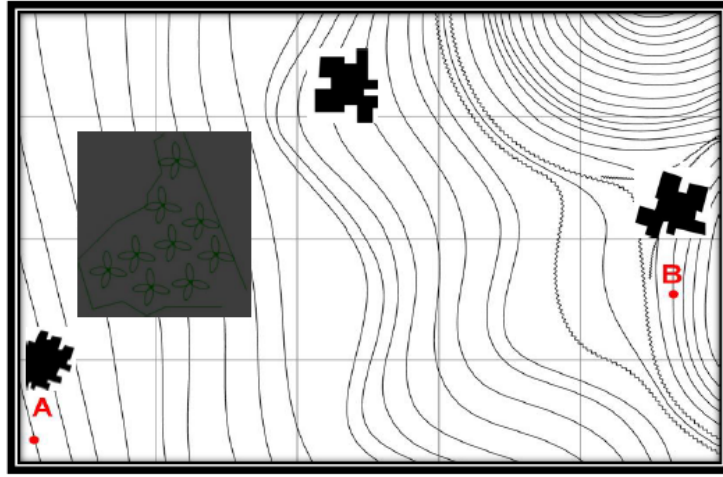


## خطوات تصميم الطريق في المسقط الأفقي

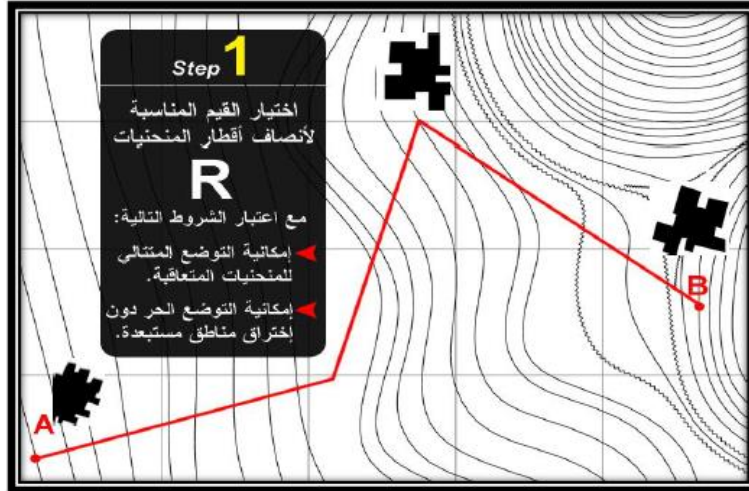
### المعطيات اللازمة للتصميم:

- مخطط طبوغرافي لمنطقة موضح عليها كافة خطوط التسوية بمناسبيها، وكل ما هو موجود في هذه المنطقة من تجمعات سكنية - صناعية - تجارية - مواقع أثرية - طرق برية بمختلف أنواعها - سكك حديدية - غابات وبساتين - أنهار ومسيلات مائية - مستنقعات وبحيرات .....
- النقاط التي سنقوم بإنشاء طريق يصل بينها والموقعة على المخطط.
- درجة الطريق والتي سيتم اعتمادها (بناءً على قيم الغزارات المرورية)، والتي سوف تساعدنا في اختيار كل ما يتعلق بتصميم الطريق وفق الجداول الخاصة بذلك.



المخطط الطبوغرافي للمنطقة

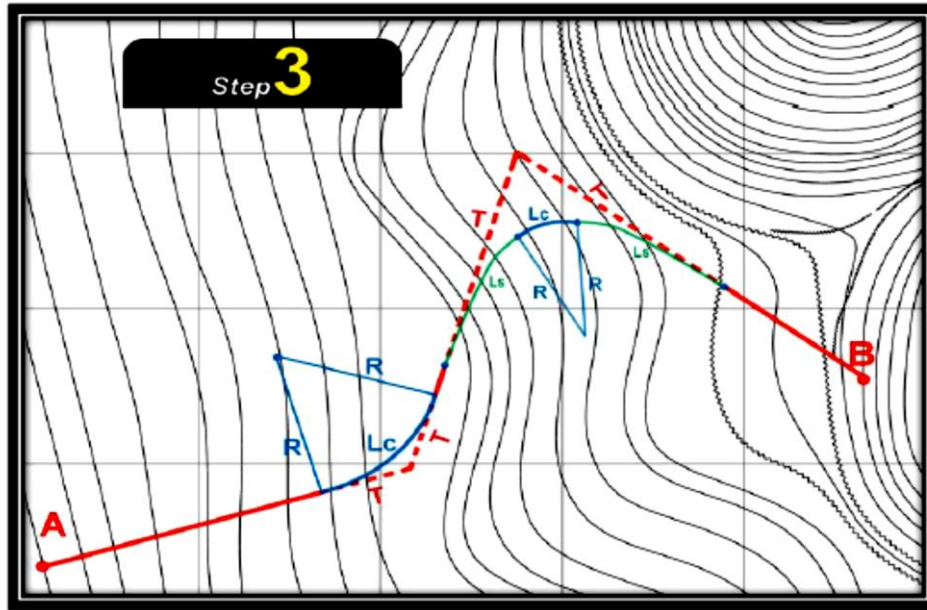
### 1- الخطوة الأولى: اختيار القيم المناسبة لأنصاف أقطار المنحنيات.



### 2- الخطوة الثانية: تصميم وحساب المنحنيات الأفقية لكل مسار، وإعداد مذكرة حسابية تبين كيفية حساب كل منحنى على حدة والاحتفاظ بها ورقياً.

