

## التبادل البروتوني في الجملة غلوكوز - ماء، والجملة حمض البول - ماء

الدكتور سمير معروف\*

(تاريخ الإيداع 7 / 12 / 2006. قُبل للنشر في 27/2/2007)

### □ الملخص □

لقد تبين من خلال دراسة الجملة غلوكوز - ماء، والجملة حمض البول - الماء، أن تشكل محلول هاتين الجملتين يرتبط بشكل رئيس بالتأثير المتبادل مانح - آخذ لذرة هيدروجين الماء مع ذرة أوكسجين المادة العضوية (سكر الغلوكوز، حمض البول)، أما بالنسبة لعملية التبادل البروتوني الحاصلة في جملة الروابط الهيدروجينية لهذين المحلولين، فهي عملية متكاملة تجري بوساطة الآلية - النفقية (انتقال البروتون عبر الجسر الهيدروجيني المتشكل في هذه البنية).

تكون هذه العملية (التبادل البروتوني) سريعة جدا عند التراكيز المنخفضة لكل من السكر والحمض، وذلك بسبب قدرة هذه المركبات على تشكيل عدد أكبر من الروابط الهيدروجينية، التي تكوّن جسرا يساعد على انتقال البروتون ضمن البنية المتشكلة (غلوكوز - ماء، حمض البول - ماء). أما في حال التراكيز العالية، فإن هذه العملية تكون بطيئة جدا، نظرا لزيادة لزوجة المحلول التي تؤدي دورا مهماً في تحطيم البنية السابقة، وبالتالي تحطيم عدد أكبر من الروابط الهيدروجينية.

**كلمات مفتاحية:** جملة غلوكوز - ماء، جملة حمض البول - ماء، التبادل البروتوني، الآلية النفقية.

\*مدرس في قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## Proton Exchange in Systems: Glucose – Water and Uoric Acid - Water

Dr. Samer Maarof\*

(Received 7 / 12 / 2006. Accepted 27/2/2007)

### □ ABSTRACT

It is clear that formation of glucose-water and uric acid-water solutions is related in principle to interaction acceptor – donor between hydrogen atom in water and oxygen atom in glucose or uric acid. The proton exchange in hydrogen bond system is an integral process and it goes by tunnel mechanism (transfer of proton within the hydrogen bridge in these structures).

Proton exchange process goes very quickly at low concentrations for glucose and uric acid solutions, because these compounds are able to form more than one hydrogen bond, which helps the proton transfer within obtained structure. However, at its high concentrations, the process becomes very slow due to higher viscosity of its solutions, which result in break down of the structures, and more hydrogen bonds.

**Keywords:** Glucose-water solution, Acid uric, Water solution, Proton exchange, Tunnel mechanism.

---

\* Assistant Professor, Chemical Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Tishreen University, Lattakia.

## مقدمة:

امتلكت مزائج المحلات العضوية - المائية، قديما وفي الوقت الحاضر، أهمية كبيرة في دراسة التفاعلات الكيميائية، وتوضيح آليتها [1] من أهم الصفات المميزة لها، وذلك بسبب قدرتها على تشكيل الروابط الهيدروجينية بين الجزيئات، التي بدورها تحدد نوعية المحل الضرورية لدراسة هذه التفاعلات. ينحصر الدور الهام لهذه الرابطة في تأمين عملية انتقال البروتونات بين الجزيئات في معظم العمليات الحيوية. يعطي تحديد مواضع هذه البروتونات المشكلة لهذه الروابط، ودورها في آلية العملية الكيميائية الحاصلة ليس فقط قيمة ثمينة في نظرية التفاعل في الحال الناجمة عن الطور غاز - سائل، وإنما أيضا وصفا حقيقيا للعمليات التكنولوجية الحاصلة فيها.

يتحدد مكان البروتون في الجسر الهيدروجيني بأمرين [3,2]: (1) بتأثير مركبات التفاعل على عملية النقل البروتوني، (2) تأثير شوارد الكهوليتات المختلفة، إضافة إلى عوامل أخرى.

تعد الجملة غلوكوز - ماء، والجملة حمض البول - ماء من الجمل الهامة لدراسة عملية التبادل البروتوني، لما لهما من علاقة بالجسم الحي، ووجود الماء بنسب كبيرة فيه. لذلك فإن إيجاد الآلية المناسبة للتأثير المتبادل بين هذه المواد يشكل أهمية نظرية وتطبيقية.

