

## 2- التركيب الكيماوي للأغذية Chemical Composition of Foods

الأستاذ الدكتور / محمد مدهت موسى

الأستاذ الدكتور / محمد محمود يوسف

قسم علوم وتكنولوجيا الأغذية - كلية الزراعة - جامعة الإسكندرية

### 1-2 مقدمة

تتأتى أهمية معرفة التركيب الكيماوي للأغذية من خلال عدة محاور أساسية يمكن إيجازها على النحو التالي :

أولاً: تحديد الخواص ذات الأهمية في تحديد ما يسمى بالجودة العالية **high quality** مع تحديد درجة السلامة **safety** للغذاء .

ثانياً: تفهم التفاعلات الكيماوية والكميوقحيوية التي تؤثر سلباً على جودة وسلامة الغذاء.

ثالثاً: إيجاد تكامل بين المحورين السابقين بغية الوصول لمفهوم متكامل يحدد ماهية التغيرات التي تؤثر على جودة وسلامة الغذاء .

رابعاً: تطبيق المفهوم المتكامل المتحصل عليه تحت الظروف المختلفة من تشكيل وتصنيع وتخزين الغذاء.

وبدئى ذى بدء فإننا ننوه إلى أنه من الصعوبة بمكان تناول موضوع التركيب الكيماوي للأغذية بالتفصيل فى باب من أبواب هذا الكتاب إذ أن الموضوع تتلوه كتب بكاملها ، لذا فإن ماسنحاوله فى هذا الباب هو لقاء الضوء على المركبات الرئيسية الموجودة بالأغذية وتفاعلاتها الأساسية التي تؤثر على الغذاء سلباً أو إيجاباً أضف إلى ذلك تأثر كل من هذه المركبات بالمؤثرات الطبيعية ، والكيماوية ، والحيوية التي يتعرض لها الغذاء خلال التناول والتصنيع والتخزين.

### 2-2 الماء Water

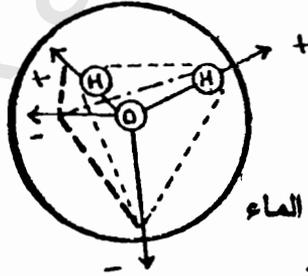
الماء مكون هام جداً بالأغذية وهو يتواجد كـمكون يدخل وخارج الخلية فى الأغذية النباتية ويعمل بمثابة وسط للانتشار أو كـمذيب. كذلك قد يتواجد الماء كوسط منتشر **dispersed phase** كما هو الحال فى المستحلبات الغذائية كالزبد والمرجرين. وتتفاوت نسب الماء تبعاً لنوع الغذاء ففى الفواكه اللطازجة تتراوح نسبة الماء

(الرطوبة) من 65.4% في الأفوكادو إلى 88.8% في العنب أما في الخضروات الطازجة فتتراوح نسب الرطوبة من 74.3% في البسلة الخضراء إلى 93.1% في البطيخ أما في الأسماك فتتراوح نسبة الرطوبة بها من 63.4% في السردين الخام إلى 82.6% في سمك القد (البكلاه) cod الطازج. وتتباين نسبة الرطوبة في اللحوم تبعاً لنوع اللحم وكذا نوع القطعية ونسبة الدهن بها.

## 2. 2. 1 الخواص الفيزيائية والتركيبية للماء

### Physical and Structural Properties of Water

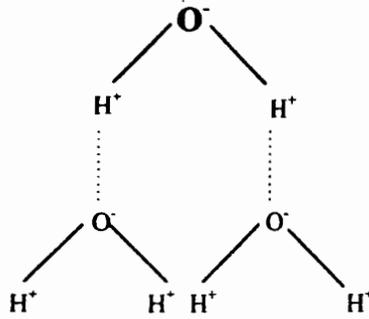
يتسم الماء والثلج بصفات فيزيائية فريدة عند درجات الحرارة المختلفة. ويرجع المسلك الفريد غير العادى للماء (وفقاً للجدول الدورى للعناصر ، كان من المفروض ان يكون الماء وهو هيدرات الاكسجين  $H_2O$  فى صورة غاز كما هو الحال فى كبريتيد الهيدروجين  $H_2S$ ) إلى تركيب جزئى الماء وقدرته على تكوين الروابط الهيدروجينية إذا اقتربت الذرات داخل الجزئ بالنسبة لبعضها البعض من خلال زاوية مقدارها  $105^\circ$  مع وجود مسافة بين نويات ذرات الهيدروجين والأكسجين مقدارها 0.0957 نانوميتر. وجزئى الماء ذو شكل كروى رباعى الأوجه Spherical quadrupole قطرة 0.276 نانوميتر حيث تتواجد نواة ذرة الأكسجين فى مركز هذا الشكل رباعى القطبية فى حين تكون الشحنات الموجبة السالبة زوايا هذا الشكل الرباعى المنتظم regular tetrahedron (شكل 2-1) .



شكل 2-1: تركيب جزئى الماء

المصدر: (1990) de Man .

ويؤدى وجود الفصل بين الشحنات بجزئى الماء إلى حدوث تجاذب قوى بين جزيئات الماء المتجاورة بمعدل أكبر من قوى التجارب العادية والمعروفة باسم قوى فان در فالس Van der Waals forces فينشأ عن ذلك تكون الروابط الهيدروجينية كما هو موضح بالشكل رقم 2-2.



شكل 2-2. تكون الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء  
المصدر : Fennema (1985)

ويبين الجدول 1-2 بعض الخواص الفيزيائية للماء والتلج .

### 2.2.2. النشاط المائي Water Activity

يمكن وصف الحالة التي يتواجد عليها الماء بالغذاء عن طريق تحديد العلاقة بين محتوى الرطوبة moisture content بالغذاء وقيمة الرطوبة النسبية relative humidity للهواء المحيط بالغذاء. ويطلق على العلاقة بين هاتين القيمتين النشاط المائي water activity ويعبر عنها بالرمز  $a_w$  والتي تعرف بأنها عبارة عن مقياس للكمية المتاحة من الصورة السائلة للماء بالغذاء ، ويعبر عنها رياضياً على النحو التالي :

$$a_w = \frac{P}{P_0}$$

حيث:

$a_w$ : قيمة النشاط المائي (تتراوح قيمتها بين الصفر والواحد الصحيح).

$P$ : إيزان الضغط البخاري للعينة.

$P_0$ : إيزان الضغط البخاري للماء النقي عند نفس درجة الحرارة.

وإذا ما تم تقدير الرطوبة النسبية مقابل كل قيمة معينة من قيم المحتوى الرطوبي بالمادة الغذائية فإن القيمة المتحصل عليها تسمى إيزان الرطوبة النسبية equilibrium relative humidity (ERH) . ويعبر عنها رياضياً  $ERH = a_w \times 100$  . وإذا ما درسنا العلاقة البيانية بين محتوى الرطوبة أو الماء (معبراً عنه بكمية الماء لكل

جدول 1-2 : بعض الخواص الفيزيائية للماء والثلج.

خواص الماء		درجات الحرارة (°م)						
		100	80	60	40	20	Zero	
	الضغط البخاري (مم زئبق)	760.0	355.2	149.4	55.32	17.53	4.58	
	الكثافة (جم/سم <sup>3</sup> )	0.9583	0.9718	0.9832	0.9922	0.9982	0.9998	
	الحرارة النوعية (كالوري/جم/°م)	1.0070	1.0023	0.9994	0.9989	0.9988	1.0074	
	حرارة التبخير (كالوري/جم)	538.9	551.3	563.3	574.7	586.0	597.2	
	التوصيل الحراري (كيلوكالوري/م/ساعة/°م)	0.585	0.576	0.561	0.540	0.515	0.486	
	التوتر السطحي (داين/سم)	58.84	62.60	66.17	69.55	72.75	75.62	
	اللزوجة (سنتيبواز)	0.282	0.355	0.466	0.653	1.002	1.792	
	معامل الانكسار	1.3180	1.3230	1.3272	1.3306	1.3330	1.3338	
	ثابت الحاجز الكهربائي	55.3	60.8	66.7	73.3	80.4	88.0	
	معامل التمدد الحراري $10^{-4} \times$	-	6.57	5.38	3.87	2.07	-	
خواص الثلج		درجات الحرارة (°م)						
		-30	-25	-20	-15	-10	-5	Zero
	الضغط البخاري (مم زئبق)	0.28	0.47	0.77	1.24	1.95	3.01	4.58
	حرارة الانصهار (كالوري/جم)	-	-	-	-	-	-	79.8
	حرارة التسامي (كالوري/جم)	662.3	-	666.7	-	672.3	-	677.8
	الكثافة (جم/سم <sup>3</sup> )	0.9188	0.9185	0.9182	0.9178	0.9175	0.9171	0.9168
	الحرارة النوعية (كالوري/جم/°م)	0.4504	-	0.4647	-	0.4770	-	0.4873
	معامل التمدد الحراري $10^{-5} \times$	3.5	3.6	3.9	4.4	5.5	7.1	9.2
	السعة الحرارية/جول/جم	-	-	1.94	-	-	-	2.06

وحدة من المادة الجافة) للغذاء وبين قيمة النشاط المائي عند درجة حرارة ثابتة فإننا نحصل على مايسمى بقيمة تماثل حرارى sorption isotherm لإمتصاص الغذاء للماء عند درجة الحرارة هذه ، وهذه العلاقة البيانية تفيد فى عمليات تركيز وتجفيف الأغذية على أساس أن سهولة إرتباط أو صعوبة إزالة الماء من المادة للغذائية يرتبط بقيمة النشاط المائى ، كذلك فإن تفهم العلاقة البيانية المشار إليها أيضا تفيد فى تحديد درجة ثبات الغذاء food stability.

ومن الأهمية بمكان أن نعلم أن هناك علاقة وثيقة بين نسبة الرطوبة بالغذاء ومدى قابليتها للتلف perishability فعمليات التركيز والتجفيف بإعتبارها طرقا لحفظ الأغذية تعتمد أساسا على خفض نسبة الماء أو الرطوبة بالغذاء مع زيادة تركيز المولدات solutes ومن ثم تحد أو تمنع تلف الغذاء ، غير أنه قد لوحظ أن الأغذية المختلفة والتي تحتوى على نفس القدر من محتوى الرطوبة قد تختلف بدرجة ملحوظة فى مدى قابليتها للتلف وعلى هذا فإن تقدير نسبة الرطوبة بالغذاء لا يعتبر وحده دليلا مؤكدا يمكن الاعتماد عليه فى تحديد درجة قابلية هذا الغذاء للتلف ؛ وقد يعزى ذلك نسبيا إلى تباين درجات إرتباط الماء مع المكونات الأخرى بالغذاء وكذا مدى شدة هذا الإرتباط إلى الدرجة التى تسبب إيقاف الأنشطة غير المرغوبة التى تسبب هدم وتلف الغذاء (الكائنات الحية الدقيقة الضارة-التفاعلات الكيماوية أو الكيويحيوية غير المرغوبة) ؛ ومن هنا نشأت فكرة إستخدام إصلاح النشاط المائى water activity ( $a_w$ ) للتعبير عن مدى حدوث مثل هذه التحولات غير المرغوبة والمسببة لتلف الغذاء، ومن ثم فإن مصطلح النشاط المائى يعتبر أكثر دقة من حيث تحديد درجة قابلية الغذاء للتلف إذا ماقورن بتقدير محتوى الماء أو الرطوبة بالغذاء. وننوه إلى أن النشاط المائى ليس أيضا هو العامل الوحيد المحدد لتلف الغذاء إذ أن هناك عوامل أخرى كتركيز الأكسجين ، قيمة الـ pH ، حركة الماء بالغذاء ونوع المذاب بالغذاء ، فهذه العوامل قد تكون ذات تأثير أقوى من تأثيرات النشاط المائى على تلف الغذاء ، غير أن العديد من الدراسات أثبتت أنه يمكن الإعتماد على تقدير خاصية النشاط المائى بالغذاء كوسيلة جيدة للحكم على معدل حدوث عمليات التدهور غير المرغوبة بالغذاء حتى وأن النشاط المائى قد أدخل حديثا ضمن التشريعات المرتبطة بعمليات تصنيع الأغذية فى الولايات المتحدة الأمريكية . ويوضح الجدول (2-2) علاقة قيمة النشاط المائى بنمو للكائنات الحية الدقيقة المختلفة بالأغذية.

