وراثة العشائر (الوراثة السكانية) وحساب التكرار الجيني للصفات المدروسة في المجتمعات السكانية

Population Genetics and Gene Frequency Calculation in Population

كانت الدراسات السابقة مقتصرة على نطاق الأفراد كتضريب نبات او حيوان او حشرات تحمل صفة مظهرية معينة والحصول على الجيل الأول والثاني أما في وراثة العشائرفتدرس مجموعة من الكائنات الحية وكيفية انتقال الصفات الوراثية من جيل الى اخر وتحليل التغييرات في التكرارات الجينية Gene frequencies لصفة معينة داخل مجموعة سكانية معينة ونوع معين وهذا اكثر صعوبة من دراسة توارث نفس الصفات على مستوى الأفراد حيث أن العشيرة تختلف عن الفرد كونها مستمرة الوجود وقد تكون صغيرة وقد تحتل مساحة واسعة كما قد تكون محدودة الانتشار ولها تركيبها الوراثي للصفات لكنه قد يتعرض الى تغاير فجائي او تدريجي، والعشيرة المندلية مجموعة من الأفراد تربطها قرابة وراثية كالنوع والسلالات وعلى هذا الأساس فأن اكبر العشائر المندلية يمثلها نوع من الكائنات الحية ولغرض دراسة صفة معينة داخل العشيرة سواء كانت هذا الصفة سائدة او متنحية او صفة مرتبطة او متأثرة بالجنس او صفة ذات سيادة تامة أو غير تامة او سيادة مشتركة (مواكبة)، وحساب التكرار الجيني لكل الجينات المسيطر على الصفات داخل العشيرة يختلف حسب نوع السيادة كما في الصفات المندلية البسيطة (سيادة تامة) او سيادة غير تامة وسيادة مشتركة او صفات مرتبطة او متأثرة بالجنس فكل نوع من الصفات له قانونه وطريقته في حساب التكرار الجيني لكل تجمع سكاني ويجب أن يكون المجتمع متزن وراثياً حتى يمكن تمييزه عن ما يجاوره من التجمعات السكانية الأخرى. ويمتاز المجتمع المتزن وراثياً بثبات نسبة الأفراد الذين يحملون صفة معينة وبالتالي ثبات التكرار الجيني للجين المسؤول عن تلك الصفة ولكي يكون المجتمع متزنا وراثيا له شروط اتزان اهمها:

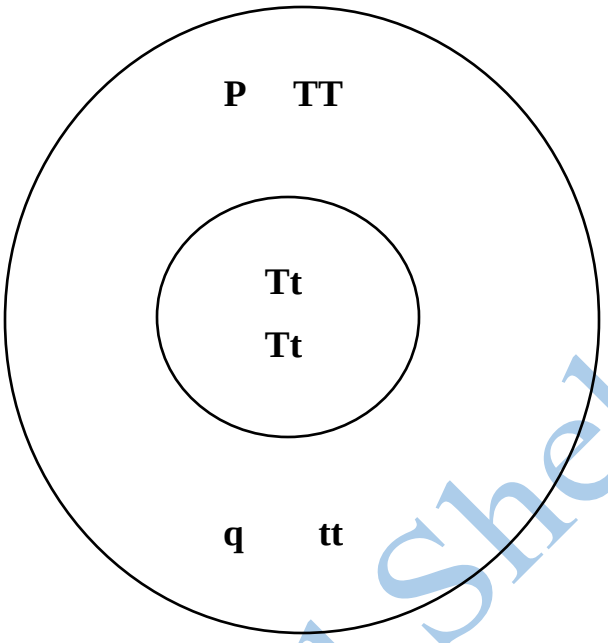
1- تكون العشيرة كبيرة وغير محدودة وتتزاوج عشوائياً.
2- ان تكون العشيرة مغلقة أي لا توجد هجرة من والى العشيرة.
3- ان لا يوجد فعل للانتخاب لصفة معينة أو ضد صفة اخرى أي ان كل طراز جيني تكون فرصة استمراره في الحياة مساوية للطرز الأخرى.
4- أن لا توجد طفرة من حالة اليلية معينة الى حالة اخرى.
5- ان يكون الانقسام الاختزالي اعتيادياً لكي يكون عامل الصدفة هو العامل الوحيد في تكوين نوعية الكميتات.
6- ان تتساوى جميع الأنماط الوراثية في حيويتها وقابليتها في التزاوج والإنجاب.

