احتساب مؤشر كثافة النقل من بعض مؤشرات الانتاجية لخطوط سكك الحديد بأستخدام الشبكات العصبية

سوسن رشيد محمد
استاذ مساعد
جامعة بغداد/ كلية الهندسة

عباس محمد برهان
مدرس
جامعة بغداد/ كلية الهندسة

احمد محمد علي هادي
مدرس
الجامعة المستنصرية/ كلية الهندسة

الخلاصة

تقيَّم كفاءة الاداء لخطوط سكك الحديد من خلال مجموعة من المؤشرات والمعايير اهمهما: كثافة النقل، انتاجية المنتسب، انتاجية عربة المسافرين، انتاجية عربة الشحن، وانتاجية القاطرات. وتتضمن هذه الدراسة محاولة لاحتساب اهم هذه المؤشرات وهو مؤشر كثافة النقل من خلال مؤشرات الانتاجية الاربع وذلك باستخدام تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية. وقد تم في هذه الدراسة استخدام برنامجين للشبكات العصبية هما (Simulnet) و (Neuframe)، فقد تم اعتماد نتائج البرنامج الثاني. اظهرت نتائج تدريب واختبار الشبكة العصبية على البيانات المستخدمة في الدراسة والتي استحصلت من شبكة المعلومات الدولية (الانترنيت)، بأن نسبة الخطأ في عملية التدريب والاختبار كانت حوالي (10%) وان نتائج استعلام الشبكة قد اعطت نتائج بدقة مقبولة احصائياً بحيث انها كانت افضل من النتائج المستحصلة من معادلة الانحدار الخطي المتعدد لنفس البيانات.

الكلمات الرئيسية: مؤشرات، خطوط سكك، مؤشر كثافة النقل، الشبكات العصبية

Calculating the Transport Density Index from Some of the Productivity Indicators for Railway Lines by Using Neural Networks

Sawsan Rasheed Mohamed
Assistant Professor
Engineering College
Baghdad University
Email: Sawsan_2@yahoo.com

Abbas Mohammed Burhan
Instructor
Engineering College
Baghdad University
Email: abbas_alshemosi@yahoo

Ahmed Mohammed Ali Hadi
Instructor
Engineering College
Al-Mustansirya University
Email:ahmad.ubaidl.research@gmail

ABSTRACT

The efficiency evaluation of the railway lines performance is done through a set of indicators and criteria, the most important are transport density, the productivity of enrollee, passenger vehicle production, the productivity of freight wagon, and the productivity of locomotives. This study includes an attempt to calculate the most important of these indicators which transport density index from productivity during the four indicators, using artificial neural network technology. Two neural networks software are used in this study, (Simulnet) and (Neuframe), the results of second program has been adopted. Training results and test to the neural network data used in the study, which are obtained from the international information network has showed that the error rate in the training and the testing process was about (10%) and that the results of the network query has given the results of acceptable accuracy statistically so that it was better than results obtained from multiple linear regression equation for the same data.

Key Words: Indicators, Railway Lines, Transport Density Index, Neural Networks

الشبكات العصبية الاصطناعية (Artificial Neural Networks - ANN):

الشبكات العصبية هي ادوات تحليلية يمكن من خلالها تحليل البيانات بطريقة تحاكي عمل الشبكة العصبية البشرية، للوصول الى النموذج الرياضي الذي يربط بين مجموعة من المتغيرات المصنفة الى متغيرات مستقلة وتابعة، وذلك من خلال احتساب نسب وزنية للمتغيرات المستقلة بحيث تعطي اقل نسبة خطأ ممكنة في تقدير المتغيرات التابعة (**Rzempoluck, 1998**).

شكل رقم (1) مخطط توضيحي لعمل الخلية العصبية (العصبون Neuron) حيث تدخل الايعازات من خلال المشابك العصبية (Synapses) w_1 الى w_{12} ويقوم جسم الخلية بتجميع المدخلات الموزونة التي يؤلف مجموعها ($\sum_i w_i x_j$) وعندما يكون هذا المجموع كبيراً بما فيه الكفاية يولد نبضة تسري خلال محور الخلية (Axon) تسري الى الخلايا التالية. عملية اطلاق النبضة العصبية يمكن وصفها بمرور المجموع الموزون خلال دالة الانتقال غير الخطية ($f(\sum_i w_i x_j)$ المصاحبة لعمل محور الخلية. الخلايا العصبية الحقيقية تتحمل عدد من المدخلات قد يصل الى 10,000 مدخل ويمكنها اخراج اكثر من مُخرج واحد.

آلية عمل الشبكة العصبية:

تتألف الشبكة العصبية بصورة عامة من m من عقد الادخال (X_1 to X_m) ومن n من العقد المخفية (H_1 to H_n) ومن p من عقد الاخراج (Y_1 to Y_p) كما موضح في **شكل رقم (2)**. الاشارة الخارجة المنبثقة من كل عقدة يعبر عنها بـ (قيمة التفعيل Activation Value) لتلك العقدة، فعقدة الادخال X_i تولد قيمة تفعيل يرمز لها x_i، والعقدة المخفية H_j تولد قيمة تفعيل يرمز لها h_j، وعدة الاخراج Y_k تولد قيمة تفعيل يرمز لها y_k. فعلى سبيل المثال فإن قيمة التفعيل لعقدة الادخال X_1 ترسل الى العقدة المخفية H_1 بعد ضربها بالمقدار 0.5 (بحسب المثال المبين في الشكل رقم 2) ويمثل هذا المقدار الوزن الرابط بين العقدتين X_1 و H_1، وهذا يعني ان مُخرج العقدة X_1 يُضرب بالوزن 0.5 قبل ان يتم تقديمه الى العقدة H_1. وقيمة التفعيل للعقدة المخفية H_1 ترسل الى عقدة الاخراج Y_1 بعد ضربها بالمقدار 1.3 (بحسب نفس المثال) والذي يمثل الوزن الرابط بين العقدتين H_1 و Y_1، وهذا يعني ان مُخرج العقدة H_1 يُضرب بالوزن 1.3 قبل ان يتم تقديمه للعقدة Y_1 (**Rzempoluck, 1998**).

تتألف الشبكة العصبية من ثلاث طبقات، تتألف الطبقة الاولى فيه من عقد الادخال التي تستلم المدخلات المتمثلة بقيم المتغيرات المستقلة من نماذج التدريب، بينما تتألف الطبقة الثانية من العقد المخفية التي تتضمن بعد عملية التدريب الخصائص التي قامت الشبكة بتمييزها من نماذج التدريب، اما الطبقة الثالثة فتتألف من عقد الإخراج التي تعطي القيم التقديرية للمخرج المتوقع لكل نموذج تدريب. اوزان الشبكة تتغير تباعاً مع تعلم الشبكة للعلاقة المضمّنة في قيم نماذج التدريب. كل عقدة مخفية تستلم المدخلات من كل عقد الادخال X_i بعد ان توزن كل قيمة مدخلة بقيمة الوزن الخاصة بها w_{ij} ويتم جمع هذه المدخلات الموزونة في العقدة المخفية، وبذلك فإن العقدة المخفية H_j تستلم القيمة المدخلة المساوية الى ($\sum_i w_{ij} x_i$) وتقوم بتوليد القيمة المخرجة المساوية الى ($h_j = f(\sum_i w_{ij} x_i)$) حيث ان:

h_j هي القيمة المخرجة من العقدة H_j

x_i هي الاشارة المولدة من عقدة الادخال X_i

w_{ij} هي الاوزان الرابطة بين عقد الادخال (X_1 to X_m) وبين العقدة المخفية H_j

f هي دالة التفعيل للعقدة H_j

إن وجود العقد المخفية هو الذي يعطي الشبكات العصبية قدرتها على نمذجة اي دالة تربط بين المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة. والخاصية الموجودة في العقد المخفية التي تعطيها هذه القدرة هي دالة التفعيل، وعادة ما تكون هذه الدالة ممثلة بعلاقة غير خطية كما في الدالة اللوجستية (Logistic Function) الآتية:

$$f(x) = 2 / (1 + e^{(-g\,x)}) - 1 \qquad [-1, 1]$$

أو كما في الدالة الاسية (Sigmoid Function) الآتية:

$$f(x) = 1 / (1 + e^{(-g\,x)}) \qquad [0, 1]$$

حيث ان : g هو معامل الكسب (Gain Factor) الذي يحدد مدى السرعة التي تصل فيها الدالة الى قيمتها الغائية (Limiting Value). ويبين الشكل رقم (3) شكل الدالة اللوجستية عندما (g=1).