جدول 2-2 : علاقة النشاط المائي بنمو الكائنات الحية الدقيقة بالغذاء

الأغذية التي تدخل في نطاق هذا المدى	الكائنات الحية الدقيقة والتي يحدث لها تنشيط عامة يخفض قيم $a_w$ في نطاق هذا المدى	مدى قيم النشاط المائي ( $a_w$ )
الأغذية الطازجة سريعة التلف ، الفواكه المطبوخة ، الخضروات ، اللحوم ، الأسماك ، اللبن ، المسجق (المقنق) المطبوخة ، الذيز ، الأغذية المحتوية على السكرز بنسبة تصل 40٪ أو كلوريد الصوديوم بنسبة تصل إلى 7٪.	<i>Pseudomonas, Escherichia, Proteus, Shigella, Klebsiella, Bacillus, Clostridium perfringens, some yeasts.</i>	0.95 - 1.00
بعض أنواع الجبن (الشتر السويسري) ، المونستر ، البروفولوني واللحوم المملحة (فخذ الخنزير المملح) ، بعض مركزات عصير الفواكه ، الأغذية المحتوية على 55٪ سكروز أو 12٪ كلوريد صوديوم .	<i>Salmonella, Vibrio parahaemolyticus Serratia, C. botulinum, Lactobacillus, Pediococcus, some molds, yeasts (Rhodotorula, Pichia).</i>	0.91 - 0.95
المسجق المتخمّر (سلامي) الكيك الاسفنجي ، الجبن الجاف ، المرجرين ، الأغذية المحتوية على 65٪ سكروز أو 15٪ كلوريد صوديوم .	Many yeasts ( <i>Candida, Torulopsis, Hansenula, Micrococcus</i> )	0.87-0.91
معظم مركزات الفواكه ، اللبن المكثف المحلى ، شراب الشيكولاته، شراب الفواكه ، التفوق ، الأرز ، البقوليات المحتوية على 15-17٪ رطوبة ، كيك الفواكه (طوى الفودان) .	Most molds (Mycotoxigenic Penicillia), <i>Staphylococcus aureus</i> , most <i>Saccharomyces (bailli)</i> spp., <i>Debaryomyces</i> .	0.80-0.87
المرعى (الرملا ، الفواكه المتجمدة ، الحلوى الطرية مثل العلبن .	Most halophilic bacteria, mycotoxigenic <i>Aspergilli</i> .	0.75-0.80
مطحون الشوفان المحتوى على 10٪ رطوبة تقريبا ، النوجا ، القديج ، العلبن ، الجبلى ، المولاس ، مسكر القصب الخام ، بعض الفواكه المجففة، التفل .	Xerophilic molds ( <i>Aspergillus chevalievi, A. candidus, Wallemia sebi</i> ), <i>Saccharomyces bisporus</i> .	0.65-0.75

تابع جدول 2-2 : .

الأغذية التي تدخل في نطاق هذا المدى	الكائنات الحية الدقيقة والتي يحدث لها تثبيط عامة بخفض قيم $pH$ في نطاق هذا المدى	مدى قيم النشاط المائي ( $a_w$ )
التفاح المغطى والمعتوية على 15-20% رطوبة تقريبا ، الطرسي ، لكراملة ، صل للصل .	Osmophilic yeasts ( <i>Saccharomyces rouxii</i> ), few molds ( <i>Aspergillus echinulans</i> , <i>Monascus bisporus</i> ).	0.60-0.65
المكرونة المعتوية على 12% رطوبة تقريبا ، التوبل المعتوية على 10% رطوبة تقريبا .	لا يحدث نمو ميكروبي	0.50
مسحوق البيض الكامل المجفف والمعتوى على 5% رطوبة تقريبا .	لا يحدث نمو ميكروبي	0.40
البسكويت والخبز الجاف والمنتجات الشبيهة والتي تعتوى على 3-7% رطوبة .	لا يحدث نمو ميكروبي	0.30
مسحوق اللبن الكامل المجفف والمعتوى على 2-3% رطوبة ، الخضروات المجففة والمعتوية على 5% رطوبة تقريبا ، الكورن فليكس والمعتوى على 5% رطوبة تقريبا ، البسكويت .	لا يحدث نمو ميكروبي	0.20

المصدر : Fennema (1985)

## 2-3. الكربوهيدرات Carbohydrates

### 2-3-1. الصفات التركيبية Structural Properties

الكربوهيدرات مركبات عضوية تتكون كيميائياً من الكربون والهيدروجين والأكسجين ؛ وتكون النسبة بين العنصرين الآخرين كنسبة وجودهما في الماء (أى 2 إلى 1) وتختلف الكربوهيدرات في درجة تعقيدها على النحو التالى:

#### أولاً: السكريات الأحادية Mono saccharides

وهي عبارة عن الدهيدات (سكريات الدهيدية تسمى الدوزات aldoses) أو كيتونات (سكريات كيتونية تسمى كيتوزات ketoses) عديدة الهيدروكسيل ويتكون جزئ السكر الأحادي من 3 إلى 7 ذرات كربون. ومن أمثلة السكريات الأحادية الجلوكوز ، الفركتوز ، الجالاكتوز ، المانوز ، الزيلوز ، الأرابينوز.

#### ثانياً: السكريات محدودة التسكر Oligo saccharides

وتتكون من ارتباط مجموعة هيدروكسيل من سكر أحادي مع مجموعة هيدروكسيل من سكر أحادي آخر (قد يكون نفس السكر أو سكر مختلف) مع خروج جزئ ماء أى أن الربط يتم عن طريق الرابطة الجليكوسيدية. تتكون السكريات المحدودة من 2 إلى 10 جزيئات من السكر الأحادي من أمثلة السكريات المحدودة السكروز ، المالتوز ، اللاكتوز ، الرافينوز.

#### ثالثاً : السكريات عديدة التسكر Poly saccharides

وتتكون من أكثر من 10 جزيئات من السكر الأحادي وتصل إلى عدة مئات وقد تكون متجانسة فتتكون من نفس السكر الأحادي ، أو غير متجانسة تتكون من أكثر من سكر أحادي.

ومن أمثلة السكريات العديدة : النشا ، السيليلوز ، الهيمسلييلوز ، البكتين ، الصمغ النباتية ، وتتفاوت الأغذية في محتواها من الكربوهيدرات كما يتضح من الجدول رقم

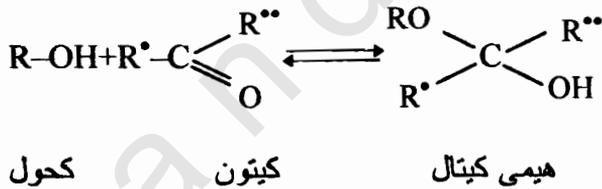
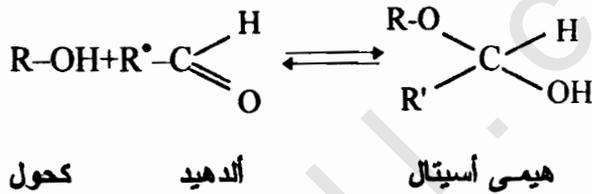
### جدول 2-3 : محتوى بعض الأغذية من الكربوهيدرات

الناتج	% السكريات الكلية	% للسكريات الأحادية والسكريات محدودة التسكر	% للسكريات العديدة
التفاح	14.5	جلوكوز (1.17)، فركتوز (6.04)، سكروز (3.78)، مانوز (أثار)	نشأ (1.5) سيليلوز (1)
العنب	17.3	جلوكوز (5.35)، فركتوز (5.33)، سكروز (1.320)، مانوز (2.19)	سيليلوز (0.6)
الفراولة	8.4	جلوكوز (2.09)، فركتوز (2.40)، سكروز (1.03)، مالتوز (0.07)	سيليلوز (1.3)
الجزر	9.7	جلوكوز (0.85)، فركتوز (0.85)، سكروز (4.25)	نشأ (7.8) سيليلوز (1)
البصل	8.7	جلوكوز (2.07)، فركتوز (1.09)، سكروز (0.89)	سيليلوز (0.71)
البطاطس	17.1		نشأ (14) سيليلوز (0.5)
النزة السكرية	22.1	سكروز (17-12)	سيليلوز (0.7)
البطاطا	26.3	جلوكوز (0.87) السكروز (3.2)	نشأ (14.65) سيليلوز (0.7)
اللفت	6.6	جلوكوز (1.5)، فركتوز (1.18)، سكروز (0.42)	سيليلوز (0.9)
عسل النحل	82.3	جلوكوز (35.28)، فركتوز (34-41)، سكروز (5-1)	
اللحم		جلوكوز (0.01)	جليكوجين (0.1)
اللبن	4.9	لاكتوز (4.9)	
بنجر السكر	20-18	سكروز (20-18)	
عصير قصب السكر	28-14	جلوكوز + فركتوز (8-4)، سكروز (20-10)	

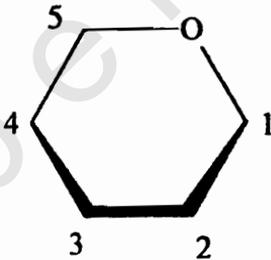
المصدر : (deMan 1990)

ويمكن التعبير عن السكريات الأحادية بصيغة مبسطة في صورة سلسلة مفتوحة (صيغة فيشر Fischer) ويتضح منها إلى جانب وجود المجموعة المختزلة

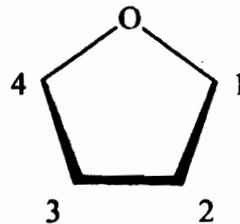
الحررة وجود أربع مجاميع نشطة ضوئيا optically active من مجاميع الهيدروكسيل الثانوية في الألدوزات بينما توجد ثلاث مجاميع متناظرة في الكيتوزات. ولقد تبين أن التفاعلات الكيماوية للسكريات الأحادية لا تتسق والتركيب المفتوح لذا فقد اقترح هاورت Haworth صيغة تركيبية أخرى تمثل حلقة تشتمل على نصف أسيتال hemiacetal بين ذرتي كربون 1 ، 5 في الألدوزات ، وبين ذرتي كربون رقمي 2 ، 5 في الكيتوزات لتكوين هيمي كيتال hemiketal كما يلي :



وتبعا لهذا التركيب فإن السكريات توجد إما في حلقة خماسية تسمى فيوران furan أو حلقة سداسية تسمى بيران pyran كما يتضح من الشكل رقم 2-3:



حلقة سداسية (بيران)

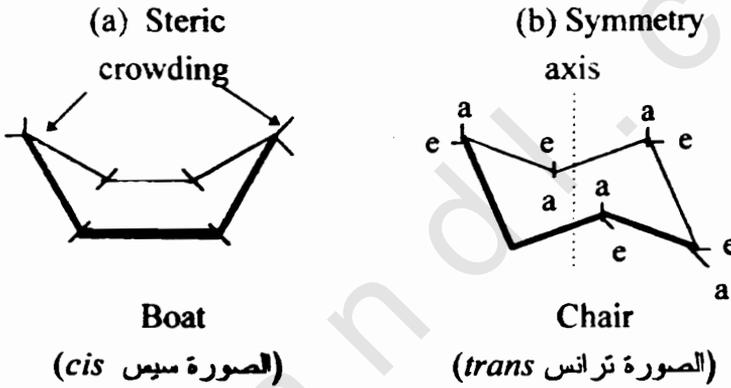


حلقة خماسية (فيوران)

شكل 2-3 : الحلقة الخماسية (فيوران) والحلقة السداسية (بيران)

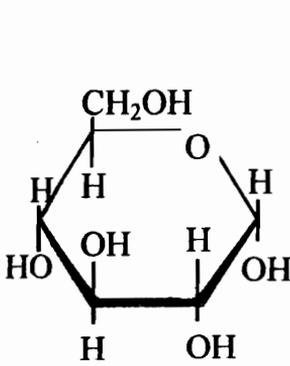
غير ان استخدام صيغة هاورت قد يعطى انطبعا غير صحيح بأن حلقتي الفيوران والبيران متواجدان على شكل سطح planar ويمكن تدارك ذلك عن طريق

