
SERİ	CİLT	SAYI		
SERIES	VOLUME	NUMBER		
SERIE	BAND	HEFT	1	1979
SÉRIE	TOME	FASCICULE		

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

ORMAN FAKÜLTESİ

DERGİSİ

REVIEW OF THE FACULTY OF FORESTRY,
UNIVERSITY OF ISTANBUL
ZEITSCHRIFT DER FORSTLICHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT ISTANBUL

REVUE DE LA FACULTÉ FORESTIÈRE
DE L'UNIVERSITÉ D'ISTANBUL



K A Y N A K L A R

EADLESON, P. S. 1970 : Dynamic Hydrology Mc Graw-Hill Book Company New York - London.

BASİT AHŞAP KİRİŞLİ KÖPRÜLERİN PROJELENDİRİLMESİ¹

Dr. Ertuğrul GÖRCELİOĞLU²

1 GENEL BİLGİLER**1.1 Tanım ve Sınıflandırma**

Genel anlamda köprüler, kara ve denizyollarının, su borularının ve kanallarının herhangi bir engeli ya da vadiyi aşacağı yerlerde yapılan ve bunlar için bir dayanak oluşturan sanat yapılarıdır.

Köprüleri,

- a) hizmet ettikleri amaca,
- b) köprü altında kalan serbest boşluktan yararlanılma biçimine,
- c) sabit ya da hareketli olmalarına,
- d) yapımda kullanılan malzemenin cinsine,
- e) işlevlerinin kısa ya da uzun süreli olmasına

göre sınıflandırmak ve isimlendirmek olanaklı vardır. Örneğin hizmet ettikleri amaca göre köprüler, 1) yol köprüleri, 2) demiryolu köprüleri, 3) kanal köprüleri vb biçiminde; yapımında kullanılan malzemenin cinsine göre ise 1) ahşap köprüler, 2) masif (kâgir, beton ve betonarme) köprüler, 3) demir köprüler olarak sınıflandırılmakta ve isimlendirilmektedir.

Bu yazıda, amaca uygun olarak, orman yollarında yaygın bir biçimde kullanılan tek açıklıklı, basit ahşap kirişli ve masif ayaklı küçük köprüler üzerinde durulacaktır.

1.2 Köprülerin Kısımları

Köprüler genellikle iki önemli kısımdan oluşur :

I. Alt Yapı; doğrudan doğruya zemine oturan ayaklar (orta ve kenar ayakları) ile bunların temellerini içine alır.

II. Ust Yapı; aşılacak engel üzerindeki boşluğu sağlayan ve 1) tabliye (kallalar, yolu meydana getiren kırma taş, kum vb gibi yapı malzemesi), 2) taşıyıcı kirişler olmak üzere gruplandırılan kısımları kapsar.

¹ Bu yazı, İ.Ü. Orman Fakültesi öğrencilerine Orman Transport Tesisleri ve Taşıtları II dersinin uygulamalarında yaptırılan projelerden olan basit ahşap kirişli köprü ödeviye ilgili konuları, öğrencilere yardımcı olacak bir biçimde açıklamak amacıyla hazırlanmıştır.

² İ.Ü. Orman Fakültesi Orman İşletme İnşaatı Kürsüsü, İstanbul.

Bir başka gruplandırma, köprüyü oluşturan elemanların işlevlerini esas alarak yapılabilir ki bu durumda köprü kısımlarını yine iki bölümde inceleyebiliriz :

I. Taşıyıcı elemanlar; temel blokları, köprü ayakları, duvar kirişleri, taşıyıcı kirişler (köprü kirişleri), köprü kalasları. (Temellerin oturduğu yapı zemini de taşıyıcı elemanlar arasına alınabilir).