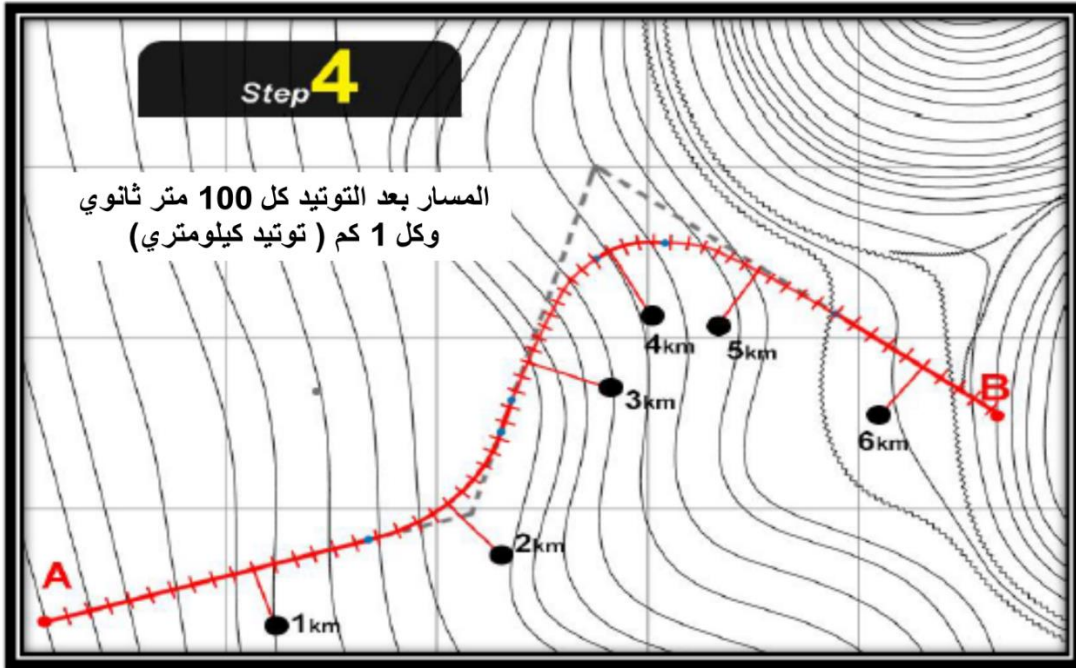


3- الخطوة الثالثة: رسم وتوقيع كل منحني أفقي على حدة ومن أجل جميع المسارات المختارة.



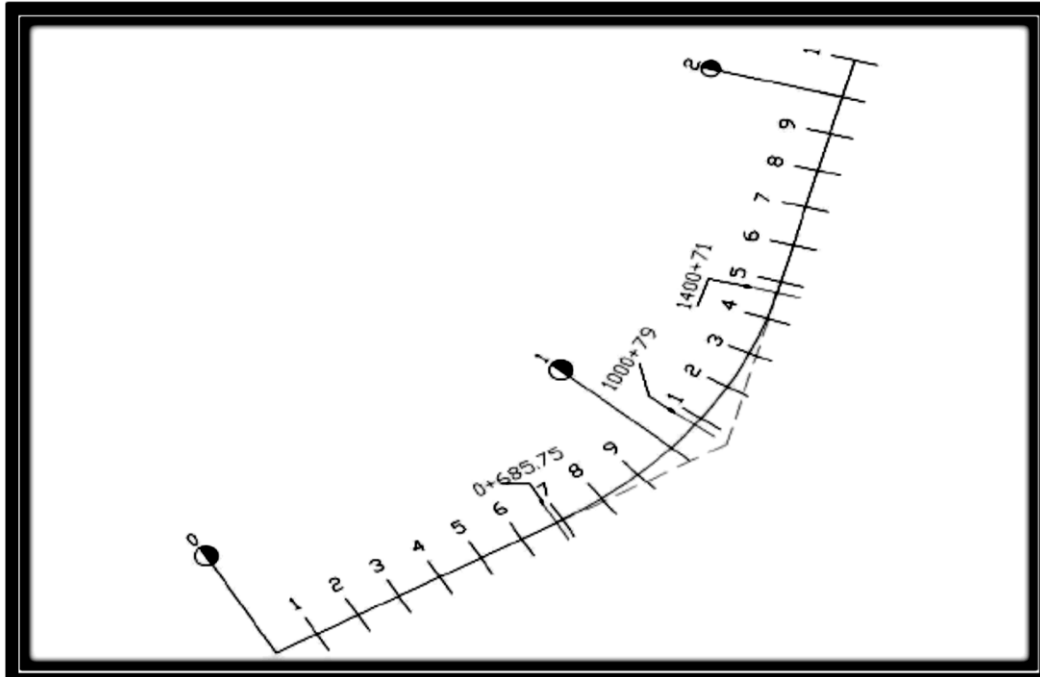
4- الخطوة الرابعة: اختيار المسار النهائي (الحل الأفضل بين المسارات المقترحة) وتوثيده، حيث يتم اختيار المسار النهائي الأفضل فنياً واقتصادياً، ويتم ذلك من خلال اعتماد جدول للمقارنة بين المسارات المقترحة.