تعليل الخطوط ومع ذلك ولان المزج بين كل ذرات هاتين الحلفتين من نوع  $SP^3$  فإن حلقة البيرانوز-كما هو الحال في حلقة السيكلوهكسان-يمكن أن توجد إما في صورة القارب (boat) (الصورة *cis*) أو صورة الكرسي (chair) (الصورة *trans*) والصورة الأخيرة هي الأكثر ثباتاً من منظور الديناميكا الحرارية ، وتتوزع بها المجاميع إما في إتجاه المحور *axial* (ويرمز لها بالرمز *a*) وتوازي محاور دوران الحلقة أو أن تكون في إتجاه معاكس وتسمى *equatorial* (ويرمز لها بالرمز *e*) كما يتضح من الشكل رقم 2-4:

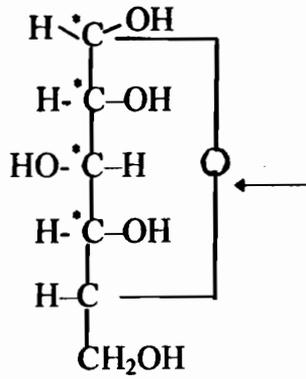


### شكل (2-4) حلقة السيكلوهكسان

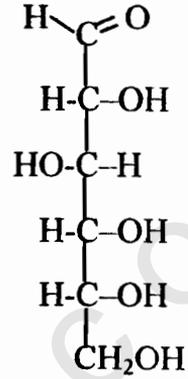
وتوجد الغالبية العظمى من السكريات في الطبيعة على الصورة *D* أي ان التوزيع الفضائي لمجموعة الهيدروكسيل يكون على يمين ذرة الكربون غير المتناظرة الأخيرة (في صيغة فيشر) أما الصورة *L* فإن مجموعة الهيدروكسيل تكون على مسار ذرة الكربون غير المتناظرة الأخيرة في الجزئ مع إستخدام الإشارة (+) في حالة المركبات يمينية الدوران (تدير مستوى الضوء المستقطب في إتجاه عقارب الساعة إلى اليمين) وإستخدام الإشارة (-) للمركبات يسارية الدوران أي التي تدير مستوى الضوء المستقطب عكس إتجاه عقارب الساعة جهة اليسار ويوضح الشكل 2-5 الجلوكوز في صورتي السلسلة المفتوحة والحلقية.



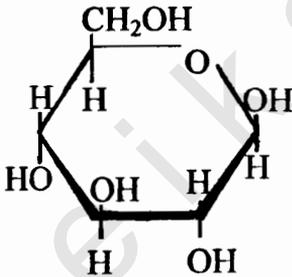
الجلوكوز ( $\alpha$ -D)  
جلوكوبيرانوز  
صيغة هاورث



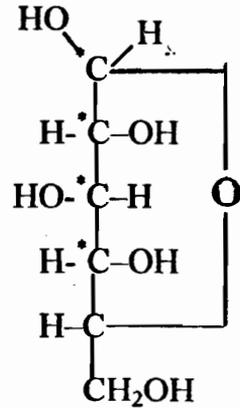
الجلوكوز  
(الصورة  $\alpha$ -D)



الجلوكوز (الصورة D)  
صيغة فيشر



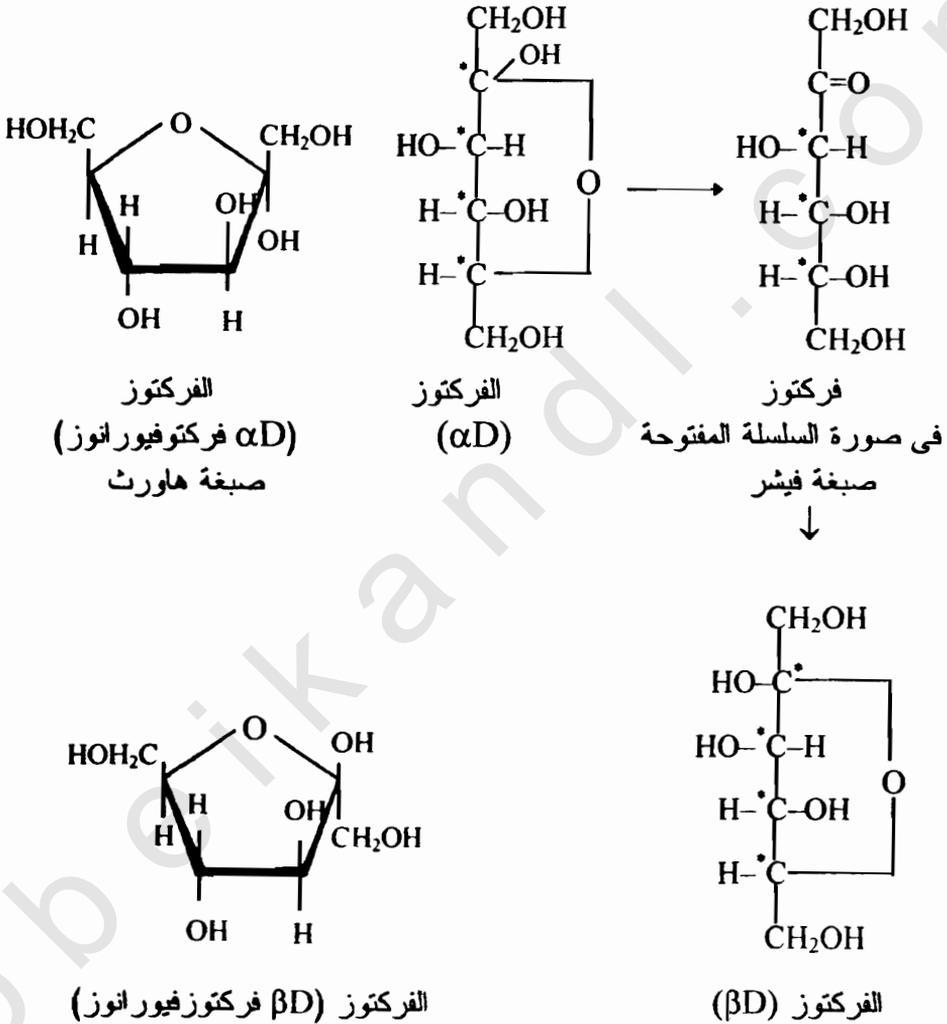
الجلوكوز (الصورة  $\beta$ -D) جلوكوبيرانوز  
صيغة هاورث



الجلوكوز (الصورة  $\beta$ -D)

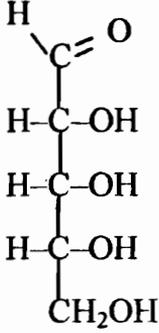
شكل 2-5: الصيغ البنائية للجلوكوز (D) لكل من طريقتي فيشر (السلسلة المفتوحة) وهاورث (حلقة البيران)، ذرات الكربون التي تطوها \* ذرات غير متناظرة.

أما الشكل رقم (2-6) فيوضح الصيغ البنائية للفركتوز (سكر كيتونى فى صورتى السلسلة المفتوحة والتركيب الحلقى) .

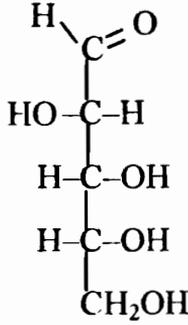


شكل 2-6 : الصيغ البنائية للفركتوز (D) بكل من طريقتى فيشر (السلسلة المفتوحة) وهاورث (حلقة الفيوران) ، ذرات الكربون التى تعلوها ذرات غير متناظرة.

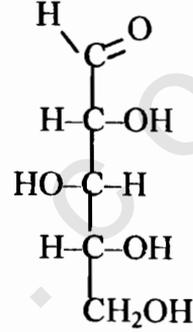
ويلاحظ أنه لكتابة الصيغ السابقة في الصورة L فإنه ينبغي إستبدال التوزيع الفضائي لمجاميع الهيدروكسيل (من اليمين الى اليسار أو العكس) وذلك بالنسبة لجميع ذرات الكربون غير المتناظرة . ويوضح الشكل 2-7 الصيغ البنائية لأهم السكريات الأحادية بينما يوضح 2-8 أهم السكريات الثنائية الموجودة بالأغذية .



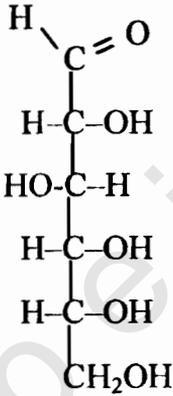
د-ريبوز  
D-Ribose  
(Rib)



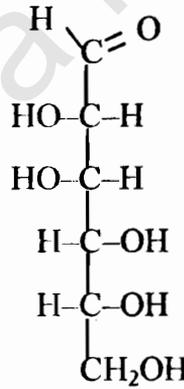
د-أرابينوز  
D-Arabinose  
(Ara)



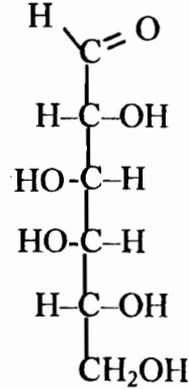
د-زيلوز  
D-xylose  
(Xyl)



د-جلوكوز  
D-Glucose  
(Glo)

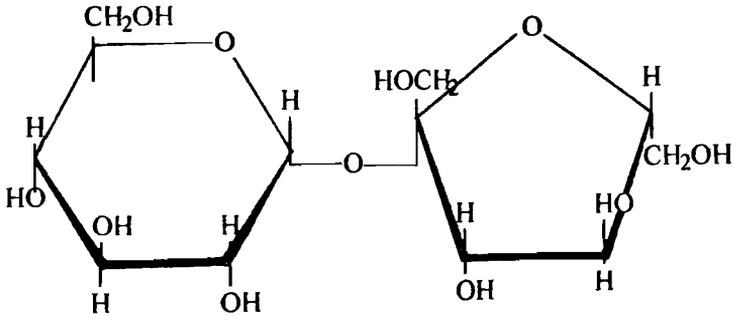


د-مانوز  
D-Mannose  
(Man)



د-جالاكتوز  
D-Galactose  
(Gal)

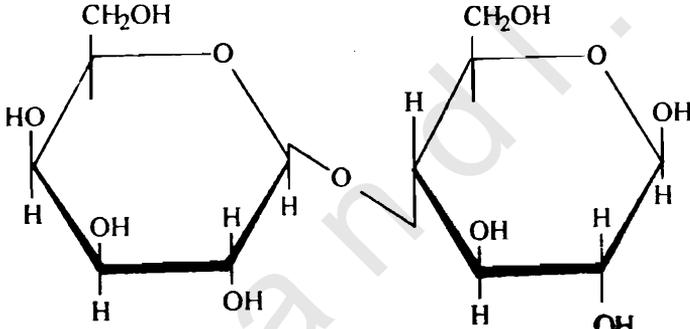
شكل 2-7 : الصيغ البنائية للسكريات الأحادية شائعة الوجود بالأغذية