قانون هاردي واينبرك: Hardy-Weinberg law

ان هذا القانون يتعلق بدارسة وراثة العشائر المندلية اي الصفات المندلية البسيطة والسيادة تامة وقد قدمة كل من هاردي و واينبرك وسمي بأسميهما وينص على ان (التكرارات النسبية لأي جين تبقى ثابتة في العشيرة من جيل الى اخر بشرط عدم وجود القوى التي تغير من تكرار تلك الجينات اي يجب توفر شرط الاتزان)

Dr. Ahmed Shehab

مثال: صفة مندلية بسيطة لعشيرة من السكان هي حالة تذوق مادة PTC، السيادة تامه وتطبق قانون هاردي واينبرك.



عشيرة مندلية لمادة تذوق الـ PTC

	T	t
T **P**	TT P^2	Tt pq
t **q**	Tt pq	tt q^2

p1: TT × tt

متذوق غير متذوق

G1: T t

F1: Tt

p2: Tt × Tt

G2: T t T t

F2: TT Tt Tt tt

متذوق غير متذوق

لايمكن التمييز بين النقي والهجين

$$p^2 + pq + pq + q^2 = 1$$

Dr. Ahmed Shehab

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

$$p+q = 1$$ **سيادة تامة**

التكرار الجيني وحساب التكرار الجيني:

التكرار الجيني: Gene Frequency: هو نسبة عدد المواقع التي يشغلها جين معين إلى مجموع مواقع هذا الجين في عشيرة مندلية، ولذا فان التكرار الجيني يوضح مقدار وجود جين معين في عشيرة معينة وتتراوح قيمة التكرار الجيني بين الواحد الصحيح والصفر ولحساب التكرار الجيني نتبع الخطوات التالية:

1- تحديد الأفراد الذين يحملون الصفة المتنحية لانها نقية اما الصفة السائدة فلا نتمكن من التمييز بين التركيب الوراثي النقي والهجين.
2- ايجاد النسبة المئوية لهؤلاء الأفراد حيث في بعض الأسئلة الوراثية يعطي عدد الأفراد المتنحية والسائدة وفي اسئلة اخرى تعطى النسبة المئوية للصفة المتنحية او السائدة فتحولها إلى رقم عشري وناخذ الجذر التربيعي فيحسب تكرار q او p.
3- بعد ايجاد النسبة المئوية تحول الى عدد عشري.
4- يؤخذ الجذر التربيعي للرقم الناتج والذي يمثل التكرار الجيني للجين المتنحي والذي يمثل الصفة المتنحية q.
5- طرح التكرار الجيني للجينات للجين المتنحي q من الرقم واحد لكي نحصل على تكرار الجين المتغلب p.

A- حساب التكرار الجيني للجينات السائدة والمتنحية على مواقع الكروموسومات الجسمية للصفات المندلية البسيطة حيث السيادة تامة

مثال: صفة الطول في النباتات سائدة والقصر متنحية فاذا كان عدد النباتات الكلي 125 نبات، منها خمس نباتات قصيرة ماهي التكرارات الاليلية والجينية لهذه الصفة السائدة؟

	T	t
T **P**	TT P^2	Tt pq
t **q**	Tt pq	tt q^2

$$p+q = 1$$

$$p^2 + pq + pq + q^2 = 1$$

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

$$TT + 2Tt + tt = 1$$

$$t^2 = q^2 = \frac{5}{125} = 0.04$$

$$t = q = \sqrt{0.04} = 0.2$$

T=P =1 – 0.2 =0.8 0.8+0.2=

Dr. Ahmed Shehab

$TT = P^2 = 0.64$

$2Tt = 2pq = 0.32$

$tt = q^2 = 0.04$

المجموع = 1.00

B- حساب التكرار الجيني لصفات ذات اليلين السيادة غير تامة:

عندما تكون السيادة او التغلب غير تام فأن النمط المظهري يكون دليلاً مميزاً للنمط الوراثي عندما يكون نقياً او هجيناً، فأذا كان لدينا عينة (N) والتي فيها (D) للافراد النقية المتغلبة AA و (H) للافراد الهجينة و (R) للافراد المتنحية aa ويمكن تطبيق القانون التالي لأيجاد كل من p و q التي تمثل النقي والمتنحي ومن ثم نوجد مجموعة الهجين pq.