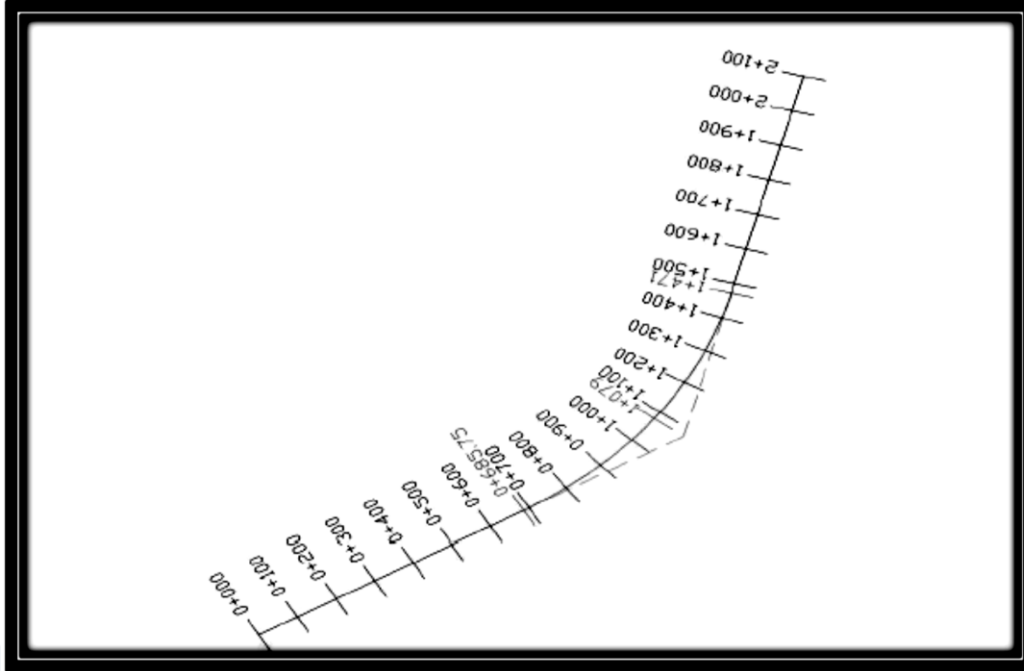
**التوثيد:** هو أن نضع خطأً معامداً لمسار الطريق بطول 0.5 سم كل مسافة معينة، وقد تكون هذه المسافة (25- 50- 75- 100) متر، وهذا يدعى بالتوثيد الثانوي، كما يجب وضع خط طوله 3 سم ينتهي بدائرة نصف قطرها أسود وقطرها حوالي 3 مم بشكل متعامد مع الطريق كل 1 كم، يسمى بالتوثيد الكيلومتري.



**ملاحظات هامة:**

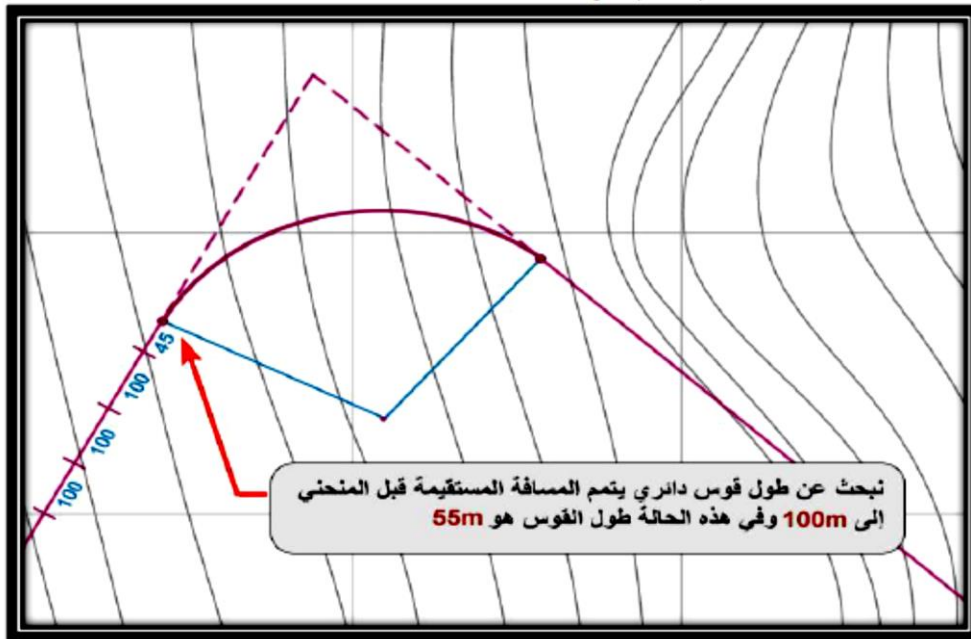
- يجب وضع وتد إضافي عند بداية ونهاية وذروة كل منحنى من المنحنيات الأفقية، وذلك عندما لا تقع هذه النقاط على أوتاد أساسية أو ثانوية.