## الهدف من العمل:

يتلخص هدف هذا العمل في تحديد أهم الثوابت المميزة لعملية النقل البروتوني، مثل ثابت سرعة التفاعل، وثابت التوازن، وأزمنة الاسترخاء، وطاقة التنشيط، وغيرها من المعاملات الفيزيائية الكيميائية، والحركية.

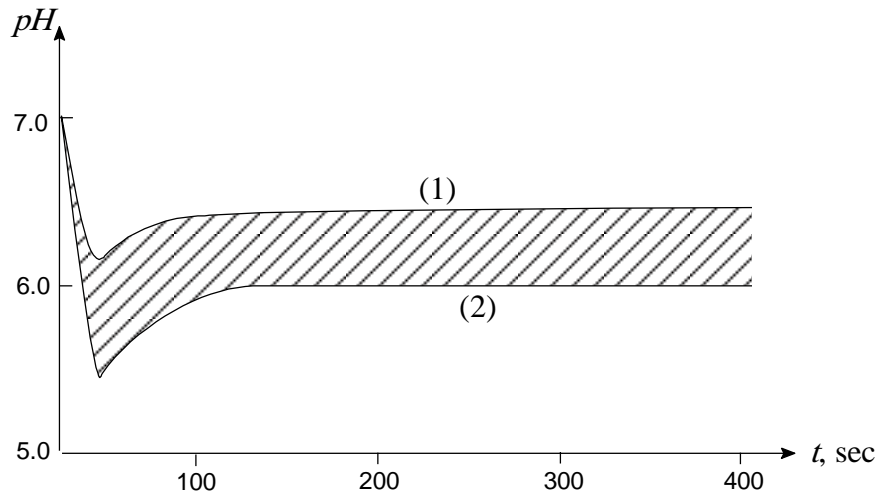
## طريقة العمل، والمواد، والأجهزة المستخدمة:

إن الماء المستخدم هو ماء مقطر عرض مرتين للتجميد [4]، أما السكر والحمض استخدما بشكلهما النقي، وقد تم التأكيد على أن نسبة الرطوبة فيهما صغيرة جدا، ولا تؤثر في نتيجة هذه الدراسة [5].

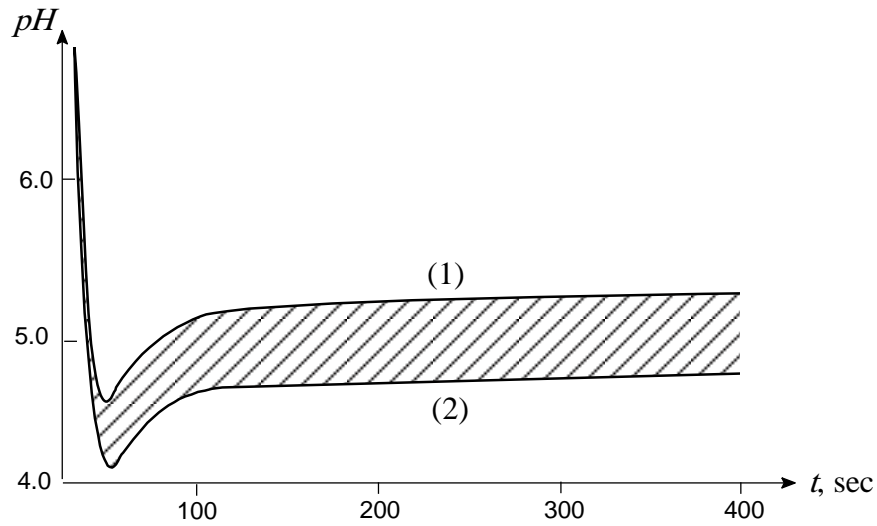
تم تحضير المحاليل بطريقة التركيز الحجمي، وقيست قيم pH لهما بوساطة جهاز pH-meter بدقة عالية، أما أطياف NMR فقد تم الحصول عليها بمساعدة مركز البحوث العلمية بدمشق.

## القياسات والحسابات:

تم قياس درجة pH للمحاليل المختلفة التركيز من الغلوكوز، وحمض البول في الماء عند أزمنة مختلفة (قياس واحد كل 15 ثانية)، (الشكل 1 و 2).

