

**T.C.
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**

ORTAÖĞRETİM PROJESİ

HARİTA-TAPU-KADASTRO

**YOL PROJESİ
581MSP108**

Ankara, 2011

- Bu modül, mesleki ve teknik eğitim okul/kurumlarında uygulanan Çerçeve Öğretim Programlarında yer alan yeterlikleri kazandırmaya yönelik olarak öğrencilere rehberlik etmek amacıyla hazırlanmış bireysel öğrenme materyalidir.
- Millî Eğitim Bakanlığınca ücretsiz olarak verilmiştir.
- **PARA İLE SATILMAZ.**

İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR	ii
GİRİŞ	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1	3
1. KESİT ÇİZİMİ	3
1.1. Boy Kesit Çizimi.....	4
1.2. Arazi En Kesiti Çizimi	7
1.3. Aplikasyon Planı Çizimi	8
1.4. Boy Kesit Üzerinde Kırmızı Hat Çalışması	8
1.4.1. Kırmızı Hat Çalışması	9
1.4.2. Düşey Kurplarda Kırmızı Kot Hesabı	10
UYGULAMA FAALİYETİ	14
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	17
ÖĞRENME FAALİYETİ-2	18
2. ALAN HESABI	18
2.1. En Kesit Alan Hesabı.....	18
2.1.1. Cebirsel Yöntemle Alan Hesabı	18
2.1.2. Cross Yöntemiyle Alan Hesabı	23
2.2. Alanlar Diyagramı.....	28
UYGULAMA FAALİYETİ	31
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	34
ÖĞRENME FAALİYETİ-3	38
3. HACİM HESABI	38
3.1. Ortalama Alan Yöntemiyle Hacim Hesabı	39
3.2. Tatbik Mesafe Yöntemiyle Hacim Hesabı	40
3.3. Kübaj Cetveli	44
3.4. Brükner Eğrisi	47
UYGULAMA FAALİYETİ	51
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	53
MODÜL DEĞERLENDİRME	56
CEVAP ANAHTARLARI	60
KAYNAKÇA	61

AÇIKLAMALAR

KOD	581MSP108
ALAN	Harita-Tapu-Kadastro
DAL/MESLEK	Haritacılık
MODÜLÜN ADI	Yol Projesi
MODÜLÜN TANIMI	Kesit çizimi, alan hesabı ve hacim hesabı ile ilgili temel bilgi ve becerilerin kazandırıldığı öğrenme materyalidir.
SÜRE	40/32
ÖN KOŞUL	
YETERLİK	Yol proje çalışması yapmak
MODÜLÜN AMACI	Genel Amaç Sınıf ortamında gerekli araç gereçler sağlandığında, tekniğine uygun olarak yol projesi ile ilgili işlemleri yapabileceksiniz. Amaçlar <ol style="list-style-type: none">1. Tekniğine uygun olarak kesit çizimi yapabileceksiniz.2. Tekniğine uygun olarak alan hesabı yapabileceksiniz.3. Tekniğine uygun olarak hacim hesabı yapabileceksiniz.
EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI	Ortam: Sınıf Donanım: Milimetrik rulo kâğıt, gönye, cetvel, çizim kalemleri, fonksiyonlu hesap makinesi, A4 kâğıdı
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	Modül içinde yer alan her öğrenme faaliyetinden sonra verilen ölçme araçları ile kendinizi değerlendireceksiniz. Öğretmen modül sonunda ölçme aracı (çoktan seçmeli test, doğru-yanlış testi, boşluk doldurma, eşleştirme vb.) kullanarak modül uygulamaları ile kazandığınız bilgi ve becerileri ölçerek sizi değerlendirecektir.

GİRİŞ

Sevgili Öğrenci,

Bu modül sonunda edineceğiniz bilgi ve beceriler harita alanında, kesit çizimleri, alan ve hacim hesaplarında sizlere yardımcı olacaktır.

Kara yolu proje yapımında teknolojinin her aşamasını projelerin hazırlama tekniklerine yansıtarak gelişen teknolojiyle birlikte yeni yol projeleri hazırlamak bir mecburiyet olmuştur. Yol proje çalışmaları, genelde hangi yolun ne zaman ve hangi standartta en verimli şekilde yapılması gerekliliğinin tespiti, yol ağlarının ve yol standartlarının belirlenmesidir.

Yol yapımı için belirlenen tasarı, yol proje güzergâhları, kesinleşip araziye uygulanmadan önce güzergâhın geçtiği arazinin fiziksel olarak zemin açısından uygunluğunun araştırılması gerekir. Bu amaçla sırası ile “koridor”, “ön proje” ve “kesin proje”de jeolojik-jeoteknik etütlerin yapılması gerekmektedir.

Tasarı proje güzergâhlardan yol yapım ve bakım süreçleri dikkate alınarak maliyet, doğal çevreye uyum, geometrik standart duyarlılık ölçütleri göz önüne alınarak en uygunu olan yol projesi seçilir. Bu yol, proje etütleri kapsamında jeofizik ve sondaj çalışmaları yapılarak arazide heyelan bölgesi, bataklık geçişleri, dolgularda kullanılmayacak zayıf zeminler vb. kesimlerin varlığı araştırılır. Eğer güzergâh üzerinde kritik kesimler saptanmış ise proje çalışmalarında bu kesimlerdeki sorunların proje üzerinde çözümüne ya da yeni güzergâh arayışlarına geçilir. Etüt sonucunda uygun bulunan güzergâhlarda ise projeye esas olacak haritaların alınmasına geçilir.

Mühendisliğin özel bir alanı olan kara yolu proje yapımının bilimsel temellere dayanarak hazırlanması bir zorunluluk olmuştur. Teknolojik gelişmelerin düzenli olarak takip edilmesi konusunda tartışılmaz bir işlev ve öneme sahip olan proje araştırma ve hazırlama çalışmaları kapsamında kalite kontrolü, bilimsel araştırma yapma, arazi ve zemin bilgilerinin toplanması, proje ve yapım aşamasında ortaya çıkabilecek sorunlara çözüm araştırılması, teknik gelişmelerin izlenmesi ve uygulanmasında sizlere büyük ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan tüm bu proje hazırlık çalışmalarında sizlerin de büyük katkıları olacaktır. Ulusal yol ağımızın projelerinin hazırlanması ve kullanım açısından daha teknik ve ekonomik özelliklerin kazandırılmasına alacağınız bu modülle büyük katkılar sağlayacaksınız.

ÖĞRENME FAALİYETİ-1

AMAÇ

Tekniğine uygun olarak kesit çizimi yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Kara yolları müdürlüklerine, yol projesi hazırlayan mühendislik bürolarına veya yol inşaatı yapan şirketlere giderek çizilmiş boy ve en kesit temin ediniz. Kesiti inceleyip kesitte göze çarpan özellikleri sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız.

1. KESİT ÇİZİMİ

Yapımına karar verilen bir yolun ekonomik yönden kâr zarar oranı ve önceliği hesaplanan projesinin, sosyal, askerî ve politik faktörlerin ışığında yeniden hazırlanmasından sonra yol işlerine ayrılan yıllık bütçe imkânlarına göre bir yol yapım programı hazırlanır.

Programda gösterilen yolların yapımına başlama tarihlerinden önce, her yolun önem ve uzunluğuna göre etüt ve proje müddeti programı hazırlanır.

Ülkemizde yol yapımı gibi bütün devlet yolları, il yolları ve otoyolların projeleri karayolları genel müdürlüğünce yapılır. Bazen de müdürlüğün kontrolü altında denenmiş yerli veya yabancı şirketlere ihale yolu ile yaptırılır.

İki yerleşim birimi arasında bir yol projesi yapılması düşünüldüğünde plan ve programları yapılırken yolun cinsi ve geometrik standartları belirtilmiştir. Bu bilgilerin ışığında istikşaf ve etüt bölümünde açıklandığı şekilde güzergâh araştırması yapılır. Bu araştırmalar sonucunda plan, boy kesit ve en kesitleri içine alan 1/2000 ölçekli **ön proje (avan proje)** hazırlanır. İşin bu bölümünde yapılan taban taşıma gücü, malzeme ocak ve yerleri, jeolojik ve jeoteknik etütler ve deneylerin yardımı ile hazırlanan ön projeler, ekonomik yönden tekrar karşılaştırılarak kesin güzergâh veya en fazla iki güzergâh seçilir.

Aplikasyon sonucunda alınan plan boy ve en kesit değerleri özel defterlerine yazılır.

Büroda daha önce plan, boy kesit, en kesit, sanat yapıları, üst yapı elemanları hazırlanır.

Bu projeler standartlaştırılmış boyda paftalara yapılır.

Metraj çıkarıldıktan sonra yolun inşaatına geçilebilir.

1.1. Boy Kesit Çizimi

Güzergâh eksenini üzerinde alınan kesite **boy kesit** denir.

Boy kesitler, kara yolu, demir yolu ve enerji nakil hatları projelerinin hazırlanmasında kullanılır.

Bunlar kolay çizilebilmesi ve ucuz bir şekilde çoğaltılarak üzerinde proje çalışmaları yapılabilmesi sebebi ile saydam ve milimetrik kâğıtlar üzerine çizilir. Kesitler uzun olduğundan genellikle rulo şeklinde kâğıtlar kullanılır.

Çizim ölçeği yatay uzunluklar için ihtiyaca göre 1/1000 ile 1/5000 arasında alınabilir. Düşey ölçekler, genellikle arazinin yükseklik farklarını abartılı olarak gösterecek şekilde ve yatay ölçeğe göre beş on kat daha büyük alınır (Örneğin, yatay ölçek 1/2000 ise düşey ölçek 1/200 alınabilir.).

Kesitte nerelere kazık çakıldığı, bunların numaraları, kotları, başlangıca olan uzaklıkları (kilometrajı) ve kurpların dönüş yönleri gösterilmelidir.

Boy kesitteki kurplar düşey konumdaki kurplardır. Bu nedenle kesitin altında bu bilgilerin yazılacağı satırlara yer verilir.

Kırmızı kot satırı, yani kesitteki birinci satır, projesi yapılacak yolun eğimine göre alacağı kotların yazılacağı satırdır. Proje kotları kesite kırmızı mürekkeple yazıldığı için bunlara **kırmızı kot** adı verilmiştir.

Çizim, dik koordinat esaslarına göre yapılır. Yatay eksen de uzunlukları, düşey eksen de yükseklik farklarını gösterir. Önce dördüncü satıra kazıkların başlangıç noktasından itibaren uzaklıkları (ölçeğe göre milimetreler sayılarak) işaretlenir ve üçüncü satıra kazık numaraları yazılır.

Örneğin, yatay ölçek 1/ 1000 ise 1 mm 1 m' yi, yatay ölçek 1/ 2000 ise 1 mm 2 m'yi göstereceğinden uzaklıklar buna göre tespit edilir. Sonra beşinci satıra yalnız metreler, altıncı satıra da hektometreler yazılır. İkinci satıra kazıkların hesaplanmış olan kotları nivelman defterinden aktarılır.

Güzergâhta kurplar varsa bunların dönüş noktaları ve yönleri yedinci satırda gösterilir.

Güzergâhın doğru şeklindeki kısımları olan aliymanlar, satır ortasına düz bir çizgi çizilerek gösterilir.

Kurplar, başladığı noktada dönüş yönüne doğru bir çizgi çizilerek satırın yanında bir doğru şeklinde çizilerek gösterilir.

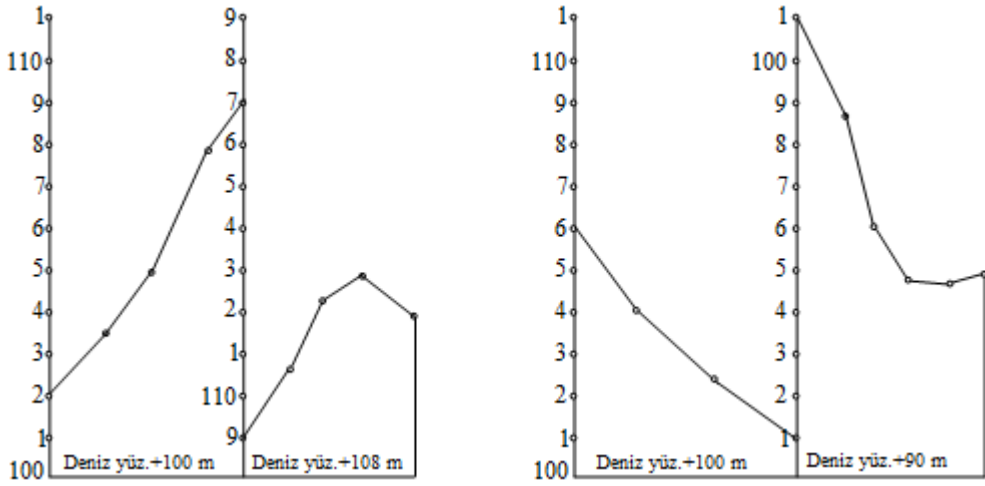
Kurp işaretinin içerisine kurp yarıçapı (örneğin, R=300 m), daire şeklindeki kurplarda tanjant uzunluğu (örneğin, tan=71,28 m) yazılır.

Kesitin çizilebilmesi için önce kot başlangıç çizgisine (yatay eksene) çizime uygun düşecek bir kot verilir. Şeklimizde bu kot 100 m olarak alınmıştır.

Bundan sonra bütün kazıkların hizasına düşey ölçüğe göre kazıkların yerleri işaretlenir.

İşaret edilen noktalar birleştirilerek kesit tamamlanır. Bütün eğim değişimlerinde kesit, kâğıdın dışına çıkabildiği gibi aşağıda, kotların yazıldığı satırlara da girebilir.

Bunu önlemek için gereken yerde, yatay eksen için kabul edilmiş olan itibari kot değiştirilerek kesit, uygun bir miktarda aşağı veya yukarı kaydırılır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: Kâğıdı taşan kesitin aşağı veya yukarı kaydırılması

Profil üzerine yol güzergâhı çizildiği takdirde kırmızı kotlar $\Delta h = u \cdot \tan \alpha$ formülü ile hesaplanır. $\tan \alpha$ değeri eğim değişimi noktaları arasındaki yükseklik farkının bu noktalar arasındaki u uzaklığına bölünmesi ile bulunur. Boy kesit profili, şeklimizde de görüldüğü üzere 1 ve 10 numaralı noktalar arasındaki eğim şu şekilde hesaplanır:

$$\tan \alpha = m = \frac{H_{14} - H_1}{U_{14-1}} = \frac{107,20 - 106,75}{151} = 0,003 = \%0,3$$

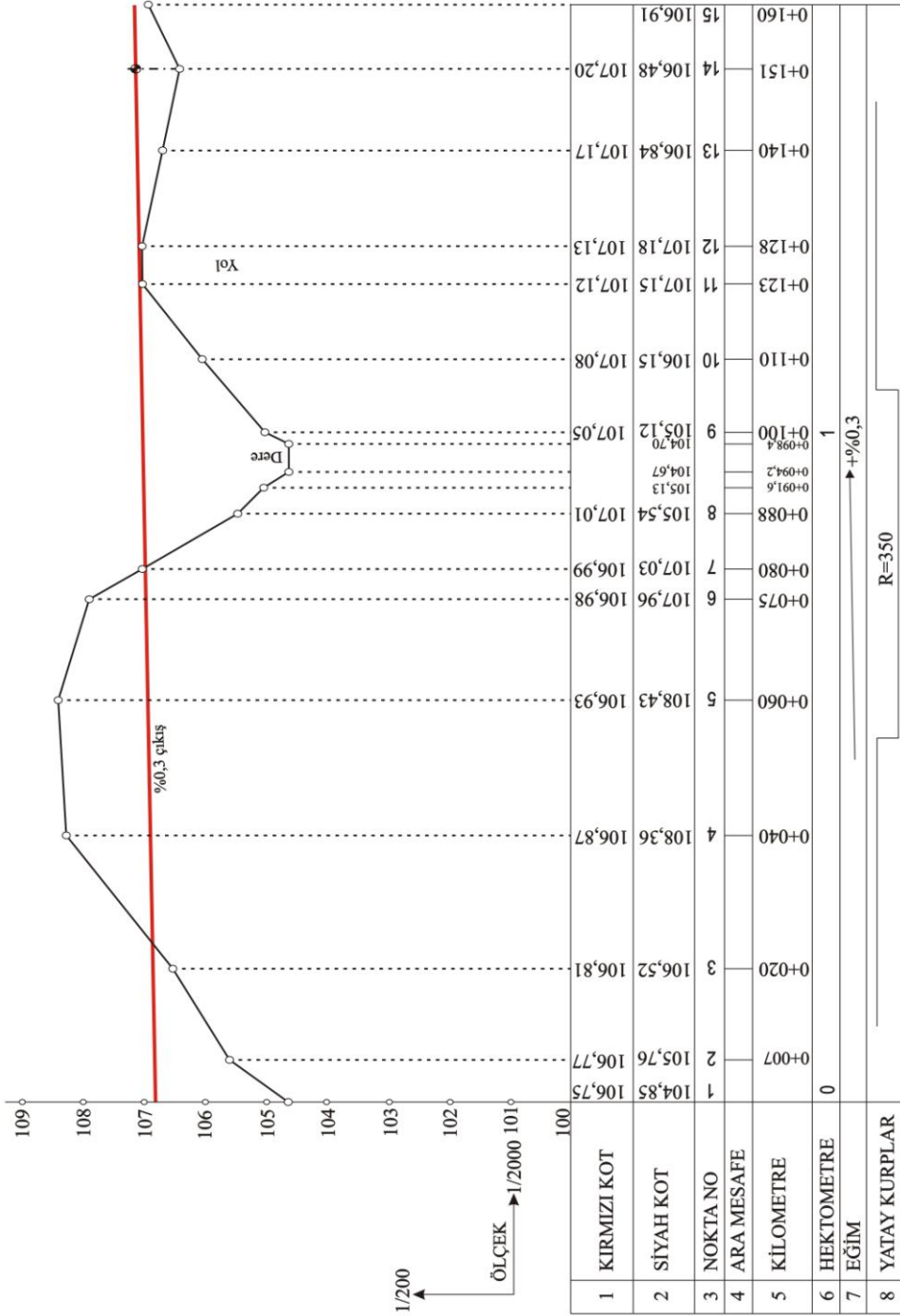
Eksen kazıklarının kotları da şöyle hesaplanır:

Öncelikle ilk noktanın kırmızı kotu hesap makinesinin hafızasına alınır. Hesaplanan $\tan \alpha$ değeri ile her noktanın uzaklığı çarpılarak o noktaya ait başlangıç noktasına göre yükseklik farkı değeri hesaplanır. Bu değere, hafızaya alınan ilk nokta kotu eklenirse **kırmızı kot** (proje kotu) bulunmuş olur.

Kırmızı kot projelendirilirken dikkat edilecek faktörler;

Kırmızı kot eğiminin % 7'yi geçmemesi ve kazı ile dolgu alanlarının birbirini karşılayacak şekilde planlanmasıdır.

