموعات الضبابية (theory fuzzy sets) عدم التأكد الناتج من الضبابية. [1]

ثالثاً، البرمجة الحصينة: (Robust Programming) (RP) تُعرّف البرمجة الحصينة بأنها مجموعة من الطرق والمناهج والأساليب التي تُحصّن الحل ضدّ حالة (عدم التأكد) في البيانات التي يعتمد عليها في الأنموذج الرياضي وتبعد الخطر عنه وتوفر لصاحب القرار الفرصة للحصول على الأمثلية في الحل النهائي (10). ويُعرّف الحل الحصين بأنه الحل الأمثل للمشكلة اذا كان لديه (متانة الجدوى) للقيود و(المتانة الأمثلية) لدالة الهدف، تعتمد كل مناهج البرمجة الحصينة على متانة الجدوى والمتانة الأمثلية. (11) ومتانة الجدوى في القيود التي تتضمن على معلمات (غير مؤكدة) تعني ان الحل يبقى متاحاً أمام جميع القيم المتاحة في المعلمات (غير المؤكدة) ، أما المتانة الأمثلية فتعني أن قيمة دالة الهدف للحل النهائي يجب أن تبقى قريبة من القيمة المثلى تقريباً ، بتعبير آخر أن يكون أقل حد للانحراف عن القيمة المثلى متاحاً أمام جميع قيم المعلمات غير المؤكدة. (11) إن إهمال عدم اليقين (عدم التأكد) في معلمات أي أنموذج رياضي عند تصميمه قد يفرض مخاطر كبيرة على الشركات والمؤسسات. (9)

أنواع مناهج البرمجة الحصينة: (11)

أولاً، أقل حالة صعبة في البرمجة الحصينة: (Hard Worst Case Robust Programming) يوفر هذا النهج أعلى قدر من الأمان أو الحصانة ضد (عدم التأكد) لقيم المعلمات الضبابية من خلال تجاهل قيد المصادفة أو القيم المتاحة في (متانة الجدوى) بتعبير آخر يُحصّن الحل لكونه غير متاح لجميع القيم الممكنة للمعلمات الضبابية وبالتالي يُبعد الخطر عن النتائج وهو نهج محافظ جداً وبالنسبة ل(المتانة الأمثلية) لدالة الهدف ، يحاول هذا النهج التقليل من أدنى قيمة ممكنة للحل النهائي (طريقة تقليل-الحد الأعلى) Min(Max) ويُطبق هذا النهج على النماذج الرياضية التي يمكن أن يؤدي فيها أي ضرر صغير الى نتائج كارثية بالنسبة للأداء المتوقع للنظام مثل (حالات الطوارئ والحالات العسكرية) لأنها تتطلب درجة عالية من المحافظة وعدم الخطأ ويستعمل النقاط المتطرفة للمعلمات الضبابية التي تشكل قيود الأنموذج ودالة الهدف.

وفيما يلي أنموذج رياضي مضغوط لنهج (HWCPR):

$$\text{Min } Z_{\text{Max}}$$

$$\text{S. to}$$

$$Ax \geq d_{(4)} \quad \dots\dots\dots(1-1)$$

$$Bx = 0$$

$$Sx \leq N_{(1)}y$$

$$Tx \leq 1 \quad , \quad y \in \{0,1\} \quad , \quad x \geq 0$$

إذ إنّ : A,B,S معاملات مصفوفة القيود

x متغير القرار الرئيسي معلمة ضبابية (N₍₁₎, N₍₂₎, N₍₃₎, N₍₄₎)

y متغير القرار الثانوي الطلب الضبابي (d₍₁₎, d₍₂₎, d₍₃₎, d₍₄₎)

ثانياً، أقل حالة مرنة في البرمجة الحصينة، (Soft Worst Case Robust Programming)

وهذا النهج هو أكثر مرونة من النهج السابق (HWCPR) الذي يحاول التقليل لأقل قيمة لدالة الهدف ويطبّق هذا النهج للتخلص من المشاكل المتعلقة بالنهج السابق (HWCPR) مثل القرارات الناتجة عن حل أنموذج (HWCPR) التي تدفع الإدارة المالية لدفع تكاليف أعلى ويسمح هذا النهج بتجاوز القيود، ويضع عقوبة جزائية لتجاوز كل قيد، وتحدد قيمتها من قبل صانع القرار وفي ما يتعلق ب (المتانة الأمثلية) يحاول هذا النهج من التقليل الى أدنى حد من قيمة دالة الهدف وكذلك العقوبة الجزائية الناتجة عن انتهاكات القيود.

وفيما يلي دالة الهدف لنهج (SWCRP):

$$\text{Min}(w) = Z_{\text{Max}} + \delta[d_{(4)} - (1 - \alpha)d_{(3)} - \alpha d_{(4)}] \\ + \pi[vN_{(1)} + (y - v)N_{(2)} - N_{(1)}y] \dots \dots (2 - 1) \\ \text{إذ إن: } \alpha, \beta \text{ مستوى الثقة للقيود}$$

$$Z_{\text{Max}} \text{ أعلى قيمة لدالة الهدف} \quad \delta, \pi \text{ العقوبة الجزائية لتجاوز القيود} \\ v = \beta.y \text{ متجه مساعد} \quad N = (N_{(1)}, N_{(2)}, N_{(3)}, N_{(4)}) \text{ معلمة ضبابية} \\ y \text{ متغير القرار الثنائي} \quad d = (d_{(1)}, d_{(2)}, d_{(3)}, d_{(4)}) \text{ الطلب الضبابي}$$

ثالثاً، البرمجة الحصينة الواقعية: (RRP) (Realistic Robust Programming) يسعى هذا النهج

من البرمجة الحصينة الى حل حصين نسبي يستند على قيمة الفائدة الكلية وخيارات صاحب القرار ويهدف هذا النهج الى تحديد مقارنة (واضحة أو ضمنية) بين تكلفة المتانة وأهداف أخرى مثل تحسين متوسط أداء النظام (منطق التكلفة والأرباح) وهو مناسب للسعي الى الربح لامتلاكه المرونة ويساعد صاحب القرار لأنه يغطي الأفق بين حالات أقل قيمة ومتوسط القيم بالنسبة الى دالة الهدف ويسمح هذا النهج بتجاوز القيود، ويضع عقوبة جزائية لتجاوز كل قيد، وتحدد قيمتها من قبل صانع القرار ويتحكم بدرجة ومتانة الجدوى ويمكن تطبيقه في معظم حالات العمل وتم تطوير هذا النهج من خلال استعمال برمجة قيد المصادفة وسميت البرمجة الجديدة ببرمجة التمكين الحصينة.

رابعاً، برمجة قيد المصادفة: (CCP) (Chance Constrained Programming) وهو احد طرق

البرمجة الحصينة موثوق به يعتمد على مفاهيم رياضية قوية ويفسح المجال امام (صانع القرار) في التحكم في مستوى الثقة في رضا القيود فضلاً عن التعامل مع الأنواع المختلفة من الأعداد الضبابية مثل المثلية وشبه المنحرفة (7) ويتم الاستعانة بهذه البرمجة في النماذج الرياضية الضبابية لسبيين، الأول تحصين قيمة دالة الهدف امام القيم المختلفة للعدد الضبابي وجعلها أقرب للأمثلية، الثاني التحكم بمستوى الثقة في رضا القيود للطرف الأيمن. يتم استعمال برمجة قيد المصادفة (CCP) لتطوير نماذج البرمجة الحصينة (RP) وتعتمد هذه البرمجة على مفاهيم رياضية قوية مثل: (11)

1- **مشغل القيمة المتوقعة (Expected Value Operator) EV** ويتم تطبيقه في دالة الهدف للمعاملات الضبابية والغرض منه تحصين قيمة دالة الهدف امام القيم المختلفة للعدد الضبابي وجعلها أقرب للأمثلية، فضلاً عن تحويل دالة الهدف من الصيغة الضبابية الى الصيغة التقليدية والصيغة الرياضية له فكما يلي:

ليكن $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ عدد ضبابي رباعي شبه منحرف فأن:

$$EV(\tilde{A}) = \left(\frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4}{4} \right) \dots \dots \dots (3 - 1)$$

والمعادلة (3 - 1) يمكن تطبيقها مباشرة لتحويل دالة الهدف الضبابية الى دالة هدف تقليدية.

2 - **مقياس التمكين** (Pos M) (Possibility Measure): والغرض من استعمال هذا المقياس تحويل القيد الضبابي الى قيد تقليدي في برمجة قيد المصادفة عند مستوى الثقة المقدّر من قبل صانع القرار ويعمل على الرقمين الاول والثاني من العدد الضبابي شبه المنحرف $\tilde{A}$.

ليكن $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ عدد ضبابي (شبه منحرف) وليكن r عدد حقيقي ، وعندما يقدر مستوى الثقة (α) من قبل صانع القرار بـ $\alpha > 0.5$ فيكون مقياس التمكين:

$$\text{pos}\{\tilde{A} \leq r\} \geq \alpha \Leftrightarrow r \geq (1-\alpha)a_{(1)} + \alpha a_{(2)} \dots \dots (4 - 1)$$

المعادلة (4 - 1) يمكن تطبيقها مباشرة لتحويل قيد المصادفة الضبابي الى ما يعادله من القيود التقليدية.

3 - **مقياس الضرورة** (Nec M) (Necessity Measure): والغرض من استعمال هذا المقياس تحويل القيد الضبابي الى قيد تقليدي في برمجة قيد المصادفة عند مستوى الثقة المقدّر من قبل صانع القرار ويعمل على الرقمين الثالث والرابع من العدد الضبابي شبه المنحرف $\tilde{A}$.

ليكن $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ عدد ضبابي (شبه منحرف) وليكن r عدد حقيقي ، وعندما يقدر مستوى الثقة (α) من قبل صانع القرار بـ $\alpha > 0.5$ فيكون مقياس الضرورة:

$$\text{Nec}\{\tilde{A} \leq r\} \geq \alpha \Leftrightarrow r \geq (1-\alpha)a_{(3)} + \alpha a_{(4)} \dots \dots (5 - 1)$$

المعادلة (5 - 1) يمكن تطبيقها مباشرة لتحويل قيد المصادفة الضبابي الى ما يعادله من القيود التقليدية.

4 - **مستوى الثقة** (Confidence Level): وهو عبارة عن قيم تقع ضمن الفترة المغلقة $[0,1]$ ويرمز لها بالرموز α, β تحدد في الطرف الأيمن في كل قيد مصادفة من قبل صاحب القرار حيث يقوم صاحب القرار بتحديد الحد الأدنى من مستوى الثقة ، ويفترض أن تكون قيود المصادفة مقبولة عند مستوى الثقة $\alpha, \beta \geq 0.5$. وعادةً ما يقوم صاحب القرار بتحديد القيم الأولية لكل مستوى ثقة بشكل شخصي وبعد عدة تجارب يتم اختيار القيمة النهائية الأكثر قبولاً من الاخريات.

وكما أسلفنا ان قيمة مستوى الثقة يتم اختيارها لكل قيد مصادفة بشكل شخصي ، وهذا لا يعني ان القيمة المختارة هي أفضل خيار ممكن، وطريقة اختيار قيمة مستوى الثقة تشبه بقدر كبير (تحليل الحساسية) حيث يمكن لصانع القرار التحكم بمستوى الثقة وتحليل أثرها على قيمة الحل النهائي. وتجدر الإشارة أنه كلما زادت عدد قيود المصادفة كلما زادت عدد التجارب اللازمة لاختيار القيمة الصحيحة لمستوى الثقة زيادة كبيرة، ولذلك أن من غير المجدي حل هذه التجارب يدوياً لأنها معقدة وتستغرق وقتاً طويلاً. (11)

خامساً، برمجة التمكين الحصينة (RPP) (Robust Possibility Programming) عند تطبيق نهج برمجة قيد المصادفة (CCP) في البرمجة الحصينة الواقعية (RRP) تتكون لدينا برمجة التمكين الحصينة (RPP). لنفرض الانموذج الرياضي المضغوط التالي بدالة هدف واحدة (تقليل التكاليف) (واذا كان لدينا دالة هدف ثانية فأنها تعامل معاملة دالة الهدف الأولى): (11)

ولتشكيل أنموذج برمجة التمكن الحصينة باستعمال قيد المصادفة سوف نستخدم (مشغل القيمة المتوقعة) بالنسبة لدالة الهدف و(مقياس الضرورة) للتعامل مع قيود الفرصة الضبابية ، والمعلومات الضبابية من النوع (شبه المنحرف).

$$\text{Min } E[Z] = \left[\frac{f_{(1)} + f_{(2)} + f_{(3)} + f_{(4)}}{4} \right] y + \left[\frac{c_{(1)} + c_{(2)} + c_{(3)} + c_{(4)}}{4} \right] x$$

S. to

$$Ax \geq (1 - \alpha)d_{(3)} + \alpha d_{(4)}$$

$$Bx = 0$$

..... (6 - 1)

$$Sx \leq [(1 - \beta)N_{(2)} + \beta N_{(1)}]y$$

$$Tx \leq 1, \quad y \in \{0,1\}, \quad x \geq 0$$

d يشير إلى الطلب المتذبذب

y يشير إلى المتغير الثنائي

f يشير إلى تكاليف الافتتاح الثابتة

x يشير إلى متغير القرار

C يشير إلى تكاليف النقل والإنتاج

A و B و N و S و T تشير إلى معاملات مصفوفة القيود.

ويفترض في الأنموذج أعلاه أن قيود المصادفة تكون مقبولة عند مستوى الثقة α , $0.5 \leq \beta$ والتي يتم تحديدها من قبل صاحب القرار ، أما بالنسبة لدالة الهدف فيحاول الأنموذج تقليل القيمة المتوقعة (متوسط القيمة) ، و الأنموذج أعلاه غير حساس لانحراف قيمة دالة الهدف عن قيمتها المتوقعة ، بتعبير آخر قد تؤدي نتائج القرار إلى انحراف كبير عن القيمة المتوقعة لدالة الهدف في بعض الحالات ويمكن أن تفرض خطورة كبيرة على صاحب القرار.

هناك ثلاث نماذج لبرمجة التمكن الحصينة (RPP) وهذه النماذج هي (RPP-1) و (RPP-2) و (RPP-3) وسوف نستعرض النماذج الثلاث ونجري المقارنة فيما بينها بذكر دالة الهدف لكل أنموذج ونحدد الأنموذج الأفضل.