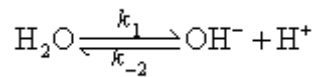


الشكل (1): منطقة تغير pH مع الزمن لتراكيز مختلفة من الغلوكوز في الماء: (1) التراكيز المنخفضة  $10^{-4}$ ، (2) التراكيز المرتفعة  $10^{-1}$ .



الشكل (2): منطقة تغير pH مع الزمن لتراكيز مختلفة من حمض البول في الماء: (1) التراكيز المنخفضة  $10^{-4}$ ، (2) التراكيز المرتفعة  $10^{-1}$ .

يعد التفاعل الحاصل في هذه العملية من المرتبة الأولى بالنسبة إلى (جليكوز D -  $\beta$  ← جليكوز D -  $\alpha$ ) و (حمض البول ← حمض البول  $\beta$ )، أما بالنسبة إلى الماء فهو من المرتبة الأولى للتفاعل المباشر، ومن المرتبة الثانية للتفاعل العكسي:



وبناء على ذلك فقد تم حساب  $k_1$  و  $k_{-2}$  من العلاقتين الآتيتين:

$$k_1 = \frac{1}{t} \ln \frac{a}{a-x} \quad ; \quad k_{-2} = \frac{1}{t(a-b)} \ln \frac{b(a-x)}{a(b-x)}$$

إذ يمثل  $a$  و  $b$  التراكيز الأولية لمواد التفاعل العكسي، و  $x$  كمية المادة المتفاعلة. أما بالنسبة إلى زمن الاسترخاء  $\tau$ ، فتم حسابه باستخدام العلاقة الآتية:

$$\tau = \frac{1}{k_1 + k_{-2} ([H^+] + [OH^-])}$$

وحسب ثابت التوازن من العلاقة الآتية:

$$K_e = \frac{k_{-1}}{k_{-2}}$$

وتم تطبيق علاقة أرينوس الآتية من أجل قيم طاقات التنشيط  $E_1$  و  $E_{-2}$ :

$$k = Ae^{-E_i/RT}$$

إذ إن  $A = kT/h$ ،  $k$  - ثابت بولتزمان، و  $h$  ثابت بلانك. يوضح الجدول (1) قيم الثوابت الحركية المحسوبة اعتماداً على العلاقات السابقة، والعلاقة  $[H^+] = 10^{-pH}$  من أجل حساب تركيز شوارد الهيدروجين. أما فيما يتعلق بمطيافية NMR، فقد سحبت أطياف الجمل المدروسة عند درجة حرارة معينة (درجة حرارة الغرفة  $25^\circ C$ ). يبين الجدول (2) قيم الانزياحات الكيميائية ( $\delta$ ) لها.

الجدول (1): قيم الثوابت الحركية للجملتين: غليكويز - ماء، و حمض البول - ماء.

C, mol/L		$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-2}$
$k_1$	غليكويز+ماء	$8.4 \times 10^{-3}$	$6.8 \times 10^{-3}$	$9.1 \times 10^{-3}$	$6.7 \times 10^{-3}$	$12.0 \times 10^{-3}$
	حمض بول + ماء	$14.7 \times 10^{-3}$	$10.6 \times 10^{-3}$	$18.0 \times 10^{-3}$	$13.7 \times 10^{-3}$	$10.46 \times 10^{-3}$
$k_{-2}$	غليكويز+ماء	$4.7 \times 10^{-7}$	$3.8 \times 10^{-5}$	$2.02 \times 10^{-4}$	$3.72 \times 10^{-3}$	$2.7 \times 10^{-2}$
	حمض بول + ماء	$9.0 \times 10^{-7}$	$6.0 \times 10^{-5}$	$4.0 \times 10^{-4}$	$7.7 \times 10^{-3}$	$2.3 \times 10^{-2}$
$K_e$	غليكويز+ماء	$1.8 \times 10^{-10}$	$1.8 \times 10^{-8}$	$4.05 \times 10^{-7}$	$1.8 \times 10^{-6}$	$4.5 \times 10^{-5}$
	حمض بول + ماء	$1.55 \times 10^{-10}$	$1.78 \times 10^{-8}$	$4.5 \times 10^{-7}$	$1.79 \times 10^{-6}$	$4.5 \times 10^{-5}$
$\tau(s)$	غليكويز+ماء	$10.7 \times 10^{-5}$	$13.2 \times 10^{-4}$	$4.95 \times 10^{-3}$	$13.44 \times 10^{-3}$	$3.7 \times 10^{-2}$
	حمض بول + ماء	$6.0 \times 10^{-5}$	$8.4 \times 10^{-4}$	$2.5 \times 10^{-3}$	$6.5 \times 10^{-3}$	$4.35 \times 10^{-2}$
$E_1$	غليكويز+ماء	20.28	20.4	20.22	20.41	20.06
	حمض بول + ماء	19.94	20.13	19.82	19.98	20.15
$E_{-2}$	غليكويز+ماء	6.98	9.84	11.57	12.57	14.13
	حمض بول + ماء	6.6	9.56	11.17	12.14	14.22
$\Delta H$	غليكويز+ماء	13.3	10.57	8.65	7.84	5.93
	حمض بول + ماء	13.34	10.57	8.65	7.84	5.93