Buradaki amaç, kazılan toprak kütlesinin başka yerlere taşınmadan doldurulacak yerlere aktarılmasıdır. Kırmızı çizginin altında kalan boş kısım doldurulacak, üstünde kalan topraklı kısım da kazılacak anlamındadır.

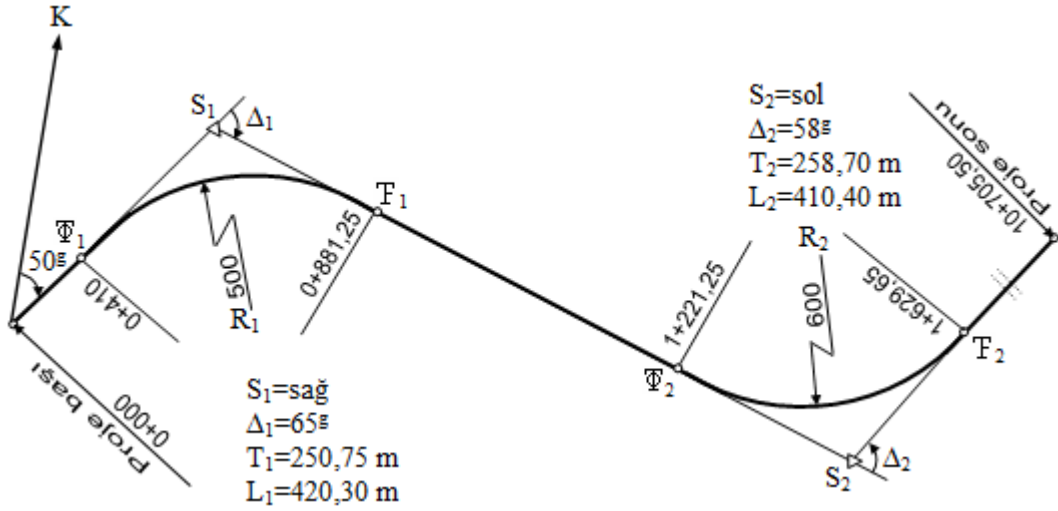


Şekil 1.2: Örnek bir boy kesit çizimi

1.3. Aplikasyon Planı Çizimi

Arazide aplikasyonu yapılmış olan güzergâhın plan üzerindeki durumunu görmek ve gerekli düzeltmeleri yapmak amacıyla **aplikasyon planı** çizilir.

Aplikasyon planı çizimine geçmeden önce güzergâhın some noktalarının koordinatları, tam olarak tespit edilmiş bir semt açısına göre hesaplanır. Hesaplanan some koordinatları poligon kanavası bulunan kâğıt üzerine işaretlenir. Some araları birleştirilerek güzergâhın yönü belirlenir.



Şekil 1.4: Aplikasyon planı

1.4. Boy Kesit Üzerinde Kırmızı Hat Çalışması

Bir yol projesinde boy kesite ait arazi **doğal hattı** (siyah hat) çizildikten sonra sanat yapıları, zemin araştırmaları, yol standartları ve aşağıda belirtilen hususlar dikkate alınarak **kırmızı hat** çalışması yapılır.

Kırmızı hat, bir seri doğru parçaları ile birbirine bağlanmış eğrilerden (**düşey kurplardan**) oluşmaktadır. Eğri parçaları ya daire yayı ya da T.C. Kara Yollarında olduğu gibi ikinci derece parabolik kurplardır.

Doğal zemin, kırmızı çizginin üst tarafında kalırsa kazı, alt tarafında kalırsa **dolgu** yapılacak demektir. Eskiden kazı işleri insan emeğine dayandığından çok pahalıya mal olmakta ve yolun meyilden etkilenmemesi için yol kırmızı hattı doğal zemine uydurulmaya çalışılmaktaydı.

Bugün ise yüksek hızlarda gerekli güvenlik ve konfor koşullarını sağlayacak şekilde çeşitli makineler yardımı ile büyük oranda kazı ve dolgu işlemleri yapılabilmektedir. Kazı ve dolgu işleri yol maliyetinin yaklaşık % 20'sini oluşturduğundan tesviye işlerinden kaçınılmamalıdır.

Yol profilinin çiziminde dikkat edilecek başlıca hususlar şunlardır:

- Kırmızı çizginin eğimi hiçbir yerde maksimum eğimi aşmamalıdır.
- Kazı ve dolgu miktarının eşit olmasına dikkat edilmelidir.
- Kazı yerlerinde çıkarılacak toprak, dolgulara taşınacağı için kırmızı çizgi, bu taşımaların yokuş aşağı yapılmasını sağlayacak şekilde geçirilmelidir.
- Zorunlu kalmadıkça maksimum eğime yaklaşan eğimler tercih edilmemelidir.
- Devamlı çıkışlar uygun değildir. Bu yüzden 2-3 km'de bir 300-400 m uzunluğunda daha az eğimli sahanlıklar düzenlenmelidir.
- Kotun en düşük olduğu yerlerde, yolun altından suların akışını sağlamak için büz ve menfezler konulacağından kırmızı çizgi uygun yükseklikten geçirilmelidir.
- Suların yol boyunca hendeklerden akması için yola % 0,5 eğim verilmelidir.
- Köprü yerlerinde taşkın suların ve yan derelerden gelen akarsuların üst seviyesinden bir kırmızı çizgi geçirilmelidir.
- Derin kazı ve dolgulardan kaçınılmalıdır. Çünkü, bu çeşit toprak işleri istinat duvarı ve drenaj için sanat yapıları gerektirdiğinden yolun estetiğini bozduğu için sakıncalıdır.
- Düşey kurpların köprü üzerine rastlamamasına ve trafik emniyeti bakımından köprülere büyük eğimle yaklaşılmamasına dikkat edilmelidir.
- Aynı kesimdeki yatay ve düşey kurpların durumları trafik emniyeti açısından etüt edilmelidir.
- Hareket hâlindeki taşıtların kinetik enerjisinden faydalanılmalıdır. Bu amaçla taşıtların yüksek hızla gittikleri düz yerlerin sonuna ve fazla eğimli kesimlere konulmasına çalışılmalıdır.
- Ova ve düz arazilerde, yer altı sularının ve kar toplanmasının etkileri göz önünde tutularak kırmızı hat yeteri kadar yüksekte tespit edilmelidir.
- Yüksek kotlu, geniş ve uzun boyunlarda kar mücadelesinin kolaylığı açısından kırmızı çizgi dolgudan geçirilmelidir.
- Dalgalı arazilerdeki uzun aliymanlarda gece sürüşündeki far etkisini önlemek için kırmızı çizgiler yerine dalgalı kırmızı çizgiler tercih edilmelidir.
- Düşey kurpların düzenlenirken emniyetli duruş için emniyetli görüş ve öndeki taşıtı emniyetle geçişte uzunlukları olan düşey kurp boyları seçilmelidir.

1.4.1. Kırmızı Hat Çalışması

Çizilen boy kesit üzerinde yukarıda belirtilen esaslar göz önünde bulundurularak kırmızı hat çizildikten sonra doğruların kesişme noktalarının kotu ve kilometreleri milimetrik kâğıttan tespit edilir.

Kot ve kilometreler some noktasının (S_i) düşeyinde altına veya üstüne yazılır. Burada oluşan düşey kurbun açık olan kısmı yukarıya bakıyorsa **açık düşey kurp**, aşağıya bakıyorsa **kapalı düşey kurp** diye isimlendirilir.

Matematik prensiplerinden de hatırlayacağımız üzere eğim bir üçgende **tanjant** α ile anılır. Buradaki uygulanış şekli de farklı değildir.

Kırmızı hattın eğimini bulmak için some noktaları arasındaki kot farkının (Δh), yatay mesafeye (U) bölünmesi ile elde edilir.

Bulunan eğim, istenilen eğim ile karşılaştırılır.

Uygun değilse some noktası yeri aşağı ve yukarı doğru kaydırılır. İşlem yeniden yapılır.

Uygun eğim bulunduktan sonra boy kesitin alt kısmındaki eğim bölümüne eğim ve ok işareti ile eğimin yönü gösterilir.

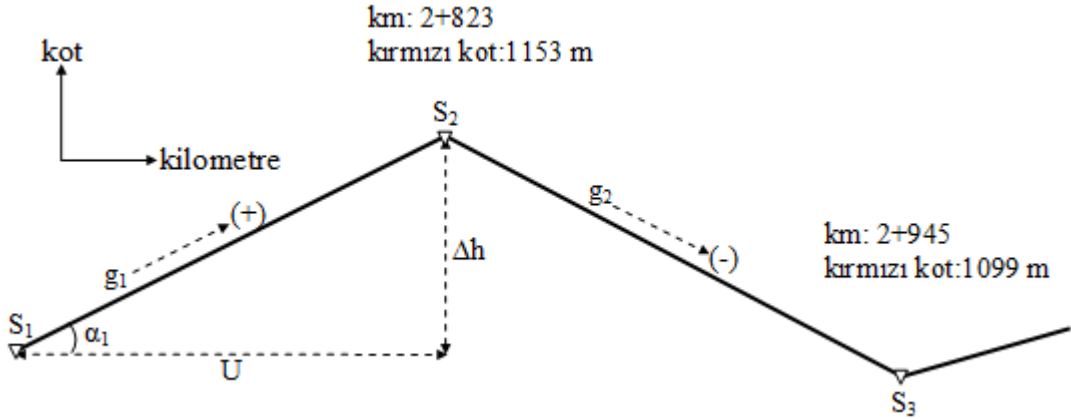
Someler arası uzunluklar ve somelerin kotları yardımı ile kırmızı çizgilerin eğimi,

$$g_1 = tg \alpha_1 = \frac{\Delta h}{U} \quad \text{formülü ile hesaplanır.}$$

Bu formül,

$$\Delta h = HS_2 - HS_1 \quad : \quad \text{İki some noktası arasındaki kot farkı}$$

$$U = S_{2km} - S_{1km} \quad : \quad \text{İki some noktası arasındaki yatay uzunluğu ifade eder.}$$



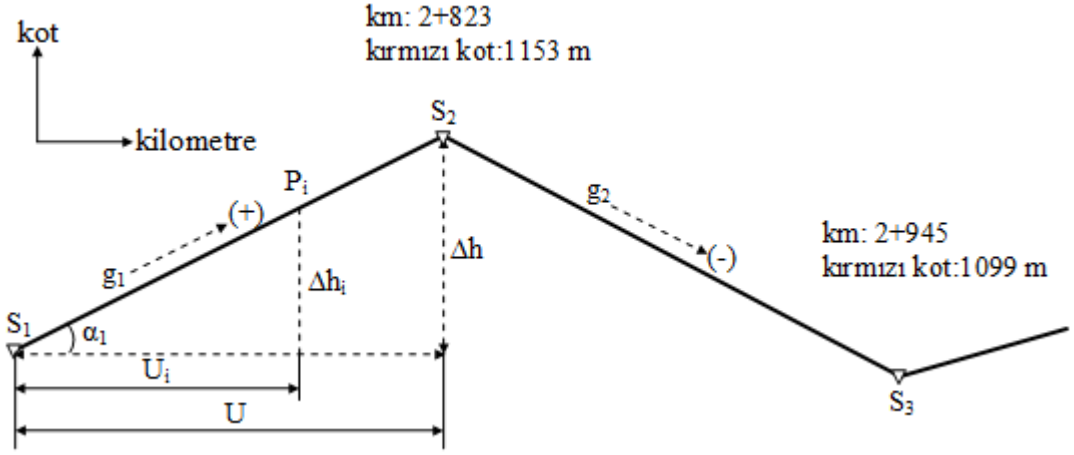
Şekil 1.5: Kırmızı hat çalışması

1.4.2. Düşey Kurplarda Kırmızı Kot Hesabı

Boy kesit üzerinde kırmızı hat ve düşey kurpların planlanmasından sonra kırmızı kot hesabına geçilir. Boy kesitte kırmızı kotu hesaplamak için o noktanın kilometresinden daha önceki düşey karp noktasının kilometresi çıkarılır. Böylece düşey karp ile kırmızı kot hesabı yapılacak nokta arasındaki yatay mesafe bulunmuş olur.

Bu mesafe ile eğim çarpılarak bu iki nokta arasındaki kot farkı elde edilir. Hesaplanan kot farkı, çıkışlarda düşey karp some noktasına ilâve edilerek inişlerde düşey karp some kotundan çıkarılarak o noktaya ait kırmızı kot bulunur. Bu işlem bütün noktalar için tekrarlanır ve kırmızı kot satırına yazılır.

Düsey kurp hizasında hesaplanan kotlar doğruya ait kotlardır. Aliyman dışındaki düsey kurp noktalarının kırmızı kotu, kapalı düsey kurplarda çıkarılarak açık düsey kurplarda ilâve edilerek elde edilir.



Şekil 1.6: Düsey kurplarda kırmızı kot hesabı

Bu hesaplama şeklini Şekil 1.7'ye uyarlayarak anlatalım.

İki some noktasını birleştiren bir düsey kurp aliymanının eğimi $g_1 = tg \alpha_1 = \frac{\Delta h}{U}$ formülü ile hesaplanmıştı.

$tg \alpha = g_1 = \frac{\Delta h}{U}$ ifadesinde Δh değerini çekersek

$\Delta h = U \cdot g_1$ formülünü elde ederiz.

Bu formülü kırmızı kotların hesabında kullanacağız. Şeklimizdeki P_i noktasının kırmızı kodu şu şekilde bulunur:

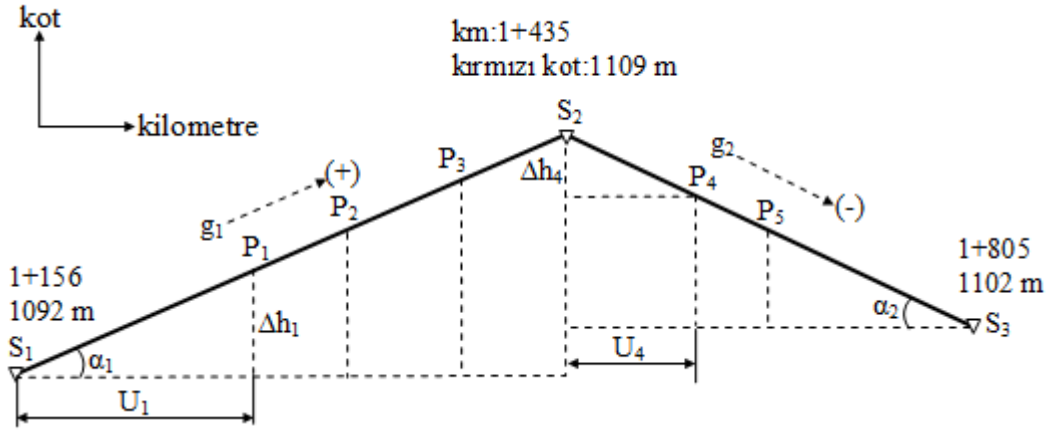
Bu nokta ile bir önceki some noktası olan S_1 arasındaki yatay mesafe, kilometrelerin farkından ($P_i \text{ km} - S_1 \text{ km}$) bulunur. Bu yatay mesafe ile daha önce hesaplanmış olan eğim faktörü (g_1) çarpılarak P_i ile S_1 noktaları arasındaki kırmızı hat kot farkı elde edilir. Eğimimiz pozitif olduğundan some noktasının (S_1) kotuna elde edilen yükseklik farkı ilâve edilir. Eğer eğim negatif olsaydı bulunan yükseklik farkı bir önceki noktanın yüksekliğinden çıkarılacaktı. Çünkü eğim, negatif olduğundan $\Delta h = U \cdot (-g_2)$ formülündeki (-) ilave edilecek değeri negatif yapıyor. Öyleyse pratik olarak şöyle düşünülebilir:

Güzergâh üzerindeki kırmızı kot hesabında bulunan yatay uzunluk ile işaretine göre eğim çarpılır ve bir önceki some noktasının kotu ile toplanır. Doğal olarak bu işlemin neticesi, toplama veya çıkarma kargaşasını ortadan kaldıracaktır.

Örnek 1.1:

Aşağıda verilen şekil ve değerlere göre P_1 , P_2 , P_3 , P_4 ve P_5 numaralı noktaların kırmızı kotlarını hesaplayınız.

Çözüm 1.1:



Şekil 1.7: Kırmızı kot hesabı örneği

$$P_{1\text{ km}} = 1+385, P_{2\text{ km}} = 1+399, P_{3\text{ km}} = 1+418, P_{4\text{ km}} = 1+462, P_{5\text{ km}} = 1+489$$

Bu verilerden faydalanılarak öncelikle bu kapalı düşey kurbun kırmızı hat eğimi tespit edilir.

$$g_1 = tg \alpha_1 = \frac{\Delta h}{U} = \frac{HS_2 - HS_1}{S_{2\text{ km}} - S_{1\text{ km}}} = \frac{1109,00 - 1092,00}{1435 - 1156} = \frac{17,00}{279,00} = 0,060931899 = \% +6,09$$

$$g_2 = tg \alpha_2 = \frac{\Delta h}{U} = \frac{HS_3 - HS_2}{S_{3\text{ km}} - S_{2\text{ km}}} = \frac{1102,00 - 1109,00}{1805 - 1435} = \frac{-7,00}{370,00} = -0,018918918 = \% -1,89$$

Eğimin pozitif olduğu kırmızı hat üzerindeki P_1 , P_2 ve P_3 ün kotlarını hesaplayalım.

$$U_1 = P_{1\text{ km}} - S_{1\text{ km}} = 1385 - 1156 = 229 \text{ m}$$

$$U_2 = P_{2\text{ km}} - S_{1\text{ km}} = 1399 - 1156 = 243 \text{ m}$$

$$U_3 = P_{3\text{ km}} - S_{1\text{ km}} = 1418 - 1156 = 262 \text{ m}$$

$$\Delta h_1 = U_1 \cdot g_1 = 13,95 \text{ m}$$

$$\Delta h_2 = U_2 \cdot g_1 = 14,81 \text{ m}$$

$$\Delta h_3 = U_3 \cdot g_1 = 15,96 \text{ m}$$

$$\mathbf{H}_1 = \mathbf{HS}_1 + \Delta h_1 = 1092 \text{ m} + 13,95 \text{ m} = 1105,95 \text{ m}$$

$$\mathbf{H}_2 = \mathbf{HS}_1 + \Delta h_2 = 1092 \text{ m} + 14,81 \text{ m} = 1106,81 \text{ m}$$

$$\mathbf{H}_3 = \mathbf{HS}_1 + \Delta h_3 = 1092 \text{ m} + 15,96 \text{ m} = 1107,96 \text{ m}$$

Eğimin negatif olduğu kırmızı hat üzerindeki P_4 ve P_5 in kotlarını hesaplayalım.

$$U_4 = P_{4km} - S_{2km} = 1462 - 1435 = 27 \text{ m}$$

$$U_5 = P_{5km} - S_{2km} = 1489 - 1435 = 54 \text{ m}$$

$$\Delta h_4 = U_4 \cdot g_2 = -0,51 \text{ m}$$

$$\Delta h_5 = U_5 \cdot g_2 = -1,02 \text{ m}$$

$$\mathbf{H}_4 = \mathbf{HS}_2 + \Delta h_4 = 1109 \text{ m} - 0,51 \text{ m} = 1108,49 \text{ m}$$

$$\mathbf{H}_5 = \mathbf{HS}_2 + \Delta h_5 = 1109 \text{ m} - 1,02 \text{ m} = 1107,98 \text{ m}$$

UYGULAMA FAALİYETİ

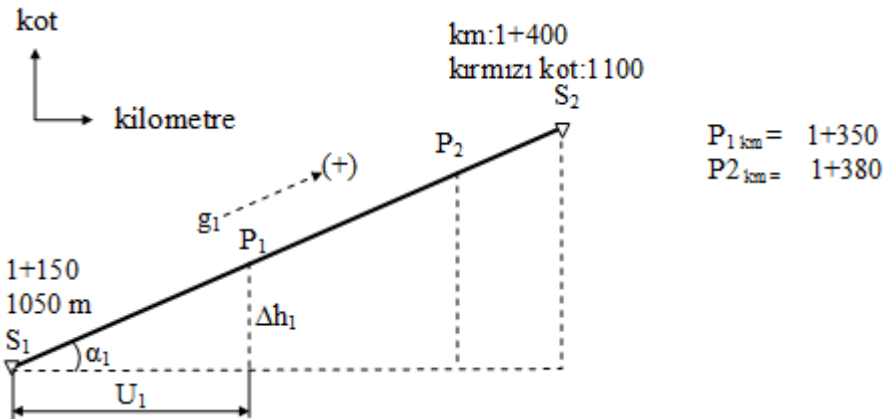
- Aşağıdaki tabloda verilen değerlere göre boy kesiti çiziniz ve kırmızı hat çalışması yapınız.