1. النوع الأول لبرمجة التمكن الحصينة «RPP-1» دالة الهدف الافتراضية لهذا النوع هي :

$$\text{Min}(Z) = E[Z] + \gamma(Z_{\max} - Z_{\min}) + \delta[d_{(4)} - (1 - \alpha)d_{(3)} - \alpha d_{(4)}] \quad \dots (7 - 1)$$

ويشير $E[Z]$ إلى القيمة المتوقعة لدالة الهدف (Z) مما يؤدي إلى تقليل التكاليف الكلية المتوقعة (المتوسط) للنظام المعني. أما $(Z_{\max} - Z_{\min})$ فتشير إلى الفرق بين القيمتين الاحتمالية الطرفيتين ل (Z) واللتي يمكن تعريفهما على النحو التالي:

$$Z_{\max} = f_{(4)}y + c_{(4)}x \quad \dots (8 - 1)$$

$$Z_{\min} = f_{(1)}y + c_{(1)}x \quad \dots (9 - 1)$$

أما (γ) فتمثل الوزن (الأهمية النسبية) و $(\gamma(Z_{\max} - Z_{\min}))$ في الواقع يتحكم هذا المصطلح في المتانة الأمثلية لمتجه الحل ، و (δ) تمثل تكلفة (العقوبة) لأي تجاوز محتمل غير مسموح به لكل قيد ، و $[d_{(4)} - (1 - \alpha)d_{(3)} - \alpha d_{(4)}]$ فيشير إلى الفرق بين حالة أسوأ قيمة للمعلمة (الضبابية) $(d_{(4)})$ والقيمة المستخدمة في قيود المصادفة $[(1 - \alpha)d_{(3)} + \alpha d_{(4)}]$ في الواقع ، يتحكم هذا

المصطلح في متانة الجدوى لمتجه الحل. اما $\delta[d_{(4)} - (1 - \alpha)d_{(3)} - \alpha d_{(4)}]$ فيحدد مستوى الثقة لكل قيد مصادفة.

2. النوع الثاني لبرمجة التمكين الحصينة RPP-2 دالة الهدف الافتراضية لهذا النوع هي:

$$\text{Min}(Z) = E[Z] + \gamma(Z_{\max} - E[Z]) + \delta[d_{(4)} - (1 - \alpha)d_{(3)} - \alpha d_{(4)}] + \pi[vN_{(1)} + (y - v)N_{(2)} - N_{(1)}y] \dots (10 - 1)$$

حيث $\gamma(Z_{\max} - E[Z])$ تضمن أن دالة الهدف حساسة فقط لانحرافات قيمة دالة الهدف عن القيم التي أقل من القيمة المتوقعة، الصيغة الأخيرة (10 - 1) تقدم تعويض حصين الى تقليل القيمة المتوقعة الى أقل حد من الصيغة السابقة لأنموذج (RPP-2)

وهذه الحالة أدت الى وضع منهج (RPP-3) الذي حاول أن يضع بديل بأقل تعويض من الحالة السابقة.

3. النوع الثالث لبرمجة التمكين الحصينة RPP-3 دالة الهدف الافتراضية لهذا النوع هي:

$$\text{Min}(Z) = E[Z] + \gamma(Z_{\max}) + \delta[d_{(4)} - (1 - \alpha)d_{(3)} - \alpha d_{(4)}] + \pi[vN_{(1)} + (y - v)N_{(2)} - N_{(1)}y] \dots (11 - 1)$$

ومن خلال وصف دوال الهدف لمناهج برمجة التمكين الحصينة المختلفة (RPP-1) و (RPP-2) و (RPP-3) نستنتج:

1- أن النماذج الثلاث هي نماذج برمجة حصينة قوية تعتمد على نهج المحافظة وتهتم بالمتانة الأمثلية لدالة الهدف ومتانة الجدوى لقيود المصادفة وتعطي أهمية واضحة لعقوبة الجزاء في تجاوز القيود.

2- أن النماذج الثلاث هي نماذج برمجة حصينة واقعية (RRP) التي تم وصفها في بداية المبحث.

3- أن افضل أنموذج من بين النماذج الثلاث الذي يعالج مشكلة سلسلة التوريد في هذا البحث هو (RPP-2) وذلك لسببين:

الأول: يحول الأنموذج الغير خطي الى أنموذج خطي.

الثاني: وجود معاملات ضبابية شبه منحرفة في مصفوفة المعاملات N.

سادساً، برمجة التمكين الحصينة المعدلة (Modified Robust Possibilistic Programming)

في النماذج الثلاث لبرمجة التمكين الحصينة (RPP-1)، (RPP-2)، (RPP-3) تم حساب تجاوز القيود من خلال فرض تكلفة (عقوبة) مع نهج المحافظة بطريقة أو بأخرى، ولكن لا يوجد اهتمام لاحتمالية هذا التجاوز وعليه يتم تشكيل نهج أقل تحفظاً يعطي احتمالية لتجاوز القيود وهو نهج برمجة التمكين الحصينة المعدلة (MRPP) وتكون دالة الهدف له:

$$\text{Min}(Z) = E[Z] + \gamma(Z_{\max} - E[Z]) + \alpha \delta[d_{(4)} - (1 - \alpha)d_{(3)} - \alpha d_{(4)}] + \beta \pi[vN_{(1)} + (y - v)N_{(2)} - N_{(1)}y] \dots (12 - 1)$$

وعلى الرغم من ميزة هذا الأنموذج، إلا أنه يحوي على معاملات تربيعية، لذلك يصنف أنموذج غير خطي (تربيعي)، والنماذج الغير خطية كما نعلم هي نماذج رياضية معقدة.

المبحث الثاني / الأنموذج الضبابي الحصين (Robust Fuzzy Model)

لقد خُصصَ هذا المبحث لبناء أنموذجاً رياضياً في سلسلة التوريد لشركة بغداد للمشروبات الغازية يهدف إلى تقليل الكلف، (كلف الافتتاح، كلف النقل، كلف الاحتفاظ بالمخزون، كلف

الانتاج) والتقليل من أعلى كمية للعجز لجميع عوائل المنتجات تحت قيود الانتاج وقيود الطلب على كل عائلة انتاج من ضمن الموارد المتاحة وقدرات سعة التخزين في ظل ضبابية المعلومات.

أولاً، الأنموذج الرياضي،

المؤشرات (Indices) :

- (i) يشير الى موقع التصنيع الثانوي (المصنع الرئيسي)
- (j) يشير الى المواقع المرشحة لمراكز التوزيع الرئيسية $j \in (1, 2, 3, \dots, J)$
- (l) يشير الى مناطق الطلب $l \in (1, 2, 3, \dots, L)$
- (t) يشير الى الفترات الزمنية $t \in (1, 2, 3, \dots, T)$
- (n) يشير الى مستويات القدرة الممكنة لمراكز التوزيع الرئيسية $n \in (1, 2, 3, \dots, N)$
- (p) يشير الى عائلة المنتجات $p \in \{1, 2, 3, \dots, P\}$

المتغيرات (Variables) :

- I_{jpt} مستوى الخزين لعائلة المنتج (p) في مراكز التوزيع الرئيسية (j) خلال الفترة الزمنية (t)
- O_{jlpt} كمية الانتاج لعائلة المنتج (p) التي يتم شحنها من مركز التوزيع الرئيسي (j) الى منطقة الطلب (l) خلال الفترة الزمنية (t)
- u_{ijpt} كمية الانتاج لعائلة المنتج (p) التي تصنع من المصنع الثانوي (i) ويتم شحنها الى مركز التوزيع الرئيسي (j) خلال الفترة الزمنية (t).

المتغيرات الثنائية: (Variables Binary)

$$x_j^n = \begin{cases} 1 & \text{إحتمالية فتح مركز توزيع رئيسي (j) بقدرة إنتاجية من المستوى (n)} \\ 0 & \text{عدا ذلك} \end{cases}$$

$$z_j = \begin{cases} 1 & \text{وجود مستوى للخزين في مراكز التوزيع الرئيسية (j)} \\ 0 & \text{عدا ذلك} \end{cases}$$

المعلمات (Parameters) :

- c_{ijp} كلفة الوحدة الواحدة للنقل لعائلة المنتج (p) من المصنع الثانوي (i) الى مركز التوزيع الرئيسي (j).
- d_{lpt} كمية الطلب التي تطلب من منطقة الطلب (l) لعائلة المنتج (p) خلال الفترة الزمنية (t).
- e_{jlp} كلفة الوحدة الواحدة للنقل لعائلة المنتج (p) من مركز التوزيع الرئيسي (j) الى منطقة الطلب (l).
- f_j^n الكلفة الثابتة لفتح مركز توزيع رئيسي (j) بقدرة إنتاج من المستوى (n).
- SC_{jp} كلفة الوحدة الواحدة من الخزين لعائلة المنتج (p) في مركز التوزيع الرئيسي (j).
- SS_{jpt} مخزون الأمان للمنتج (p) في مركز التوزيع الرئيسي (j) خلال الفترة الزمنية (t).
- δ_j^n قدرة الخزن لمركز التوزيع الرئيسي (j) التي تنشئ من خلال مستوى القدرة (n).
- τ_{ip} قدرة الانتاج القصوى للمصنع الثانوي (i) لعائلة المنتج (p).
- π_p الأهمية النسبية لعائلة المنتج (p).
- ρ_{ip} كلفة الوحدة الواحدة للتصنيع لعائلة المنتج (p) للمصنع الثانوي (i).

وباستخدام المؤشرات المذكورة أعلاه ، يكون الأنموذج الرياضي [BOMILP] كالتالي:

$$\text{Min}(w_1) = \sum_{j,n} f_j^n x_j^n + \sum_{i,j,p,t} (\rho_{ip} + c_{ijp}) u_{ijpt} + \sum_{j,l,p,t} e_{jlp} o_{jlpt} + \sum_{j,p,t} SC_{jp} I_{jpt}$$

دالة الهدف الاولى (w₁) تحاول تقليل التكاليف (تكاليف الافتتاح الثابتة لمراكز التوزيع الرئيسية، وتكاليف النقل وتكاليف التصنيع، وتكلفة الاحتفاظ بالمخزون في مراكز التوزيع الرئيسية).

$$\text{Min}(w_2) = \text{Max}_{l,p,t} \left\{ \pi_p (d_{lpt} - \sum_j o_{jlpt}) \right\}$$

أما دالة الهدف الثانية (w₂) فتحاول التقليل من أعلى كمية للعجز لجميع عوائل المنتجات ، مما يعني ان الحد الأعلى للطلب الكلي غير متحقق خلال أفق التخطيط لأن تحقيق وحدة الطلب لعائلة المنتجات ذات الأولوية المنخفضة ليس بنفس الأهمية النسبية لعدم تحقيق وحدة الطلب لعائلة المنتجات ذات الأولوية العالية فيتم تحقيق هذا الهدف من خلال دمج معلمات الأهمية النسبية (π_p) لاتخاذ موقف متوازن تجاه عوائل الإنتاج المختلفة.

Subject to :

$$I_{jpt} = I_{j,p,t-1} + \sum_i u_{ijpt} - \sum_l o_{jlpt} \quad \forall j, p, t \quad \dots \dots \dots (1)$$

القيود (1) يضمن تحقيق التوازن لمستوى الخزين لكل عائلة منتج في مراكز التوزيع الرئيسية من خلال التدفقات الداخلة والخارجة.

$$\sum_j u_{ijpt} \leq \tau_{ip} \quad \forall p, t \quad \dots \dots \dots (2)$$

والقيود (2) يضمن ان مستوى الانتاج الكلي لأي عائلة من المنتجات في المصنع الثانوي لن يتجاوز القدرة الانتاجية المعينة لعائلة ذلك المنتج في المصنع .

$$\sum_j (I_{j,p,t-1} + \sum_{i,p} u_{ijpt}) \leq \sum_{j,n} \delta_j^n x_j^n \quad \forall j, t \quad \dots \dots \dots (3)$$

بالنسبة للقيود (3) هو قيد قدرة التخزين لمراكز التوزيع الرئيسية ، ويضمن أن مستوى المخزون الكلي لجميع المنتجات من الفترة السابقة (مخزون الامان) مضافاً إليه مجموع المنتجات الواردة إلى مراكز التوزيع الرئيسية في كل فترة لا يمكن أن يتجاوز سعة التخزين الخاصة بكل مركز توزيع رئيسي.

$$I_{jpt} \geq SS_{jpt} Z_j \quad \forall p, j, t \quad \dots \dots \dots (4)$$

القيود (4) يضمن أن كمية المخزون لكل عائلة منتج في كل مركز توزيع رئيسي- أكبر أو يساوي من مستوى مخزون الأمان المحدد مسبقاً.

هذا القيد يحمي الشبكة من الطلب الغير متوقع إلى حدٍ ما. ويمكن تقدير مستوى مخزون الأمان على أنه جزء صغير من الطلب الكلي لمناطق الزبائن المحيطة بكل عائلة من المنتجات وفقاً لمستوى الخدمة المحدد مسبقاً.

$$\sum_n x_j^n \leq 1 \quad \forall j \quad \dots \dots \dots (5)$$

القيود (5) يضمن انه لكل مركز توزيع رئيسي- يمكن ان يفتح استخدام تكنولوجيا إنتاج واحدة فقط لكل عائلة منتج من مستوى قدرة الانتاج المتاحة ومستوى سعة الخزن ، على التوالي.

$$x_j^n, z_j \in \{0,1\} \quad \forall j, n \quad \dots \dots \dots (6)$$

$$u_{ijpt}, \quad o_{jlpt}, \quad I_{jpt} \geq 0, \quad \forall i, j, l, t, p \quad \dots \dots \dots (7)$$

اما القيد (6) و (7) فهي القيود الثنائية (Binary) وقيود عدم السالبة لمتغيرات القرار.