ملاحظة: يعبر عن طاقات التنشيط، والإنثالبية بوحدة kcal/mol.

الجدول (2): قيم الانزياح الكيميائي  $\delta(ppm)$  لمحاليل غلوكوز - ماء، وحمض البول - ماء عند تراكيز مختلفة، ودرجة حرارة ثابتة (25 °C). إن الإشارة المرجعية للماء النقي هي  $\delta_{H_2O} = 4.75 ppm$  (T = 25 °C).

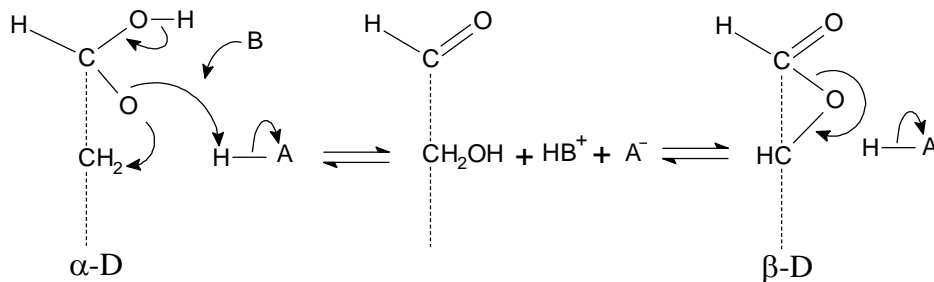
C, mol/L \ $\delta(ppm)$	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-2}$
غلوكوز + ماء	4.69	4.66	4.63	4.61	4.60
حمض بول + ماء	4.70	4.67	4.64	4.62	4.61

## مناقشة النتائج:

من المعروف أن عملية انحلال السكر في الماء هي عملية فيزيائية يتحول فيها السكر من الشكل المغلق إلى الشكل المفتوح (الألدهيدي) لفترة قصيرة، ثم يعود إلى الصيغة المغلقة، إذ تكون كمية الشكل الألدهيدي في نهاية العملية قليلة جداً (حوالي 2% وأقل من ذلك) [6]. إن هذا يدل على أن قيمة pH يجب أن تبقى ثابتة نظرياً. بينما نلاحظ هنا تغيراً ملحوظاً عملياً لهذه القيمة، انظر الشكل (1) و (2)، يكون هذا التغير الحاصل في قيمة pH المسؤول عملية التبادل البروتوني الجارية في هذه الجمل.

إن كلاً من المنحنيات في الشكل (1) و (2) يمكن تقسيمها إلى ثلاث مناطق:

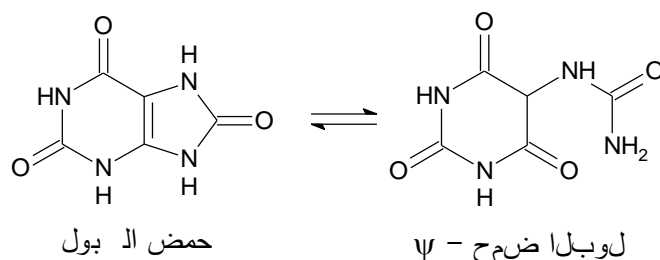
1. المنحني النازل من أعلى وحتى نقطة النهاية الصغرى  $pH = 4.19$  للتراكيز العالية، و  $pH = 4.53$  للتراكيز المنخفضة لحمض البول، ويمثل تأثير حمض البول في الماء، و  $pH = 5.49$  للتراكيز العالية، و  $pH = 6.52$  للتراكيز المنخفضة لسكر الغلوكوز، وهو يمثل تأثير السكر في الماء.
2. المنحني الصاعد من نقطة النهاية الصغرى إلى النقطة التي يستقيم بها الخط البياني، ويمثل تأثير الماء في كل من الحمض والسكر.
3. الجزء المستقيم على طول الزمن، ويعبر عن حال التوازن الحاصلة بين السكر والماء، وبين الحمض والماء. يمكن وصف عملية التأثير المتبادل بين السكر والماء بالآلية الآتية:



