



Ulaştırma II

**GEÇİŞ EĞRİLERİ
YATAY KURBALARDA GENİŞLETME
GEÇİŞ EĞRİLİ YATAY KURPLARDA
DEVER**

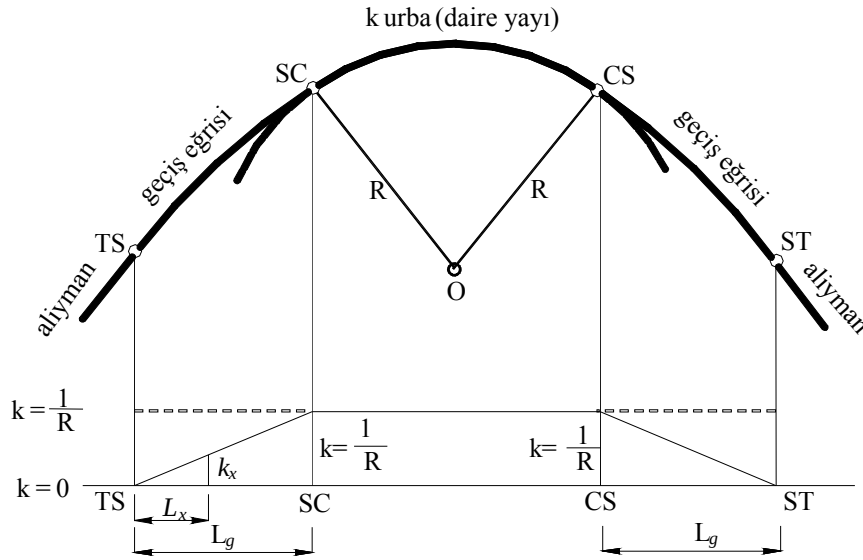
Prof.Dr.Mustafa ILICALI

GEÇİŞ (BİRLEŞTİRME) EĞRİLERİ

GEÇİŞ EĞRİLERİ

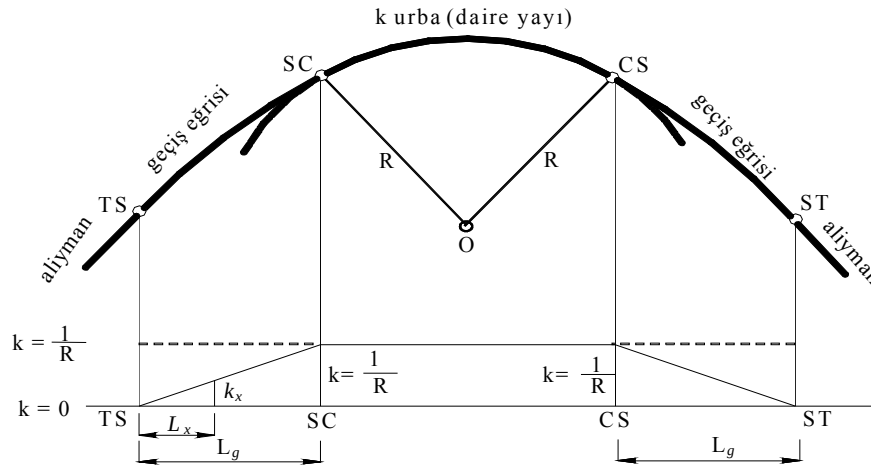
- Merkezkaç kuvvetinin ani etkilerini ortadan kaldırmak üzere alıymanla yatay kurba daire yayı arasına yerleştirilen ilave yol elemanına **geçiş eğrisi** denir.
- Adından da anlaşılacağı gibi, alıymandan kurbaya girişte farklı eğrilikler (dolayısıyla eğrilik yarıçapları) sebebiyle aniden ortaya çıkan merkezkaç kuvvetinin etkileri, bu elemanlarla belirli bir geçiş uzunluğuna yayılarak karşılanır.
- **Rakordman kurbası** adı da verilen geçiş eğrisi vasıtasıyla, alıyman ve esas yatay kurba daire yayı birleştirilir.

GEÇİŞ EĞRİLERİ



- Geçiş eğrisinin başlangıcı aliymana, bitişi ise esas kurbaya teğettir.
- Geçiş eğrisinin başlangıcında, eğrilik yarıçapı sonsuz ($R_g=\infty$), bitiminde ise esas kurbanın yarıçapına eşittir ($R_g=R$). Eğrilik yarıçapındaki bu azalma, diğer bir ifadeyle eğrilikteki artış, aşağıdaki şekilde de görüldüğü üzere, eğri boyunca lineer olmalıdır.
- Taşıt geçiş eğrisi boyunca seyrine, girişteki sabit bir V hızı ile devam edebilmelidir.
- Taşıtın direksiyonu geçiş eğrisi üzerinde sabit bir ω açısal hızıyla döndürüldüğünde, eğrinin bitiminde yani esas kurbaya girişte en büyük dönüş açısına erişmelidir.

GEÇİŞ EĞRİSİNİN EĞRİLİĞİ



Geçiş eğrisinin TS başlangıç noktasından itibaren alınan herhangi bir Lx noktasındaki eğriliği,

$$\frac{k_x}{L_x} = \frac{k}{L_g}$$

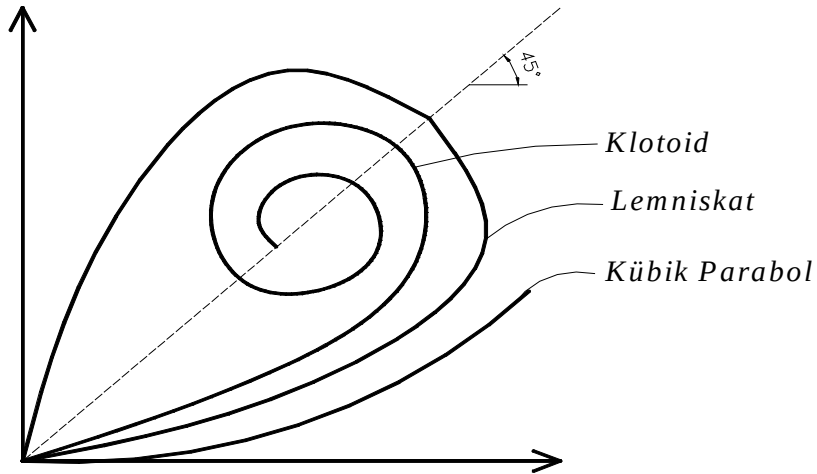
$$k_x = \frac{k}{L_g} \cdot L_x$$

- olarak bulunur.
- Eğrinin bitiminde yani SC noktasında eğrilik $k=1/R$ 'ye eriştiğine göre k_x şu şekilde ifade edilebilir:

$$k_x = \frac{L_x}{L_g \cdot R}$$

- İfadedeki $(L_g \cdot R)$ teriminin sabit olması eğriliğin lineer olarak arttığının göstergesidir.

Çeşitli Tipteki Geçiş Eğrileri



- Klotoid
- Lemniskat
- Kübik parabol
- 2R yarıçaplı daire yayı

Geçiş Eğrisi Uzunluğu

- Geçiş eğrilerinin uzunluğu belirlenirken, taşıt hareketinin dinamiğine bağlı olarak sademenin belirli bir değerden büyük olmaması şartına bakılır.
- Taşıt alıyman bitiminde yani geçiş eğrisi başlangıcında iken enine ivme değeri, sıfır; geçiş eğrisi sonunda yani esas kurbaya girişte ise (v^2/R) 'dir.
- Enine ivmedeki değişim bilindiği gibi $t=Lg/v$ süresince meydana gelir.
- Buna göre sademe bağıntısı yazılırsa,

$$p' = \frac{\frac{v^2}{R}}{\frac{L_g}{v}} = \frac{v^3}{R \cdot L_g}$$

- elde edilir.

Geçiş Eğrisi Uzunluğu

- Hız km/sa cinsinden ($v=V/3,6$) ve proje hızı olarak yazılırsa, geçiş eğrisinin uzunluğu,

$$L_g = \frac{V_p^3}{46,7 \cdot R \cdot p'}$$

- bağıntısıyla bulunur.
- Sonuçta, belirli bir proje hızına ve yarıçapa göre tasarlanan yatay kurbada, yol sınıfına göre esas alınan sademe değeri için, geçiş eğrisinin uzunluğunu bulmak mümkündür.
- $p' = 0,40$ (m/sn³) için geçiş eğrisi uzunluğu,

$$L_g = \frac{V_p^3}{18,7 \cdot R}$$

- $p' = 0,50$ (m/sn³) için geçiş eğrisi uzunluğu,

$$L_g = \frac{V_p^3}{23,4 \cdot R}$$

- $p' = 0,60$ (m/sn³) için geçiş eğrisi uzunluğu,

$$L_g = \frac{V_p^3}{28,0 \cdot R}$$

Geçiş Eğrisi Olarak Klotooidin Geometrik Özellikleri

- Geçiş eğrilerinin çizimlerini, piketaja uygun bir şekilde yapmak için geometrik özelliklerinin ayrıntılı olarak bilinmesi gereği vardır.
- Burada sadece klotoidle ilgili elemanlara değinilecektir.
- Klotoid yol tasarımında çokça kullanılan bir geçiş eğrisidir. Klotoidin herhangi bir noktasındaki eğrilik yarıçapı R , boyu L ise, bunlar arasında,

$$R \cdot L = A^2$$

- şeklinde sabit olan bir ilişki vardır.

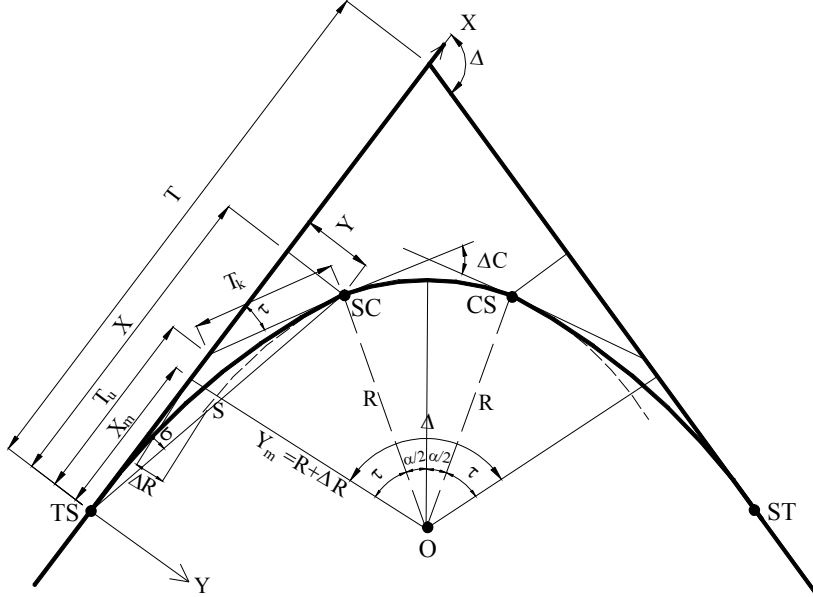
Geçiş Eğrisi Olarak Klotoidin Geometrik Özellikleri

- A'ya klotoidin parametresi denir ve birimi (m) cinsindendir.
- Aynı bir klotoidin parametresi değişmez ve sabittir.
- Klotoidin parametresi şayet değiştirilirse büyüklüğü de değişir.
- Klotoidin, elemanları birbirine bağlı olan tek bir (esas) şekli vardır.
- Diğer bir deyişle, A parametresinin büyüklüğüne göre, elemanlarının birbiriyle ilişkileri değişmemek üzere klotoidin boyu değiştirilebilir.
- Bu bakımdan klotoid parametresi tüm klotoidlerin birbirine göre benzeme oranı yada büyütme faktörüdür.