اما عن طريق القانون:

$$P = A = \frac{2D + H}{2N}$$

$$q = a = \frac{2R + H}{2N}$$

او عن طريق القوانين:

$$P = A = \frac{D + \frac{1}{2}H}{N}$$

$$q = a = \frac{R + \frac{1}{2}H}{N}$$

مثال: لو كان لدينا عينه عدد افرادها 100 نبات وجد فيها 49 نبات ذات ازهار حمراء AA و 42 نبات ذات ازهار وردية Aa و 9 نباتات بيضاء اللون aa ما هو التكرار الجيني للاليلين A . a

نفرض ان P=A و q=a

يمكن اعطاء الرمز D لعدد الافراد السائدة و H لعدد الافراد الخليطة و R لعدد الافراد المتنحية اما عدد الافراد الكلية يرمز لها بالرمز N وتكون بالشكل التالي.

التركيب الوراثي	AA	Aa	aa	المجموع
عدد النباتات	49	42	9 =	100
الرمز	D	H	R	

Dr. Ahmed Shehab

مجموعة الاليلات A

$A = 49 \times 2 + 42 \times 1 = 140$

$D \times 2 + H \times 1 = 2D + H$

$$P = A = \frac{2D + H}{2N} = \frac{140(A) \text{ عدد الجينات}}{200 \text{ العدد الكلي للجينات}} = 0.7$$

مجموعة الاليلات a

$a = 9 \times 2 + 42 \times 1 = 60$

$2R + H \times 1 = 2R + H$

$$q = a = \frac{2R + H}{2N} = \frac{60(a) \text{ عدد الجينات}}{200 \text{ العدد الكلي للجينات}} = 0.3$$

اذا مجموعة الجينات الكلية = 140 + 60 = 200 جين موجودة في المجتمع المكون من مائة نبات

مجموعة الاليلات الكلية = 100 × 2 = 200

$2N = 2 \times N$

Dominance = D (السائد)

Heterozygous = H (هجين)

Recessive = R (متنحي)

وبما ان مجموع p + q = 1 (اي ان نسبة الجين A + نسبة الجين a = 1)

وعلى فرض يتم التزاوج بشكل عشوائي $p = 1 - q$

فتكون تركيبة المجتمع بالتالي $q = 1 - p$

a امشاج ذكرية A امشاج انثوية

	P = A = 0.7 امشاج ذكرية	**q = a= 0.3 امشاج انثوية**
P = A = 0.7 امشاج ذكرية	**AA P2 = 0.49**	**Aa pq = 0.21**
q = a = 0.3 امشاج انثوية	**Aa pq = 0.21**	**aa q2 = 0.09**

Dr. Ahmed Shehab

ان هذه النسب هي نفس النسب في المجتمع السابق ومن هذا يتضح ان المجتمع في حالة توازن اي ان النسل الناتج يتكون من ثلاث تراكيب وراثية هي $p^2 : 2pq : q^2$

وتكون تركيبة المجتمع $p^2\,AA + 2pq\,Aa + q^2\,aa$ وهذا يعرف بقانون هاردي واينبرك.

مثال: عينة عدد افرادها 100 نبات فيها 65 نبات يحمل التركيب الوراثي AA ذو ازهار حمراء و 10 نباتات Aa ذو ازهار وردية و 25 نبات ذو ازهار بيضاء aa وان التزاوج او التضريب بين افراد المجتمع يتم عشوائياً احسب التكرار الجيني لكل من الاليلين A , a

$$\text{Gene frequency (A)P} = \frac{2D + H}{2N} = \frac{2 \times 65 + 10 \times 1}{2 \times 100} = 0.7$$

$$\text{Gene frequency (a)q} = \frac{2R + H}{2N} = \frac{25 \times 2 + 10 \times 1}{2 \times 100} = 0.3$$