شكل رقم (3) الدالة اللوجستية f(x) تمثل دالة نموذجية لدوال الانتقال غير الخطي المستعملة في مستوى العقد المخفية في الشبكات العصبية، قيمة الدالة تقترب من (−1) كلما تكبر قيم x في الاتجاه السالب، وتقترب من (+1) كلما تكبر قيم x في الاتجاه الموجب.

يمكن ان يمثل المحور الافقي في هذا الشكل القيم المدخلة الى العقد المخفية، هذه القيم المدخلة تمثل المجموع الوزني للاشارات القادمة من عقد الادخال X_i. اما المحور العمودي في الشكل فيمثل المخرجات المقابلة لتلك المدخلات والتي سيتم اخراجها من العقد المخفية H_j. وبنفس الطريقة ستستلم كل عقدة من عقد الإخراج Y_k الاشارات الخارجة من العقد المخفية بعد ان يتم وزنها بالاوزان الرابطة بين العقد المخفية وعقد الاخراج والتي يبلغ مقدارها ($\sum_j w_{jk} H_j$) وبدورها تقوم عقدة الإخراج بإعطاء القيمة ($y_k = f(\sum_j w_{jk} h_j)$) حيث ان:

y_k هي القيمة المخرجة من العقدة Y_k

h_j هي الاشارة المولدة من عقدة الادخال H_j

w_{jk} هي الاوزان الرابطة بين العقد المخفية (H_1 to H_n) وبين عقدة الإخراج Y_k

f هي دالة التفعيل التي يمكن ان تكون غير خطية مثل الدالة المذكورة اعلاه، او ان تكون دالة خطية بواحدة من الصيغتين الآتيتين:

$$1)\ f(x) = g\,x\ ;\ -1/g \le x \le 1/g \qquad [1]$$

$$2)\ f(x) = -1\ ;\ x < 1/g \qquad [2]$$

$$f(x) = 1\ ;\ x > 1/g$$

حيث ان g هو معامل الكسب المذكور اعلاه.

والذي يحدد كون دالة التفعيل لعقد الإخراج خطية او غير خطية هو نوع التدريب المقدم للشبكة.

وبدمج المعادلتين المبينتين اعلاه لـ (h_j) و (y_k) يمكن تمثيل النموذج الرياضي لشبكة عصبية ذات مستوى واحد من العقد المخفية بالنموذج الآتي:

$$y_k = f(\sum_j w_{jk}\, f(\sum_i w_{ij}\, x_i)) \qquad [3]$$

آلية احتساب الاوزان:

تتلخص آلية عمل الشبكة باسلوب التولد العكسي (Back-Propagation) اثناء عملية التدريب، حيث انها تعطي قيم اولية للاوزان تخصصها للمتغيرات المستقلة الداخلة ومنها تحصل على المخرجات المتمثلة بالطبقة الاولى من العقد المخفية، هذه

المخرجات تصبح بدورها مدخلات لتحصيل الطبقة التالية حتى يتم الوصول الى مستوى المخرجات النهائية وهذا المسار يسمى (Forward Pass)، ثم تبدأ مرحلة الرجوع بحساب الفروقات بين قيم المخرجات المحتسبة وبين قيم المخرجات المستهدفة المعطاة ضمن نماذج التدريب، وتحسب القيمة النسبية لمشتقة الخطأ الجزئية لكل عقدة مقارنة الى الخطأ الكلي، ثم تعديل الاوزان لكل عقدة بموجب هذه النسب إذ كلما كانت القيمة النسبية للخطأ اكبر كان نسبة التعديل في الوزن اكبر، ثم السير رجوعاً من طبقة المخرجات الى طبقة العقد المخفية ثم الى طبقة المدخلات (Back Pass)، وهكذا تستمر عملية السير الامامي والخلفي حتى الوصول الى اقل نسبة خطأ ممكنة **(Tofan, 2009)**.

يوضح **الشكل رقم (4)** شبكة متعددة الطبقات ذات الانتشار الراجع للخطأ، في هذه الشبكة ينتشر التفعيل بالاتجاه الامامي خلال الشبكة من المدخلات الى المخرجات. وبالتوافق مع ذلك تنتشر قيم الاخطاء خلال الشبكة في الاتجاه المعاكس من المخرجات رجوعاً الى المدخلات.

مراحل تشغيل الشبكة العصبية:

يتضمن العمل بالشبكة العصبية ثلاث مراحل (Stages or Phases) **(Tofan, 2009)** **(Rzempoluck, 1998)**:

الاولى: هي مرحلة التعليم أو التدريب (Training or Learning Phase) والهدف منها تعليم الشبكة للوصول الى افضل تقدير للاوزان التي ستستعمل في حسابات الشبكة، وذلك من خلال تزويد الشبكة بعدد كاف من نماذج التدريب المشتملة على المتغيرات المستقلة (الداخلة) والمتغيرات التابعة (المستهدفة).

والثانية: هي مرحلة الاختبار او الفحص (Testing or Validation Phase) وهي مرحلة متصلة بمرحلة التدريب وفيها تظهر مقدرة الشبكة على تقدير قيم للمتغيرات التابعة ومقارنتها مع القيم المستهدفة لمجموعة اخرى من النماذج.

والثالثة: هي مرحلة التطبيق او الاستخدام (Running Phase) وفيها يتم استخدام الشبكة للتنبؤ بقيم المتغيرات التابعة استناداً الى مجموعة من مدخلات المتغيرات المستقلة، مع عدم وجود ما يقابلها من قيم المتغيرات التابعة قبل تشغيل الشبكة. في هذه المرحلة يكون المطلوب من الشبكة تطبيق النموذج الرياضي الذي توصلت اليه من خلال مرحلة التدريب. مستوى جودة التنبؤ في هذه المرحلة يعتمد على عدة عوامل منها:

- عدد نماذج التدريب بالنسبة الى عدد المتغيرات المستقلة.
- عدد نماذج التدريب بالنسبة الى عدد الاوزان في الشبكة.
- عدد العقد المخفية.
- عدد المستويات المخفية.

معايير تقييم كفاءة أداء شبكات السكك الحديد

مما لا شك فيه أن تحقيق الجدوى الاقتصادية والمالية من خلال الاستثمار الفعال لقطاع النقل بالسكك الحديد وإيجاد الصيغ العملية المتطورة الكفيلة بتحسين أداء هذا المرفق الحيوي والهام قد أصبح الهدف الرئيسي للجهات المشرفة على إدارة هذا القطاع.

وهناك عدد من المعايير أو المؤشرات الهامة المستخدمة لتقييم اداء شبكات السكك الحديد لدى شبكات السكك العالمية والاتحاد الدولي للسكك الحديد والبنك الدولي للإنشاء والتعمير، وتمتاز هذه المؤشرات بأنها تغطي كافة جوانب نشاط أي شبكة سكك حديد من حيث قياس فعاليتها في تحقيق أهدافها والاستخدام الأمثل لوسائل الإنتاج والموارد المتاحة بالإضافة إلى قياس كفاءة أداء خدمة القطارات بالقياس إلى المساحة والسكان وبالمقارنة مع الشبكات الأخرى**(كاظم, 2005)**.

مؤشر كثافة النقل لخط السكة (Traffic Density or Traffic Intensity)

يعتبر هذا المؤشر المعيار الأهم في قياس كفاءة الأداء الإنتاجية لأي خط من خطوط سكك الحديد وهو يمثل كثافة حركة النقل بالمركبات السككية لكل كيلومتر من الخطوط أي بعبارة أخرى هو حاصل قسمة إجمالي العدد السنوي من المسافرين وأطنان البضائع المنقول لمسافة (1 كم) على الطول الكلي لخطوط الشبكة ويقاس بـ(وحدة نقل.كم/ كم خطوط) والمعادلة رقم (4) تمثل طريقة احتساب المؤشر (**كاظم, 2005**).

$$\text{مؤشر كثافة النقل لخط السكة} = \frac{\text{اجمالي الوحدات المنقولة لكل مسافة كيلومتر واحد}}{\text{طول الخط أو الشبكة}} \quad [4]$$

إجمالي الوحدات المنقولة لكل مسافة كيلومتر واحد = إجمالي [عدد المسافرين المنقولين لكل كيلومتر واحد (مسافر.كم) + وزن البضائع المنقولة لكل مسافة كيلومتر واحد (طن.كم)].