Geçiş Eğrisi Olarak Klotoidin Geometrik Özellikleri

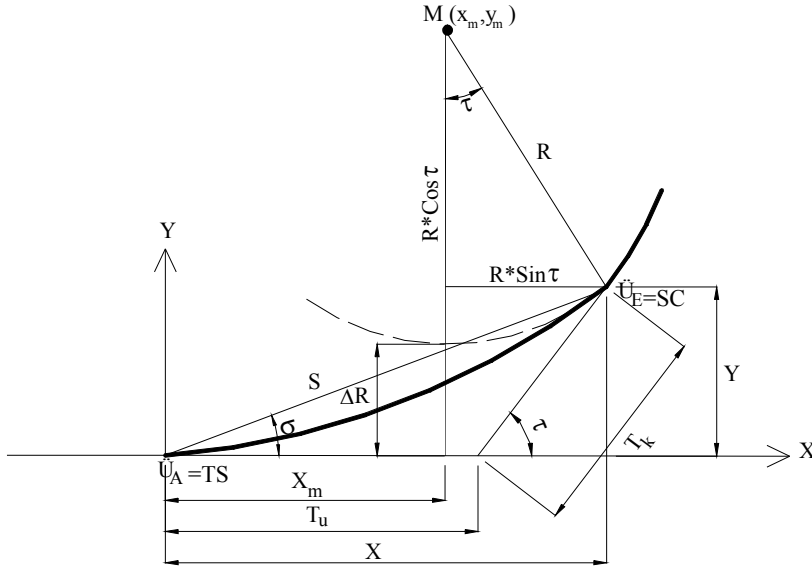
- Parametresi $A=1$ olan klotoide, **birim klotoid** adı verilir.
- Birim klotoid değişik A parametreleriyle çarpılarak çok sayıda ve farklı büyüklükte klotoidler elde etmek için kullanılır. Y
- atay kurba tasarımında kullanılmak üzere klotoidin bu özelliğinden yararlanarak çeşitli tablolar teşkil edilmiştir.

Geçiş Eğrisi Olarak Klotoidin Geometrik Özellikleri



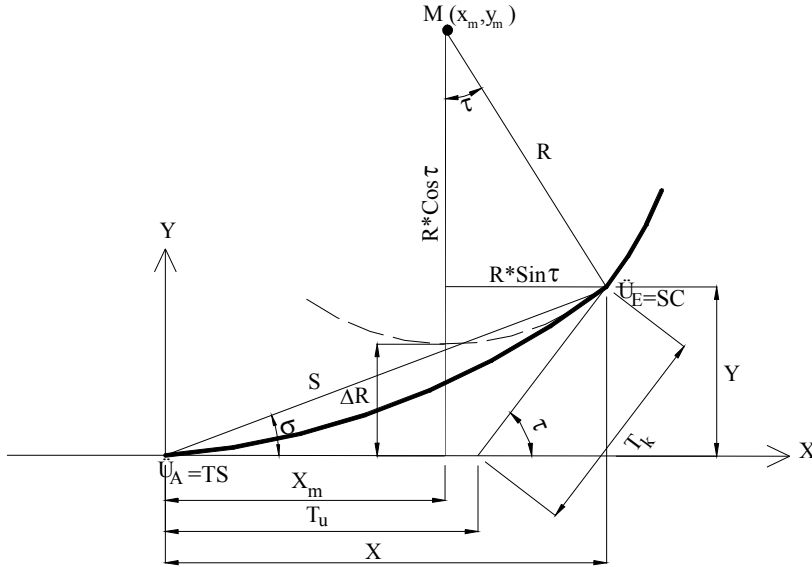
- Birim klotoid tablosundan alınan elemanlara ait uzunluk değerleri l , r , Δr , x_m , x , y , t_k , t_u ise parametresi A olan klotoidin elemanları $L=A.l$, $R=A.r$, $\Delta R=A.\Delta r$, $X_m=A.x_m$, $X=A.x$, $Y=A.y$, $T_k=A.t_k$, $T_u=A.t_u$ şeklinde bulunur.
- Bu durumda elemanların birbirine oranı değişmediği için açı değerleri aynı kalır.

Geçiş Eğrisi Olarak Klotoidin Geometrik Özellikleri



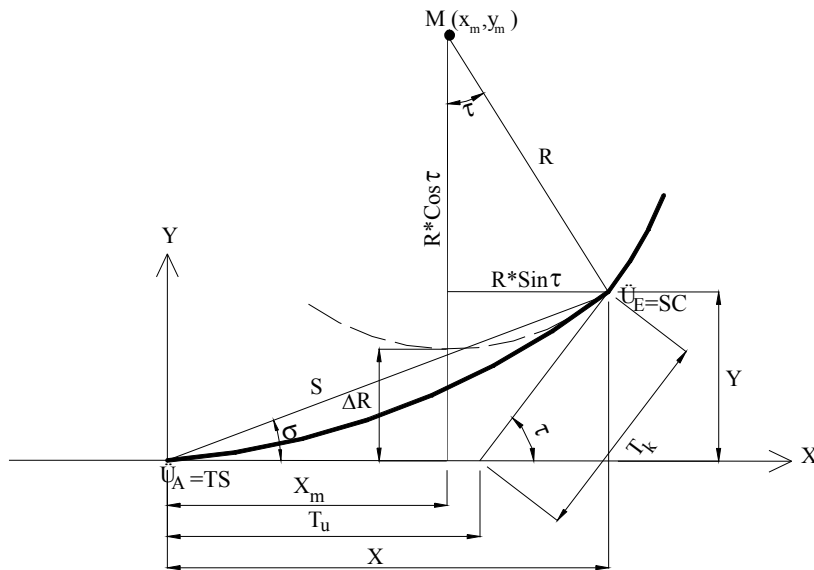
- Klotoid gerçekte belirli fonksiyonu olan bir spiraldir.
- Karayolu tasarımında bu spiralin tamamı kullanılmaz.
- Sadece, geçiş eğrisi olmaya elverişli, başlangıcından itibaren yukarıdaki özelliklere sahip olan kısmı kullanılır.
- Klotoid elemanları hesaplanırken yatay kurbanın ilgili teğeti X (apsis), buna dik eksen de Y (ordinat) olarak kabul edilir.
- Elemanların hesabı ve çizimi bu kartezyen koordinat sistemine göre yapılır.
- Klotoidin kartezyen koordinatlarının hesaplanması için integral formüllerinden yararlanılır.
- Her seferinde bu hesabı yapmamak için, pratikte kullanmak üzere klotoid tabloları oluşturulmuştur.

Geçiş Eğrisi Olarak Klotoidin Geometrik Özellikleri



- Klotoid elemanlarını kısaca aşağıdaki şekilde adlandırılır:
- L : Klotoidin boyu (Geçiş eğrisi uzunluğu olarak L_g notasyonu da gösterilir) (m),
- X : Klotoidin başlangıç noktasına (TS) göre bitiş noktasının (SC) apsisi (m),
- Y : Klotoidin başlangıç noktasına (TS) göre bitiş noktasının (SC) ordinatı (m),
- τ : Klotoidin teğet açısı (raydan),
- X_m : Yatay kurba merkezinin apsisi (m),
- Y_m : Yatay kurba merkezinin ordinatı (m),
- T_u : Klotoidin uzun teğet boyu (m),
- T_k : Klotoidin kısa teğet boyu veya esas teğetin, SC noktasındaki ortak teğete mesafesi (m),
- ΔR : Klotoidin rakordman payı veya esas kurbanın ötelenme miktarı (m),
- S : Klotoid kirişi (m),
- σ : Klotoid girişinin doğrultu açısı (derece),
- : Klotoidin esas teğet uzunluğu veya başlangıcıyla yatay kurba some noktası arasındaki mesafe (m),
- ΔC : Ötelenmiş kurbanın (esas kurba) sapma açısı (derece),
- D_c : Ötelenmiş kurbanın (esas kurba) developman uzunluğu (m).

Geçiş Eğrisi Olarak Klotoidin Geometrik Özellikleri



$$X = L - \frac{L^5}{40 \cdot A^4} + \frac{L^9}{3456 \cdot A^8} - \dots \quad (m)$$

$$Y = \frac{L^3}{6 \cdot A^2} - \frac{L^7}{336 \cdot A^6} + \frac{L^{11}}{42240 \cdot A^{10}} - \dots \quad (m)$$

$$\tau = \frac{L}{2 \cdot R} \quad (\text{radyan})$$

$$X_m = X - R \cdot \sin \tau \quad (\text{m})$$

$$Y_m = Y + R \cdot \cos \tau \quad (\text{m})$$

$$T_u = X - Y \cdot \cot \alpha \quad (\text{m})$$

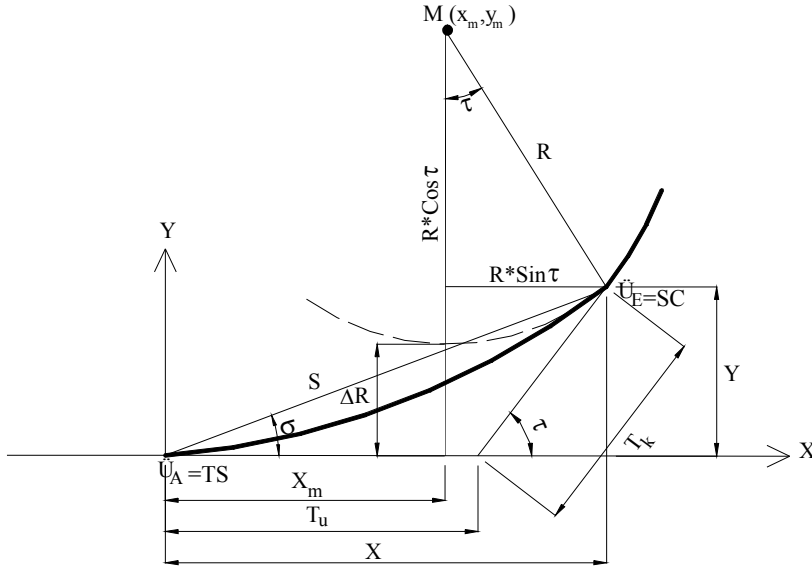
$$T_k = \frac{Y}{\sin \tau} \quad (\text{m})$$

$$\Delta R = Y_m - R \quad (m)$$

$$S = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (\text{m})$$

$$\sigma = \operatorname{arctg}\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (\text{m})$$