Nokta Nu.	Başlangıca olan mesafe	Kodu
1	0+000	20.000
2	0+020	21.500
3	0+040	20.000
4	0+060	21.500
5	0+080	20.000
6	0+100	21.500

- Aşağıdaki tabloda verilen değerlere göre en kesit çizimini yapınız.

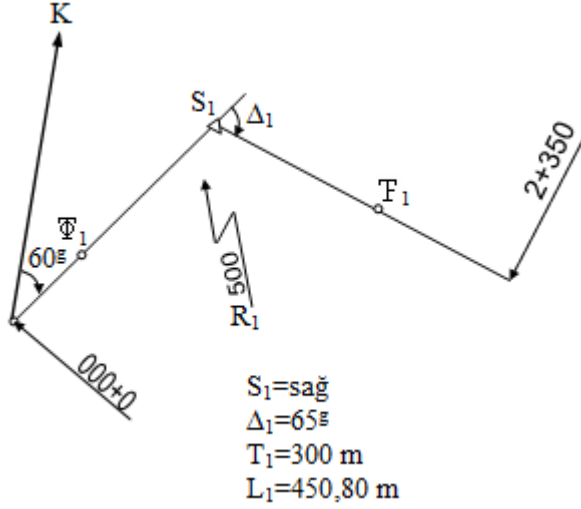
Nokta Nu.	Ara mesafeler	Kodu
1	3.00	210.20
2	4.00	211.45
3	6.00	209.50
4	3.00	210.00
5	3.00	211.40
6	6.00	212.75
7	4.00	211.05
8	3.00	312.25

- Şekildeki P_1 ve P_2 noktalarının kırmızı kot hesabını yapınız.



- Aşağıdaki verilen aplikasyon planını tamamlayınız.

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= 0+350 \\ F_1 &= 0+750,50 \end{aligned}$$



İşlem Basamakları	Öneriler
➤ Boy kesit çiziniz.	➤ Çizim ölçeği yatay uzunluklar için ihtiyaca göre 1/1000 ile 1/5000 arasında alınız. Düşey ölçekler, genellikle arazinin yükseklik farklarını abartılı olarak gösterecek şekilde ve yatay ölçeğe göre beş-on kat daha büyük alınmalıdır.
➤ En kesit çiziniz.	➤ En kesitleri, alan ve hacim hesaplarında kullanıldıkları için yatay ve düşey ölçekler aynı olarak ve genellikle 1/100 veya 1/200 ölçekte alınız.
➤ Aplikasyon planı çiziniz.	➤ Some koordinatlarını hesaplayınız ve poligon kanavasını bulunan kâğıt üzerine işaretleyiniz.
➤ Boy kesit üzerinde kırmızı hat çalışması yapınız.	➤ Kırmızı hattın eğimini bulmak için some noktaları arasındaki kot farkını (Δh), yatay mesafeye (U) bölerek elde ediniz.
➤ Düşey kurplarda kırmızı kot hesabı yapınız.	➤ Boy kesitte kırmızı kotu hesaplamak için o noktanın kilometresinden daha önceki düşey karp noktasının kilometresini çıkarınız.

KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadıklarınız için **Hayır** kutucuklarına (X) işareti koyarak öğrendiklerinizi kontrol ediniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
1. Boy kesit çizdiniz mi?		
2. En kesit çizdiniz mi?		
3. Aplikasyon planı çizdiniz mi?		
4. Boy kesit üzerinde kırmızı hat çalışması yaptınız mı?		
5. Düşey kurplarda kırmızı kot hesabı yaptınız mı?		

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “Hayır” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “Evet” ise “Ölçme ve Değerlendirme” ye geçiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. () Güzergâh eksenini üzerinde alınan kesite boy kesit denir.
2. () Boy kesitte çizim ölçeği yatay uzunluklar için ihtiyaca göre 1/1000 ile 1/5000 arasında alınabilir.
3. () Boy kesitteki kurplar yatay konumdaki kurplardır.
4. () Kırmızı kot projelendirilirken dikkat edilecek faktörler, kırmızı kot eğiminin % 7'yi geçmemesi ve kazı ile dolgu alanlarının birbirini karşılayacak şekilde planlanmasıdır.
5. () En kesitler, alan ve hacim hesaplarında kullanıldıkları için yatay ve düşey ölçekler aynı olarak ve genellikle 1/1000 veya 1/2000 olarak alınır.
6. () En kesit çizimine eksenden başlanır. Sağa ve sola mesafeler ölçekli alınıp düşeyde de kotlar tespit edildikten sonra kesilir. Bu noktalar birleştirilerek en kesite ait siyah hat çizilmiş olur.
7. () Arazide aplikasyonu yapılmış olan güzergâhın plan üzerindeki durumunu görmek ve gerekli düzeltmeleri yapmak amacıyla kroki çizilir.
8. () Aplikasyon planı çizimine geçmeden önce güzergâhın some noktalarının koordinatları tam olarak tespit edilmiş bir semt açısına göre hesaplanır
9. () Kırmızı hat, bir seri doğru parçaları ile birbirine bağlanmış eğrilerden (düşey kurplardan) oluşmaktadır.
10. () Ova ve düz arazilerde yer altı sularının ve kar toplanmasının etkileri göz önünde tutularak kırmızı hat, yeteri kadar yüksekte tespit edilmelidir.
11. () Kırmızı hattın eğimini bulmak için some noktaları arasındaki kot farkının (Δh), düşey mesafeye (U) bölünmesi ile elde edilir.
12. () Boy kesitte kırmızı kotu hesaplamak için o noktanın kilometresi daha önceki düşey kurp noktasının kilometresi ile toplanır. Böylece düşey kurp ile kırmızı kot hesabı yapılacak nokta arasındaki yatay mesafe bulunmuş olur.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-2

AMAÇ

Tekniğine uygun olarak alan hesabı yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Karayolları müdürlüklerine, yol projesi hazırlayan mühendislik bürolarına veya yol inşaatı yapan şirketlere gidiniz. Yol en kesitlerinin alan hesaplarında hangi yöntemlerin kullanıldığını ve alanlar diyagramının çizilme nedenlerini araştırınız. Edindiğiniz bilgileri sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız.

2. ALAN HESABI

Yol projesi yapılırken en kesitlerin alanları hesaplanır.

2.1. En Kesit Alan Hesabı

Yol boyunca kazı ve dolgu hacimlerini hesaplamak, hesaplar yardımı ile toprak dağıtımı ve taşıma uzaklıklarını tespit etmek için önce en kesit alanları hesaplanmalıdır.

2.1.1. Cebirsel Yöntemle Alan Hesabı

Bu yöntemle alanların hesaplanması için sırayla doğal zemin, kazı ve dolgu şevlerinin eğimleri, yükseklikler ve yükseklik farkları ile ara uzaklıklar hesaplanır.

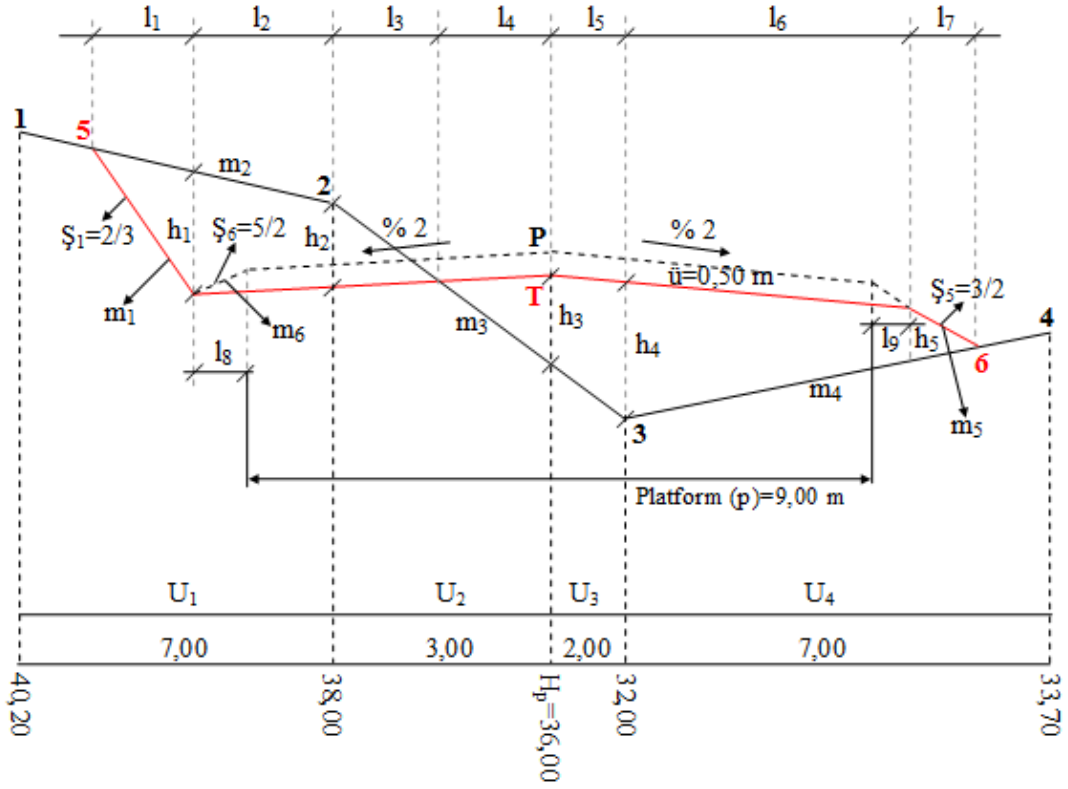
Eğimlerin hesabı

Yol güzergâhında şev ile eğim birbirlerinin tersidir.

$$m_i = \frac{1}{\zeta_i} \quad , \quad m : \text{Eğim} \quad , \quad \zeta : \text{Şev}$$

Şekil 2.1 de;

$$m_1 = \frac{1}{\zeta_1} = \frac{3}{2} \quad , \quad m_5 = \frac{1}{\zeta_5} = \frac{2}{3} \quad \text{ve} \quad m_6 = \frac{1}{\zeta_6} = \frac{2}{5} \quad \text{'dir.}$$



Şekil 2.1: En kesit alan hesabında cebirsel yöntem

Doğal zemin eğimleri

$$m_i = \frac{H_{i+1} - H_i}{U_i}$$

genel formülünün şekle uygun olarak düzenlenmesi ile hesaplanır.

Yükseklik ve yükseklik farklarının bulunması şu şekildedir:

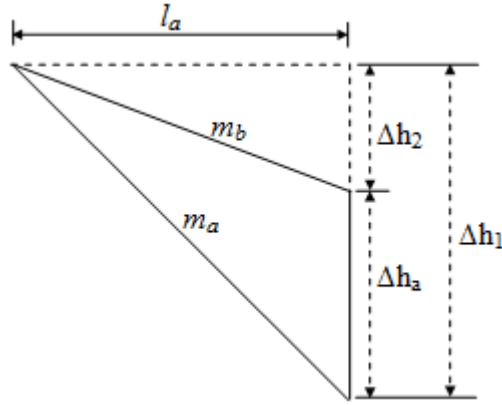
$$H_i = H_{i+1} \mp m_i \cdot l_i$$

$$h_i = h_{i+1} \mp m_i \cdot l_i$$

genel formülünün şekle uygun olarak düzenlenmesi ile elde edilir.

Ara uzaklıkların bulunması

- Şev kazığı noktalarındaki ara uzaklıkların eğimleri aynı yönlü ise



Şekil 2.2: En kesit ara uzaklıklarının bulunmasında eğimlerin aynı olma hâli

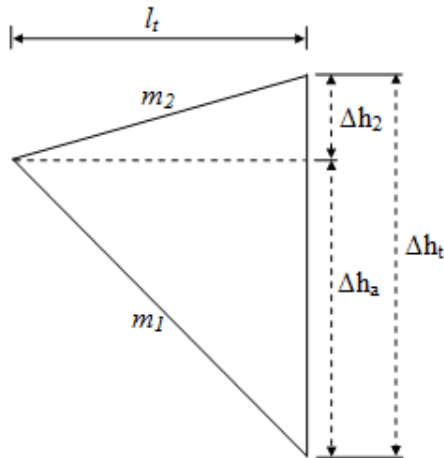
$$m_a = \frac{\Delta h_1}{l_a} \Rightarrow \Delta h_1 = m_a \cdot l_a$$

$$m_b = \frac{\Delta h_2}{l_a} \Rightarrow \Delta h_2 = m_b \cdot l_a$$

$$\Delta h_a = \Delta h_1 - \Delta h_2 = m_a \cdot l_a - m_b \cdot l_a = (m_a - m_b) \cdot l_a$$

$$l_a = \frac{\Delta h_a}{m_a - m_b}$$

- Şev kazığı noktalarındaki ara uzaklıkların eğimleri ters yönlü ise



Şekil 2.3: En kesit ara uzaklıklarının bulunmasında eğimlerin farklı olma hâli

$$\Delta h_t = \Delta h_a + \Delta h_2$$

$$\Delta h_t = m_1 l_t + m_2 l_t = l_t (m_1 + m_2)$$

$$l_t = \frac{\Delta h_t}{m_1 + m_2} \quad \text{formülü ile hesaplanır.}$$

Diğer ara uzaklıklar

$$l_i = \frac{h_i}{m_i} \quad \text{formülünün uygun şekilde düzenlenmesi ile hesaplanır.}$$

Örnek 2.1:

Şekil 2.1'de verilen ölçü değerlerine göre en kesitin alanını hesaplayınız.

Çözüm 2.1:

Eğimlerin hesabı

$$m_1 = \frac{1}{\zeta_1} = \frac{1}{2/3} = \frac{3}{2} = 1,50$$

$$m_2 = \frac{H_1 - H_2}{U_1} = \frac{40,20 - 38,00}{7,00} = 0,31$$

$$m_3 = \frac{H_2 - H_3}{U_2 + U_3} = \frac{38,00 - 32,00}{3,00 + 2,00} = 1,20$$

$$m_4 = \frac{H_4 - H_3}{U_4} = \frac{33,70 - 32,00}{7,00} = 0,24$$

$$m_5 = \frac{1}{\zeta_5} = \frac{1}{3/2} = \frac{2}{3} = 0,67$$

$$m_6 = \frac{1}{\zeta_6} = \frac{1}{5/2} = \frac{2}{5} = 0,40$$

Yükseklik ve ara uzunlukların hesabı

$$H_T = H_p - \ddot{u} = 36,00 - 0,50 = 35,50m$$

$$h_2 = H_2 - H_T + 0,02.U_2 \qquad h_2 = 38,00 - 35,50 + 0,02.3,00 = 2,56m$$

$$l_8 = \frac{\ddot{u}}{m_6 - 0,02} = \frac{0,50}{0,40 - 0,02} = 1,32m$$

$$l_2 = \left(\frac{P}{2}\right) - U_2 + l_8 \quad \Rightarrow \quad l_2 = \left(\frac{9}{2}\right) - 3,00 + 1,32 = 2,82m$$

(NOT: $\frac{P}{2}$ = platform uzunluğunun yarısı)

$$l_3 = \frac{h_2}{m_3 + 0,02} \quad \Rightarrow \quad l_3 = \frac{2,56}{1,20 + 0,02} = 2,10m$$

$$h_1 = h_2 + m_2.l_2 + 0,02.l_2 = h_2 + l_2.(m_2 + 0,02) \quad \Rightarrow \quad h_1 = 3,49m$$

$$l_1 = \frac{h_1}{m_1 - m_2} = \frac{3,49}{1,50 - 0,31} = 2,93m$$

$$l_4 = U_2 - l_3 = 3,00 - 2,10 = 0,90m$$

$$h_3 = 0,02.l_4 + m_3.l_4 = l_4.(0,02 + m_3) \quad \Rightarrow \quad h_3 = 1,10m$$

$$l_5 = U_3 = 2,00m$$

$$h_4 = h_3 - 0,02.l_5 + m_3.l_5 = h_3 + l_5.(m_3 - 0,02) \quad \Rightarrow \quad h_4 = 3,46m$$

$$l_9 = \frac{\ddot{u}}{m_5 - 0,02} = \frac{0,50m}{0,67 - 0,02} = 0,77m$$

$$l_6 = \left(\frac{P}{2}\right) - U_3 + l_9 = \left(\frac{9}{2}\right) - 2,00 + 0,77 = 3,27m$$

$$h_5 = h_4 - 0,02.l_6 - m_4.l_6 = h_4 - l_6.(0,02 + m_4) \quad \Rightarrow \quad h_5 = 2,61m$$

$$l_7 = \frac{h_5}{m_5 + m_4} = \frac{2,61}{0,67 + 0,24} = 2,87m$$

Hesapladığımız yükseklik ve ara mesafeler, bir önceki hesaplanan ve ihtiyaç duyulan değerlere göre belirlendiğinden karışık hesaplanmış gibi görünüyor. Bu sebeple bu değerler aşağıdaki gibi şöyle özetlenir:

No	m_i	l_i (m)	h_i (m)
1	1,50	2,93	3,49
2	0,31	2,82	2,56
3	1,20	2,10	1,10
4	0,24	0,90	3,46
5	0,67	2,00	2,61
6	0,40	3,27	-
7	-	2,87	-
8	-	1,32	-
9	-	0,77	-

Tablo 2.1: Örnek 2.1'e ait özet tablo

Bu değerler aracılığı ile en kesit alanını üçgen ve yamuk alan bağıntılarını kullanarak (Cebirsel) hesaplayabiliriz.

$$F_{Kazı} = \frac{1}{2} \cdot (l_1 \cdot h_1 + l_2 \cdot (h_1 + h_2) + l_3 \cdot h_2) \Rightarrow F_{Kazı} = 16,30 \text{ m}^2$$

$$F_{Dolu} = \frac{1}{2} \cdot (l_4 \cdot h_3 + l_5 \cdot (h_3 + h_4) + l_6 \cdot (h_4 + h_5) + l_7 \cdot h_5) \Rightarrow F_{Dolu} = 18,72 \text{ m}^2$$

2.1.2. Cross Yöntemiyle Alan Hesabı

➤ Klasik Cross yöntemi ile alan hesabı

Bu yöntemle alan hesabının temeli, eksen kodu 0 (sıfır) kabul edilerek en kesit üzerinde eğimin değiştiği her noktanın kotları ve eksene olan uzaklıklarının bir matematiksel model ile değerlendirilmesidir.

