مجلة البحوث التطبيقية في العلوم والإنسانيات

الخواص الكهربية للمواد وتطبيقاتها في الحياة

احمد حسين مسعد، احمد عبدالمنعم حجازى، احمد يحيى بسيونى، بولا سامح كرم، مارك شكرى حكيم، محمود احمد بيومى،يوسف علاء الدين

المشرف على المشروع: د. حنان سيد محمد (مدرس فيزياء الجوامد)

جامعة عين شمس ، كلية التربية، برنامج البكالوريوس في العلوم والتربية (الابتدائي) تخصص العلوم

المستخلص

تعد دراسة الخواص الفيزيائية للمواد أمرًا مهمًا لأنها تساعدنا على فهم كيفية تصرفها في ظل ظروف مختلفة، مثل درجة الحرارة والضغط والإجهاد الميكانيكي. يتميز النيكل بمجموعة من الخصائص الميكانيكية والكيميائية الاستثنائية التي تجعله مادة مرغوبة للغاية في العديد من التطبيقات الصناعية بدءًا من تصنيع الفولاذ المقاوم للصدأ وصولًا إلى الإلكترونيات الدقيقة وفي هذه الدراسة تم تصنيع سبيكة من النيكل والالومنيوم (Ni-Al) ودراسة الخواص الكهربية لها ومقارنة النتائج مع الخصائص الكهربية للالومنيوم والنيكل التجاريين والمستخدمين لتصنيع السبيكة. باستخدام قنطرة كلفن المزدوجة تم تعيين قيم المقاومة الكهربية لعينات الدراسة ومن ثم تحديد التوصيلية الكهربية لها وتغيرها بارتفاع درجة الحرارة في مدي من 298 إلى 398 كلفن . وأوضحت النتائج أن قيم المقاومة الكهربية لعينات البحث تزداد بزيادة درجة الحرارة وقد انخفضت قيم المقاومة الكهربية لسبيكة Ni-Al مقارنة بالنيكل التجاري بسبب اضافة عنصر الالومنيوم ذو المقاومة الكهربية المنخفضة. تزداد التوصيلية الكهربية للنيكل باضافة الالومنيوم بسبب انخفاض المقاومة الكهربية.

الكلمات المفتاحية :

سبيكة NiAl ، التوصيلية الكهربية، معامل درجة الحرارة للمقاومة.

1. مقدمة

تُعدّ دراسة الخصائص الكهربائية للمواد المختلفة من أهمّ مجالات البحث العلمي في الفيزياء، ولها دورٌ أساسيٌ في العديد من التطبيقات على نطاق واسع كالأجهزة الكهربية والأجهزة الإلكترونية والكاميرات وأجهزة الكمبيوتر المحمولة والساعات الذكية وأجهزة iPad وغيرها وتتأثر هذه الخواص بتركيب المواد الكيميائي، وهيكلها البلوري، وطبيعتها الفيزيائية مثل الكثافة ، نقطة الانصهار ، المقاومة الكهربية، والموصلية الكهربائية والحرارية. وتتسم الخواص

الكهربية للمواد بالتنوع والتفصيل، حيث تعتمد على الخصائص الفردية لكل مادة. فهناك مجموعة واسعة من المواد مثل المعادن، وأشباه الموصلات، والعوازل، والمواد المغناطيسية، ولكل منها خصائص كهربية فريدة حيث يوجد المعادن التى تتميز بموصلية عالية للتيار الكهربائي بسبب تواجد الإلكترونات الحرة في هيكلها، مما يسمح للتيار بالتدفق بسهولة. وتختلف قدرة المعادن على التوصيل الكهربائي وفقًا لكمية الإلكترونات الحرة المتاحة

اما أشباه الموصلات التى تمتلك خواص متوسطة بين الموصلات والعوازل. تعتمد قدرتها على التوصيل الكهربائي على التغيرات في تركيبها الكيميائي، ودرجة الحرارة واضافة الشوائب اليها. وكذلك العازلات التى تتميز بمقاومة عالية لتدفق التيار الكهربائي. تعتمد قدرتها على منع التيار على العزل الكهربائي الذي يفصل الشحنات الكهربائية. وتستخدم العوازل في عزل الأسلاك الكهربائية، وحماية الأجهزة الإلكترونية من التيار الزائد (د.علي ابراهيم مهدي العزاوي، **79–80**) .

تعد دراسة الخواص الفيزيائية للمواد أمرًا مهمًا لأنها تساعدنا على فهم كيفية تصرفها في ظل ظروف مختلفة، مثل درجة الحرارة والضغط والإجهاد الميكانيكي. فهو يسمح للعلماء والمهندسين بتصميم مواد أفضل لتطبيقات محددة وتحسين أدائها. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يؤدي فهم الخصائص الفيزيائية للمواد إلى تطوير مواد جديدة ذات خصائص فريدة، والتي يمكن أن يكون لها تأثير كبير على مختلف الصناعات، بما في ذلك الطيران والبناء والإلكترونيات والطب. يمكن تحديد الموصلية من خلال أنواع الذرات في المادة، وهي عدد البروتونات في نواة كل ذرة، وتحديد هويتها الكيميائية، وكيفية ارتباط الذرات ببعضها البعض، وتسمى المواد ذات الحركة العالية للإلكترون –التي تحتوي على العديد من الإلكترونات الحرة– بالموصلات، بينما تسمى المواد ذات الحركة المنخفضة للإلكترونات – تحتوي عدد قليل من الإلكترونات الحرة – بالعوازل، إضافة إلى أنه ليست كل المواد الموصلة لها نفس المستوى من الموصلية، وليست كل المواد العازلة لها نفس مستوى العزل [1].