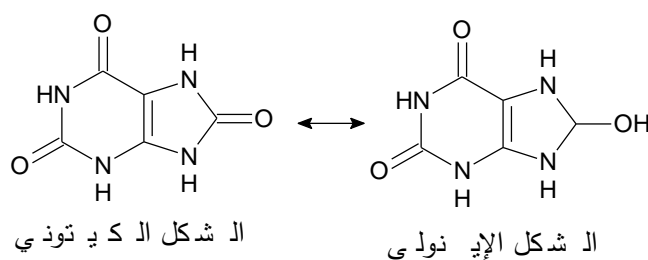
إذ يهاجم أيون الهيدروجين  $H^+$  في جزيء الماء مجموعة الألدهيد في جزيء السكر، محولاً رابطة الكربونيل من ثنائية إلى أحادية، مكوناً غلوكوزاً حلقياً.

وهنا لا بد من الإشارة إلى أن هبوط الانزياح الكيميائي يمثل دليلاً آخر على حدوث هذا التفاعل الكيميائي. ويمكن القول أيضاً هنا إن هذا التناقص في قيم pH، أو الزيادة في شوارد الهيدروجين يعزى إلى فقد هذه الشوارد

قبل السكر أو الحمض، وإعطائها للماء في المرحلة الأولى، أما فيما يتعلق بزيادة pH، فإنه يتحقق بسبب إعطاء  $\text{OH}^-$  إلى الماء، أو بكلمة أخرى، إن صعود المنحنى البياني يمثل دليلاً على فتح الغلوكون الحلقي لاسترجاع مجموعة الألدريد. بينما بالنسبة إلى حمض البول، فقد تنفتح إحدى الحلقتين المكونتين له:



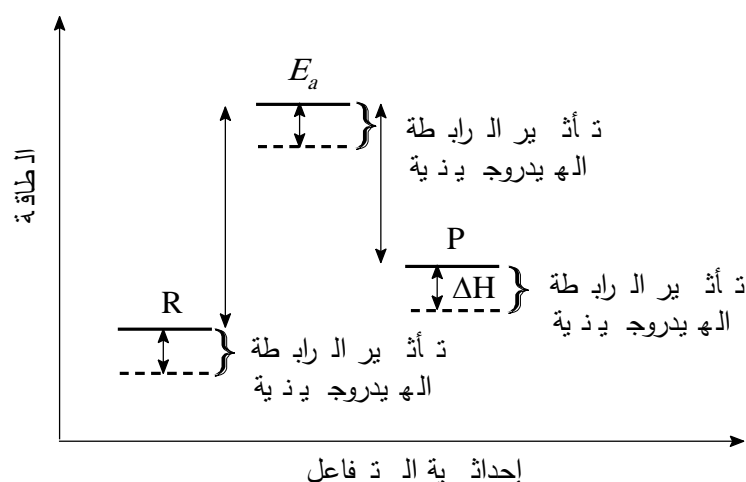
أي أن حصول التوتوميرية كبيرة جداً بوجود الماء، ويكون هناك حال توازن بين البنية الإينولية (الحاوية على المجموعة الهيدروكسيلية OH)، والبنية الكيتونية (وجود كيتون):



نلاحظ من قيم  $k_1$  للحمض والسكر في الجدول (1)، أنها متقاربة، وهي ضمن نطاق الخطأ المرتكب، أو يمكن أن تصف حال بني مختلفة متشكلة قصيرة العمر، وهي ممثلة لحال تفاعل من المرتبة الأولى (تفكك الماء)، كما هو واضح من قيمة هذا الثابت للماء عند الدرجة  $25^\circ\text{C}$  المساوية  $k_1 = 2.6 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ ، والمستنتجة من العمل [7]. وبناء على ذلك، فإن تأثير جزيئات السكر أو الحمض سوف يزيد من سرعة التفاعل (التفكك) بمقدار مرتين، أي حتى  $10^{-3}$ . أما بالنسبة إلى قيم الثابت  $k_2$ ، فنجد أنها متناسبة عكسا مع التركيز؛ مع العلم أن هذا الثابت في الحال النقية يساوي  $k_2 = 1.3 \times 10^{11} \text{mol}^{-1} \text{s}^{-1}$  [7]، وهذا يدل على مدى التأثير القوي للسكر والحمض في هذا الثابت.

