الحصويات Aggregates

١- مقدمة عامة:

تعتبر الحصويات احدى مواد البناء الرئيسية التي يستخدمها المهندس المدني في مجالا متعددة منها: طبقات الرصف الطرقي ، الخلطات الخرسانية (تشكل الحصويات نسبة تصل 75% من حجم الخلطة)، الخلطات الاسفلتية (يمكن ان تصل نسبة الحصويات الى 90% من حجم الخلطة)، طبقة البلاست المستعملة في حطوط السكك الحديدية، ...الخ

سيتم اعتماد المواصفة ASTM (American Society for Testing and Materials) في دراسة مواصفات الحصويات.

٢- تصنيف الحصويات:

٢- ١حسب الابعاد:

- البحص (الحصويات الخشنة) Coarse aggregates: يشمل الحصويات المحجوزة على المنخل رقم 4 (No.4) (4.75mm) وحتى 150mm . في الخلطات الخرسانية العادية المستخدمة في العناصر الانشائية مثل الاعمدة و الجوائز يمكن ان يصل قطر للحصويات الى 25mm ، اما في الخلطات الخرسانية الكتلية فيمكن ان يصل القطر الاعظمي الى 150mm
- الرمل (الحصويات الناعمة) Fine aggregates: يشمل الحصويات المارة على المنخل رقم 4 (No.4) (4.75mm) و المحجوزة على المنخل رقم 200 (No.200) (75µm) .

٢- ٢حسب المصدر:

- طبيعية: وتشمل الحصويات (رمل و بحص) المستخرجة من المكامن الطبيعية (شواطئ البحار ، سرير الأنهار..) دون أي تغيير بطبيعتها اثناء عملية الاستخراج. كل ما تحتاجه هذه الحصويات هو عمليات غسل و تحليل حبي للحصول على التدرج المطلوب.

- **صناعية:** وتقسم الى

- **حصويات مكسرة:** و تشمل الحصويات (البحص، الرمل) الناتج عن عملية تحطيم الصخور الطبيعية.
- **حصويات مصنعة:** و تشمل الحصويات المصنفة كمنتجات ثانوية (مخلفات) لصناعات رئيسية مثل حصويات خبث الفران العالية لصناعة الحديد، الرماد الطائر (المتطاير) الناتج عن احتراق الفحم الحجري المستخدم كوقود في محطات توليد الطاقة الكهربائية.
- **الحصويات المعادة التدوير:** و تشمل الحصويات الناتجة عن تحطيم نواتج الهدم للمنشآت الخرسانية، و الحصويات الناتجة عن قشط طبقات الاسفلت في الطرقات.

٢- ٣حسب الوزن الحجمي:

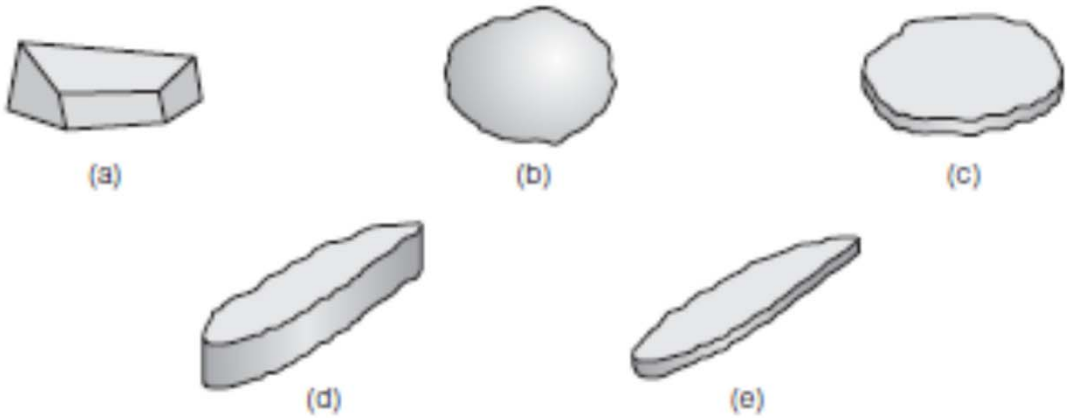
- **الحصويات الخفيفة جداً:** وتشمل الحصويات التي وزنها الحجمي اقل من $500Kg/m^3$ ، وتستخدم لإنتاج خرسانة خفيفة جداً يتراوح وزنها الحجمي بين (800-1100 Kg/m3) ، تستخدم في العناصر غير الانشائية (جدران التقسيم) و في العزل الحراري.
- **الحصويات الخفيفة:** وتشمل الحصويات التي يتراوح وزنها الحجمي بينKg/m^3(500-1120) ، وتستخدم لإنتاج خرسانة خفيفة يتراوح وزنها الحجمي بين (1200-1800 Kg/m3) ، تستخدم في العناصر غير الانشائية و الانشائية و للأغراض المعمارية.
- **حصويات العادية:** وتشمل الحصويات التي يتراوح وزنها الحجمي بينKg/m^3(1520-1680) ، وتستخدم لإنتاج خرسانة خفيفة يتراوح وزنها الحجمي بين ($2300-2400 Kg/m^3$) ، تستخدم في العناصر الانشائية المختلفة.
- **حصويات ثقيلة:** وتشمل الحصويات التي وزنها الحجمي اكبر من $2100kg/m^3$ ، وتستخدم لإنتاج خرسانةً وزنها الحجمي أكبر من ($3200 Kg/m^3$) ويمكن ان يصل الى $4000Kg/m^3$، تستخدم في المنشآت النووية.