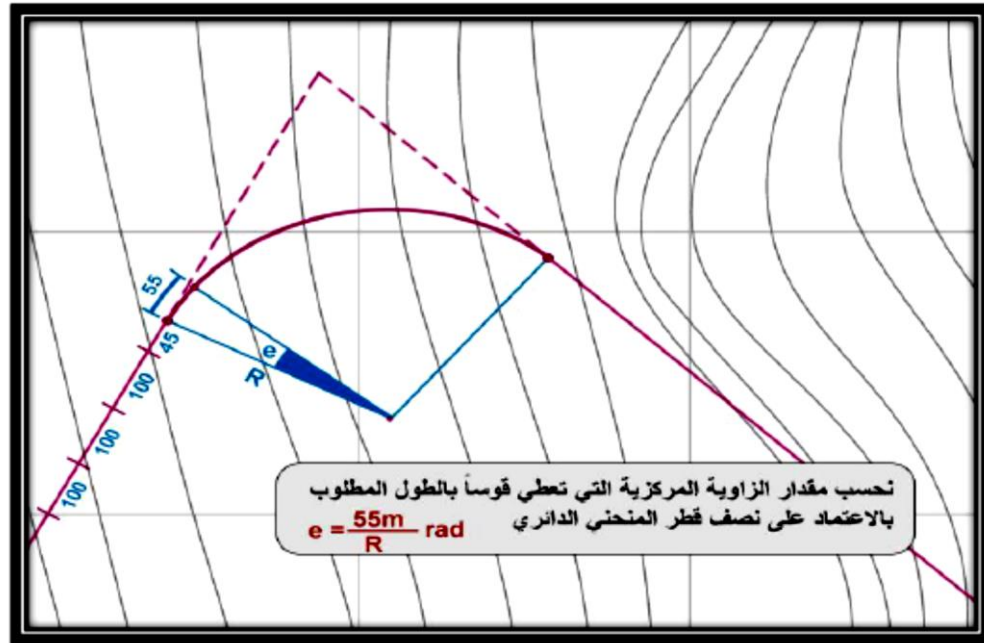
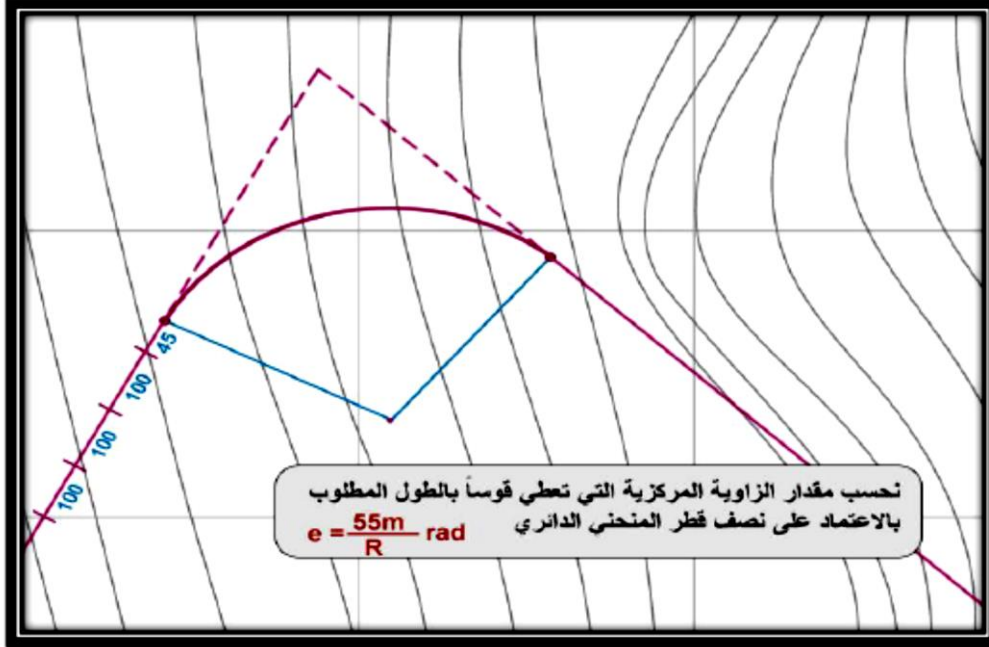


### مراحل توتيد المنحنيات الأفقية والكلوتويدات:

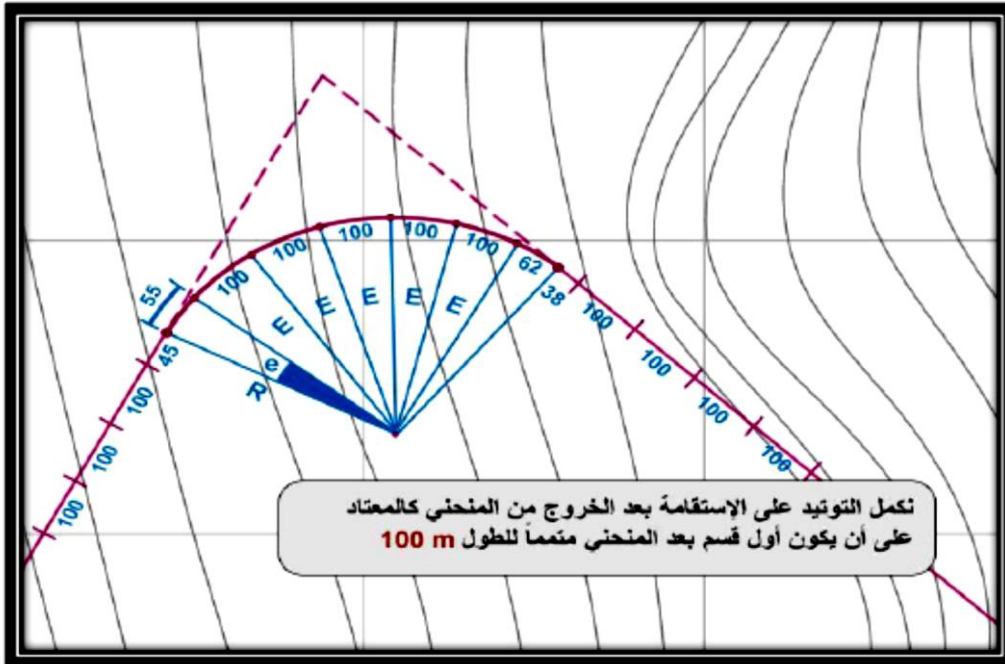
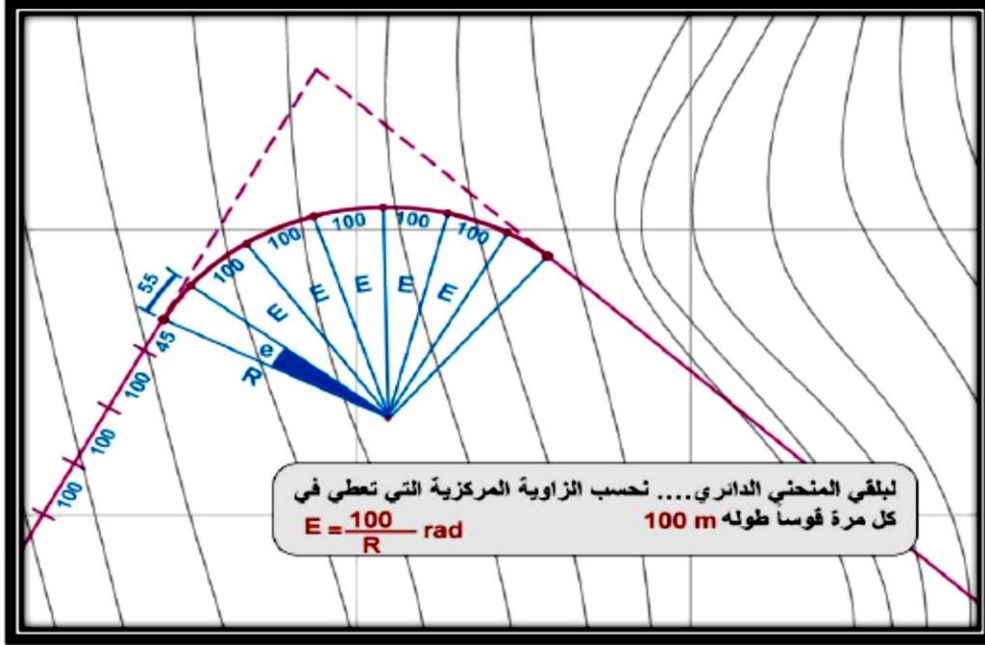
- 1- يبدأ التوتيد من بداية الطريق ووصولاً إلى القوس الدائري في المسقط الأفقي، وإذا كانت المسافة لا تتطابق مع ترقيم الأوتاد، نبحث عن طول القوس الدائري الذي يتم المسافة المستقيمة في المسقط الأفقي قبل الوصول إلى المنحني إلى 100 متر، والصورة توضح ذلك.