إن شركات السكك التي تستخدم خطوطها بشكل مكثف هي الشركات التي تحقق أفضل النتائج الاقتصادية للاستثمار السككي الذي تشكل كلفة خطوط السكك الجزء الأعظم منه وبمبالغ ضخمة لا يمكن استردادها إلا بالتشغيل المكثف للخطوط ولفترة طويلة. وهذا لا يتم إلا من خلال التطوير المستمر للخطوط ولأنظمة التشغيل والصيانة والتسوق فضلا عن القرارات الأولية المتعلقة بإنشاء الخطوط وفق دراسات الجدوى الاقتصادية والفنية، حيث تحرص شركات السكك العالمية –بالتركيز خلال مرحلة التصاميم عند تنفيذ المشاريع الجديدة– على إقرار مستوى جودة مرتفع للمواصفات التصميمية لخطوط السكك مع تفضيل أن تكون مزدوجة ومكهربة مما يساعد على جعلها ضمن فئة متقدمة نوعيا وفق الاتحاد الدولي للسكك الحديد والتي تمتاز بارتفاع المستوى النوعي للخدمات المقدمة كالسرعة ودقة المواعيد وانتظام السير وغيرها مما يؤدي بالنتيجة إلى زيادة استيعاب الخط للمزيد من القطارات ومن ثم زيادة كثافة النقل وبعبارة أخرى زيادة إنتاجية الخط(**كاظم, 2005**).

مؤشر الكفاءة الإنتاجية للقاطرة (Locomotive Productivity):

وهو من المؤشرات الأكثر سهولة وملائمة لقياس كفاءة أداء إدارة سككية معينة ويحسب عادة من حاصل قسمة إجمالي العدد السنوي من المسافرين وأطنان البضائع المنقولة لمسافة (1 كم) على عدد القاطرات الموجودة لدى الشركة السككية ويقاس المؤشر بـ(وحدة نقل.كم/ القاطرة) وتوضح المعادلة رقم (5) طريقة احتساب المؤشر(**كاظم, 2005**).

$$\text{مؤشر إنتاجية القاطرة} = \frac{\text{إجمالي الوحدات المنقولة لكل مسافة كم واحد}}{\text{إجمالي عدد القاطرات الموجودة}} \quad [5]$$

وإذا ما علمنا بأن القطارات والمركبات السككية المحركة هي المعدات الأكثر تكلفة التي تمتلكها شركات السكك فأن القدرة على انتاج أكبر عدد ممكن من (وحدات النقل.كم) سنويا للقاطرة الواحدة تعتبر من أهم العوامل المؤثرة في نوع النتائج المالية للشركات السككية. وهذا يتطلب الاستمرار في تطوير أنظمة التشغيل والصيانة وانتظام أعمال الصيانة وتطور الخطوط مما يساعد على تقليل فترة دورة القاطرة وبالتالي يؤدي الى رفع انتاجية القاطرة.

مؤشر الكفاءة الإنتاجية لعربة المسافرين (Coach Productivity):

تركز الكثير من دول العالم –المتقدمة منها والنامية– على تقديم خدمة نقل المسافرين بواسطة السكك الحديدية باعتبارها خدمة ضرورية ولازمة، ومن المطلوب رعايتها من قبل الدولة لأسباب عديدة منها اجتماعية واقتصادية وبيئة وسياحية. وتحرص الكثير من شركات السكك العالمية في مرحلة التصاميم على إقرار درجة جودة معينة للمواصفات التصميمية للخطوط والأنظمة التشغيلية والوحدات والمحركة والمتحركة والذي ينتج عنه ارتفاع مستوى الخدمات المقدمة للمسافرين من حيث السرعة والرفاهية وانتظام المواعيد والأمان والموثوقية وتوفير التكاليف وغير ذلك مما ينعكس إيجابا في زيادة الطلب على النقل. ومن الإجراءات التي تؤدي إلى زيادة إقبال الزبائن على خدمة نقل المسافرين في السكك هي تلك التي تشتمل على التحسين المستمر لعربات المسافرين وتنفيذ مشاريع تطوير البنية التحتية لرفع سرعة القطارات وتطوير المحطات وغير ذلك، وهذه الاجراءات ستؤدي بدورها الى زيادة إنتاجية شبكة السكك من خلال زيادة الكفاءة الإنتاجية لعربة المسافرين والتي هي عبارة عن حاصل قسمة العدد السنوي للمسافرين المنقولين لمسافة (1 كم) على عدد عربات المسافرين الموجودة لدى الشركة ويقاس المؤشر بـ(مسافر.كم/ عربة) وتوضح المعادلة رقم (6) طريقة احتساب هذا المؤشر (**Olievschi, 2009**).

$$\text{مؤشر إنتاجية عربة المسافر} = \frac{\text{إجمالي المسافرين المنقولين لكل مسافة كم واحد}}{\text{إجمالي عدد عربات المسافرين الموجودة}} \quad [6]$$

مؤشر الكفاءة الإنتاجية لشاحنة البضائع (Wagon Productivity):

توظف معظم شركات السكك الحديد رأسمالا في شاحنات البضائع اكبر مما توظفه في قاطرات البضائع ففي الدول النامية يخصص معدل (54) شاحنة بضائع لكل قطار بضائع وهذا يستوجب مبالغة ضخمة. وتعاني الكثير من شركات السكك العالمية من طول دورة الشاحنة لعدة أسباب منها سوء نظام التشغيل حيث تبرز مشاكل سوء الاستخدام والتحميل باتجاه واحد والعودة فارغة بالإضافة إلى الزمن الميت حيث تنظر الشاحنات من أجل المغادرة والتصنيف والتعليق والتفريغ أو الفصل في ساحات الفرز والبضائع. وبالتالي كلما طالت المدة كلما طالت دورة الشاحنة مما يؤثر سلبا في الإنتاجية. ويتطلب هذا الأمر تحسين أنظمة الصيانة والتشغيل وخصوصا في ساحت الفرز باستخدام أنظمة المحاكاة بالحاسوب حيث ثبت من تجارب الكثير من الشركات السككية انخفاض الفترة التي تستغرقها الشاحنات في ساحات الفرز إلى النصف عند استخدام هذه الأنظمة مما أدى الى تحسين كفاءة إنتاجية الشاحنة بشكل كبير. وتمثل انتاجية الشاحنة حاصل قسمة العدد السنوي لأطنان البضائع المنقولة لمسافة (1 كم) مقسومة على عدد الشاحنات الموجودة لدى الشركة، ويقاس هذا المؤشر بـ(طن.كم/ شاحنة). ولذلك تركز الكثير من شركات السكك في دراسات الجدوى الاقتصادية على توفر مصادر لتحقيق الطلب على نقل البضائع ضمن وحول مسار مشروع خط السكك الحديد كوجود المصانع والمرافئ البحرية والجوية والتجمعات التجارية والحقول الزراعية والمناجم ونحوها، بالإضافة إلى التنسيق مع أنماط النقل الأخرى لغرض العمل بمبدأ النقل المتعدد الأنماط. وتوضح المعادلة رقم (7) طريقة احتساب هذا المؤشر (**كاظم, 2005**) (**Olievschi, 2009**).

$$\text{مؤشر إنتاجية شاحنة البضائع} = \frac{\text{إجمالي وزن البضائع المنقولة لكل مسافة (1كم)}}{\text{إجمالي عدد شاحنات البضائع الموجودة}} \quad [7]$$

مؤشر الكفاءة الإنتاجية للمنتسب (Employee Productivity):

تسعى مختلف الوحدات الاقتصادية سواء كانت تنتج سلع أم خدمات إلى زيادة معدلات أدائها من خلال رفع مستويات إنتاجية عناصر الإنتاج فيها، وبالنظر لأهمية العنصر البشري في تلك الوحدات فإنها تحرص على قياس إنتاجية العاملين فيها لسببين أساسين:

- تأثير إنتاجية العنصر البشري على إنتاجية بقية عناصر الإنتاج (كالمكائن والمعدات ورأس المال).
- ارتفاع كلفة هذا العنصر في العملية الإنتاجية (تكاليف الأجور والرواتب والسكن والضمان الإجتماعي وغيرها).