Bu yöntemle hesap yapabilmek için şev kazığı noktalarının durumunun daha önceden bilinmesi gerekir.

Cross yönteminde eksen tesviye noktasından geçen dik koordinat sistemi esas alınır. Buna göre eksenin sağında kalan uzaklıklar (+), solundakiler (-), eksen tesviye noktası kodunun üstünde kalan noktaların yükseklikleri (+), altında kalan noktaların yükseklikleri (-) ile gösterilir.

Bu şekilde en kesitteki bütün kırık noktalar, yükseklikleri paya, uzaklıkları paydaya yazılarak kesirli şekilde ifade edilir.

Bu yöntem, alan hesaplama yöntemlerinin temelini oluşturan Gauss (Gaus) alan hesaplama yöntemine dayanır. Bu yöntemi kısaca hatırlayalım.

Basit bir çeşitkenar üçgen alanını gauss alan hesaplama yöntemi ile bulalım.

Hesaplanmak istenen ABC üçgeninin alanını düzgün geometrik şekillere bölerek hesaplayabiliriz.

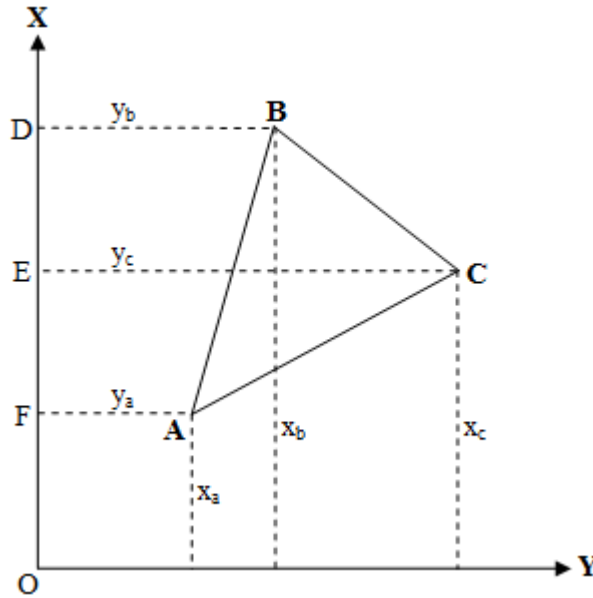
Şekil 2.4'teki DBCE yamuğu ile ECAF yamuğunun alanlarının toplamından DBAF yamuğunun alanının çıkarılması sonucu ABC alanı bulunur.

O hâlde;

$$F_{DBCE} = \left(\frac{y_b + y_c}{2} \right) \cdot (x_b - x_c)$$

$$F_{ECAF} = \left(\frac{y_c + y_a}{2} \right) \cdot (x_c - x_a)$$

$$F_{DBAF} = \left(\frac{y_b + y_a}{2} \right) \cdot (x_b - x_a)$$



Şekil 2.4: Gauss alan hesabı formülünün çıkarılmasında kullanılacak şekil

$$F_{ABC} = \left(\frac{y_b + y_c}{2} \right) \cdot (x_b - x_c) + \left(\frac{y_c + y_a}{2} \right) \cdot (x_c - x_a) - \left(\frac{y_b + y_a}{2} \right) \cdot (x_b - x_a)$$

$$2.F_{ABC} = (y_b + y_c)(x_b - x_c) + (y_c + y_a)(x_c - x_a) - (y_b + y_a)(x_b - x_a)$$

bu denklem düzenlenirse şu sonuç elde edilir:

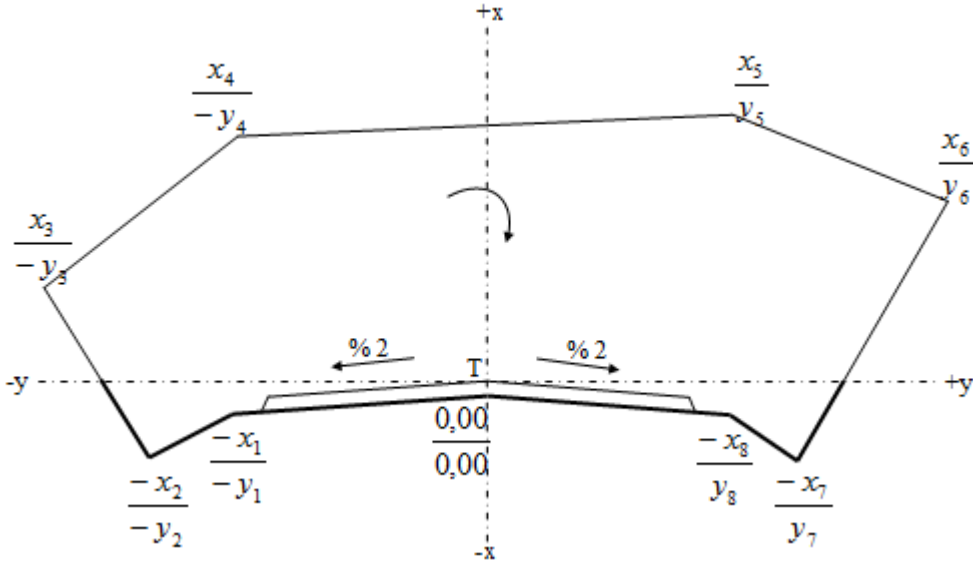
$$2F_{ABC} = y_a(x_c - x_b) + y_b(x_a - x_c) + y_c(x_b - x_a) \quad \text{veya}$$

$$2F_{ABC} = x_a(y_c - y_b) + x_b(y_a - y_c) + x_c(y_b - y_a)$$

Buradan da anlaşılıyor ki hesaplamak istediğimiz alanın bir köşesinden başlamak üzere y veya x kat sayılarını kullanarak bir önceki noktanın koordinatından bir sonraki noktanın koordinatını çıkarıyoruz.

Unutulmamalıdır ki yukarıdaki iki formülden bulunan alan eşittir fakat ters işaretlidir. Elde edilen alan negatif olamayacağına göre negatif çıkan alanı pozitif kabul edeceğiz.

Saat ibresinin hareketi yönünü dönme eksenini olarak kabul edelim. Her noktanın yüksekliğini (x), bir önceki ve bir sonraki noktaların eksene olan uzaklıklarının farkı ile çarpacağız. Tüm noktalar için bu işlem tekrarlanır ve bulunan değerler toplanırsa en kesit alanının iki katı elde edilmiş olur.



Şekil 2.5: Cross alan hesabı

Klasik Cross yöntemi ile alan hesabını şu şekilde ifade edebiliriz:

$$2F = \sum_1^n x_i \cdot (y_{i-1} - y_{i+1}) \quad \text{veya}$$

$$2F = -\sum_1^n y_i \cdot (x_{i-1} - x_{i+1}) \quad \text{dir.}$$

Buna göre yukarıdaki şekli bu formüle uyarlırsak

$$2F = -x_1[0 - (-y_2)] - x_2[-y_1 - (-y_3)] + x_3[-y_2 - (-y_4)] + x_4(-y_3 - y_5) + x_5(-y_4 - y_6)$$

$$+ x_6(y_5 - y_7) - x_7(y_6 - y_8) - x_8(y_7 - 0.00) + 0.00(y_8 + y_1)$$

$$2F = -x_1(+y_2) - x_2(-y_1 + y_3) + x_3(-y_2 + y_4) + x_4(-y_3 - y_5) + x_5(-y_4 - y_6)$$

$$+ x_6(y_5 - y_7) - x_7(y_6 - y_8) - x_8(y_7)$$

sonucunu elde etmiş oluruz.

Örnek 2.2:

Şekil 2.1'e göre cebirsel yöntemle çözdüğümüz örneğimizi bu defa klasik Cross yöntemi ile hesaplayalım.

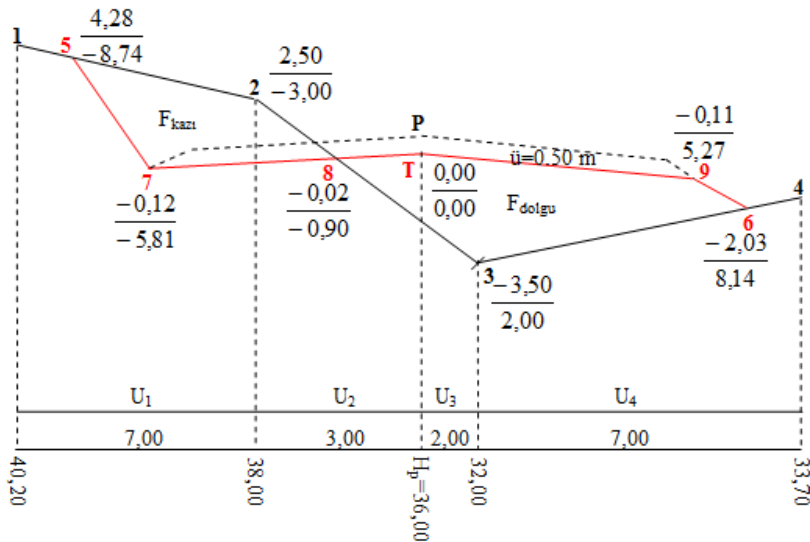
Çözüm 2.2:

Aşağıdaki şeklimizde noktalara ait yerel kot değerleri ve mesafeler şöyle bulunur:

Öncelikle 5 ve 6 numaralı noktaların kotlarını hesaplayalım.

$$H_5 = H_2 + (l_1 + l_2).m_2 = 38,00 + (2,93 + 2,81).0,31 = 39,78m$$

$$H_6 = H_3 + (l_6 + l_7).m_4 = 32,00 + (3,27 + 2,87).0,24 = 33,47m$$



Şekil 2.6: Klasik Cross yöntemi ile alan hesabı örneği

Bu arada hesaplanacak olan kot farklarının eksen kazığının olduğu T noktasından alınacağı unutulmamalıdır. P noktası platform üst noktasıdır ve dolgu malzemesi konduktan sonra ortaya çıkar.

En kesit alan hesaplarında güzergâha ait eksen kazığı kodu olan (örneğimizde $H_T=35,50$ m) kullanılır.

N.N.	Eksen kazığına uzaklık (U_i)	Sonuç (T ' ye göre)	Eksen kazığından olan yükseklik (h_i)	Sonuç (H_T 'ye göre)
T	-	0,00	-	0,00
2	l_3+l_4	-3,00	H_2-H_T	2,50
3	l_5	+2,00	H_3-H_T	-3,50
5	$l_1+l_2+l_3+l_4$	-8,74	H_5-H_T	4,28
6	$l_5+l_6+l_7$	+8,14	H_6-H_T	-2,03
7	$l_2+l_3+l_4$	-5,81	$0,02.(l_2+l_3+l_4)$	-0,12
8	l_4	-0,90	$0,02.l_4$	-0,02
9	l_5+l_6	+5,27	$0,02.(l_5+l_6)$	-0,11

Tablo 2.2: Örnek 2.2'ye ait tablo

Bu değerler ışığında en kesit kazı ve dolgu alanları şöyle hesaplanır:

Hesap için noktaların herhangi birinden başlayabiliriz. Başladığımız nokta, yön ve işlem hatası yapmadığımız sürece sonucu kesinlikle etkilemez. Bu örneğimizde 5 numaralı noktadan başlayalım.

$$2F_{KAZI} = x_5.(y_7 - y_2) + x_2.(y_5 - y_8) + x_8.(y_2 - y_7) + x_7.(y_8 - y_5)$$

$$2F_{KAZI} = 4,28.(-5,81 + 3,00) + 2,50.(-8,74 + 0,90) - 0,02.(-3,0 + 5,81) - 0,12.(-0,90 + 8,74)$$

$$2F_{KAZI} = 32,62 \text{ m}^2 \Rightarrow F_{KAZI} = 16,31 \text{ m}^2$$

$$2F_{DOLGU} = x_8.(y_3 - y_T) + x_T.(y_8 - y_9) + x_9.(y_T - y_6) + x_6.(y_9 - y_3) + x_3.(y_6 - y_8)$$

$$2F_{DOLGU} = -0,02.(2,00 - 0,00) + 0,00 - 0,11.(0,00 - 0,814) - 2,03.(5,27 - 2,00) - 3,50.(8,14 + 0,90)$$

$$2F_{DOLGU} = 37,42 \text{ m}^2 \Rightarrow F_{DOLGU} = 18,71 \text{ m}^2$$

Görülüyor ki her iki yöntemde de (Örnek 2.1 ve Örnek 2.2) bulunan değerler dm düzeyine kadar aynıdır. Bunun aşağısındaki birimlerin farklılıkları yuvarlatma hatalarından kaynaklanmaktadır.

➤ Basit Cross yöntemi ile alan hesabı

Bu tekniğe göre Cross yönteminde noktalara ait kot ve eksen kazığı mesafelerinin yazıldığı kesirli ifade yan yana yazılır. En sonuna ilk başladığımız noktanın kot ve mesafesi tekrar yazılır.

Aşağıda belirtildiği şekilde, kırmızı ile belirtilen ok yönlü ifadelerin çarpımlarının toplamından, mavi ile belirtilen ok yönlü ifadelerin çarpımlarının toplamı çıkartılır. Bu ifade belirtilen kapalı şeklin alanını verir.

En son örneğimizdeki Cross elemanlarını dikkate alırsak,

Dolgu alanı

$$\frac{0,00}{-4,75} \begin{array}{c} \nearrow \\ \searrow \end{array} \frac{0,00}{2,33} \begin{array}{c} \nearrow \\ \searrow \end{array} \frac{-0,60}{0,00} \begin{array}{c} \nearrow \\ \searrow \end{array} \frac{-1,80}{-4,00} \begin{array}{c} \nearrow \\ \searrow \end{array} \frac{-1,06}{-6,34} \begin{array}{c} \nearrow \\ \searrow \end{array} \frac{0,00}{-4,75}$$

$$2F_D = [(0,00 \cdot 2,33) + (0,00 \cdot 0,00) + (-0,60 \cdot -4,00) + (-1,80 \cdot -6,34) + (-1,06 \cdot -4,75)] - [(-4,75 \cdot 0,00) + (2,33 \cdot -0,60) + (0,00 \cdot -1,80) + (-4,00 \cdot -1,06) + (-6,34 \cdot 0,00)]$$

$$\frac{0,00}{2,33} \begin{array}{c} \nearrow \\ \searrow \end{array} \frac{0,30}{3,50} \begin{array}{c} \nearrow \\ \searrow \end{array} \frac{0,50}{7,75} \begin{array}{c} \nearrow \\ \searrow \end{array} \frac{-0,50}{6,75} \begin{array}{c} \nearrow \\ \searrow \end{array} \frac{0,00}{4,75} \begin{array}{c} \nearrow \\ \searrow \end{array} \frac{0,00}{2,33}$$

$$2F_D = [18,847] - [2,842] = 16,005 \quad \Rightarrow \quad F_D = 8,00 \text{ m}^2$$

Kazı alanı

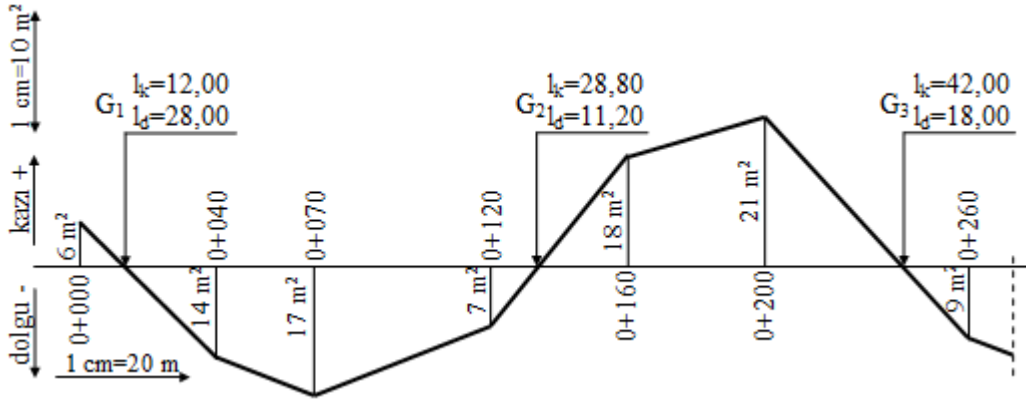
$$2F_K = [(0,00 \cdot 3,50) + (0,30 \cdot 7,75) + (0,50 \cdot 6,75) + (-0,50 \cdot 4,75) + (0,00 \cdot 2,33)] - [(2,33 \cdot 0,30) + (3,50 \cdot 0,50) + (7,75 \cdot -0,50) + (6,75 \cdot 0,00) + (4,75 \cdot 0,00)]$$

$$2F_K = [3,325] - [-1,426] = 4,751 \text{ m}^2 \quad \Rightarrow \quad F_K = 2,37 \text{ m}^2$$

2.2. Alanlar Diyagramı

Hesaplanan en kesit alanları bir boy kesit üzerinde, kazı en kesit alanları yukarıda, dolgu en kesit alanları da aşağıda olmak üzere eşit ölçekli bir diyagram üzerinde gösterilir.

Bu diyagramda alanlar genellikle 1 cm 10 m²'yi gösterecek şekilde işaretlenir. Daha sonra bu işaretler birleştirilerek diyagram oluşturulur. Bu diyagramın alanı kazı ve dolgu hacimlerini verir.



Şekil 2.7: Alanlar diyagramı

Bu diyagramda kırık çizginin yatay eksenini kestiği yerlere **geçit noktaları** adı verilir. Bu noktadaki en kesit alanlarının sıfır olduğu kabul edilir.