يمكن استخدام المواد ذات الموصلية الكهربية الجيدة في تصنيع أجهزة إلكترونية جديدة، مثل الهواتف الذكية وأجهزة الكمبيوتر والتلفزيونات وتطوير تقنيات جديدة في مجال الاتصالات، مثل نقل البيانات عبر شبكات الاتصالات وتطوير تقنيات جديدة في مجال الطب، مثل استخدام أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) وأجهزة تخطيط القلب (ECG) وخاصة باستخدام الموصلات الفائقة. ولا شك ان هناك العديد من الجهود المبذولة لتحسين كفاءة الطاقة في الأجهزة الإلكترونية مثل استخدام مواد ذات مقاومة منخفضة لتقليل فقدان الطاقة في خطوط النقل وتطوير تقنيات جديدة لتوليد الطاقة الشمسية وكهرباء الرياح باستخدام مواد ذات كفاءة تحويل عالية. يمكن تحسين كفاءة استخدام الطاقة في المنازل والمصانع باستخدام مواد ذات خصائص عازلة أفضل.

يتم اتخاذ النحاس هو المعيار والذي يتم من خلاله تصنيف المواد الكهربائية ويتم التعبير عن تقييمات التوصيل كقياس نسبي للنحاس. سيتم التعبير عن هذه التصنيفات بشكل متكرر على أنها " IACS %.IACS". هو اختصار لمعيار النحاس الملدن الدولي والرقم الذي يسبق "IACS" هو النسبة المئوية لموصلية المادة بالنسبة للنحاس، والذي يعتبر موصلًا بنسبة **100%**. هذا لا يعني أن النحاس ليس لديه مقاومة (هو موصل بنسبة **100%** بالمعنى المطلق)، بل هو المعيار الذي يتم من خلاله قياس المواد الأخرى. كلما زادت نسبة IACS، كلما كانت المادة أكثر موصلية. يشير هذا المعيار إلى النحاس النقي "القياسي" الذي يتمتع بمقاومة تبلغ (**μΩ. cm** 1.7241) عند **20** درجة مئوية [2].

يعد التوصيل الفعال للكهرباء أمرًا ضروريًا في مختلف المجالات، بدءًا من الصناعة وحتى الأجهزة الإلكترونية التي نستخدمها يوميًا. لتحقيق التوصيل الأمثل، من المهم معرفة المواد التي توفر أقل مقاومة لتدفق التيار الكهربائي. ومن المواد الاكثر كفاءة لتوصيل الكهرباء هى الفضة هي المادة الأكثر كفاءة

لتوصيل الكهرباء. موصليتها الكهربائية عالية بشكل استثنائي، متجاوزة جميع المواد المعروفة الأخرى. تمتلك الفضة موصلية كهربائية أكبر بنسبة 5% تقريبًا من النحاس وهو مادة أخرى شائعة الاستخدام لتوصيل الكهرباء.تعود الموصلية الكهربائية العالية للفضة إلى تركيبها البلوري وترتيب ذراتها. يسمح هذا الهيكل للإلكترونات بالتحرك بسهولة عبر المادة، مما يولد تدفقًا للتيار الكهربائي بمقاومة قليلة. وهذا يؤدي إلى فقدان أقل للطاقة في شكل حرارة أثناء التوصيل الكهربائي. على الرغم من أن الفضة هي المادة الأكثر كفاءة لتوصيل الكهرباء، إلا أن استخدامها على نطاق واسع محدود بسبب تكلفتها العالية. الفضة معدن ثمين، واستخراجه ومعالجته باهظ الثمن. لهذا السبب، يتم تطوير بعض المعادن باستخدام اضافات مختلفة لتحسين الخواص الكهربية لها واستخدامها كبدائل متاحة في التطبيقات الكهربية. (ريموند سيرواي ،2017).

ويهدف هذا مشروع الدراسة إلى دراسة الخواص الكهربية لبعض السبائك المعدنية التي أساسها النيكل او الالومنيوم في درجة حرارة الغرفة وتفسير التغيرات الحادثة في ضوء التركيب البلوري والنظريات الحديثة.