Geçiş Eğrisi Olarak Klotoidin Geometrik Özellikleri



- Klotoidin yerleştirilmesiyle dairesel yatay kurbanın sapma açısı da yeni değerini alır; dolayısıyla daire yayının uzunluğu da değişir.
- Bu yeni durumdaki değerler aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$\overline{TS} = X_m + (R + \Delta R) \cdot \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} \quad (\text{m})$$

$$\Delta C = \Delta - 2 \cdot \tau \quad (\text{derece})$$

$$D_c = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot \Delta C}{360} \quad (\text{m})$$

Klotoid Parametresinin Seçimi

- Klotoid parametresinin seçimi için iki yöntem vardır.
- İlki klotoid şablonuyla, diğeri ise hesapla yapılan seçimdir.
- Klotoid şablonu kullanılması, grafik yöntem olarak bilinir.
- Bu yöntemde üzerinde A parametresi ve eğrilik yarıçapı değerleri bulunan şablonlar kullanılır.
- Şablon geçki eksenine üzerine oturtularak en uygun parametresi olan klotoid seçilir.
- Klotoidin bitim noktasına rastlayan yarıçap da kurba yarıçapı olarak belirlenir.
- Bu yöntem bilgisayar kullanımının yaygınlaşmasıyla beraber terk edilmeye başlanmıştır.

Klotoid Parametresinin Seçimi

- Hesap yönteminde ise konfor yönünden maksimum sademe değeri dikkate alınır.
- Belirli bir sademe değerinin aşılmaması kuralına göre aşağıdaki şartları sağlayan A parametresi bulunur ve daha sonra bu parametrenin gerektirdiği klotoid uzunluğu hesaplanır.

- **Optik şart:**

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

- **Dinamik şart:**

$$A_{\min} = 0,19 \sqrt{V_p^3}$$

- **Dever şartı:**

$$A_{\min} = \sqrt{\frac{b}{2} \cdot \frac{(q_{\min} + q_{\max})}{0,005}} \cdot R$$

Klotoid Parametresinin Seçimi

- Bu şartları sağlayan klotoid parametresi belirlendikten sonra,

$$L_g = \frac{A^2}{R}$$

ifadesiyle klotoidin uzunluğu hesaplanır.

- Klotoidin uzunluğu ileride görülecek deyer uygulama boyu ile de uyumlu olmalıdır.
- Bunun için,

$$L_g \geq L_{d,min} = 45m$$

şartı sağlanmalıdır.

- Bu boyda bir klotoidi uygulayabilmek için esas kurba daire yayının da belirli bir uzunlukta bulunması gerekir ki bu da aşağıdaki şartla kontrol edilir.

$$\frac{L_g}{2} \leq \frac{D}{2}$$

- Son olarak, konfor parametresi sademenin sağlanıp sağlanmadığına bakılarak kontroller tamamlanır.

$$p' = \frac{V_p^3}{46,7 \cdot R \cdot L_g} \leq 0,6m / sn^3$$

Klotoidin Uygulanması

- Bir çok mühendislik hesapta yapıldığı gibi, geçiş eğrisi olarak klotoidle ilgili hesaplamalarda da çizim ve piketajını kolaylaştıracak bazı kabul ve basitleştirmeler yapmak mümkündür.
- Bunlar, istisnalar hariç tutulursa, genellikle merteye olarak birbirine yakın sayısal değerlerin bulunmasında yardımcı olmaktadır.
- Böylelikle de belirli bir yakınlık ve hassasiyetle, kullanılabilir sonuçlar elde edilmektedir.

Klotoidin Uygulanması

Klotoid için yapılan kabul ve sadeleştirmelerin başlıcaları şu şekilde verilebilir:

- 1- τ teğet açısının $\pi/3$ (raydan) değerini aşmaması yani $\tau < 60^\circ$ olması durumunda,
- a) ΔR rakordman payını, yaklaşık %5 mertebesinde farkla,

$$\Delta R = \frac{L_g^2}{24 \cdot R}$$

olarak almak mümkündür.

- b) Klotoid uzunluğu L_g 'nin orta noktası, ΔR rakordman payını iki eşit parçaya böler. Buna göre aşağıdaki şekilde olduğu gibi, klotoidin yarısının $\overline{\Phi'}$ den (veya $\overline{F'}$ den) önce diğer yarısının da $\overline{\Phi'}$ den (veya $\overline{F'}$ den) sonra olduğu kabul edilir. Diğer bir ifadeyle, klotoidin TS noktası, $\overline{\Phi'}$ den yaklaşık $1/2L_g$ mesafe önce, SC noktası ise $\overline{\Phi'}$ den yaklaşık $1/2L_g$ mesafe sonradır. Kurbanın simetrik tarafında ise CS noktası yaklaşık olarak $\overline{F'}$ den $1/2L_g$ mesafe önce, ST ise $\overline{F'}$ den $1/2L_g$ mesafe sonrasına denk gelir.

- c) Klotoidin bitiş noktasının (SC) ordinatı Y, %5 yaklaşıklıkla,

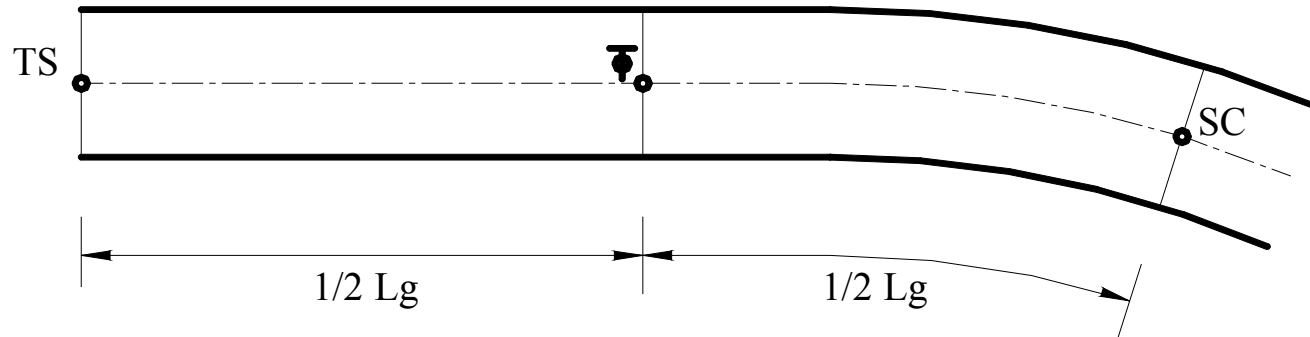
$$Y = 4 \cdot \Delta R$$

alınır. Yukarıdaki bağıntı burada yerine yazılırsa,

$$Y = \frac{L_g^2}{6 \cdot R}$$

elde edilir.

Klotoidin Uygulanması

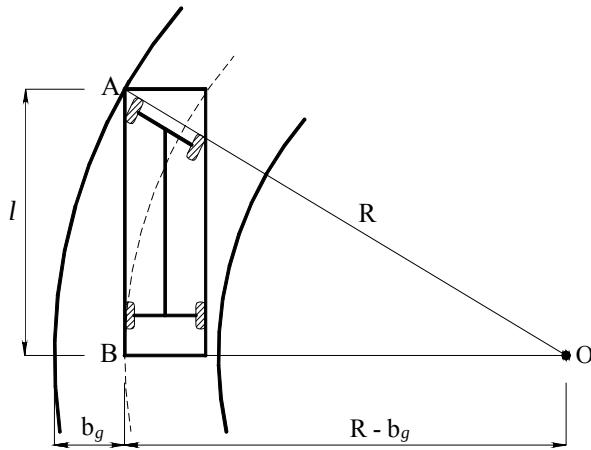


YATAY KURBALARDA GENİŞLETME

YATAY KURBALARDA GENİŞLETME

- Taşıtlar yatay kurbada seyrederken ön ve arka tekerleklerinin yörüngeleri farklıdır.
- Ön tekerlekler arkaya nazaran daha geniş bir yay çizerek dönerler.
- Sürücüler yatay kurbaya girdiklerinde iç kenarın bulunduğu taraftan uzaklaşma ve yol eksenine yaklaşma eğilimi gösterirler.
- Özellikle bölünmemiş iki şeritli yollarda bu durum karşı yöndeki şeride yaklaşımlarına hatta bu şeride tecavüz etmelerine sebep olur.
- Küçük yarıçaplı yatay kurbalarda seyir güvenliğini tehlikeye düşüren bu durumu ortadan kaldırmak üzere, platformda genişletme yapılır.

YATAY KURBALARDA GENİŞLETME



- Genişletmenin miktarını hesaplamak için yandaki şekilden yararlanılır.
- Taşıtın kurbadaki dönüşü bir dairesel hareket olduğuna göre, ABO dik üçgeninden,

$$R^2 = (R - b_g)^2 + l^2$$

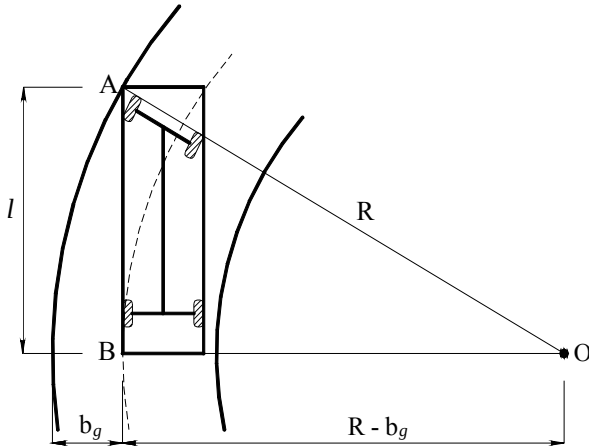
$$2 \cdot R \cdot b_g = b_g^2 + l^2$$

- İfadenin sağ tarafındaki ilk terimin değeri, ikinci terimin değerinden küçük olduğu için ihmal edilebilir. Bu durumda genişletme miktarı,

$$b_g = \frac{l^2}{2 \cdot R}$$

- olarak bulunur.

YATAY KURBALARDA GENİŞLETME



- b_g : Tek şeritteki genişletme miktarı (m),
- R : Taşıtın en dış kenarının süpürdüğü yörüngenin yarıçapı (m). Hesaplarda kurbanın yol eksenindeki yarıçapı olarak alınır,
- l : Taşıtın uzunluğu (m) (Standart taşıt tiplerinde bu uzunluk dingiller arası mesafe olarak da verilebilmektedir. Bu durumda aynı bağıntı farklı yolla çıkarılır).

