

تأثير درجة الحرارة على منحنى I-V واشعة جاما على الخصائص الالكترونية لجزئ DNA

مروة محمد طريم جامعة مصراته، قسم الفيزياء، ليبيا	فاطمة امحمد الحوتة جامعة مصراته، قسم الفيزياء، ليبيا	عفاف بشير عبد الباقي جامعة مصراته، قسم الفيزياء، ليبيا	مصطفى دراه جامعة مصراته، قسم الفيزياء، ليبيا	فتحي حسن باوه جامعة مصراته، قسم الفيزياء، ليبيا	شافية علي الدنقرية جامعة مصراته، قسم الفيزياء، ليبيا
--	--	--	--	---	--

المخلص

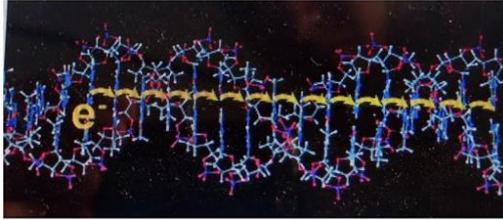
تم في الجزء الأول من هذا البحث دراسة منحنى I-V للحمض النووي DNA عند درجتى حرارة (1°C, 25°C) والتعرف والكشف على الحمض النووي ك مادة (عازلة، شبه موصلة، موصلة) وتأثير تغير درجة الحرارة على المنحنى I-V ومقاومة DNA، الجزء الثاني من هذه الدراسة تم إجراء العديد من الاختبارات العملية لتأثير إشعاع جاما CO^{60} على تلف الحمض النووي، وذلك باستخدام جهاز (Geiger-Mueller) لمعرفة خصائص جزيء DNA، وتم اكتشاف تكسر وتلف في شرائط الحمض النووي. وفي هذا السياق تم فحص وتقدير تلف الجزيء عند فترات زمنية (1-3 ساعات) وذلك باستخدام جهاز التصوير بالأشعة فوق البنفسجية (UV) وحساب الجرعة الإشعاعية عند فترات زمنية (3hr-5min). أظهرت نتائج البحث في الجزء الأول من الدراسة أن الحمض النووي مادة شبه موصلة عند مدى (3.5V - 0) عند درجة حرارة 1°C لمدة (5min)، بينما عند درجة (25°C) أظهر الحمض النووي سلوك أشباه الموصلات عند مدى (2-0 mv) وذلك لمدة (5min)، إضافة إلى ذلك عند تعرضه لمدة (5min) إضافية أظهر جزيء DNA تصرف أشباه الموصلات عند قيم (0 - 4.5 V) عند درجة حرارة (25°C)، وأيضاً تتأثر مقاومة الجزيء بدرجتى الحرارة ويحصل الانهيار للمادة شبه الموصلة عند قيمة تيار شدته لا تزيد عن (200µA) وقيم جهد 3.5V و 4V، عند (1°C) و (25°C) على التوالي.

أخيراً توفر دراستنا عملياً، بيانات ونتائج مهمة لمعرفة حركة الشحنات ومقاومة الحمض النووي باختلاف درجتى الحرارة، وكذلك الوقاية من الإشعاعات وتجنب حدوث تلف أو طفرات وراثية.

استلمت الورقة بتاريخ 2024/8/11 وقبلت بتاريخ 2024/9/15، ونشرت بتاريخ 2024/09/25

الكلمات المفتاحية:
الحمض النووي، تيار كهربائي، جهد كهربائي، تلف، مقاومة.

سبافي أول من اقترح أن الحمض النووي يمكنه أن يعمل كموصل إلكتروني [9] (Persson et al)، كما يوجد كثير من الجدل حول اعتبار الحمض النووي موصل أو عازل أو شبه موصل. انظر شكل (1).



شكل (1) يوضح انتقال الشحنة ف الحمض النووي

أدى اكتشاف السلوك شبه الموصل للحمض النووي الريبي منقوص الأكسجين إلى عدد كبير من الأبحاث والدراسات للخواص الالكترونية والكهربائية للحمض النووي [10] (E N Sinurat et al) و [11] (Heim)، وتوفر ردود الفعل والمنحنيات الالكترونية والكهربائية معلومات حول البات ميكانيكية انتقال الشحنة في الحمض النووي وخصائصه الإلكترونية حيث يمكن باستخدام هذه الخواص في إعادة تعريف واكتشاف الحمض النووي [12] (Kratochvílová et al)، ويستخدم منحنى I-V للكشف عن زوج القاعدة للحمض النووي (negative and positive bias regions) وذلك بتحديد منطقة الجهد المرتفع والمنخفض (Vengadesh Periasamy et al) [13].

1. المقدمة Introduction

في العقود القليلة الماضية جذب نقل الشحنة في الحمض النووي DNA اهتماماً كبيراً في مجالات مختلفة منها العلوم البيولوجية والكيمياء الفيزيائية وتكنولوجيا النانو، وتم التحقق من نقل الشحنة في الحمض النووي باستخدام تقنيات مختلفة، فقد حاز جزيء الحمض النووي منذ أن تم عزله لأول مرة في عام 1869م من قبل العالم الطبيب السويسري Friedrich Miescher (Spielmann et al [1]) وفي عام 1944 وضع Oswald Avery وزملائه فرضية الدور الوراثي للحمض النووي [2] (Lindahl et al)، حيث يعتبر الحمض النووي الريبي منقوص الهيدروجين الجزيء السوراثي المركزي لجميع أنواع الحياة المعروفة [3] (Watson et al [4]) (Alberts B et al)، ويشير له باسم الشفرة الوراثية للحياة، ويعمل كنظام تخزين معلومات مركزي لمعظم الكائنات الحية (Crick et al [5])، وفي عام 1944م ظهر دليل تجريبي على أن الحمض النووي يعمل كقاعدة معلوماتية في العمليات الوراثية، وكذلك أثبت العالمان Res و Mirsky عام 1949م أن كل خلايا الكائن الحي تحتوي على نفس الكمية من DNA و اقترحا أن تكون هذه المعلومات دليل على أن هذا الحمض النووي هو المادة الوراثية في الكائنات الحية [7] (Temin et al).