2. الإطار النظرى

تتنوع قدرة المواد الموصلة بعضها عن بعض في مقدار التوصيل الكهربي نتيجة لاختلاف كثافة التيار المار بها .ولقياس قدرة المادة على توصيل التيار الكهربائي، يتم تعريف التوصيلية الكهربائية (σ) وهي نسبة كثافة التيار (J) إلى شدة المجال الكهربائي (E) في المادة، ويرمز لها بالرمز σ وحدة القياس للتوصيلية الكهربائية هي سيمنز في المتر (S/m) أو أوم$^{-1}$ في متر$^{-1}$ وتعطي بالعلاقة:

$$\sigma = \frac{J}{E} \qquad (1)$$

حيث أن E هي شدة المجال الكهربي، و J هي كثافة التيار لموصل ما وتعرف بأنها التيار المار خلال وحدة المساحة العمودية للموصل علي اتجاه سريان الشحنة ووحدة كثافة التيار أمبير/ متر^2. وكلما زادت توصيلية مادة ما زادت كثافة التيار لها عند قيمة معينة لشدة المجال الكهربي. ويسمى مقلوب توصيلية المادة بالمقاومة النوعية للمادة (resistivity) ويرمز لها بالرمز ρ ووحدتها أوم . متر ، حيث أن :

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \qquad (2)$$

فإذا كان الموصل منتظما وطوله L ومساحة مقطعه A فان مقاومة الموصل تعطي بالعلاقة:

$$R = \rho \frac{L}{A} \qquad (3)$$

ويتضح من ذلك ان مقاومة الموصل تعتمد علي شكله وتتناسب طرديا مع طوله وعكسيا مع مساحة مقطعه بينما المقاومة النوعية تعتمد علي عدد الالكترونات المتنقلة وكيفية سلوكها وهذا ما يميز كل موصل عن الاخر (محمد كامل عبدالعزيز، مجيد عبدالرحمن الكنهل،2005)

يتضح من تعريف المقاومة النوعية أن الموصل ذا المقاومة النوعية الكبيرة موصل رديء وعازل جيد وبالعكس فإن الموصل ذا المقاومة النوعية الصغيرة موصل جيد. ولكل مادة نقية عند درجة حرارة معينة قيمة ثابتة للمقاومة النوعية. فإذا تغيرت هذه الحالة نتيجة المعاملة المادة حراريا أو لسحبها أو طرقها أو إذا أضيفت إليها شوائب فإنها تتغير بدرجة ملحوظة. كذلك تتغير المقاومة النوعية لجميع الموصلات بتغير درجة الحرارة، لأن المقاومة النوعية تتوقف على قابلية تحرك الإلكترونات الحرة في الموصلات وبذلك تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى زيادة المقاومة النوعية.

ولذلك يمكن كتابة العلاقة بين المقاومة R للموصل ودرجة الحرارة علي الصورة التالية:

$$R = R_o (1+\alpha T) \qquad (4)$$

حيث أن R_o هي قيمة المقاومة عند درجة حرارة الصفر المئوي، وα يسمي معامل الحرارة للمقاومة النوعية للموصل (TCR)، و T درجة حرارة الاختبار. وهذه العلاقة تطبق في حالة المعادن. ويلاحظ انه في

المحاليل الموصلة للكهرباء فإن قيمة المقاومة تنخفض بارتفاع درجة الحرارة وذلك لانخفاض لزوجة المحلول مما يؤدي الي زيادة سرعة حركة الأيونات. وفي حالة أشباه الموصلات تقل المقاومة بارتفاع درجة الحرارة بسبب زيادة عدد الالكترونات الحرة. وهناك مواد موصلة اخري يطلق عليها الموصلات الفائقة التوصيل والتي تختفي فيها المقاومة الكهربية تماما عند درجات حرارة اقل من **10** درجات مطلقة وقد تم الحصول علي مواد تختفي مقاومتها عند درجة حرارة **100** درجة مطلقة وسميت بالمواد فائقة التوصيل مرتفعة الحرارة .(أ. س. عارف، **2011**). وصنعت هذه المواد فائقة التوصيل من مواد خزفية (ceramic materials) .

قياسات المقاومة الكهربية للمواد تتم بعدة طرق، إما بالطرق التي تعتمد علي قياس الجهد والتيار ،أو الطرق التي تعتمد علي قياس فرق الجهد وقياس واحد للزمن ،أو الطرق التي تعتمد علي الانحراف المنعدم للجلفانومتر (Null Methods).

يتميز النيكل بمجموعة من الخصائص الميكانيكية والكيميائية الاستثنائية التي تجعله مادة مرغوبة للغاية في العديد من التطبيقات الصناعية بدءًا من تصنيع الفولاذ المقاوم للصدأ وصولًا إلى الإلكترونيات الدقيقة مثل توربينات غازية للطائرات، ومحطات توليد الطاقة بالتوربينات البخارية، والتطبيقات الطبية، وأنظمة الطاقة النووية، والصناعات الكيماوية والبتروكيماوية. يتضمن عدد من التطبيقات الأخرى لسبائك النيكل الخصائص الفيزيائية الفريدة لسبائك النيكل ذات الأغراض الخاصة أو السبائك عالية النيكل. وتشمل: سبائك منخفضة التمدد (Low-expansion alloys)، وسبائك المقاومة الكهربائية (Electrical resistance alloys)، وسبائك مغناطيسية محددة (Soft magnetic alloys)، وسبائك ذاكرة الشكل (Shape memory alloys) . ويتمتع النيكل بمقاومة شد عالية للغاية، سواءً في درجات الحرارة العادية أو المرتفعة، مما يجعله مناسبًا للاستخدام في التطبيقات التي تتطلب تحمل أحمال كبيرة. وايضا ينفرد النيكل ببنية بلورية مكعبة متمركزة وجهيًا (FCC) على سطحه، مما يمنحه ليونة وقابلية تشكيل مميزة. ويتمتع النيكل بصلابة جيدة تجعله مقاومًا للتشقق والتآكل سبائك النيكل والألومنيوم تستخدم علي نطاق واسع في المجال الصناعي وخاصة للاستخدام في تطبيقات درجات الحرارة العالية. يتم تطوير المواد عن طريق دمج هذه المواد مع عناصر اخري مثل الرصاص، القصدير ، الإنديوم ، الكوبلت والبيزموت أو مزيج من هذه العناصر لتحسين خصائصها الميكانيكية والكهربية ومقاومتها للتآكل في ظروف التشغيل واستخدامها في التطبيقات المختلفة . (د. عيسي مسعود بغني، **2014**).

