الفصل التاسع

النقل والتخصيص في دعم القرار

ترتبط نماذج النقل والتخصيص بحزمة أساليب بحوث العمليات التي تشكل الجزء الثالث من أساليب دعم قرارات المنظمة الموضحة في الشكل رقم (1-14) الموضح في الفصل الأول من كتابنا هذا.[1]

1.9. نموذج النقل وعلاقته بالبرمجة الخطية

يعتبر نموذج النقل Transportation مشتقاً من نموذج البرمجة الخطية – ويتسم بكونه يتكون من عدد كبير من المتغيرات، وأن المتغير الأساسي المجهول في هذا النموذج هو Xij، في حين المتغير الأساسي المجهول في البرمجة الخطية هو Xj. يعالج نموذج النقل مشاكل نقل وتوزيع البضائع والخدمات بين مراكز التوزيع ومراكز الاستلام، كذلك يعالج مشاكل أكثر دقة مثل نقل وتوزيع قطع ومكونات الإنتاج بين المكائن والمعدات.

من أجل توضيح فكرة نموذج النقل والصيغة الرياضية له يتطلب الأمر في البداية وضع التعاريف التالية:

i = مراكز التوزيع للبضائع والخدمات

حيث أن : $i = 1,2 \ldots, m$

j = مراكز الاستلام للبضائع والخدمات

حيث أن : $j = 1,2, \ldots, n$

---

(1) قدم أستاذي Z.Czerwinski نماذج للنقل والتوزيع تستحق الاهتمام خلال مرحلة الانتظام معه في حلقة دراسية حول كيفية تسخير الرياضيات في دعم القرارات الاقتصادية، وذلك صيف عام 1983، بعدها بفترة قليلة قام بإصدار كتابه الموسوم: Matematyka Na Ustugach Ekonomii الرياضيات في خدمة الإدارة والاقتصاد، ولهذه المعالم الدور الأساسي في إعداد هذا الفصل.

2.9. أنواع مشاكل النقل Type of Transportation Problems

هناك أنواع مختلفة من مشاكل النقل، ويتم تقسيمها من وجهات نظر مختلفة، وبشكل عام يمكن أن نستخلص التقسيمات والأنواع التالية:

أولاً : تقسيم مشاكل النقل من حيث العلاقة بين مراكز التوزيع ومراكز الاستلام.

1. مشاكل النقل المباشر Direct Transportation.
2. مشاكل النقل غير المباشر In direct Transportation

ثانياً: تقسيم مشاكل النقل من حيث توازن أو عدم توازن.

1. مشاكل النقل المغلق Closed Transportation.
2. مشاكل النقل المفتوح Open Transportation

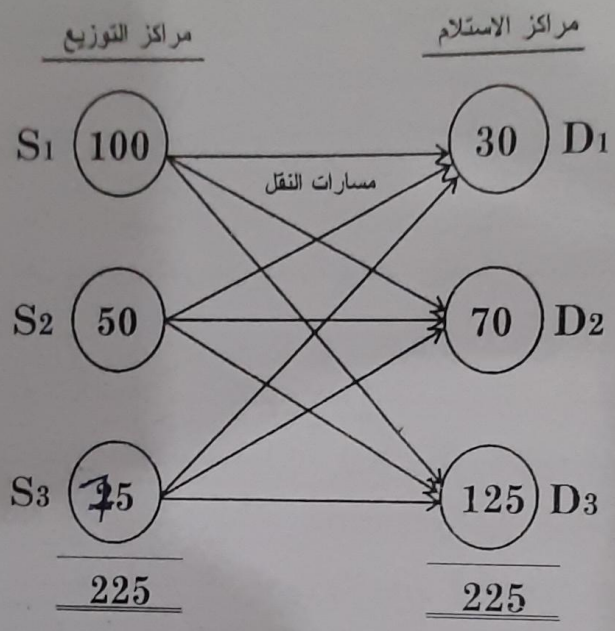
ثالثاً: تقسيم مشاكل النقل من حيث طبيعة المشكلة ذاتها

1. مشاكل النقل الخاصة Specisial type of Transportation.
2. مشاكل النقل الاعتيادية .Normal Transportation Prob.