ثانياً، تحويل النموذج غير الخطي الى نموذج خطي. دالة الهدف الثانية (w_2) ، دالة غير خطية بسبب هيكلها (تقليل -الحد الأعلى) $\text{Min}(\text{Max})$ وللتخلص من تعقيد الدالة غير الخطية نقوم بتحويلها الى دالة خطية من خلال تعريف (θ) متغير حر مساعد ، وإضافة قيد جديد للنموذج ، فيصبح النموذج خطي كالتالي:

$$\text{Min}(w_1) = \sum_{j,n} f_j^n x_j^n + \sum_{i,j,p,t} (\rho_{ip} + c_{ijp}) u_{ijpt} + \sum_{j,l,p,t} e_{jlp} o_{jlpt} + \sum_{j,p,t} SC_{jp} I_{jpt}$$

$$\text{Min}(w_2) = \theta$$

Subject to :

$$\theta \geq \pi_p \left\{ (d_{lpt} - \sum_j o_{jlpt}) \right\} \quad \forall l, p, t$$

$$I_{jpt} = I_{jp,t-1} + \sum_i u_{ijpt} - \sum_i o_{jlpt} \quad \forall j, p, t$$

$$\sum_j u_{ijpt} \leq \tau_{ip} \quad \forall p, t$$

$$\sum_j (I_{j,p,t-1} + \sum_{i,p} u_{ijpt}) \leq \sum_{j,n} \delta_j^n x_j^n \quad \forall j, t$$

$$I_{jpt} \geq SS_{jpt} Z_j \quad \forall p, j, t$$

$$\sum_n x_j^n \leq 1 \quad \forall j$$

$$x_j^n, z_j \in \{0,1\} \quad \forall j, n$$

$$u_{ijpt}, \quad o_{jlpt}, \quad I_{jpt} \geq 0, \quad \forall i, j, l, t, p \quad \dots \dots \dots (1-2)$$

ونظراً لطبيعة بعض المعلمات المتقلبة والمتذبذبة على مدى أفق التخطيط وكذلك عدم توفر هذه البيانات تاريخياً وعدم الحصول عليها في مرحلة بناء الشبكة، يتعين تقديرها

بالاعتماد على آراء الخبراء وتجاربهم الشخصية الموجودين في الشركات، وصياغة هذه المعلومات على شكل أعداد ضبابية شبه منحرفة وهي:

$$\begin{aligned} \tilde{d}_{lpt} &= (d_{lpt(1)}, d_{lpt(2)}, d_{lpt(3)}, d_{lpt(4)}) \text{ وتمثل كمية الطلب الضبابي} \\ \tilde{ss}_{jpt} &= (ss_{jpt(1)}, ss_{jpt(2)}, ss_{jpt(3)}, ss_{jpt(4)}) \text{ وتمثل مستوى مخزون الأمان الضبابي} \\ \tilde{c}_{ijp} &= (c_{ijp(1)}, c_{ijp(2)}, c_{ijp(3)}, c_{ijp(4)}) \text{ وتمثل تكلفة النقل الضبابية من المصنع الى مركز التوزيع الرئيسي.} \\ \tilde{\rho}_{ip} &= (\rho_{ip(1)}, \rho_{ip(2)}, \rho_{ip(3)}, \rho_{ip(4)}) \text{ وتمثل تكلفة وحدة الإنتاج الضبابية} \\ \tilde{e}_{jlp} &= (e_{jlp(1)}, e_{jlp(2)}, e_{jlp(3)}, e_{jlp(4)}) \text{ وتمثل تكلفة النقل الضبابية من مركز التوزيع الرئيسي الى مناطق الطلب.} \end{aligned}$$

فيكون النموذج الخطي الضبابي بالشكل التالي،

$$Min(w_1) = \sum_{j,n} f_j^n x_j^n + \sum_{i,j,t,p} (\tilde{\rho}_{ip} + \tilde{c}_{ijp}) u_{ijpt} + \sum_{j,l,p,t} \tilde{e}_{jlp} o_{jlpt} + \sum_{j,p,t} SC_{jp} I_{jpt}$$

$$Min(w_2) = \theta$$

Subject to :

$$\theta \geq \pi_p \left\{ (\tilde{d}_{lpt} - \sum_j o_{jlpt}) \right\} \quad \forall l, p, t$$

$$I_{jpt} = I_{jp,t-1} + \sum_i u_{ijpt} - \sum_i o_{jlpt} \quad \forall j, p, t$$

$$\sum_j u_{ijpt} \leq \tau_{ip} \quad \forall p, t$$

$$\sum_j (I_{j,p,t-1} + \sum_{i,p} u_{ijpt}) \leq \sum_{j,n} \delta_j^n x_j^n \quad \forall j, t$$

$$I_{jpt} \geq \tilde{ss}_{jpt} Z_j \quad \forall p, j, t$$

$$\sum_n x_j^n \leq 1 \quad \forall j$$

$$x_j^n, z_j \in \{0, 1\} \quad \forall j, n$$

$$u_{ijpt}, o_{jlpt}, I_{jpt} \geq 0, \quad \forall i, j, l, t, p \quad \dots \dots \dots (2-2)$$

ثالثاً، برمجة قيد المصادفة، CCP، و خلاصة النموذج الضبابي الخطي أعلاه (2-2) إن دالة الهدف الأولى (w₁) والثانية (w₂) والقيد (1) و (5) يحويان معلومات ضبابية شبه منحرفة، ومن أجل معالجة القيود (1) و (5) التي تحوي معلومات ضبابية في الجانبين الأيمن والأيسر، نطبق نهج

برمجة قيد المصادفة (CCP) من أجل التحكم بمستوى الرضا لهذه القيود، بتعيين الحد الأدنى لمستوى الثقة في كل قيد، ونستعمل مقياس الضرورة بدلاً من مقياس التمكين لأن مقياس الضرورة يظهر الحد الأدنى من مستوى الاحتمال المتوقع الحدوث، أما مقياس التمكين فيشير إلى مستوى الاحتمال المتوقع الحدوث فقط. لذلك فإن استعمال مقياس الضرورة أكثر جدوى وتحفظ. (2) ونستعمل مقياس القيمة المتوقعة للمعلومات الضبابية في دالة الهدف. والآن وبعد تحديد المعلومات الضبابية واستخدام القيمة المتوقعة لدالة الهدف ومقياس الضرورة للقيود الضبابية تكون دالتي الهدف والقيدين الضبابيين (1) و (5) بالشكل التالي:

$$\begin{aligned} \text{Min}(w_1) = & \sum_{j,n} f_j^n x_j^n + \sum_{i,j,t,p} E[(\tilde{\rho}_{ip} + \tilde{c}_{ip})] u_{ijpt} + \sum_{j,l,p,t} E[\tilde{e}_{jlp}] o_{jlpt} \\ & + \sum_{j,p,t} SC_{jp} I_{jpt} \end{aligned}$$

$$\text{Min}(w_2) = \theta$$

Subject to :

$$\text{Nec} \left\{ \theta \geq \pi_p \left\{ \tilde{d}_{lpt} - \sum_j o_{jlpt} \right\} \right\} \geq \alpha \quad \forall l, p, t$$

$$\text{Nec} \{ I_{jpt} \geq \tilde{s}_{jpt} Z_j \} \geq \beta \quad \forall p, j, t \quad \dots \dots (3-2)$$

حيث α, β تمثلان الحد الأدنى من تحقيق درجة الرضا لقيود المصادفة ويتم تحديدها من قبل (صاحب القرار) وعند تعويض المعلومات الضبابية شبه المنحرفة في الصيغة السابقة تكون دالتي الهدف والقيدين الضبابيين (1) و (5) بالشكل التالي:

$$\begin{aligned} \text{Min } E(w_1) = & \sum_{j,n} f_j^n x_j^n + \sum_{i,j,t,p} \left[\frac{e_{jlp(1)} + e_{jlp(2)} + e_{jlp(3)} + e_{jlp(4)}}{4} \right] o_{jlpt} + \\ & \sum_{i,j,t,p} \left[\frac{\rho_{ip(1)} + \rho_{ip(2)} + \rho_{ip(3)} + \rho_{ip(4)}}{4} + \frac{c_{ijp(1)} + c_{ijp(2)} + c_{ijp(3)} + c_{ijp(4)}}{4} \right] u_{ijpt} \\ & + \sum_{j,p,t} SC_{jp} I_{jpt} \end{aligned}$$

$$\text{Min } E(w_2) = \theta$$

Subject to :

$$\theta \geq \pi_p \left\{ \left[(1-\alpha)d_{lpt(3)} + \alpha d_{lpt(4)} \right] - \sum_j o_{jlpt} \right\} \quad \forall l, p, t$$

$$I_{jpt} \geq \left[(1-\beta)SS_{jpt(3)} + \beta SS_{jpt(4)} \right] Z_j \quad \forall p, j, t \quad \dots\dots (4-2)$$

فيصبح النموذج الرياضي بتطبيق برمجة قيد المصادفة (CCP) كالتالي:

$$\begin{aligned} \text{Min } E(w_1) = & \sum_{j,n} f_j^n x_j^n + \sum_{j,l,p,t} \left[\frac{e_{jlp(1)} + e_{jlp(2)} + e_{jlp(3)} + e_{jlp(4)}}{4} \right] o_{jlpt} + \\ & \sum_{i,j,t,p} \left[\frac{\rho_{ip(1)} + \rho_{ip(2)} + \rho_{ip(3)} + \rho_{ip(4)}}{4} + \frac{c_{ijp(1)} + c_{ijp(2)} + c_{ijp(3)} + c_{ijp(4)}}{4} \right] u_{ijpt} + \\ & \sum_{j,p,t} SC_{jp} I_{jpt} \end{aligned}$$

$$\text{Min } E(w_2) = \theta$$

Subject to:

$$\theta \geq \pi_p \left\{ \left[(1-\alpha)d_{lpt(3)} + \alpha d_{lpt(4)} \right] - \sum_j o_{jlpt} \right\} \quad \forall l, p, t$$

$$I_{jpt} = I_{jp,t-1} + \sum_i u_{ijpt} - \sum_i o_{jlpt} \quad \forall j, p, t$$

$$\sum_j u_{ijpt} \leq \tau_{ip} \quad \forall p, t$$

$$\sum_j (I_{j,p,t-1} + \sum_{i,p} u_{ijpt}) \leq \sum_{j,n} \delta_j^n x_j^n \quad \forall j, t$$

$$I_{jpt} \geq \left[(1-\beta)SS_{jpt(3)} + \beta SS_{jpt(4)} \right] Z_j \quad \forall p, j, t$$

$$\sum_n x_j^n \leq 1 \quad \forall j$$

$$x_j^n, Z_j \in \{0, 1\} \quad \forall j, n$$

$$\alpha, \beta \geq 0.5$$

$$u_{ijpt}, o_{jlpt}, I_{jpt} \geq 0, \quad \forall i, j, l, t, p \quad \dots\dots\dots (5-2)$$

ومن خلال ملاحظتنا لدالة الهدف الأولى في النموذج (2 - 5) أنها لا تهتم بانحراف قيمتها عن القيمة المتوقعة للمعاملات الضبابية ، مما يعني ان تحقيق حلول قوية وحصينة غير مضمونة في هذا النموذج ، وبالتالي قد تفرض في كثير من الأحيان مخاطر عالية على إدارة سلسلة التوريد والشركات، ولمعالجة هذا القصور نستعمل برمجة التمكن الحصينة (RPP).
رابعاً، برمجة التمكن الحصينة (RPP) : تستفيد هذه البرمجة بشكل كبير من المزايا التي تتمتع بها كل من البرمجة الحصينة (RP) وبرمجة قيد المصادفة (CCP) ، مما يميزها عن المناهج الأخرى للبرمجة الحصينة، ومن بين ستة أنواع لمناهج هذه البرمجة وهي (HWCPR)، (SWCPR)، (MRPP)، (RPP-1)، (RPP-2)، (RPP-3) تم اختيار نهج (RPP-2) الأكثر ملائمة لتصميم شبكة سلسلة التوريد وللأسباب التي ذكرت في المبحث السابق.
 وعند تطبيق هذا النهج على النموذج الرياضي في الصيغة (2 - 5) بالنسبة (لدالتي الهدف والقيدان (1) و (5) يكون لدينا:

$$\begin{aligned} \text{Min } E[w_1] + \xi(w_{1\max} - E[w_1]) + \eta_1[d_{lpt(4)} - (1 - \alpha)d_{lpt(3)} - \alpha d_{lpt(4)}] \\ + \eta_2 Z_j [SS_{jpt(4)} - (1 - \beta)SS_{jpt(3)} - \beta SS_{jpt(4)}] \end{aligned}$$

$$\text{Min } E(w_2) = \theta + \eta_1[d_{lpt(4)} - (1 - \alpha)d_{lpt(3)} - \alpha d_{lpt(4)}]$$

Subject to:

$$\theta \geq \pi_p \left\{ [(1 - \alpha)d_{lpt(3)} + \alpha d_{lpt(4)}] - \sum_j o_{jlpt} \right\} \quad \forall l, p, t$$

$$I_{jpt} \geq [(1 - \beta)SS_{jpt(3)} + \beta SS_{jpt(4)}] Z_j \quad \forall p, j, t \quad \dots\dots (6 - 2)$$

إذ إنّ:

$E[w_1]$ القيمة المتوقعة لدالة الهدف الأولى باستخدام متوسط قيم المعاملات الضبابية من الصيغة السابقة لدالة الهدف في أنموذج قيد المصادفة .
 ξ تكلفة عقوبة الانحراف لقيمة دالة الهدف عن قيمتها المتوقعة.
 $w_{1\max} = f_{(4)}Y + c_{(4)}X$ وتمثل قيمة دالة الهدف الطرفية العليا باستخدام أعلى رقم في المعاملات الضبابية شبه المنحرفة.
 $(w_{1\max} - E[w_1])$ ويمثل الفرق بين قيمة دالة الهدف الطرفية العليا والقيمة المتوقعة لدالة الهدف.
 $\xi(w_{1\max} - E[w_1])$ يتحكم في المتانة الأمثلية لدالة الهدف.
 η_1 يمثل تكلفة جزائية في حال تجاوز الطلب أي (تكلفة عقوبة وحدة العجز).

$[d_{lpt(4)} - (1 - \alpha)d_{lpt(3)} - \alpha d_{lpt(4)}]$ ويمثل الفرق بين أسوأ قيمة لمعلمة الطلب الضبابي $d_{lpt(4)}$ والقيمة المستخدمة في انموذج قيد المصادفة $(1 - \alpha)d_{lpt(3)} + \alpha d_{lpt(4)}$

$\eta_1 [d_{lpt(4)} - (1 - \alpha)d_{lpt(3)} - \alpha d_{lpt(4)}]$ ويشير الى نقص الانحراف عن الطلب في الحقيقة يتحكم في متانة الجدوى لقيد المصادفة.