تتميز السبائك المحتوية علي الألومنيوم بكثافتها المنخفضة مما يجعلها خفيفة الوزن كما تتمتع بقوة تحمل عالية جدًا. وعلى الرغم من عدم كون الالومنيوم موصل مثالي للكهرباء مثل النحاس، إلا أن سبائك الألومنيوم توصل التيار الكهربائي بشكل جيد نسبياً [3].

تعد سبائك NiAl واحدة من أهم المركبات المعدنية ذات درجة الحرارة العالية بسبب المزايا المتعددة والخصائص الفريدة لها. وتستخدم كبيرة كمواد هيكلية في توربينات الغاز بفضل ارتفاع درجة حرارة الانصهار وارتفاع الموصلية الحرارية لها والتي تسمح باستخدامها في مجموعة متنوعة من التطبيقات المتخصصة [4] .

فهم العلاقة بين التركيب والبنية الدقيقة لسبائك النيكل والالومنيوم وخصائصها الكهربائية أمرًا بالغ الأهمية لتطوير مواد جديدة ذات خصائص محددة تتناسب مع متطلبات التطبيقات المختلفة. وقد أجريت العديد من الدراسات لفهم سلوك التوصيل الكهربائي في سبائك الألومنيوم أوالنيكل وتطوير مواد جديدة ذات خصائص محددة.

دراسة (Yavari, F.. et al. 2023):

تناولت الدراسة الخواص الميكانيكية والكهربائية لسبائك الألومنيوم (Al) التي تحتوي علي النيكل(Ni) ، وقد تم ذلك بدراسة تأثير إضافة نسب مختلفة من النيكل(Ni) إلى سبائك الألومنيوم (Al) بهدف توسيع نطاق خصائص التصلب والبنية المجهرية.وقد توصلت الدراسة الي تحسين الخواص الميكانيكية والمجهرية لسبائك الألومنيوم حيث أظهرت النتائج أن سبيكة Al-1Ni حققت أعلى توصيلية كهربائية بنسبة **57.6%** من المعيار الدولي للنحاس (IACS). ومع ذلك، فإن زيادة محتوى النيكل إلى **5%** أدى إلى انخفاض في التوصيلية الكهربائية . بالإضافة إلى ذلك، فإن

زيادة محتـوى النيكـل مـن 1% إلى 5% أدى إلى تحسـن طفيـف في الخصائص الميكانيكية، مما يدل على تأثير تقوية ضعيف [5].

دراسة (Zakaryaa Zarhri. 2022):

في هذا البحث تم دراسة تأثير اضافة النحاس على البنية التركيبية والميكانيكية والخواص الإلكترونية لسبائك NiAl .وتتميز هذه السبيكة بخواص ميكانيكية وفيزيائية جيدة مثل قوة التحمل عند درجات الحرارة العالية، ومقاومة التآكل التي تلبي المتطلبات الفنية للعديد من التطبيقات. وتبين من النتائج زيادة صلابة السبيكة باضافة النحاس بسبب تكوين مركبات بينية جديدة. من خلال الحسابات الأولية، تم تحديد أن ذرات النحاس تحتل مواقع Al كموقع مفضل وتفضل الارتباط مع ذرات النيكل مما يؤدي إلى تحسين صلابة المادة [6].

دراسة (Ercan Karaköse. et al. 2015):

تناولت الدراسة الخصائص التركيبية والكهربائية والميكانيكية لسبائك Ni-23wt%Alبعد تحضيرها بطريقة التصلب التقليدية والتبريد السريع.وقد تم إجراء قياسات المقاومة الكهربائية باستخدام تقنية النقاط الأربعة(the four-point probe technique) عند درجات حرارة تتراوح بين **100** و **900** درجة مئوية..وقد توصلت الدراسة الي تحسين الخواص الميكانيكية والمجهرية لسبائك النيكل وأظهرت النتائج أن قيمة المقاومة الكهربية عند درجة حرارة الغرفة لسبائك النيكل المحتوية علي الألومنيوم كانت أقل من المقاومة الكهربية لسبائك النيكل النقية. كما أظهرت النتائج تزايد قيم المقاومة الكهربية لسبائك Ni-23wt%Al مع ارتفاع درجات الحرارة[7] .