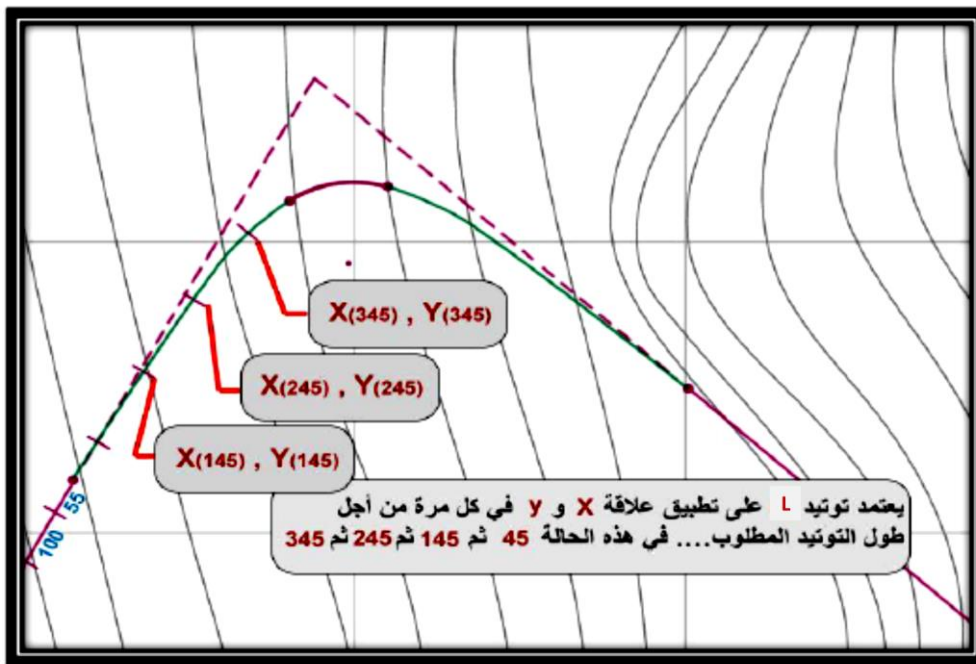
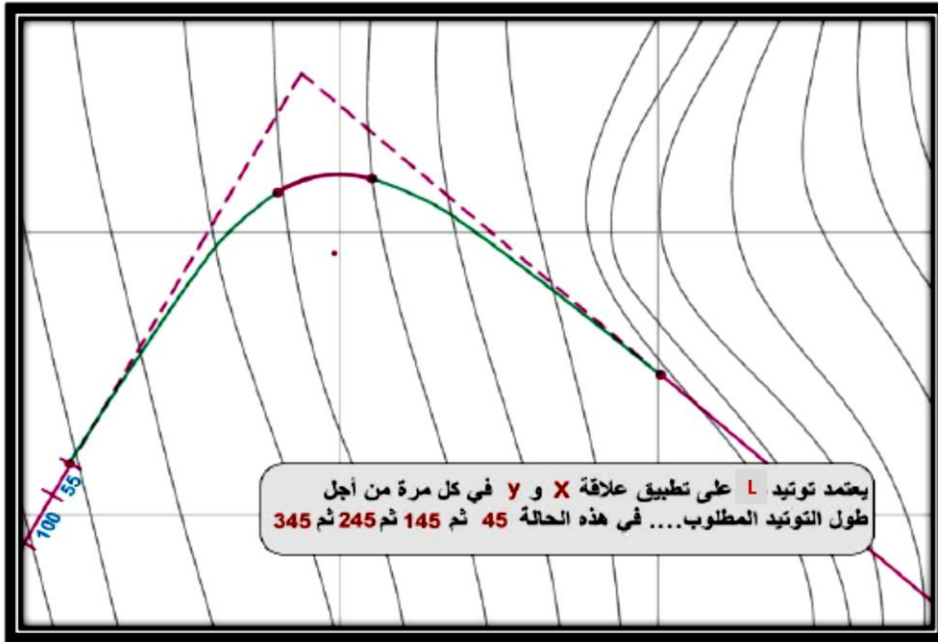
2- نحسب مقدار الزاوية المركزية التي تعطي قوساً بالطول المطلوب، حيث أن قيمة هذه الزاوية تقدر بالراديان اعتماداً على نصف قطر المنحني الدائري.