Karışık kesitlerde kazı ve dolgu alanlarının cebirsel toplamına göre altta veya üstte alınır.

Buradaki geçit noktalarının hesabı şu şekilde yapılmalıdır:

Alanlar diyagramında kazı alanı ile dolgu alanı arasındaki noktaya geçit noktası adı verilmiştir. Hacim hesaplarını yapabilmek için geçit noktalarının en kesit alınan noktalara olan mesafesi hesaplanmalıdır.

Şekil 2,8'de F_1 kazı alanını, F_2 dolgu alanını, \overline{mn} uzunluğu kazıdan dolguya geçiş doğrusunu (sıfır kesitini veya geçiş kesitini), AA' ve BB' yolun plâtfonunu, CC' ve DD' arazinin eğimini göstermektedir. Kesitler arasındaki mesafe a ve sıfır kesitinin F_1 kesitine olan mesafesi de x olduğuna göre mesafelerle kesit alanları arasında şu benzerlik bağıntısını yazmak mümkündür:

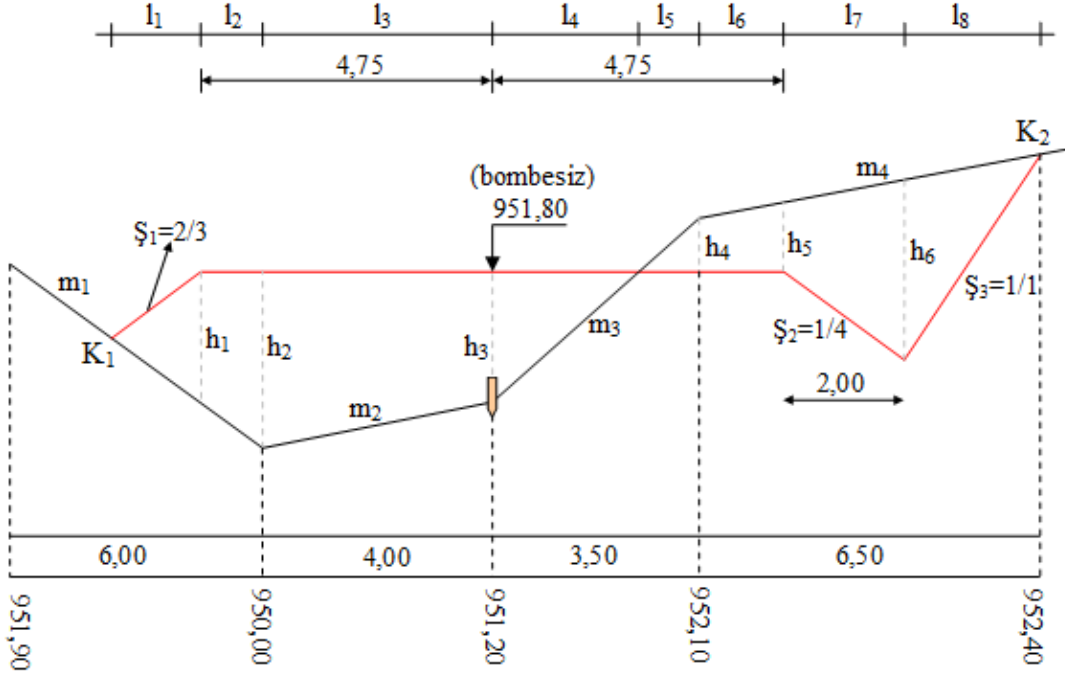
$$\frac{x}{a-x} = \frac{F_1}{F_2} \quad \Rightarrow \quad x.F_2 = a.F_1 - x.F_1$$

$$x.F_2 + x.F_1 = a.F_1 \quad \Rightarrow \quad x.(F_1 + F_2) = a.F_1$$

olduğuna göre $x = \frac{a.F_1}{(F_1 + F_2)}$ elde edilir.

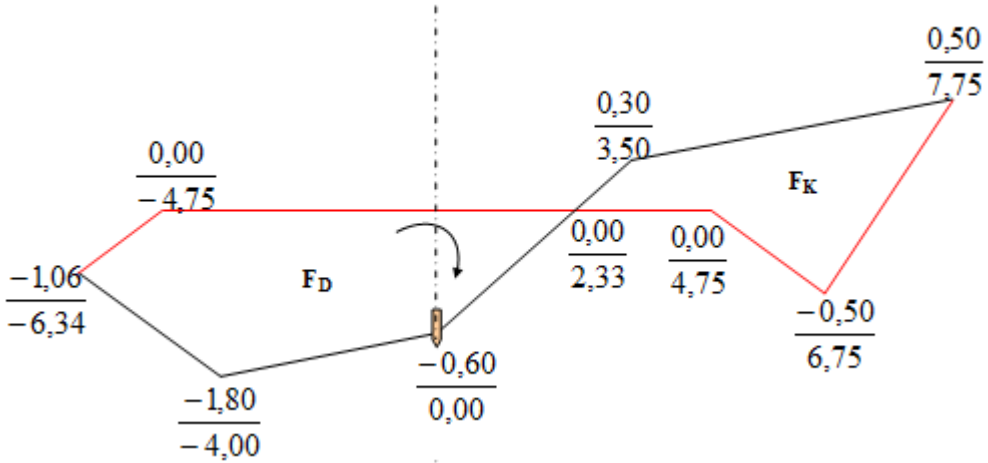
UYGULAMA FAALİYETİ

- Aşağıdaki en kesitin cebirsel yöntem ile alan hesabını yapınız.



Şekil 2.9: Cebirsel yöntem ile alan hesabı

- Aşağıdaki en kesitin alanını klasik ve basit Cross metodlarıyla hesaplayınız.



Şekil 2.10: Klasik Cross yöntemi ile alan hesabı

- Aşağıdaki verilere göre alanlar diyagramını çiziniz.

Geçit noktası 1
Lk=10.00
1cm=20m
Ld=25.00

Geçit noktası 2
lk=25.00
ld=15.00

Alan ölçeği: 1cm=10m²
Uzunluk ölçeği:

Ara mesafeler	Alanlar
0+000	3
0+050	5
0+100	10
0+200	8
0+250	15

İşlem Basamakları	Öneriler
➤ Cebirsel yöntemle en kesit alanlarını hesaplayınız.	➤ Alanların hesaplanması için sırayla doğal zemin, kazı ve dolgu şevlerinin eğimleri, yükseklikler ve yükseklik farkları ile ara uzaklıkları hesaplayınız.
➤ Klasik Cross yöntemiyle en kesit alanlarını hesaplayınız.	➤ Hesaplamak istediğiniz alanın bir köşesinden başlamak üzere y veya x kat sayılarını kullanarak bir önceki noktanın koordinatından bir sonraki noktanın koordinatını çıkarınız.
➤ Basit Cross yöntemiyle en kesit alanlarını hesaplayınız.	➤ Noktalara ait kot ve eksen kazığı mesafelerinin yazıldığı kesirli ifadeleri yan yana yazınız. En sonuna ilk başladığınız noktanın kot ve mesafesini tekrar yazınız.
➤ Hesaplanmış en kesit alanlarının alan diyagramını çiziniz.	➤ Diyagramda alanları genellikle 1 cm 10 m ² 'yi gösterecek şekilde işaretleyiniz. Daha sonra bu işaretleri birleştirerek diyagramı oluşturunuz.

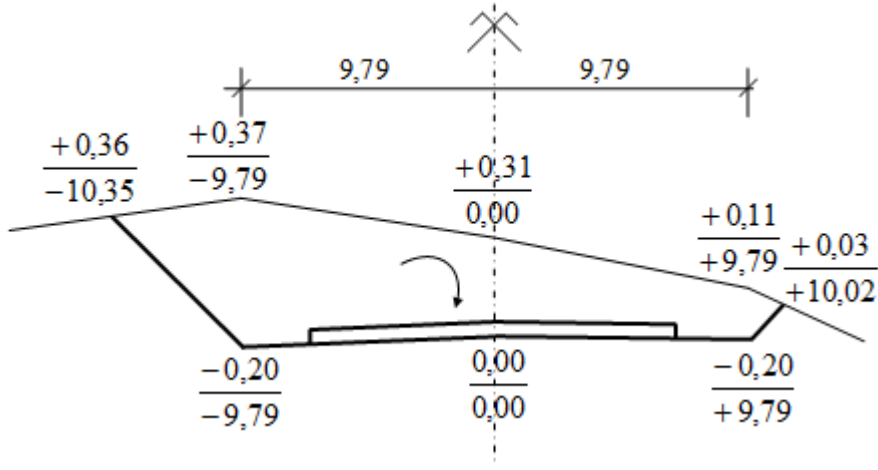
KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadıklarınız için **Hayır** kutucuklarına (X) işareti koyarak öğrendiklerinizi kontrol ediniz.

Değerlendirme ölçütleri	Evet	Hayır
1. Cebirsel yöntemle en kesit alanlarını hesapladınız mı?		
2. Klasik Cross yöntemiyle en kesit alanlarını hesapladınız mı?		
3. Basit Cross yöntemiyle en kesit alanlarını hesapladınız mı?		
4. Hesaplanmış en kesit alanlarının alan diyagramını çizdiniz mi?		

DEĞERLENDİRME

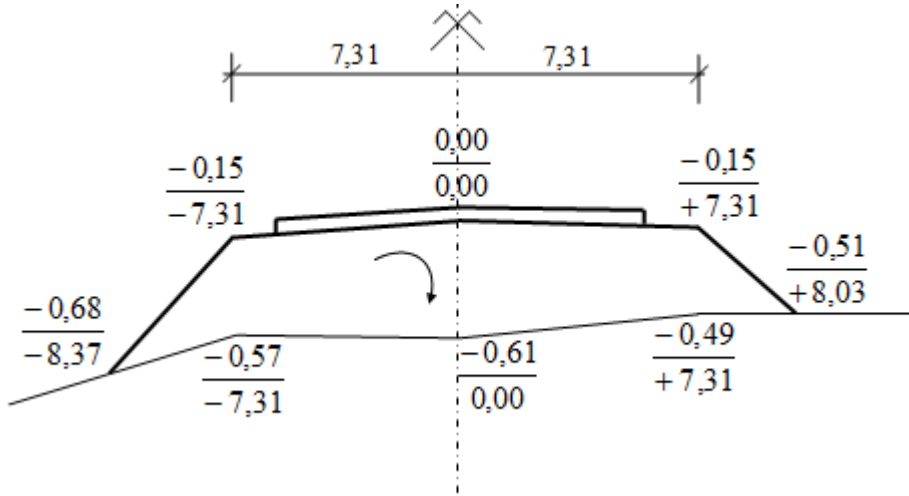
Değerlendirme sonunda “Hayır” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “Evet” ise “Ölçme ve Değerlendirme” ye geçiniz.



Şekil 2.12: Kazı en kesiti

3. Şekil 2.13'teki dolgu en kesitin alanını klasik Cross yöntemine göre hesapladığınızda toplam dolgu alanı aşağıdakilerden hangisidir?

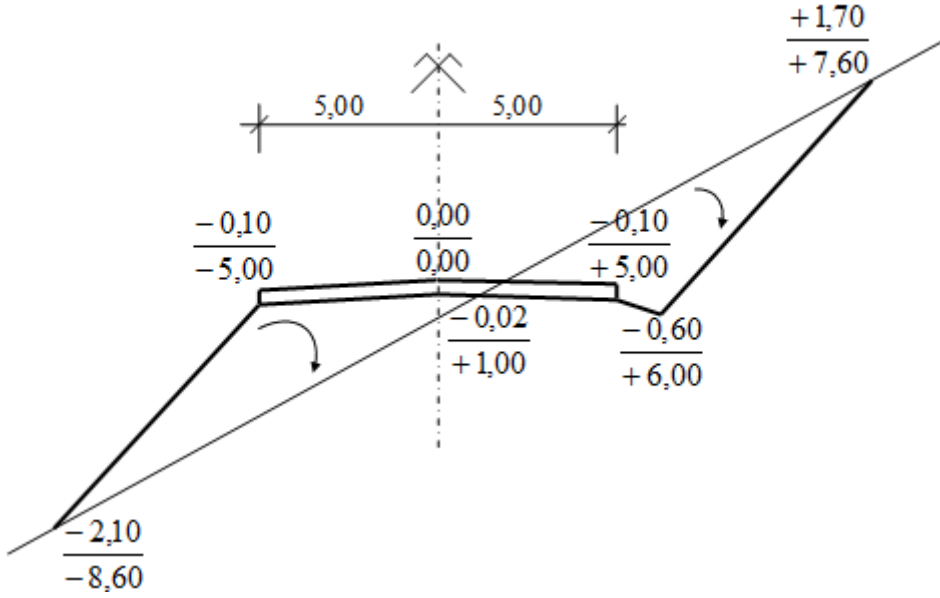
- A) $F_d=8,00 \text{ m}^2$
 B) $F_d=7,54 \text{ m}^2$
 C) $F_d=8,90 \text{ m}^2$
 D) $F_d=6,15 \text{ m}^2$



Şekil 2.13: Dolgu en kesiti

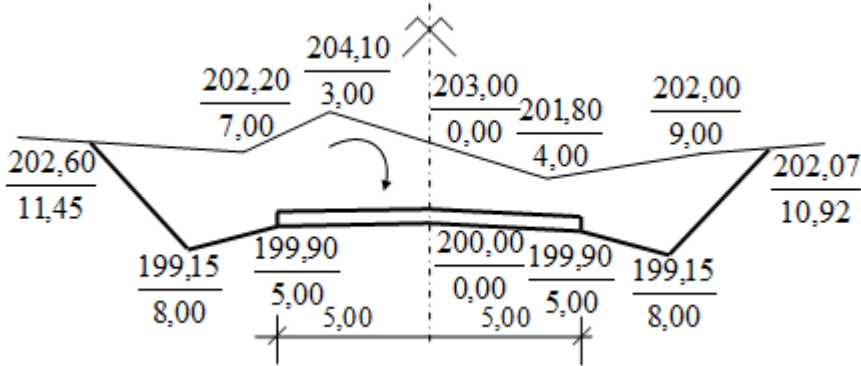
4. Şekil 2.14'teki karışık en kesitin alanını klasik Cross yöntemine göre hesapladığınızda toplam kazı ve dolgu alanı aşağıdakilerden hangisidir?

- A) $F_k=4,36 \text{ m}^2$ $F_d=5,96 \text{ m}^2$
 B) $F_k=5,20 \text{ m}^2$ $F_d=6,40 \text{ m}^2$
 C) $F_k=3,15 \text{ m}^2$ $F_d=4,80 \text{ m}^2$
 D) $F_k=6,50 \text{ m}^2$ $F_d=7,15 \text{ m}^2$



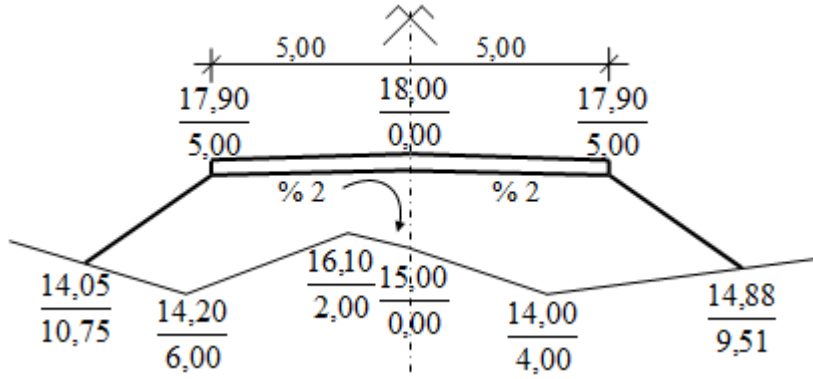
Şekil 2.14: Karışık en kesit

5. Şekil 2.15'teki kazı en kesitin alanını basit Cross yöntemine göre hesapladığımızda toplam kazı alanı aşağıdakilerden hangisidir?
- A) $F_k=55,15 \text{ m}^2$
 B) $F_k=56,30 \text{ m}^2$
 C) $F_k=57,08 \text{ m}^2$
 D) $F_k=58,40 \text{ m}^2$



Şekil 2.15: Kazı en kesiti

6. Şekil 2.16 daki dolgu en kesitin alanını basit Cross yöntemine göre hesapladığımızda toplam dolgu alanı aşağıdakilerden hangisidir?
- A) $F_d=48,91 \text{ m}^2$
 B) $F_d=47,50 \text{ m}^2$
 C) $F_d=45,40 \text{ m}^2$
 D) $F_d=49,85 \text{ m}^2$



Şekil 2.16: Dolgu en kesiti

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırmız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-3

AMAÇ

Tekniğine uygun olarak hacim hesabı yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Kara yolları müdürlüklerine, yol projesi hazırlayan mühendislik bürolarına veya yol inşaatı yapan şirketlere gidiniz. Yol projesi üzerinde toprak hacim hesaplarının hangi yöntemlerle yapıldığını, brükner eğrisinin ve kübaj cetvelinin niçin hazırlandığını araştırınız. Edindiğiniz bilgileri sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız.

3. HACİM HESABI

1/1000 veya 1/2000 ölçekli planlar üzerinde geçirilen yol projelerinde, arazide yol ekseni aplike edilip boyuna ve enine kesitler çıkarıldıktan sonra, belirli bir başlangıç noktasından itibaren yol ekseni boyunca işaretlenen noktalar arasındaki hacim (kübaj) hesabına geçilir.

Yol inşaatının maliyetinin bulunabilmesi için yolda yapılacak kazı ve dolgu miktarlarının bilinmesine ihtiyaç vardır.

Kazı ve dolgu hacimlerinin hesabı, daha önce her kırık nokta için alanları hesaplanan en kesitlere dayanılarak yapılır.

Hacim hesabı, birbirini izleyen iki en kesit arasındaki arazi parçasının düz olduğu kabul edilerek ve bazı önemsiz miktarlar ihmal edilerek yapılır.

Eğer en kesiti alınan noktalar arasındaki mesafe, aliymanda 50 m ve kurpta 20 m'den fazla değilse hesap sonucu elde edilen hacimler bu iş için yeterli sayılır.

Yol projelerinde hacim hesabında genellikle iki yöntem kullanılmaktadır:

- Ortalama alan yöntemi ile hacim hesabı
- Ortalama tatbik mesafesi ile hacim hesabı

Bunların haricinde hacim hesabı vardır.

Düzeç eğrili topoğrafik bir harita üzerinden planimetre yardımı ile de hesaplanabilir. Ancak bu metot düşük hassasiyette sonuçlar verdiği için tercih edilmemektedir.