٣- خواص الحصويات:

٣- ١شكل الحصويات:

يمكن ان نميز الأشكال التالية للحصويات: المكسرة الحادة الزوايا، المدورة، المسطحة، المتطاولة، المسطحة المتطاولة.

وفقا للمواصفة ASTM D9497 يمكن ان نعرف دليل الشكل Shape index ، حيث تكون الحصويات مسطحة عندما تكون نسبة عرضها الى سماكتها اكبر من 3 . و تكون متطاولة عندما تكون نسبة طولها الى عرضها اكبر من 3 .



اشكال الحصويات:a حادة الزوايا، b مدورة، c مسطحة، d متطاولة،e مسطحة و متطاولة.

٣- ٢بنية (نسيج) سطح الحصويات:

يمكن ان نميز بشكل أساسي بين حصويات ذات اسطح ناعمة و أسطح خشنة.

ملاحظات عامة خاصة بشكل الحصويات و بنية سطحها:

- يؤثر شكل الحصويات و بنية نسيجها على خواص الخرسانة من حيث قابلية الرص، مقاومة التشوه، و قابلية تشغيل الخلطة الخرسانية.
- الحصويات المدورة ذات السطح الاملس تكون ذات تشابك فيما بينها أقل من الحصويات ذات الحواف الحادة.
- الحصويات المتطاولة و المسطحة يمكن ان تنكسر اثناء عملية رص الحصويات، الامر الذي يؤثر على مقاومة الحصويات و كذلك على مقاومة الخلطات الخرسانية، كما ان هذه الحصويات يمكن ان تخفض قابلية تشغيل الخلطات الخرسانية.
- الحصويات ذات السطوح الناعمة تحتاج الى كميات ماء اقل من الحصويات الخشنة ، بالمقابل فان الحصويات الخشنة تؤمن ترابط افضل مع العجينة الاسمنتية بشكل افضل من الحصويات الملساء

٣- ٢ الكثافة الركامية (الكلية) Bulk density:

تُعرف بأنها كتلة واحدة الحجم .

$$\rho_{bulk} = M_{dry}/V_{total}$$

حيث: M_{dry} : كتلة المادة المجففة بالفرن 105±5 .

V_{total} : الحجم الكلي (حجم الأجزاء الصلبة مع الفراغات بينها)

٣- ٣ الوزن الحجمي الركامي Bulk unit weight

يُعرف بأنه وزن المادة مقسوما على حجمها الكلي.

$$\gamma_d = \rho_{bulk} * g = \frac{M_{dry}}{V_{total}} * g = \frac{W_{dry}}{V_{total}}$$

حيث: W_{dry} وزن المادة المجففة بالفرن 5±105 .

V_{total} : الحجم الكلي (حجم الأجزاء الصلبة مع الفراغات بينها)

يستخدم الوزن الحجمي في تصميم الخلطات الخرسانية و في حساب نسبة الفراغات البينية بين الحصويات. ويتأثر بالعوامل التالية:

- **شكل و حالة سطح الحصويات.**
- **توزع أبعاد الحصويات.**
- **درجة رص الحصويات.**
- **حالة الحصويات (جافة، رطبة، مبتلة)**
- **الوزن النوعي للحصويات.**

و نتيجة لهذه العوامل فان قيمة الوزن الحجمي للحصويات تختلف بشكل كبير و تعطي المواصفات قيم استرشاديه للوزن الحجمي للحصويات. فمثلاً يتراوح الوزن الحجمي للحصويات العادية الجافة بين Kg/m^3(1400-1800).