جلوكوز

فرکتوز

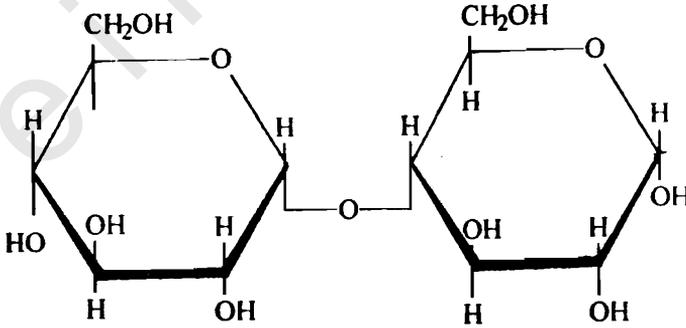
Sucrose السكروز



جالاكتوز

جلوكوز

Lactose اللاكتوز



جلوكوز

جلوكوز

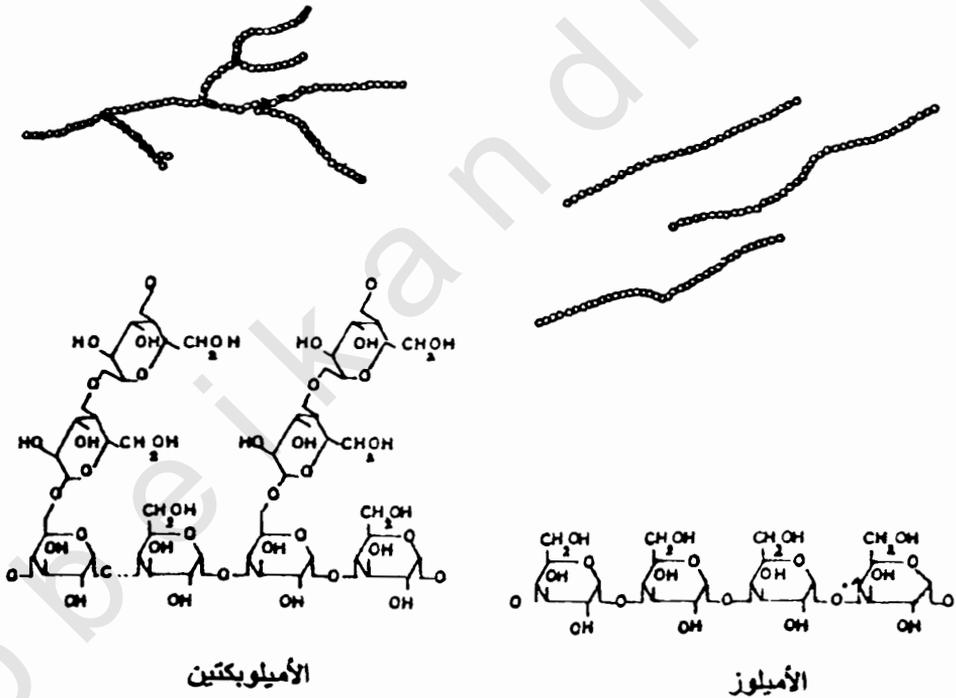
Maltose المالتوز



وتكون أقل ثباتاً من المناطق البلورية بالجزء . ومن أهم السكريات للعديدة الموجودة بالأغذية النشا ، السليلوز ، الهيميليلوز ، البنتوزان ، البكتين ، الصمغ :

### أ- النشا Starch

النشا بوليمر متجانس وحدة بنائه الجلوكوز . ويوجد في النباتات في صورة كربوهيدرات مختزنة ، وهو السكر العديد الوحيد الذى يوجد في الطبيعة على شكل حبيبات granules محددة الشكل والأبعاد تبعاً للمصدر ويمكن التفريق عن طريق المجهر بين نشويات المصادر المختلفة تبعاً للشكل . ويتكون جزء النشا من مكونين الأول هو الأميلوز وهو بوليمر خطى يتكون من وحدات جلوكوز ترتبط ببعضها عن طريق الروابط الجليكوسيدية  $\alpha$ -1-4 والمكون الثانى هو الأميلوبكتين والذى يحتوى على تفرعات ترتبط بالروابط الجليكوسيدية من النوع  $\alpha$ -1-6 (الشكل 2-9).



شكل 2-9: التركيب الكيماوى للأميلوز والأميلوبكتين

المصدر : Fennema (1985)

وحبيبات النشا عديمة الذوبان تماماً في الماء البارد بيد أنه عند التسخين تبدأ الحبيبات في الإنتفاخ تدريجياً حتى يحدث لها ما يسمى بالجلتنة gelatinization حيث تتفجر الحبيبات وتلك تحدث في مدى من درجات الحرارة (نظراً لإختلاف مقاس حبيبات النشا المتحصل عليها من ذات المصدر) . وتجدر الإشارة الى أن عملية جلتنة النشا تتأثر بعدة عوامل تشتمل على الـ pH ، المعاملة الأولية ، معدل التسخين ، وجود الأملاح والسكريات ويختلف المسلك الريولوجي لحبيبات النشا المجلتنة تبعاً لمعدل التبريد (شكل 2-10) .



شكل 2-10: شكل أخطيطي يوضح مسلك حبيبات النشا عند الإنتفاخ ، والإذابة والتجلد Retrogradation .

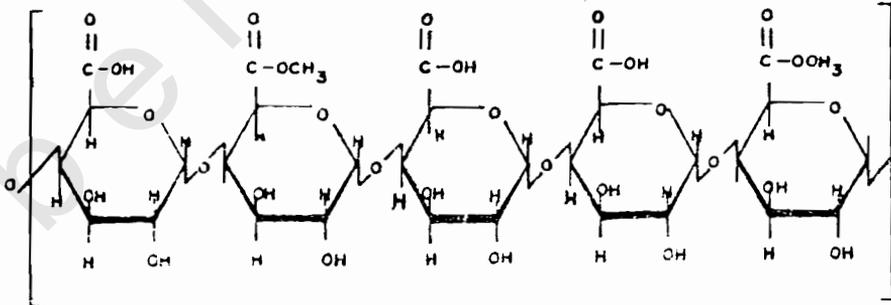
المصدر : Radley (1963) .

## ب- السليلوز Cellulose

السليلوز هو بوليمر يتكون من وحدات بيتا-D-جلوكوز ترتبط مع بعضها بالروابط 1-4 . وتتأى أهمية السليلوز من كونه مادة نباتية توجد في جميع الأنسجة النباتية وغالبا ما تكون مصحوبة بكميات مختلفة من سكريات عديدة أخرى مثل اللجنين. وتؤدي عملية التحليل المائي للسليلوز إلى إنتاج سيلوببوز cellobiose وفي النهاية الجلوكوز. ويختلف عدد وحدات الجلوكوز أو ما يطلق عليه درجة البلمرة degree of polymerization (DP) في السليلوز وقد تصل الى 10 آلاف (الوزن الجزيئي في هذه الحالة يصل الى نحو مليون و 620 ألف دالتون) .

## ج- المواد البكتينية Pectic substances

تتواجد المواد البكتينية في الصفيحة الوسطى middle lamella بجدر الخلايا النباتية وهي عادة تكون مرتبطة مع السليلوز ولاسيما بالنسبة للبروتوبكتين غير الذائب في الماء . وتتفاوت الأغذية النباتية في محتواها من المواد البكتينية فثمار الطماطم تحتوى على 3% بينما تحتوى درنات البطاطس على 2.5% أما طبقة الألبيدو albedo في ثمار الموالح فتحتوى على نحو 30-35% مواد بكتينية . والمواد البكتينية عبارة عن بوليمرات تتكون أساساً من الوحدات البنائية لحامض الجالاكتيورنيك galacturonic acid (ينتج عن أكسدة مجموعة الكحول الأولى في سكر الجالاكتوز) ترتبط ببعضها بالروابط ألفا-D-جليكوسيدية 1-4 مع حدوث أسترة لنسبة من مجاميع الكربوكسيل (شكل 2-11).



شكل 2-11 : التركيب البنائي للبكتين

المصدر : de Man (1990)

مصطلح المواد البكتينية مصطلح عام يصف مجموعة من المركبات تختلف عن بعضها في عدة صفات منها درجة البلمرة ودرجة الأسترة degree of esterification (DE) (نسبة مجاميع أستر الميثايل أى مجاميع الميثوكسيل) والتي يمكن حسابها كما يلي :

$$\text{درجة الأسترة} = \frac{\text{عدد متبقيات حمض الجلاكتوبورينك المؤسترة}}{\text{عدد متبقيات حمض الجلاكتوبورينك الكلية}} \times 100$$

وإذا ما تم تسخين محلول حامض البروتوبكتين حدث تحلل مائي ونتج البكتين الذائب . ويتحول البروتوبكتين غير الذائب في النباتات غير الناضجة إلى بكتين ذائب مع تقدم نضج النبات بفعل إنزيمات بكتين ميثايل إستيريز pectin methylesterase والبروتوبكتيناز protopectinase فالبروتوبكتين يعد بمثابة المادة البكتينية الأم التي توجد في الثمار والخضروات غير الناضجة وهو على الأسترة بالميثانول وغير ذائب في الماء ويعد المسئول عن صلابة الثمار والخضروات غير الناضجة . أما البكتين فهو ذائب في الماء ويحتوى على ما لايزيد عن 13% من مجاميع الميثوكسيل .

#### د- الصموغ Gums

توجد مجموعات كبيرة من السكريات العديدة ومشتقاتها تتميز بقدرتها على إعطاء محاليل عالية اللزوجة عند تركيزات سكر منخفضة ، وتسمى هذه السكريات بالصموغ ولها استخدامات كثيرة في الصناعات الغذائية كمواد مثبتة stabilizers أو معلقة . وهناك مصادر مختلفة لهذه الصموغ (الأعشاب البحرية - صموغ البذور النباتية - الصموغ الميكروبية). وتتميز الصموغ باحتوائها على جزيئات محبة للماء hydrophilic يمكنها الإرتباط بالماء لتكوين محاليل لزجة أو هلامية gel . وتؤثر طبيعة الجزيئات بشدة على صفات الصموغ إذ أن السكريات العديدة الخطية linear تمثل مساحات سطحية أكبر ومن ثم تكون لزوجتها أعلى عن نظيرتها عالية التفرع حتى ولو كان لها ذات الوزن الجزيئى . ويكون فى مقدور السكريات العديدة المتفرعة تكوين الجل بسهولة أكبر وهى أكثر ثباتاً وذلك بسبب عدم إمكانية حدوث تداخلات قوية على طول السلسلة ، أما السكريات العديدة الخطية فإنها تكون أفلاماً متماسكة عند الجفاف ولذا فإنها تعتبر مواد تغطية جيدة كما أن محاليلها قوية التلاصق بعكس محاليل السكريات العديدة المتفرعة .

ومن أمثلة الصمغ النباتية : الصمغ العربي Arabic gum ، صمغ الخروب locust bean gum ، صمغ الجوار guar gum ، والآجار agar ، الألبين algin ، الكاراجينان carageenan .

## 2-3-2 القيمة التغذوية Nutritional value

للسكريات الذائبة والنشويات الأولية فى إنتاج الطاقة بالجسم ، وهى بذلك توفر البروتين لأغراض البناء ، وتمنع تحلل الدهون الى أجسام كيتونية تضر بالجسم، كما أن الكربوهيدرات تدخل فى مركبات عديدة هامة للجسم مثل حامض الجلوكورونيك وحامض الهيبارونيك والهيبارين والأحماض النووية .

أما الألياف الغذائية dietary fibers فلها فوائد صحية وفسولوجية متعددة على الرغم من أنها لاتمثل مصدراً للطاقة وتتأتى أهميتها من قدرتها على تنشيط حركة peristalsis الأمعاء وتقلل من مدة بقاء الكتلة الغذائية فى الأمعاء مما يقى الإنسان من الإصابة بالإمساك ويقلل من إمتصاص الكوليسترول وأملاح الصفراء . وقد إقتزن استهلاك الألياف الغذائية بانخفاض ضغط الدم ونقص معدل حدوث إلتهاب الرتوج diverticulitis فى الأمعاء ، وقد يكون لها دور فى الوقاية من السرطان ولا سيما سرطان القولون .

وننوه الى أن الألياف الغذائية لا تهدم بواسطة عصارات القناة الهضمية للإنسان ، مما يعنى مقاومة الروابط الجليكوسيدية فى هذه المكونات للتحلل . وتشتمل الألياف الغذائية على كل الكربوهيدرات غير القابلة للهضم non-digestable وكذا المواد المرتبطة بها - وذلك بواسطة الإنسان . وتشتمل الألياف الغذائية على كل من السليلوز ، الهيميسليلوز ، اللجنين ، البننوزان ، الصمغ البكتين ويضاف إليها السكريات المحورة صناعياً والتي تضاف للأغذية مثل كربوكسى ميثايل سليلوز carboxy methyl cellulose (CMC) . وحديثاً أضيف النشا المقاوم للهضم بالإنزيمات resistant starch (RS) الى الألياف الغذائية .

### 2-3-3 تغيرات الكربوهيدرات في أثناء تصنيع وتخزين الأغذية :

#### Changes of carbohydrates during processing and storage of foods :

تتعرض الكربوهيدرات لعدد من التفاعلات الكيماوية إما في أثناء تصنيع الغذاء أو خلال عمليات التداول والتخزين، وسنعطى هنا فكرة موجزة عن بعض هذه التفاعلات .

#### أولاً : كرملة السكر Sugar caramelization

كرملة السكر (أى تكوين صبغة الكرامل) عبارة عن تفاعل إغمقاق لا إنزيمى يحدث في غياب المواد النيتروجينية ، وهو بذلك يختلف عن تفاعل ميلارد Maillard والذي يعتبر أيضاً تفاعلاً من تفاعلات الإغمقاق اللاإنزيمى لكنه يتطلب بالضرورة وجود مواد نيتروجينية كالبروتينات والأحماض الأمينية .