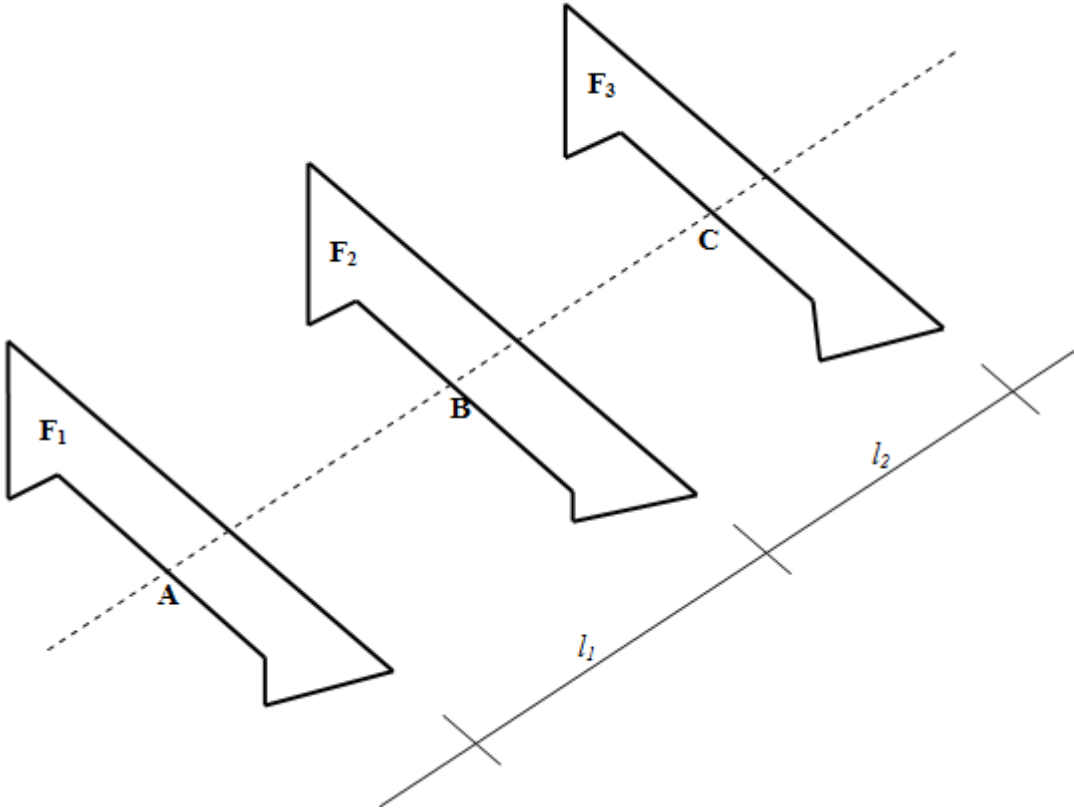
3.1. Ortalama Alan Yöntemiyle Hacim Hesabı

Şekil 3.1'deki aliymanda işaretlenen A noktasında F_1 enine kesiti, B noktasında F_2 enine kesiti, C noktasında F_3 enine kesiti, $\overline{AB} = l_1$, $\overline{BC} = l_2$ yatay uzaklıkları ve F_o ortalama alan olmak üzere kesitler arasındaki hacim miktarı birbirini izleyen iki kesit alanları toplamalarının yarısının, bu iki kesit arasındaki uzaklıkla çarpımına eşittir.

$$F_o' = \frac{F_1 + F_2}{2} \quad \text{ve} \quad F_o'' = \frac{F_2 + F_3}{2} \quad \text{olmak üzere,}$$

$$V = l_1 \cdot F_o' + l_2 \cdot F_o'' \quad \text{elde edilir.}$$

Ortalama alan yöntemi ile hacim hesabında hacmi hesaplanacak ardışık en kesitlerin alanlarının ortalaması ile aralarındaki mesafe çarpılır. Yol güzergâhı boyunca kaç en kesit varsa bu hesap tekrarlanır.



Şekil 3.1: Ortalama alan yöntemi ile hacim hesabı

Örnek 3.1:

Şekil 3.1'deki gibi üç tane kesitin alanları cebirsel ve Cross yöntemine göre hesaplanmış ve $F_1=103,60 \text{ m}^2$, $F_2=95,20 \text{ m}^2$ ve $F_3=107,20 \text{ m}^2$ olarak bulunmuştur. Kesitlerin aralarındaki mesafe beşer(5m) metredir. Buna göre aralarındaki hacmi ortalama alan yöntemine göre hesaplayınız.

Çözüm 3.1:

$$V = \frac{F_1 + F_2}{2} \cdot 5,00m + \frac{F_2 + F_3}{2} \cdot 5,00m$$

$$V = \frac{103,60 + 95,20}{2} \cdot 5,00 + \frac{95,20 + 107,20}{2} \cdot 5,00 = 497m^3 + 506m^3$$

$$V = 1003m^3$$

3.2. Tatbik Mesafe Yöntemiyle Hacim Hesabı

Bu yöntemde de alanların ortalaması yerine ara mesafelerin ortalaması alınarak bu orta noktaya denk gelen en kesitin alanı ile çarpılır.

Şekil 3.1'e göre A noktasındaki en kesit ile AB (l_1) mesafesinin ortasına kadar hacim hesaplamak istersek,

$$V_1 = \left(\frac{l_1}{2}\right) \cdot F_1 \quad \text{değeri elde edilir.}$$

Bundan sonra B noktasındaki en kesiti orta kesit olarak düşünürsek bir sonraki hacim için şu bağıntıyı yazmak mümkündür:

V: Hacim

$$V_2 = \frac{(l_1 + l_2)}{2} \cdot F_2$$

V_l bağıntısında neden sadece $\frac{l_1}{2}$ alındığı düşünülebilir. Bunun sebebi, A noktasından hesaba başlanması ve buranın mesafesinin 0 kabul edilmesidir. Şöyle ki:

$$V_1 = \frac{(l_A + l_1)}{2} = \frac{(0 + l_1)}{2} = \frac{(l_1)}{2} \cdot F_1$$

Alanlar diyagramı konusunda belirtildiği şekilde bir diyagram oluşturarak da hacim hesaplamak mümkündür. Yatay bir eksen üzerinde yatay uzunluklar alınarak yol ekseninde en kesit alınan noktalar işaretlendikten sonra, her nokta hizasından dikler çıkılır ve bu dikler üzerinde belirli bir ölçekte en kesit alanları işaretlenir ve bu noktalar birleştirilirse **en kesit alanlar diyagramı** elde edilir.

Bu diyagramın alanı, hacimleri verir. Bir yatay eksenden itibaren alınan kazı miktarları yukarıya doğru, dolgu miktarları da aşağıya doğru işaretlenirse kazı ve dolgu alanları birbirinden ayırt edilmiş olur. Alanlar diyagramının yatay eksenini kestiği noktalar bilindiği üzere **geçit noktaları** adını alır.

Meydana gelen ve hacimleri veren üçgen ve yamuk alanları iki şekilde hesaplanabilir:

➤ Ortalama alanlara göre
$$V = \sum \left(\frac{F_{n-1} + F_n}{2} \right) l_n$$

➤ Ortalama tatbik mesafesine göre
$$V = \sum \left(\frac{l_{n-1} + l_n}{2} \right) \cdot F_n$$

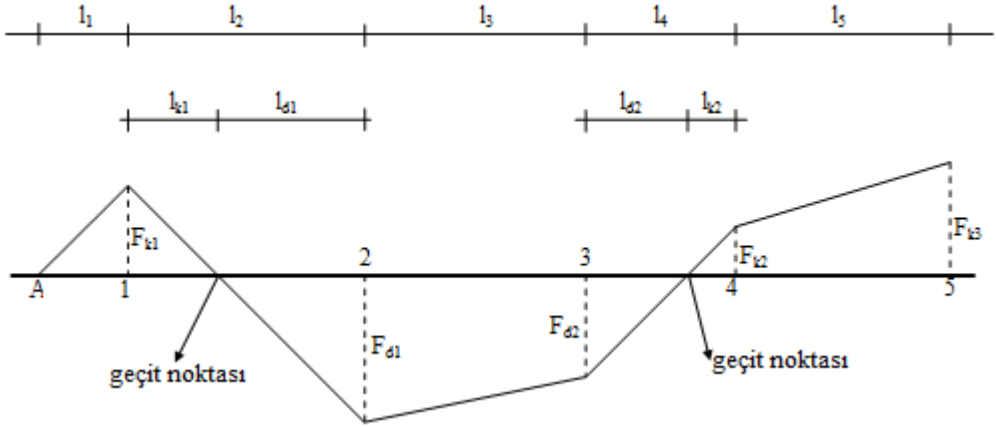
Şekil 3.2' ye göre hacim şu şekilde hesaplanır:

$$V_k = \frac{1}{2} \cdot [(l_1 + l_{k1}) \cdot F_{k1} + l_{k2} \cdot F_{k2} + l_5 \cdot (F_{k2} + F_{k3})]$$

$$V_d = \frac{1}{2} \cdot [l_{d1} \cdot F_{d1} + l_3 \cdot (F_{d1} + F_{d2}) + l_{d2} \cdot F_{d2}]$$

Bu formüldeki ifadeler:

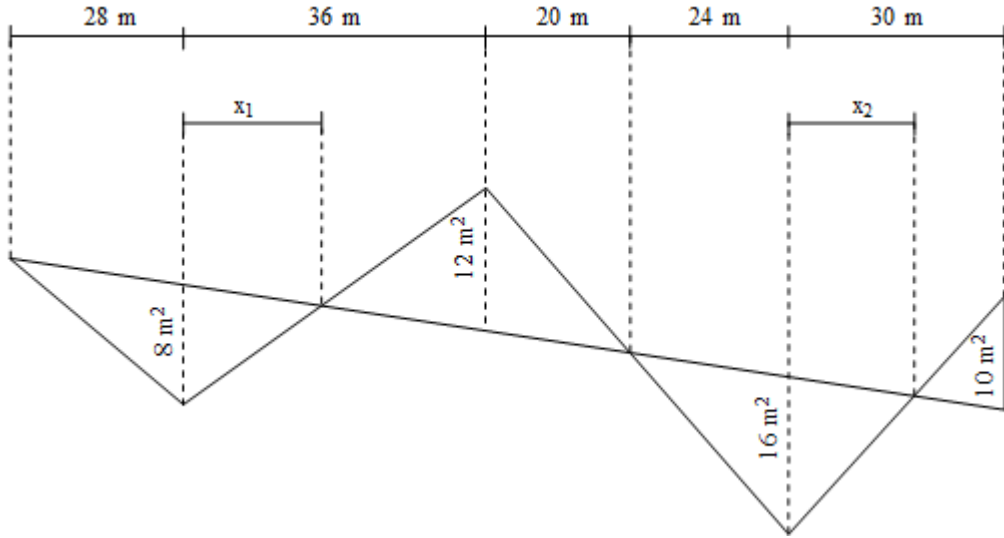
- l_i : En kesitler arası mesafe
- l_{ki} : Kazı tipinde en kesitin geçit noktasına uzaklığı
- l_{di} : Dolgu tipinde en kesitin geçit noktasına uzaklığı
- F_{ki} : Kazı tipindeki en kesit alanı
- F_{di} : Dolgu tipinde en kesit alanı demektir.
- V_k : Kazı hacmi
- V_d : Dolgu hacmi



Şekil 3.2: Ortalama tatbik mesafesi yöntemine göre hacim hesabı

Örnek 3.2:

Şekil 3.3'teki en kesit alanları ve boy kesit değerlerine göre kazı ve dolgu hacimlerini ortalama tatbik mesafe ve ortalama alan yöntemlerine göre hesaplayıp sonuçları karşılaştırmız.



Şekil 3.3: Ortalama tatbik mesafesi yöntemine göre hacim hesabı örneği

Çözüm 3.2:

$$x_1 = \left(\frac{8}{8+12} \right) \cdot 36 \quad \Rightarrow \quad x_1 = 14,40 \text{ m}$$

$$x_2 = \left(\frac{16}{16+10} \right) \cdot 30 \Rightarrow x_2 = 18,46 \text{ m}$$

Ortalama tatbik mesafesi yöntemine göre hacim hesabı:

$$2V_d = (28,00 + 14,40) \cdot 8,00 + (24,00 + 18,46) \cdot 16,00 \Rightarrow V_d = 509,28 \text{ m}^3$$

$$2V_k = (21,60 + 20,00) \cdot 12,00 + (11,54 + 0) \cdot 10,00 \Rightarrow V_k = 307,30 \text{ m}^3$$

Ortalama alan yöntemine göre hacim hesabı:

$$2V_d = (0 + 8,00) \cdot 28,00 + (8,00 + 0) \cdot 14,40 + (0 + 16,00) \cdot 24,00 + (16,00 + 0) \cdot 18,46$$

$$V_d = 509,28 \text{ m}^3$$

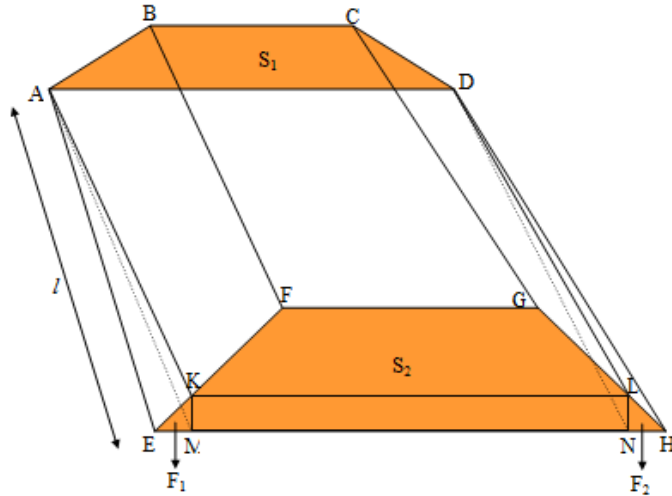
$$2V_k = (0 + 12,00) \cdot 21,60 + (12,00 + 0) \cdot 20,00 + (0 + 10,00) \cdot 11,54$$

$$V_k = 307,30 \text{ m}^3$$

Bu hesap şekilleri ardışık en kesit tiplerinin aynı tipte olması durumuna göre dir. Bunun dışında birbirini izleyen kesitler farklı şekillerde de olabilir. Bunlar:

- Birisi tam dolguda diğeri tam yarmada
- Birisi tam diğeri karışık kesit
- İki de karışık kesit

Bu şekillerde hacimlerin nasıl hesaplanacağı aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 3.4: Birbirini izleyen en kesitlerin tam dolgu olması hâlinde aradaki hacim

S_1 : 1. kesit ABCD alanı
 S_2 : 2. kesit EFGH alanı
 l : İki kesit ara mesafesi

AK // BF (AK doğrusu ile BF doğrusu birbirine paraleldir.)

DL // CG çizilerek

$$V_{ABCDEFGH} = V_{ABCDKFL} + V_{ADNLKM} + V_{AKME} + V_{DNLH}$$

$$V_{ABCDEFGH} = S_1 \cdot l + \frac{1}{2} \cdot (S_2 - S_1 - F_1 - F_2) \cdot l + \frac{1}{3} \cdot F_1 \cdot l + \frac{1}{3} \cdot F_2 \cdot l$$

$$V_{ABCDEFGH} = S_1 \cdot l + \frac{1}{2} \cdot (S_2 - S_1 - F_1 - F_2) \cdot l + \frac{1}{3} \cdot l \cdot (F_1 + F_2)$$

$$V_{ABCDEFGH} = S_1 \cdot l + \frac{1}{2} \cdot (S_2 - S_1) \cdot l - \frac{1}{2} \cdot (F_1 + F_2) \cdot l + \frac{1}{3} \cdot l \cdot (F_1 + F_2)$$

$$V_{ABCDEFGH} = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot l - \frac{1}{6} \cdot (F_1 + F_2) \cdot l$$

Formüldeki ikinci kısım ihmal edilebilecek derecede küçük bir değerdir.

$$V_{ABCDEFGH} = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot l$$

3.3. Kübaj Cetveli

Tesviye işlerinin miktarlarını hesaplayabilmek için çeşitli şekillerde “**Kübaj Cetveli**” adı verilen cetveller düzenlenmiştir. Boy kesit, en kesit hesaplarından yararlanılarak bu cetveller doldurulur.

Bu cetvellerde şu sütunlar bulunur (Tablo 3.1).

1. kolonu: Yol güzergâhının en kesit alınan ve araziye kazık çakılan noktaları ile geçit kesimlerinin km olarak başlangıç uzaklıklarını,

2. kolonu: Metre olarak kazık ara mesafelerini ve geçit mesafelerini,

3. ve 4. kolonları: Önceden hesaplanmış olan her kesite ait kazı ve dolgu alanlarını,

5. ve 6. kolonları: 3. ve 4. kolonlar yardımı ile hesaplanan alan ortalamalarını,

7. kolonu (özel durumlar hariç): 2. ve 5. kolonların çarpımı olan kazı hacimlerini,

8. kolonu (özel durumlar hariç): 2. ve 6. kolonların çarpımı olan dolgu hacimlerini,
9. ve 10. kolonları: Sıkışma ve kabarma miktarlarını göstermektedir.

Kara yollarında sıkışma ve kabarma şu anlamda kullanılmaktadır:

Kazı veya ariyet işlemi orijinal yerinde (V) m³ hacminde bir toprak kazılarak bir dolgu yapıldığını düşünelim. % a sıkışma (örneğin, % 20), dolgu işleminde gerekli şartnameye uygun (serme ve sıkışma yapıldığında) 1 m³ toprakla 0,80 m³ lük bir dolgu yapılabileceğini gösterir.

% b kabarma (örneğin, % 5), kazı ve ariyetle oluşan 1 m³ toprak ile sıkışma sonunda 1,05 m³ dolgu yapılacağını gösterir.

Sıkışma ve kabarma değerleri, alınan toprak örneklerine göre laboratuvarında deneyler yapılarak belirlenir.

11. kolonu: Sıkışma ve kabarmaya göre dolguya karşılık kazı hacimlerini,

12. kolonu: 8. kolonda hesaplanan dolgu hacimlerini,

13. kolonu: Brückner değerini göstermektedir. Yol içinde toprak dağıtımının çeşitli taşıma araçları ile ortalama taşıma uzaklığının bulunması için 11. ve 12. kolonda bulunan hacimlerin cebirsel toplamı alınarak Brückner değeri elde edilir.

Hesap bittikten sonra sıkışma ve kabarma yüzdeleri de göz önüne alınarak kolon toplamalarının kontrolü yapılır.

$$[7](1-\%5)=[11] \quad \text{veya} \quad [7](1+\%k)=[11]$$

$$[11]-[12]=[13] \quad \text{olmalıdır.}$$

Buradaki rakamlar sütun numaralarını ifade eder.