٣- ٤ محتوى الرطوبة Moisture content

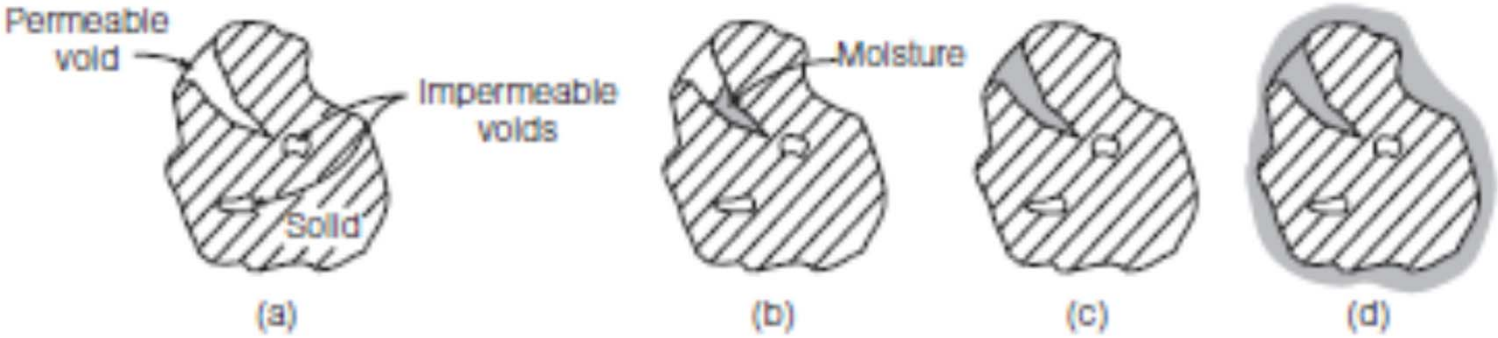
يمكن ان نميز الحالات التالية لمحتوى الرطوبة في الحصويات و ذلك وفقاً لكمية الماء المتواجدة ضمن الفراغات وعلى سطح الحصوية:

a)حصويات مجففة بالفرن Oven dry: وهي الحالة التي تتخلص فيها الحصوية من الماء المتواجد في الفراغات النفوذة وعلى السطح عن طريق تسخين العينة بالفرن بدرجة حرارة 105±5°C .

b)حصويات مجففة بالهواء Air dry : وهي الحالة التي يكون فيها سطح الحصوية جافاً مع تواجد للماء في الفراغات النفوذة.

c)حصويات سطحها جاف و مشبعة الفراغات النفوذة Saturated surface-dry (SSD) : وهي الحالة التي تكون فيها الفراغات النفوذة ممتلئة تماماً بالماء و السطح جاف.

d)حصويات رطبة(مبتلة) Damp or Wet: وهي الحالة التي تكون فيها الفراغات النفوذة ممتلئة بالماء بالإضافة الى تواجد الماء على كامل سطح الحصوية.



تُعرف الرطوبة بانها النسبة المئوية لوزن الماء في العينة مقسوما على وزنها الجاف.

$$w = \frac{W_{moist} - W_{dry}}{W_{dry}} * 100$$

حيث: w_{moist} : وزن العينة بحالتها الطبيعية.

W_{dry} : وزن العينة المجففة بالفرن بدرجة حرارة 105±5°C

يُعرف الامتصاص (التشرب) بانه رطوبة العينة في حالة SSD (سطح جاف و فراغات نفوذة ممتلئة بالماء)

٣- ٥ الوزن النوعي Specific gravity :

يُعرف بأنه ناتج قسمة كثافة المادة على كثافة الماء في الدرجة 4°C+ شريطة ان يكون للمادة و الماء نفس الحجم، و يمكن تعريفه ايضاً بأنه وزن واحدة الحجم من المادة الى وزن واحدة الحجم من الماء في درجة الحرارة النظامية 4°C+ .

يمكن ان يُسمى بالكثافة النسبية relative density و هو عدد لا واحدة .

كثافة الماء تعادل $1g/Cm^3$.

بما ان الحصويات تحتوي على فراغات بعضها غير نفوذ للماء و السوائل و بعضها الأخر منفذ للسوائل و الماء و بالتالي فانه وفقاً لحالة رطوبة الحصويات و فراغاتها يمكن ان نميز بين عدة أنواع للوزن النوعي.