تنطبق الصورة ذاتها على قيم الطاقة  $E_1$  للسكر والحمض، فهي تبدو ثابتة، وغير متعلقة بالتركيز، ومتفقة مع القيم المرجعية لتحول غلوكون -  $\beta$  ↔ غليوكوز -  $\alpha$ ، والمساوية  $E_1 = 19.0 \text{ kcal/mol}$  [7]. أما طاقة التفاعل العكسي  $E_2$  فهي تساوي للتفاعل  $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$  القيمة  $2.27 \text{ kcal/mol}$ . ونلاحظ أن هذه القيمة تزداد بزيادة التركيز (الفرق واضح بينها وبين القيمة النظرية). ويعمل ذلك بأن انخفاض طاقة التنشيط يزيد من سرعة انتقال البروتون (سرعة التبادل البروتوني)، ويزيادة التركيز تزداد لزوجة المحلول، وتزداد الطاقة، والتي تسبب في إنقاص السرعة، أي أن جزيئات السكر والماء تؤدي دوراً في تحطيم البيئة الجديدة (تحطيم الرابطة الهيدروجينية المتشكلة) في هذا التفاعل [10]، ويمكن ملاحظته من خلال قيم  $\tau$  و  $K_c$ . يمكن تمثيل الطاقة للتحويل الحاصل بين السكر والماء على الشكل (3).

تمثل  $\Delta H$  في الشكل السابق طاقة رابطة هيدروجينية واحدة متشكلة، وبالنظر إلى قيمتها في الجدول (1)، نجد أن المحاليل ذات التراكيز العالية تميل إلى تشكيل رابطة هيدروجينية واحدة، أما في حالة المحاليل الممددة جداً، فهي تميل إلى تشكيل ثلاث روابط هيدروجينية، إذ تساوي طاقة الرابطة الهيدروجينية الواحدة تقريباً القيمة  $\Delta H = 4.5 \text{ kcal/mol}$  [8]. وعليه فإن دَلَّ الأمر، فإنه يدل على أنه كلما كانت إمكانية تشكيل الروابط الهيدروجينية أكبر كانت عملية انتقال البروتونات أسرع، وهذا يتحقق في المحاليل الممددة لكل من السكر والحمض، إذ تكون عدد الجزيئات أقل، وبذلك تكون لزوجة المحلول صغيرة، والبنية المتشكلة قوية نسبياً، وهذا ما نلاحظه من قيم كل من  $k_{-2}$  و  $E_{-2}$ ، و  $\tau$ ، و  $K_e$ ، و  $\Delta H$ ، وإن الدور يكون سلبيًا لجزيئات السكر والحمض في تحطيم البنية هو الغالب، خاصة بالنسبة إلى الروابط الهيدروجينية، وبذلك فإن عملية النقل البروتوني تكون ضعيفة، وهذا واضح من خلال قيم المعاملات الحركية الأنفة الذكر.



الشكل (3): المخطط الطاقى لعملية تحول الغلوكوز  $\alpha\text{-D} \rightarrow \beta\text{-D}$ : يشير الحرف R إلى الغلوكوز المفتوح، بينما يشير P إلى الغلوكوز الحلقي.

إن تعذر دراسة هذا الجمل عند درجات حرارة مختلفة بطريقة NMR، وتقارب الانزياحات الكيميائية المسجلة لها، قلل من المعلومات التي يمكن الاستفادة منها في هذه الدراسة، وعلى الرغم من ذلك فإنها من ناحية المبدأ تدل على أمرين هاميين:

1. إن تناقص قيم الانزياح الكيميائي  $\delta(\text{Hz})$  بزيادة التركيز (الشكل 4)، والجدول (1) يتفق والنتائج السابقة في أن طاقة التنشيط تزداد بزيادة التركيز، وهذا يؤدي إلى انخفاض سرعة انتقال البروتون في هذه العملية (تحطيم الرابطة الهيدروجينية)، هنا يوضح الشكل (4) ذلك.
2. إن التأثير الأكبر لجزيئات السكر والحمض في جزيء الماء يشاهد من خلال القراءة الدقيقة لهذه الأطياف، ويتجلى ذلك في تغير عرض الإشارة الطيفية للماء.