YATAY KURBALARDA GENİŞLETME

- Bulunan ifade, hızın düşük olduğu yollarda uygundur.
- Fakat, hız arttıkça taşıt tekerleğindeki küçük bir yörünge değişikliği, aniden büyük bir yanal deplasmana sebep olur.
- Bu durumda taşıtın karşı şeride geçme ihtimaline karşı genişletme biraz daha fazla tutulmalıdır.
- Dolayısıyla, yukarıdaki bağıntısını ampirik bir terimle düzelterek aşağıdaki gibi kullanmak uygundur.

$$b_g = \frac{l^2}{2 \cdot R} + \frac{0,05 \cdot V_p}{\sqrt{R}}$$

- l mesafesi için kullanılacak değer, hâkim trafik şartlarına göre belirlenir.
- Ağır taşıt oranı yüksek ise $l=10\sim12$ m alınabilir.
- Tek bir şerit için hesaplanan genişletme miktarının n şeritli bir yol için toplam değeri,

$$b_g = \frac{n \cdot l^2}{2 \cdot R} + \frac{0,05 \cdot V_p}{\sqrt{R}}$$

- olarak bulunur.

YATAY KURBALARDA GENİŞLETME

- Genişletme, ilki yol ekseninin iki tarafına eşit miktarda, diğeri ise sadece i kenar tarafında olmak üzere iki şekilde yapılabilir.
- İlk yöntemde, hesaplanan bg değerinin yarısı i kenar tarafına, yarısı dış kenar tarafına uygulanır.
- İkinci yöntemde ise hesaplanan bg değerinin tamamı i kenar tarafına uygulanır.
- Ancak bu uygulamada ilgili kesimin eksen çizgisi platformu ortalayacak şekilde çizilmelidir.
- Çünkü sürücüler bir yol kesiminde genişletme yapılıp yapılmadığıyla ilgilenmezler.
- Onlar seyir güvenliğini sağlamak üzere, kılavuzluk görevi yapan yol çizgilerini takip ederler.

YATAY KURBALARDA GENİŞLETME

- Genişletme, geçiş eğrisiz kurbalarda dever uygulama uzunluğu boyunca yapılır.
- Değişimi tıpkı deverde olduğu gibi lineerdir.
- Dever başlangıcında (DB) sıfır olan genişletme miktarı, deverin maksimum olduğu noktada (DMi), maksimum değerine ulaşır.
- Daire yayı boyunca bu sabit maksimum değerinde devam eder.
- Kurbanın ıkış tarafında ise yine dever uygulama boyunca azalarak (DS) noktasında sıfır değerine ulaşır.

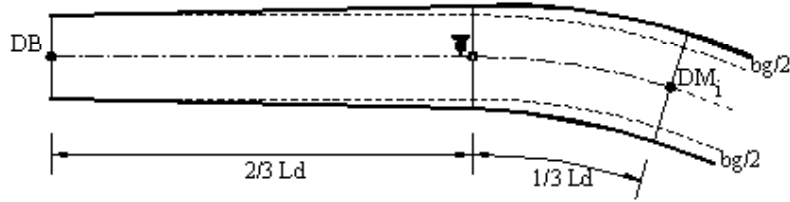
YATAY KURBALARDA GENİŞLETME

- Genişletme ihtiyacı gösteren maksimum yatay kurba yarıçapı $R < 200$ m'dir.
- 200 metreden büyük yarıçaplar için genişletme ihmal edilebilir mertebededir ve de yapılmaz.
- Genişletme miktarının üst sınır değeri, $b_{g,maks}=2,0$ m'dir.
- Genişletmeli yatay kurbada dever yüksekliği hesaplanırken platform genişliğine, bulunan genişletme miktarı ilave edilmelidir.
- Buna göre mesela, deverin en büyük olduğu DMi noktasındaki yükseltme miktarı,

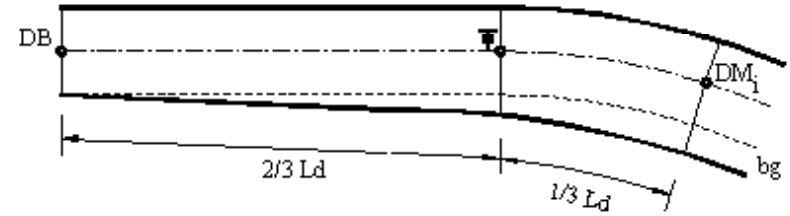
$$h_{maks} = q_{maks} \cdot \frac{(b + b_g)}{2}$$

bağıntısıyla bulunur.

YATAY KURBALARDA GENİŞLETME



Geçiş eğrisiz kurbada çift taraflı genişletme

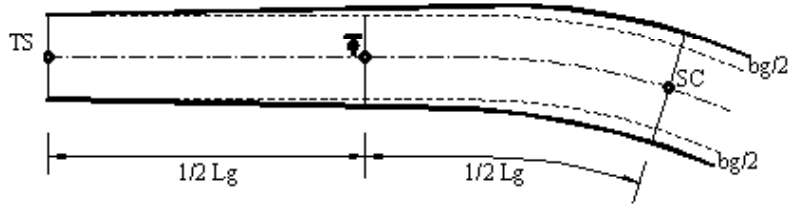


Geçiş eğrisiz kurbada tek taraflı (iç kenarda) genişletme

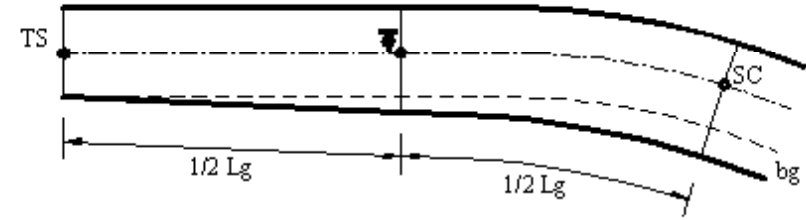
YATAY KURBALARDA GENİŞLETME

- Geçiş geçiş eğrili kurbalarda ise genişletme geçiş eğrisi boyunca yapılır.
- Çünkü merkezkaç kuvveti etkileri en fazla bu kısımda konforsuzluk yaratmaya başlar.
- Yarıçap ve genişletme miktarı kısıtları bu durum için de aynen geçerlidir.
- Geçiş eğrisi başlangıcında (TS) sıfır olan genişletme miktarı, eğri boyunca lineer artış göstererek, SC noktasında maksimum değerine erişir.
- Genişletme kurbanın simetrik tarafındaki CS noktasından itibaren de azalmaya başlar ve ST noktasında sıfır olur.

YATAY KURBALARDA GENİŞLETME



Geçiş eğrili kurbada çift taraflı genişletme



Geçiş eğrili kurbada tek taraflı (iç kenarda) genişletme

GEÇİŞ EĞRİLİ YATAY KURBALARDA DEVER UYGULAMASI

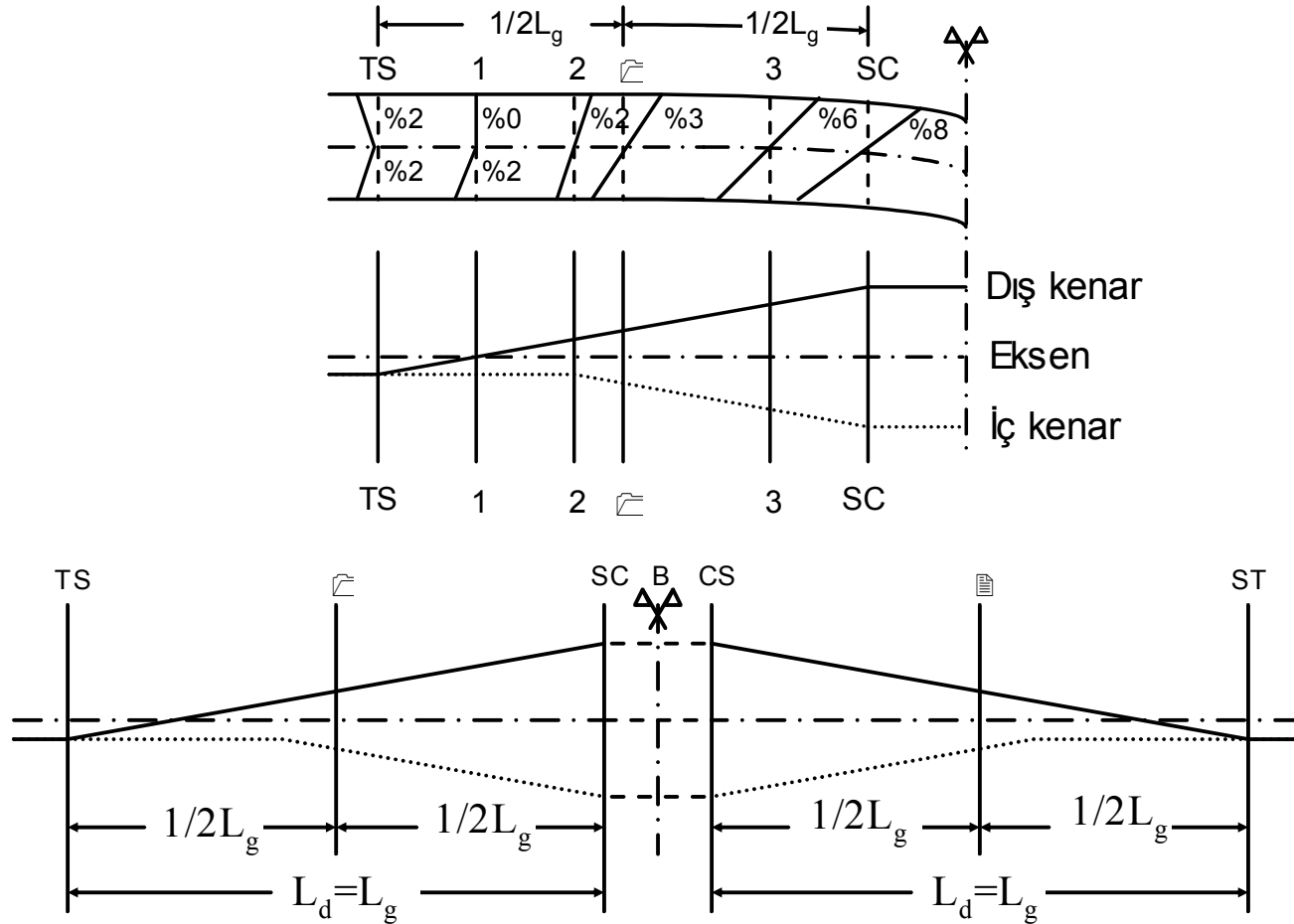
GEÇİŞ EĞRİLİ YATAY KURBALARDA DEVER UYGULAMASI

- Geçiş eğrili yatay kurbalarda, dever geçiş eğrisi boyunca uygulanır.
- Dever uygulama yöntemleri, geçiş eğrisiz durumdaki gibi **eksen sabit**, **iç kenar sabit**, **dış kenar sabit** olmak üzere üç çeşittir.
- Bunlara ilave olarak, yolun önemine ve sınıfına göre, uygulama rampa boyu kullanılmadan veya rampa boyu kullanılarak yapılır.