η_2 وتمثل تكلفة عقوبة النقص عن مستوى مخزون الأمان.

$Z_j \in [0,1]$ المتغير الثنائي.

$[SS_{jpt(4)} - (1 - \beta)SS_{jpt(3)} - \beta SS_{jpt(4)}]$ وتمثل الفرق بين أسوأ قيمة لمستوى مخزون الأمان $SS_{jpt(4)}$ والقيمة المستخدمة في قيد المصادفة $(1 - \beta)SS_{jpt(3)} + \beta SS_{jpt(4)}$

$\eta_2 Z_j [SS_{jpt(4)} - (1 - \beta)SS_{jpt(3)} - \beta SS_{jpt(4)}]$ ويشير الى النقص عن مستوى

مخزون الأمان في الحقيقة يتحكم في متانة الجدوى لقيد المصادفة. وبالتالي ، فإن دالة الهدف الأولى تسعى الى الحصول على المتانة الأمثلية من خلال تقليل الانحراف بين قيمة دالة الهدف والقيمة المتوقعة وكذلك متانة الجدوى من خلال تقليل قيمتي الانحراف لكمية العجز ومستوى مخزون الأمان.

أما دالة الهدف الثانية والتي تحاول تقليل أعلى حد من العجز فيضاف لها المصطلح $\eta_1 [d_{lpt(4)} - (1 - \alpha)d_{lpt(3)} - \alpha d_{lpt(4)}]$ فقط ، لأنها تتعامل مع كمية العجز ولا تتأثر مباشرة بالانحراف عن النقص في مستوى مخزون الأمان .

الأنموذج الخطي لبرمجة التمكن الحصينة (RPP-2) في الصياغة السابقة الأنموذج (2-6) وتحديدًا في القيد (5) الذي يتضمن متغير ثنائي Z_j ومتغيرات مستمرة صحيحة للمنتجات مما يجعل الأنموذج غير خطي. وبالتالي يتحتم تحويل القيد الغير خطي الى نظيره الخطي من خلال تعريف متغير حر مساعد :

$$\emptyset = \beta \times Z_j$$

فيكون لدينا :

$$I_{jpt} \geq (Z_j - \emptyset)SS_{jpt(3)} + \emptyset SS_{jpt(4)}$$

$$\emptyset \leq M \times Z_j$$

$$\emptyset \geq M \times (Z_j - 1) + \beta$$

$$\emptyset \leq \beta$$

$$\emptyset \in \{0,1\} \quad \dots \dots \dots (7-2)$$

هنا المعلمة (M) تمثل عدد كبير ، وبالتالي، فإن دالة الهدف الأولى (w_1) في الأنموذج (2-6) تكتب على النحو الآتي:

$$\text{Min } E[w_1] + \xi(w_{1\max} - E[w_1]) + \eta_1 [d_{lpt(4)} - (1 - \alpha)d_{lpt(3)} - \alpha d_{lpt(4)}]$$

$$+\eta_2 \left[Z_j SS_{jpt(4)} - (Z_j - \phi) SS_{jpt(3)} - \phi SS_{jpt(4)} \right]$$

فيصبح النموذج الخطي لبرمجة التمكن الحصينة (RPP-2) بشكله النهائي كالتالي:

$$\text{Min } E[w_1] + \xi(w_{1\max} - E[w_1]) + \eta_1 [d_{lpt(4)} - (1 - \alpha)d_{lpt(3)} - \alpha d_{lpt(4)}]$$

$$+\eta_2 \left[Z_j SS_{jpt(4)} - (Z_j - \phi) SS_{jpt(3)} - \phi SS_{jpt(4)} \right]$$

$$\text{Min } E(w_2) = \theta + [d_{lpt(4)} - (1 - \alpha)d_{lpt(3)} - \alpha d_{lpt(4)}]$$

Subject to :

$$\theta \geq \pi_p \left\{ [(1-\alpha)d_{lpt(3)} + \alpha d_{lpt(4)}] - \sum_j o_{jlpt} \right\} \quad \forall l, p, t$$

$$I_{jpt} = I_{jp,t-1} + \sum_i u_{ijpt} - \sum_i o_{jlpt} \quad \forall j, p, t$$

$$\sum_j u_{ijpt} \leq \tau_{ip} \quad \forall p, t$$

$$\sum_j (I_{j,p,t-1} + \sum_{i,p} u_{ijpt}) \leq \sum_{j,n} \delta_j^n x_j^n \quad \forall j, t$$

$$I_{jpt} \geq (Z_j - \phi) SS_{jpt(3)} + \phi SS_{jpt(4)}$$

$$\phi \leq M \times Z_j$$

$$\phi \geq M \times (Z_j - 1) + \beta$$

$$\phi \leq \beta$$

$$\sum_{j,n} x_j^n \leq 1 \quad \forall j, n$$

$$x_j^n, Z_j, \phi \in \{0, 1\} \quad \forall j, n$$

$$u_{ijpt}, o_{jlpt}, I_{jpt} \geq 0, \quad \forall i, j, l, t, p$$

$$0.5 \leq \alpha, \beta \leq 1 \quad \dots \dots (8-2)$$

المبحث الثالث / شركة بغداد للمشروبات الغازية (BSDC)

اختار الباحث شركة بغداد للمشروبات الغازية مجالاً لتطبيق ما تمَّ عَرْضُهُ مِنْ جَوَانِبِ نَظَرِيَّةٍ لِأَسْلُوبِ الْبَرْمَجَةِ الْخَطِيئَةِ (غَيْرِ الْمُؤَكَّدَةِ) وَمُعَالَجَةِ الْبَيَانَاتِ (غَيْرِ الْمُؤَكَّدَةِ) بِأَسْلُوبِي بَرْمَجَةِ قَيِّدِ الْمُصَادَفَةِ وَبَرْمَجَةِ التَّمَكُّنِ الْحَصِينَةِ انْطِلَاقاً مِنْ أَهْمِيَّةِ الشَّرِكَةِ كَأَحَدَى أَكْبَرِ مَنَشَآتِ الْقِطَاعِ الْمُخْتَلِطِ وَالَّتِي تُعَدُّ مَنْتَجَاتِهَا ذَاتَ مَسَاسٍ مُبَاشِرٍ بِالْمُسْتَهِلِكِ وَالَّتِي يَنْبَغِي تَوَافُرُهَا دَائِماً فِي الْأَسْوَاقِ الْمَحَلِّيَّةِ وَبِالْكَمِّيَّاتِ الْمَطْلُوبَةِ.

أولاً. نبذة عن الشركة: وتُعرف باسم (شركة بغداد للمشروبات الغازية (BSDC) - مساهمة خاصة) وهي شركة لإنتاج وتسويق المشروبات الغازية في العراق ونشاطها الرئيسي هو إنتاج وتعبئة المشروبات الغازية وأضيف إليها إنتاج وتعبئة المياه المعدنية (أكوافينيا) وتمتلك رخصة حصريّة لبيع منتجات بيبسي في العراق. تأسست الشركة عام 1989م في محافظة بغداد ويقع مصنعها الرئيسي في مدينة الزعفرانية، ووقعت عقد إمتياز حصري مع شركة بيبسي العالمية، مما جعلها المنتج والموزع الحصري في العراق وتوقفت هذا الإمتياز بسبب الحصار المفروض على البلد في تسعينيات القرن الماضي وبداية الألفية الجديدة وفي عام 2004م تمّ عقد الاتفاق ومُنح الإمتياز مرةً أخرى. وتعدّ الشركة من منتجي المشروبات الغازية الغير كحولية والمياه المعدنية وتعبئتها وتوزيعها على غالبية المحافظات العراقية وتهدف الشركة إلى تشجيع مدخرات المواطنين واستثمارها في أنشطة القطاع الخاص لأهمية الدور الذي يلعبه في التنمية الصناعية في ميدان المشروبات الغازية والمعدنية وباستخدام التقنيات الحديثة عن طريق شراء مشاريع صناعية للشركة والعمل على تطوير وتحسين صناعة المشروبات الغازية والمعدنية وتعبئتها بالطرق العلمية الحديثة.

تتألف الشركة من عدة أقسام: (قسم العمليات الإنتاجية، قسم التسويق (المبيعات)، قسم العلاقات العامة، قسم التخزين، القسم التجاري، القسم القانوني، قسم الحسابات) وتعمل مع بعض لزيادة وتوسيع منتجات الشركة.

تنتج شركة بغداد للمشروبات الغازية (13) خطاً إنتاجياً بأحجام وتعبئة مختلفة والخطوط الانتاجية هي: (بيبسي كولا، بيبسي كولا دايت، سفن آب، سفن آب دايت، سفن آب ليمون، ميرندا برتقال، ميرندا تفاح أخضر، ميرندا ليمون، شاني، تمر هند، ماونتن ديو، عنب وخوخ ونعناع ومياه معدنية (أكوافينيا)، وتتم التعبئة بأحجام مختلفة (250 مل، 330 مل، 750 مل، 1.750 لتر) للمشروبات الغازية و (200 مل، 330 مل، 500 مل، 1.5 لتر) للمياه المعدنية (أكوافينيا) وتعبئ بأوان مختلفة (علب معدنية، علب زجاجية وعبوات بلاستيكية) فضلاً عن تعبئة العبوات الزجاجية المسترجعة. كما إنّ الشركة تحتاج إلى الكثير من المواد الأولية والتي تساعد في إخراج المنتجات بشكلها النهائي مثل (القناني الزجاجية، العلب المعدنية، الأمبولات، الأغشية البلاستيكية ،) والتي يتم تجهيزها من شركات محلية والجدول رقم (3-1) يبين حاجة الشركة للمواد الأولية لسنة (2019م).

جدول (3-1) يبين حاجة الشركة للمواد الأولية لسنة (2019م)

المصانع الأولية	المادة المجهزة	العدد	وحدة القياس
شركة الخليج لصناعة الزجاج	قناني زجاجية	50,000,000	قنينة
شركة رويال كان لأنتاج العلب المعدنية	علب معدنية	284,000,000	علبة
شركة الاتحاد للصناعات الغذائية	سكر	10000	طن
الشركة الوطنية لصناعة الأواني المنزلية	الأمبولات	216,000,000	أمبولة
شركة كولد كاب	أغشية بلاستيكية	4,000,000	غطاء
معمل الجامعة للأغذية البلاستيكية	أغشية بلاستيكية	29,000,000	غطاء
شركة سيزر باك للكرتون والمنتجات الورقية	الكرتون والمنتجات الورقية	1327	صينية
مؤسسة الإمارات لطباعة ورق الكمبيوتر	علامات ورق (لبيل)	50000	متراً مربعاً

المصدر: من اعداد الباحثين

ثانياً، جمع بيانات النموذج: لغرض تطبيق النموذج للمشكلة قيد البحث، تم الاعتماد على البيانات الفصلية لعام (2019م) وهي البيانات التي تم الحصول عليها من قبل الشركة، وبعد المراجعات المتكررة للشركة تمكن الباحث من تكييف البيانات والمعلومات التي أبدتها العاملون في كل من (قسم التسويق، قسم الحسابات، قسم العمليات الإنتاجية، قسم التخزين) في المصنع الرئيسي للشركة والمتمثلة ب:

1. مناطق الطلب ومراكز التوزيع الرئيسية: يمثل العراق (18) محافظة ويغطي إنتاج الشركة (14) محافظة منها وهي محافظات (بغداد، صلاح الدين، كربلاء المقدسة، واسط، بابل، ديالى، الأنبار، النجف الأشرف، الديوانية، ميسان، ذي قار، المثنى، البصرة، نينوى) والأفضية والنواحي والقرى التابعة لها ويشتتنى من تلك التغطية محافظات (أربيل، دهوك، السليمانية، كركوك) وأعتبر الخبراء في الشركة إن كل محافظة من هذه المحافظات تمثل منطقة طلب وهناك (14) مركز توزيع رئيسي ولسريّة المعلومات لم يبينوا مواقع مراكز التوزيع الرئيسية وبالتالي يكون لدينا (14) منطقة طلب و(14) مركزاً للتوزيع الرئيسي.

2. الطلب على المنتجات: قامت الشركة بتزويد الباحث بمعلومات وبيانات لثلاث عوائل إنتاجية وعلى النحو التالي:

عائلة منتج 250 مل (بيبي كولا + ميرندا برتقال + سفن آب)

عائلة منتج 330 مل (بيبي كولا + ميرندا برتقال + سفن آب)

عائلة منتج 750 مل (بيبي كولا + ميرندا برتقال + سفن آب)

والتي تمثل أعلى قيمة مبيعات لمنتجات الشركة، وبسبب محدودية الحصول على البيانات كان جمع البيانات لعوائل الإنتاج الأخرى صعباً إلى حد ما، وكان الطلب السنوي لعائلة منتج 250 مل هو (6,561,140) صندوقاً، والطلب السنوي لعائلة منتج 330 مل هو (6,090,391) صندوقاً و الطلب السنوي لعائلة منتج 750 مل هو (11,944,448) رزمة، مقسمة على (14) منطقة طلب، ولأن البيانات المتحصلة لعام 2019 م فقط تم النظر في طول أفق القرار لأربعة مواسم (الشتاء، الربيع، الخريف، الصيف)، من ناحية أخرى تم تقدير استهلاك المشروبات الغازية من خبراء الشركة لكل موسم على النحو التالي:

(الشتاء 20%، الربيع 23%، الخريف 26%، الصيف 31%) وعلى أساس ذلك تم تقدير الطلب المتوقع لكل محافظة بشكل أرقام ضبابية رباعية وعلى النحو التالي:

$$(0.9 d_{lpt}, 0.95 d_{lpt}, 1.05 d_{lpt}, 1.1 d_{lpt})$$

3. تكاليف نقل المنتجات: بسبب اختلاف حجم الدفعات الناقلة وتغير أسعار الوقود وبعد المسافات بين المصنع الرئيسي ومراكز التوزيع، فإن كلفة النقل للصندوق والرزمة الواحدة ليست معروفة على وجه اليقين، إذ تأخذ سلوكاً ضبابياً، كما إن ولنفس الأسباب أعلاه فإن كلفة النقل بين مراكز التوزيع الرئيسية ومناطق الطلب في الأفضية والنواحي والقرى تأخذ السلوك الضبابي نفسه، ولذلك تم تقديرها من قبل خبراء الشركة وهي كلفة النقل الضبابية من المصنع الثانوي إلى مراكز التوزيع الرئيسية ومن مراكز التوزيع الرئيسية إلى مناطق الطلب.