1.2.9. مشاكل النقل من حيث العلاقة بين مراكز التوزيع ومراكز الاستلام

أولاً : مشاكل النقل المباشر، حيث أن عملية النقل للبضائع والخدمات بشكل مباشر وبدون أي وسيط طبقاً للشكل (9-1) البياني التالي:

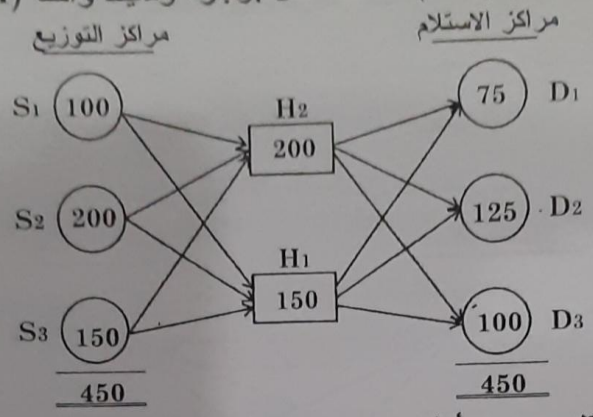
شكل رقم (9-1) النقل المباشر



ثانياً: مشاكل النقل غير المباشر، حيث أن عملية نقل البضائع والخدمات بين مراكز التوزيع والاستلام تتم من خلال وسيط واحد أو أكثر، الذي يعرف في المفاهيم التسويقية باسم تاجر التجزئة (أو تاجر المفرد) كما هو واضح في أدناده:

1. **بوجود وسيط واحد:** يتضح من الشكل رقم (9-2) أن هنالك مستوى واحد لوسيط هو (H_2, H_1) الذي يكون في البداية مركز استلام بالنسبة لكل من (S_3, S_2, S_1) في حين في المرحلة التالية يعتبر مركز توزيع بالنسبة لكل من (D_3, D_2, D_1).

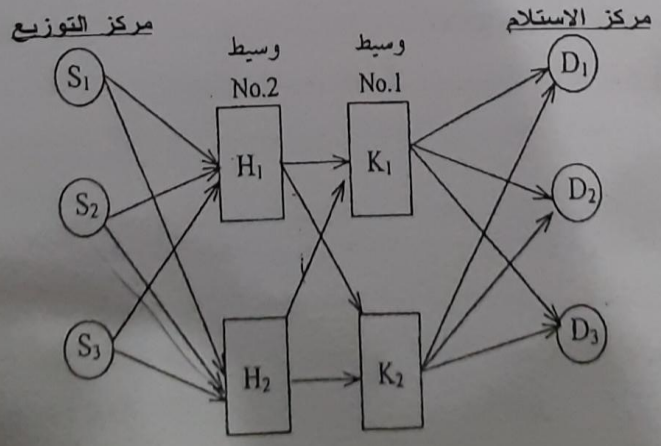
شكل رقم (9-2) مشكلة نقل بوجود وسيط واحد (H)



2. **مشكلة نقل بوجود أكثر من وسيط واحد: وتقسم هذه الحالة إلى نوعين وذلك كما يلي:**

أ- **الحالة النظامية:** حيث تتضح هذه الحالة من خلال الشكل رقم (9-3) حيث يكون هنالك وسيط No.1 (K_2, K_1) وكذلك وسيط (H_2, H_1) No.2 مرتبين بشكل نظامي Symmetric وأن اتجاه تدفق البضاعة هو دائماً من اليسار إلى اليمين ولا يجوز العكس.

شكل رقم (9-3) مشكلة نقل بوجود أكثر من وسيط واحد



ب- الحالة غير النظامية:

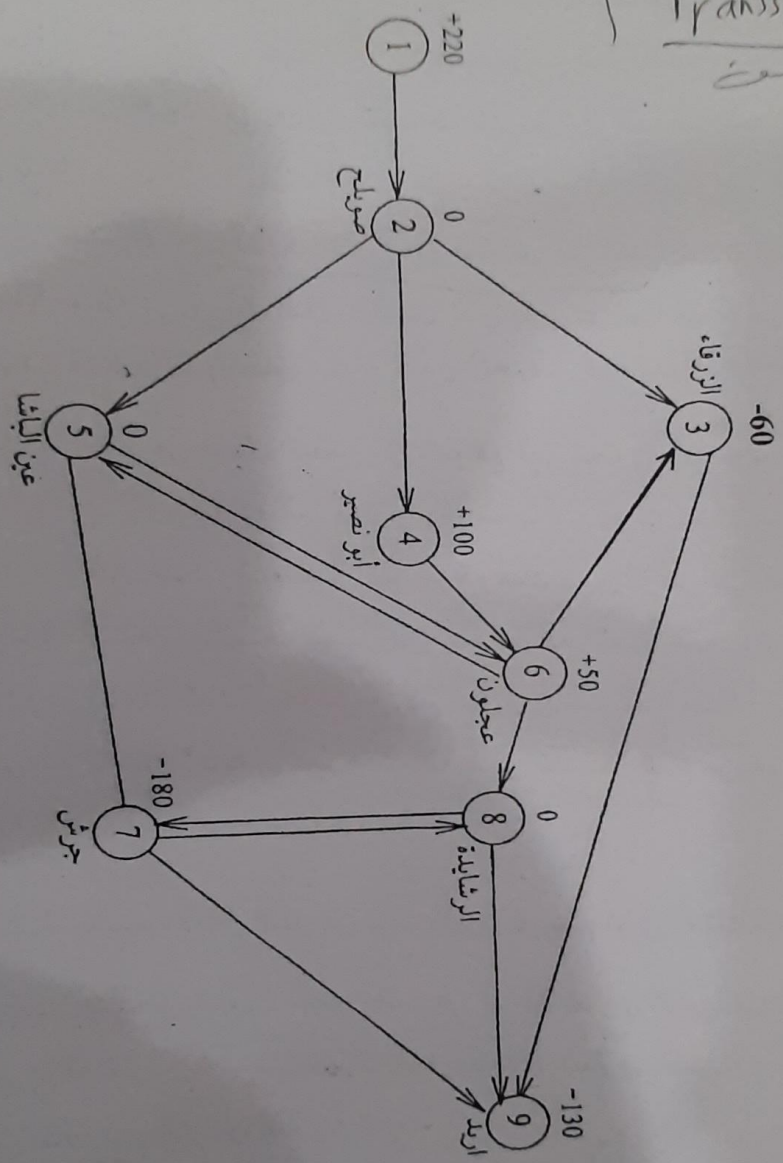
يمكن أن تظهر مشكلة النقل بوجود أكثر من وسيط بشكل أكثر تعقيداً في الواقع العملي. حيث قد لا تكون بالشكل النظامي (Symmetric) الوارد في الحالة الموضحة بالشكل أعلاه. وكذلك قد لا تكون مسارات النقل واتجاه تدفق البضائع والسلع دائماً من اليسار إلى اليمين، حيث قد تكون في الواقع حالة أحد المسارات هو أن تتدفق من خلاله البضائع والسلع بشكل مزدوج (من اليسار إلى اليمين ومن اليمين إلى اليسار). ويعرف هذا النوع من المشاكل بالتدفق Transshipment، وهي حالة مشتقة من مشاكل النقل. والشكل الذي يعبر عن هذا النوع من المشاكل موضح في الشكل رقم (8-4).

حيث يتضح من الشكل المذكور أن المواقع التي تحتوي رقم موجب تمثل مراكز التوزيع، وأن المواقع التي تحتوي رقم سالب هي مراكز استلام، أما في حين المواقع التي عليها رقم صفر فهي مواقع محايدة، ويفترض في هكذا أنواع من المشاكل أن تحدد تكاليف النقل بين هذه المواقع كما هو واضح في الشكل رقم (8-5) كذلك يفترض أن يتم تحويل بيانات هكذا مشكلة إلى جدول النقل كي يتم معالجتها بإحدى الطرق السالفة الذكر تبعاً لكل نوع من أنواع الحلول المطلوبة.

2.2.9. تقسيم مشاكل النقل من حيث توازن أو عدم توازن مشكلة النقل:

ويقصد بذلك أن الكميات المعروضة هي أما أن تساوي الكميات المطلوبة وذلك في حالة التوازن، او أن الكميات المعروضة لا تساوي الكميات المطلوبة وذلك في حالة عدم التوازن كما يرد أدناه:

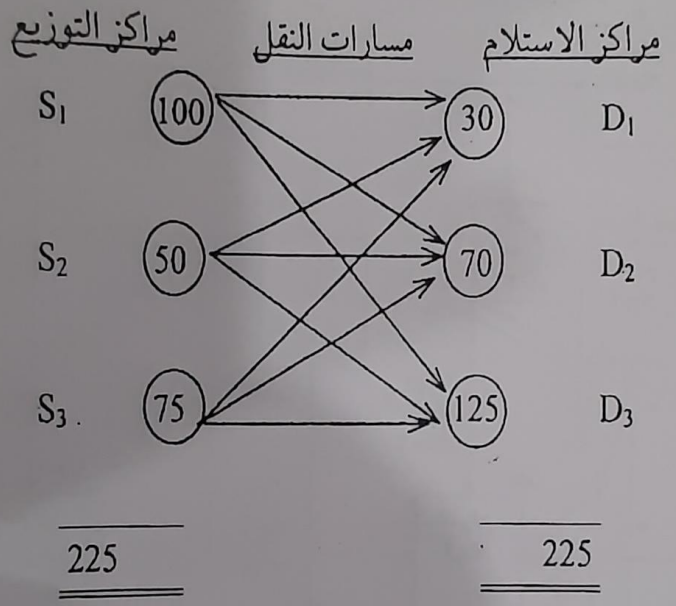
شكل رقم (9-4) مثال توضيحي لمشكلة نقل غير مباشر Indirect Transportation والتي تعرف أيضاً (Multistage) أو ما يعرف بمشاكل التدفق Transshipment



أولاً: مشاكل النقل المغلق (المتوازن): ويقصد بذلك أن مجموع الكميات الموجودة في مراكز التوزيع تساوي تماماً مجموع الكميات المطلوبة في مراكز الاستلام، ويعبر عن ذلك من خلال العلاقة الرياضية التالية:

$$\sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_j$$

ولو فرضنا أن لدينا ثلاث مراكز توزيع، وثلاث مراكز استلام فإن التعبير عن هذه الحالة بيانياً هو كما هو وارد في المثال التالي:



ثانياً: مشاكل النقل المفتوح: ويقصد بهذا النوع من المشاكل تلك التي لا يوجد فيها حالة التوازن بين العرض والطلب، وبعبارة أخرى إما أن يكون العرض أكبر من الطلب أو الطلب أكبر العرض، ويتم التعبير عن ذلك رياضياً كما يلي:

$$\sum_{i=1}^{m} a_i \neq \sum_{j=1}^{n} b_j$$

واستناداً لذلك، فإن هذه العلاقة يمكن أن تقسم كما يلي:

1- العرض أكبر من الطلب، أي أن:

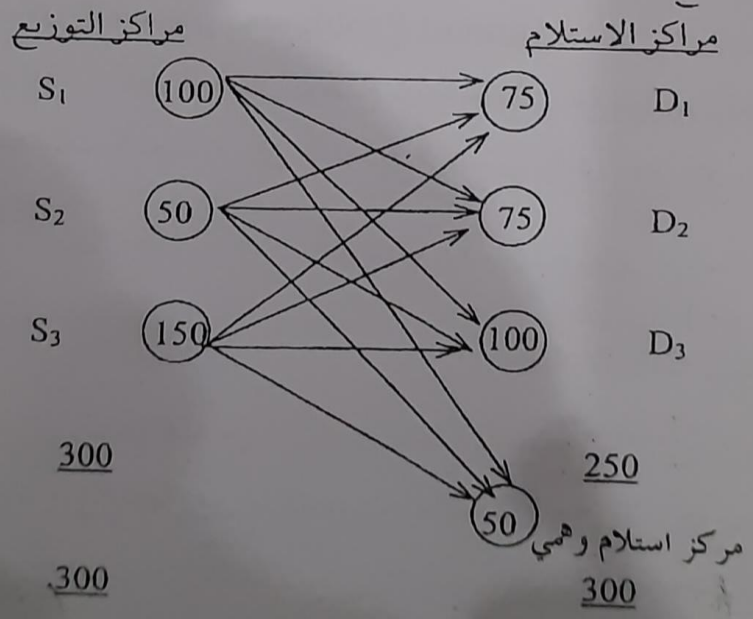
$$\sum_{j=1}^{m} a_i > \sum_{j=1}^{n} b_j$$

2- العرض أصغر من الطلب، أي أن:

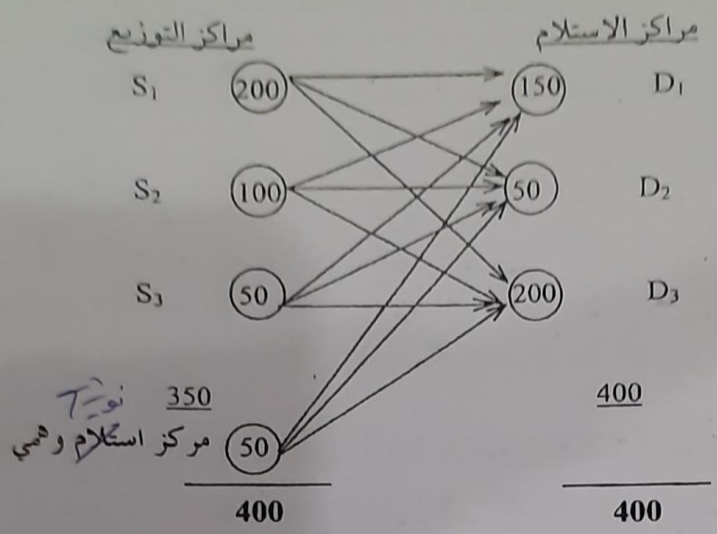
$$\sum_{j=1}^{n} a_i < \sum_{i=1}^{m} b_i$$

ولما كانت مشكلة النقل ينبغي أن تكون متوازنة، لذلك لا بد من معالجة هذه
الة، أي تحويلها من حالة عدم التوازن إلى حالة التوازن، ويكون ذلك فإضافة
كز استلام وهمي أو مركز توزيع وهمي يمثل الفرق بين مجموع القيم في
اكز التوزيع ومراكز الاستلام. ولتوضح ذلك نعرض أدناه بعض الأمثلة
فتراضية مع الأشكال البيانية التي توضح هذه الحالات:

1. **العرض أكبر من الطلب:**



2. العرض أصغر من الطلب:



3.2.9. تقسيم مشاكل النقل من حيث طبيعة المشكلة ذاتها

أولاً: مشاكل النقل الخاص: أن هذا النوع من المشاكل حسب ما هو واضح من التسمية تتسم بالخصوصية، حيث أن هناك العديد من مشاكل النقل هي غير ما ورد أعلاه ولها مواصفات نابعه من أصل المشكلة، ومن أهم هذه الحالات هي:

1. مشاكل التخصيص Assignment Problems:

إن هذا النوع من المشاكل توضح كيفية التعامل مع توزيع وتخصيص الموارد على الاستخدامات المحددة، وأن النموذج الرياضي الذي يعبر عن هذا النوع من المشاكل هو:

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ij} = 1 \qquad i = 1, 2, \ldots, m$$

$$\sum_{i=1}^{m} X_{ij} = 1 \qquad j = 1, 2, \ldots, n$$

$$Z = \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} C_{ij} X_{ij} \rightarrow Min$$

$$X_{ij} \geq 0$$

وسوف يتم توضيح هذا النوع من المشاكل لاحقاً بشكل أكثر تفصيلاً.

2- مشاكل التدفق Transshipment Problems

وهي تلك المشاكل التي تعبر عن حالات التدفق للبضاعة والسلع من مراكز توزيع الى مراكز الاستلام من خلال أكثر من مرحلة واحدة ومروراً بأكثر من مرحلة واحدة ومروراً بأكثر من مركز توزيع واستلام. وتتصف هذه الحالة بأن هناك تبادل للبضائع والسلع بين اثنين أو أكثر من المراكز، أي بعبارة أخرى أن هناك إمكانية لأن يقوم كل مركز بتوزيع واستلام البضاعة من المراكز الأخرى وذلك بكلف مختلفة، وسوف يرد توضيح مفصل لذلك في الفقرات القادمة.

3. مشاكل نقل مختلفة:

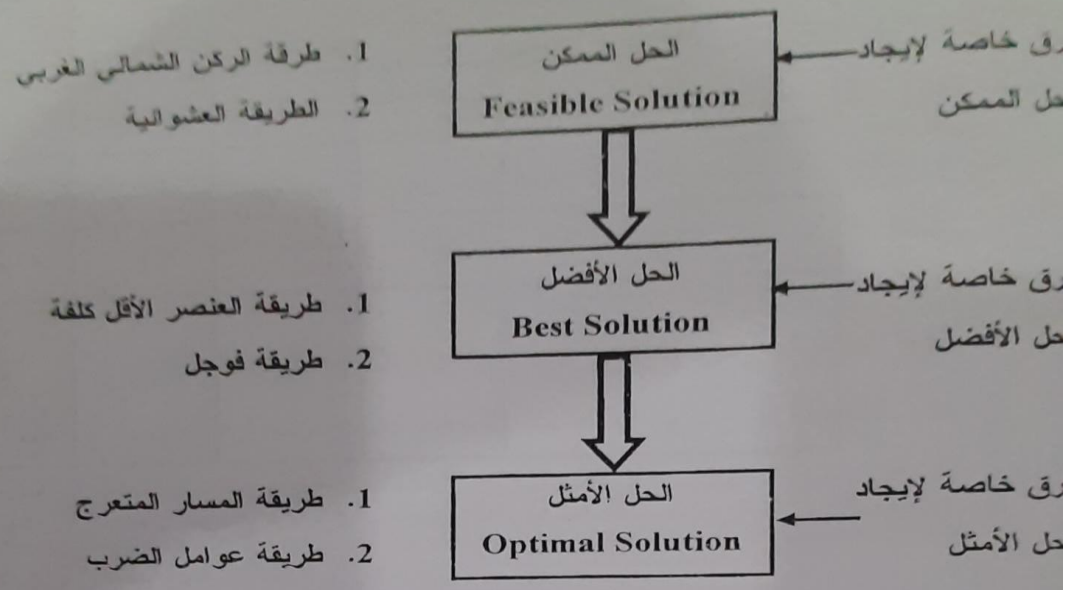
يمكن أن نميز في الواقع العملي بين العديد من المشاكل ذات الطابع الخاص الذي يميزها عن الحالات السابقة، ومن الأمثلة على ذلك:

- مشاكل النقل في حالة الدالة المزدوجة (تدنية التكاليف وتعظيم الأرباح).
- مشاكل النقل في ظل الوقت الإضافي Over Time.
- مشاكل تقليل عمليات النقل الفارغ.
- مشاكل تقليل تكاليف نقل الإنتاج.
- مشاكل تخطيط الإنتاج الإضافي وتسويقه.

ثانياً: مشاكل النقل الاعتيادية

حيث سبق وأن تم توضيح هذه المشاكل في بداية هذا الفصل، وتكون العلاقة محصورة بين مراكز التوزيع والاستلام من حيث توزيع البضائع والخدمات وذلك وفق تكاليف نقل اعتيادية.

الشكل رقم (9-6) مراحل الحل وكيفية استخدام طرق خاصة لعملية البحث عن الحل الممكن والأفضل والأمثل



وعلى أساس ما تقدم فإن عملية البحث عن الحلول لاث المشار إليها أعلاه لمشكلة النقل، تتطلب استخدام الطرق الية:

أولاً : البحث عن الحل الممكن الأساسي الابتدائي Feasible Solution:

1- طريقة الركن الشمالي الغربي North – West Corner.

2- الطريقة العشوائية في التوزيع Randam Distribution.

طريقة الركن الشمالي الغربي North – West Corner:

من خلال تسمية هذه الطريقة يستدل على كيفية تطبيقها، حيث إن نقطة بداية بيق هذه الطريقة هي خلية النقل الواقعة في الركن الشمالي الغربي من

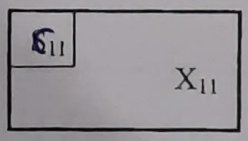
جدول النقل كما هو واضح في الجدول التالي:

جدول رقم (9-1) بيانات افتراضية

مراكز التوزيع \ مراكز الاستلام	D_1	D_2	D_3	a_i
S_1	بداية الحل	C_{12} X_{12}	C_{13} X_{13}	a_1
S_2	C_{21} X_{21}	C_{22} X_{22}	C_{23} X_{23}	a_2
S_3	C_{31} X_{31}	C_{32} X_{32}	C_{mn} X_{33}	a_3
b_j	b_1	b_2	b_3	$\sum_{i=1}^{m} a_i$ / $\sum_{i=1}^{n} b_i$

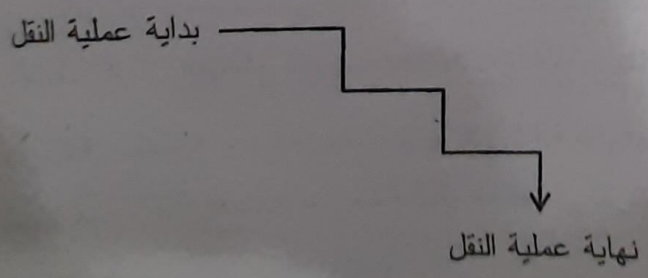
بداية تطبيق طريقة الركن الشمالي الغربي

من الجدول السابق يتضح أن بداية تطبيق الطريقة المذكورة هي الركن S1 وبالتحديد من خلية النقل التالية :



خلية النقل الواقعة في الركن الشمالي الغربي من جدول النقل

ومن ثم تستمر عملية نقل البضائع أو السلع من مراكز التوزيع إلى مراكز الاستلام وفق صيغة متدرجة يمكن تشبيهها بالسلم المتدرج التنازلي، أي أن:



ثانياً : البحث عن الحل الأفضل Best Solution:

لإيجاد هذا النوع من الحلول يتم استخدام اثنين من الطرق وهي كما يلي:

1- طريقة العنصر الأقل تكلفة Least Cost Method.