Rampa Boysuz Dever Uygulaması

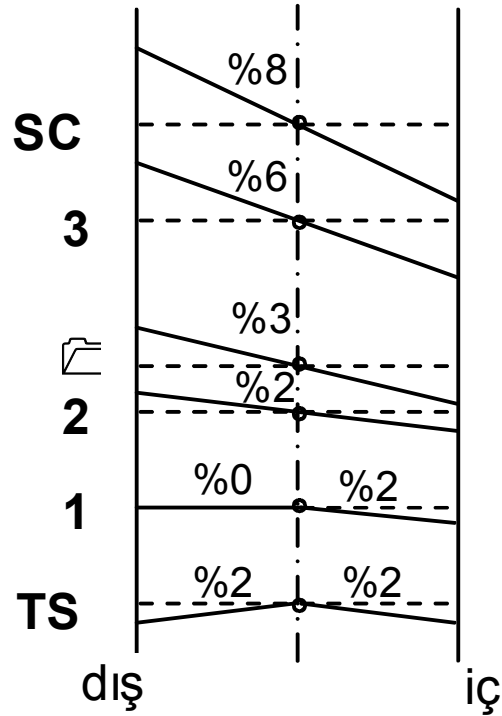
- Bu uygulamada, çatı eğimi, Φ 'den $1/2Lg$ önce değişmeye başlar ve dever maksimum değerine lineer artışla Φ 'den $1/2Lg$ mesafe sonra ulaşır.
- Diğer bir ifadeyle, klotoidin TS noktasında değişmeye başlayan enine eğim, SC noktasında en büyük değerine ulaşır.
- Kurbanın simetrik tarafında ise CS noktasında azalmaya başlayan enine eğim, ST noktasında çatı eğimine dönüşerek dever uygulaması tamamlanır.

Rampa Boysuz Dever Uygulaması

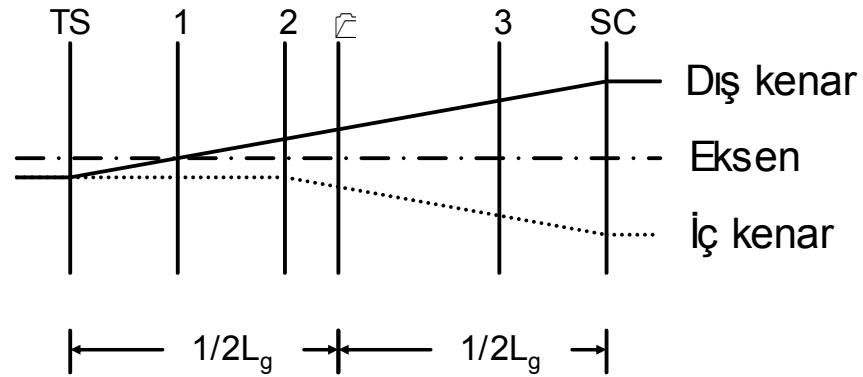


Rampa Boysuz Dever Uygulaması

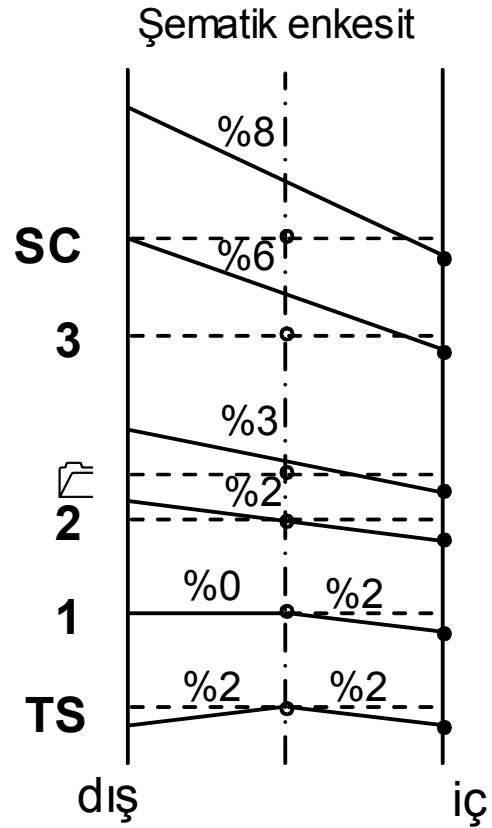
Şematik enkesit



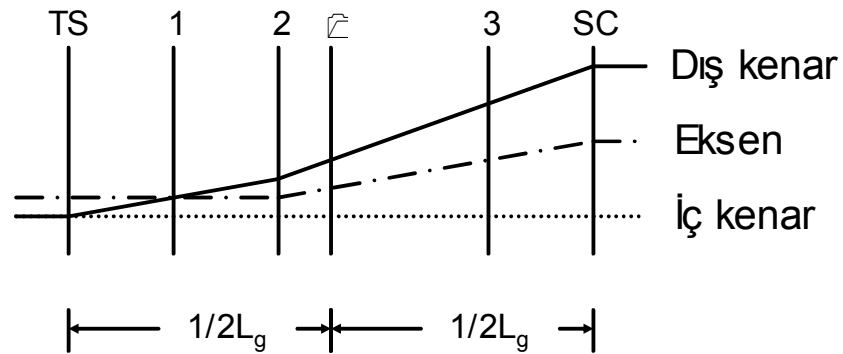
Eksen sabit dever uygulaması



Rampa Boysuz Dever Uygulaması

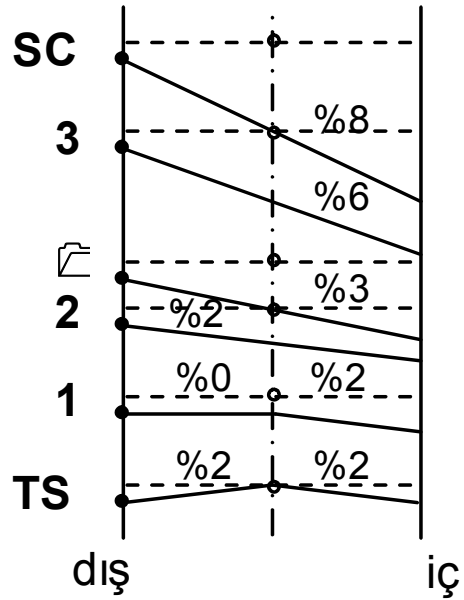


İç kenar sabit dever uygulaması

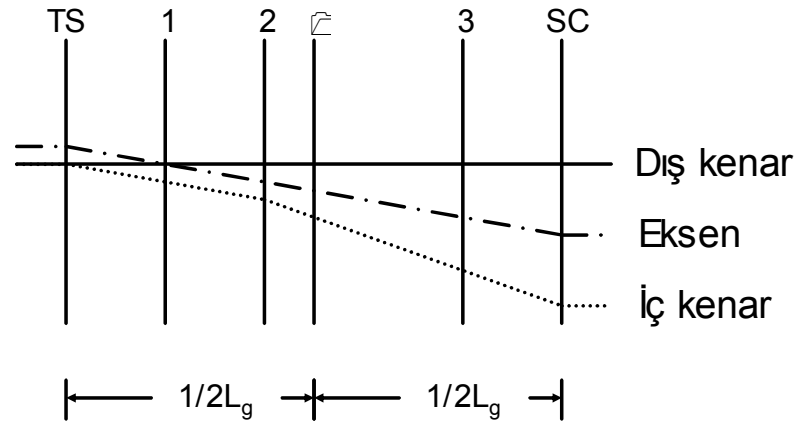


Rampa Boysuz Dever Uygulaması

Şematik enkesit



Dış kenar sabit dever uygulaması



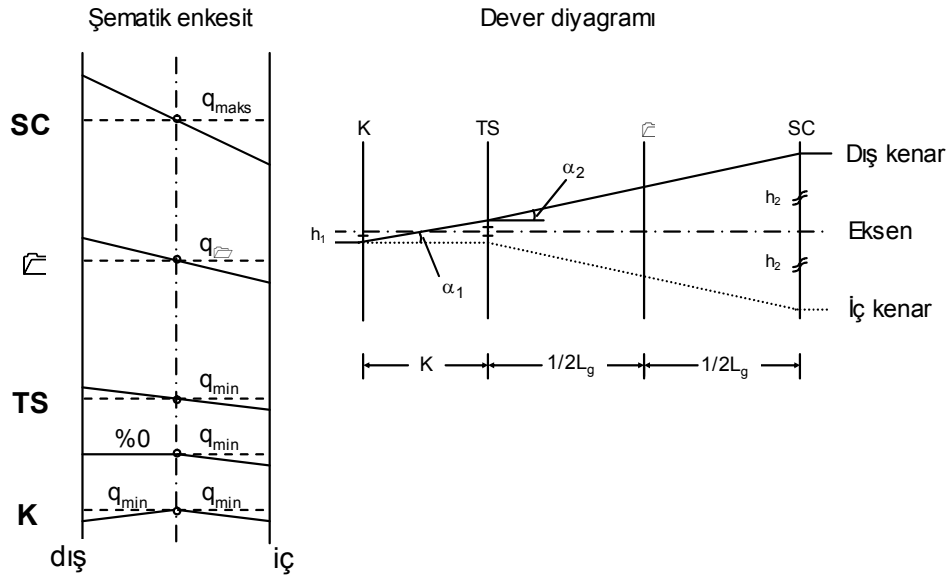
Rampa Boylu Dever Uygulaması

- Geçiş eğrisine girişte eğrilik artmaya başlayınca merkezkaç kuvveti de taşıta derhal etkimeye başlar.
- Olumsuz etkileri karşılamak içinse bu noktada yolun çatı eğiminden kurtulup tek eğime ulaşmış olması arzu edilir.
- Çatı eğiminin değişerek TS'de tek eğime ulaşması belirli bir mesafe içinde gerçekleşmelidir.
- Bunun için gerekli olan mesafeye **rampa boyu** adı verilir.
- Geçiş eğrisinin başlangıcında tek eğime gelen dever, bundan sonra lineer bir artış göstererek, eğrinin bitiminde maksimum değerine ulaşır.
- Rampa boyunun hesabında, deverin eksen sabit, iç kenar sabit ve dış kenar sabit olarak uygulanmasına göre farklı durumlar ortaya çıkar.