وتكوين الكرامل عملية معقدة تحدث من خلال سلسلة تفاعلات ، فعندما تتعرض السكريات للحرارة في غياب الماء أو إذا ما تم تسخين محاليل مركزة من السكريات فإنها تتكامل ، وتتطلب عملية كرملة السكر للتسخين إلى 200°م أما عند 160°م فإن السكروز ينصهر ليكون أندريدات الجلوكوز والفركتوز . وعملية الكرملة تتم على ثلاث مراحل مميزة يفصل كل منها فاصل زمنى فالمرحلة الأولى تتطلب تسخيناً لمدة 35 دقيقة وينتج عنها فقد في الوزن يقدر بنحو 4.5% وفيها يتم فقد جزئى واحد من الماء لكل جزئى سكروز . وبعد 55 دقيقة أخرى من التسخين يصل الفقد في الوزن إلى نحو 9% وتتكون صبغة الكاراميلان caramelan وهي ذائبة في الماء والإيثانول وذات طعم مر ودرجة إنصهارها 138°م . وبعد 55 دقيقة أخرى من التسخين يحدث فقد في الوزن يقدر بنحو 14% من الوزن (نتيجة لفقد جزيئات ماء من 3 جزيئات من السكروز) ويتكون صبغة كاراميلين carameline وهي تذوب في الماء فقط ودرجة إنصهارها 154°م .

وإذا ما أجرى تسخين السكر لفترة أخرى أدى ذلك إلى تكوين صبغة غامقة جداً غير ذائبة في الماء تسمى هيومين humin أو كاراميلين caramelin وصبغتها الجزيئية  $C_{125}H_{188}O_{80}$  .

### ثانيا : الإغمقاق اللاانزيمي Non-enzymic browning

ويعرف هذا التفاعل باسم تفاعل ميارد Maillard وله أهمية كبيرة في تصنيع الأغذية . ويشتمل التفاعل على عدة تفاعلات متعاقبة تبدأ بتفاعل المجموعة الأمينية في الأحماض الأمينية والبيبتيدات والبروتينات مع مجموعة الهيدروكسيل الجليكوسيدية للسكريات وينتهي تعاقب التفاعلات بتكوين بوليمرات نيتروجينية بنية اللون تعرف باسم الميلانودين melanoidins . ويتأثر معدل هذا التفاعل بدرجة الحرارة والـ pH (يزداد معدل التفاعل في الإتجاه القلوى للـ pH) ، الرطوبة ، محتوى الأكسجين ، المعادن ، الفوسفات ، ثانى أكسيد الكبريت .

### ثالثا : التحلل المائى Hydrolysis

تحت ظروف تصنيع بعض الأغذية (الحرارة الرطبة المرتفعة والـ pH الحامضى) يحدث تحلل مائى جزئى لبعض السكريات خاصة السكروز وينتج عن هذه العملية كل من الجلوكوز والفركتوز وتسمى هذه العملية بعملية التحويل inversion ويسمى مخلوط الجلوكوز والفركتوز الناتج باسم السكر المحول invert sugar (وهو يسارى الدوران بعكس السكروز الذى يعتبر - يمينى الدوران) وتتأتى أهمية التحكم فى معدل عملية التحليل المائى للسكروز من تأثير هذه العملية على التحبب granulation فى بعض المنتجات مثل المربى والمرملاد ومنتجات حلوى السكر (القند) .

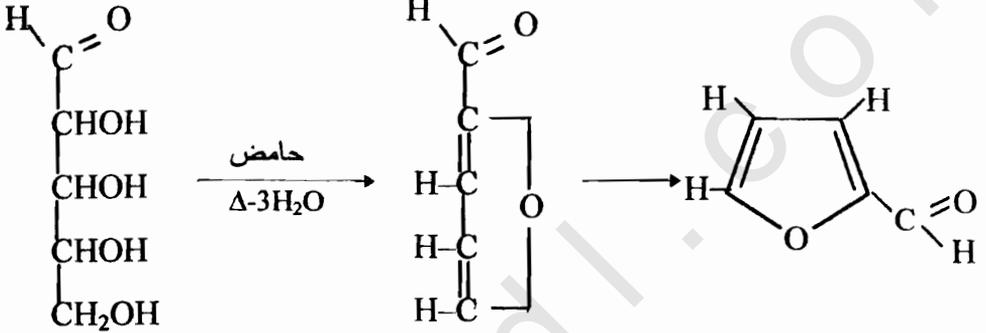
### رابعا : جلنتة النشا Gelatinication of starch

نتيجة لعمليات التسخين التى تطبق فى الكثير من عمليات تصنيع الأغذية فإنه يحدث جلنتة للنشا ، وإذا إستمرت عملية التسخين لدرجات حرارة أعلى من درجات حرارة الجلنتة أدى ذلك إلى زيادة إنتفاخ حبيبات النشا ثم إنفجارها. ويتكون نتيجة لذلك مخلوط لزج نصف شفاف translucent ويؤدى تبريد النشا المطبوخ إلى تكوين جل، وإذا ما أجرى التبريد بمعدل بطىء يتكون راسب بللورى من الأميلوز وتسمى هذه الظاهرة باسم التجلد retrogradation . ويعتبر الأميلوز هو المكون المسئول عن هذه العملية . وتجدر الإشارة إلى أن تجميد عجينة النشا يؤدى إلى الإسراع الشديد فى حدوث التجلد إذ أنه بعد الإذابة تتكون كتلة عجينية spongy تفقد كمية كبيرة من محتواها المائى بسهولة بمجرد الضغط الخفيف عليها . ولقد تبين أنه يمكن تثبيط عملية إنتفاخ حبيبات النشا بواسطة الأحماض الدهنية ويعتقد أن ذلك راجع إلى تكوين معقدات غير ذائبة من الأميلوز والأحماض الدهنية .

### خامساً : تكوين الفورفيورال ومشتقاته

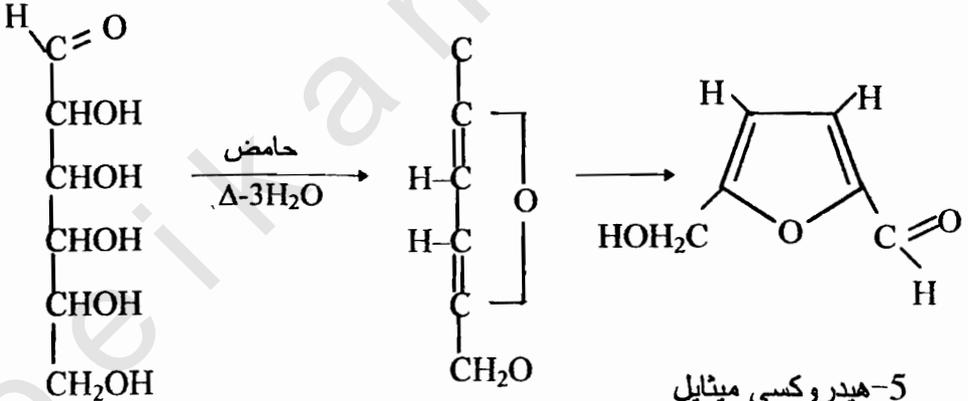
#### Formation of furfural and its derivatives

تحت ظروف الحرارة والـ pH الحامضى تحدث عملية تجفيف dehydration للسكر الخماسى معطياً الفورفيورال فى حين يعطى السكر السداسى مركب 5-هيدروكسى ميثيل فورفيورال كالاتى :



سكر خماسى (بنتوز)

فورفيورال



سكر سداسى (هكسوز)

5-هيدروكسى ميثيل فورفيورال

وتكوين الفورفيورال ومشتقاته يعتبر مؤشراً على تدهور جودة بعض الأغذية وخاصة عسل النحل إذ أن زيادة 5-هيدروكسى ميثيل الفورفيورال يدل على أن العسل قد خزن تحت ظروف سيئة أو أنه قد غش بإضافة السكر المحول بالحامض ، كذلك فإن وجود الفورفيورال بتركيز محسوس فى معلبات منتجات الطماطم يدل على سوء التخزين .

### سادسا : تكوين النشا المقاوم (RS) Formation of resistant starch (RS)

تبين أن جزءاً من النشا في الأغذية النشوية المطبوخة يمر من الأمعاء الدقيقة للإنسان دون أن يهضم ، ولقد اتضح أن ظهور هذا المكون مرهون أساساً بإجراء عملية الطهي ، ولقد اصطلح على تسميته بالنشا المقاوم (RS) resistant starch ومن المعروف أن العوامل التي تؤثر على هضم النشا تشمل على :

- أ- درجة حرارة جلثتة النشا .
- ب- مقياس حبيبات النشا .
- ج- نسبة الأميلوز الى الأميلوبكتين في جزيء النشا .
- د- وجود إرتباطات النشا بالبروتين .
- هـ- وجود معقدات بين الأميلوز والليبيدات .
- و- نسبة النشا الذي حدث له تجلد retrogradation .

ويمكن تقسيم النشا بناء على قابليته للهضم الى ثلاثة أنواع :

- أ- نشا سهل الهضم في الأغذية المطبوخة بعد الطهي أو الخبز مباشرة .
- ب- نشا مقاوم جزئياً للهضم (كما في البطاطس الخام والموز) .
- ج- نشا مقاوم للهضم (RS) يتكون نتيجة للمعاملة الحرارية للأغذية .

ولقد تبين أن كمية النشا المقاوم (RS) في المخبوزات والعجائن الغذائية والبقوليات والبطاطس تعتبر كمية ضئيلة لا تزيد عن 3% . ويعزى الإهتمام بالنشا المقاوم إلى أنه يدخل ضمن المكون غير الذائب الموجود بالأغذية (ولذا فإن البعض يعتبر الـ (RS) أحد مكونات الألياف الغذائية) حيث أنه يقاوم الهضم معملياً *in vitro* وكذا في القناة الهضمية للإنسان *in vivo* ، فعند وصول النشا المقاوم للهضم الى القولون فإنه يتخمر مع تكوين أحماض دهنية طيارة .

## Proteins

## 4-2 البروتينات

### Structural properties

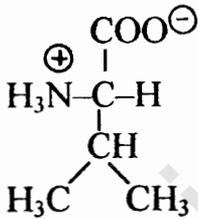
### 1-4-2 الصفات التركيبية

تتميز البروتينات عن الكربوهيدرات والدهون في أنها تحتوى على النيتروجين (والذى تتفاوت نسبته تبعاً لمصدر البروتين) بالإضافة إلى عناصر الكربون والهيدروجين والأكسجين .

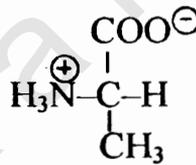
وتتركب البروتينات من وحدات بنائية هي الأحماض الأمينية وعلى الرغم من وجود نحو ثلاثمائة حمض أميني في الطبيعة إلا أن عدد الأحماض الأمينية التى تدخل فى تركيب البروتينات لايتجاوز العشرين ، وتتميز هذه الأحماض بأنها من النوع L-α (أى أن مجموعة الأمين ترتبط بذرة الكربون الفا α كما أن الأحماض الأمينية البروتينية تتواجد على صورة المشابه الضوئى L) .