KÜBAJ CETVELİ												
Kilometre	Ara Mesafe (m)	Alan		Alanlar Ortalaması		Hacimler		Sıkışma	Kabarma	Dolguya karşılık hacim		Brückner değeri
		Kazı	Dolgu	Kazı	Dolgu	Kazı	Dolgu	% a	% b	Kazı	Dolgu	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
								10%				
0+000		8	2		1,00		4				4	0
0+003,78	3,78		0	12,00		408				367		4
0+034	30,22	16		30,50		549				494		363
0+052	18,00	45		59,00		590				531		857
0+062	10,00	73		87,00		609				548		1388
0+069	7,00	101		121,50		1580				1422		1936
0+082	13,00	142		164,50		4770				4293		3358
0+111	29,00	187		186,00		6510				5859		7651
0+146	35,00	185		138,50		4570				4113		13510
0+179	33,00	92		68,50		822				740		17623
0+191	12,00	45										18363
0+208,83	17,83		0	24,00	4,00	504	13			454	13	18363
0+212	3,17	3	8	1,50		3				3		18804
0+214,06	2,06	0			20,00		481				481	18807
0+236,08	21,99		32		69,50		2429				2429	18326
0+271	34,95		107		138,50		3186				3186	15897
0+294	23,00		170		183,00		2562				2562	12711
0+308	14,00		196		199,00		2786				2786	10149
0+322	14,00		202		185,50		2226				2226	7363
0+334	12,00		169		130,00		2860				2860	5137
0+356	22,00		91		94,00		1316				1316	2277
0+370	14,00		97		77,00		847				847	961
0+381	11,00		57		43,50		478				478	114
0+392	11,00		30		22,50		126				126	364
0+397,62	5,62		15		10,00		64				64	490
0+404	6,38		5		2,50		4				4	554
0+405,80	1,80	0	0	10,00		72				65		558
0+413	7,20	20		32,00		320				288		493
0+423	10,00	44		58,00		928				835		205
0+439	16,00	72		88,00		1584				1426		630
0+457	18,00	104		108,00		3780				3402		2056
0+492	35,00	112		88,00		3168				2851		5458
0+528	36,00	64		44,00		1496				1346		8309
0+562	34,00	24										9655
						32263	19382			29037	19382	
KAZI HACMI = 32263 - %10 sıkışma = 29037 m³ DOLGU HACMI = 19382 m³ Kazı - Dolgu = 29037-19382 = 9655 m³												

Tablo 3.1: Kübaj cetveli

3.4. Brückner Eğrisi

Kübaj cetveli hazırlandıktan sonra kabul edilen yatay ölçeğe göre (genellikle 1/2000) kesitlerin yerleri işaretlenir.

Uç değerlerdeki Brückner değeri ve çizimin kâğıda sığmaması gibi durumlar göz önüne alınarak seçilen düşey ölçeğe göre (örneğin, 1 cm 100 m³ veya 1000 m³) olacak şekilde her kesit noktasından çıkılan dik üzerinde tabloda bulunan Brückner değerleri işaretlenir.

Bu noktalar birleştirilirse eğriye yakın çok köşeli bir şekil elde edilir. Bu şekle **Brückner eğrisi** veya **kitleler diyagramı** denir (Şekil 3.6).

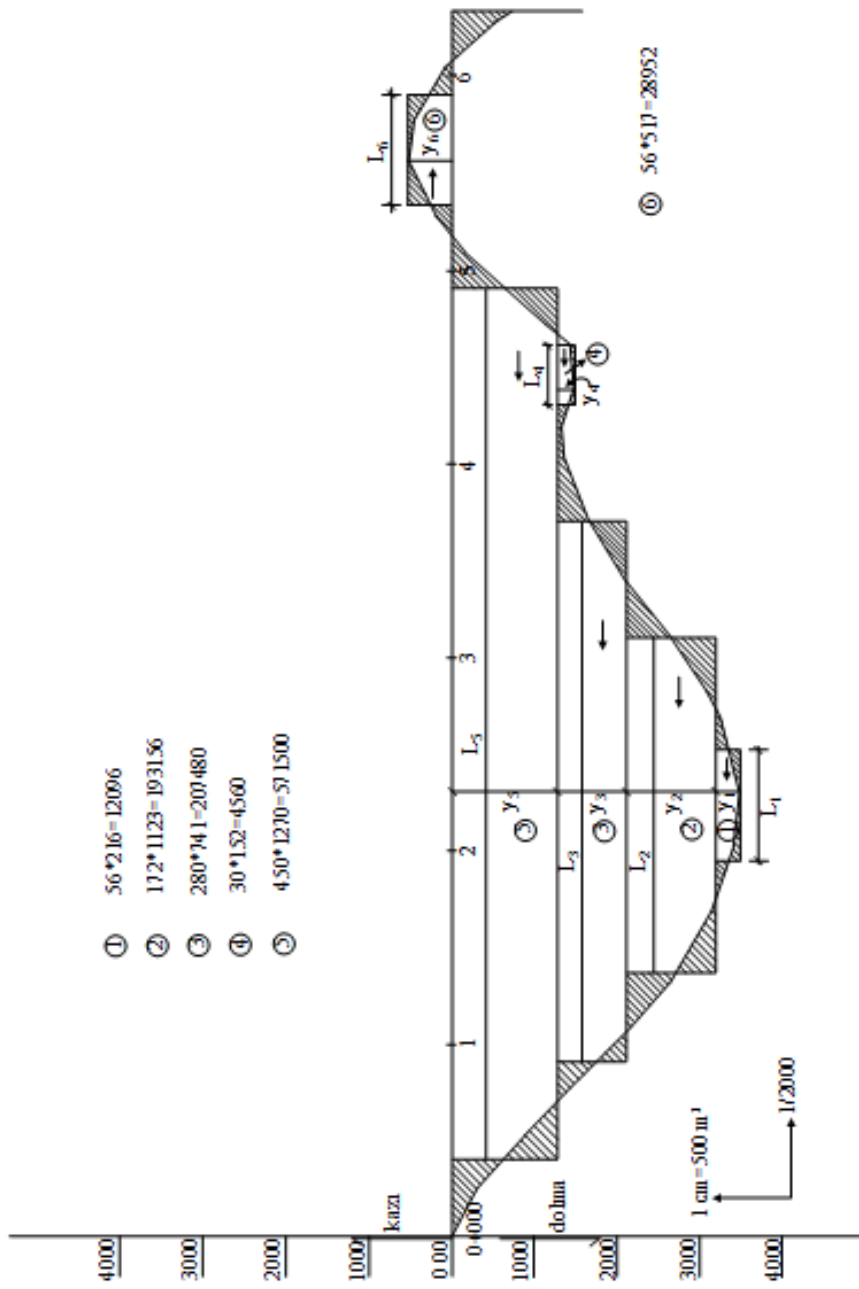
Brückner eğrisini alanlar diyagramı ile karşılaştırdığımızda şu özellikleri görürüz:

- Alanlar diyagramında kazıdan dolguya geçilen M geçit noktalarında Brückner eğrisi maksimum, dolgudan kazıya geçilen N geçit noktalarında minimumdur.
- Brückner eğrisinin herhangi bir maksimum noktasıyla ondan sonraki minimum noktası arasında yol daima dolgudur.
- Karşılaştırma ekseninin üstünde ve altında Brückner eğrisine ait kapalı alanlar oluşur. Bu alanlardan herhangi birisi, hacim olarak birbirine eşit dolgu ve kazıyı gösterir.

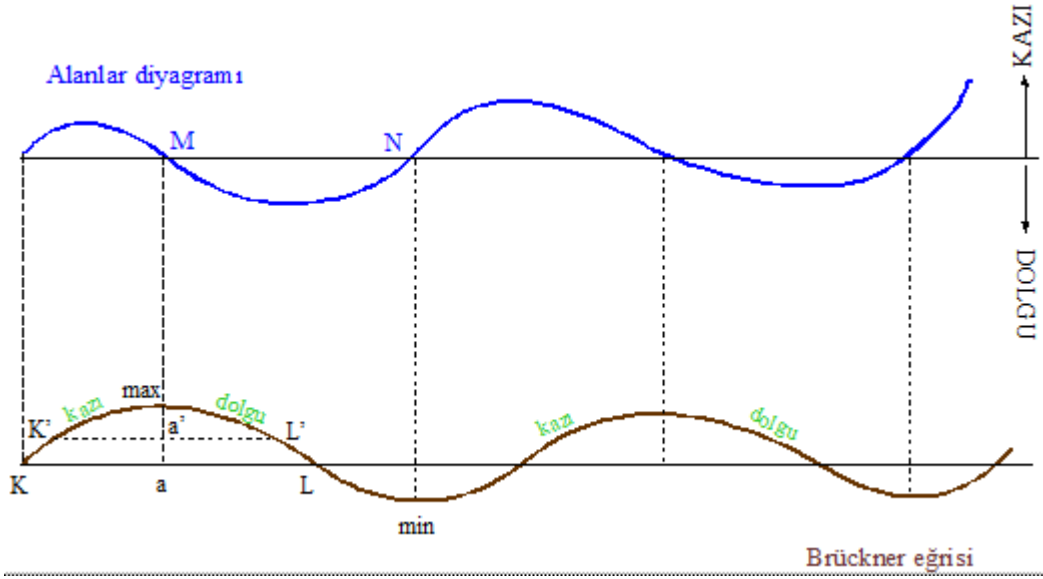
Kazı ve dolgu hacimleri, alanın maksimum ordinatı olan (a)'ya eşittir ve alanın KL kirişi, kazı ile dolgunun dengelendiği yol kısmını gösterir.

Bu özellik karşılaştırma eksenine paralel doğrularda geçerlidir.(örneğin, KL doğrusu)

Bu özellikten faydalanılarak toprağın ortalama taşıma uzaklığı belirlenir.

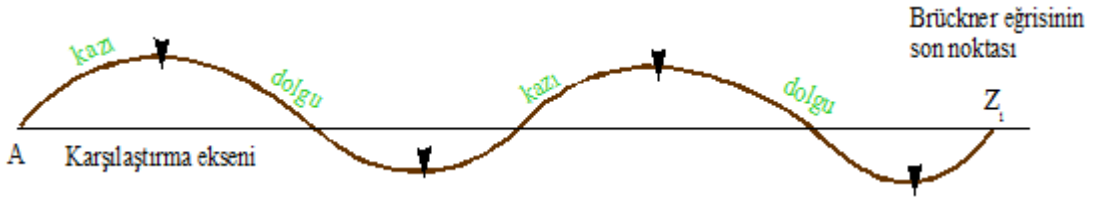


Şekil 3.5: Brückner eğrisi



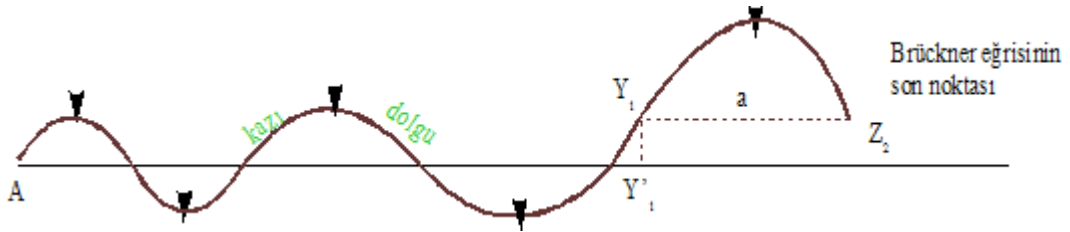
Şekil 3.6: Brückner eğrisinin özellikleri

- Brückner eğrisinin son noktası Z_1 karşılaştırma ekseninin üzerinde ise bu bütün yol için kazı ve dolgu hacimlerinin birbirini dengelediğini gösterir.



Şekil 3.7: Brückner eğrisinin özellikleri

Eğrinin son noktası Z_2 karşılaştırma ekseninin üstünde ise $Y_1Y'_1$ ordinatı, bütün yol için dengelenmeyen yol hacmini gösterir. Bu durumda kazı fazlasının depoya aktarılması gerekir.

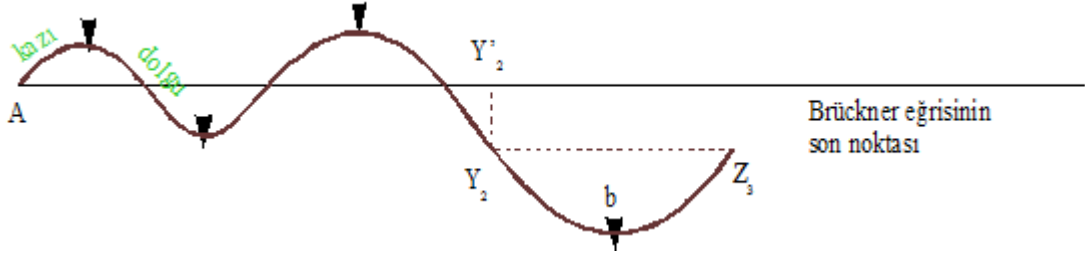


Şekil 3.8: Brückner eğrisinin özellikleri

Eğrinin son noktası Z_3 karşılaştırma ekseninin altında ise $Y_2Y'_2$ ordinatı, bütün yol için dengelenmeyen dolgu hacmini gösterir.

Bu eksik hacim, yol dışından alınacak bir ariyet ile karşılanacaktır.

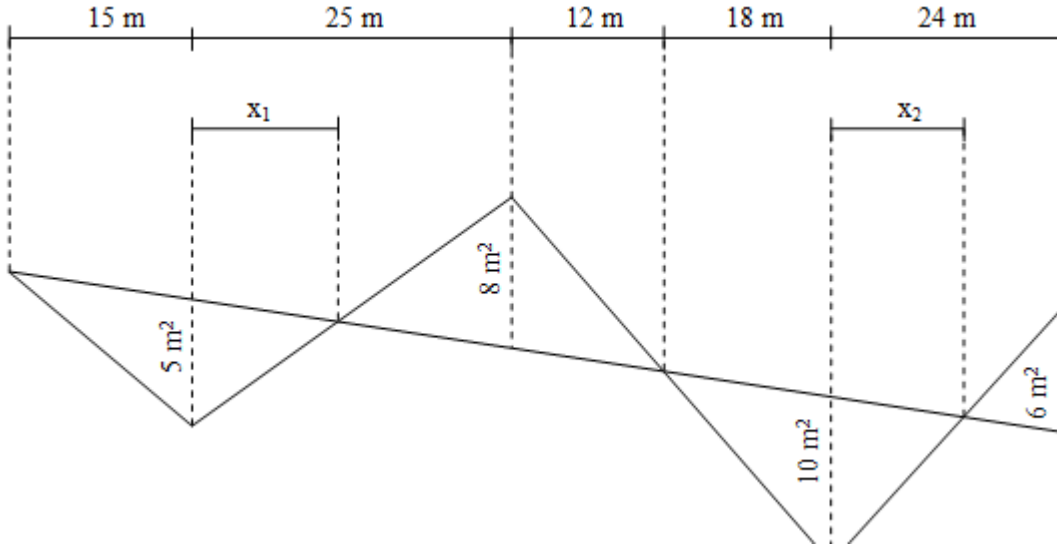
Bu da yol eksenine paralel veya yol eksenine bitişik bir yan ariyet veya uzaktan bir ariyet ocağından getirilerek sağlanır.



Şekil 3.9: Brückner eğrisinin özellikleri

UYGULAMA FAALİYETİ

- Aşağıdaki şekle göre ortalama alan yöntemi ve tatbik mesafe yöntemiyle hacim hesabı yapınız.



- Şimdiye kadar öğrenme faaliyetlerinde yapmış olduğunuz uygulamalardaki değerlere göre kübaj cetveli hazırlayınız.
- Kübaj cetvelindeki değerlere göre Brükner eğrisini çiziniz.

İşlem Basamakları	Öneriler
➤ Ortalama alan yöntemiyle hacim hesabı yapınız.	➤ Hacmi hesaplanacak ardışık en kesitlerin alanlarının ortalaması ile aralarındaki mesafeleri çarpınız. Yol güzergâhı boyunca kaç en kesit varsa bu hesabı tekrarlayınız.
➤ Tatbik mesafe yöntemiyle hacim hesabı yapınız.	➤ Alanların ortalaması yerine ara mesafelerin ortalamasını alarak bu orta noktaya denk gelen en kesitin alanı ile çarpınız.
➤ Kübaj cetveli hazırlayınız.	➤ Boy kesit, en kesit hesaplarından yararlanılarak cetveli doldurunuz.
➤ Brükner eğrisi çiziniz.	➤ Seçilen düşey ölçeğe göre (örneğin, 1 cm 100 m ³ veya 1000 m ³) olacak şekilde her kesit noktasından çıkılan dik üzerinde tabloda bulunan brükner değerlerini işaretleyiniz.

KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadıklarınız için **Hayır** kutucuklarına (X) işareti koyarak öğrendiklerinizi kontrol ediniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
1. Ortalama alan yöntemiyle hacim hesabı yaptınız mı?		
2. Tatbik mesafe yöntemiyle hacim hesabı yaptınız mı?		
3. Kübaj cetveli hazırladınız mı?		
4. Brükner eğrisi çizdiniz mi?		