دراسة (A.G Bhosale. et al. 2006):

تمت دراسة المقاومة النوعية الكهربائية لعينات النيكل الومنيوم مضاف اليها الفيريت (وهو اكسيد الحديد Fe_2O_3 Ferrite) كدالة في درجات الحرارة. تم التاكد من تفاعل الحالة الصلبة وتأكيد تكوين الطور الواحد بواسطة حيود الأشعة السينية وبالتالي تم تقييم ثابت الشبكة للأطوار. وأوضحت النتائج انخفاض قيم المقاومة مع ارتفاع درجات الحرارة بعد اضافة الفيريت . ووجد أيضا ارتفاع قيم المقاومة بزيادة نسب Al داخل سبائك النيكل فيريت. ويشير قياس الطاقة الحرارية إلى أن العينات هي من أشباه الموصلات من النوع n و p وتم دراسة قيم العزل الكهربائي، تم تفسير التوصيل الكهربائي للنتائج [8] .

3. منهجية البحث والأدوات المستخدمة

تم تحضير سبائك النيكل الومنيوم Ni-2.3wt%Al وقد تم تسميتها (Ni-Al) وتم اعدادها عن طريق الصهر وذلك بعد وزن العناصر المستخدمة للتحضير بدقة وذلك باستخدام كميات من المعادن النيكل النقي والالومنيوم النقي عالية النقاء (99.9%) كمواد خام لتحضير السبيكة.وقد تم تحضير السبيكة وصهرها داخل فرن حث عند درجة حرارة 1500 °C ومن أجل ضمان ذوبان وانتشار الالومنيوم في المصهور تم إبقاؤه في درجة حرارة الصهر لمدة ساعتين لضمان تجانس كل العناصر واندماج الالومنيوم داخل النيكل . وبعد ذلك تم ترك السبيكة لتبرد حتي الوصول لدرجة حرارة الغرفة.تم سحب سبيكة النيكل الومنيوم المحضرة في المختبر علي شكل أسلاك طولها 6 cm وقطرها 0.08 cm حتي يسهل التعامل معها. تم اجراء معالجة حرارية تسمي تلدين annealing لأسلاك عند **190** درجة مئوية لمدة ساعتين وتبريدها ببطء حتى وصلت إلى درجة حرارة الغرفة. تسمح هذه المعالجة الحرارية بتكوين الاطوار وازالة تأثير التشوهات الحادثة نتيجة السحب في الأسلاك.

حضرت عينات الاختبار موضع الدراسة علي ثلاث عينات وهم سبائك سبائك النيكل الومنيوم Ni-2.3wt%Al وسيتم تسميتها (Ni-Al) التي تم تحضيرها عمليا بالطريقة الموضحة أعلاه ، وعينات من النيكل النقي وعينات من الألومنيوم النقي التجاريين وقد تم تشكيلهم جميعهم بالسحب علي شكل اسلاك بطول 6cm وقطر 0.08cm .

لقياس المقاومة الكهربية لعينات البحث تم استخدام قنطرة كلفن المزدوجة ويتم توصيلها بالدائرة الكهربية الموضحة كما بالشكل (**1**) وهي انسب الطرق لقياس المقاومات ذات القيم الصغيرة مثل مقاومات المعادن .

شكل (1) الدائرة الكهربية لقنطرة كلفن المزدوجة

ولقياس التوصيل الكهربي يتم توصيل سلك العينة بقنطرة كلفن المزدوجة والحصول علي الاتزان في الجلفانومتر بتغيير قيم المقامات الداخلية للقنطرة وعندها يتم حساب مقاومة السلك R وباستخدام المعادلة (2) تم حساب المقاومة النوعية ρ ومن ثم تعيين الموصلية الكهربية σ من المعادلة (3) لكل عينات الاختبار. وقد تم دراسة تغير المقاومة النوعية لعينات الدراسة مع تغير درجات الحرارة بدا من درجة حرارة الغرفة وحتي درجة حرارة 398 كلفن.

تم قياس تغير الخواص الكهربائية لعينات البحث مع تغير درجات الحرارة في حدود من 298 كلفن إلى 398 كلفن. تم التحكم في درجة حرارة العينة باستخدام وحدة تحكم في درجة الحرارة ، وتم قياس درجة حرارة العينة بواسطة مزدوج حراري قياسي. تم قياس أطوال وقطر اسلاك عينات الدراسة باستخدام ميكرومتر رقمي بدقة 1 مم.

تعتمد المقاومة الكهربائية في المعادن بشدة على درجة الحرارة ، تزداد المقاومة الكهربائية مع زيادة درجة الحرارة. وغالبا ما يعبر عن معامل درجة حرارة المقاومة النوعية α (TCR) على أنه ميل العلاقة البيانية بين المقاومة الكهربية مقابل درجة الحرارة، ويمكن تعيين معامل درجةحرارة المقاومة النوعية من العلاقة:

$$\alpha = \frac{\rho_s - \rho_o}{\rho_o(T - T_o)} = \frac{1\Delta\rho}{\rho_o \Delta T} \qquad (5)$$

حيث ρ_s هي المقاومة الكهربائية عند درجة الحرارة T، ρ_o هي المقاومة الكهربائية في درجة حرارة الغرفة T_0 298 K ، و α هو معامل درجة حرارة المقاومة.