والمقصود بإنتاجية المنتسبين أو العاملين هو (معدل الإنتاج المتحقق للمنتسب الواحد خلال مدة زمنية معينة) وبالنظر لتعدد الخدمات التي تقدمها شركات ومنشأة السكك (نقل البضائع، نقل المسافرين) فهنالك اختلاف في المعايير التي تقيس إنتاجية كل من هذه الخدمات. ومن المؤشرات المستخدمة في هذا المجال:

- مؤشر إنتاجية المنتسب بدلالة معدل إجمالي وحدات النقل المنقولة لمسافة (1 كم) لكل منتسب.
- مؤشر إنتاجية المنتسب بدلالة معدل كيلومترات طول خط سكة الحديد لكل منتسب.
- مؤشر إنتاجية المنتسب بدلالة معدل كيلومترات سير القطارات لكل منتسب.
- مؤشر إنتاجية المنتسب بدلالة معدل الإيرادات المتحققة للشركة لكل منتسب.
- مؤشر إنتاجية المنتسب بدلالة معدل عدد المسافرين لكل منتسب.
- مؤشر إنتاجية المنتسب بدلالة معدل الكيلومترات السفرية لكل منتسب.
- مؤشر إنتاجية المنتسب بدلالة عدد الأطنان لكل منتسب.
- مؤشر إنتاجية المنتسب بدلالة معدل الكيلومترات الطنية لكل منتسب.

إن المؤشرات السائدة والمستخدمة عالميا لقياس إنتاجية المنتسبين هما المؤشران الأول والرابع وذلك لشموليتها لكل أوجه النشاط الذي تقوم به الشركة السككية بالإضافة إلى إن المؤشر الرابع (إنتاجية المنتسب من الإيرادات) يعكس مشكلة متزايدة عالميا بسبب إرتفاع كلفة المنتسبين (الأجور والرواتب والضمان الاجتماعي والسكن وغيرها) حيث تبلغ هذه الكلفة في كل من بلجيكا وفرنسا والسعودية على التوالي 55%، 34%، 35% من التكاليف الكلية، وإن المعدل العالمي هو (42%) مما يؤدي الى عجز إيرادات بعض الشركات عن سداد كلف المنتسبين ولذلك فأن الكثير من شركات السكك العالمية تتلقى مساعدات حكومية متزايدة فهي تبلغ في نفس الدول المذكورة أعلاه لعام 1998 على سبيل المثال 12%، 16%، 29%، على التوالي من الإيرادات الكلية. وتوضح المعادلتين (8) و(9) طريقة احتساب هذين المؤشرين(**كاظم, 2005**) (**Olievschi, 2009**).

$$\text{مؤشر انتاجية المنتسب} = \frac{\text{إجمالي الوحدات المنقولة لمسافة كم واحد}}{\text{إجمالي عدد المنتسبين}} \quad [8]$$

$$\text{مؤشر انتاجية اجر المنتسب} = \frac{\text{إجمالي إيرادات نقل البضائع والمسافرين}}{\text{إجمالي أجور المنتسبين}} \quad [9]$$

وسنختار المؤشر الاول فقط في هذه الدراسة لعدم توفر بيانات كافية حول انتاجية اجر المنتسب ضمن البيانات التي تم الحصول عليها.

المؤشرات المذكورة أعلاه هي التي ستكون محور هذه الدراسة، وهناك عدد آخر من مؤشرات قياس اداء السكك الحديد لم يتم تناولها في هذا البحث بسبب عدم توفر بيانات كافية لقيم هذه المؤشرات في خطوط سكك الحديد التي شملتها الدراسة، ومن المفيد الاشارة اليها، منها:

1. مؤشر جاهزية القاطرات.
2. مؤشر معدل طول المسافة لرحلة المسافر.
3. مؤشر معدل مسافة نقل (1 طن) من البضائع للرحلة الواحدة.
4. مؤشر نسبة معدل تعريفة نقل المسافرين إلى معدل تعريفة نقل البضائع.
5. مؤشر الكفاءة النوعية.

البيانات المستعملة في هذه الدراسة:

تم الحصول على البيانات المستعملة في هذه الدراسة من ملفات متاحة على موقع الانترنيت المعنون (WORLD BANK'S RAILWAY DATABASE) والذي يتضمن قواعد بيانات السكك الحديد العالمية (Railway Data-Base RDB) حيث تمكن الباحث من الحصول على قاعدتي بيانات للعامين 2001 و 2007.

في البداية تم اختيار قاعدة بيانات 2007 وتم تصفية الخلايا الفارغة فيها فتبين ان حجم البيانات المتبقية لا يفي بمتطلبات الدراسة. ولمعالجة هذه الحالة تم دمج بيانات قاعدة عام 2001 مع بيانات قاعدة عام 2007 ثم ازالة البيانات المكررة من القاعدة الناتجة فتم الحصول على 200 نموذج تضمنت العديد من الخلايا الفارغة لبعض المتغيرات، وقام الباحث باملاء بعض الخلايا الفارغة الخاصة بالمتغير التابع موضوع الدراسة (معيار كثافة النقل) من خلال احتسابها مستعيناً بالبيانات الاولية الموجودة ضمن قاعدتي البيانات وباستعمال القوانين المبينة أعلاه. وبذلك تم ملء العديد من الخلايا الفارغة بحيث اصبح الحجم النهائي للبيانات كافياً لاجراء الاختبار البحثي، وتم في النهاية الحصول على 129 نموذجاً، تضمنت بعضها قيماً شاذة بشكل واضح تقع على مسافة اكثر من 3 انحرافات معيارية عن الوسط الحسابي لباقي القيم، فتم استبعادها لينتهي حجم البيانات الى 108 سجل بيانات لـ 77 دولة وللفترة الزمنية المحصورة بين 1990 الى 2005. قواعد البيانات المذكورة تم تطويرها من قبل (Water and Urban Development Department) بدءاً من عام 1987 بهدف توفير البيانات الكافية للمدراء للاستفادة منها في مجال تطوير النقل بالسكك الحديد (**Thompson and Fraser, 1993**).

احتساب مؤشر كثافة النقل من بعض مؤشرات الانتاجية لخطوط سكك الحديد:

بعد ان تم بيان مقدمة عن الشبكات العصبية الاصطناعية وعن اهم مؤشرات الانتاجية والاداء لخطوط سكك الحديد، وبعد ان تم بيان مصادر المعلومات لهذه المؤشرات، تتلخص العمليات الحسابية في هذه الدراسة بالخطوات الآتية:

1) تدريب واختبار واستعلام الشبكات العصبية باسلوب التولد العكسي (Back-Propagation Network) لتحديد اوزان مؤشرات الانتاجية الاربع (انتاجية المنتسبين– انتاجية عربات المسافرين– انتاجية شاحنات النقل– انتاجية القاطرات) في سبيل تقدير كثافة النقل لخطوط سكك الحديد من هذه المؤشرات، وذلك عن طريق اعتبار المؤشرات الاربع كعقد ادخال في الشبكة العصبية ومؤشر كثافة النقل كعقدة اخراج من تلك الشبكة.

2) استخدام نفس البيانات التي تم تدريب الشبكة العصبية بها في الخطوة السابقة لاستنباط معادلة خطية من خلال تقنية الانحدار الخطي المتعدد، تربط بين المؤشرات الاربع كمتغيرات مستقلة وبين كثافة النقل كمتغير تابع.
3) مقارنة نواتج (50) سجل من سجلات البيانات المستخدمة في عمليتي الاختبار والاستعلام في الشبكة العصبية مع القيم المتوفرة في قاعدة البيانات الاساسية المستخدمة في هذه الدراسة، وذلك باستخدام اسلوب اختبارات المعنوية للفرق بين وسطي عينتين من نفس المجتمع الاحصائي باسلوب المشاهدات المزدوجة. ثم اجراء نفس الاختبار للمقارنة بين نتائج معادلة الانحدار الخطي المتعدد وبين القيم المتوفرة في قاعدة البيانات الاساسية.
4) مقارنة نتائج الاختبارين الاحصائيين لمعرفة مدى كفاءة الشبكات العصبية في تقدير قيم المتغير التابع بالمقارنة مع اسلوب الانحدار الخطي المتعدد.
5) اجراء تحليل حساسية كثافة النقل للمؤشرات الاربع التي تمثل متغيرات الادخال، واستنتاج النموذج الرياضي للشبكة العصبية الاصطناعية.