II. Tamamlayıcı elemanlar; giriş koruma tahtaları (kapak tahtaları), kenar eşikleri, - varsa - kenar korkulukları.

1.3 Köprü Yapımında Gözönünde Tutulacak Esaslar

1.3.1 Köprü Yerinin Seçilmesi

Çoğunlukla köprünün yapılacağı yer, yani yolun bir vadi ya da dereyi aşacağı nokta önceden bellidir. Bazı durumlarda ise köprü yerinin seçilmesi, yol yapımına bağlı olarak mühendise bırakılır. Bu taktirde, köprünün yapılacağı yerin seçilmesinde şu ana ilkeler gözönünde bulundurulmalıdır :

1. Köprü yapımıyla, köprü altından geçecek suların akış rejimlerini değiştirecek bir durum yaratılmamalıdır.
2. Yapı için, en iyi temel oturtulabilecek yer seçilmelidir.
3. Yapım giderlerinin en düşük düzeyde olmasına olanak verecek yer ve koşulların bulunmasına özen ve çaba gösterilmelidir.

Bu ilkelerin ışığında şu hususlar önem kazanır :

Köprünün yapılacağı yerde özellikle kıyıların sağlam olması gerekir. Bunun aksi çok masrafa yol açacak, köprü ayaklarının pahalı temeller üzerine oturtulmaları gerekecektir. Köprünün yapım giderleri, köprü ayaklarının yükseklikleriyle orantılı olarak da artmaktadır. Bu bakımdan köprünün kıyı ayakları arasındaki uzaklık, yani «serbest açıklık» olanakların elverdiği ölçüde küçük tutulmalı, ayakların gereğinden daha yüksek olmamalarına dikkat edilmelidir.

Güzergâh engeli dik olarak kesiyorsa, engelin eksenini serbest açıklığın ortasına getirilir. Ancak köprüyü güzergâh eksenini doğrultusunda biraz ileriye almakla ya da geriye kaydırmakla temelin daha sağlam bir zemine oturtulması olanağı varsa ve başkaca bir sakınca da ortaya çıkmıyorsa, engelin eksenini açıklığın ortasına gelmeyebilir. Bazı durumlarda köprü yerini güzergâh doğrultusunda ileriye ya da geriye almakla, yapılacak doldurudan da önemli ölçüde kurtulmak olanağı söz konusu olabilir. Özellikle önemsiz engellerin aşılması amacıyla yapılacak köprülerde bu hususa dikkat edilmesi yararlı olur.

Uygulamada bir güzergâhın engeli tam olarak dik kesmesi, ender görülen bir durumdur. Eğer güzergâh ve engel eksenleri arasındaki açı 90° ye yakınsa, yine dik köprü yapılır. Güzergâh ve engel eksenleri arasındaki açının 90° den çok farklı olması durumunda ise köprünün dik değil, vev olarak yapılması uygun olur. Ancak çok zorunlu durumlarda köprü ekseninin - engelin bir dere olduğunu düşünürsek - suyun akış doğrultusuyla en çok $20^\circ - 25^\circ$ lik bir açı yapmasına izin verilebilir (ÇIKINOĞLU 1947, s. 8). Böyle durumlarda, yani güzergâh ve engel eksenleri arasındaki açının 90° den çok farklı olduğu durumlarda bazen güzergâhta ya da engelde küçük bir değişiklik (saptırma; derivasyon) ile dik köprü yapmak daha elverişli-

taktirde iki seçenek vardır; 1) güzergâh önemsiz, engel önemli ise saptırma ihtia, 2) güzergâh önemli, engel önemsiz ise saptırma engelde yapılır.

ırpırlar üzerinde köprü yapmamak en doğru davranıştır. Özellikle birbirini izaksi yönlü kurplar boyunca köprü yapılmasına hiçbir zaman izin verilmez. ısı, köprü ekseninin daima düz bir doğru olmasına dikkat edilmelidir.

Köprülerin Eğimleri

fol köprülerinin tabliyesi genel olarak yatay yapılır. Ancak, yolların eğimlerine olarak köprüler eğimli de yapılabilir. Köprü eğimi çevredeki arazinin muna ve yolun eğimine bağlı olmakla birlikte, düz arazide % 2,5 (1/40), dalgalı ide yaklaşık % 3,5 (1/30), dağlık arazide de % 5 (1/20) eğimi aşmamalıdır (INOĞLU 1947, s. 9).