انواع الوزن النوعي :

a. الوزن النوعي الركامي (الكلي) الجاف Bulk dry specific gravity :

$$Bulk\ Dry\ Sp.\ Gr.=\frac{Dry\ weight}{(total\ particle\ volume)*\gamma_w}=\frac{W_s}{(V_s+V_i+V_p)*\gamma_w}$$

b. الوزن النوعي الركامي (الكلي) المشبع Bulk SSD specific gravity :

$$Bulk\ SSD\ Sp.\ Gr.=\frac{SSD\ weight}{(total\ particle\ volume)*\gamma_w}=\frac{W_s+W_p}{(V_s+V_i+V_p)*\gamma_w}$$

c. الوزن النوعي الظاهري Apparent Specific. gravity.:

$$Apparent\ Sp.\ Gr.=\frac{Dry\ weight}{(Volume\ not\ accessible\ to\ water)*\gamma_w}=\frac{W_s}{(V_s+V_i)*\gamma_w}$$

حيث: W_s : وزن الجزء الصلب ضمن الحصوية.

V_s : حجم الجزء الصلب ضمن الحصوية.

V_i : حجم الفراغات غير النفوذة للماء.

V_p :حجم الفرغات النفوذة للماء.

W_p : وزن الماء في الفراغات النفوذة عندما تكون الحصوية في حالة SSD .

W_γ : الوزن الحجمي للماء.

الأوزان النوعية و التشرب للحصويات الخشنة (البحص) وفقا للمواصفة ASTM C127:

- يتم أخذ عينة من البحص و غسلها على المنخل 4.75mm و من ثم يتم غمرها بالماء لمدة 24h.
- تخرج العينة من الماء و تمسح بقطعة من القماش الجاف سطح الحصويات (حالة SSD) و نقوم بوزن العينة و ليكن وزنها هو B.
- نقوم بوزن العينة ضمن الماء بواسطة الميزان الهيدروستاتيكي و ليكن C.
- نقوم بتجفيف العينة ضمن الفرن حتى ثبات الوزن و ليكنِ A .

$$\text{Bulk Dry Sp. Gr.} = \frac{A}{(B-C)}$$

$$\text{Bulk SSD Sp. Gr.} = \frac{B}{(B-C)}$$

$$\text{Apparent Sp. Gr.} = \frac{A}{A-C}$$

$$\text{Absorption}(\%) = \frac{B-A}{A}(100)$$

حيث: ***A*** : *الوزن الجاف للعينة.*

B : *الوزن في حالة**SSD**.*

C :*وزن العينة مغمورة بالماء.*

الأوزان النوعية و التشرب للحصويات الناعمة (الرمل) وفقا للمواصفة ASTM C128:

- يتم أخذ 1Kg تقريباً من الرمل ونجففها بالفرن حتى ثبات الوزن من ثم يتم غمرها بالماء لمدة 24h.
- تخرج العينة من الماء و نعمل على تحريكها على سطح مستوي حتى الوصول لحالة SSD ونأخذ كمية تعادل 500g و لنرمزها S .
- نأخذ بيكنومتر و نملؤه بالماء و نزنه و ليكن الوزن هو B .
- ثم نفرغ البيكنومتر الا من كمية قليلة ، ثم نضيف الية عينة الرمل S ثم نملأ البيكنومتر بالماء و نوزن و ليكن C
- نخرج العينة من البيكنومتر و نجففها حتى ثبات الوزن فنحصل على الوزن A .