الخطوة الاولى: حساب كثافة النقل باستخدام الشبكة العصبية الاصطناعية

تتضمن هذه الخطوة تكوين الشبكة العصبية الاصطناعية واحتساب كثافة النقل من مؤشرات الانتاجية الاربع باستخدام هذه الشبكة. ولتحقيق هذه الغاية تم استخدام برنامجين من برامج الشبكات العصبية، هما برنامج (Simulnet 3.08) وبرنامج (Neuframe 4).

البرنامج الاول (Simulnet) (اصدار سنة 1997) قديم نسبياً ويعطي نتائج متباينة بشكل كبير بين محاولة واخرى لنفس البيانات وقد تم الحصول على خصائص الشبكة العصبية باستخدام هذا البرنامج مع واحدة من افضل مخرجاتها التي تم الحصول عليها بعد محاولات عديدة للبرنامج وباستخدام مختلف الخيارات المتاحة فيه. وقد حدد البرنامج عدد العقد المخفية بعقدة واحدة في طبقة مخفية واحدة، ولم تتحسن النتائج عند قيام الباحث بزيادة عدد العقد المخفية.

وبالنظر لعدم استقرار نتائج برنامج (Simulnet) فقد تم اعتماد البرنامج الثاني (Neuframe 4) (اصدار سنة 2000) لكونه اكثر استقراراً ويعطي نتائج متقاربة جداً في التشغيلات المختلفة لنفس الشبكة. يبين **الجدول رقم (1)** خلاصة نتائج الشبكة باستخدام هذا البرنامج. وعند استعلام الشبكة العصبية عن نتائج العينات الخمسين الاولى من عينات الاختبار كانت النتائج كما هي مبينة في **الجدول رقم (2)**.

الخطوة الثانية: حساب كثافة النقل باستخدام الانحدار الخطي المتعدد

تتضمن هذه الخطوة تطبيق الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Linear Regression) على بيانات التدريب المدخلة الى الشبكة العصبية لاستنباط معادلة خطية، وذلك باستخدام دالة (Linest) المضمنة في برنامج (MS Excel) فكانت المعادلة رقم(10) الناتجة هي:

$$\text{شدة النقل (Traffic Density)} = m_1 X_1 + m_2 X_2 + m_3 X_3 + m_4 X_4 \quad [10]$$

حيث أن:

X_1, X_2, X_3, X_4 : هي مؤشرات انتاجية المنتسب، انتاجية عربة المسافرين، انتاجية شاحنة البضائع، وانتاجية القاطرة على التوالي.

m_1, m_2, m_3, m_4 : هي ثوابت المعادلة الخطية الناتجة من حساب الانحدار الخطي المتعدد.

ويبين **الجدول رقم (3)** قيم ثوابت المعادلة وقيمة معامل الحساب (Coefficient of Determination (r^2)) للمعادلة الناتجة من عملية الانحدار الخطي المتعدد لمدخلات التدريب. ويلاحظ في هذا الجدول ان قيمة معامل الحساب تقترب من (1.0) فهي تشير بذلك الى تقارب جيد بين البيانات الاصلية وبين نتائج معادلة الانحدار الخطي. وعند استخراج معادلة الانحدار تم

اعتبار الحد المطلق في المعادلة (b) صفراً وذلك لأن اعتباره قيمة غير صفرية يؤدي الى خفض قيمة معامل الايجاد، ومن المنطقي ان لا تكون هناك كثافة للنقل عندما تكون مؤشرات الانتاجية الاربع كلها اصفاراً.

الخطوة الثالثة: مقارنة مخرجات طريقتي احتساب كثافة النقل

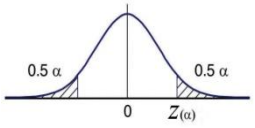
تتضمن هذه الخطوة مقارنة مخرجات الشبكة العصبية ومخرجات معادلة الانحدار الخطي المتعدد مع البيانات الاصلية كل على حدة باستخدام تقنية اختبارات المعنوية للفرق بين وسطين حسابيين لعينتين من نفس المجتمع (المشاهدات المزدوجة)، وتتلخص خطوات كل من هاتين المقارنتين بما يأتي:

- فرضية العدم والفرضية البديلة: $H_o: f_d = 0$; $H_1: f_d \neq 0$
- مستوى معنوية الخطأ (α): $\alpha = 0.05$
- مؤشر الاختبار (Test Statistic (z)) يحسب باستخدام المعادلة رقم (11):

$$z = \frac{\bar{x}}{S/\sqrt{n}} \qquad [11]$$

$$n = 50$$

فينتج ان مقدار مؤشر الاختبار للمقارنتين هو : $z_2 = 4.5476$; $z_1 = 1.7713$



- القيمة الجدولية لـ ($z_{\alpha=0.05}$) = 1.96
- ينتج من المقارنتين ان: $z_1 < z_{\alpha=0.05}$; $z_2 > z_{\alpha=0.05}$

ويبين **الجدول رقم (4)** نتائج المقارنتين الاحصائيتين وحسابات الفروق بين المشاهدات المزدوجة.

الخطوة الرابعة: مناقشة نتائج المقارنة

تبين من النتائج المبينة في **الجدول رقم (4)** ان الفرق بين الوسطين الحسابيين لكثافة النقل حسب البيانات الاصلية وكثافة النقل بحسب مخرجات استعلام الشبكة العصبية الاصطناعية هو فرق غير معنوي ضمن مستوى معنوية (0.05)، بخلاف الفرق بين الوسطين الحسابيين لكثافة النقل حسب البيانات الاصلية وكثافة النقل بحسب مخرجات معادلة الانحدار الخطي المتعدد، فعلى الرغم من ان مستوى الانحدار كان جيداً بحسب قيمة معامل الايجاد (r^2) الا ان الفرق بين الوسطين الحسابيين بينهما يمثل فرقاً معنوياً، مما يشير الى ان تقدير كثافة النقل لخطوط سكك الحديد باستخدام مؤشرات الانتاجية الاربع يكون باستخدام الشبكات العصبية افضل منه باستخدام الانحدار الخطي المتعدد.

الخطوة الخامسة: اجراء تحليل الحساسية واستنتاج النموذج الرياضي للشبكة

أ) تحليل الحساسية:

لبيان مدى حساسية كثافة النقل لكل متغير من المتغيرات الداخلة سيتم فيما يأتي اجراء تحليل الحساسية بحسب الطريقة الآتية والمبينة في المصدر **(Tofan, 2009)**:

1) لكل عقدة مخفية (j) نحسب ناتج الضرب (P_{ij}) حيث ان (i) تمثل رقم عقدة الادخال و (j) تمثل رقم العقدة المخفية، وذلك بضرب القيمة المطلقة للوزن الرابط بين عقدة الادخال والعقدة المخفية × القيمة المطلقة للوزن الرابط بين نفس العقدة المخفية وعقدة الاخراج.
2) لكل عقدة مخفية (j) نقسم قيم (P_{ij}) لكل عقدة ادخال على مجموع قيم (P_{ij}) لتلك العقدة المخفية والذي يساوي ($\sum P_{ij}$) لتحصيل القيمة (Q_{ij}).

3) لكل عقدة ادخال (i) نجمع قيم (Q_{ij}) الخاصة بها لكل قيم (j) لنحصل على (S_i)، ثم نجمع قيم (S_i) لتحصيل القيمة ($\sum S_i$).

4) نقسم كل قيمة من قيم (S_i) على المجموع ($\sum S_i$) لتحصيل نسبة تأثير كل متغير ادخال على القيمة المخرجة من الشبكة.

ويبين **الجدول رقم (5)** نتائج هذا التحليل.

يلاحظ هنا عند مقارنة تحليل الحساسية الناتج مع تحليل الحساسية الناتج ضمن مخرجات برنامج (Simulnet) ان انتاجية القاطرة هي العامل الاكثر تأثيراً على كثافة النقل وبفرق واضح عن بقية العوامل في كلا التحليلين، ويختلف التحليلان في مدى حساسية كثافة النقل لتغير العوامل الثلاث الاخرى.