في الأونة الاخيرة ازداد اهتمام الباحثين بالحمض النووي لما له من خواص فيزيائية وكيميائية مما يجعله جذاباً لاستخدامات تتجاوز الوراثة [8] (Mc Carthy et al). ويعتبر الباحثون أن جزيء الحمض النووي قادر على نقل الشحنات بدون مقاومة تقريباً. ومع ذلك وجد باحثون آخرون أن الحمض النووي يعمل كعامل عازل، وبدأت التجارب في تقديم القرائن حول الآليات التي تكمن وراء نقل الشحنات في الحمض النووي [9] (Persson et al)، فكان دانيال إيلي ودي

أظهرت النتائج أيضاً أظهرت النتائج (E N Sinurat et al[10]) أن التغيرات بسبب التأثير الحراري تقل عن تأثير المجال الكهربائي. وهذا يسبب في حدوث تغيير كبير في ثابت قفز الإلكترون من موقع إلى آخر. حيث تسبب درجة الحرارة تقلبات هيكلية مثل اهتزاز سلسلة الحمض النووي بحيث يكون هناك تغيير في زاوية الدوران بين أقرب زوج قاعدة والمسافة بين قاعدة إلى القاعدة الأخرى (H. W. Fin et al[20])، يمكن أن ينظر للاهتزاز الهيكلي على أنه إثارة فونون في الحمض النووي.

حسب نتائج (E N Sinurat et al[10]) أيضاً زيادة المجال الكهربائي تؤدي إلى تغيير طيف احتمالية الانتقال فتصبح فجوة الطاقة أوسع وتصبح نطاقات الطاقة أضيق. حيث قام H.-W. Fink وآخرون (H. W. Fin et al[20]) بأول قياس مباشر للتيار عبر أشرطة DNA باستخدام مجهر مصدر نقطة الإلكترون ذو طاقة منخفضة (low-energy electron point source microscope). وأظهرت النتائج أن الحمض النووي له خصائص منحني الجهد I-V خطي وتوصيله يمكن مقارنته مع البوليمر الموصل.

كما قام D. Porath وآخرون (D. Porath et al[21]) بقياس النقل الكهربائي من خلال جزيء DNA مزدوج الشريط، وقد تحصل على أن DNA له خصائص I-V لاخطية مع فجوة جهد كبيرة.

استنتج D Ullien وآخرون (D Ullien et al[22]) أن التيار يتدفق بنفس الحجم وعدد الجزيئات بغض النظر عن قطر أقطاب القياس، واستنتج أن التيار ربما يتدفق خلال جزيئين إلى ثلاثة جزيئات ومن المحتمل أن يكون واحداً فقط، وأن جزيء dsDNA قصير واحد يمكنه تمرير على الأقل (70 nA ~) وربما (220 nA) (D Ullien et al[22]).

في العديد من تجارب نقل الشحنة، يكون جزيء الحمض النووي متصل مباشرة بقطب كهربائي معدني في كلا الطرفين من أجل الحصول على خصائص كهربائية التيار كدالة الجهد (Kang D et al[23]) و (HAYASHI et al[24]). أي أنه في الحمض النووي تعمل الثقوب والالكترونات الزائدة كحاملات موجبة وسالبة على التوالي.

في الطبيعة تحمل جزيئات الحمض النووي المعلومات الوراثية، لكن الحمض النووي له خواص فيزيائية وكيميائية وبيولوجية تجعله جذاباً لاستخدامات تتجاوز الوراثة. لذا في هذه الورقة البحثية ندرس ديناميكية الثقب وكيفية نقل الإلكترون والشحنة عن طريق تجارب معملية يتم فيها قياس خصائص I-V عند درجات حرارة مختلفة وكذلك حساب المقاومة الكهربائية وتأثير الإشعاع على الحمض النووي، وقد أسفرت النتائج على معلومات جديدة حول الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية لهذا الجزيء المهم. كما قمنا بدراسة الخواص الكهربائية لجزيء الـ DNA من خلال خصائص منحني I-V، ونأخذ في الاعتبار التأثير البيئي على جزيئات الحمض النووي. والتأثيرات البيئية التي أدخلت في الحسابات هي درجة الحرارة. والفارق هنا أننا قمنا بالقياسات الكهربائية المباشرة من خلال جزيئات الحمض النووي الطبيعية المحاصرة بين قطبين.