ومن الوجهة التركيبية فإنه يمكن تقسيم الأحماض الأمينية البروتينية بأكثر من طريقة ولعل لأحدثها تلك التى تعتمد على تقسيم الأحماض الأمينية تبعاً لقطبية polarity السلاسل الجانبية حيث يتم تقسيمها الى ثلاث مجموعات على النحو التالى:

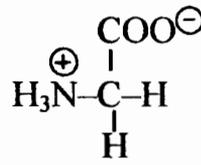
أولاً : الأحماض الأمينية التى تحتوى على سلاسل جانبية غير قطبية



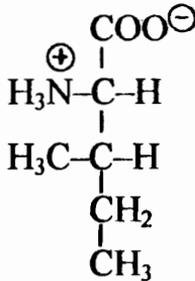
فاليين  
Valine Val(V)



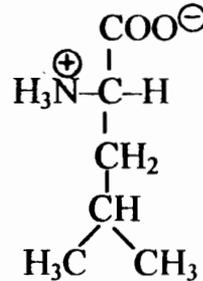
الانين  
Alanine Ala(A)



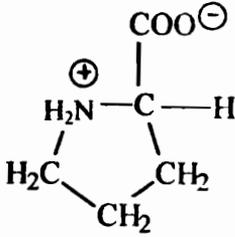
جليسين  
Glycine Gly(G)



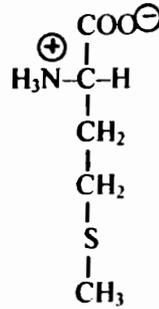
أيزوليوسين  
Isoleucine Ile(I)



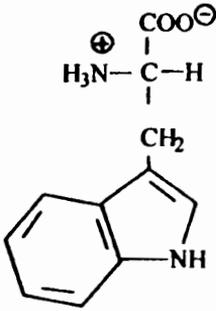
ليوسين  
Leucine Leu(L)



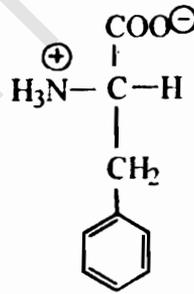
برولين  
Proline Pro(P)



ميثونين  
Methionine Met(M)

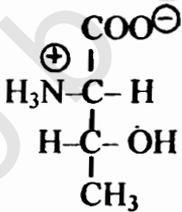


تربتوفان  
Tryptophan Trp(W)

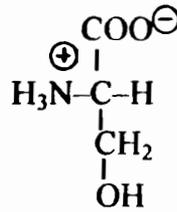


فينايل ألانين  
Phenylalanine Phe(F)

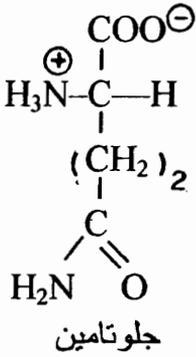
ثانيا : الأحماض الأمينية التي تحتوى على سلاسل جانبية قطبية غير مشحونة



ثريونين  
Threonine Thr (T)

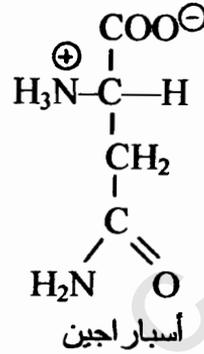


سيرين  
Serine Ser (S)



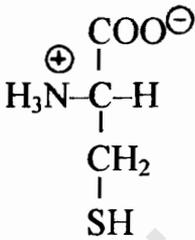
Glutamine Gln(Q)

(أميد) لحمض الجلوتاميك



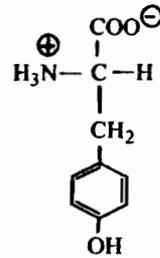
Asparagine Asn(N)

(أميد) لحمض الأسبارتك



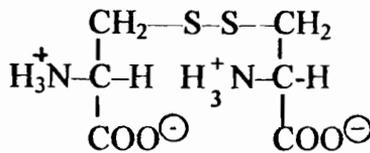
سيسثين

Cysteine Cys(C)



تيروسين

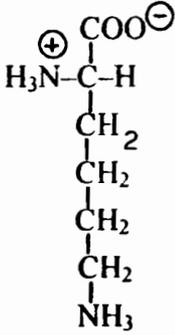
Tyrosine Tyr(Y)



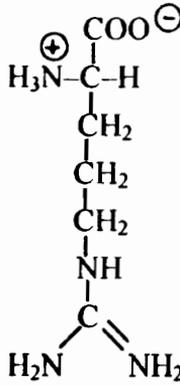
سيسثين (ثنائي سيسثين)

Cystine (Di Cysteine)

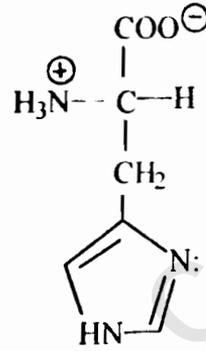
ثالثا : الأحماض الأمينية التي تحتوى على سلاسل جانبية قطبية مشحونة



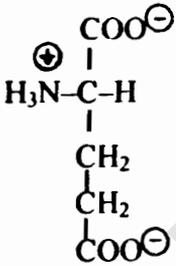
ليسين  
Lysine Lys (K)



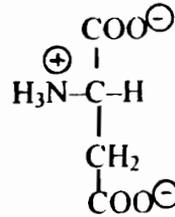
أرجنين  
Arginine Arg (R)



هستيدين  
Histidine His (H)



حمض جلوتاميك  
Glutamic acid Glu(E)

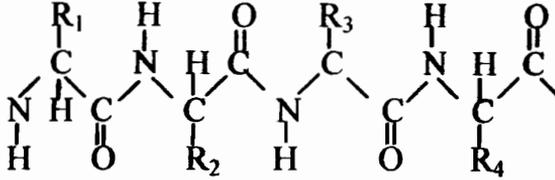


حمض اسبارتك  
Aspartate acid Asp(D)

وتجدر الإشارة إلى أن كل حمض أميني يعبر عنه بمختصر إما أن يكون من ثلاثة حروف أو أن يعبر عنه بحرف واحد ، كما هو موضح قرين الصيغة البنائية لكل حامض أميني .

وترتبط الأحماض الأمينية ببعضها عن طريق روابط أميدية وتعرف باسم الروابط الببتيدية peptide bonds . وفي حالة البروتين تتكون الرابطة الببتيدية عن طريق ارتباط مجموعة الكربوكسيل بين حامض أميني مع مجموعة أمين من حامض أميني آخر مع تكوين جزيء ماء ويمكن لحامضين أمينيين الإرتباط عن طريق هذه

لرابطة لتكوين ببتيد ثلاثي **dipeptide** وكذا يمكن إرتباط ثلاثة أحماض أمينية لتكوين ببتيد ثلاثي **tripeptide** ولعدد من الأحماض الأمينية لتكوين عديد ببتيد **polypeptide**. وتتميز سلسلة عديد الببتيد بوجود طرف أميني وآخر كربوكسيلي (شكل 2-12).



الطرف الأميني

الطرف الكربوكسيلي

شكل 2-12 : طريقة ربط الأحماض الأمينية عن طريق الروابط الببتيدية

وتختلف البروتينات عن بعضها من حيث الصفات الكيماوية وكذا عدد الأحماض الأمينية التي تكون السلسلة (السلاسل) الببتيدية وترتيب أو تتابع هذه الأحماض في السلسلة. ويعبر عن هذا التباين التركيبي بما يسمى بمستويات بناء البروتينات وهي على النحو التالي:

#### أ- البناء الأولي Primary structure

ويقصد به تتابع أو ترتيب الأحماض الأمينية في سلسلة عديد الببتيد.

#### ب- البناء الثانوي Secondary structure

يمثل هذا المستوى طريقة تجمع السلاسل الببتيدية حيث تلتف في صورة حلزونية ترتبط خلالها بالروابط الهيدروجينية

#### ج- البناء الثالثي Tertiary structure

يقصد به إتفاف الحلزون إما في صورة حلزون ألفا  $\alpha$ -helix أو في صورة ترتيب بيتا  $\beta$ -sheet.

#### د- البناء الرابعي Quaternary structure

ويعبر هذا المستوى عن درجة البلمرة أو درجة تجمع السلاسل عديد الببتيد في جزئ البروتين

#### القيمة التغذوية Nutritive value

توجد البروتينات في الأغذية الحيوانية والنباتية بكميات متباينة (جدول 2-4) ومن الوجهة التغذوية فإن جميع البروتينات الحيوانية باستثناء الجيلاتين تعتبر بروتينات

متوازنة أو كاملة complete بمعنى أنها تحتوى فى تركيبها على جميع الأحماض الأمينية الأساسية\* essential amino acids (وهى أحماض يحتاجها جسم الإنسان لكنه لا يستطيع تخليقها بالمعدل المطلوب ومن ثم فإنه يلزم إمداد الجسم بها من الغذاء). من ناحية أخرى فإن جميع البروتينات النباتية تعتبر من الوجهة التغذوية بروتينات غير متوازنة أو غير كاملة incomplete وذلك لافتقار كل بروتين منها على حامض أو أكثر من الأحماض الأمينية الأساسية ، ومن هنا تتضح أهمية إستخدام مخاليط البروتينات النباتية لتحقيق التوازن المطلوب ولا سيما بالنسبة للنباتيين vegetarians .

#### جدول 2-4 : محتوى بعض الأغذية من البروتين

محتوى البروتين جم/100 جم	الغذاء	محتوى البروتين جم/100 جم	الغذاء
34.1	فول الصويا الخام	16.5	اللحم البقرى
7.8	فول الصويا المطبوخ	23.40	لحم الدجاج
6.7	الأرز الأبيض الخام	17.6	سمك الكالاه
2.0	الأرز الأبيض المطبوخ	3.6	اللبن
1.6	الكاسافا	12.9	البيض
2.0	البطاطس	13.3	القمح
10.0	الخبز	7.8	الخبز

المصدر : (De Man 1990)

ويجب أن نفرق بين كمية أو محتوى البروتين quantity بالغذاء وجودته ، فمثلا بروتين كل من البطاطس والأرز من البروتينات عالية الجودة التغذوية على الرغم من أن محتوى البروتين فى كل منهما يعتبر منخفضاً .

ومن الوجهة التغذوية تتأتى أهمية البروتينات والأحماض الأمينية من كونها مسنولة عن عمليات البناء وصيانة الأنسجة أى أنها تدخل فى بناء بروتينات الجسم . كذلك فإن الجسم يستخدم البروتينات لإنتاج الطاقة وذلك فى حالة نقص الكربوهيدرات

\* تشمل الأحماض الأمينية الأساسية على الاليسين ، الثريونين ، الليوسين ، الأيزوليوسين ، الفالين ، والميثيونين والترتوفان ، الفينيل ألانين ويضاف إليها بالنسبة للأطفال الهستيدين والأرجينين .

فى الغذاء أو إذا ماتوا فائض من البروتين بالغذاء يزيد عن إحتياجات الجسم منها لأغراض البناء وصيانة الأنسجة . وفى هذه الحالة لا يكون تأكسد البروتينات والأحماض الأمينية كاملاً بل يتحول الجزء النيتروجينى منها إلى يوريا (خلال دورة اليوريا) تفرز مع البول ، ومن ثم فإن كفاءة الإستفادة من البروتين كمصدر للطاقة تكون أقل من نظيرتها للكربوهيدرات والدهون ، فالطاقة الكلية الموجودة فى جرام واحد من البروتين تعادل 5.5 كيلوكالورى بينما الطاقة الفعلية الناتجة عن هدم الجرام الواحد من البروتين لاتتجاوز 4.0 كيلوكالورى أى أن هناك طاقة مهدرة تقدر بنحو 25% تخرج على شكل يوريا .

## 2-4-2 تقسيم البروتينات Classification of proteins

نظراً لتباين البروتينات المختلفة فى عديد من الصفات فإنه من الأهمية بمكان تقسيم البروتينات على أساس واحد ، وقد استخدمت صفة الذاتية كصفة تفرقية بين البروتينات ، غير أن توفر المعلومات التركيبية والبنائية عن البروتينات قد أتاح استخدام أسس أخرى لتقسيم البروتينات فعلى سبيل المثال تم استخدام السلوك أثناء عملية الطرد المركزى فائق السرعة ultra centrifugation وكذا المسلك فى المجال الكهربى (الهجرة الكهربية electrophoresis) كصفات تفرقية بين البروتينات المختلفة .

ومن التقسيمات الشائعة للبروتينات تلك التى تعتمد على الصفات التركيبية للبروتين حيث يتم تقسيمها إلى بسيطة ، مركبة ، مشتقة .

### أولاً: البروتينات البسيطة Simple proteins

تعطى البروتينات البسيطة عند تحايلها مائياً أحماضاً أمينية فقط ، وهى تشتمل على الأقسام التالية :

#### أ- الألبومينات Albumins

تذوب الألبومينات فى الماء المتعادل الخالى من الأملاح ، وهى عادة ذات أوزان جزيئية منخفضة ، ومن أمثلتها : الألبومين البيض ، والألبومين اللبن (لاكتو ألبومين) ، والألبومين السيرم فى بروتينات شرش اللبن ، واللوكوسين leucosin فى الحبوب واللجيمولين legumin فى البقوليات .

### ب- الجلوبولينات Globulins

تذوب الجلوبولينات في محاليل الأملاح المتعادلة وهي غير ذائبة في الماء تقريباً ومن أمثلتها جلوبولين السيرم ، والبيتا لاكتوجلوبولين في اللبن والميوسين والأكتين في اللحوم والجليسيتين glycinin في فول الصويا .