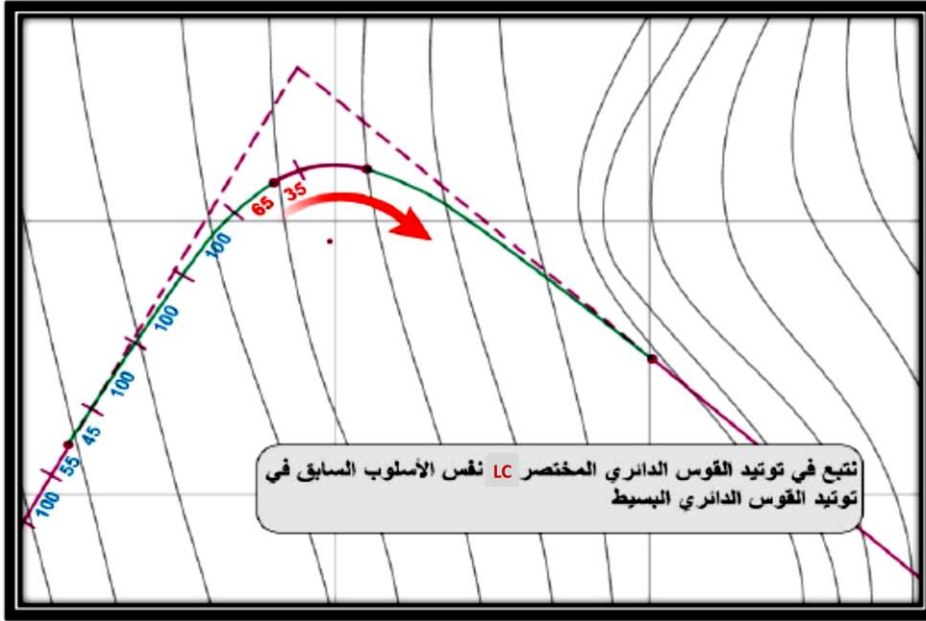
3- نحسب الزاوية المركزية التي تعطي قوساً دائرياً بقيمة **100** متر وذلك لباقي نقاط المنحني الدائري، ونكمل التوتيد على الاستقامة بعد الخروج من المنحني الدائري، على أن يكون أول قسم بعد المنحني متمماً للطول **100** متر.



- 4- بالنسبة للمنحنيات الكلوتويدية المركبة من القوس الدائري والكلوتويدات المتناظرة أو غير المتناظرة، نعتمد على تطبيق علاقة  $x, Y$  في كل مرة من أجل طول التوتيد المطلوب وهو 100 متر، وهذا ما توضحه الأشكال التالية.



5- نتبع في توتيد القوس الدائري المختصر **Lc** نفس الخطوات السابقة في توتيد القوس الدائري البسيط.



### مسألة:

يطلب تصميم منحنى متدرج (كلوتويد)، يصل بين استقامة وقوس دائري، له نصف قطر أصغري بسرعة تصميمية 90 كم/سا مع تعلية إضافية 5%، لمشروع طريق بحارتي مرور، والمطلوب:  
تحديد عناصر الكلوتويد، ومن ثم حساب إحداثيات مركز القوس الدائري وانزياح الدائرة، حيث الاحتكاك العرضي 0.07.

$$R_{min} = \frac{v^2}{127 * (e + f)} = \frac{(90)^2}{127 * (0.05 + 0.07)} = 531.5 \sim 535 \text{ m}$$

ثابت الكلوتويد

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

$$\frac{535}{3} \leq 200 \leq 535$$

$$A^2 = R * L$$

$$(200)^2 = 535 * L \rightarrow L = 74.77 \text{ m}$$

$$\tau = \frac{L}{2R} * \frac{180^\circ}{\pi} = 28.65 * \frac{L}{R} = 28.65 * \frac{74.77}{535} = 4^\circ$$



أو

$$\tau = \frac{L^2}{2A^2} = \frac{(74.77)^2}{2(200)^2} = 0.0699 \text{ Rad}$$

زاوية المماس المشترك عند نقطة نهاية الكلوتونيد

إحداثيات النقاط الطرفية بدلالة المماس أو زاوية المماس (الزاوية بالراديان):

$$x = A\sqrt{2} * \left( \tau^{1/2} - \frac{\tau^{5/2}}{10} \right) = 200\sqrt{2} * \left( 0.0699^{1/2} - \frac{0.0699^{5/2}}{10} \right) = 74.74 \text{ m}$$

$$y = A\sqrt{2} * \frac{\tau^{3/2}}{3} = 200\sqrt{2} * \frac{0.0699^{3/2}}{3} = 1.74 \text{ m}$$

**ملاحظة:** إذا طلب إحداثيات منتصف الكلوتونيد نعوض في علاقة  $\tau$  بدلاً من  $L$  بـ  $L/2$  ومن ثم نحسب  $X, Y$ .

$$L = 74.77 \text{ m} \Rightarrow \frac{L}{2} = 37.385 \text{ m}$$

نعوض في علاقة  $\tau$  بدلاً من  $L$  بـ  $L/2$  ومن ثم نحسب  $X, Y$ .

$$\tau = \frac{\left(\frac{L}{2}\right)^2}{2A^2} = \frac{(37.385)^2}{2(200)^2} = 0.017 \text{ Rad}$$