2. المواد وطرق البحث Materials and Methods

(1) دراسة خواص منحني I-V للحمض النووي DNA

أظهرت النتائج أن قيمة شدة التيار الكهربائي تزداد إلى قيمة معينة ثم يبدأ في الانخفاض تدريجياً، كما لوحظ هذا التصرف في ترددات مختلفة للتيار والجهد الكهربائي، وبسبب ارتفاع درجة الحرارة في انخفاض التيار الكهربائي لأن التقلبات الحرارية تجعل بنية جزيء الحمض النووي تصبح غير منتظمة أي أنه يعيق عملية النقل. بالإضافة إلى ذلك تؤدي الزيادة في درجة الحرارة أيضاً بسبب انخفاض شدة التيار إلى زيادة الجهد (E N Sinurat et al[10]).

ووجد باحثون أن درجة الحرارة تسبب في تقلبات هيكلية (اهتزاز هيكلية) للحمض النووي، مثل اهتزاز سلسلة الحمض النووي بحيث يكون هناك تغيير في زاوية الدوران بين أقرب زوج قاعدة والمسافة بين قاعدة إلى قاعدة الأخرى (E N Sinurat et al[10]). وبعض الدراسات تنظر إليه على أنه إثارة فونون في الحمض النووي (Heim [11]) و (Kratochvílová et al. [12]).

تمكن الباحث V.Periasamy وآخرون من تمييز الأنواع والجناس المختلفة للفطريات اعتماداً على نتائج منحني I-V باستخدام كلا من جهد العتبة، جهد الانهيار، تيار الانهيار للحمض النووي، والموصلية الكهربائية، والتي استخدمها كمعلومات علمية محتملة لتحديد الجنس والأنواع. ويمكن استخدام هذه المعلومات أيضاً للكشف عن الخلايا السرطانية وذلك بتشكيل قاعدة بيانات لكشف سريع ودقيق يساهم في الكشف المبكر عن السرطان. كما يمكن أيضاً استخدام هذه المعلومات والإشارات الالكترونية في تحديد تلف الحمض النووي واليات الإصلاح (Vengadesh Periasamy et al[13]).

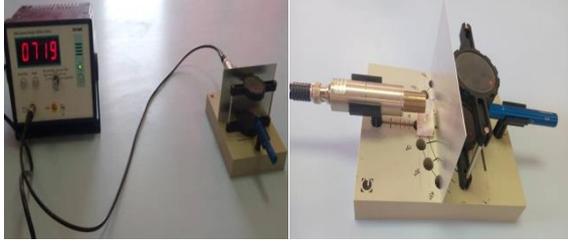
وقد تم استنتاج أن التغيرات في منحني I-V ناتج عن إعادة ترتيب الإلكترونات السالبة والفجوات الموجبة في مناطق منخفضة الجهد. والتحيزات في مناطق الجهد تؤدي إلى اختلاف كبير في عمليات نقل الشحنات وانتقالها لكل نوع من أنواع الحمض النووي وفقاً لتسلسلات قاعدتها المحددة (Khatir et al[14]).

يُعزى نقل الإلكترون في الحمض النووي بشكل شائع إلى التفاعل $\pi - \pi$ بين أزواج القواعد والإلكترونات التي تعتبر هي ناقلات الشحنة السائدة وليست الثقوب والفجوات الموجبة، ومع ذلك، أظهرت قياسات خصائص I-V أن الحمض النووي يمكن وصفه بأنه أشباه الموصلات من النوع P (De Yu Zang et al[15])، إضافة إلى ذلك حظي نقل الإلكترون عبر الحمض النووي باهتمام كبير بسبب التطبيقات الممكنة التي تتراوح من الأجهزة الإلكترونية إلى كشف بعيد المدى عن تلف الحمض النووي (J. O. Lee et al[16]). ومع ذلك، فإن موصلية الحمض النووي وكذلك الخصائص الفيزيائية أعطت عدد من النتائج التجريبية المتضاربة وفسرت بمجموعة متنوعة من النماذج النظرية ولم يتم الوصول لإجماع عام إلى حد الآن (J. O. Lee et al[16]).

يُعطى قياس نقل الشحنة في جزيئات الحمض النووي نتائج مثيرة للجدل وخصائص موصلية مختلفة تتراوح من العوازل إلى الموصل الفائق المحتث (E N Sinurat et al[10]). حيث يعزى سبب هذه النتائج المختلفة إلى العديد من العوامل مثل تأثير البيئة والجزيء نفسه. وقد تأتي التأثيرات البيئية من عوامل مثل التلامس مع القطب الكهربائي للحمض النووي، المجال الكهربائي، المجال المغناطيسي (Endres R G et al[17]) ودرجة الحرارة (Suhendro D K et al[18]) إلخ. كما تلعب الطبيعة الفيزيائية لجزيء الحمض النووي نفسه دور مثل شكل تسلسل القاعدة، والطول الجزيئي حيث يتداخل أكثر من مدار لجعل الموصلية أفضل، وكذلك الحركة الداخلية للحمض النووي (Schmidt B B et al[19]).

تم تعريض عينات الحمض النووي DNA إلى مصدر أشعة جاما Co^{60} في درجة حرارة الغرفة، في البداية تم تثبيت مصدر جاما Co^{60} على حامل خاص وتوصيل أنبوب جايجر-مولر بعدد رقمي على بعد 7cm كما بالشكل(3)، ووضع قطبي مغناطيس شمالي وجنوبي وشريحة من الألمونيوم لضمان مرور أشعة جاما فقط (متعادلة الشحنة).

تم قياس الخلفية الإشعاعية للمكان عدة مرات ثم أخذ المتوسط الحسابي لمعدل العد لعداد جايجر فكانت تساوي (12.5counts/sec) ثم نقوم بطرحها من قيم العد في كل مرة.