2- طريقة فوجل Vogel's Approximation.

طريقة العنصر الأقل كلفة Least Cost Method:

وهي الطريقة التي تبحث عن أقل عنصر من التكاليف ضمن جدول النقل وذلك من أجل اعتماده كبداية لعملية توزيع وتسويق البضائع والسلع. وعادة يتم سحب مصفوفة التكاليف من جدول النقل من أجل اعتمادها كدليل عسمل عند البدء بعملية التوزيع لما هو متوفر من بضائع وسلع في مراكز التوزيع، ويرمز لهذه المصفوفة كما يلي:

إذا كان:

$$i = 1, 2, \ldots, m.$$
$$j = 1, 2, \ldots, n.$$

فإن صيغة المصفوفة هي:

$$Cij = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \ldots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \ldots & C_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_{m1} & C_{m2} & \ldots & C_{mn} \end{bmatrix}$$

وبعد أن يتم تحديد العنصر الأقل كلفة وتتم فيه عملية النقل يتم عادة شطب القيمة أو المقدار أو الكمية التي تم نقلها من مراكز التوزيع وكذلك من مراكز

4.9. مشاكل النقل المغلق:

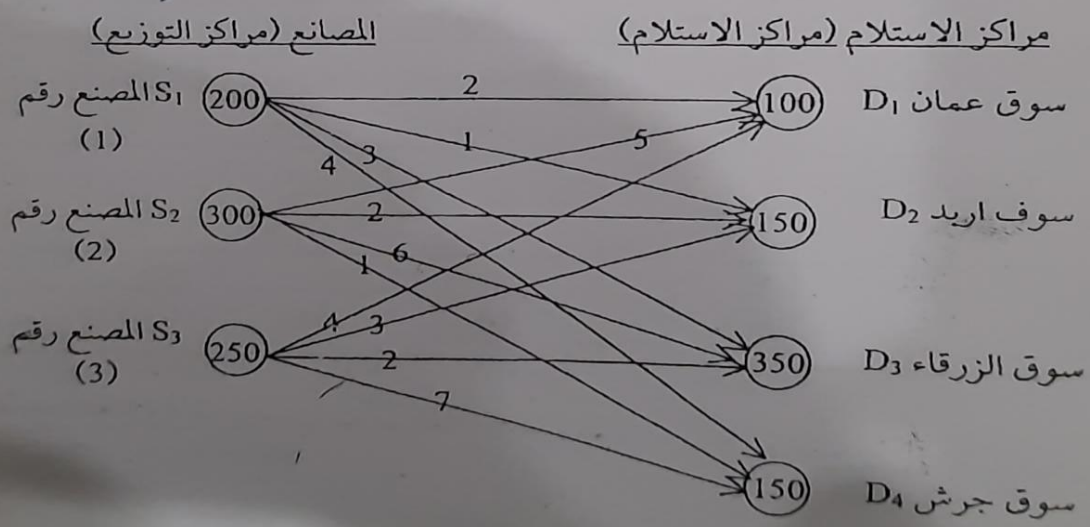
في هكذا نوع من المشاكل يكون مجموع كميات البضاعة المعروضة في مراكز التوزيع مساوية لمجموع كميات البضاعة في مراكز الاستلام، أي أن:

$$\sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_j$$

وفيما يلي تطبيق لهذا النوع من المشاكل:

مثال رقم (1):

مطلوب تسويق كميات من المنتجات الجاهزة وهي عبارة عن ألبسة رجالية (بدلات)، وكذلك ولادية من ثلاثة مصانع (ترتبط بالشركة العامة للألبسة الجاهزة) إلى أربع أسواق لبيعها على المواطنين بشكل مباشر. المخطط الشبكي التالي يوضح مسارات التسويق والنقل مع تكاليف كل مسار من المصنع إلى السوق مع الكميات المتوفرة من هذه الألبسة لدى كل واحد من المصانع الثلاث، وكميات الألبسة المطلوبة من كل واحد من الأسواق.