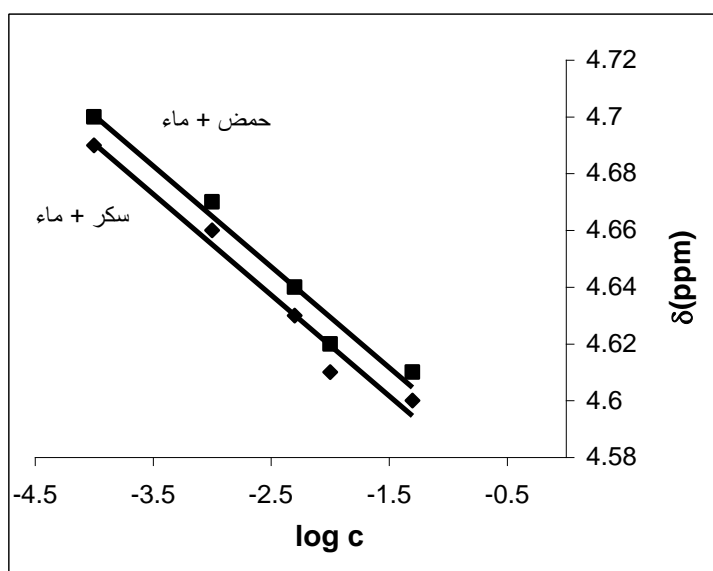
من المعروف [11,9] أنه بفضل التأثير المتبادل السبيني - السبيني للبروتونات المجاورة لجذور المركبات العضوية، يمكن أن تنقسم الإشارة الطيفية لهذه الجذور إلى عدة إشارات كما في حال  $\text{CH}_3$ ، و  $\text{CH}_2$  في جزيء



الإيتانول، إذ تنقسم الإشارة العائدة للمجموعة  $\text{CH}_3$  إلى ثلاث إشارات بنسبة شدة 1:2:1، في حين تنقسم الإشارة العائدة للمجموعة  $\text{CH}_2$  إلى أربع إشارات بنسبة شدة 1:3:3:1. إن التغير الذي يطرأ هنا هو ازدياد عرض الإشارة الطيفية للماء عما هو في الحال النقية. ويعبر حساب مساحة السطح (S) الذي تشغله هذه الإشارة المدرجة في الجدول (3) (الشكل 5)، عن سرعة استرخاء بروتونات الماء، أي كلما ازداد التركيز أصبحت سرعة استرخاء هذه البروتونات أكبر. وهذا يتفق وقيم  $\tau$  في الجدول (1)، إذ تكون عملية التبادل البروتوني متناسبة عكسا مع التركيز.

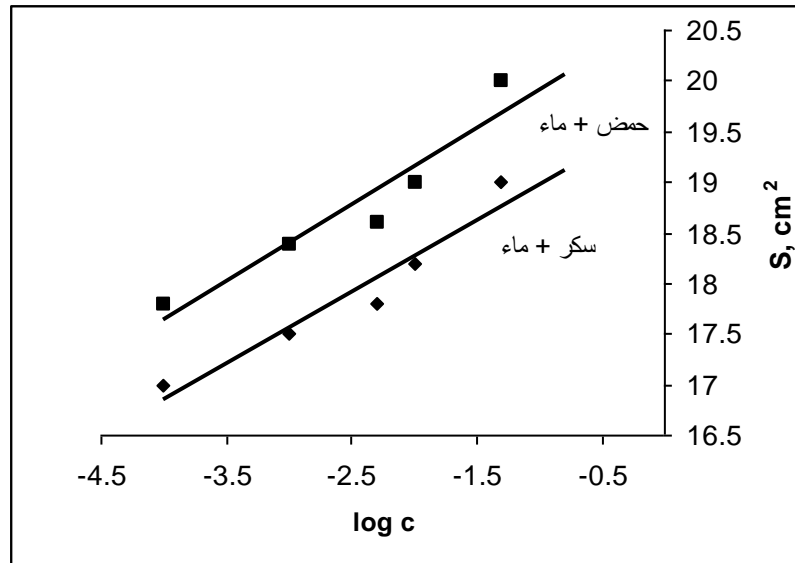
الجدول (3): مساحة سطح الإشارات الطيفية للمركبات المدروسة.