ب) استنتاج النموذج الرياضي للشبكة العصبية:

يمكن تمثيل حسابات الشبكة العصبية بالنموذج الرياضي المشتمل على المعادلات الآتية (انظر **الجدول رقم 6** لترتيب قيم الاوزان):

$$\text{Input Scaling of } (x_i) = (x_i - x_{min}) / (x_{max} - x_{min}) \quad [12]$$

$$\text{Hidden Layer Model : } h_j = \Phi(\sum_i w_{ij}\, x_i) \quad [13]$$

$$\text{Output Layer Model : } y_k = \Phi(\sum_j w_{jk}\, h_j) = \Phi(\sum_j w_{jk}\, \Phi(\sum_i w_{ij}\, x_i)) \quad [14]$$

$$\text{where the sigmoid function is : } \Phi(t) = 1 / (1 + e^{(-g\,t)})$$

المعادلة رقم (12) تحول قيم المدخلات الى قيم مناسبة لحسابات الشبكة عن طريق تحويلها الى قيم نسبية، وبعد انتهاء الحسابات يُعاد تحويل قيم المخرجات بعملية معكوسة لاستحصال القيم الرقمية الصحيحة للمخرجات، وبذلك يكون عمل هذه المعادلة هو نفس عمل وحدة التحويل (Encoder) في برنامج (Neuframe).

مجاميع حاصل ضرب الاوزان × متغيرات الادخال يتم تعويضها في دالة التفعيل الأسية، حيث ان:

$$T_j = \sum_i w_{ij}\, x_i \qquad \text{(Summation includes } w_{oj})$$

$$t_k = \sum_j w_{jk}\, h_j = \sum_j w_{jk}\, \Phi(t_j) \qquad \text{(Summation includes } w_{ok})$$

ومع افتراض ان قيمة (g) تساوي 1.0، وبالاستناد الى **جدول رقم (6)**:

$$t_{j=1} = -0.180214505 + 0.686261652 x_1 + 0.046266174\, x_2 - 0.526911164\, x_3 + 1.463035512\, x_4$$

$$t_{j=2} = 0.635897702 - 1.360412268\, x_1 - 0.245728395\, x_2 - 0.908420545\, x_3 - 2.04127738\, x_4$$

$$t_{j=3} = 0.379851428 + 0.105046876 x_1 - 0.072760153\, x_2 - 0.160273296\, x_3 - 1.948132277\, x_4$$

ينتج من ذلك:

$$h_1 = \Phi(t_{j=1}) = 1 / (1 + e^{(-t\,j1)})$$

$$h_2 = \Phi(t_{j=2}) = 1 / (1 + e^{(-t\,j2)})$$

$$h_3 = \Phi(t_{j=2}) = 1 / (1 + e^{(-t\,j3)})$$

ثم:

$$t_{k=1} = -0.069630097 + 2.273622393\, h_1 - 3.029695331\, h_2 - 2.257864264\, h_3$$

ومنه تحسب قيم مخرجات الشبكة:

$$y_1 = \Phi(t_{k=1}) = 1 / (1 + e^{(-t\,k1)})$$

ويبين **الجدول رقم (6)** قطعة برنامج حاسوبي بلغة (C^+) تم استخراجه باستخدام برنامج (Neuframe) من الشبكة العصبية الناتجة من هذه الدراسة.

المناقشة والاستنتاجات:

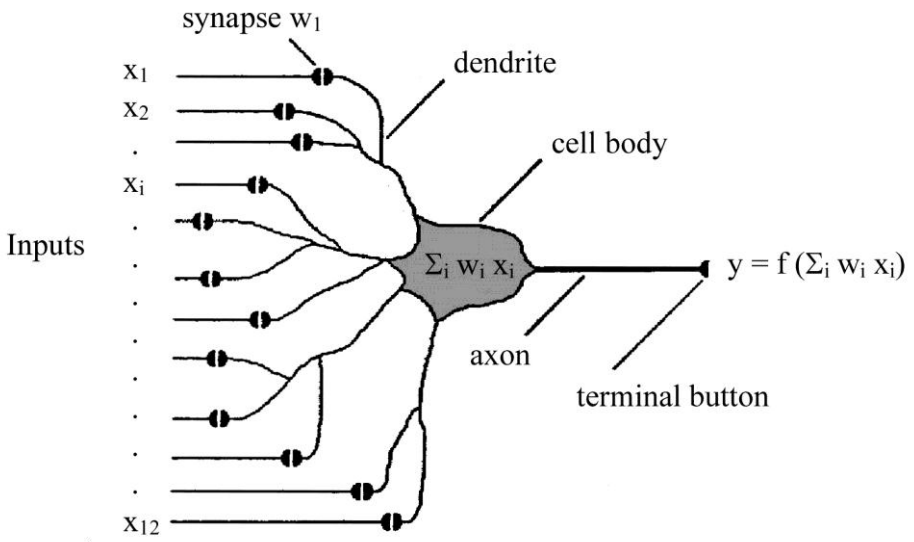
بينت الدراسة بان انتاجية القاطرة هي العامل الاكثر تأثيراً على كثافة النقل وبفرق واضح عن بقية العوامل في كلا التحليلين، ويختلف التحليلان في مدى حساسية كثافة النقل لتغير العوامل الثلاث الاخرى.

تبين من النتائج المبينة في الجدول رقم (4) ان الفرق بين الوسطين الحسابيين لكثافة النقل حسب البيانات الاصلية وكثافة النقل بحسب مخرجات استعلام الشبكة العصبية الاصطناعية هو فرق غير معنوي ضمن مستوى معنوية (0.05)، بخلاف الفرق بين الوسطين الحسابيين لكثافة النقل حسب البيانات الاصلية وكثافة النقل بحسب مخرجات معادلة الانحدار الخطي المتعدد، فعلى الرغم من ان مستوى الانحدار كان جيداً بحسب قيمة معامل الايجاد (r^2) الا ان الفرق بين الوسطين الحسابيين بينهما يمثل فرقاً معنوياً، مما يشير الى ان تقدير كثافة النقل لخطوط سكك الحديد باستخدام مؤشرات الانتاجية الاربع يكون باستخدام الشبكات العصبية افضل منه باستخدام الانحدار الخطي المتعدد.

بينت الدرسة ايضا أن الشبكات العصبية قادرة على نمذجة العلاقات المعقدة بين ظروف العمل والإنتاجية من عملية وتحقيق دقة مقبولة في التقدير.

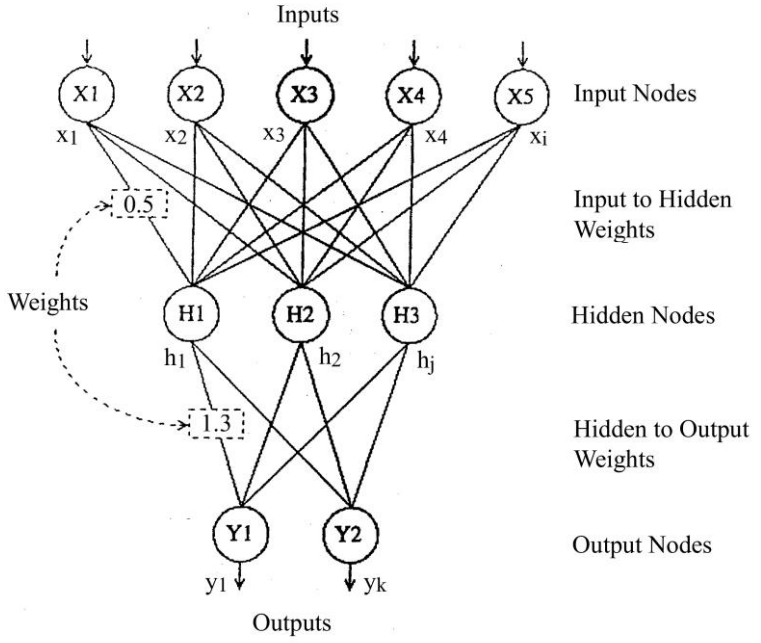
مصادر الدراسة:

- Olievschi, V. N., 2009, *South East European Railways Reform-The World Bank Involvement*, The World Bank, Brussels (A study available as a pdf file from Internet).
- Rzempoluck, E. J., 1998, *Neural Network Data Analysis Using Simulent*, Springer-Verlag New York Inc.
- Thompson, L. S. and Fraser, J. M., 1993, *World Bank's Railway Database*, Transportation, Water and Urban Development, The World Bank, http://siteresources.worldbank.org/INTTRANSPORT/Resources/336291-1119275973157/td-rw6.pdf.
- Tofan, A. S., 2009, *Neural Networks for Estimating the Ceramic Productivity of Walls and Floors*, M.Sc. Thesis submitted to the College of Engineering – Baghdad University.
- The World Bank, 2007, *World Bank's Railway Data Base*, from internet, siteresources.**worldbank**.org/EXT**RAILWAYS**/.../**railways_database**_2007.xls.
-
- كاظم، علي جبار، 2005، *نظام تقويم كفاءة الاداء ومتابعة اعمال السكك الحديد العراقية*، اطروحة دكتوراه– ادارة مشاريع، الجامعة التكنولوجية.