Rampa Boylu Dever Uygulaması

- Rampa boyunun dikkate alınmasıyla çizilen dever diyagramlarında, rampa boyu düşünülmeden çizilenlere göre de farklılıklar olduğu görülür.
- Genel bir prensip olması açısından, çatı eğiminden itibaren kotu kaldırılan veya düşürülen kenardaki değişim, geçiş eğrisi bitimine kadar lineer olmalıdır.
- Önceki durumlarda böyle bir lineerlik aranmamaktadır.

Rampa Boylu Eksen Sabit Dever Uygulaması



- Şekilde dış kenar kotunun K noktasından itibaren başlayan lineer değişimi, TS noktasına kadar artarak devam etmektedir.
- Buna göre dever diyagramında da görüldüğü gibi,

$$\text{tg}\alpha_1 = \text{tg}\alpha_2$$

- olmalıdır. Açılar şekildeki dik üçgenlerden yararlanarak dever yüksekliği, rampa boyu ve geçiş eğrisi uzunluğu cinsinden şu şekilde yazılabilir:

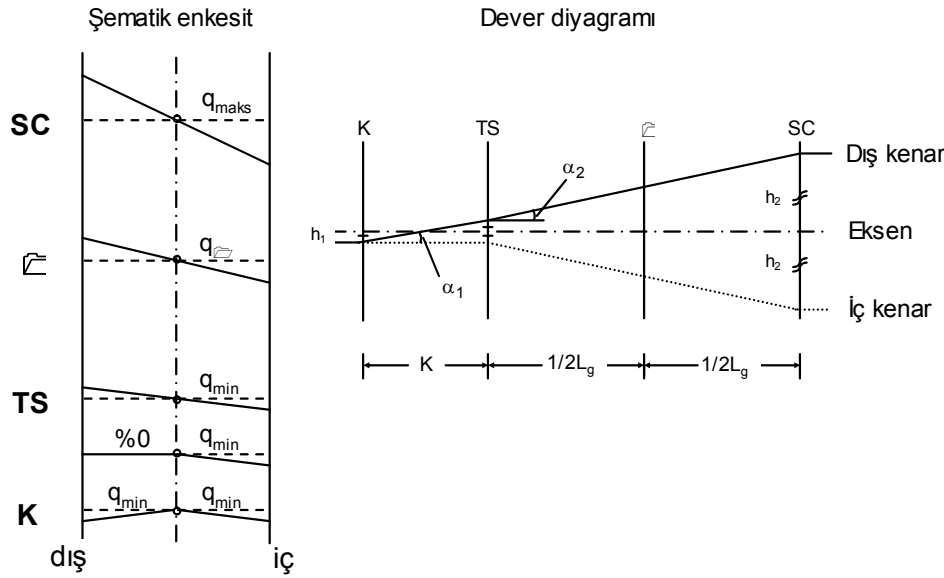
$$\text{tg}\alpha_1 = \frac{2 \cdot h_1}{K}$$

$$\text{tg}\alpha_2 = \frac{(h_2 - h_1)}{L_g}$$

Rampa Boylu Eksen Sabit Dever Uygulaması

- Bu değerler yerine yazılırsa, rampa boyu uzunluğunu veren formül aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\frac{2 \cdot h_1}{K} = \frac{(h_2 - h_1)}{L_g} \quad K = \frac{2 \cdot h_1 \cdot L_g}{(h_2 - h_1)}$$



- Eksen sabit dever uygulamasında, b platform genişliği olmak üzere,

$$h_{min} = h_1 = q_{min} \cdot \frac{b}{2} \quad h_{maks} = h_2 = q_{maks} \cdot \frac{b}{2}$$

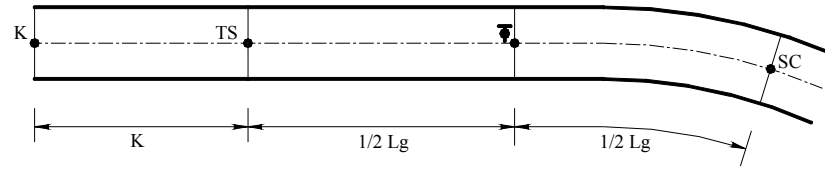
olduğu da unutulmamalıdır.

- Rampa boyu ile ilgili uzunluklar, genişletme yapıp yapılmamasına göre şematik bir plan üzerinde aşağıdaki gibidir.
- Genişletme uygulanıyorsa,

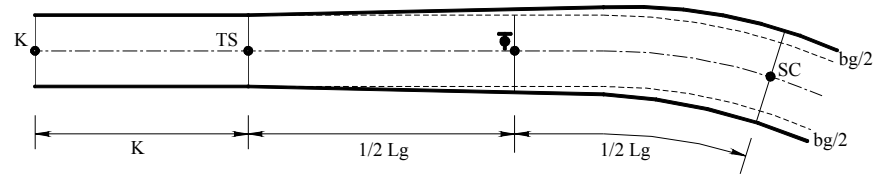
$$h_{maks} = h_2 = q_{maks} \cdot \frac{(b + b_g)}{2}$$

olarak hesaplanır.

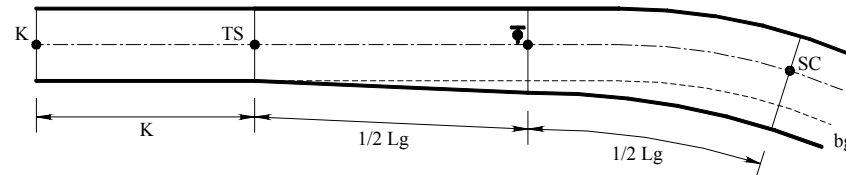
Rampa Boylu Eksen Sabit Değer Uygulaması



Genişletme yok



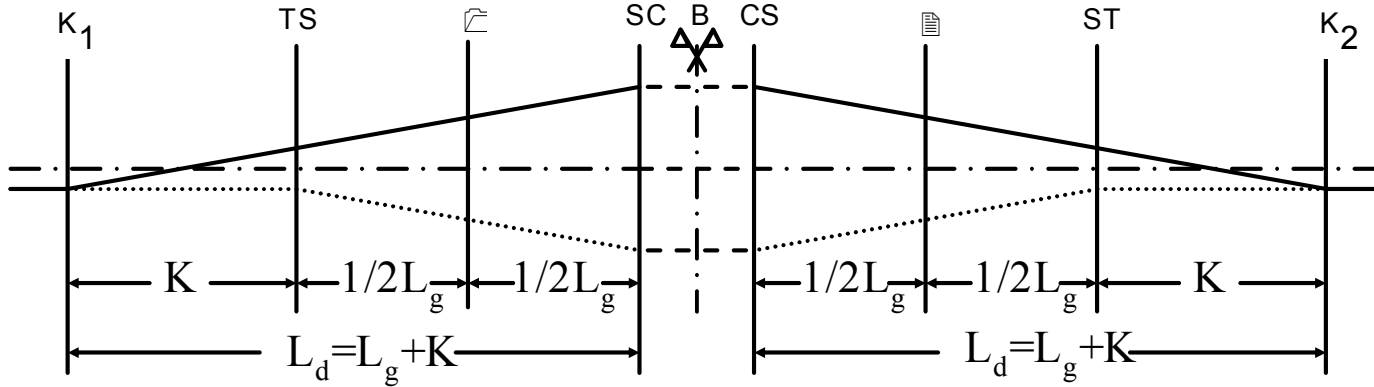
Çift tarafta genişletme var



Tek tarafta genişletme var

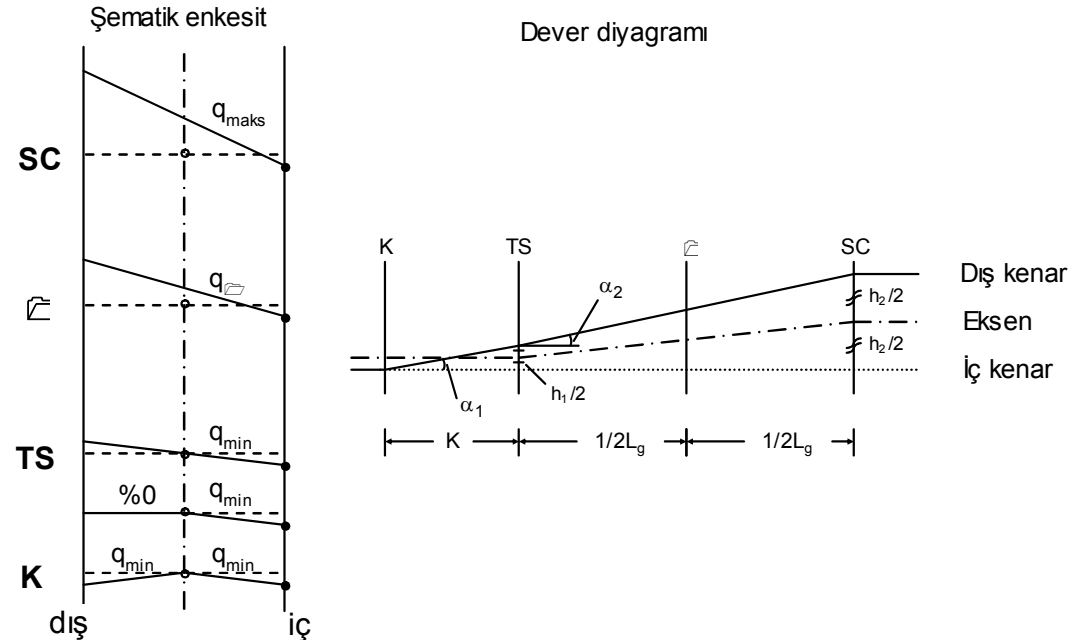
Rampa Boylu Eksen Sabit Dever Uygulaması

- Eksen sabit dever uygulamasında, tüm kurba için rampa boylu dever diyagramı ise aşağıdaki gibi çizilebilir.

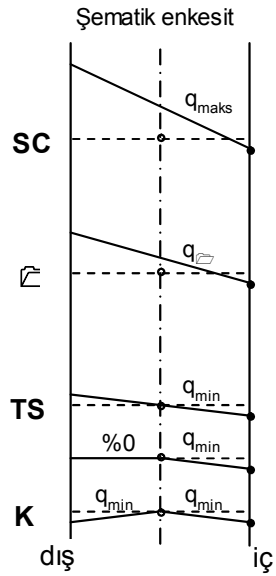


Rampa Boylu İç Kenar Sabit Dever Uygulaması

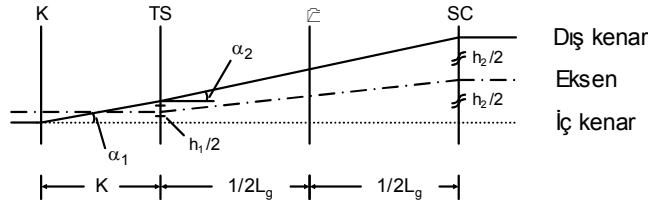
- Aşağıdaki şekilde dış kenar kotunun K noktasından itibaren başlayan lineer değişimi, TS noktasına kadar artarak devam etmektedir.
- Buna göre dever diyagramında da görüldüğü gibi, yine $\text{tg}\alpha_1 = \text{tg}\alpha_2$ olmalıdır.