$C, \text{mol/L}$ $S(\text{cm}^2)$	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-2}$
غليكوز	17.0	17.5	17.8	18.2	19.0
حمض بول	17.8	18.4	18.6	19.0	20.0

الشكل (4): تغيرات الانزياح الكيميائي  $\delta(\text{ppm})$  مع تركيز المحاليل سكر وحمض البول ( $25^\circ\text{C}$ ).

## نتائج البحث:

1. إن تشكل المحاليل في هذه الجمل مرتبط بشكل رئيس بالتأثير المتبادل مانح - آخذ لذرة الهيدروجين مع ذرة أكسجين لجزيء مجاور (حمض البول، سكر غلوكوز).
2. تكون عملية التبادل البروتوني سريعة جدا (تشكل عدد أكبر من الروابط الهيدروجينية)، وتخفض سرعة هذه العملية عند التراكيز العالية نظرا لزيادة لزوجة المحلول، وتحطيم بعض الروابط الهيدروجينية المتشكلة.
3. إن تناقص قيمة الانزياح الكيميائي مع زيادة التركيز يدل على أن التبادل البروتوني يصبح ضعيفا، وتعد إمكانية تشكيل الروابط الهيدروجينية التي تكوّن جسرا لحدوث هذه العملية غير مرجحة، أو يحدث باحتمالية ضعيفة.
4. إن تعرّض الإشارة الطيفية للماء نتيجة تأثير جزيئات السكر والحمض تزيد من زمن استرخاء هذه العملية، وبذلك تصبح عملية انتقال البروتون ضمن هذه البنية المتشكلة بطيئة جدا.



الشكل (5): تغيرات مساحة الإشارة الطيفية (S) مع تركيز المحاليل سكر وحمض البول (25 °C).

## المراجع:

1. Неводные растворы в химии, Новая Техника и Технологии. ЖВХО и М.Д.И. Менделеева, 1985, p 134-147, №5.
2. WEINBERG; J., ZIMMERMAN; J. R., J. Chem. Phys., V. 23, 1965, p. 743.
3. GUTOWSKY; K. S., HOLU; C. H., J. Chem. Phys., V. 25, 1965, p. 1228.
4. КАРЯКИН Ю; В., АНГЕЛОВ; И. И., Чистые Химические Вещества. М. "Химия", 1974, 407 с.
5. МИТЧЕИ; Дж., СМИТ; Д., Аквометрия, М., "Химия", 1980, 600 с.
6. ГРАНДБЕРГ; И. И., Органическая Химия, М., "Высшая школа", 1987, 480 с.
7. БАРОН; Н. М., КВЯТ; Э. И., Краткий справочник физико-химических величин. "Химия", М. 1965, 159 с.
8. СОКОЛОВ; Н. Д., Водородная связь. М., "Наука", 1981, 285 с.
9. ЭМСЛИ; Дж., ФИННЕЙ; Дж., САТКЛИФ; А., Спектроскопия ЯМР высокого разрешения. М., "Мир", 1968, 62 с.
10. CASTALDI; M., D'ERRICO; G., PADUANO; L., and VITAGTALIANO; V., *Transport Properties of the Binary System Glucose-Water at 25 °C. A Velocity Correlation Study*, J. Chem. Eng. Data, 43 (4), 1998, 653 -657. MORAN, G. R. and JEFFEREY, K. R. *A study of the molecular motion in glucose/water mixtures using deuterium nuclear magnetic resonance*, The Journal of Chemical Physics, Volume 110, Issue 7, 1999, pp. 3472-3483.
11. OH JI YOUNG; SEO, JEONG-AH; KIM, HUNG KOOK; HWANG, YOON-HWAE, *Study of dielectric relaxations in glucose-water mixtures*, SLOW DYNAMICS IN COMPLEX SYSTEMS: 3rd International Symposium on Slow Dynamics in Complex Systems. AIP Conference Proceedings, Volume 708, 2004, pp. 689-690.