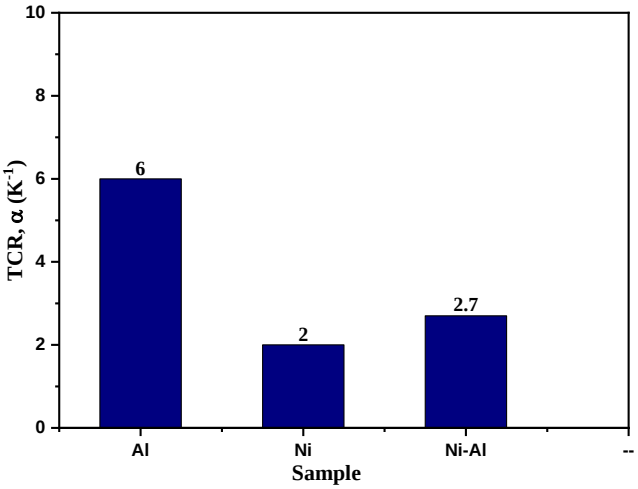
نتائج البحث

يوضح الشكل (2) العلاقة بين المقاومة النوعية وبين درجة الحرارة لكل من الالومنيوم Alو النيكل Ni وسبكة النيكل الومنيوم في مدي محدد من درجة الحرارة من 298 إلى 398 كلفن. ويتضح من العلاقة ان المقاومة تزداد بزيادة درجة الحرارة وهي سلوك خاص بجميع المعادن. تم تحديد قيم المقاومة النوعية لعينات البحث عند درجة حرارة الغرفة ρ_o فوجد ان الالومنيوم يتمتع بقيمة مقاومة منخفضة مقارنة بالنيكل وعند اضافة الالومنيوم علي النيكل ادي الي انخفاض المقاومة الكهربية لسبيكة النيكل الومنيوم وبالتالي زيادة التوصيلية الكهربية لها كما هو مبين في الجدول (1) وهذه النتائج تتفق مع الدراسات السابقة [7] . وقد تم حساب معامل درجة الحرارة α لعينات البحث باستخدام المعادلة (5) ورسم العلاقة بين $\Delta\rho$ و ΔT كما بالشكل (3) ومن الميل تم حساب قيم معامل درجة الحرارة ورسمها لعينات البحث كما بالشكل (4). يعتبر معامل درجة الحرارة للمقاومة (TCR) مرتبطًا ارتباطًا وثيقًا بالمقاومة عند درجة حرارة الغرفة. يتناقص TCR عادةً مع زيادة المقاومة، بغض النظر عن تأثيرات الاضطراب الحراري أو التركيبي. تم دراسة تأثير معامل درجة الحرارة للمقاومة وتاثير التغيرات التركيبية للمواد في السبائك المركزة في أوائل السبعينيات بواسطة Mooij [9].

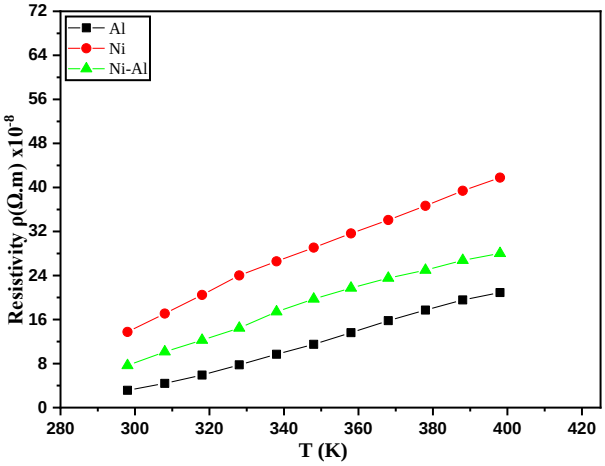
شكل (5) يوضح قيم التوصيلية الكهربية لعينات الدراسة وتغيرها مع تغير درجة الحرارة .وقد أوضحت النتائج أن اضافة الالومنيوم الي النيكل اثرت علي التوصيلية الكهربية حيث زادت التوصيلية الكهربية لسبيكة النيكل الومنيوم مقارنة بالتوصيلية الكهربية للنيكل التجاري. وكما يتضح من الشكل (5) انه بزيادة درجة الحرارة تقل التوصيلية الكهربية لعينات الدراسة ويرجع ذلك الي زيادة قيم المقاومة الكهربية لعينات البحث مع ارتفاع درجة الحرارة.