Rampa Boylu İç Kenar Sabit Dever Uygulaması



Dever diyagramı



- Açıların değerleri şekildeki dik üçgenlerden yararlanarak yazılırsa,

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{h_1}{K} \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{(h_2 - h_1)}{L_g}$$

- elde edilir. Açılarının eşit olması şartından,

$$\frac{h_1}{K} = \frac{(h_2 - h_1)}{L_g}$$

- yazılabilir.
- İfadedeki K rampa boyu terimi çekilirse,

$$K = \frac{h_1 \cdot L_g}{(h_2 - h_1)}$$

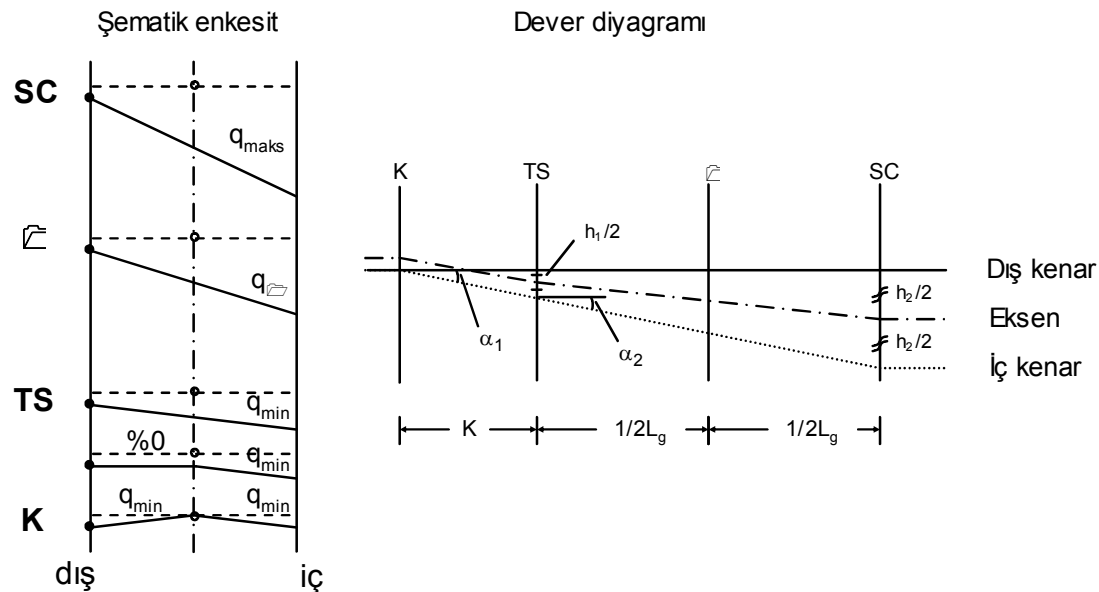
- bağıntısı bulunur.
- İç kenar sabit dever uygulamasında, b platform genişliği olmak üzere, dever yükseklikleri,

$$h_{\min} = h_1 = q_{\min} \cdot b \quad h_{\max} = h_2 = q_{\max} \cdot b$$

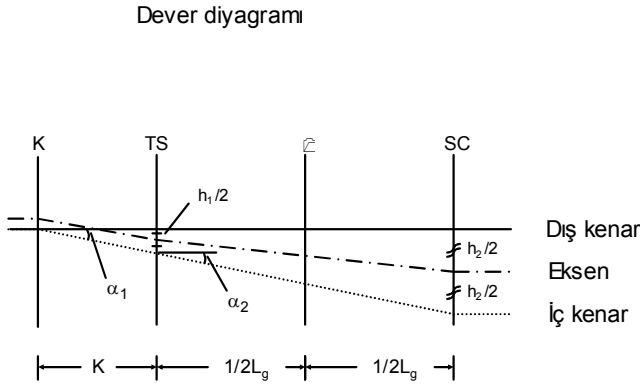
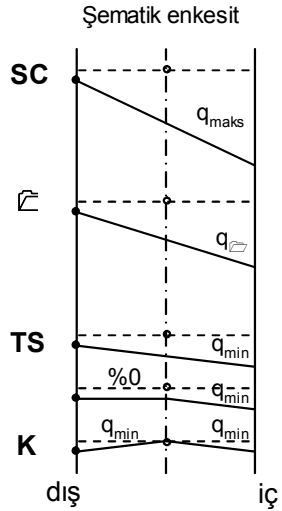
- formülleriyle bulunur. Şayet genişletme yapılıyorsa, b terimine ilave edilmelidir.

Rampa Boylu Dış Kenar Sabit Değer Uygulaması

- Bu durumda ise, aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi iç kenar kotunun K noktasından itibaren başlayan lineer değişimi, TS noktasına kadar azalarak devam etmektedir.
- Buna göre de yine dever diyagramında görüldüğü üzere, $\text{tg}\alpha_1 = \text{tg}\alpha_2$ şartı sağlanmalıdır.



Rampa Boylu Dış Kenar Sabit Dever Uygulaması



- Açıların değerleri dever diyagramında görülen dik üçgenlerden yararlanarak yazılırsa,

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{h_1}{K} \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{(h_2 - h_1)}{L_g}$$

- elde edilir. Bu iki bağıntı eşitlenirse,

$$\frac{h_1}{K} = \frac{(h_2 - h_1)}{L_g}$$

- yazılabilir. İfadedeki K terimi çekilirse, dış kenar sabit durumda rampa boyu,

$$K = \frac{h_1 \cdot L_g}{(h_2 - h_1)}$$

- formülüyle hesaplanır. Bu uygulamada, b platform genişliği olmak üzere, dever yükseklikleri,

$$h_{\min} = h_1 = q_{\min} \cdot b \quad h_{\max} = h_2 = q_{\max} \cdot b$$

- formülleriyle bulunur.
- Buradaki uygulamada da genişletme varsa, dever yükseklikleri, b terimine genişletme miktarının ilave edilmesiyle hesaplanmalıdır.
- Sonuçta yukarıdaki ifadelerde de görüldüğü gibi, kenar kotlarının sabit tutulması ile yapılan dever uygulamasında, deverin değişim yönü farklı olmakla beraber hesap yöntemi aynıdır.

Deverin Uygulanması

- Deverin uygulanması, bir bütün olarak değerlendirilecek olursa, genelde aşağıdaki durumlarla karşılaşılır.

Dever uygulamasında karşılaşılan durumlar (Genel)	Geçiş eğrisiz		Geçiş eğrili	
	Eksen sabit	Kenarlar sabit	Eksen sabit	Kenarlar sabit
Rampa ve genişletme yok	x	x	x	x
Rampa var			x	x
Genişletme var	x	x	x	x

Deverin Uygulanması

- Dever uygulamalarında karşılaşılan durumlar, daha detaylı bir şekilde aşağıdaki çizelgede görülmektedir. Hangi yöntemin seçileceği ve uygulanacağı konusunda, belirleyici olan temel faktörler, ihtiyaçlar ve ihtiyaçları doğuran şartlardır.

Dever uygulamasında karşılaşılan durumlar (Detaylı)	Geçiş eğrisiz			Geçiş eğrili		
	Eksen sabit	İç kenar sabit	Dış kenar sabit	Eksen sabit	İç kenar sabit	Dış kenar sabit
Rampa yok-genişletme yok	x	x	x	x	x	x
Rampa yok-tek tarafta genişletme var	x	x	x	x	x	x
Rampa yok-çift tarafta genişletme var	x	x	x	x	x	x
Rampa var-genişletme yok				x	x	x
Rampa var-tek tarafta genişletme var				x	x	x
Rampa var çift tarafta genişletme var				x	x	x

PROBLEMLER

PROBLEM 1

Çift yönlü ve iki şeritli bir Devlet yolu 80 km/sa hıza göre projelendirilecektir. Yolun bir kesiminde aralarında yeterli miktarda mesafe olan iki ardışık kurba tasarlanması düşünülmektedir. Bu yatay kurbaların ilkinde dever uygulaması, rampa boyu düşünülmeden, ikincisinde ise rampa boyu 43,71 m alınarak yapılacaktır. Kurbalarda merkezkaç kuvvetinin %56'sının deverle karşılandığı farz edilmiştir. Yola ve kurbalara ait bazı bilgiler aşağıda verilmiştir:

Verilenler:

$$\Delta_1 = (63,66)^\circ, \Delta_2 = (31,83)^\circ, \overline{P}_1 = (2+750), \overline{F}_1 = (2+950), R_2 = 380 \text{ m.}$$

$$\text{Platform genişliği} = 11 \text{ m, Çatı eğimi} = \%2, \text{Maksimum dever} = \%8, q_{teo} = 0,786 \cdot (V_p^2 / R), \\ l = 12 \text{ m, } p' = V^3 / (46,7 \cdot R \cdot L) < 0,6 \text{ m/sn}^3, b_g = (n \cdot l^2 / 2 \cdot R) + (0,05 \cdot V_p / \sqrt{R})$$

- Birinci kurbaya yerleştirilecek en küçük parametrelili klotoidi seçerek, kurbaya ait dever açılımını eksen sabit olarak çizip üzerinde gerekli ölçülendirmeleri yapınız.
- İkinci kurbaya yerleştirilecek klotoidin boyunu ve parametresini bularak uygunluğunu tahkik ediniz.

PROBLEM 1

$$1-) a-) D_1 = F_1 - F_2 = 2950 - 2750 = 200 \text{ m} \quad D_1 = \frac{2\pi R A_1}{360}$$

$$200 = \frac{2\pi \cdot R_1 \cdot 63,66}{360} \Rightarrow R_1 = 180 \text{ m}$$

$$Q_{maks} = 0,786 \cdot 0,56 \cdot \frac{V_p^2}{R} = 0,786 \cdot 0,56 \cdot \frac{80^2}{180} = 15,65 > 8$$

Hız kısıtı uygulanmalıdır.

$$8 = 0,786 \cdot 0,56 \cdot \frac{V_k^2}{180} \quad V_k = 57,20 \text{ km/s}$$

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R \Rightarrow 60 \leq A \leq 180$$

$$A_{min} = 0,19 \sqrt{V_k^3} = 0,19 \sqrt{57,2^3} = 82,20$$

$$A = 85$$

$$L = \frac{A^2}{R} = \frac{85^2}{180} = 40,14 \text{ m} < 45 \text{ m} \quad L = 45 \text{ m seçilir.}$$

$$45 = \frac{A^2}{180} \rightarrow \boxed{A = 90}$$

$$\frac{L}{2} \leq \frac{D}{2} \rightarrow \frac{45}{2} \leq \frac{200}{2} \quad \checkmark$$

$$P' = \frac{V^3}{46,7 \cdot R \cdot L} = \frac{57,20^3}{46,7 \cdot 180 \cdot 45} = 0,49 < 0,6 \text{ m}^3/\text{s}^3$$

$R < 200 \text{ m}$ olduğu için genişletme yapılmalıdır.