شكل (3) يوضح أدوات التجربة المستخدمة

تم تكرار التجربة مع وضع عدة عينات بزمن (3hr, 2hr, 45min, 10min, 5min) وتسجيل معدل العد لعداد جايجر في كل مدة زمنية، وحساب معدل العد لعداد جايجر في كل حالة كما موضح في الجدول (2).

جدول (2) المسافة وزمن التعرض لكل عينة مع معدل العد لعداد جايجر مولر قبل طرح الخلفية الإشعاعية

معدل العد لعداد جايجر	الزمن	المسافة	رقم العينة
317	5min	7cm	1
676	10min	7cm	2
2546	45min	7cm	3
3900	1hr		
5760	1:5 hr	7cm	4
7680	2hr		
3946	1hr		
5975	1:5hr		
7937	2hr	7cm	5
9966	2:5 hr		
11859	3hr		

تم حساب معدل التعرض الإشعاعي X حسب المعادلة :-

$$X = \Gamma \frac{A}{d^2} (R/hr) \quad (1)$$

ويمكن حساب الجرعة الإشعاعية الممتصة (Absorbed Dose) التي تعرض لها الحمض النووي DNA باستخدام معدل العد لعداد جايجر (CR) حسب (S.W. Li et al[25]) و (Rabee B.) و [26] Khader) و [27] Jacob Shapiro) الذي استنتج معادلة لحساب الجرعة الإشعاعية من معدل العد لعداد جايجر كالتالي:

تمت الدراسة العملية وإجراء التجارب العملية بمعمل قسم الفيزياء كلية العلوم جامعة مصراتة، وتم تحضير وجمع عينات الحمض النووي بالتعاون مع وحدة البحوث العلمية بمختبر مصراتة المركزي.

حيث تم قياس جودة DNA المستخلص عن طريق تمريره في الجل في جهاز تمرير العينات ومن بعده عرض الجل على أشعه فوق بنفسجية UV لمعرفة وجود حزم DNA عن طريق استخدام جهاز UVP. تم تنقية عينات الحمض النووي بعناية شديدة وتخفيفها بالماء منزوع الأيونات. واستخدام طريقة الترحيل الكهروستاتيكي بين جزيئات الحمض النووي والاقطاب الكهربيائية لفصل العينات.

يتم وضع الاقطاب بمحلول الحمض النووي المخفف (1%)، ثم تطبيق جهد يصل إلى 5 فولت على الاقطاب الكهربيائية، ثم قمنا بتجهيز مصدر جهد من (1mv-8v)، والتيار من (1mA-4A)، انظر الشكل (2).

تمت القياسات المباشرة للنقل الكهربيائي من خلال جزيء DNA لمدة 5 و 10 دقائق عند درجة حرارة معينة هي (25°C)، (1°C).

واستخدم في تنفيذ هذا البحث الأجهزة الواردة في الجدول رقم (1)

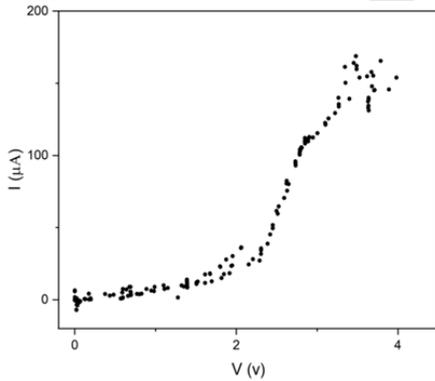


شكل (2) يوضح عينات الحمض النووي المستخدمة، والشكل (b)، (c) يوضحان الدائرة الكهربيائية المستخدمة

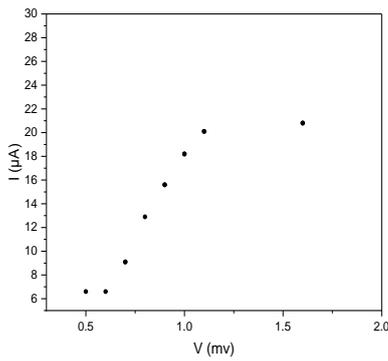
الجدول رقم (1) الأجهزة المستخدمة في إجراء البحث

رقم	الجهاز	المنشأ	الشركة المصنعة
	Equipment	Origin	Manufacturing Company
1	عداد جايجر مولر Geiger-Muller Counter	ألمانيا	PHYWE
2	جهاز تمرير العينات	بريطانيا	Cleaver Scientific
3	G Blood genomic DNA kit	الصين	Trans
4	Nano drop one جهاز قياس تركيز DNA	أمريكا	Thermo Scientific
5	UVP Photo Doc-it جهاز مطياف الأشعة فوق البنفسجية	بريطانيا	Bench top UV Transilluminator
6	Micro Spin FV2400 جهاز الطرد المركزي	لاتفيا	EU biosan

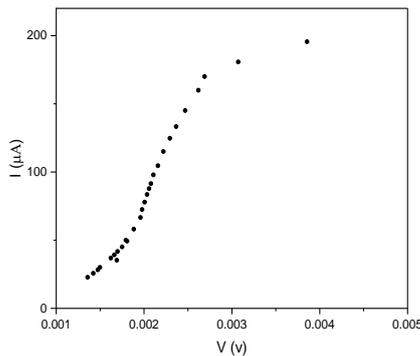
(ب) دراسة تأثير أشعة جاما على الحمض النووي DNA



شكل (4) منحنى I-V كأشباه موصلات عند 1°C لتيار كهربائي لا تزيد شدته عن 200μA ولمدة 5min