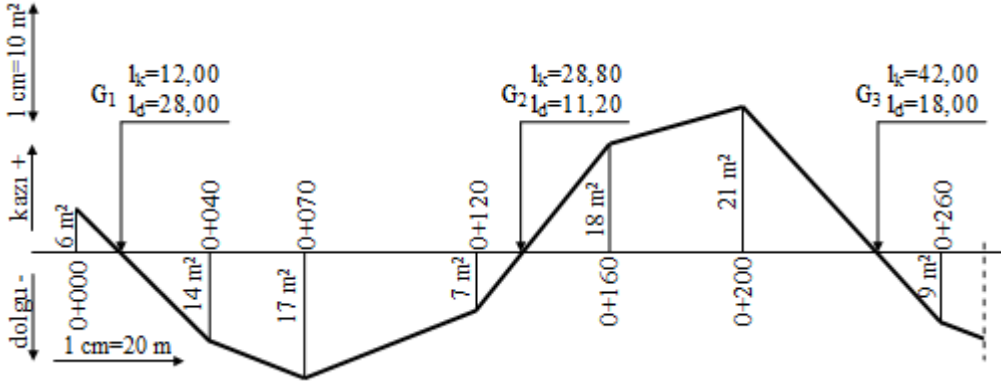
DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “Hayır” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “Evet” ise “Ölçme ve Değerlendirme” ye geçiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

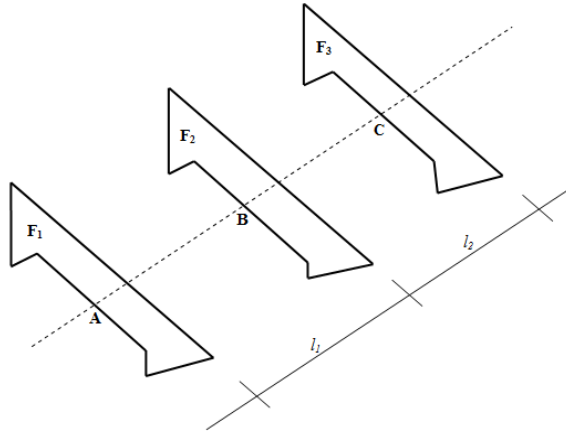
Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Şekil 3.11’de görülen bölümün kazı ve dolgu hacimlerini ortalama alan yöntemine göre hesapladığımızda toplam kazı ve dolgu hacmi aşağıdakilerden hangisidir?
- A) $V_k=1518,15 \text{ m}^3$ $V_d=1383,15 \text{ m}^3$
B) $V_k=1517,30 \text{ m}^3$ $V_d=1382,30 \text{ m}^3$
C) $V_k=1516,20 \text{ m}^3$ $V_d=1381,20 \text{ m}^3$
D) $V_k=1520,20 \text{ m}^3$ $V_d=1385,20 \text{ m}^3$



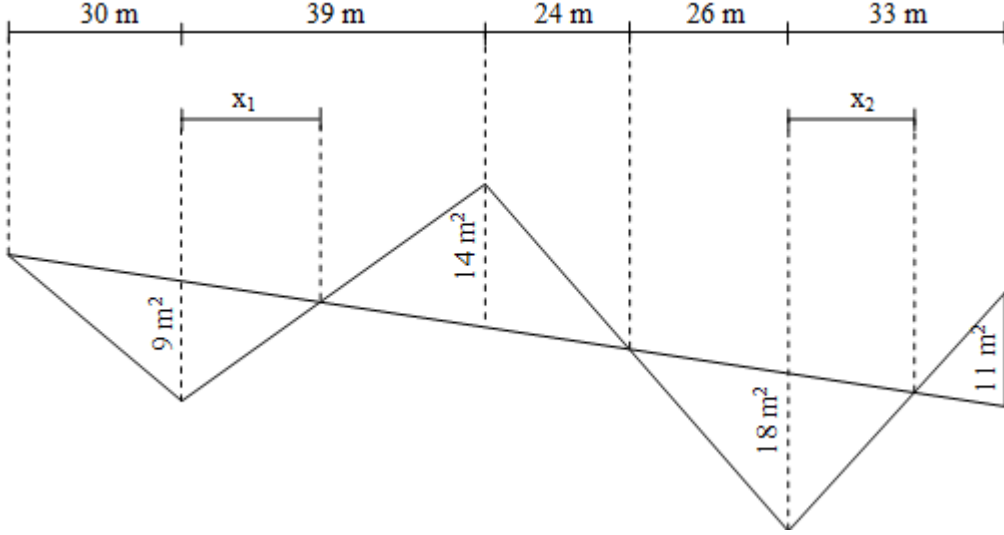
Şekil 3.11: Hacim hesabı

2. Şekil 3.12’deki gibi üç tane kesitin alanları klasik Cross yöntemine göre hesaplanmış ve $F_1=108,70 \text{ m}^2$, $F_2=99,30 \text{ m}^2$ ve $F_3=110,70 \text{ m}^2$ olarak bulunmuştur. Kesitlerin aralarındaki mesafe (8)sekizer metredir. Buna göre aralarındaki hacmi ortalama alan yöntemine göre hesapladığımızda toplam hacim aşağıdakilerden hangisidir?
- A) $V=1672,00 \text{ m}^3$
B) $V=1675,30 \text{ m}^3$
C) $V=1673,20 \text{ m}^3$
D) $V=1674,20 \text{ m}^3$



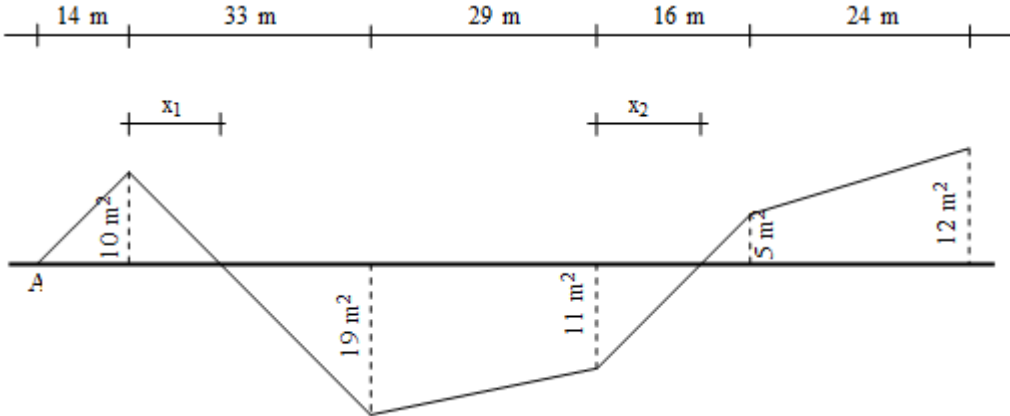
Şekil 3.12: Ortalama alan yöntemi ile hacim hesabı

3. Şekil 3.13'deki en kesit alanları ve boy kesit değerlerine göre kazı ve dolgu hacimlerini ortalama tatbik mesafesine göre hesapladığınızda toplam kazı ve dolgu hacmi aşağıdakilerden hangisidir?
- A) $V_k=402,15 \text{ m}^3$ $V_d=620,15 \text{ m}^3$
 B) $V_k=404,30 \text{ m}^3$ $V_d=623,30 \text{ m}^3$
 C) $V_k=405,20 \text{ m}^3$ $V_d=622,20 \text{ m}^3$
 D) $V_k=403,04 \text{ m}^3$ $V_d=621,99 \text{ m}^3$



Şekil 3.13: Ortalama tatbik mesafesi yöntemine göre hacim hesabı

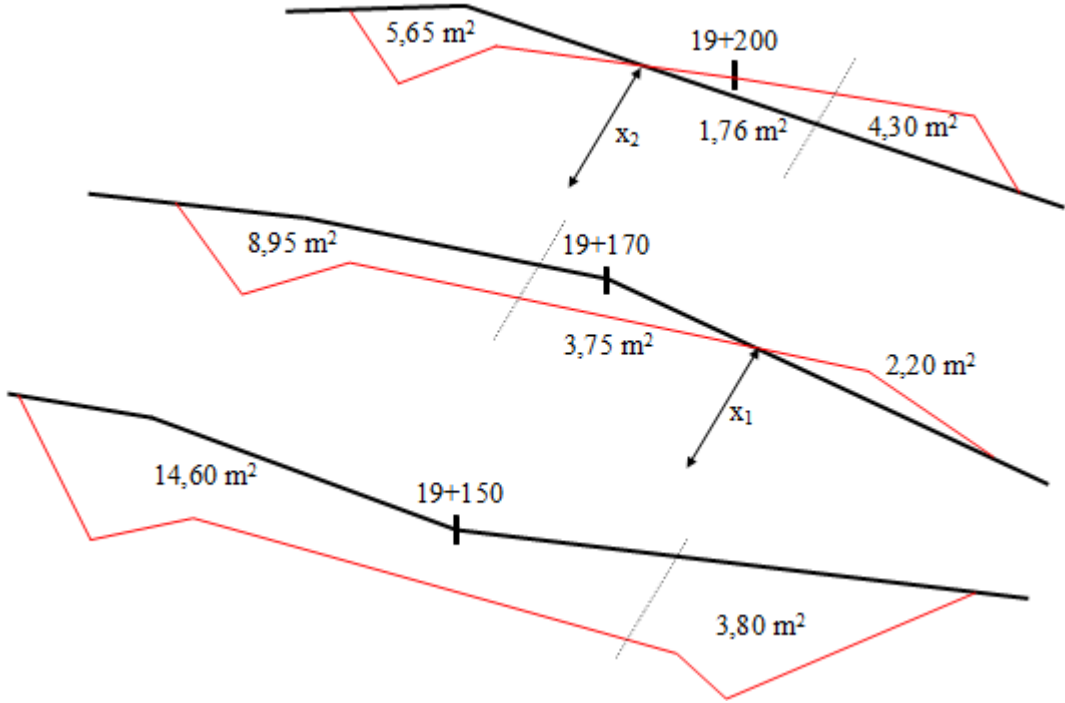
4. Şekil 3.14'deki en kesit alanları ve boy kesit değerlerine göre kazı ve dolgu hacimlerini ortalama tatbik mesafesine göre hesapladığınızda toplam kazı ve dolgu hacmi aşağıdakilerden hangisidir?
- A) $V_k=372,15 \text{ m}^3$ $V_d=642,15 \text{ m}^3$
 B) $V_k=373,40 \text{ m}^3$ $V_d=643,89 \text{ m}^3$
 C) $V_k=374,20 \text{ m}^3$ $V_d=644,20 \text{ m}^3$
 D) $V_k=375,40 \text{ m}^3$ $V_d=645,85 \text{ m}^3$



Şekil 3.14: Ortalama tatbik mesafesi yöntemine göre hacim hesabı

5. Şekil 3.15'deki en kesit grafiğinde görülen değerlere göre kazı ve dolgu hacimleri aşağıdakilerden hangisidir?

- A) $V_k=480,15 \text{ m}^3$ $V_d=112,15 \text{ m}^3$
B) $V_k=483,30 \text{ m}^3$ $V_d=115,30 \text{ m}^3$
C) $V_k=482,20 \text{ m}^3$ $V_d=114,20 \text{ m}^3$
D) $V_k=481,36 \text{ m}^3$ $V_d=113,99 \text{ m}^3$



Şekil 3.15: Hacim hesabı

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise “Modül Değerlendirme”ye geçiniz.

MODÜL DEĞERLENDİRME

- Aşağıdaki tabloda verilen değerlere göre boy kesiti çiziniz.

Düşey ölçek: 1/200

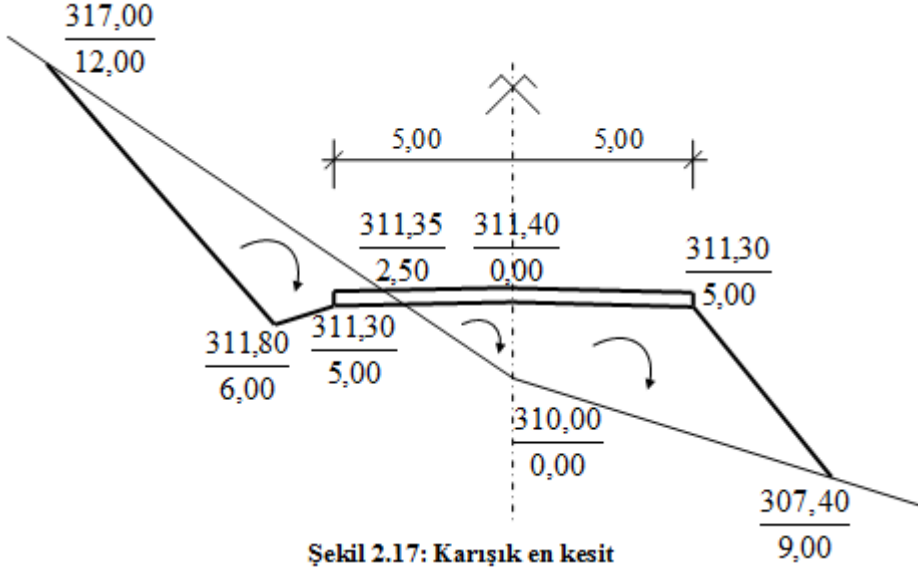
Yatay ölçek: 1/2000

Nokta Nu.	Başlangıca olan mesafe	Kodu
A	0+000	55.00
1	0+030	58.80
2	0+065	59.00
3	0+090	62.50
4	0+135	65.60
5	0+160	70.50
6	0+190	73.00
7	0+210	72.00
8	0+245	70.00
9	0+275	66.50
10	0+305	60.00

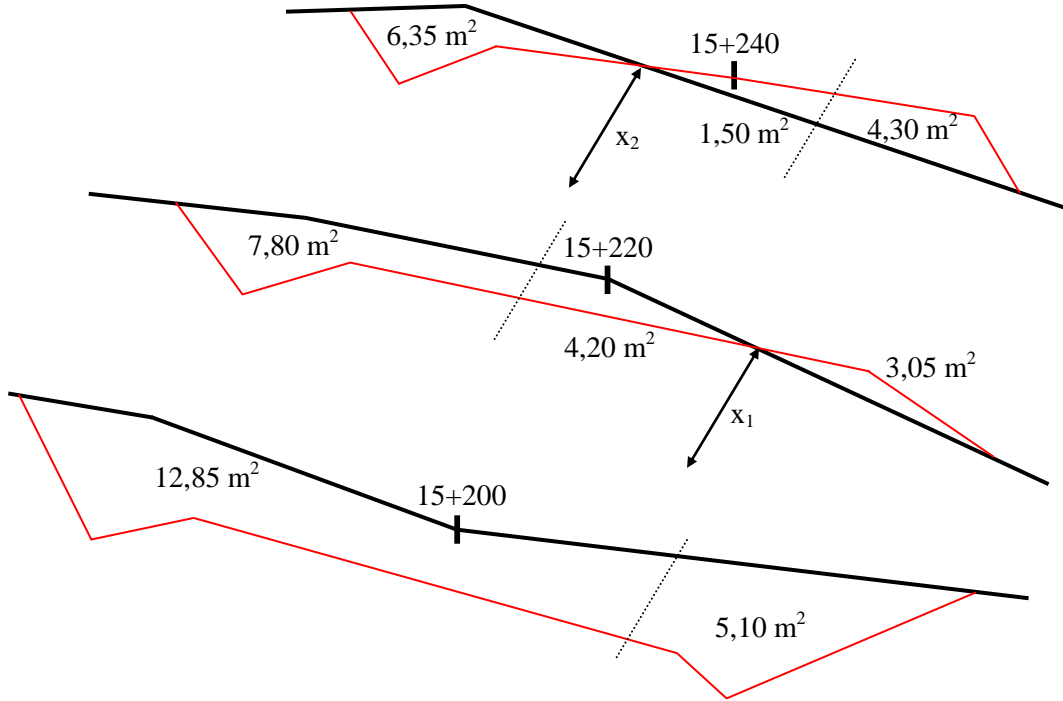
- Aşağıdaki tabloda verilere göre en kesit çizimini yapınız.

Nokta Nu.	Ara mesafeler	Kodu
1	4.00	200.00
2	6.00	202.50
3	8.00	204.15
4	5.00	208.45
5	5.00	210.85
6	7.00	211.50
7	6.00	212.10
8	5.00	215.00

- Şekildeki karışık en kesitin toplam kazı ve dolgu alanını hesaplayınız.



- Aşağıdaki şekilde kesit alanları klasik Cross yöntemine göre hesaplanmıştır. Kesitlerin aralarındaki mesafe (5)beşer metredir. Buna göre kazı ve dolgu hacimlerini hesaplayınız.



İşlem Basamakları	Öneriler
➤ Boy kesit çiziniz.	➤ Düşey ölçeği: 1/200, yatay ölçeği: 1/2000 olarak alınız.
➤ En kesit çiziniz.	➤ Nokta kotlarını doğru giriniz.
➤ Kazı ve dolgu alanlarını hesaplayınız.	➤ Kazı ve dolgu alanını hesaplamak için yöntem belirleyiniz.
➤ Kazı ve dolgu hacimlerini hesaplayınız.	➤ Kazı ve dolgu hacmini hesaplamak için yöntem belirleyiniz.

KONTROL LİSTESİ

Bu modül kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadıklarınız için **Hayır** kutucuklarına (X) işareti koyarak öğrendiklerinizi kontrol ediniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
1. Boy kesit çizdiniz mi?		
2. En kesit çizdiniz mi?		
3. Dolgu ve yarma alanlarını hesapladınız mı?		
4. Kazı ve dolgu hacimlerini hesapladınız mı?		

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise **D**, yanlış ise **Y** yazınız.

- () Boy kesitler kara yolu, demir yolu ve enerji nakil hatları projelerinin hazırlanmasında kullanılır.
- () Kırmızı kot projelendirilirken dikkat edilecek faktörler, kırmızı kot eğiminin % 5' i geçmemesi ve kazı ile dolgu alanlarının birbirini karşılayacak şekilde planlanmasıdır.
- () Kırmızı çizgilerin eğimi, $g_1 = tg \alpha_1 = \frac{\Delta h}{U}$ formülü ile hesaplanır.
- () Cebirsel yöntemle alan hesabı için sırayla doğal zemin, kazı ve dolgu şevlerinin eğimleri, yükseklikler ve yükseklik farkları ile ara uzaklıklar hesaplanır.
- () Alan hesabında cebirsel yöntemde eksen tesviye noktasından geçen dik koordinat sistemi esas alınır.
- () Hesaplanan en kesit alanları bir boy kesit üzerinde, kazı en kesit alanları yukarıda, dolgu en kesit alanları da aşağıda olmak üzere eşit ölçekli bir diyagram üzerinde gösterilir.
- () Kazı ve dolgu hacimlerinin hesabı, daha önce her kırık nokta için alanları hesaplanan en kesitlere dayanılarak yapılır.

8. () Yol projelerinde hacim hesabında genellikle üç yöntem kullanılmaktadır
9. () Tesviye işlerinin miktarlarını hesaplayabilmek için çeşitli şekillerde “kot cetveli” adı verilen cetveller düzenlenmiştir.
10. () Alanlar diyagramında kazıdan dolguya geçilen M geçit noktalarında Brückner eğrisi minimum, dolgudan kazıya geçilen N geçit noktalarında maksimumdur.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki modüle geçmek için öğretmeninize başvurunuz.

CEVAP ANAHTARLARI

ÖĞRENME FAALİYETİ-1'İN CEVAP ANAHTARI

1	Doğru
2	Doğru
3	Yanlış
4	Doğru
5	Yanlış
6	Doğru
7	Yanlış
8	Doğru
9	Doğru
10	Doğru
11	Yanlış
12	Yanlış

ÖĞRENME FAALİYETİ-2'NİN CEVAP ANAHTARI

1	B
2	D
3	B
4	A
5	C
6	A

ÖĞRENME FAALİYETİ-3'ÜN CEVAP ANAHTARI

1	C
2	A
3	D
4	B
5	D

MODÜL DEĞERLENDİRMENİN CEVAP ANAHTARI

1	Doğru
2	Yanlış
3	Doğru
4	Doğru
5	Yanlış
6	Doğru
7	Doğru
8	Yanlış
9	Yanlış
10	Yanlış

KAYNAKÇA

- KONYALIOĞLU Gürol, **Yol Bilgisi ve Uygulaması**, MEB Devlet Kitapları Müdürlüğü Yayını, İstanbul, 2004. SONGU Celal, **Ölçme Bilgisi, Cilt 1**, Birsen Yay
- SONGU Celal, **Ölçme Bilgisi, Cilt 1**, Birsen Yayın Evi, İstanbul, 1981.
- SONUÇ Turhan, **Kara yolu Tekniği**, Ör Matbaası Yayını, İstanbul, 2003.
- YAMAN Naim-KAMAN Fikri, **Yol Bilgisi**, MEB Mesleki ve Teknik Öğretim Kitapları Genel Müdürlüğü, Ankara, 1979.