$$\text{Bulk Dry Sp. Gr.} = \frac{A}{(B+S-C)}$$

$$\text{Bulk SSD Sp. Gr.} = \frac{S}{(B+S-C)}$$

$$\text{Apparent Sp. Gr.} = \frac{A}{B+A-C}$$

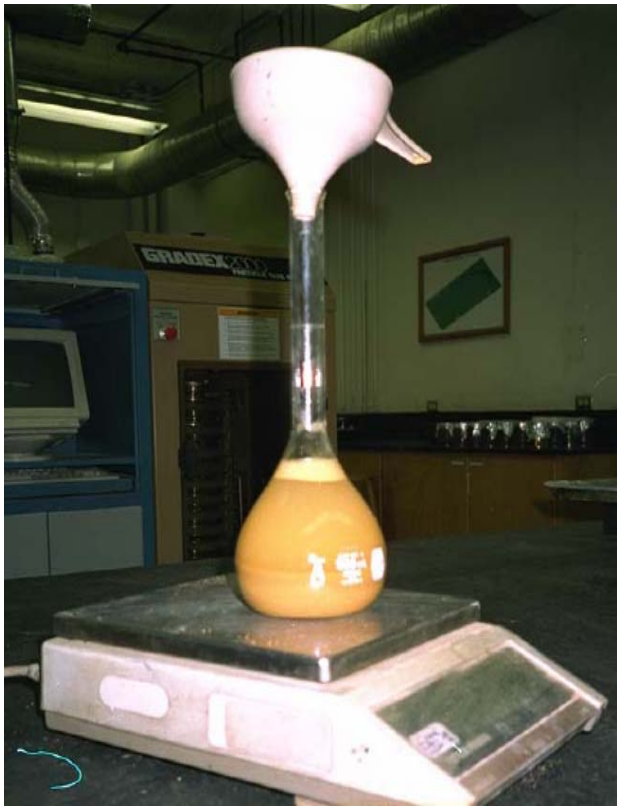
$$\text{Absorption (\%)} = \frac{S-A}{A}(100)$$

حيث: **A** : الوزن الجاف للعينة.

B : وزن البيكنومتر مملوء بالماء.

C :وزن البيكنومتر مملوء بالرمل و الماء.

S : وزن الرمل في حالة **SSD**



٣- ٦ نسبة الفراغات بين الحصويات Voids ratio between aggregates

$$V_{voids}\% = 100 - V_s\%$$

$$Vs\% = \frac{Vs}{V} * 100 = \frac{W/\gamma_s}{W/\gamma_b} * 100 = \frac{\gamma_b}{\gamma_s} * 100 = \frac{\gamma_b}{G_{sb} * \gamma_w} * 100$$

حيث: V_s : حجم الأجزاء الصلبة.

γ_s : الوزن الحجمي للحصويات.

γ_b :الوزن الحجمي الركامي للحصويات.

γ_w : الوزن الحجمي للماء.

٣- ٧ درجة الاشباع Degree of saturation

$$S_r\% = \frac{V_w}{V_v} * 100$$

حيث: V_w : حجم الفراغات المملؤة بالماء.

V_v : حجم الفراغات.

مثال:

٣- ٧ التحليل (التدرج) الحبي Sieve analysis

تهدف عملية التحليل الحبي الى تحديد توزع ابعاد الحصويات من خلال امرارها عبر سلسلة من المناخل القياسية و المختلفة الفتحات (ASTM C136) .

- **ترتب المناخل فوق بعضها البعض بحيث يكون اكبرها مقاساً في الأعلى و أصغرها في الأسفل .**
- **يتم وزن العينة الحصوية المحجوزة على كل منخل ومن ثم يتم حساب النسبة المئوية المارة بينمن كل منخل.**
- **نرسم العلاقة بين أبعاد فتحات المناخل و النسبة المئوية المارة من كل منخل على ورقة ذات تدرج نصف لوغاريتمي و بذلك نحصل على منحني التحليل الحبي.**
- **ان الهدف من معرفة التدرج الحبي هو الحصول على تدرج مناسب للحصويات المراد استخدامها في انتاج الخلطة الخرسانية.**
- **تسمح عملية التحليل الحبي بمعرفة القطر الأعظمي للحصويات maximum aggregate size و القطر الاعظمي الأسمي للحصويات nominal maximum aggregate size .**