### ج- الجلوتيلينات Glutelins

للجلوتيلينات ذائبة عالية في الأحماض والقواعد المخففة جداً في حين أنها لاتذوب في المذيبات المتعادلة . وتوجد الجلوتيلينات في الحبوب مثل جلوتينين glutenin القمح وأورزينين oryzenin الأرز .

### د- البرولامينات Prolamins

وهي ذات ذائبة عالية في الإيثانول (50-90%) ولا تذوب في الماء ، وتحتوي على كميات كبيرة من البرولين وحمض الجلوتاميك ، وهي توجد في الحبوب ومن أمثلتها زايين zein الذرة وجليادين gliadin القمح ، وهوردين hordein الشعير .

### هـ- البروتينات القرنية Sclero proteins

البروتينات القرنية لاتذوب في الماء ولا المذيبات المتعادلة وهي مقاومة للتحلل الإنزيمي وتتسم بالتركيب الليفى نظراً لأن لها وظائف بنائية وكذا وظائف ربط. وتشتمل هذه البروتينات على الكولاجين الموجود في أنسجة العضلات وكذا الجيلاتين (مشتق من الكولاجين) والإلاستين والكيراتين ، والأخير يوجد بشعر وحوافر الحيوانات.

### و- الهستونات Histones

الهستونات بروتينات قاعدية نظراً لإحتوائها على نسبة عالية من الحامضين الأمينيين القاعديين: ليسين-أرجنين ، وهذه البروتينات تذوب في الماء وترسب بالأمونيا .

### ز- البروتامينات Protamines

تعتبر البروتامينات من البروتينات القاعدية القوية ، وهي ذات أوزان جزيئية منخفضة (من 4 آلاف الى 8 آلاف دالتون) وهي تتميز بمحتواها العالي من الأرجنين. ومن أمثلة البروتامينات الكلابين clapein في أسماك الرنجة - الأسكومبرين scombrin في سمك الماكريل .

### ثانيا : البروتينات المركبة **Conjugated proteins**

تتكون البروتينات المركبة من جزء بروتيني يرتبط مع مركب آخر غير بروتيني مثل مجموعة الفوسفات، الليبيدات ، الأحماض النووية ، الكربوهيدرات :

#### أ- الفوسفوبروتينات **Phosphoproteins**

الفوسفوبروتينات مركبات هامة وهى توجد فى العديد من بروتينات الأغذية حيث ترتبط مجموعة الفوسفوبروتينات فى كازين اللبن وصفار البيض .

#### ب- الليبوبروتينات **Lipoproteins**

تتكون الليبوبروتينات من الارتباط بين الليبيدات والبروتينات ، وهى مركبات ذات قدرة إستحلابية ممتازة وتوجد فى اللبن وصفار البيض .

#### ج- البروتينات النووية **Nucleoproteins**

تتكون البروتينات النووية من إرتباط الأحماض النووية مع البروتينات ، وهى توجد فى أنوية الخلايا .

#### د- الجليكوبروتينات **Glycoproteins**

ترتبط البروتينات بالكربوهيدرات مكونة الجليكوبروتينات ، وعادة ماتكون نسبة الكربوهيدرات المرتبطة منخفضة غير أن بعض الجليكوبروتينات تحتوى على نسبة تتراوح من 2% الى 20% من الكربوهيدرات وتعرف الجليكوبروتينات باسم الميوكوبروتينات mucoproteins ويعتبر الأوفوميوسين ovomucin الموجود فى زلال البيض مثالا للجليكوبروتينات .

#### هـ- البروتينات الملونة **Chromoproteins**

يندرج تحت هذه المجموعة البروتينات التى تحتوى على مجموعة ملونة ترتبط بها ، ومن أمثلة هذه البروتينات اليموجلوبين ، الميوجلوبين ، والفلافوبروتينات.

### ثالثا : البروتينات المشتقة **Derived proteins**

وهى عبارة عن مركبات يتم التحصل عليها بواسطة طرق إنزيمية أو كيميائية. وتقسم البروتينات المشتقة إلى مشتقات أولية ومشتقات ثانوية تبعاً لمدى التغير الذى حدث للبروتين الأسمى ، فالمشتقات الأولية تكون محورة بدرجة بسيطة وهى غير ذائبة فى الماء ، يعتبر الكازين المجمع بانزيم الرنين مثالا للمشتقات الأولية.

أما المشتقات الثانوية فإنها تتسم بحدوث تغيرات كبيرة ، وهى تشتمل على البروتيازات proteoses والبيبتونات peptones والبيبتيدات peptides وتختلف نواتج التفسير عن بعضها من حيث الحجم الجزيئى والذائبية ، غير أنه يمكن ترسيب البروتيازات بمحلول مشبع من كبريتات الأمونيوم .

وتحتوى البيبتيدات على اثنين أو أكثر من متبقيات الأحماض الأمينية amino acid residues ، وتتكون نواتج تفسير البروتينات هذه خلال عمليات تصنيع العديد من الأغذية كما هو الحال فى عمليات إنضاج الجبن .

### 2-4-3 الصفات الوظيفية للبروتينات

#### Functional properties of proteins

تعرف الصفات الوظيفية للبروتينات بأنها تلك الصفات الفيزيائية والكيميائية والتي تؤثر على مسلك البروتينات فى الأنظمة الغذائية وذلك خلال عمليات التصنيع والإعداد والتخزين والإستهلاك ، كذلك فإنه يمكن تعريف الصفات الوظيفية بأنها الصفات (بخلاف العوامل التغذوية) التى تؤثر على الإستفادة من مكونات الغذاء .

وتؤثر معظم الصفات الوظيفية على الصفات الحسية للغذاء (خاصة القوام) ، كذلك فإن الصفات الوظيفية تلعب دوراً أساسياً فى تحديد المسلك الفيزيقي للأغذية ومكوناتها فى خلال عمليات الإعداد والتصنيع والتخزين ، بمعنى آخر فإن الصفات الوظيفية للبروتينات هى تلك الصفات الفيزيوكيميائية physico-chemical properties التى يمكن البروتينات من المساهمة فى تحديد الصفات المرغوبة للغذاء . وتوجد للبروتين صفات وظيفية عديدة يوضحها الجدول رقم 2-5 .

## جدول 2-5 : الصفات الوظيفية لبروتينات الأغذية .

الصفات الوظيفية	الصفة العامة
اللون - النكهة - الرائحة	الحسية
القوام - الشعور في الفم - النعومة - التحجب - العكارة .	الحركية
الذوبان - الترطيب - إمتصاص الماء - الإنتفاخ - التخانة - الجلية - التميع - للزوجة	التأدرت
الإستحلاب - تكوين الرغوة (التهوية - الخفق) تكوين الأفلام	النشاط السطحي
ربط الليبيدات - ربط مكونات النكهة	الربط
الشد - المضغ - الربط الشبكي العرضي - التجزىء - تكوين العجينة -	البناء
القدرة على تكوين القوام - تكوين الألياف - القدرة على التلاصق	
adhesion - القدرة على الترابط cohesiveness - القدرة على	
التشكيل بجهاز الطبخ بالنفع الميكانيكي extrudability .	
اللزوجة - صفات الجل	الريولوجية
التجمع (الرينين renin) - للتطرية (البابين papain) - الإنضاج البروتيناز (proteinases)	الإنزيمية
القدرة على التكامل (القمح - الصويا - الجلوتين - الكازين)	القدرة على الخلط
منع النكهة غير المرغوبة (المستحلبات السائلة)	تضاد الأكسدة

المصدر : (1982) Kinsella .

ويمكن تقسيم الصفات الوظيفية للبروتين إلى ثلاث مجموعات أساسية وهي :

### أولاً : صفات التأدرت Hydration properties

وتعتمد هذه الصفات على تداخلات البروتين والماء protein-water

interactions ، ولقد تبين أن العوامل الرئيسية المؤثرة على صفات تأدرت البروتين

تؤثر أيضاً على الصفات الفيزيوكيماوية للمركبات الأخرى الموجودة بالغذاء.

وتشتمل صفات التأدرت على ما يلي :

أ- إمتصاص وبقاء الماء Water absorption and retention

ب- القدرة على الترطيب Wettability

ج- الإنتفاخ Swelling

د- قدرة التلاصق Adhesions

هـ- القدرة على الإنتشار Dispersibility

و- الذوبان Solubility

ز- اللزوجة (صفة هيدروديناميكية) Viscosity

## ثانيا - صفات إرتباط البروتين ببعضه Protein-protein interactions

تشتمل هذه الصفات على كل مما يأتي :

- أ- الترسيب Precipitation
- ب- تكوين الجل gelation
- ج- تكوين نظم بنائية مثل الألياف وعجائن البروتين .

وتعتبر عملية تكوين الجل من أهم الصفات التي تتحدد بارتباطات البروتينات ببعضها ، وتحدث عملية تكوين الجل نتيجة لتكوين تجمعات aggregates لجزيئات البروتين المدنتر بحيث يتكون في النهاية تركيب شبكي للبروتين المبلمر ، ويحصر هذا التركيب كميات كبيرة من السائل بداخله ويسلك مسلكاً ريولوجياً يتسم بصفات للزوجية والمطاطية viscoelasticity . ويمكن أن ينتج جل مركب عن طريق تداخل نوعين أو أكثر من التركيب الشبكي أو من تركيب شبكي واحد بالإضافة الى مادة مالئة filler .

ومن الأهمية بمكان التفريق بين عملية تكوين الجل وظواهر أو عمليات أخرى مثل الإرتباط ، البلمرة ، الترسيب ، التجمع مع حدوث أو عدم حدوث دنتره - وذلك على النحو التالي :

### أ- الإرتباط Association

تحدث عملية الإرتباط نتيجة لحدوث تغير في تحت الوحدات subunits المكونة لجزء البروتين .

### ب- البلمرة Polymerization

تشتمل عملية البلمرة تكوين معقدات كبيرة بين جزيئات البروتين .

### ج- الترسيب Precipitation

تتضمن عملية الترسيب كل تفاعلات التجمع التي تؤدي الى فقد كلي أو جزئي في ذاتية البروتين .

### د- التجمع بدون دنتره Flocculation

المقصود بالتجمع بدون دنتره حدوث تجمع عشوائي للبروتين دون حدوث دنتره له ، وعادة ما يحدث مثل هذا التجمع نتيجة لوجود قوى تنافر بين السلاسل .

## هـ - التجمع مع حدوث دنثرة Coagulation

يمكن لجزيئات البروتين أن تتجمع عشوائياً مع حدوث دنثرة لها ، وفي مثل هذا النوع من التجمع يكون الارتباط بين جزيئات البروتين ببعضها أكثر سيادة من ارتباطات البروتين بالماء مما يؤدي الى تكوين خشن coarse coagulum .

## ثالثاً : الصفات السطحية Surface properties

تتضمن الصفات الوظيفية السطحية للبروتين كلا من الإستحلاب ، و صفات الرغوة .

## أ- الإستحلاب Emulsification

يعتبر العديد من المنتجات الغذائية من المستحلبات وأمثلة ذلك اللبن ، الأيس كريم ، الزبد ، الجبن المطبوخ ، المايونيز ، السجق .

وتلعب البروتينات دوراً رئيسياً في تثبيت هذه النظم الغروية حيث يتم إدمصاص البروتين في الأسطح البينية بين نقط الزيت المنتشرة والوجه السائل المستمر مما يؤدي الى إضفاء صفات فيزيقية وريولوجية على الغذاء مثل النخانة واللزوجة والمرونة والصلابة ، كذلك فإنه من الممكن حدوث تأين في السلاسل الجانبية للأحماض الأمينية تبعاً لقيم الـ pH ، ومن ثم تتولد قوى تنافر الكترولستاتيكية تساعد على ثبات المستحلب . وعامة فإن البروتينات تعتبر مثبتات stabilizers ضعيفة لمستحلبات الماء في الزيت (W/O) ويعزى ذلك الى أن معظم البروتينات تتسم بصفة حب الماء hydrophilicity مما يجعل معظم جزيئات البروتينات المدمصة أكثر ميلاً للوسط المائي في الأسطح البينية .

## ب- صفات تكوين الرغوة Foaming properties

تتكون رغوة الأغذية من إنتشار فقاعات غاز في وجه سائل أو شبه صلب يحتوى على مواد نشطة سطحياً . ويوجد عدد كبير من الأغذية يحتوى على هذا التركيب منها المارنج والكيك والمارشملو والكريمة المخفوقة والأيس كريم والخبز .