شكل (5) منحنى I-V كأشباه موصلات عند 25°C لتيار كهربائي لا تزيد شدته عن 200μA ولمدة 5min



شكل (6) تشتت منحنى I-V عند 25°C لتيار كهربائي لا تزيد شدته عن 200μA ولمدة 10min

في الشكل (4) أظهرت النتائج هبوط في قيمة المقاومة الكهربائية للحمض النووي DNA عند تعريضه لتيار وجهد كهربائيين في كل مدة زمنية حيث ساهم انخفاض درجة الحرارة في رفع قيمة المقاومة في كل مرة وبالتالي انخفاض قيمة الموصلية الكهربائية. وتتفق نتائجنا كذلك مع نتائج N.M.Khatir et al[14] في وجود انخفاض اسي في قيمة التيار الكهربائي، والذي أشار إلى أن الانخفاض الأسي يظهر بوضوح عند تسليط مجال كهربائي مما يعني إمكانية توظيف هذه الظاهرة في جهاز حساس مغناطيسي

$$D(\mu\text{Gy/hr}) = 1.1 \times (CR)^{1.02} \quad (2)$$

ويمكن حساب معدل الجرعة المكافئة (Equivalent Dose) بوحدته ($\mu\text{Sv/hr}$)، ويرمز لها بـ (H) وبمعلومية أن قيمة المعامل الوزني لأشعة جاما (W_R) يساوي واحد صحيح، ومنه يمكن إيجاد الجرعة المكافئة حسب العلاقة التالية (M. Hutter et al[27]):

$$\text{Equivalent Dose (H)} = \text{Radiation weighting factor } W_R \times \text{Absorbed dose (D)}$$

$$H = W_R \times D \quad (3)$$

3. النتائج والمناقشة Results and Discussion

تم تحديد تأثير درجتي الحرارة (1°C ، 25°C) على خواص الحمض النووي عن طريق منحنى I-V، حيث كشفت المنحنيات عن سلوك شبه موصل لحمض DNA مع زيادة درجة الحرارة. ويزداد التيار عند 25°C مع اختلاف الفولتية ثم ينخفض بعد ذلك وتم تفسير ذلك السلوك إلى كسر الرابطة الهيدروجينية في شريط الـ DNA .

إضافة إلى ذلك أظهر جزئ DNA تصرف أشباه موصلات عند مدى من (0-3.5V) عند درجة حرارة 1°C لمدة 5min (الشكل 4). وعند درجة 25°C أظهر تصرف أشباه موصلات عند مدى من (0-2mv) وذلك لمدة 5min (الشكل 5)، وعند تعرضه لمدة 5 دقائق إضافية أظهر جزئ DNA تصرف أشباه الموصلات في مدى بحدود (0-4.5mv) عند درجة حرارة 25°C (الشكل 6).

كما أظهرت نتائج I-V انخفاضا بطيئا عند كل زيادة صغيرة في الجهد، حيث كان هذا غير مؤكد خاصة في الجهد الأقل لأن التيار كان صغيرا وأي تغيير صغير نسبيا (يحدث ببطء شديد) يمكن أن يؤثر على القياسات بشكل ملحوظ، ومع ذلك كانت نتائج التيار عند التحيز الأعلى أكثر دقة منه حيث انخفض التيار أصغر بكثير ويمكن إهماله مقارنة بشدة التيار المقاسة (De Yu Zang et al[15]).

كما أظهرت خصائص منحنى I-V المقاسة من خلال جزيئات الحمض النووي سلوك غير خطي، وعند الجهد المنخفض جدا لا يمكن قياس أي تيار، بينما يرتفع التيار بسرعة فوق عتبة جهد معين. إلى جانب ذلك، يوجد تباطؤ كبير وفقاً لاتجاه الجهد سالب أو موجب. يدرس بحثنا أيضاً تأثير منحنى I-V على درجة الحرارة، ووجدنا أنه مع زيادة درجة الحرارة فإن التوصيل يزداد وتقل فجوة الجهد وهذا يتفق مع نتائج J. O. Lee et al[16] وآخرون.

(magnetic sensor) (Khatir et al[14])، كما يمكن أن يكون الحمض النووي أشباه موصلات في ظل ظروف معينة.

يوضح الشكل (6,5) خصائص I-V للعبئة التي قمنا بقياسها في درجة حرارة الغرفة 25°C لمدة 5min و 10min على التوالي مع المقاومة $R \cong 76 \Omega$ كما موضح في الجدول (3).

جدول (3) قيم المقاومة الكهربائية لـ DNA مقارنة بتغير درجة الحرارة والزمن

درجة الحرارة	الزمن	القيمة الابتدائية للمقاومة	القيمة النهائية للمقاومة قبل انهيار العينات
1°C	5min	90KΩ	22KΩ
25°C	5min	264Ω	76Ω
25°C	10min	257KΩ	79.4Ω

عند الجهد المنخفض، لا يمكن قياس التيار، بينما يرتفع التيار بسرعة فوق عتبة معينة من الجهد الكهربائي. بالإضافة إلى ذلك، يحدث تباطؤ كبير من خلال مقارنة عمليات صعود وهبوط الجهد. وهذا مماثل لنتائج الدراسات السابقة [21-10].

نحن نتوقع أن فجوة الجهد أو التباطؤ الجزئي على الأقل يرتبط بالاتصالات بين الأقطاب الكهربائية المعدنية وجزيئات الحمض النووي، حيث يجب دراسة التأثير الذي تسببه أقطاب الاتصال مع الحمض النووي.