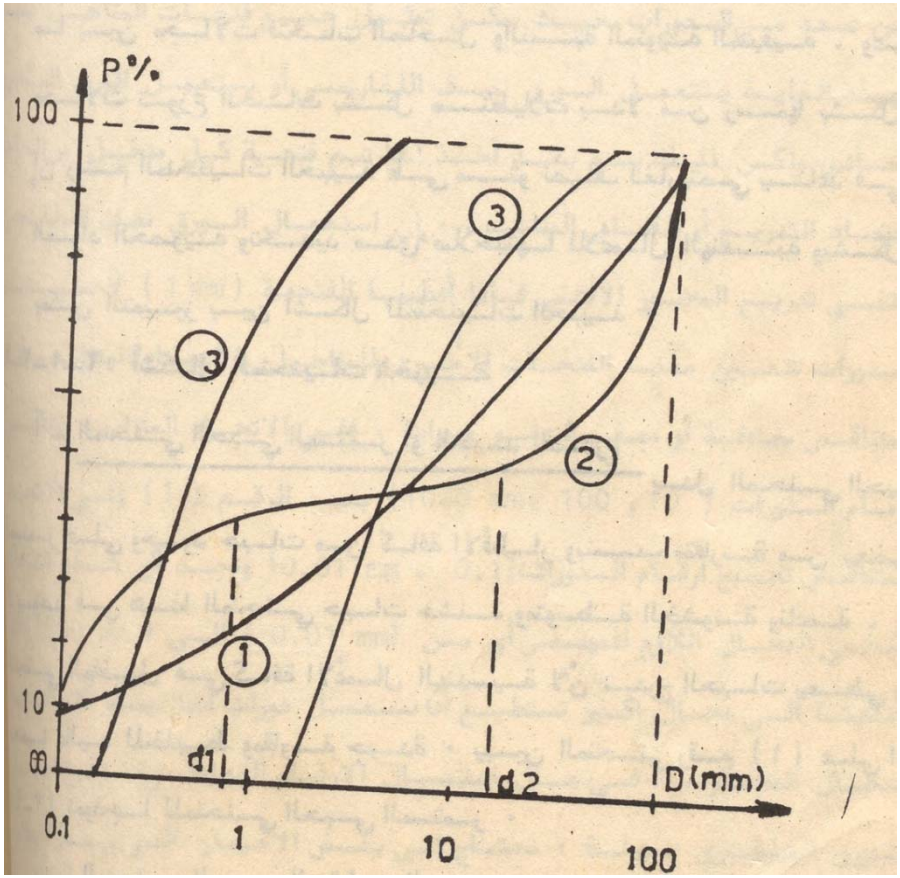
- **القطر الأعظمي للحصويات Maximum aggregate size : يوافق فتحة المنخل الأصغر الذي يمرر 100% من الحصويات من خلاله.**
- **القطر الأعظمي الأسمي للحصويات Nominal maximum aggregate size :يوافق فتحة المنخل الأكبر الذي يحجز نسبة من الحصويات أصغر أو تساوي 10% .**

٣-٧-١ أشكال المنحنيات الحبية:

- **المنحني الحبي المستمر او الجيد التدرج:** يدل المنحني الحبي المستمر على وجود حبات من كافة القطار و بنسب متقاربة، و هذا يعني أنه يوجد حبات خشنة و متوسطة و ناعمة. هذا المنحني يُفضل في كافة الأعمال الهندسية حيث يعطي وزنا حجميا عاليا للخليط و مقاومة عالية.

- **المنحني الحبي المنقطع التدرج أو السيئ التدرج :**يدل هذا المنحني على وجود حبات خشنة و حبات ناعمة أما الحبات المتوسطة فهي قليلة جداً أو معدومة. يتميز المنحني هذا المنحني بوجود منطقة في وسطه ذات ميل قليل (افقية تقريباً) و هذا يدل ان حصويات هذه المنطقة تكون مفقودة و غير متوافرة ضمن الخلطة الحصوية.

- **المنحني المنتظم التدرج:** يكون هذا المنحني عادة ذو ميل شديد و هو قريب من الخط الشاقولي ، وهذا يعني ان كافة حبيبات هذا المنحني لها نفس القطر تقريبا او ان مجال تغير الأقطار ضيق جداً



٣-٧-١ المجالات (الحزم) المقبولة لمنحنيات التحليل الحبي وفق ASTM C33:

الحصويات الناعمة (الرمل):

TABLE 5.4 ASTM Gradation Specifications for Fine Aggregates for Portland Cement Concrete (Copyright ASTM, reprinted with permission)

Sieve	Percent Passing
9.5 mm (3/8″)	100
4.75 mm (No. 4)	95–100
2.36 mm (No. 8)	80–100
1.18 mm (No. 16)	50–85
0.60 mm (No. 30)	25–60
0.30 mm (No. 50)	10–30
0.15 mm (No. 100)	0–10

الحصويات الخشنة (البحص):

TABLE 5.5 Coarse Aggregate Grading Requirements for Concrete (Reprinted, with permission, from ASTM C33, Table 2, copyright ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428).