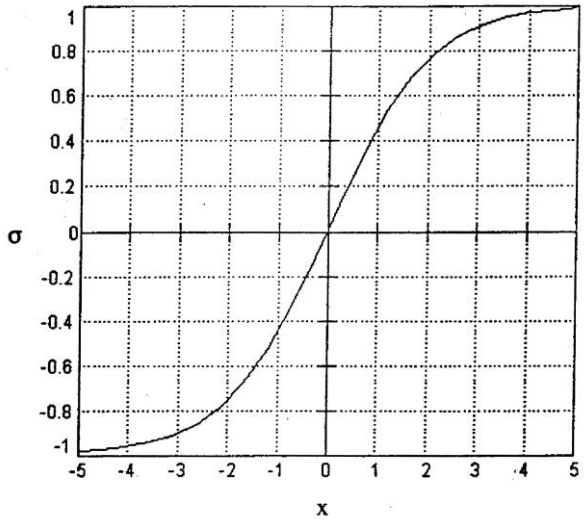


شكل رقم 1

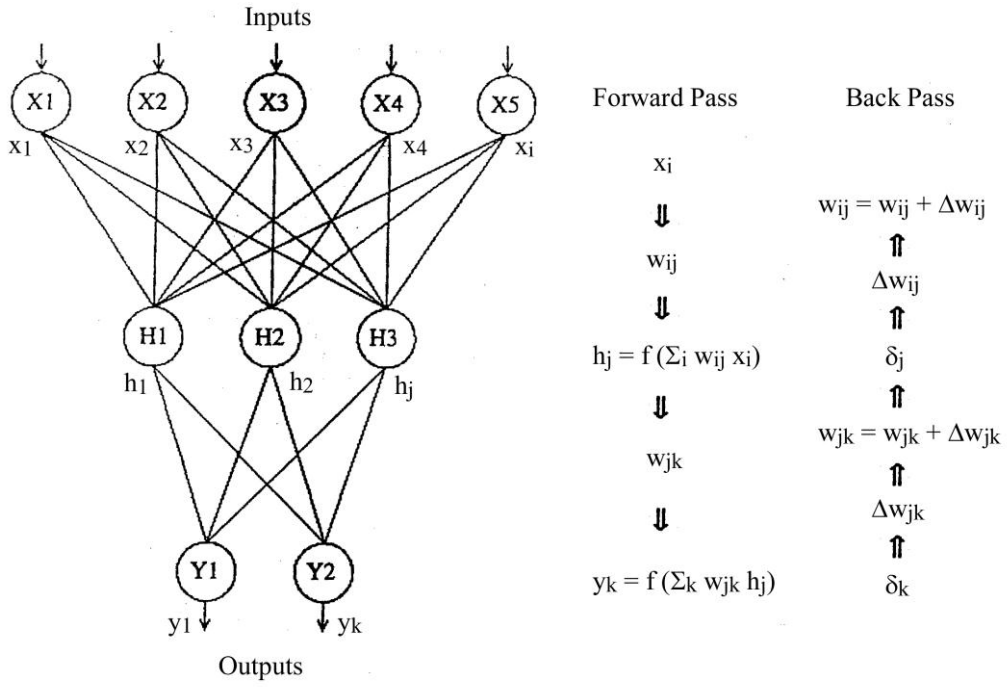
مخطط عمل الخلية العصبية.



شكل رقم 2. طبقات الشبكة العصبية.



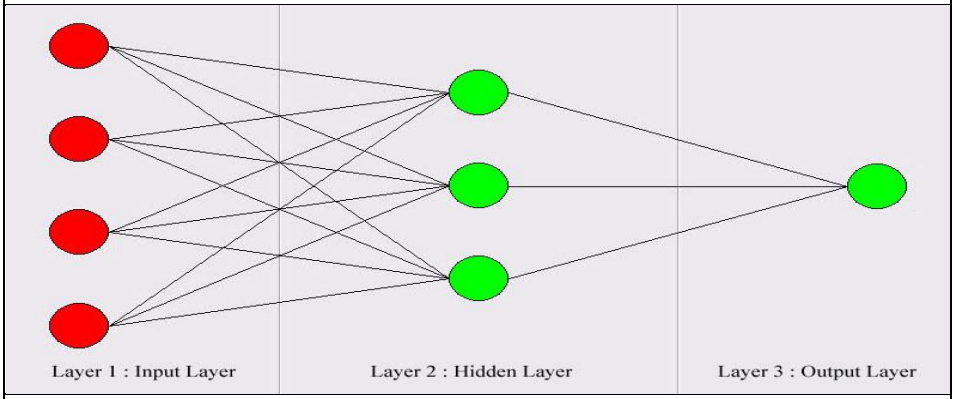
شكل رقم 3. شكل الدالة اللوجستية.



شكل رقم 4. الشبكة متعددة الطبقات ذات الانتشار الراجع للخطأ.

جدول 1. خلاصة نتائج الشبكة العصبية الناتجة من استخدام برنامج (Neuframe 4).

Back Propagation Network
The network has 3 layers.
Layer 1 has 4 Linear nodes.
Layer 2 has 3 Sigmoid nodes.
Layer 3 has 1 Sigmoid nodes.



Training Error = 0.101831
Test Error = 0.105764

Weights:

Layer 2		
Node 1	Bias is	-0.180214505
Node 1	Weight from 1 is	0.686261652
Node 1	Weight from 2 is	0.046266174
Node 1	Weight from 3 is	-0.526911164
Node 1	Weight from 4 is	1.463035512
Node 2	Bias is	0.635897702
Node 2	Weight from 1 is	-1.360412268
Node 2	Weight from 2 is	-0.245728395
Node 2	Weight from 3 is	-0.908420545
Node 2	Weight from 4 is	-2.04127738
Node 3	Bias is	0.379851428
Node 3	Weight from 1 is	0.105046876
Node 3	Weight from 2 is	-0.072760153
Node 3	Weight from 3 is	-0.160273296
Node 3	Weight from 4 is	-1.948132277
Layer 3		
Node 1	Bias is	-0.069630097
Node 1	Weight from 1 is	2.273622393
Node 1	Weight from 2 is	-3.029695331
Node 1	Weight from 3 is	-2.257864264

جدول 2. نتائج استعلام الشبكة العصبية الاصطناعية عن قيم مؤشر كثافة النقل.