جدول (1):المقاومة الكهربية النوعية ρ_o لعينات الاختبار عند درجة حرارة الغرفة T_o =298 K

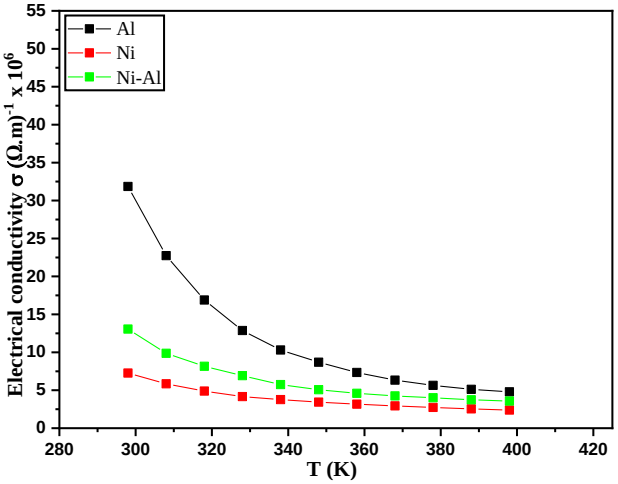
Sample	ρ_o (Ω.m) x10^{-8}
Al	3.14
Ni	13.78
Ni-Al	7.68



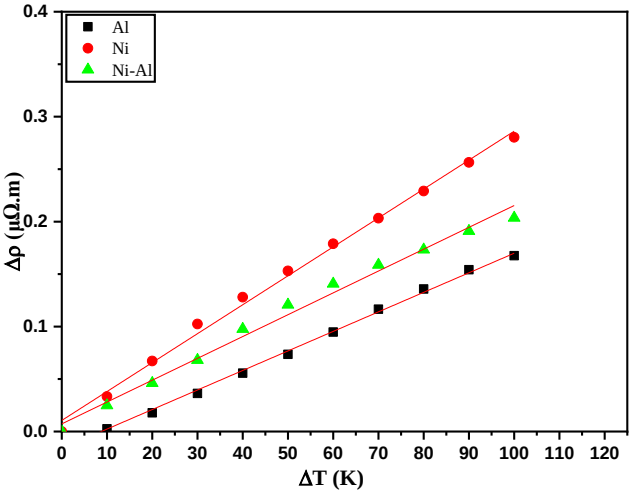
شكل (4) تغير معامل درجة حرارة المقاومة لعينات الدراسة.



شكل (2) تغير المقاومة الكهربية بتغير درجة الحرارة لعينات الدراسة.



شكل (5) تغير التوصيلية الكهربية مع تغير درجة الحرارة لعينات الدراسة.



شكل (3) تغير المقاومة الكهربية عند درجة حرارة الغرفة بتغير درجة الحرارة لعينات الدراسة.

4. تفسير النتائج

المقاومة الكهربائية هي إحدى الخصائص الكهربية التي تعتمد عليها معظم التطبيقات الكهربية والالكترونية .وتعتمد المقاومة النوعية الكهربائية (ρ) على درجة الحرارة التي يتم استخدامها علي السبائك المعدة. وقد تمت دراسة العينات الثلاثة الالومنيوم والنيكل وسبيكة النيكل الومنيوم عند درجات حرارة تتراوح بين 298 إلى 398 كلفن مع تحليل العلاقة بين قيم المقاومة الكهربية عند حرارة الغرفة وقيمها عند درجات الحرارة المرتفعة وذلك لتعيين معامل درجة الحرارة للمقاومة TCR وحساب التوصيلية الكهربية لعينات الدراسة عند درجات الحرارة المرتفعة. وقد أوضحت النتائج

زيادة مقاومة عينات الدراسة مع ارتفاع درجة الحرارة كما يظهر في المعادن المنفردة مثل Al ، Ni، و النحاس Cu [10,11].

كما اوضحت النتائج زيادة التوصيلية الكهربية للنيكل المضاف اليه الالومنيوم مقارنة بالنيكل الخام وذلك بسبب انخفاض قيم المقاومة الكهربية للسبيكة.ويمكن تفسير انخفاض المقاومة الكهربية لسبيكة Ni-Al مقارنة بالنيكل التجاري الي ان في حالة النيكل قد لا يكون نقي بنسبة 100% ويحتوي علي مسام porosity مما تؤثر علي انتقال الالكترونات وتسبب تشتت في حركة الالكترونات، أما عن اضافة الألومنيوم للنيكل وهو يتميز بقيمة مقاومة صغيرة فان ذرات الألومنيوم تحل محل بعض ذرات النيكل مما يقلل تشتت الالكترونات فيقلل المقاومة الكهربية له.

التوصلية الكهربية أمر بالغ الأهمية للحفاظ على جودة واستقرار المواد وقيمة التوصيل الكهربي للمواد النقية يتم حسابها نظريا وتجريبيا. وتختلف التوصلية الكهربية للمواد النقية عن التوصلية الكهربية للسبائك بناء على التركيب وكذلك درجة الحرارة. حركة الإلكترونات الداخلية هي المحدد الأساسي للمقاومة الكهربائية للمعدن وتفسر النتائج بناءا علي ذلك. بالإضافة إلى ذلك ، يتمتع الالومنيوم Al بموصلية كهربائية عالية وهو عامل هام لزيادة التوصيلية الكهربية للنيكل ويمكن أن يوفر مسامية Porosity منخفضة ، ويزيد من معدل نقل الإلكترون ، ويزيد من التوصيل الكهربائي من خلال توفير مسارات أقصر لنقل الإلكترون وخفض المقاومة الكهربية المارة أثناء نقل الإلكترون[7] .