		Amounts Finer Than Each Laboratory Sieve (Square Openings), Weight Percent												
Size No.	**Nominal Size**	**4 in. (100 mm)**	**3 1/2 in. (90 mm)**	**3 in. (75 mm)**	**2 1/2 in. (63 mm)**	**2 in. (50 mm)**	**1 1/2 in. (37.5 mm)**	**1 in. (25.0 mm)**	**3/4 in. (19.0 mm)**	**1/2 in. (12.5 mm)**	**3/8 in. (9.5 mm)**	**No. 4 (4.75 mm)**	**No. 8 (2.36 mm)**	**No. 16 (1.18 mm)**
1	3 1/2 to 1 1/2 in. (90 to 37.5 mm)	100	90 to 100	...	25 to 60	...	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...
2	2 1/2 to 1 1/2 in. (63 to 37.5 mm)	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...
3	2 to 1 in. (50 to 25.0 mm)	...	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...
357	2 in. to No. 4 (50 to 4.75 mm)	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	...	0 to 5	...	...
4	1 1/2 to 3/4 in. (37.5 to 19 mm)	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...
467	1 1/2 in. to No. 4 (37.5 to 4.75 mm)	...	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	0 to 5	...	...
5	1 to 1/2 in. (25.0 to 12.5 mm)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...	...
56	1 to 3/8 in. (25.0 to 9.5 mm)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 85	10 to 40	0 to 15	0 to 5	...	...
57	1 in. to No. 4 (25.0 to 4.75 mm)	...	...	...	...	...	100	95 to 100	...	25 to 60	...	0 to 10	0 to 5	...
6	3/4 in. to 3/8 in. (19.0 to 9.5 mm)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	0 to 5	...	...
67	3/4 in. to No. 4 (19.0 to 4.75 mm)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	...	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...
7	1/2 in. to No. 4 (12.5 to 4.75 mm)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 70	0 to 15	0 to 5	...
8	3/8 in. to No. 8 (9.5 to 2.36 mm)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 30	0 to 10	0 to 5

مثال:

أجريت تجربة التحليل الحبي على عينة من الحصويات وزنها 8145g ، فكانت الأوزان المجوزة على كل منخل كما هو مبين في الجدول التالي:

قطر المنخل (mm)	25	19	12.5	9.5	4.75	2.36	القعر
الوزن المجوز على كل منخل g	0.0	405	2850	2435	2030	375	0

- المطلوب: حساب النسبة المئوية المارة من كل منخل.
- حساب القطر الأعظمي و القطر الأسمي الأعظمي.
- رسم منحني التحليل الحبي.

٣-٧-٢ معامل النعومة Fineness modulus :

يُعرف بانه عامل يصف البعد الوسطي للحصويات و يتم الحصول علية من جداول التحليل الحبي، و يساوي مجموع النسب المئوية التراكمية المجوزة على سلسلة محددة من المناخل مقسوماً على 100

سلسلةالمناخل:

(0.15mm-0.3mm-0.6mm-1.18mm-2.36mm-4.75mm-9.5mm-19.0mm-37.5mm-75mm and 150mm.)

(No.100-50-30-16-8 and 4 and 3/8in-3/4in-1.1/2in-3in-and 6in)

- **يُستخدم عامل النعومة في تصميم الخلطات الخرسانية.**
- **تتراوح قيمته للحصويات الناعمة بين (2.3-3.1) .**
- **تتراوح قيمته للحصويات الخشنة بين (5-8).**

مثال:

٣-٧-٣ خلط (مزج) الحصويات Blending aggregate:

ان وجود التدرج الحبي للحصويات أمر صعب جداً ، لذلك نقوم بمزج أكثر من نوع من الحصويات بهدف الحصول على تدرج حبي يحقق متطلبات المواصفات المعتمدة.

للقيام بعملية المزج نستخدم المعادلتين التاليتين:

$$P_i = A_1 * X_1 + A_2 * X_2$$

$$1 = X_1 + X_2$$

حيث: X_1, X_2 : نسبة المزج لكل نوع من الحصويات.

P_i : النسبة المئوية المارة للمزيج.

A_1, A_2 :النسبة المئوية المارة لكل نوع من الحصويات.

مثال:

خواص الحصويات المخلوطة:

عندما يتم خلط نوعين من الحصويات أو أكثر من مصادر مختلفة لتشكيل خليط يحقق المواصفات، فانه يمكن معرفة بعض خواص هذا الخليط بالاعتماد على خواص الحصويات المكونة له.