4. تكاليف الإنتاج والطاقت الإنتاجية، كما وتمّ تزويد الباحث بالطاقت الإنتاجية لعوائل مُنتج تعبئة 250 مل و 330 مل و 750 مل لعام (2019م) وعلى النحو التالي:
- 1- الطاقة الإنتاجية لعائلة مُنتج 250 مل (بيبسي كولا + ميرندا برتقال + سفن أب) هي 9,700,000 صندوقاً.
- 2- الطاقة الإنتاجية لعائلة مُنتج 330 مل (بيبسي كولا + ميرندا برتقال + سفن أب) هي 8,300,000 صندوقاً.
- 3- الطاقة الإنتاجية لعائلة مُنتج 750 مل (بيبسي كولا + ميرندا برتقال + سفن أب) هي 13,800,000 رزمة.
- أما تكلفة الإنتاج للصندوق والرزمة الواحدة فتأخذ سلوكاً ضبابياً بسبب تغيير أسعار المواد الأولية وتغيير تكاليف العاملين في المصنع الإنتاجي ولذلك تمّ تقديرها من خبراء الشركة.
5. القدرات التخزينية ومستوى مخزون الأمان وكلفة خزن الصندوق الواحد، كما وتمّ تزويد الباحث بالقدرات التخزينية لجميع مراكز التوزيع الرئيسية الأربعة عشر وتمّ تقدير كلفة خزن الصندوق الواحد في جميع مراكز التوزيع ب (350) ديناراً من خبراء الشركة.
- أما مستوى مخزون الأمان وباعتباره جزءاً من الطلب المتوقع فلا يُعرف على وجه اليقين بالضبط، لذا تمّ تقديره من قبل خبراء الشركة بنسبة 15% من القدرة التخزينية لكل مركز توزيع.
6. كلف الافتتاح كلف الإنشاء لمراكز التوزيع الرئيسية، وتمّ تزويد الباحث بكلف إنشاء مراكز توزيع كاملة لكل منطقة من مناطق الطلب إذ تمّ تقدير هذه الكلف والتي تختلف من منطقة طلب لأخرى بسبب اختلاف أجور الأيدي العاملة واختلاف أسعار مواد البناء من منطقة طلب لأخرى. وأختار الخبراء ثلاث قدرات تخزينية محتملة لفتح مراكز التوزيع الرئيسية بمساحات مختلفة وهي:
- 1- قدرة تخزينية بسعة 30.000 صندوقاً بمساحة 500 متراً مربعاً.
- 2- قدرة تخزينية بسعة 40.000 صندوقاً بمساحة 750 متراً مربعاً.
- 3- قدرة تخزينية بسعة 60.000 صندوقاً بمساحة 1000 متراً مربعاً.
7. أسعار بيع المنتجات والأهمية النسبية لعوائل الإنتاج، أما أسعار بيع المنتجات لعام 2019م فكانت على النحو التالي:
- 1- سعر بيع الصندوق الواحد لعائلة مُنتج 250 مل (بيبسي كولا + ميرندا برتقال + سفن أب) هو 5750 ديناراً عراقياً.
- 2- سعر بيع الصندوق الواحد لعائلة مُنتج 330 مل (بيبسي كولا + ميرندا برتقال + سفن أب) هو 8000 ديناراً عراقياً.
- 3- سعر بيع الرزمة الواحدة لعائلة مُنتج 750 مل (بيبسي كولا + ميرندا برتقال + سفن أب) هي 4000 ديناراً عراقياً.
- وعند سؤالنا عن الأهمية النسبية لعوائل المنتجات بالنسبة للشركة كانت الإجابة من مدير قسم التسويق (المبيعات) إنّ جميع عوائل المنتجات بنفس الأهمية النسبية ولذا عند تطبيقنا للنموذج تمّ إعطاؤها العدد (0.35) أي إنّ: $\pi_p = 0.35$

وتنفيذاً لتوصيات الشركة وللأمانة العلمية ونظراً لسرية المعلومات والبيانات فقد تمّ حجبها عن البحث كذلك البرنامج التطبيقي لبرمجة التمكين الحصينة تمّ حجبه لضخامة الحجم ، ويمكن تزويد الباحثين بالبرنامج والبيانات عند الحاجة إليها.

المبحث الرابع الجانب التطبيقي [حل الأنموذج الحصين]

1- تمهيد: تقسم سلسلة التوريد الى الاجزاء الرئيسية وهي الشركة المصنعة الاولى (MSP) و الشركة المصنعة الثانوية (MSS) و مركز التوزيع الرئيسي (MDCs) و مركز التوزيع المحلي (LDCs) ومناطق الطلب (DZs)، دور الشركة المصنعة الاولى في هذه السلسلة هو انتاج المواد الخام ونقلها الى الشركة المصنعة الثانوية بعد ذلك يتم تصنيع المنتجات بشكلها النهائي، ثم يتم ارسال المنتجات الى مركز التوزيع الرئيسي من خلال التخطيط الدقيق ثم بعد ذلك يتم توزيع هذه المنتجات الى مراكز التوزيع المحلية (المستودعات) المنتشرة في اغلب مناطق البلاد ومن ثم الى مناطق الطلب (تجار الجملة وأصحاب المحلات).

2- وصف الانموذج الرياضي:

أ- ان الانموذج تمت صياغته بالبرمجة الخطية العددية المختلطة ثنائية الهدف (BOMILP) متعددة الانتاج.

ب - شبكة سلسلة التوريد (SCN) للمشكلة صممت على اساس تغطية العديد من القرارات الاستراتيجية والقرارات التكتيكية انفة الذكر.

ج - ان الانموذج الرياضي يقسم شبكة سلسلة التوريد الى ثلاثة اقسام هي:

1 - المواقع الثانوية للتصنيع (MSS).

2 - مراكز التوزيع الرئيسية للمنتجات (MDCs).

3 - مناطق الطلب (السوق وتجار الجملة) (DZs).

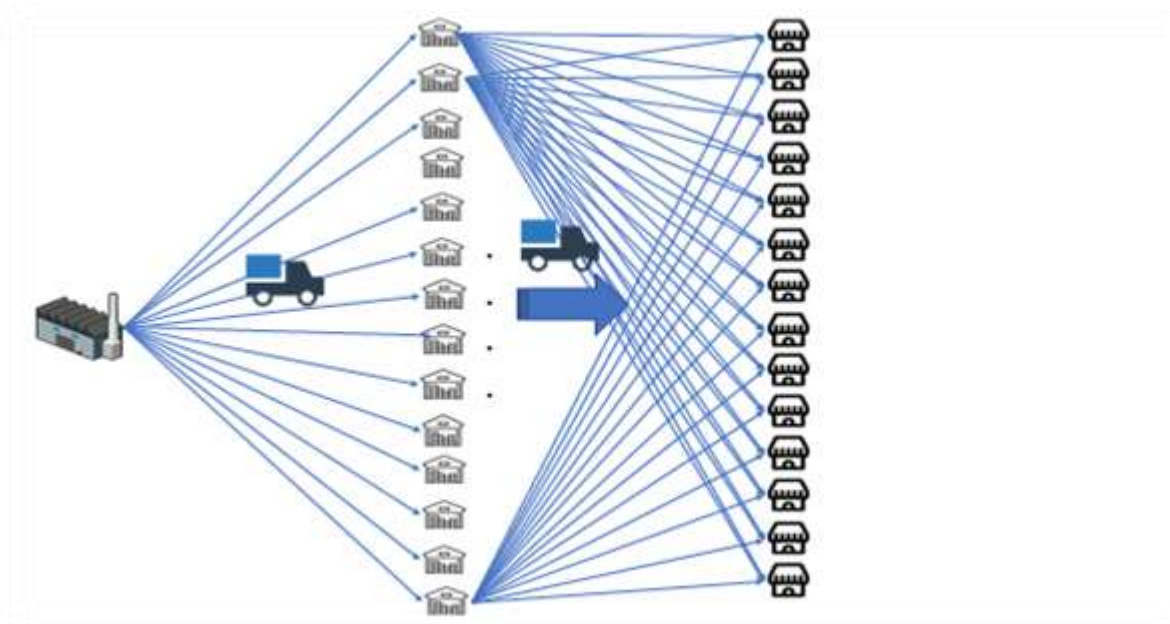
وقد تم استبعاد مواقع التصنيع الاولى (MSP) من الأنموذج واستبعاد مراكز التوزيع المحلية للمنتجات (LDCs) لصعوبة الحصول على المعلومات والبيانات من هذه المواقع.

د - هناك بعض المواقع المرشحة المطلوبة الانشاء (التأسيس) وحسب الحاجة لها وهي مراكز التوزيع الرئيسية (MDCs).

هـ - يتألف الأنموذج الرياضي من هدفين متناقضين (متعاكسين)، الأول هو التقليل إلى أدنى حد من مجموع التكاليف الكلية (تكاليف الافتتاح وتكاليف النقل وتكاليف المخزون وتكاليف الإنتاج)، والثاني التقليل من أعلى حد للعجز، وبالتفصيل فان إنشاء المزيد من مراكز التوزيع الرئيسية مع زيادة الإنتاج و قدرات التخزين، في ان واحد من شأنه زيادة التكاليف الكلية، ولكن من ناحية أخرى من شأنه أن يقلل من العجز في الطلب والعكس صحيح ، اي عند تقليل التكاليف بعدم فتح اي مركز جديد من شأنه أن يزيد من كمية العجز في السوق.

و- ان الحالة الواقعية للأنموذج تواجه عدم التأكد من قطعية المعلمات (عدم اليقين) في الطلب والتكاليف بسبب عدم توفر تلك المعلمات أو نقص في المعلومات (على عكس اغلبية البحوث السابقة التي بسطت الانموذج بتجاهل هذه المسألة)، فتم استعمال النهج الضبابي وبرمجة قيد المصادفة والبرمجة الحصينة لمعالجة حالات عدم التأكد.

مخطط (1-4) يوضح تصميم شبكة سلسلة التوريد للأنموذج الرياضي من أعداد الباحثين



فرضيات الأنموذج:

- أ- المساحة المخزنية محدودة ومحددة في موقع التصنيع ومراكز التوزيع.
- ب- الطلب على المنتجات ضبابي وغير قطعي وليس معروف على وجه اليقين.
- ج- الطلب يتحقق من خلال النقل المباشر من مراكز التوزيع الرئيسية الى مناطق الطلب .
- د- كميات الإنتاج المصنعة يسمح ب تخزينها في المواقع الثانوية للتصنيع ولا تترتب عليها كلفة لل تخزين ومراكز التوزيع الرئيسية وتترتب عليها كلفة لل تخزين وحسب القدرة التخزينية لكل مركز.
- هـ- إن تصميم شبكة سلسلة التوريد تفترض وجود مصنع ثانوي واحد يغطي انتاجه (14) مركز توزيع رئيسي وكل مركز توزيع رئيسي يفترض تغطية (14) منطقة طلب ينظر مخطط (1-4) .

4. حل الأنموذج الحصين لبرمجة التمكين الحصينة RPP₁، استنادا الى الأنموذج الحصين لبرمجة التمكين الحصينة في الصيغة (2 – 8) وبتطبيق البيانات التي تمّ الحصول عليها من شركة بغداد للمشروبات الغازية باستعمال البرنامج (Matlab) ، تمّ الحصول على النتائج وقبل عرض النتائج ومناقشتها لابد من توضيح للأنموذج التطبيقي لهذه البرمجة:

- أ- في دالة الهدف الأولى (w_1) تم استعمال $E[w_1]$ وهي دالة الهدف الأولى لبرمجة قيد المصادفة (CCP) باستعمال متوسط المعلمات الضبابية مضافاً إليها $(w_{1max} - E[w_1])\xi$ والذي يمثل المتانة الأمثلية لدالة الهدف (الفرق بين أسوأ قيمة لدالة الهدف باستعمال الارقام الضبابية العليا w_{1max} وقيمة دالة الهدف لبرمجة قيد المصادفة (CCP)) مضروباً ب (ξ) تكلفة وحدة انحراف دالة الهدف عن قيمتها المتوقعة و مضافاً إليها $\eta_1[d_{lpt(4)} - (1 - \alpha)d_{lpt(3)} - \alpha d_{lpt(4)}]$ والذي يمثل متانة الجدوى لدالة الهدف في برمجة قيد المصادفة (CCP) (ويشير الى مستوى العجز في الطلب) مضروباً ب (η_1) تكلفة وحدة العجز في الطلب و مضافاً إليها

$\eta_2 [Z_j SS_{jpt(4)} - (Z_j - \emptyset) SS_{jpt(3)} - \emptyset SS_{jpt(4)}]$ والذي يمثل متانة الجدوى لدالة الهدف في برمجة قيد المصادفة (CCP) (ويشير الى مستوى العجز في مستوى مخزون الامان) مضروباً بـ (η_2) تكلفة وحدة العجز في مستوى مخزون الأمان وبالتالي ، فإن دالة الهدف الأولى تسعى الى الحصول على المتانة الأمثلية من خلال تقليل الانحراف بين قيمة دالة الهدف والقيمة المتوقعة وكذلك متانة الجدوى من خلال تقليل قيمتي الانحراف لكمية العجز ومستوى مخزون الأمان.

ب- دالة الهدف الثانية (w_2) تحاول تقليل أعلى حد من العجز فيضاف لها المصطلح $\eta_1 [d_{lpt(4)} - \alpha d_{lpt(3)} - (1 - \alpha) d_{lpt(4)}]$ فقط ، لأنها تتعامل مع كمية العجز ولا تتأثر مباشرة بالانحراف عن النقص في مستوى مخزون الأمان.

ج- بالنسبة للقيود فهي نفس قيود برمجة قيد المصادفة (CCP) مضافاً اليها القيود (6) و (7) و (8) والخاصة بتحويل الأنموذج غير الخطي الى انموذج خطي.