أيضاً تم قياس منحنيات I-V عند درجات حرارة مختلفة مع تقليل الجهد وزيادة درجة الحرارة، تزداد الموصلية وتصبح فجوة الجهد أضيق. تختلف هذه النتائج عن النتائج التجريبية التي أبلغ عنها D. Porath وآخرون (D. Porath et al[21])، حيث أعطت قياساتهم اتساع في فجوة الجهد في منحنيات I-V عند زيادة درجة الحرارة، وقد يعزى هذا الاختلاف إلى عاملين. الأول هو الاختلاف في تسلسل الحمض النووي حيث أنهم استخدموا الحمض النووي مزدوج الخيط، بينما استخدمنا جزيئات حمض نووي طبيعية لها تسلسلات مختلطة في الواقع. كما أن العشوائية في تسلسل زوج القاعدة قد تؤدي إلى توطين ناقلات الشحن وتقليل معدل نقل الإلكترونات (HAYASHI et al[24]).

وتوافقت نتائجنا مع نتائج الدراسات السابقة على غرار النتائج D. Porath وآخرون (D. Porath et al[21])، من حيث كونها أعطت منحنيات I-V اللاخطية.

التفسير الآخر المحتمل هو الاختلاف في عدد جزيئات الحمض النووي المنتقلة كهربائياً في قياساتهم. في تجاربنا عدد كبير نسبياً من جزيئات الحمض النووي انتقل بين الأقطاب الكهربائية، وكان التوصيل بين جزيئات الحمض النووي حساس لدرجة الحرارة، ونتج عنه اختلاف اعتماداً على درجات الحرارة (HAYASHI et al[24]).

وأخيراً تشير هذه النتائج إلى أن شكل جزيئات الحمض النووي عامل مهم آخر لنقل الشحنات في الحمض النووي، وأن الموصلية الكهربائية تزداد مع زيادة درجة الحرارة وتصبح فجوة الجهد أضيق.

إضافة إلى ذلك عند جهد المنخفض 2.0 ملي فولت، تحدث عملية نقل الشحنة في مدى طاقة صغير، ونظرًا لأن عدد الحالات المشاركة في

العملية صغير، فإن التيار المتحصل عليه صغير جدًا. ومع زيادة الفولتية فإن عدد الحالات التي تشارك في عملية النقل في زيادة، لذلك يزيد التيار بشكل كبير مع الفولتية.

يميل التيار الذي يكون دالة في الجهد إلى الانخفاض عندما ترتفع درجة الحرارة، وذلك بسبب زيادة عدم الانتظام الهيكلي في جزيء الحمض النووي وبالتالي تعطيل عملية نقل الإلكترونات (M. Hutter et al[28]) و (Yudiarsah E et al[29])، مع زيادة درجة الحرارة يبدأ التيار في الانخفاض والجهد يصبح أعلى، ويستمر التيار في الزيادة مع الجهد ليصل الجهد إلى قيمة جهد العتبة ثم يتناقص. وتوضح هذه النتائج إلى حدوث تغييرات في داخل بنية وشكل الجزيء الذي يؤثر على الخصائص الإلكترونية ومنحنى I-V للجزيء.

أي أن ارتفاع درجة الحرارة يسبب انخفاض التيار الكهربائي لأن التقلبات الحرارية تجعل بنية جزيء الحمض النووي تصبح غير منتظمة أي تعيق عملية النقل. بالإضافة إلى ذلك، تؤدي الزيادة في درجة الحرارة أيضًا إلى زيادة الجهد لأن التيار يبدأ في الانخفاض.

الجزء الثاني من البحث يهدف إلى دراسة تأثير إشعاع جاما على تكسر شرائط الحمض النووي، ولاحظنا وجود ضرر بسيط ناتج عند التعرض لهذه الأشعة بجرعات إشعاعية و فترات زمنية مختلفة.

وبفحص الحمض النووي DNA بتقنية التصوير بجهاز UV وجدنا أنه لا يحدث تلف يذكر في أشرطة الحمض النووي عند تعريضه لمصدر أشعة جاما Co^{60} ولزمن 5min و 10min حيث كان معدل العد كما هو مبين في الجدول (2)، وظهر تأثير طفيف جدا عند زمن 45min، والشكل (7) يبين هذا التأثير الطفيف.

تم حساب معدل الجرعة الإشعاعية الممتصة في الهواء بوحدة ($\mu Gy/hr$) والجرعة المكافئة بوحدة ($\mu Sv/hr$)، والجدول (4) يبين معدل الجرعة الإشعاعية الممتصة في الهواء (D) محسوبة بالمعادلة (2) يقابلها معدل العد لعداد جايجر بعد طرح الخلفية الإشعاعية لكل عينة على فترات زمنية مختلفة، ويقابلها الجرعة المكافئة (H) بوحدة ($\mu Sv/hr$)، حسب المعادلة (3).