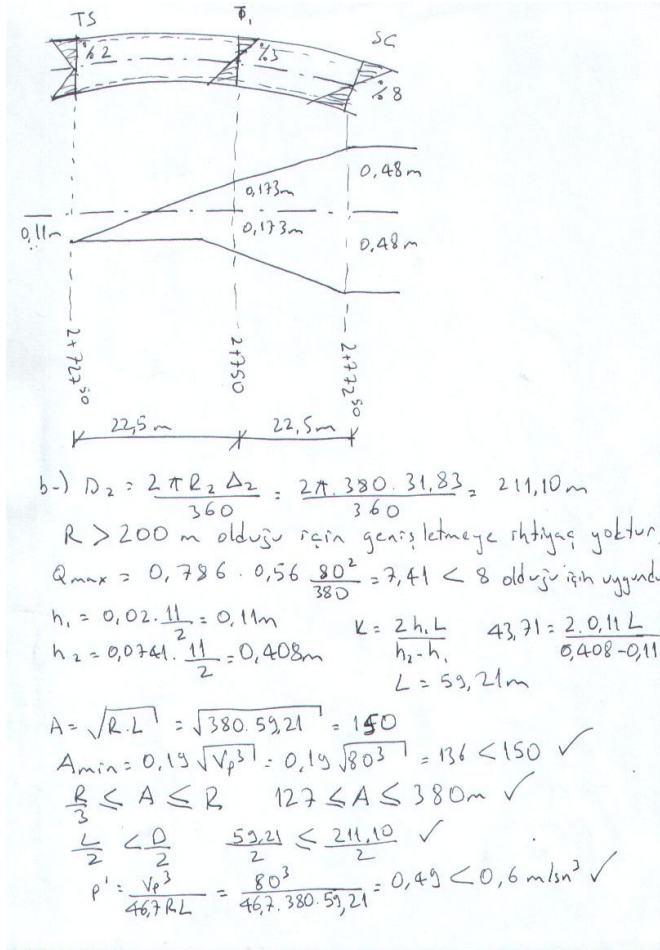
$$b_s = \frac{n \cdot l^2}{2R} + \frac{0,05 V_p}{\sqrt{R}} = \frac{2 \cdot 12^2}{2 \cdot 180} + \frac{0,05 \cdot 57,2}{\sqrt{180}} = 1,01 \text{ m}$$

$$h_{rs} = 0,02 \frac{11}{2} = 0,11 \text{ m}$$

$$h_{rs} = 0,03 \cdot \frac{11 + 0,505^2}{2} = 0,173 \text{ m}$$

$$h_{sc} = 0,08 \cdot \frac{11 + 1,01}{2} = 0,48 \text{ m}$$

PROBLEM 1



PROBLEM 2

(2x2) şeritli bölünmüş bir Devlet yolunun belirli bir kesimine ait bazı geometrik bilgiler ve proje kriterleri aşağıda verilmiştir. 80 km/sa hıza göre projelendirilecek bu yol için merkezkaç kuvvetinin %44'ünün enine sürtünme ile karşılanması istenmektedir.

Nokta No	Km	Kırmızı Kot
Φ ₉	3+150	-
45	3+175	-
T ₉	3+650	-

Proje Kriterleri

Platform gen. = 10 m, Maksimum dever = %8,

Çatı eğimi = %2, $q_{teo} = 0,786 \cdot (V_p^2 / R)$,

$p' = V^3 / (46,7 \cdot R \cdot L) < 0,6 \text{ m/sn}^3$

$A_{min} = 0,19 \cdot V_p^{(3/2)}$

- Bu kesimde yapılan geçki araştırması sonucu, iki aliyman doğrultusu $\Delta_9 = (71,62)^\circ$ 'lık sapma açısı altında bir (S) some noktasında kesişmektedir. Bu kesime yerleştirilecek yatay kurbun diğer elemanlarını hesaplayınız ($D_9 = ?$, $R_9 = ?$, $t_9 = ?$, $b_9 = ?$).
- Elemanlarını hesapladığınız yatay kurba geçiş eğrisi olarak yerleştirebileceğiniz, gerekli şartları sağlayan en büyük parametrelili klotoidin parametresini ve boyunu hesaplayarak eksen sabit, rampa boysuz dever diyagramını çizip üzerindeki tüm ölçüleri gösteriniz.
- (45) numaralı enkesite ait iç ve dış kenar dever yüksekliklerini hesaplayınız.

27-a) $D_g = 3650 - 3150 = 500m$
 $D = \frac{2\pi R A}{360} \quad 500 = \frac{2\pi \cdot R_g \cdot 71,62}{360} \Rightarrow R_g = 400m$
 $\tan R_g \tan\left(\frac{\Delta_2}{2}\right) = 400 \cdot \tan \frac{71,62}{2} = 288,59m$
 $b_g = R_g \left(\frac{1}{\cos\left(\frac{\Delta_2}{2}\right)} - 1 \right) = 400 \left(\frac{1}{\cos \frac{71,62}{2}} - 1 \right) = 93,24m$

b-) $a_{teo} = 0,786 \cdot \frac{V_p^2}{R} \quad a = 0,786 \cdot 0,56 \frac{80^2}{400} = 7,04 < 8$ uygundur.

$\frac{R}{3} \leq A \leq R \quad \frac{400}{3} \leq A \leq 400$
 $A_{min} = 0,19 \sqrt{V_p^3} = 0,19 \sqrt{80^3} = 135,95$
 $A = 400 \quad L = \frac{A^2}{R} = \frac{400^2}{400} = 400m$
 $\frac{L}{2} \leq \frac{D}{2} \quad \frac{400}{2} \leq \frac{500}{2} \checkmark$
 $L = 400m > L_{min} = 45m \checkmark$

$p' = \frac{V_p^3}{46,7RL} = \frac{80^3}{46,7 \cdot 400 \cdot 400} = 0,063 < 0,6$ uygun

$R = 400m > 200m$ gerektirmeye gerek yok.

$h_1 = 0,02 \cdot \frac{10}{2} = 0,1m$
 $h_2 = 0,0704 \cdot \frac{10}{2} = 0,352m$
 $\frac{0,352 + 0,1}{400} = \frac{x + 0,1}{200}$
 $x = 0,126m$

c-) $\frac{2 + 7,04}{400} = \frac{x + 2}{3175 - 2350} \quad x = 3,09$
 $h_{as} = 0,0309 \cdot \frac{10}{2} = 0,154m$
 $h_{rs} = -0,154m$
 $h_{ds} = +0,154m$

PROBLEM 3

80 km/sa hıza göre projelendirilecek Çift yönlü ve iki şeritli bir Devlet yolunda projelendirmeye esas alınan bazı değerler aşağıda verilmiştir.

<u>Nokta No</u>	<u>Km</u>	<u>Kurba Elemanları</u>	Çatı eğimi = % 2
A	1+ 185		Şerit genişliği = 3,5 m
Φ	1+ 527	$\Delta = (47,75)^\circ$	Banket genişliği = 3,0 m
T	1 + 777		Teorik dever = $0,786 \cdot (V^2 / R)$
			Sademe: $p' = V^3 / (46,7 \cdot R \cdot L) < 0,6 \text{ m/sn}^3$
			Rampa boyu: $K = (2 \cdot h_1 \cdot L) / (h_2 - h_1)$

- Bu kurbaya birleştirme eğrisi olarak yerleştirilecek en küçük parametrelili klotoidin parametresini ve boyunu bulunuz.
- Bu yolda deverin maksimum (%8) olması istendiğine göre, merkezkaç kuvvetinin en fazla ne kadarı deverle karşılanır?
- $A = 150 \text{ m}$ alarak, klotoid boyunca eksen sabit ve rampalı dever uygulaması yapılması istenmektedir. Buna göre, dever diyagramını çizerek bu diyagram üzerinde gerekli ölçüleri ve karakteristik noktaların kilometre değerlerini gösteriniz.

PROBLEM 3

3-) a-) $D = 1777 - 1527 = 250 \text{ m}$ $D = \frac{2\pi R A}{360}$
 $250 = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot 47,75}{360}$ $R = 300 \text{ m}$
 Optik şart $\frac{R}{3} \leq A \leq R$ $\frac{300}{3} \leq A \leq 300$ $A_{\min} = 100$
 Dinamik şart $A_{\min} = 0,19 \sqrt{V_p^3} = 0,19 \sqrt{80^3} = 135,95$
 $A = 140 \text{ m}$ seçildi
 $L = \frac{A^2}{R} = \frac{140^2}{300} = 65,33 \text{ m} > 45 \text{ m} \checkmark$
 $\frac{L}{2} \leq \frac{D}{2}$ $\frac{65,33}{2} \leq \frac{250}{2} \checkmark$
 $P^1 = \frac{V^3}{46,7 \cdot R \cdot L} = \frac{80^3}{46,7 \cdot 300 \cdot 65,33} = 0,56 < 0,6 \text{ m/s}^3 \checkmark$
 b-) $q = 0,786 \frac{V^2}{R}$ $q = 0,786 \cdot \frac{80^2}{300} \cdot x$ $x = 0,477$
 Merkezkaç kuvvetinin en fazla $647,7$ 'si deversin,
 $52,3$ 'ü enine sürtünme ile karşılanmalı
 c-) $A = 150 \text{ m}$ $R = 300 \text{ m}$ $L = \frac{150^2}{300} = 75 \text{ m} > 45 \text{ m}$ uygun
 $\frac{L}{2} \leq \frac{D}{2}$ $\frac{75}{2} \leq \frac{250}{2} \checkmark$
 $P^1 = \frac{80^3}{46,7 \cdot 300 \cdot 75} = 0,487 < 0,6 \text{ m/s}^3 \checkmark$
 $R > 200 \text{ m}$ olduğu için genişletme gereksiz.
 $b = 3,5 \cdot 2 + 3 \cdot 2 = 13 \text{ m}$ $h_1 = q_1 \cdot \frac{b}{2} = 0,02 \cdot \frac{13}{2} = 0,13 \text{ m}$
 $h_2 = q_2 \cdot \frac{b}{2} = 0,08 \cdot \frac{13}{2} = 0,52 \text{ m}$ $K = \frac{2 \cdot h_2 \cdot L}{h_2 - h_1} = \frac{2 \cdot 0,52 \cdot 75}{0,52 - 0,13}$
 $K = 50 \text{ m}$

 $Q_F = \%5$
 $h_F = 0,05 \cdot \frac{13}{2} = 0,325 \text{ m}$