وفي حالات عديدة يكون الهواء أو ثانى أكسيد الكربون هو الوجه الغازى فى حين يكون الوجه المستمر عبارة عن محلول مائى أو معلق يحتوى على البروتين . وتعتبر بعض نظم رغاوى الأغذية بمثابة نظم رغوية معقدة جدا ومثال ذلك الأيس كريم الذى يتكون من مستحلب أو معلق ، وهى تنتشر فى صورة تجمعات (معظمها

مواد صلبة) مع بللورات النلج وجل السكريات العديدة ومحلول مركز من السكريات والبروتينات بالإضافة إلى فقاعات الهواء .

ويوجد في النظام الغروي وجه مستمر يتكون من طبقات دقيقة من السائل تسمى طبقات اللامبلا lamella تفصل فقاعات الغاز عن بعضها . ويتطلب تكوين الرغوة وجود سطح بيني ، وهذا بدوره يحتاج إلى طاقة ميكانيكية بالإضافة إلى وجود مادة نشطة سطحياً تعمل على خفض التوتر السطحي ، وتؤدي هذه الظروف مجتمعة إلى تواجد حاجز فيزيقي يعطي المرونة بين فقاعات الغاز المحبوسة .

ويمكن تكوين للرغوة إما عن طريق دفع غاز خلال مادة مسامية مثل المرشح الزجاجي sintered glass إلى داخل محلول مائي يحتوي على تركيز منخفض من البروتين (من 0.01 إلى 2.0% وزن/حجم) أو عن طريق عملية ضرب أو خفق whipping. وكذا يمكن رج محلول من البروتين في وجود كمية من لوجه الغازي . ويمكن أيضاً تكوين الرغوة عن طريق خفض فجائي لضغط محلول سبق تعريضه للضغط ، وعادة فإنه يفضل تكوين الرغوة في الأغذية عن طريق الخفق الذي يؤدي إلى زيادة حجم العينة بنسب تتراوح من 200 إلى 300% .

## 2-4-4 تغيرات البروتينات في أثناء تصنيع وتخزين الأغذية

### Changes of proteins during processing and storage of foods

يعتري البروتينات العديد من التغيرات سواء في الصفات الوظيفية أو الفيزيقيّة أو الكيماوية نتيجة لعمليات تصنيع وتخزين الأغذية ، ومن أهم هذه التغيرات :

#### أولاً : الدنترة Denaturation

الدنترة هي عملية يتحول فيها البروتين الطبيعي native إلى بروتين مدنتر denatured وذلك بسبب تغير البناء الجزيئي للبروتين (مستوى البناء الثالثي والرابعي) دون ما تكسير للروابط التعاونية . وعملية الدنترة بهذا المدلول مقصورة على البروتينات دون غيرها . وتتفاوت البروتينات في مدى تأثرها بعوامل الدنترة (والتي أهمها الحرارة) .

وعادة ما ينتج عن الدنترة فقد النشاط البيولوجي وحدثت تغيرات جوهريّة في بعض الصفات الفيزيقيّة والوظيفية كالدائنية . ويعد تثبيط inhibition النشاط الإنزيمي بالحرارة (وهي عملية دنترّة للبروتين الإنزيمي) من أهم التغيرات التي تحدث في

عملية للتصنيع الغذائي . وأحيانا يكون مرغوبا حدوث الدنترة الحرارية كما هو الحال في دنترة بروتينات الشرش لإنتاج مسحوق اللبن المستخدم في صناعة المخبوزات .

وتعتبر بروتينات زلال البيض من البروتينات التي يمكن دنترتها بالحرارة أو بالقوى السطحية الناشئة عن عملية خفق بياض البيض بغرض تكون الرغوة . أما بروتينات اللحم فإنها تتطلب درجة حرارة تتراوح من 57 الى 75°م لكي تدنتر . ولدنترة بروتينات اللحم تأثيرات محسوسة على القوام وسعة مسك الماء وعملية إنكماش أنسجة اللحم . وقد تؤدي الدنترة أحيانا إلى تجمع flocculation البروتينات الكروية ولكنها قد تؤدي أحيانا إلى تكوين جل .

وتجدر الإشارة إلى أنه في خلال عملية تجميد الأغذية أو تخزينها على الحالة المجمدة قد تحدث عملية دنترة لبروتينات الغذاء . وتعتبر بروتينات الأسماك بصفة خاصة أكثر عرضة للدنترة في هذه الظروف حيث تكون أنسجة الأسماك خشنة وفي غير مقدورها مسك الماء بصورة جيدة .

ومعظم البروتينات تدنتر في مدى درجات حرارة تتراوح من 55 إلى 75°م، غير أن هناك بعض البروتينات التي تستثنى من ذلك ، فعلى سبيل المثال فإنه يمكن على محاليل الكازين والجيلاتين دون أن يعتريهما تغير ظاهر في الثبات ، ولذا فإنه يمكن على اللبن وتعليقه وتركيزه دون حدوث تجمع للكازين ، ويعزى هذا الثبات الحراري للكازين إلى أن تكون الروابط ثنائية الكبريت يعد محدودا جدا بسبب المحتوى المنخفض من السيستين والسيستئين ، كذلك فإن مقاومة جزيئات الكازين للإلتفاف folding تلعب دورا في هذا الثبات ، ويعزى ذلك الى وجود محتوى عال نسبيا من البرولين والهيدروكسي برولين ، وهو الأمر الذي لوحظ في تركيب البروتينات الثابتة حراريا.

### ثانيا : الإغمقاق اللا إنزيمي Non-enzymic browning

لتفاعل الإغمقاق اللا إنزيمي (ويعرف باسم تفاعل ميلارد Maillard) أهمية كبيرة في تصنيع الأغذية حيث تكون نواتج هذا التفاعل مرغوبة في بعض الأحيان بينما تكون غير مرغوبة في أحيان أخرى ، فعلى سبيل المثال فإن تكون القشرة البنية على سطح الخبز يعتبر أمرا مرغوبا في حين أن إغمقاق اللبن المبخر والمعقم يكون أمرا غير مرغوب . وفي الحالات التي يكون تفاعل الإغمقاق اللا إنزيمي مرغوبا فإن الألوان والنكهات الناتجة تكون عامة مفضلة من قبل الإنسان .

ويمكن تعريف الإغمقاق اللا إنزيمي بأنه مجموعة من التفاعلات المتعاقبة تبدأ بتفاعل المجموعة الأمينية في الأحماض الأمينية أو البيبتيدات أو البروتينات مع مجموعة الهيدروكسيل الجليكوسيدية للسكريات وينتهي تعاقب التفاعلات بتكوين وايمرات نيتروجينية تعرف باسم الميلانودين melanoidins .

ويمكن القول بأن نمط وسرعة تفاعل الإغمقاق اللا إنزيمي يختلفان باختلاف نوع الغذاء نظراً لاختلاف مصدر المجموعة الأمينية ونوع السكر الموجود . وعامة فإن الحمض الأميني ليسين يعد من أنشط الأحماض الأمينية في هذا التفاعل وذلك بسبب وجود المجموعة الأمينية ليسون (E) في صورة حرة ، ولأن الليسين يعد واحداً من الأحماض الأمينية الحدية في بروتينات الحبوب فإن دخوله في تفاعل الإغمقاق اللا إنزيمي يقلل بشكل أساسي من القيمة التغذوية للبروتين .

وتعتبر الأغذية الغنية في محتواها من السكريات المختزلة نشطة جداً في تفاعل الإغمقاق اللا إنزيمي ، وقد يفسر هذا سبب سهولة تحطم الليسين في اللبن مقارنة بالأغذية الأخرى عند المعاملة الحرارية . وننوه إلى أن هناك عوامل أخرى تؤثر على تفاعل الإغمقاق اللا إنزيمي ، وهي درجة الحرارة والـ pH ، الرطوبة ، محتوى الأكسجين ، المعادن ، الفوسفات ، ثاني أكسيد الكبريت ، والمثبطات الأخرى .

### ثالثاً : التغيرات الكيماوية Chemical changes

يمكن حدوث عدد من التغيرات الكيماوية للبروتين خلال تصنيع وتخزين الأغذية ، وقد يكون بعض هذه التغيرات مرغوباً بينما يكون البعض الآخر غير مرغوب . ومثل هذه التغيرات الكيماوية قد تؤدي إلى تكوين مركبات لا يمكن تحليلها مائياً بواسطة إنزيمات القناة الهضمية أو قد تؤدي هذه التغيرات إلى حدوث تحور في السلاسل الجانبية للبيبتيد ، مما يجعل بعض الأحماض الأمينية غير متاحة حيويًا .

ويمكن عن طريق المعاملات الحرارية في وجود الماء تحسين القيمة التغذوية للبروتين حيث تزداد الإتاحة الحيوية bioavailability للأحماض الأمينية الكبريتية بالإضافة إلى تثبيط بعض مناعات التغذية antinutritional factors مثل مثبطات التريبسين . وتجدر الإشارة إلى أن ارتفاع الحرارة في غياب الماء قد تؤثر بالسلب على جودة البروتين ، فعلى سبيل المثال يحدث تحطم للأحماض الأمينية الآتية: الترتوفان - الأرجنين - الميثيونين - الليسين الموجودة ببروتينات الأسماك إذا ما تعرضت للظروف سالفة الذكر .

ولا شك أن عددا من التفاعلات الكيماوية قد يحدث خلال المعاملة الحرارية وتشتمل هذه التفاعلات على عمليات تحلل ونزع ماء الحامضين الأمينيين سيرين وثريونين بالإضافة إلى فقد الكبريت من السستين أما أحماض الجلوتاميك والأسبارتك والثريونين فتحدث لها عمليات التحليق أى تكوين حلقات cyclization .

## 2-5- الليبيدات Lipids

الليبيدات مجموعة غير متجانسة من المركبات يصعب إعطاء تعريف دقيق لها. ويعتمد التعريف الشائع لليبيدات على خاصية الذوبان المميزة لها حيث تعرف بأنها "الجزء من الغذاء الذى لا يذوب فى الماء ولكنه يذوب فى المذيبات العضوية كالأثير وإيثير البترول والكلوروفورم والبنزين". ويعيب هذا التعريف أن بعض المكونات مثل الجليسيريدات الأحادية monoglycerides للأحماض الدهنية قصيرة السلسلة تذوب فى الماء أكثر من ذوبانها فى المذيبات العضوية رغم كونها من الليبيدات . ويوجد تعريف آخر لليبيدات على أساس كيماوى "بأنها عبارة عن أسترات للأحماض الدهنية أو مواد يمكنها تكوين هذه الأسترات". ومعظم هذه الأسترات عبارة عن أسترات للأحماض الدهنية والجليسرول حيث تمثل أكثر من 99% من الليبيدات النباتية والحيوانية وتعرف باسم الزيوت والدهون . ويتراوح محتوى الأغذية النباتية والحيوانية من الدهن بين نسبة منخفضة (25,0%) الى مرتفعة (58%) كما يتضح من جدول 2-6 . فتحتوى الأغذية غير معدلة التركيب كاللحوم ، الغلال ، والأسماك على خليط من الليبيدات المركبة والجليسيريدات الثلاثية . أما الدهون والزيوت المستخدمة فى عمل أغذية مصنعة كالشورتنينج shortening والمرجرين margarine فهى عبارة عن مخاليط نقيه من الجليسيريدات الثلاثية . كما تقسم الدهون أحيانا الى دهون ظاهرة visible fats مثل شحم الخنزير والزبد والشورتنينج وزيت الطبخ ودهون غير ظاهرة invisible مثل الموجودة فى منتجات الألبان (ماعدا الزبد) ، البيض ، اللحوم ، الدجاج ، الأسماك ، الفاكهة والخضروات ، ومنتجات الحبوب .

الدهون والزيوت عبارة عن جليسيريدات ثلاثية ويختلفان فى أن الدهون صلبة بينما الزيوت سائلة عند درجة حرارة الغرفة . ويمكن أن يختلف تركيب كل من الدهون والزيوت حسب مصدرهما كما تختلف صفات الجليسيريدات الثلاثية والأحماض الدهنية المكونة لها. (أنظر الباب الثامن من هذا الكتاب) .