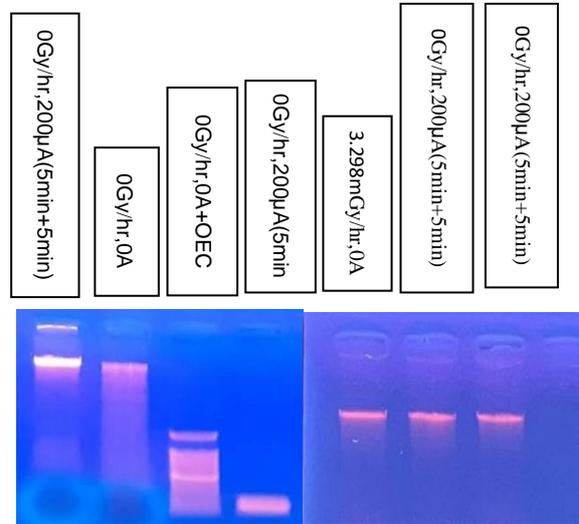
جدول (4) معدل التعرض الإشعاعي مطروح منه الخلفية الإشعاعية والجرعة الإشعاعية لكل عينة عند فترات زمنية مختلفة

رقم العينة	الزمن	معدل العد لعداد جايجر Counts	معدل الجرعة الإشعاعية ($\mu Gy/hr$)	الجرعة المكافئة $\mu Sv/hr$
1	5min	304.5	375.5	375.5
2	10min	663.5	831.13	831.13
3	45min	2.563×10^3	3.298×10^3	3.298×10^3
4	1hr	377.5	467.57	467.57
	1.5hr	5.74×10^3	7.517×10^3	7.517×10^3
	2hr	7.66×10^3	10.08×10^3	10.08×10^3
	1hr	3.93×10^3	5.10×10^3	5.10×10^3
	1.5hr	5.96×10^3	7.80×10^3	7.80×10^3
5	2hr	7.92×10^3	10.43×10^3	10.43×10^3
	2.5hr	9.95×10^3	13.16×10^3	13.16×10^3
	3hr	11.84×10^3	15.72×10^3	15.72×10^3

- [3]- Watson, J.D. and Crick, F.H.C. Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid. Nature 171,737-738 (1953).
- [4]- Alberts B, Johnson A, Lewis J, Raff M, Roberts K, Walter P. Molecular Biology of the Cell. 4th ed. New York: Garland Science; 2002.
- [5]- Crick, F.H.C. in Symposia of the Society for Experimental Biology, Vol. 12, Edn. 138-638 (1958).
- [6]- Crick, F. Central dogma of molecular biology. Nature 227, 561-563 (1970).
- [7]- Temin, H.M. and Mizutami, S. RNA-dependent DNA polymerase in virions of Rous sarcoma virus. Nature 226, 1211-1213 (1970).
- [8]- Mc Carthy, B.J. and Holland, J.J. Denatured DNA as a direct template for in vitro protein synthesis. Proceedings of the National Academy of Sciences 54, 880-886 (1965).
- [9]- Persson, F. and Tegenfeldt, J.O. DNA in nanochannels-directly visualizing genomic information. Chemical Society Reviews 39,985-999 (2010).64
- [10]- E N Sinurat, E Yudiarsah, I-V characteristics on G4 DNA molecule: Electric field and current dependent hopping amplitude model, IOP Conf. Series: and Engineering 578 (2019)
- [11]- Heim, Deresmes, and Vuillaume, Conductivity of DNA probed by conducting-atomic force microscopy: Effects of contact electrode, DNA structure, and surface interactions J. Appl. Phys., Vol. 96, No. 5, 1 September 2004
- [12]- Kratochvílová et al. Conductivity of natural and modified DNA measured by scanning tunneling microscopy .The effect of sequence, charge and stacking, Biophysical Chemistry 138 (2008) 3–10.
- [13]- Vengadesh Periasamy, Nastaran Rizan¹, Hassan Maktuff Jaber Al-Ta'ii¹, Yee Shin Tan, Hairul Annuar Tajuddin⁴ & Mitsumasa Iwamoto⁵, Measuring the Electronic Properties of DNA-Specific Schottky Diodes.Towards Detecting and Identifying Basidiomycetes DNA, Scientific RepoRts | 6:29879 | DOI: 10.1038/srep29879.
- [14]- Nadia Mahmoudi Khatir, Seyedeh Maryam Banihashemian, Vengadesh Periasamy, Wan Haliza Abd Majid, Saadah Abdul Rahman, Current-Voltage Characterization on Au-DNA-Au Junctions under the Influence of Magnetic Field, Advanced Materials Research Vols. 535-537 (2012) pp 1350-1353.
- [15]- De Yu Zang and James G. Grote, Photoelectrical effect and current-voltage characteristics in DNAmetal Schottky barriers, Proc. of SPIE Vol. 6470 64700A-1.
- [16]- J. O. Lee , K. -H. Yoo and JinheeKim, J. J. Kim, S. K. Kim, Electrical Transport Properties of DNA Molecules, Journal of the Korean Physical Society, Vol. 39, December 2001, pp. S56~S58.
- [17]- Endres R G, Cox D L and Sing R R P 2004 Rev. Mod. Phys. 76 195-214

حيث كانت أعلى جرعة إشعاعية تم الحصول عليها بعد زمن 3hr وعلى مسافة 7cm بين مصدر الإشعاع والحمض النووي DNA هي $15.72\mu Sv/hr$ وهي أقل بكثير من الجرعة الإشعاعية المسموح بها حسب منشور اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع (ICRP) بمنشورها الصادر سنة 1991 الذي يبين حدود الجرعات المسموح بها للوقاية من الإشعاع. إضافة إلى ذلك، عند فحص الحمض النووي بمطاياف الأشعة فوق البنفسجية UVP بعد تعرضه لمصدر أشعة جاما CO^{60} وعلى مسافة 7cm بين المصدر المشع وعينة DNA وعلى عدة فترات زمنية، والمبينة في الجدول (4) من 5min إلى 3hr تبين عدم وجود تلف واضح في أشرطة DNA وتم التأكد من وجود حزم DNA انظرشكل (7).