لتحديد إحداثيات أية نقطة من الكلوتونيد لدينا العلاقات التالية:

$$X = A\sqrt{2} * \left[ \tau^{1/2} - \frac{\tau^{5/2}}{10} \right]$$

الزاوية مقدرة بالراديان

$$y = A\sqrt{2} * \left[ \frac{\tau^{3/2}}{3} \right]$$

$$A^2 = R * L$$

الثابت الوحيد للكلوتونيد

طول الكلوتونيد

إحداثيات مركز انحناء الكلوتونيد:

$$x_s = x - R * \sin \tau = 74.74 - 535 * \sin(0.0699) = 37.37 \text{ m}$$

$$Y_s = Y + R * \cos \tau = 1.74 + 535 * \cos(0.0699) = 535.43 \text{ m}$$

انزياح القوس الدائري P في النقطة التي تبعد بمسافة  $X_s$  عن بداية الكلوتونيد:

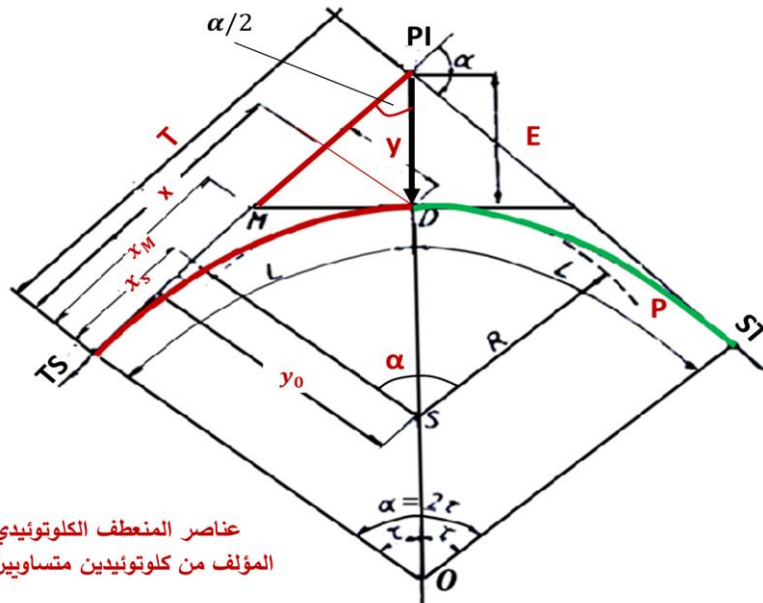
$$P = Y_s - R = 535.43 - 535 = 0.43m$$

أو

$$P = \frac{L^2}{24 * R} = \frac{(74.77)^2}{24 * 535} = 0.435m$$

### مسألة:

احسب عناصر منعطف أفقي كلوتويدي مؤلف من كلوتويدين متناظرين طول كل منهما 500m إذا علمت أن  $\alpha = 90^\circ$  وأن  $R=600m$  (الانحناء الثابت للكلوتويد له نفس قيمة نصف قطر منعطف دائري).



$$\alpha = \tau_1 + \tau_2 \Rightarrow \alpha = 2\tau \Rightarrow \tau = 45^\circ$$

من الرسم التوضيحي للمنعطف الكلوتويدي نجد أن:

$$x = L - \frac{L^3}{40 * R^2} = 500 - \frac{500^3}{40 * 600^2} = 491.32m$$

$$y = \frac{L^2}{6 * R} = \frac{500^2}{6 * 600} = 69.44m$$

$$P = \frac{L^2}{24 * R} = \frac{500^2}{24 * 600} = 17.36m$$

حساب البعد بين ذروة المنعطف وذروة المضلع الأفقي E:

$$E = \frac{Y}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \frac{69.44}{\cos 45^\circ} = 98.20m$$

حساب إحداثيات مركز انحناء الكلوتويد:

$$X_s = x - R * \sin \tau = 491.32 - 600 * \sin 45^\circ = 67.06m$$

$$Y_s = R + P = 600 + 17.36 = 617.36m$$

حساب طول المماس الكلي:

$$T = x + y * \tan \frac{\alpha}{2} = 491.32 + 69.44 * \tan 45^\circ = 560.76m$$

حساب الطول  $X_M$

$$X_M = x - y * \cot \tau = 491.32 - 69.44 * \cot 45^\circ = 421.88m$$

حساب طول المنعطف الكلي:

$$O = 2.L = 2 * 500 = 1000m$$

### مسألة:

طريق سريع مكون من حارتي مرور ذهاب واياب، يحوي في مسقطه الأفقي على استقامتين متقاطعتين بزاوية 30 غراد، تم الوصل بين الاستقامتين بمنحني دائري ومنحني وصل (كلوتويدين)، السرعة التصميمية  $V = 110 \text{ km/h}$ ، وبفرض الميل العرضي الأعظمي في الجزء الدائري  $i = 5\%$ ، ومعامل الاحتكاك العرضاني  $f = 0.13$ ، يقرب نصف القطر الدائري إلى أقرب خمسة نحو الأعلى، والمطلوب حساب ما يلي:

1. نصف قطر المنحني الدائري وطول القوس الدائري
2. حساب عناصر الكلوتويد
3. طول المماس الكلي، وانزلاق الدائرة عن محور الفواصل.