د- بالنسبة للمتغيرات فهي نفس عدد متغيرات برمجة قيد المصادفة (CCP) مضافاً اليها المتغير الثنائي $(\emptyset)$ الذي تم فرضه لتحويل الأنموذج الغير خطي الى انموذج خطي.

هـ- تم إعطاء $\alpha = 0.537$ و $\beta = 0.8$ كمستويات ثقة عند تنفيذنا للبرنامج استناداً الى القيد (12) ، أمّا تكلفة وحدة انحراف دالة الهدف عن قيمتها المتوقعة فتم اعطاؤها $\xi = 300$ ديناراً وتكلفة وحدة العجز في الطلب $\eta_1 = 300$ ديناراً وتكلفة وحدة العجز في مستوى مخزون الأمان $\eta_2 = 300$ ديناراً.

تحليل النتائج: تم استعمال برنامج (Matlab) للحصول على الحل الأمثل لقيم دوال الهدف ومتغيرات القرار والتي تخدم أهداف البحث وكما يلي:

أولاً: كميات الإنتاج المثلى (u_{ijp}) المشحونة من المصنع الى جميع مراكز التوزيع: من خلال الجدول (1-4) نلاحظ ما يلي: بالنسبة للمصنع الرئيسي:

1- يغذي المصنع الرئيسي (7) مراكز توزيع من أصل (14) مركز توزيع لعائلة منتج (250) مل بكميات الإنتاج المثلى الآتية:

مركز التوزيع (1)	1890842	صندوقاً خلال السنة أي إنَّ:	$u_{(1,1,1)} = 1890842$
مركز التوزيع (5)	103350	صندوقاً خلال السنة أي إنَّ:	$u_{(1,5,1)} = 103350$
مركز التوزيع (6)	2076624	صندوقاً خلال السنة أي إنَّ:	$u_{(1,6,1)} = 2076624$
مركز التوزيع (8)	1872180	صندوقاً خلال السنة أي إنَّ:	$u_{(1,8,1)} = 1872180$
مركز التوزيع (9)	100966	صندوقاً خلال السنة أي إنَّ:	$u_{(1,9,1)} = 100966$

جدول رقم (1-4) يبين كميات الإنتاج المثلى المنقولة من المصنع الى جميع مراكز التوزيع ولثلاث عوائل إنتاجية

عائلة منتج	مراكز التوزيع						
	1	2	3	4	5	6	7
250 ml	1890842	0	0	0	103350	2076624	0
330 ml	0	1996434	0	17983	0	0	0
750 ml	156190	0	2114640	1989143	1852206	0	1808732
عائلة منتج	مراكز التوزيع						
	8	9	10	11	12	13	14
250 ml	1872180	100966	997147	0	22577	0	0
330 ml	0	0	0	1350374	1690519	0	1085552
750 ml	0	1847462	854351	0	0	1631340	605296

مركز التوزيع (10) 997147 صندوقاً خلال السنة أي إن: $u_{(1,10,1)} = 997147$

مركز التوزيع (12) 22577 صندوقاً خلال السنة أي إن: $u_{(1,12,1)} = 22577$

2- يغذي المصنع الرئيسي (5) مراكز توزيع من أصل (14) مركز توزيع لعائلة منتج (330) مل بكميات الإنتاج المثلى الآتية:

مركز التوزيع (2) 1996434 صندوقاً خلال السنة أي إن: $u_{(1,2,2)} = 1996434$

مركز التوزيع (4) 17983 صندوقاً خلال السنة أي إن: $u_{(1,4,2)} = 17983$

مركز التوزيع (11) 1350374 صندوقاً خلال السنة أي إن: $u_{(1,11,2)} = 1350374$

مركز التوزيع (12) 1690519 صندوقاً خلال السنة أي إن: $u_{(1,12,2)} = 1690519$

مركز التوزيع (14) 1085552 صندوقاً خلال السنة أي إن: $u_{(1,14,2)} = 1085552$

3- يغذي المصنع الرئيسي (9) مراكز توزيع من أصل (14) مركز توزيع لعائلة منتج (750) مل بكميات الإنتاج المثلى الآتية:

مركز التوزيع (1) 156190 رزمتاً خلال السنة أي إن: $u_{(1,1,3)} = 156190$

مركز التوزيع (3) 2114640 رزمتاً خلال السنة أي إن: $u_{(1,3,3)} = 2114640$

مركز التوزيع (4) 1989143 رزمتاً خلال السنة أي إن: $u_{(1,4,3)} = 1989143$

مركز التوزيع (5) 1852206 رزمتاً خلال السنة أي إن: $u_{(1,5,3)} = 1852206$

مركز التوزيع (7) 1808732 رزمتاً خلال السنة أي إن: $u_{(1,7,3)} = 1808732$

مركز التوزيع (9) 1847462 رزمتاً خلال السنة أي إن: $u_{(1,9,3)} = 1847462$

مركز التوزيع (10) 854351 رزمتاً خلال السنة أي إن: $u_{(1,10,3)} = 854351$

مركز التوزيع (13) 1631340 رزمتاً خلال السنة أي إن: $u_{(1,13,3)} = 1631340$

مركز التوزيع (14) 605296 رزمتاً خلال السنة أي إن: $u_{(1,14,3)} = 605296$

بالنسبة للطاقات الإنتاجية للقصى للمصنع الرئيسي،

1- إن مجموع كميات الإنتاج التي تغذي (7) مراكز للتوزيع لعائلة منتج (250) مل هي (7,063,686) صندوقاً وهي أقل من الطاقة الإنتاجية القصوى للمصنع لعائلة ذلك المنتج البالغة (9,700,000)

صندوقاً، وهذا يعني إن هناك كميات إنتاج فائضة مخزنة في المصنع تبلغ (2,636,314) صندوقاً يمكن أن تغذي مراكز التوزيع الأخرى.

2- إن مجموع كميات الإنتاج التي تغذي (5) مراكز للتوزيع لعائلة منتج (330) مل هي (6,140,862) صندوقاً وهي أقل من الطاقة الإنتاجية القصوى للمصنع لعائلة ذلك المنتج البالغة (8,300,000) صندوقاً، وهذا يعني إن هناك كميات إنتاج فائضة مخزنة في المصنع تبلغ (2,159,138) صندوقاً يمكن أن تغذي مراكز التوزيع الأخرى.

3- إن مجموع كميات الإنتاج التي تغذي (9) مراكز للتوزيع لعائلة منتج (750) مل هي (12,859,360) رزمه وهي أقل من الطاقة الإنتاجية القصوى للمصنع لعائلة ذلك المنتج البالغة (13,800,000) رزماً، وهذا يعني إن هناك كميات إنتاج فائضة مخزنة في المصنع تبلغ (940,640) رزماً يمكن أن تغذي مراكز التوزيع الأخرى.

ثانياً: كميات الإنتاج المثلى (O_{jlp}) المشحونة من مراكز التوزيع (14) إلى جميع مناطق الطلب.

أ - عائلة منتج (250) مل

من خلال الجدول (2-4) نلاحظ ما يلي:

بالنسبة لمراكز التوزيع الرئيسية

1- إن مركز التوزيع (1) يزود مناطق الطلب (6) و (9) و (11) و (13) بالكميات (599088)، (559387)، (334581)، (397786) صندوقاً سنوياً على التوالي لعائلة منتج (250) مل أي إن: $(O_{(1,9,1)}) = 559387$ ، $(O_{(1,6,1)}) = 599088$ ، $(O_{(1,13,1)}) = 397786$ ، $(O_{(1,11,1)}) = 334581$ وإن مجموع ما يزوده لمناطق الطلب هو (1890842) صندوقاً سنوياً وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع الرئيسي. وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة أي إن: $I_{(1,1)} = 0$

2- إن مركز التوزيع (5) يزود منطقة الطلب (11) بالكمية (103350) صندوقاً سنوياً لعائلة منتج (250) مل أي إن: $(O_{(5,11,1)}) = 103350$ وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع الرئيسي وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة أي إن: $I_{(2,1)} = 0$

3- إن مركز التوزيع (6) يزود مناطق الطلب (1) و (3) و (4) و (7) و (11) بالكميات (612395)، (433567)، (462484)، (20468) صندوقاً سنوياً على التوالي لعائلة منتج (250) مل أي إن: $(O_{(6,4,1)}) = 433567$ ، $(O_{(6,3,1)}) = 612395$ ، $(O_{(6,11,1)}) = 20468$ ، $(O_{(6,1,1)}) = 547710$ وإن مجموع ما يزوده لمناطق الطلب هو (2076624) صندوقاً سنوياً وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع الرئيسي وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة أي إن: $I_{(4,1)} = 0$

جدول (2-4) يبين كميات الانتاج المثلى المشحونة من مراكز التوزيع الى جميع مناطق الطلب لعائلة منتجات (250) مل

مراكز التوزيع	مناطق الطلب						
	1	2	3	4	5	6	7
1.	0	0	0	0	0	599088	0
2.	0	0	0	0	0	0	0
3.	0	0	0	0	0	0	0
4.	0	0	0	0	0	0	0
5.	0	0	0	0	0	0	0
6.	547710	0	612395	433567	0	0	462484
7.	0	0	0	0	0	0	0
8.	0	515492	0	0	0	0	0
9.	0	0	0	100966	0	0	0
10.	0	0	0	0	502444	0	0
11.	0	0	0	0	0	0	0
12.	0	0	0	0	0	0	0
13.	0	0	0	0	0	0	0
14.	0	0	0	0	0	0	0
مراكز التوزيع	مناطق الطلب						
	8	9	10	11	12	13	14
1.	0	559387	0	334581	0	397786	0
2.	0	0	0	0	0	0	0
3.	0	0	0	0	0	0	0
4.	0	0	0	0	0	0	0
5.	0	0	0	103350	0	0	0
6.	0	0	0	20468	0	0	0
7.	0	0	0	0	0	0	0
8.	0	0	500502	0	426182	0	430004
9.	0	0	0	0	0	0	0
10.	494703	0	0	0	0	0	0
11.	0	0	0	0	0	0	0
12.	0	0	22577	0	0	0	0
13.	0	0	0	0	0	0	0
14.	0	0	0	0	0	0	0

4- إن مركز التوزيع (8) يزود مناطق الطلب (2) و(10) و(12) و(14) بالكميات (515492)،

(500502)، (426182)، (430004) صندوقاً سنوياً على التوالي لعائلة منتج (250) مل أي إن:

$$(O_{(8,2,1)}) = 515492, (O_{(8,10,1)}) = 500502$$

$$(O_{(8,12,1)}) = 426182, (O_{(8,14,1)}) = 430004$$

وإن مجموع ما يزوده لمناطق الطلب هو (1872180) صندوقاً سنوياً وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع الرئيسي وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة

$$I_{(6,1)} = 0 \text{ أي إن:}$$

5- إن مركز التوزيع (9) يزود منطقة الطلب (4) بالكمية (100966) صندوقاً سنوياً لعائلة منتج (250) مل أي إن:

$$(O_{(9,4,1)}) = 100966$$

وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع الرئيسي. وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة أي إن: $I_{(7,1)} = 0$

6- إن مركز التوزيع (10) يزود مناطق الطلب (5) و (8) بالكميات (502444) ، (494703) صندوقاً سنوياً على التوالي لعائلة منتج (250) مل أي إن:

$$(O_{(10,5,1)}) = 502444 \quad , \quad (O_{(10,8,1)}) = 494703$$

وإن مجموع ما يزودّه لمناطق الطلب هو (997147) صندوقاً سنوياً وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع الرئيسي. وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة أي إن: $I_{(8,1)} = 0$

7- إن مركز التوزيع (12) يزود منطقة الطلب (10) بالكمية (22577) صندوقاً سنوياً لعائلة منتج (250) مل أي إن: $(O_{(12,10,1)}) = 22577$

وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع الرئيسي. وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة أي إن: $I_{(9,1)} = 0$

ب - عائلة منتج (330) مل

من خلال الجدول (3-4) نلاحظ ما يلي:

بالنسبة لمراكز التوزيع الرئيسية

1- إن مركز التوزيع (2) يزود مناطق الطلب (3) و (8) و (9) و (10) و (12) بالكميات (567188)، (41815)، (514180)، (479168)، (394083) صندوقاً سنوياً على التوالي لعائلة منتج (330) مل أي إن: $(O_{(2,8,2)}) = 41815$ ، $(O_{(2,10,2)}) = 479168$ ، $(O_{(2,9,2)}) = 567188$ ، $(O_{(2,12,2)}) = 394083$

وإن مجموع ما يزودّه لمناطق الطلب هو (1996434) صندوقاً سنوياً وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع الرئيسي. وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة أي إن: $I_{(1,1)} = 0$

2- إن مركز التوزيع (4) يزود منطقة الطلب (2) بالكمية (17983) صندوقاً سنوياً لعائلة منتج (330) مل أي إن: $(O_{(4,2,2)}) = 17983$

وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع الرئيسي. وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة أي إن: $I_{(2,1)} = 0$

جدول (3-4) يبيّن كميات الانتاج المثلى المشحونة من مراكز التوزيع الى جميع مناطق الطلب لعائلة منتجات (330) مل

مراكز التوزيع	مناطق الطلب						
	1	2	3	4	5	6	7
1.	0	0	0	0	0	0	0
2.	0	0	567188	0	0	0	0
3.	0	0	0	0	0	0	0
4.	0	17983	0	0	0	0	0
5.	0	0	0	0	0	0	0
6.	0	0	0	0	0	0	0
7.	0	0	0	0	0	0	0
8.	0	0	0	0	0	0	0
9.	0	0	0	0	0	0	0
10.	0	0	0	0	0	0	0
11.	0	0	0	0	159509	0	429093
12.	515086	263982	0	502036	309415	0	0
13.	0	0	0	0	0	0	0
14.	0	100136	0	0	0	554139	0
مراكز التوزيع	مناطق الطلب						
	8	9	10	11	12	13	14
1.	0	0	0	0	0	0	0
2.	41815	514180	479168	0	394083	0	0
3.	0	0	0	0	0	0	0
4.	0	0	0	0	0	0	0
5.	0	0	0	0	0	0	0
6.	0	0	0	0	0	0	0
7.	0	0	0	0	0	0	0
8.	0	0	0	0	0	0	0
9.	0	0	0	0	0	0	0
10.	0	0	0	0	0	0	0
11.	0	0	0	0	0	364395	397377
12.	0	0	0	0	0	0	0
13.	0	0	0	0	0	0	0
14.	0	0	0	431277	0	0	0