Input				Traffic Density (Data-Base Value) (Test Target)	Network Query Output
Employee Prod.	Coach Prod.	Wagon Prod.	Locomotive Prod.		
610.39	9634.74	443.29	41109.55	3973.7	4456.35
2209.93	7128.52	963.67	49960.4	4245.69	5666.38
378.91	1981.09	327.21	22170.21	1085.98	2232.91
1729.38	4408.72	1795.31	37391.89	3077.86	4725.12
547.46	3057.99	318.32	18925.38	3881.3	2045.56
668.77	3945.62	455.02	20101.61	4084.75	2309.16
99.09	1259.26	173.4	7156.57	517.15	743.7
260.86	1263.16	298.41	12013.16	693.24	1214.34
126.07	787.89	156.18	6137.63	757.33	674.3
215.17	666.67	347.54	10400	892.7	1066.56
471.8	4686.51	317.78	23590	1415.12	2507.95
322	4533.33	556.89	21000	658.04	2243.4
609.54	4392.52	694.09	31097.08	3485.58	3466.72
957.63	7902.12	1037.15	44753.77	4670.16	4963.98
581.33	429.2	664.78	22602	474.43	2477.89
688.45	5162.1	1065.45	57860.84	6367.17	5648.37
847.2	1313.95	461.73	10925.77	996.81	1484.66
336.95	13150.84	229.83	49408.78	3754.33	5014.57
272.6	1461.68	308.31	10918.29	369.64	1140.98
112.02	4258.62	4.38	10232.33	505.36	980.65
400.23	2308.04	577.55	18954.06	3566.77	2035.07
486.92	1908.57	604.52	16855.52	3187.57	1885.05
520.64	2622.05	542.99	19932.62	2313.54	2197.64
678.37	2421.58	744.09	37883.12	2054.95	4107.14
268.1	1178.77	122.88	8279.8	2484.25	877.97
990.63	6775.86	578.64	28303.57	1553.92	3442.59
339.33	1045.45	491.39	17551.72	561.81	1800.61
853.28	5301.37	715.26	29677.52	4119.2	3498.88
3404.85	225.18	1164.64	41841.27	5468.07	5441.53
857.01	3928.12	620.01	28796.69	2103.07	3347.93
1708.53	3794.3	672.12	36502.24	2253.04	4503.3
189.11	2842.61	43.49	25572.76	2270.97	2368.73
68.31	227.27	164.7	7008.7	147.13	698.31
1219.78	4053.44	1289.4	33733.49	2188.21	4162.22
1423.71	12495.59	1799.73	35258.91	1904.63	4595.74
865	3171	796	13535.35	7440	1891.15
173.21	2783.78	550.65	17744.44	586.81	1792.54
225.7	3435.16	293.86	12679.78	606.72	1302.98
311.02	4050	349.04	17313.33	698.12	1793.84
548.54	6517.79	359.54	37202.76	3170.38	3974.01
555.68	2876.29	529.59	19459.77	1521.22	2174.84

336.84	4312.98	478.53	19354.75	1656.65	2057.17
455.42	4452.7	563.78	26580.04	1622.86	2882.85
383.6	5630.97	865.02	18591.6	2476.29	2185.54
191.48	2871.89	124.6	7313.75	126.95	813.17
671.82	377.3	185.04	15604.59	114.32	1681.41
116.57	3201.51	288.99	10251.99	1364.76	1048.28
169.37	4267.79	588.54	23320.87	2802.7	2384.02
447.06	3670.14	228.71	15567.88	3765.57	1656.99
59.63	613.72	77.09	4062.37	521.56	499.64

جدول 3. نتائج احتساب معادلة الانحدار الخطي المتعدد.

m_1	2.033614876
m_2	-0.002930185
m_3	-0.251881432
m_4	0.096333869
r^2	0.841594808

جدول 4. نتائج المقارنة الاحصائية باستخدام اختبار معنوية الفرق بين الاوساط الحسابية من نفس المجتمع من خلال المشاهدات المزدوجة.

Traffic Density	Network Query Output	Regression Output	Network Query Output – Traffic Density	Regression Output – Traffic Density
3973.7	4456.35	5061.65	482.65	1087.95
4245.69	5666.38	9043.41	1420.69	4797.72
1085.98	2232.91	2818.08	1146.93	1732.1
3077.86	4725.12	6653.87	1647.26	3576.01
3881.3	2045.56	2847.34	-1835.74	-1033.96
4084.75	2309.16	3170.31	-1775.59	-914.44
517.15	743.7	843.56	226.55	326.41
693.24	1214.34	1608.9	521.1	915.66
757.33	674.3	805.99	-83.03	48.66
892.7	1066.56	1349.95	173.86	457.25
1415.12	2507.95	3138.2	1092.83	1723.08
658.04	2243.4	2524.28	1585.36	1866.24
3485.58	3466.72	4047.57	-18.86	561.99
4670.16	4963.98	5974.36	293.82	1304.2
474.43	2477.89	3190.84	2003.46	2716.41
6367.17	5648.37	6690.51	-718.8	323.34
996.81	1484.66	2655.25	487.85	1658.44
3754.33	5014.57	5348.54	1260.24	1594.21
369.64	1140.98	1524.22	771.34	1154.58
505.36	980.65	1199.94	475.29	694.58
3566.77	2035.07	2487.59	-1531.7	-1079.18
3187.57	1885.05	2456.11	-1302.52	-731.46
2313.54	2197.64	2834.52	-115.9	520.98
2054.95	4107.14	4834.45	2052.19	2779.5

2484.25	877.97	1308.43	-1606.28	-1175.82
1553.92	3442.59	4575.55	1888.67	3021.63
561.81	1800.61	2254.06	1238.8	1692.25
4119.2	3498.88	4398.5	-620.32	279.3
5468.07	5441.53	10660.87	-26.54	5192.8
2103.07	3347.93	4349.25	1244.86	2246.18
2253.04	4503.3	6810.48	2250.26	4557.44
2270.97	2368.73	2828.82	97.76	557.85
147.13	698.31	771.94	551.18	624.81
2188.21	4162.22	5393.59	1974.01	3205.38
1904.63	4595.74	5801.97	2691.11	3897.34
7440	1891.15	2853.2	-5548.85	-4586.8
586.81	1792.54	1914.78	1205.73	1327.97
606.72	1302.98	1596.4	696.26	989.68
698.12	1793.84	2200.57	1095.72	1502.45
3170.38	3974.01	4589.75	803.63	1419.37
1521.22	2174.84	2862.85	653.62	1341.63
1656.65	2057.17	2416.35	400.52	759.7
1622.86	2882.85	3331.65	1259.99	1708.79
2476.29	2185.54	2336.71	-290.75	-139.58
126.95	813.17	1054.16	686.22	927.21
114.32	1681.41	2821.76	1567.09	2707.44
1364.76	1048.28	1142.5	-316.48	-222.26
2802.7	2384.02	2430.28	-418.68	-372.42
3765.57	1656.99	2340.5	-2108.58	-1425.07
521.56	499.64	491.39	-21.92	-30.17
		Mean	352.1262	1121.7474
		Std. Deviation	1405.66453	1744.217182
		z (Test Statistic)	1.771338883	4.547571264
		Decision	$z_1 < 1.96 \rightarrow$ difference is not significant	$z_2 > 1.96 \rightarrow$ difference is significant

جدول 5. تحليل الحساسية للمتغيرات الداخلة في حساب كثافة النقل.

Input Nodes (i)	Absolute Weights (from input to hidden)	Hidden Nodes (j)	Absolute Weights (from hidden to output)	Output Node (k)	P_{ij}		$Q_{ij} = P_{ij} / \sum_i P_{ij}$
1	0.686261652	1	2.273622393	1		1.56029986	0.252072756
2	0.046266174					0.105191808	0.016994162
3	0.526911164					1.197997023	0.193541267
4	1.463035512					3.326390302	0.537391814
					$\sum_i P_{ij}$	**6.189878992**	
1	1.360412268	2	3.029695331			4.121634695	0.298608531
2	0.245728395					0.744482171	0.053937028
3	0.908420545					2.752237483	0.199397000
4	2.041277380					6.184448547	0.448057441
					$\sum_i P_{ij}$	**13.8028029**	
1	0.105046876	3	2.257864264			0.237181587	0.045947991
2	0.072760153					0.16428255	0.031825629
3	0.160273296					0.361875347	0.070104283
4	1.948132277					4.39861825	0.852122097
					$\sum_i P_{ij}$	**5.161957735**	

Input Variables	$S_i = \sum_j Q_{ij}$	R.I % = $(S_i / \sum S_i) * 100\%$
Employee Productivity	0.5966293	19.89%
Coach Productivity	0.1027568	3.43%
Wagon Productivity	0.4630425	15.43%
Locomotive Productivity	1.8375714	61.25%

جدول 6. معاملات النموذج الرياضي للشبكة العصبية.

Hidden Layer Nodes	W_{ij} (Weight from node i in the input layer to the node j in the hidden layer)				Hidden Layer Bias W_{oj}
	i = 1	i = 2	i = 3	i = 4	
j = 1	0.686261652	0.046266174	-0.526911164	1.463035512	-0.180214505
j = 2	-1.360412268	-0.245728395	-0.908420545	-2.04127738	0.635897702
j = 3	0.105046876	-0.072760153	-0.160273296	-1.948132277	0.379851428

Output Layer Nodes	W_{jk} (Weight from node j in the hidden layer to the node k in the output layer)			Output Layer Bias W_{ok}
	j = 1	j = 2	j = 3	
k = 1	2.273622393	-3.029695331	-2.257864264	-0.069630097