المطلوب:

حل المشكلة وأوجد التكاليف الكلية لعملية التسويق للبضائع من المصانع لغاية الأسواق مستخدماً الطرق التالية:

1. الركن الشمالي الغربي.
2. العنصر الأقل كلفة.
3. المسار المتعرج وطريقة المضاعفات.
4. **الحل بطريقة الركن الشمالي الغربي:**

من أجل البدء بعملية الحل وإيجاد الحل الممكن، فإن في هذه الحالة يتم تطبيق طريقة الركن الشمالي الغربي، وفي هذه الحالة من المفروض أن يتم تصميم الجدول التالي:

جدول رقم (9-2) بيانات المشكلة الأساسية

الأسواق / المصانع	سوف عمان (1)	سوق اربد (2)	سوق الزرقاء (3)	سوف جرش (4)	a_i
المصنع رقم (1)	2 X_{11}	1 X_{12}	3 X_{13}	4 X_{14}	200
المصنع رقم (2)	5 X_{21}	2 X_{22}	6 X_{23}	1 X_{24}	300
المصنع رقم (3)	4 X_{31}	3 X_{32}	2 X_{33}	7 X_{34}	250
b_j	100	150	350	150	750 / 750

$Z = 2(100) + 1(100) + 2(50) + 6(250) + 2(100) + 7(150) \rightarrow$

$= 3150$

استناداً إلى التوزيع الوارد في الجدول رقم (9-3)، يتم حساب قيمة دالة الهدف كما يلي:

$$Z = 2X100 + 1X100 + 2X50 + 6X250 + 2X100 + 7X150 \rightarrow Min$$

$$Z = 200 + 100 + 100 + 1500 + 200 + 1050 = 3150 \quad \text{دينار}$$

التكاليف الكلية لعملية تسويق البضائع من المصانع الثلاث إلى الأسواق الأربعة.

جدول رقم (9-3) الحل وفق طريقة الركن الشمالي الغربي

الأسواق / المصانع	سوف عمان (1)	سوق اربد (2)	سوق الزرقاء (3)	سوف جرش (4)	a_i
المصنع رقم (1)	2 — 100	1 — 100	3 — 0	4 — 0	200 / 100 / 0
المصنع رقم (2)	5 — 0	2 — 50	6 — 250	1 — 0	300 / 250 / 0
المصنع رقم (3)	4 — 0	3 — 0	2 — 100	7 — 150	250 / 150 / 0
b_j	100 / 0	150 / 50 / 0	350 / 100 / 0	150 / 0	750 / 750

2. الحل بطريقة العنصر الأقل كلفة:

إن الحل أعلاه يعبر عن الحل الممكن، ويتم تحسين هذا الحل باستخدام أحد الطرق المعروفة في إيجاد الحل الأفضل، وهي أما طريقة العنصر الأقل كلفة أو طريقة فوجل. ولو فرضنا أنه تم استخدام طريقة العنصر الأقل كلفة، فإن الحل وفق

الخطوة التالية هي وضع هذه الكميات في جدول النقل كما هو واضح في الجدول رقم (9-4) التالي:

جدول رقم (9-4) الحل وفق طريق العنصر الأقل كلفة

المصانع \ الأسواق	سوق عمان (1)	سوق اربد (2)	سوق الزرقاء (3)	سوق جرش (4)	a_i
المصنع رقم (1) (4)	2 ×11 50	1 ×12 150	3 ×13	4 ×14	200 / 150 0
المصنع رقم (2)	5 ×21 50	2 ×22	6 ×23 100	1 ×24 150	300 / 250 / 150 0
المصنع رقم (3) (5)	4 ×31	3 ×32	2 ×33 250	7 ×34	250 / 0
b_j	100 / 50	150 / 0	350 / 250 0	150 / 0	750 / 750
	(3)	(2)		(1)	

قيمة دالة الهدف تحسب كما يلي:

$$Z = 2*50 + 1*150 + 5*50 + 6*100 + 1*150 + 2*250 \rightarrow Min.$$

$$Z = 100 + 150 + 250 + 600 + 150 + 500 = 1750$$ دينار

التكاليف الكلية لنقل وتسويق البضائع من المصانع الثلاث الى الأسواق الأربعة.