3- إن مركز التوزيع (11) يزود مناطق الطلب (5) و (7) و (13) و (14) بالكميات (159509), (429093) , (364395) ، (397377) صندوقاً سنوياً على التوالي لعائلة منتج (330) مل أي إنّ:

$$(O_{(11,5,2)}) = 159509 , (O_{(11,7,2)}) = 429093$$

$$(O_{(11,13,2)}) = 364395 , (O_{(11,14,2)}) = 397377$$

وإن مجموع ما يزوده لمناطق الطلب هو (1350374) صندوقاً سنوياً وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع الرئيسي وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة أي إن: $I_{(4,1)} = 0$

4- إن مركز التوزيع (12) يزود مناطق الطلب (1) و (2) و (4) و (5) بالكميات (515086)(363982) ، (502036)، (309415) صندوقاً سنوياً على التوالي لعائلة منتج (330) مل أي إن:

$$(O_{(12,2,2)}) = 363982 \quad (O_{(12,1,2)}) = 515086 \quad (O_{(12,5,2)}) = 309415 \quad (O_{(12,4,2)}) = 502036$$

وإن مجموع ما يزوده لمناطق الطلب هو (1690519) صندوقاً سنوياً وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع الرئيسي. وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة أي إن: $I_{(4,1)} = 0$

5- إن مركز التوزيع (14) يزود مناطق الطلب (2) و (6) و (11) بالكميات (100136)، (554139)، (431277) صندوقاً سنوياً على التوالي لعائلة منتج (330) مل أي إن: $(O_{(14,6,2)}) = 554139$ ، $(O_{(14,11,2)}) = 431277$ $(O_{(14,2,2)}) = 100136$

وإن مجموع ما يزوده لمناطق الطلب هو (1085552) صندوقاً سنوياً وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع الرئيسي. وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة أي إن: $I_{(4,1)} = 0$

ج - عائلة منتج (750) مل

من خلال الجدول (4-4) نلاحظ ما يلي:

بالنسبة لمراكز التوزيع الرئيسية

1- إن مركز التوزيع (1) يزود منطقة الطلب (6) بالكمية (156190) رزومه سنوياً لعائلة منتج (750) مل أي إن: $(O_{(1,6,3)}) = 156190$

وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع الرئيسي وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة أي إن: $I_{(1,1)} = 0$

2- إن مركز التوزيع (3) يزود مناطق الطلب (3) و (8) و (13) بالكميات (370041)، (928517) (816082) رزمتاً سنوياً على التوالي لعائلة منتج (750) مل أي إن: $(O_{(3,8,3)}) = 928517$ ، $(O_{(3,13,3)}) = 816082$ $(O_{(3,3,3)}) = 370041$

وإن مجموع ما يزوده لمناطق الطلب هو (2114640) رزمتاً سنوياً وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع الرئيسي وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة أي إن: $I_{(4,1)} = 0$

3- إن مركز التوزيع (4) يزود مناطق الطلب (7) و (9) و (11) و (14) بالكميات (11200)(258846) ، (870032) ، (849065) رزمتاً سنوياً على التوالي لعائلة منتج (750) مل أي إن: $(O_{(4,7,3)}) = 11200$ ، $(O_{(4,9,3)}) = 258846$ ، $(O_{(4,11,3)}) = 870032$ ، $(O_{(4,14,3)}) = 849065$

جدول رقم (4-4) يبين كميات الانتاج المثلى المشحونة من مراكز التوزيع الى جميع مناطق الطلب لعائلة منتجات (750) مل

مراكز التوزيع	مناطق الطلب						
	1	2	3	4	5	6	7
1.	0	0	0	0	0	156190	0
2.	0	0	0	0	0	0	0
3.	0	0	370041	0	0	0	0
4.	0	0	0	0	0	0	11200
5.	361476	0	653679	0	0	0	0
6.	0	0	0	0	0	0	0
7.	0	0	0	953465	0	0	855267
8.	0	0	0	0	0	0	0
9.	0	0	0	0	920482	0	0
10.	0	0	0	0	0	854351	0
11.	0	0	0	0	0	0	0
12.	0	0	0	0	0	0	0
13.	0	933789	0	0	0	0	0
14.	605296	0	0	0	0	0	0
مراكز التوزيع	مناطق الطلب						
	8	9	10	11	12	13	14
1.	0	0	0	0	0	0	0
2.	0	0	0	0	0	0	0
3.	928517	0	0	0	0	816082	0
4.	0	258846	0	870032	0	0	849065
5.	0	0	0	0	837051	0	0
6.	0	0	0	0	0	0	0
7.	0	0	0	0	0	0	0
8.	0	0	0	0	0	0	0
9.	0	0	926980	0	0	0	0
10.	0	0	0	0	0	0	0
11.	0	0	0	0	0	0	0
12.	0	0	0	0	0	0	0
13.	0	697551	0	0	0	0	0
14.	0	0	0	0	0	0	0

وإن مجموع ما يزوده لمناطق الطلب هو (1989143) رزمتاً سنوياً وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع

الرئيسي وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة أي إن: $I_{(4,1)} = 0$

4- إن مركز التوزيع (5) يزود مناطق الطلب (1) و (3) و (12) بالكميات (361476) ، (653679) ، (837051) رزمتاً سنوياً على التوالي لعائلة منتج (750) مل أي إن:

$$(O_{(5,12,3)}) = 837051 \quad (O_{(5,1,3)}) = 361476 \quad , \quad (O_{(5,3,3)}) = 653679$$

وإن مجموع ما يزوده لمناطق الطلب هو (1852206) رزمه سنوياً وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع الرئيسي وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة أي إن:

$$I_{(4,1)} = 0$$

5- إن مركز التوزيع (7) يزود مناطق الطلب (4) و (7) بالكميات (953465) ، (855267) رزمتاً سنوياً

$$(O_{(7,4,3)}) = 953465 \quad , \quad (O_{(7,7,3)}) = 855267 \quad \text{مل أي إن:}$$

وإن مجموع ما يزوده لمناطق الطلب هو (1808732) رزمه سنوياً وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع الرئيسي وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة أي إن:

$$I_{(4,1)} = 0$$

6- إن مركز التوزيع (9) يزود مناطق الطلب (5) و (10) بالكميات (920482) ، (926980) رزمتاً سنوياً

$$(O_{(9,5,3)}) = 920482 \quad , \quad (O_{(9,10,3)}) = 926980 \quad \text{مل أي إن:}$$

وإن مجموع ما يزوده لمناطق الطلب هو (1847462) رزمه سنوياً وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع الرئيسي وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة أي إن:

$$I_{(4,1)} = 0$$

7- إن مركز التوزيع (10) يزود منطقة الطلب (6) بالكمية (854351) رزمتاً سنوياً لعائلة منتج (750)

$$(O_{(10,6,3)}) = 854351 \quad \text{مل أي إن:}$$

وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع الرئيسي وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة أي إن:

$$I_{(1,1)} = 0$$

8- إن مركز التوزيع (13) يزود مناطق الطلب (2) و (9) بالكميات (933789) ، (697551) رزمتاً سنوياً

$$(O_{(13,2,3)}) = 933789 \quad (O_{(13,9,3)}) = 697551 \quad \text{مل أي إن:}$$

وإن مجموع ما يزوده لمناطق الطلب هو (1631340) رزمتاً سنوياً وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع الرئيسي وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة أي إن:

$$I_{(4,1)} = 0$$

9- إن مركز التوزيع (14) يزود منطقة الطلب (1) بالكمية (605296) رزمتاً سنوياً لعائلة منتج (750)

$$(O_{(14,1,3)}) = 605296 \quad \text{مل أي إن:}$$

وهي نفس الكمية التي يحصل عليها من المصنع الرئيسي وهذا يعني إن مستوى الخزين في هذا المركز يساوي صفراً في نهاية كل سنة أي إن:

$$I_{(1,1)} = 0$$

ثالثاً، المتغيرات الثنائية (x_j^n) التي تفتح في مراكز التوزيع (14). استناداً الى القيد (9) في الصيغة

$$\sum_{n=1}^3 x_j^n \leq 1 \quad \forall j \quad \text{وهو} \quad (RPP) \quad \text{التمكين الحصينة}$$

والذي يضمن انه لكل مركز توزيع رئيسي يمكن ان يفتح استخدام تكنولوجيا تخزين واحدة فقط لكل عائلة منتج ومستوى سعة الخزن والمساحة المخصصة ، وكان لدينا (14) مركز توزيع ولكل مركز توزيع تم تزويدنا من قبل الشركة بثلاث كلف افتتاح بقدرات تخزينية ثلاث ومساحات تخزينية ثلاث وهي:

1- القدرة التخزينية (1) بسعة 60 ألف صندوقاً وبمساحة (1000) متر مربع وبكلف افتتاح تختلف من مركز توزيع الى مركز توزيع اخر.

2- القدرة التخزينية (2) بسعة 40 ألف صندوقاً وبمساحة (750) متر مربع وبكلف افتتاح تختلف من مركز توزيع الى مركز توزيع اخر.

3- القدرة التخزينية (3) بسعة 30 ألف صندوقاً وبمساحة (500) متر مربع وبكلف افتتاح تختلف من مركز توزيع الى مركز توزيع اخر.

أمّا القيد (7) في نفس الصيغة (2 - 54) فهو قيد المتغير الثنائي الذي يأخذ إحدى القيمتين (0) أو (1)

$$x_j^n \in \{0,1\} \quad \forall j,n$$

فعندما يأخذ القيمة (0) لا مجال لفتح أي مركز توزيع بأي قدرة تخزينية وعندما يأخذ القيمة (1) يجب فتح مركز التوزيع بالقدرة التخزينية المخصصة له والمساحة المقدرة له.

جدول (4-5) يبين قيم المتغيرات الثنائية لجميع مراكز التوزيع

مراكز التوزيع	القدرة التخزينية (١)	القدرة التخزينية (٢)	القدرة التخزينية (٣)
1.	0	0	1
2.	0	0	1
3.	0	0	1
4.	0	0	1
5.	0	0	1
6.	0	0	1
7.	0	0	1
8.	0	0	1
9.	0	0	1
10.	0	0	1
11.	0	0	1
12.	0	0	1
13.	0	0	1
14.	0	0	1

وبما إن النتائج أظهرت عدم وجود عجز في أي منطقة من مناطق الطلب وإن كميات الإنتاج الواصلة الى مناطق الطلب أكثر من كميات الطلب وإن مراكز التوزيع قادرة على تغطية جميع مناطق الطلب أظهرت نتائج الجدول (4-5) إن جميع المتغيرات الثنائية للقدرة التخزينية (1) (العالية) والقدرة التخزينية (2) (المتوسطة) قيمتها أصفراً وهذا يعني لا حاجة لوجود فتح مراكز توزيع بقدرة (عالية) و(متوسطة) لعدم وجود عجز، أمّا قيم المتغيرات الثنائية للقدرة التخزينية (3) (الواطئة) فكانت قيمتها (1) لجميع مراكز التوزيع وهذا يعني وجوب فتح مراكز توزيع بهذه القدرات

رابعاً، مستوى الخزين I_{jpt} في مراكز التوزيع الرئيسية والمتغير الثنائي Z_j استناداً الى القيد (5) في الصيغة (2 - 8) في النموذج الحصين لبرمجة التمكن الحصينة (RPP) وهو

$$I_{jpt} \geq (Z_j - \phi)SS_{jpt(3)} + \phi SS_{jpt(4)}$$

يضمن إن مستوى الخزين في جميع مراكز التوزيع الرئيسية ولكل عائلة منتجات أكبر أو يساوي مستوى مخزون الأمان بوجود المتغير الثنائي (Z_j) ، فإذا كانت قيمة $Z_j = 1$ فهذا يعني وجود مستوى للخزين في كل مركز أكبر من مستوى مخزون الأمان لهذا المركز، وإذا كانت قيمة $Z_j = 0$ فمعنى ذلك لا يوجد مستوى للخزين في جميع مراكز التوزيع الرئيسية.

جدول (6-4) يبين قيم المتغير الثنائي ومستوى الخزين لجميع مراكز التوزيع

مراكز التوزيع	عائلة منتج (٢٥٠)	عائلة منتج (٣٣٠)	عائلة منتج (٧٥٠)	Z_j
1.	0	0	0	0
2.	0	0	0	0
3.	0	0	0	0
4.	0	0	0	0
5.	0	0	0	0
6.	0	0	0	0
7.	0	0	0	0
8.	0	0	0	0
9.	0	0	0	0
10.	0	0	0	0
11.	0	0	0	0
12.	0	0	0	0
13.	0	0	0	0
14.	0	0	0	0

من خلال الجدول (6-4) يتضح لنا ما يلي:

إنَّ قيمة المتغير الثنائي Z_j في جميع مراكز التوزيع تساوي صفراً ممَّا أدَّى وحسب القيد (5) أن يكون مستوى الخزين في جميع مراكز التوزيع يساوي صفراً، وهذا ما يحقق النتائج السابقة بأنَّ مجموع كمّيات الإنتاج (u_{ijpt}) التي تصل الى أي مركز توزيع تساوي مجموع كمّيات الإنتاج (O_{ijpt}) التي تخرج من مركز التوزيع الى أي منطقة طلب والذي يؤدي الى أن يكون مستوى الخزين صفراً في نهاية السنة لجميع مراكز التوزيع.

خامساً، قيم دوال الهدف

جدول (7-4)

$OF(w_1)$	$OF(w_2)$	α	β	M	θ	ϕ
1.14718E+11	-513.775	0.54	0.8	1000000	1	0

من خلال الجدول 7-4: يتضح لنا ما يلي:

1- إن قيمة دالة الهدف الأولى هي (114.718.034.371) مئة وأربعة عشر ملياراً وسبع مئة وثمانية عشر مليوناً وأربع وثلاثون ألفاً وثلاث مئة وواحد وسبعون ديناراً ، وتمثل أقل قيمة تكاليف لسلسلة التوريد لجميع عوائل الإنتاج الثلاث لسنة (2019) وهي (تكاليف الافتتاح لمراكز التوزيع (14) وتكاليف النقل من المصنع الى مراكز التوزيع وتكاليف النقل من مراكز التوزيع الى جميع مناطق الطلب فضلاً عن تكاليف الخزن في مراكز التوزيع الرئيسية).