يتم حساب الخواص من العلاقة التالية:

$$X = X_1 * P_1 + X_2 * P_2 + \cdots + X_i * P_i..$$

حيث: X **: خاصية المزيج المدروسة .**

$P_1, P_2, \ldots P_i$ **: نسب الخلط لكل نوع من الحصويات.**

$X_1, X_2, \ldots X_i$ **: الخاصية المدروسة لكل نوع من الحصويات.**

باستثناء خواص الوزن النوعي، الوزن الحجمي، الكثافة فإنها تعطى من العلاقة التالية:

$$G = \frac{1}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + .. + \frac{P_i}{G_i}}$$

حيث: G **: خاصية المزيج المدروسة(وزن نوعي، وزن حجمي،كثافة) .**

$P_1, P_2, \ldots P_i$ **: نسب الخلط لكل نوع من الحصويات.**

$G_1, G_2, \ldots G_i$ **: الخاصية المدروسة لكل نوع من الحصويات.**

مثال:

٨-٣ قساوة الحصويات Hardness of aggregates:

تُعبر عن مقاومة الحصويات للتآكل بالاحتكاك فيما بينها أو نتيجة لحركة مرور ثقيلة عليها. وهي خاصية مهمة جداً للخرسانة المستخدمة في الطرق و اسطح الأرضيات المعرضة للحركة المرورية عليها.

- **تُحدد قساوة الحصويات عن طريق تجربة لوس انجلس (ASTM C131, ASTM C535) التي يقوم مبدؤها على وضع كمية من الحصويات ضمن وعاء (طبل) اسطواني دوار، يُضاف اليها عدد من الكرات الفولاذية ذات حجم معين و عدد معين.**
- **تُجري التجربة على الحصويات المحجوزة على المنخل ذو الفتحة 1.7mm .**
- **بعد انتهاء التجربة تُنخل الحصويات من جديد على نفس المنخل (1.7mm) .**
- **نعين معامل لوس أنجلس من العلاقة:**

$$L.A\% = \frac{W_0 - W_f}{W_0} \times 100$$

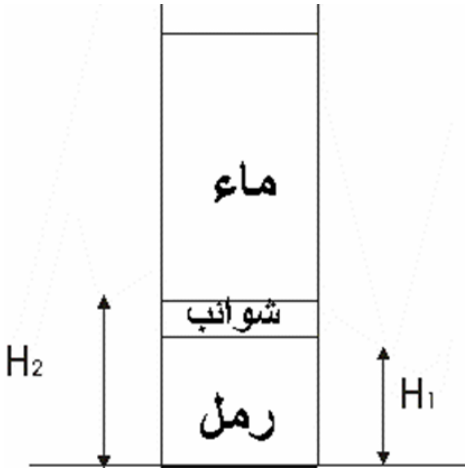
حيث: W_o : *الوزن الأصلي للعينة g.*

W_f: الوزن المتبقي (المحجوز) على المنخل ذو الفتحة 1.7mm بعد انتهاء التجربة.

- **كلما كان معامل لوس انجلس صغيراً كلما كان كانت الحصويات قاسية.**

٣-٩وجود الغضار و المواد الأصغر من 75µm ضمن الحصويات Presence of clay and materials finer than 75µm in aggregates :

- ان وجود الغضار و المسحوق على سطح الحصويات يعيق ترابطها مع العجينة الاسمنتية و يزيد حاجة الخلطة الخرسانية للماء.
- يتم تحديد نسبة الغضار و المسحوق باستخدام تجربة المكافئ الرملي .
- تقوم التجربة على وضع عينة من الحصويات الناعمة (الرمل) (المار من المنخل ذو الفتحة 4.75µm) ضمن أنبوب اختبار يحتوي محلول مشتت هو كلور الكالسيوم يعمل على فصل الشوائب عن اسطح الحصويات الناعمة .
- نقوم برج الأنبوب آليا لمدة 45sec ثم نترك الأنبوب بالوضع الشاقولي و نقوم بقراءة ارتفاع الرمل و ارتفاع الرمل مع الشوائب و نوجد المعادل الرملي من العلاقة التالية:



$$E.S = \frac{H_1}{H_2} \times 100$$

حيث: H_1 :ارتفاع الرمل.

H_2: ارتفاع الرمل مع الشوائب.

- يكون الرمل مقبول للاستخدام في الخرسانة العادية اذا كان المكافئ الرملي يتراوح بين 60-70%.
- يكون الرمل نظيفاً و يُستخدم في البيتون العالي المقاومة اذا كان المكافئ الرملي يتراوح بين 70-80%
- اذا كانت قيم المعادل الرملي أقل من القيم السابقة فانه يُنصح بغسل الرمل أو نخله أو بالأثنين معاً.