وبعد تزاوج نباتات هذا المجتمع عشوائيا فان النباتات ذو الازهار الحمراء تكون كاميتات تحمل العامل A والنباتات ذو الازهار البيضاء تكون الكاميتات تحمل العامل a اما النباتات ذو الازهار الوردية نصف كاميتاتها تحمل العامل a والنصف الاخر يحمل العامل A وان التزاوج يتم كالاتي. وبعد التزاوج العشوائي تصبح تركيبة المجتمع بالشكل التالي:

a امشاج ذكرية A امشاج انثوية

	P = A = 0.7 امشاج ذكرية	**q = a= 0.3 امشاج انثوية**
P = A = 0.7 امشاج ذكرية	**AA P2 = 0.49**	**Aa pq = 0.21**
q = a = 0.3 امشاج انثوية	**Aa pq = 0.21**	**aa q2 = 0.09**

D = 49 H = 42 R = 9

وهذا يخالف النسب الاصيلة اي ان افراد المجتمع الاصيلة لم تكن في حالة اتزان

وهنالك طرق لمعرفة اتزان العشيرة.

1- مقارنة نسبة وجود الافراد الخليطة في جيل الاباء وجيل الابناء اي ان $2pq = \frac{H}{N}$

ففي المثال السابق كانت نسبة الافراد الخليطة في جيل الاباء $\frac{10}{100} = 0.1$

Dr. Ahmed Shehab

اما جيل الابناء $\frac{42}{100} = 0.42$

ان عدم ثبات تساوي نسبة الافراد الخليطة في جيل الاباء والابناء يدل على عدم الاتزان وانه سيصل الى حالة الاتزان بعد جيل واحد من التزاوج .

1- نطبق المعادلة التالية:

$$\frac{H}{\sqrt{D \times R}} = 2$$

اذا كان الناتج = 2 تكون العشيرة متزنة . اما اذا كان الناتج لا يساوي 2 فان العشيرة تكون غير متزنة.
نطبق المعادلة على جيل الاباء:

$$\frac{H}{\sqrt{D \times R}} = \frac{10}{\sqrt{65 \times 25}} = \frac{10}{8 \times 5} = \frac{1}{4} = 0.2$$

اما اذا طبقت المعادلة على جيل الابناء:

$$\frac{H}{\sqrt{D \times R}} = \frac{42}{\sqrt{49 \times 9}} = \frac{42}{7 \times 3} = \frac{42}{12} = 2$$

C- حساب التكرار الجيني للاليلات المتعددة

سبق وان تم حساب التكرار الجيني في حالة وجود اليلين فقط الصفات المندلية البسيطة كما في حالة اطوال النباتات حيث ان صفة النبات الطويل تحدد باليل سائد أو صفة النبات القصير تحدد باليل متنحي وكانت السيادة تامة كذلك تم حساب التكرار الجيني بوجود اليلين فقط لصفات كانت السيادة فيها غير تامة او متعادلة كما في حالة الالوان في الازهار حسب قانون هاردي- واينبرك $p + q = 1$. ولكن هناك حالات اكثر تعقيدا يوجد اكثر من اليلين (ثلاثة أو أكثر) كما في حالة الأليلات المتعددة مثل مجاميع الدم في الانسان حسب نظام ABO حيث السيادة مشتركة بين الاليل I^A و I^B وكلاهما سائد على الاليل المتنحي i وحسب تسلسل السيادة $I^A - I^B > i$، كذلك يمكن حساب التكرار الجيني لصفة لون فراء الأرانب حيث يوجد اليلات متعددة وحسب تسلسل السيادة $C > c^{ch} > c^h > c$ ولحساب التكرار الجيني المجاميع الدم حسب نظام ABO في مجتمع سكاني نطبق المعادلة التالية: $p + q + r = 1$ حيث تمثل p تكرار الجين I^A وتمثل q تكرار الجين I^B وتمثل r تكرار الجين i واذا عدنا الى النمط المظهري فان مجموعة الدم A تمثل النمط الوراثي $I^A I^A$ و $I^A i$ ومجموعة B يكون نمطها الوراثي $I^B I^B$ و $I^B i$ ومجموعة الدم AB لها النمط الوراثي $I^A I^B$ وعليه فانه غير الممكن الاعتماد على النمط المظهري, A, B , AB ولحساب التكرار الجيني تعتمد على النمط المظهري O المتنحي أي نحسب التكرار الجيني i اولاً ثم نحسب التكرار الجيني لبقية الاليلات كما في المعادلات التالية:

$$p + q + r = 1$$

Dr. Ahmed Shehab

يحسب تكرار i من المعادلة $r = i = \sqrt{O}$

يحسب تكرار I^A من المعادلة $p = I^A = 1 - \sqrt{O + B}$

يحسب تكرار I^B من المعادلة $q = I^B = 1 - \sqrt{O + A}$

أن كل من الرموز A و B و O تعني النسبة المئوية لمجاميع الدم A و B و O على التوالي ومن ثم تحول التي كسر عشري ويؤخذ الجذر التربيعي الذي يمثل تكرار كل اليل وفي بعض الأسئلة الوراثية تعطى نسب مئوية لكل مجموعة فتحول مباشرة الى كسر عشري ويؤخذ جذرها التربيعي الذي يمثل كل تكرار وتطبيق المعادلة لأيجاد التكرار لكل اليل.

مثال: وجد في احدى القرى عند دراسة مجاميع الدم ABO في عينة مؤلفة من 1000 شخص ان عدد الاشخاص من مجموعة A هو 450 شخص ومن مجموعة B هو 130 شخص ومن مجموعة O هو 360 شخص، احسب تكرار الاليلات المتعددة لكل من الاليلات i، I^A، I^B ثم احسب تكرار التراكيب الوراثية المتوقعة لهذه العينة علماً بأن العشيرة متزنة وراثياً.

$$p + q + r = 1$$

$$\text{تكرار الاليل } i = r = i = \sqrt{O} = \sqrt{0.36} = 0.6$$

$$\text{تكرار الاليل } I^A = p = 1 - \sqrt{O + B}$$

$$p = 1 - \sqrt{0.36 + 0.13}$$

$$I^A = p = 0.3$$

$$\text{تكرار الاليل } I^B = q = 1 - \sqrt{O + A}$$

$$I^B = q = 1 - \sqrt{0.36 + 0.45}$$

$$I^B = q = 0.1$$

وبطريقة اخرى $q = 1 - 0.6 + 0.3 = 0.1$

$$p + q + r = 1$$

$$0.3 + 0.1 + 0.6 = 1$$

Dr. Ahmed Shehab

طراز الدم	التركيب الوراثي	التركيب الجيني الاليلي
A	$I^A I^A$	$P^2=(0.3)^2 = 0.09$
	$I^A i$	$2pr= 2(0.3)(0.6) = 0.36$
B	$I^B I^B$	$q^2=(0.1)^2 = 0.01$
	$I^B i$	$2qr= 2(0.1)(0.6) = 0.12$
AB	$I^A I^B$	$2pq= 2(0.3)(0.q) = 0.06$
O	ii	$r^2=(0.6)^2 = 0.36$

مثال: في جماعة نباتية من الذرة الصفراء متزنة فيها BB= 360 وBb= 480 و bb= 160، اريد خفض التركيب bb للصفة قيد الدراسة من 0.4 الى اقل من 0.2 مع الحفاظ على الاتزان في الجماعة.

الطريقة: يمكن خفض التكرار الجيني لأي جين معروف بالانتخاب ضده او استعادة اذ كان يمكن تميزة بالذات، وهنا يمكن تميز الصفة المتنحية bb، وبأجراء التزاوج العشوائي الاول حسب التكرار الجيني في المثال B= 0.6 و b= 0.4 نحصل على الاتي:

	B = 0.6	**b = 0.4**
B = 0.6	BB =0.36	Ba= 0.24
b = 0.4	Ba= 0.24	bb=0.16

ونلاحظ ان التكرار الجيني بقي ثابتاً للجينين B= 0.6 و b=0.4 (bb= 0.16) وبأستبعاد افراد bb من بين افراد الجماعة يكون التكرار

$$\text{للجين B} = \frac{0.24 + 0.36}{0.84} = 0.71$$

وبالتكرار يكون تكرار الجين b = 0.29 (لأن الجماعة كانت متزنة) اذن يكون التزاوج العشوائي الثاني كالأتي:

	B = 0.71	**b = 0.29**
B = 0.71	BB =0.5041	Ba= 0.2059
b = 0.29	Ba=0.2059	bb=0.0841

وبذا يكون التكرار الجيني بعد التزاوج العشوائي الثاني كما يلي:

$$\text{للجين B} = \frac{0.2059 + 0.5041}{0.916} = 0.77$$

b= 0.23

	B = 0.77	**b = 0.23**
B = 0.77	BB =0.5929	Ba= 0.1771
b = 0.23	Ba=0.1771	bb=0.0529