$$R = \frac{V^2}{127(e + f)}$$

لأن السرعة أكبر من 110 كم/سا

$$R = \frac{(110 * 0.75)^2}{127(0.05 + 0.13)} = 297.7m \sim 300m$$

طول القوس الدائري بعد تحويل الزاوية من غراد إلى راديان (دون وجود منحنيات انتقالية):

$$L_c = R * \alpha$$

$$L_c = 300 * \frac{30 * \pi}{200} = 141.37m$$

بما أن التسارع العرضي C لم يعط، لذلك لا نستطيع استخدام القانون:

$$A = \sqrt{\frac{V^3}{47 * C}}$$

لذلك نستخدم القانون التالي:

$$A = 1.543\sqrt{0.018 * V^3 - 23.33 * V}$$

$$A = 1.543\sqrt{0.018 * 82.5^3 - 23.33 * 82.5}$$

$$A = 139.576$$

ثابت الكلوتونيد

$$L = \frac{A^2}{R} = \frac{(139.576)^2}{300} = 64.94 m \quad \text{طول الكلوتونيد:}$$

زاوية ميل مماس منحنى الكلوتونيد مع الأفق:

$$\tau = \frac{L}{2R} = \frac{64.94}{2 * 300} = 0.1082 \text{ Rad} = 6.89 \text{ grad}$$

ويمكن حساب الزاوية من قانون آخر، وذلك بتعويض  $R = \frac{A^2}{L}$  في القانون السابق، ونجد:

$$\tau = \frac{L}{2 * \frac{A^2}{L}} = \frac{L^2}{2 * A^2} = \frac{(64.94)^2}{2 * (139.576)^2} = 0.1082 \text{ Rad} = 6.89 \text{ grad}$$

حساب طول المماس الكلي نقوم برسم الشكل التالي:

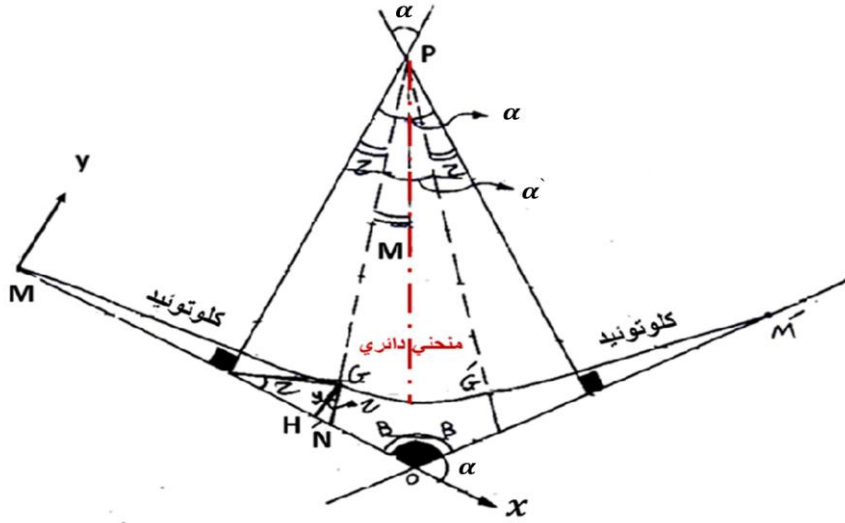
حساب بعد بداية الكلوتونيد عن نقطة تقاطع الاستقامتين (أي طول المماس الكلي): OM

$$OM = T = MH + HN + ON$$

حساب إحداثيات الكلوتونيد X,y عند نقطة التقاء الدائرة بالكلوتونيد:

$$X = A\sqrt{2} * \left[ \frac{1}{\tau^2} - \frac{5}{10} \right]$$

$$X = 139.576 * \sqrt{2} * \left[ 0.1082^{\frac{1}{2}} - \frac{0.1082^{\frac{5}{2}}}{10} \right]$$



$$X = 64.861 \text{ m}$$

$$MH = 64.861 \text{ m}$$

$$y = A\sqrt{2} * \left[ \frac{3}{\tau^2} \right] = 2.341 \text{ m}$$

$$y = 2.341 = GH$$

$$HN = GH * \text{tg } \tau = 2.341 * \text{tg}(0.1082) = 0.254 \text{ m}$$

ملاحظة: لا ننسى تحويل نظام الآلة الحاسبة إلى الراديان.

$$PN = R + GN$$

حساب ON:

من المثلث GHN لدينا:

$$\cos \tau = \frac{y}{GN}$$

$$GN = \frac{y}{\cos \tau} = \frac{2.341}{\cos 0.1082} = 2.354 \text{ m}$$

$$PN = 300 + 2.354 = 302.354 \text{ m}$$

زاوية القوس الدائري

$$\alpha' = \alpha - 2\tau = \frac{30 * \pi}{200} - (2 * 0.1082) = 0.254 \text{ rad}$$

$$M^{\wedge} = \frac{\alpha'}{2} = \frac{0.254}{2} = 0.127 \text{ rad}$$

$$\beta^{\wedge} = \frac{200 - \alpha}{2} = \frac{200 - 30}{2} = 85 \text{ grad} = 1.335 \text{ rad}$$

من علاقة الجيوب نكتب:

$$\frac{\sin \beta}{PN} = \frac{\sin M}{ON}$$

PN: المقابل للزاوية B

ON: المقابل للزاوية M

$$ON = \frac{\sin 0.127}{\sin 1.335} * 302.357 = 39.385 \text{ m}$$

طول المماس الكلي يساوي:

$$OM = 64.861 + 0.254 + 39.385 = 104.5 \text{ m}$$

انزلاق الدائرة عن محور الفواصل:

$$P = \frac{L^2}{24 * R} = \frac{(64.94)^2}{24 * 300} = 0.585 \text{ m}$$

طول قوس الدائرة:

عندما وصلنا الدائرة بالكلوتويد اقتطعنا من الزاوية  $\alpha$  الزاويتين  $2\tau$  لتصبح زاوية الدائرة  $\alpha'$ :

$$L_c = R * \alpha' = 300 * 0.2548 = 76.45 \text{ m}$$

طول المنحني الكلي المركب:

$$S = 76.45 + 2(64.94) = 206.33 \text{ m}$$