5. الخاتمة

يدرس هذا العمل تصنيع سبيكة من النيكل –الومنيوم ودراسة الخواص الكهربية لها ومقارنة النتائج مع الخصائص الكهربية للالومنيوم والنيكل التجاريين والمستخدمين لتصنيع السبيكة ويمكن تلخيص النتائج على النحو التالي:

- تزداد قيم المقاومة الكهربية لعينات البحث بزيادة درجة الحرارة وانخفاض قيم المقاومة الكهربية لسبيكة النيكل – الومنيوم مقارنة بالنيكل التجاري.
- تزداد قيم معامل درجة الحرارة للمقاومة الكهربية للنيكل بعد اضافة الالومنيوم.
- تزداد التوصيلية الكهربية للنيكل باضافة الالومنيوم بسبب انخفاض المقاومة الكهربية.

6. الشكر والتقدير

يتقدم الباحثين بخالص الشكر والتقدير الي كل الاطراف التي قامت بالمساهمة في تيسير هذا المشروع ومساندتنا ودعمهم المستمر منقطع النظير وهم: ادارة كلية التربية جامعة عين شمس وادارة قسم الفيزياء بالكلية.

7. المراجع والمصادر

المراجع العربية:

- د. علي ابراهيم مهدي العزاوي ، (79–80)، الكهرومغناطيسيات ترجمة عن الكتاب الأصل " Electromagnetics by: B.B. Laud. Wiley Eastern Limited " الجامعة المستنصرية.
- ريموند سيرواي Raymond A. Serway، (2017) الفيزياء للعلميين والمهندسين الكهربيه و المغناطيسيه ترجمة ا. د . محمد عبد الفتاح مبروك كلية العلوم بدمياط جامعة المنصورة، الناشر : دار المريخ للنشر.
- د.محمد كامل عبدالعزيز، د.مجيد عبدالرحمن الكنهل، الكهرومغناطيسية الهندسية (2005) جامعة الملك سعود .الرياض.
- س. عارف،(2011) فيزياء المواد، دار المعرفة الجامعية.
- د. عيسي مسعود بغني (2014) أساسيات هندسة المواد. الطبعة الأولي. دار الكتب الوطنية بنغازي –ليبيا.الناشر:الهيئة الليبية للبحث والعلوم والتكنولوجيا

المراجع الأجنبية:

[1] Physics for scientists and Engineers, Serway and Jewett, 6th Edition, (2004) Ch. 23 – 27.

[2] Qingzhong Mao, Yanfang Liu, Yonghao Zhao, A review on copper alloys with high strength and high electrical conductivity, Journal of Alloys and Compounds. 990 (2024) 174456. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2024.174456.
[3] Li, Y.; Hu, A.; Fu, Y.; Liu, S.; Shen, W.; Hu, H.; Nie, X. Al Alloys and Casting Processes for Induction Motor Applications in Battery-Powered Electric Vehicles: A Review. Metals 12 (2022) 216. https://doi.org/10.3390/met12020216.
[4] Bochenek, K.; Basista, M. Advances in processing of NiAl intermetallic alloys and composites for high temperature aerospace applications. Prog. Aerosp. Sci. 79, (2015) 136–146. https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2015.09.003
[5] Yavari, F.; Algendy, A.Y.; Javidani, M.; Pan, L.R.; Chen, X.-G. Effects of Ni Content and Alloying Elements on Electrical Conductivity, Mechanical Properties, and Hot Tearing Susceptibility of Al-Ni-Based Alloys. Eng. Proc. 2023, 43, 3. https://doi.org/10.3390/engproc2023043003
[6] Zakaryaa Zarhri, Electronic structure, stability, and strength of Cu–NiAl alloys: Experiment and DFT investigation Opto-Electronics Review 30 (2022) e141707.
https://doi.org/10.24425/opelre.2022.141707.
[7] E. Karaköse, M. Keskin Influences of high temperature on the microstructural, electrical and mechanical properties of Ni-23 wt.% Al alloy Int. J. Mater. Res. (formerly Z. Metallkd.) 106 (2015) 29-42. https://doi.org/10.3139/146.111145.
[8] A.G Bhosale, B.K. Chougule, Electrical conduction in Ni–Al ferrites, Materials Letters, 60, 2006, 3912-3915. https://doi.org/10.1016/j.matlet.2006.03.139.
[9] Mooij, J. H. Electrical conduction in concentrated disordered transition metal alloys. Phys. Stat. Sol. (a) 17, 521–530 (1973). https://doi.org/10.1002/pssa.2210170217.
[10] M.J. Laubitz, T. Matsumura, P.J. Kelly: Can. J. Phys. 54 (1976) 92. https://doi.org/10.1139/p76-011.
[11] G.K. White, S.B. Woods: Phil. Trans. Roy. Soc. A 251 (1959) 273. https://doi.org/10.1098/rsta.1959.0004.