وبأستبعاد افراد bb (0.0841) يكون التزاوج المقبل كما في التزاوج العشوائي الثالث وعلية يكون التكرار الجيني للجين

Ahmed Shehab

للجين B = $\frac{0.1771 + 0.5929}{0.947} = 0.82$

اذن تكرار الجين b= 0.18

وبذا نكون قد وصلنا الى النسبة المطلوبة من افراد (bb) بحيث يكون تكرار الجين (b) اقل من 0.20 بعد ثلاثة اجيال من التزاوج العشوائي والاستبعاد لأفراد (bb) قبل كل تزاوج وهكذا يمكن التحكم بالصفة الكمية المطلوبة عن طريق استبعاد التراكيب غير المرغوبة من بين الجماعة النباتية المتزاوجة.

أهم العوامل المؤثرة على التكرار الجيني واتزان هاردي-واينبرك:

1. الطفرة: Mutation: اذا طفر الجين T ⟶ t فأن تكرارات الآليلين T او t سوف تتغير، واذا ما حدثت طفرة T⟶t بصورة متواصلة فإن ذلك سيؤدي حتماً الى اختفاء الجين T من العشيرة وبذلك سيختل توازن العشيرة، إلا أن وجود طفرة راجعة من T ⟶ t سيؤدي الى إعادة التوازن في العشيرة.

2. الهجرة: Migration: أن الهجرة تعني انتقال افراد من عشيرة ما الى عشيرة أخرى وحدوث عملية التزاوج البيني العشوائي بين العشيرتين مما يؤدي إلى دخول جينات العشيرة المهاجرة الى العشيرة الأصلية، أن سرعة التغيير في التكرار الجيني في أي عشيرة معرضة لدخول عناصر مهاجرة تعتمد على سرعة الهجرة وعلى الفروق الجينية بين المهاجرين والعشيرة الأصلية، وبذلك فأن الهجرة تؤدي الى كسر ميكانيكية الانعزال الذي كانت تتمتع به العشيرة الاصلية مما يؤثر على نسبة التكرارات الجينية زيادة أو نقصان عن الحد الأصلي

3. الانتخاب: Selection: ان الانتخاب لصفة معينة او جين معين سؤدي ذلك الى زيادة التكرار الجيني لهذا الجين فلوكان لدينا مثلا جين يتحكم به اليلين (A) و(a) والسيادة تامة فأن الفرد الذي يحمل صفة ذات تركيب وراثي AA اوAa ستنتخب والفرد الذي يكون تركيبة الوراثي aa يستبعد لذا فأن الفرد الذي يحمل التركيب النقي المتنحي سيتغير التكرار الجيني له في العشيرة على حساب التراكيب الوراثية الاخرى لنفس الصفة اذا فأن الانتخاب سيعمل لصالح زيادة تكرار الآليل A على حساب الاليل a.

4.الانجراف الوراثي: Genetic Drift: حدوث اختلاف في التكرار الجيني اثناء ازدواج الكروموسومات في الانقسام الاختزلي بسبب صغر حجم المجتمع اي حدوث زيادة في التكرار الجيني لأحد التراكيب الوراثية بدرجة اكبر من الاخر عندما يكون عدد الافراد في المجتمع قليلاً فيتغير التكرار الجيني لصالحة. اما (Meiotic drive) عدم حدوث انقسام اختزالي متزن: هو موت بعض الامشاج الذكرية لتراكيب وراثية معينة اثناء الانقسام الاختزالي فتسبب زيادة تكرار احد الجينات على الاخر كأن تنج كميات فعالة من الجين A اكثر من الجين a فيغير ذلك من التكرار الجيني في الذرية الناتجة وهذا يكون بسبب صغر حجم المجتمع.

Dr. Ahmed Shehab

المصادر:

- **ايوب**، محمد حامد ورعد حساني سلطان علاوي ومحمد زغلول سعيد;. (2018). الوراثة العملي. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة الموصل.
- **علي**، حميد جلوب;. (1988). اسس تربية ووراثة المحاصيل الحقلية. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة بغداد. مديرية دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل.
- Internet

Dr. Ahmed Shehab