2- إن قيمة دالة الهدف الثانية هي (513.775-) وتمثل تقليل لأعلى مستوى للعجز ، وبما إنه قيمة دالة الهدف الثانية كمية سالبة هذا يعني إن كميات الإنتاج الواصلة الى مناطق الطلب أكبر من القيمة الفعلية للطلب وهذا يفسر عدم وجود (عجز) في كميات الإنتاج أما التفسير الفعلي لقيمة دالة الهدف الثانية إن كميات الإنتاج الواصلة الى جميع مناطق الطلب ولجميع عوائل الإنتاج تفوق بمقدار (1.467.929) صندوقاً عن الطلب الفعلي لمناطق الطلب من مراكز التوزيع مضروباً بالمقدار ($\pi_p = 0.35$) الذي يمثل الأهمية النسبية لعوائل المنتجات حسب دالة الهدف الثانية (W_2) فيكون الناتج (513.775) صندوقاً.

3- إن قيمة $\beta = 0.8$ هو مستوى الثقة المُحدّد وتحقيقاً للقيد (12) الذي يفرض $0.5 \leq \beta \leq 1$.

4- أما قيمة α وهو مستوى الثقة الذي يحقق القيد (1) والذي يحوي على معلومات ضبابية والذي يحقق دالتي الهدف الاولى والثانية والمرتبطة ارتباطاً مباشراً بكميات الطلب فكانت قيمته المثلى $\alpha = 0.537$ بعد عدّة تجارب في برمجة (Matlab) بطريقة تشبه الى حدٍ ما تحليل الحساسية في البرمجة الخطية وتعطي أقل قيمة لدالة الهدف الثانية.

5- قيمة $\emptyset = 0$ وهو المتغير المساعد الثنائي الذي تمّ فرضه في هذه البرمجة لتحويل الانموذج غير الخطي الى الانموذج الخطي والذي يكون $\emptyset = \beta \times Z_j$ وطبيعي أن تكون نتيجته صفراً بسبب أن المتغير الثنائي $Z_j = 0$ ، أمّا قيمة $\theta = 1$.

خلاصة النتائج:**1- مصنع الإنتاج الرئيسي**

أ. يغذّي المصنع (7) مراكز للتوزيع من أصل (14) مركزاً لعائلة منتجات (250) مل.
 ب. يغذّي المصنع (5) مراكز للتوزيع من أصل (14) مركزاً لعائلة منتجات (330) مل.
 ت. يغذّي المصنع (11) مركزاً توزيعياً من أصل (14) مركزاً لعائلة منتجات (750) مل.
 ث. مجموع كميات الإنتاج المنقولة الى جميع مراكز التوزيع ولثلاث عوائل إنتاجية أقل من الطاقة الإنتاجية القصوى لكل عوائل المنتجات في المصنع ، وهذا يعني قدرة المصنع على فتح مراكز توزيع رئيسية جديدة وبقدرات مختلفة وتزويدها بتلك المنتجات ضمن خطة استراتيجية مدروسة.

2- مستوى الخزين في مراكز التوزيع الرئيسية:

أظهرت النتائج إن كميات الإنتاج المتدفقة خلال السنة من المصنع الى مراكز التوزيع هي نفس الكميات المتدفقة من مراكز التوزيع الى جميع مناطق الطلب ولثلاث عوائل إنتاجية ، وهذا يعني إن مستوى الخزين في نهاية السنة يساوي صفراً في جميع مراكز التوزيع ولجميع عوائل الإنتاج.

3- **مناطق الطلب:** أظهرت النتائج إن كميات الإنتاج المتدفقة إلى مناطق الطلب من مراكز التوزيع الرئيسية أكبر من كميات الطلب الفعلية ، وهذا يعني عدم وجود نقص (عجز) في جميع عوائل الإنتاج ولجميع مناطق الطلب.

4- **متغيرات القرار:** احتوى النموذج على (672) متغيراً للقرار (كميات الإنتاج ومستوى الخزين) وأظهرت النتائج إن (75) متغيراً منها له قيمة حقيقية و(597) متغيراً منها قيمتهم أصفاً.

5- **المتغيرات الثنائية:** احتوى النموذج على (70) متغيراً ثنائياً (ويمثل فتح مراكز توزيع رئيسية بطاقات خزن معينة وبمساحات ثابتة) ، وأظهرت النتائج إن (14) متغيراً منها له قيمة حقيقية تساوي (1) وتعني فتح (14) مركزاً توزيعياً بطاقات تخزينية ثابتة وبكلف متغيرة و(56) متغيراً منها قيمتهم أصفاً منها (14) متغيراً لـ (Z_j) قيمتهم أصفاً مما أدى إلى أن مستوى الخزين صفاً في جميع مراكز التوزيع.

6- **مستوى الثقة α ، β :** عند التطبيق العملي لبرمجة التمكن الحصينة (RPP) تم إعطاء $\beta = 0.8$ وهو مستوى الثقة المحدد وتحقيقاً للقيد (12) الذي يفرض $0.5 \leq \beta \leq 1$.

أما قيمة α وهو مستوى الثقة الذي يحقق القيد (1) والذي يحوي على معلمات ضبابية والمرتبطة ارتباطاً مباشراً بكميات الطلب وكتحصيل حاصل مرتبط بقيمة دالة الهدف الأولى والثانية فكانت قيمته المثلثي $\alpha = 0.537$ بعد عدة تجارب في برمجة (Matlab) بطريقة تشبه إلى حد ما تحليل الحساسية في البرمجة الخطية وتعطي أقل قيمة لدالة الهدف الأولى والثانية.

7- قيمة دالة الهدف

أ - إن قيمة دالة الهدف الأولى هي (114.718.034.371) مئة وأربعة عشر. ملياراً وسبعمئة وثمانية عشر. مليوناً وأربع وثلاثون ألفاً وثلاثمئة وواحد وسبعون ديناراً، وتمثل أقل قيمة تكاليف لسلسلة التوريد لجميع عوائل الإنتاج الثلاث لسنة (2019) وهي (تكاليف الافتتاح لمراكز التوزيع (14) وتكاليف النقل من المصنع إلى مراكز التوزيع وتكاليف النقل من مراكز التوزيع إلى جميع مناطق الطلب فضلاً عن تكاليف الخزن في مراكز التوزيع الرئيسية وتكاليف الإنتاج).

ب - إن قيمة دالة الهدف الثانية هي (513.775-) وتمثل تقليل لأعلى مستوى للعجز ، وبما إنه قيمة دالة الهدف الثانية كمية سالبة هذا يعني إن كميات الإنتاج الواصلة إلى مناطق الطلب أكبر من القيمة الفعلية للطلب وهذا يفسر عدم وجود (عجز) في كميات الإنتاج أما التفسير الفعلي لقيمة دالة الهدف الثانية إن كميات الإنتاج الواصلة إلى جميع مناطق الطلب ولجميع عوائل الإنتاج تفوق بمقدار (1.467.929) صندوقاً عن الطلب الفعلي لمناطق الطلب من مراكز التوزيع مضروباً بالمقدار (0.35) $(\pi_p =$ الذي يمثل الأهمية النسبية لعوائل المنتجات حسب دالة الهدف الثانية (W_2) فيكون الناتج (513.775) صندوقاً.

المبحث الخامس / الاستنتاجات والتوصيات

1- الاستنتاجات، [Conclusions]

- 1- إن معالجة البيانات الضبابية داخل النموذج الحصين للشبكة باستعمال طريقتي برمجة قيد المصادفة (CCP) وبرمجة التمكين الحصينة (RPP) تعطي نتائج أمثلية أفضل من الطرق الأخرى التي تعالج الضبابية خارج النموذج لأنها توفر المتانة الأمثلية لقيمة دالة الهدف ومتانة الجدوى للقيود الضبابية بتقليل انحراف قيم العدد الضبابي عن القيمة المتوقعة (المتوسط).
- 2- النتائج تشير إن أفضل قيمة لدالة الهدف بتقليل الكلف وتقليل أعلى كمية من العجز لبيانات شركة بغداد للمشروبات الغازية عندما يكون مستوى الثقة $\beta = 0.8$ و $\alpha = 0.537$ في القيود التي تتضمن معلمات ضبابية لاحظ الجدول (7-4).
- 3- النتائج تشير إلى عدم وجود عجز في توفير الطلب إذ إن هناك فائضاً في الإنتاج لجميع عوائل المنتجات لاحظ الجدول (7-4).
- 4- إن برمجة التمكين الحصينة (RPP) هي واحدة من أفضل الأساليب المستعملة في معالجة المشاكل الإنتاجية والمشاكل المتعلقة باتخاذ القرار عندما تكون البيانات ذات طبيعة متقلبة ومتذبذبة بالاستناد إلى الصيغ $(1 - 11)$ ، $(1 - 7)$ لأنها تضع عقوبات جزائية في حالة إختراق القيود وبالتالي تساهم مساهمة فعالة في استغلال الموارد المتاحة بأقصى ما يمكن.
- 5- من خلال المقارنة بين النماذج الثلاث لبرمجة التمكين الحصينة (RPP) تبين أن النوع الثاني من برمجة التمكين الحصينة (RPP-2) هو أفضل أنواع برامج التمكين الحصينة لأنه يحول النموذج الغير خطي إلى نموذج خطي وكذلك يتعامل مع المعلمات الضبابية في القيود.

2- التوصيات، (Recommendations)

- 1- نوصي بالاعتماد على البرمجة الحصينة (الأمثلية) في معالجة حالات (عدم التأكد) التي تعاني منها الشركة لأنها تعطي نتائج أفضل من برمجة قيد الفرصة وتضمن هذه البرمجة عدم خرق القيود بالرغم من وضع عقوبة جزائية لخرق أي قيد.
- 2- فتح مراكز توزيع رئيسية أخرى لتغذية مناطق طلب جديدة لاستغلال الطاقات الإنتاجية للمصنع والفائضة عن حاجة مناطق الطلب (14) التي يتم تغذيتها من قبل المصنع الرئيسي. وبالتالي توفير الكثير من فرص العمل للعاطلين.
- 3- نصح مراكز التوزيع الرئيسية بتخصيص كمية من الإنتاج كمخزون أمان في كل مركز والعمل على التوازن في تدفق كميات الإنتاج الداخلة والخارجة لإبقاء مستوى الخزين بشكل لا يجعله صفري في نهاية كل سنة.
- 4- يمكن تصميم شبكة سلسلة التوريد بإضافة المصانع الأولية للمواد الخام وإضافة مراكز التوزيع المحلية لتتكون الشبكة من (المصانع الأولية، المصانع الثانوية، مراكز التوزيع الرئيسية، مراكز التوزيع المحلية، مناطق الطلب) وتحتاج إلى جهود استثنائية لجمع البيانات والمعلومات وتصنيفها.
- 5- يمكن تصميم النموذج الحصين لسلسلة التوريد ليغطي الكثير من القرارات الاستراتيجية والتكتيكية الأكثر تعقيداً مثل دراسة الكميات المنتجة ومستوى الخزين داخل عائلة الإنتاج الواحدة ولمجموعة عوائل تلك المنتجات.

- 6- يمكن استعمال أساليب البرمجة العشوائية للتعامل مع البيانات (غير المؤكدة) في حال وجود هذه البيانات وخضوعها لأحد التوزيعات الاحتمالية مثل البرمجة العشوائية الخطية والبرمجة العشوائية ذات المرحلتين.
- 7- يمكن استعمال أسلوب برمجة التمكن الحصينة للتعامل مع البيانات الضبابية المختلطة في حالات الطوارئ والكوارث والتي تتغير عندها قيمة الطلب بشكل أكبر من الحالات الطبيعية كما في صناعة الأدوية والمستلزمات الطبية.
- 8- يمكن استعمال بعض الخوارزميات التطويرية كطريقة لحل نماذج سلسلة التوريد والتي تحوي على عدد كبير من المتغيرات والتي تحتاج لوقت طويل لحلها بالطرق الشائعة مثل الخوارزمية الميمائية والخوارزمية الجينية وغيرها.

المصادر (References)

1. Choquet, G. (1953) "Theory of capacities". Annales de l'Institut Fourier. 5: 131–295
2. Inuiguchi M. and Ramik J. (2000) "Possibilistic linear programming: a brief review of fuzzy mathematical programming and a comparison with stochastic programming in portfolio selection problem," Fuzzy Sets and Systems, vol. 111, pp. 3-28
3. Jabbarzadeh, A. Fahimnia, B. and Seuring, S. (2014) "Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters: A robust model with real world application," Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, vol. 70, pp. 225–244
4. Jayalacshmi M. Pandian P. (2012) , "A New Method for Finding an Optimal Fuzzy Solution for Fully Fuzzy Linear Programming Problems", International Journal of Engineering Research and Applications , Vol. 2 ,Issue 4 , July- August , pp. 247-254.
5. Kahraman ,C and Yavuz , M (2010) "Production Engineering and management under fuzziness", Berlin, springer science, Business media , LLC.
6. Kumar, A. and Kaur, M. (2012)" An improved Algorithm for Solving Fuzzy Maximal Flow Problem". International Journal of Applied Science and Engineering.10(1):19-27.
7. Marwan Abdul Hameed A. (2019) " Linear Programming Problems Certainty and Uncertainty " University of Baghdad – College of Administration & Economics.
8. Mirzapour Al-e-hashem S.M.J. Malekly H. and Aryanezhad M.B. (2011) "A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty" International Journal of Production Economics, vol. 134, pp. 28-42

9. Mousazadeh M. Torabi S. Zahiri B. (2015) "A robust possibilistic programming approach for pharmaceutical supply chain network design". Comput Chem Eng 82:115–128
10. Pishvae M. S. Rabbani M. and Torabi S. A. (2011) "A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty," Applied Mathematical Modelling, vol. 35, pp. 637-649
11. Pishvae M. S. Razmi J. and Torabi S. A. (2012) "Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach," Fuzzy Sets and Systems, vol. 206, pp. 1-20