وبين الشكل (7) وجود حزم DNA، أولاً عند تعرضها لمصدر أشعة جاما CO^{60} ، حيث تبين وجود الحزمة عند تعرضه لـ $3.298\mu Sv/hr$ هي أعلى جرعة إشعاعية تم الحصول عليها في زمن 3hr، وثانياً عند تعرضه لمصدر تيار كهربائي لا تزيد شدته عن $200\mu A$ بزمن (5min, 10min) ومقارنتها بعينة الشاهد $0\mu Sv/hr, 0A$ وعينة توصيل الدائرة الكهربائية بدون تمرير تيار $0A, 0Gy/hr, 0A$ لفترة (5min) كما مبين بالشكل (7)، هذا ونتوقع وجود طفرات في الحمض النووي والتي يمكن الكشف عنها بتقنية PCR وتحليل نتائج اختبار التتابع (Sequencing).



الشكل (7) DNA عند تعرضه لمصدر أشعة جاما CO^{60} بمعدل جرعة إشعاعية Gy/hr وشدة التيار ب μA ، ودرجة الحرارة $25^{\circ}C$ لكل العينات (*OEC=Open Electric Current)

المراجع

- [1]- Spielmann, H.P, Wemmer, D.E. and Jacobsen, J.P, Solution Structure of a DNA Complex With the Fluorescent Bis-Intercalator TOTO Determined by NMR Spectroscopy. Biochemistry 34, 8542-8553 (1995).
- [2]- Lindahl, T. Instability and decay of the primary structure of DNA. Nature 362, 709-715 (1993).

-
- [18]- Suhendro D K, Yudiarsah E and Saleh R 2010 Phys. B Phys. Condens. Matter.405 4806–4811
- [19]- Schmidt B B, Hettler M H and Schön G 2007 Phys. Rev. B 75 115125. 24
- [20]- H. W. Fink and C. Schonenberger, Nature 398, 407 (1999). 20
- [21]- D. Porath, A. Bezryadin, S. de Vries and C. Dekker, Nature 403, 635 (2000).
- [22]- D Ullien et al, The effect of the number of parallel DNA molecules on electric charge transport through 'standing DNA, Nanotechnology 18 (2007) 424015.
- [23]- Kang D, Sun M, Zuo Z, Wang H, Lv S, Li X and Li L 2016 Phys. Lett. A 380 .977–982.
- [24]- HAYASHI, Miyoko, Satori HAYASHI, Absolute Dose Rate Measurement of Very Soft and Weak X-rays by Means of a GMcounter, JOURNAL OF RADLATION RESEARCH 5-3-4 172- 182 (Sept, Dec, 1964).
- [25]- S.W. Li, Y.S. Li, K.C. Tsui, Radioactivity in the atmosphere over Hong Kong, Journal of Environmental Radioactivity 94(2007) 98-106
- [26] Rabee B. Khader, Measure the Background Radiation in Some Parts of Nineveh Province, Rafidain journal of science, volume 21,2,p92-104,2010
- [27]- Jacob Shapiro, Radiation Protection, Third Edition 1990, Harvard University Press, Cambridge.
- [28]- M. Hutter and T. Clark, J. Am. Chem. Soc. 118, 7574 (1996).
- [29]- Yudiarsah E, Suhendro D K and Saleh R 2014 AIP Conf. Proc. 1617 35.

The effect of temperature on I-V characteristics and gamma rays on DNA molecule structure

Shafya Ali Aldenfaria^{1*}, Fathi Bawa², Mustafa Drah³, Afaf Abdo Albaqi⁴, Marwa Tarium⁵, Fatma Alhota⁶

^{1,2,4,5,6}Physics department, Faculty of science, Misurata University

³Genetics and biotechnology department, Faculty of science, Misurata University,

*Email:- S.aldenfaria@sci.misuratau.edu.ly

Article information	Abstract
<p>Key words <i>DNA, electric current, electric voltage, damage, resistance.</i></p> <p><i>Received 11 08 2024,</i> <i>Accepted 15 09 2024,</i> <i>Available online dd mm</i> <i>yyyy</i></p>	<p>In the first part of this research, the I-V curves of DNA were studied at two temperatures (1°C ,25°C) and the identification and detection of DNA strands. The second part of the study using the effect of CO⁶⁰ radiation on DNA. UV radiation and radioactivity calculation in time periods (from 5 minutes to 3 hours) are also studied as well.</p> <p>The results of the research in the first part of the study showed that the DNA is a semiconductor material in the range of (0-3.5V) at a temperature of (1°C) for a period of (5 min), and at a temperature of (25°C) the DNA showed a semiconductor behavior in the range of (0-2mV) for a period of (5 min), and at exposed for an additional 5 min, the DNA molecule showed semiconductor behavior at values of (0-4.5V) at a temperature of (25°C). In addition, the resistance of the molecule is affected by the two temperatures, and the breakdown of the semiconductor material occurs at a current value of no more than (200μA) and voltage values of (3.5V) and (4V) at (0.1°C) and (25°C) respectively.</p> <p>Our study provides practical, important data and results to know the movement of charges and the resistance of DNA at different temperatures, as well as radiation protection and avoid damage or genetic mutations.</p>