1 Köprü Açıklıkları

Özellikle ırmak ve çaylar üzerinde yapılacak köprülerde, yüksek sular sırada köprü altında suyun aktığı enkesitin daraltılmamasına özen gösterilmelidir. ylece suyun köprü altında akışı sırasında hızı arttırılmamış, köprü ayaklarının resinde aşınma ve kazımların meydana gelmesine olanak verilmemiş olur. Oran köprüleri çoğunlukla rejimleri düzensiz derelerin ve sel yataklarının üzerinde ılımaktadır. Özellikle sel yatakları üzerinde yapılacak köprülerde, köprü açıklığının çok dikkatle yapılacak inceleme ve hesaplara dayandırılması zorunludur. Serbest açıklığın ve ayak yüksekliğinin, yüksek suların köprü altından güvenle akabileceği yeterlikte seçilmesi gerekir. Ancak böyle yer ve durumlarda serbest açıklığın gereğinden fazla olması da zararlıdır; çünkü bu taktirde köprü altları kumla, sellerin getirdiği iri taşıntı materyaliyle dolar. Sel yatağının uygun ve yeterli görülen serbest açıklıktan daha geniş olması durumunda ise, köprünün yukarı tarafında kalan mecca kıyılarına mahmuzlar yaparak sel sularını köprü altına yönlendirmek, ayrıca köprü ayaklarının menba tarafına kanat duvarları yapmak gibi önlemler düşünölmelidir.

Yüksek su düzeyi ile köprü girişleri arasındaki koruma yüksekliğinin seçilmesinde, sel sularıyla sürüklenip gelebilecek ağaç gövdelerinin, kütük, tomruk ve dalların köprüye zarar vermeden geçmelerinin sağlanması düşünölmelidir. Örneğin küçük dereler üzerinde yapılacak köprülerde, üst yapının en alt düzeyi ile yüksek su düzeyi arasındaki mesafenin 0,3 - 1,0 m kadar olması uygundur. Eğer dere zaman zaman ufak kütükler de getiriyorsa, yüksek su düzeyi üzerindeki bu serbest yüksekliğin en az 0,7 m olması gerekir (PEYNİRCİOĞLU 1951, s. 24).

1.3.3.1 Köprülerde Yeterli Akım Kesitinin Hesaplanması

Orman köprülerinin çoğunlukla düzensiz rejimli dereler ve sel yatakları üzerinde yapıldıklarına değinilmişti. Böyle dere ve yatakların bol yağışlı mevsimlerde ve kar erimeleri sırasında getirebilecekleri yüksek suların yapıya ve yakın çevresine herhangi bir zarar vermeden köprü altından akabilmesini sağlamak zorundayız. Bu amaçla önce derede köprünün yapılacağı profilden birim zamanda akabilecek en fazla su miktarının hesaplanması gerekir. Böyle hesaplar için yararlanılabilecek birçok ampirik formüller vardır. Bunlar arasında en çok kullanılanlardan biri,

$$Q_{\max} = a \cdot \frac{32}{0,5 + \sqrt{A}} \cdot A$$

biçimindeki Kresnik formülüdür. Burada a, havzanın yüzeysel akışı etkileyen özelliklerine bağlı bir katsayıdır. Bu katsayının ortalama değeri a=1 olarak kabul edilebilir. Ormanca zengin ve sık ormanlık bölgeler için a=0,6 ; kısmen çıplak ve kayalık olan yüksek dağlık alanlar için a=2 ve daha fazla alınabilir. A ise, söz konusu profilin yukarısında kalan yağış havzasının km² cinsinden alanıdır (TAVŞANOĞLU 1974, s. 51 - 52). Böylece havzadan gelmesi beklenebilecek en fazla su miktarı Q_{max} (m³/san) hesaplandıktan sonra, köprü altında yüksek suyun ortalama akış hızı, Chézy'nin

$$V=c \sqrt{R.I}$$

formülüyle bulunur. Bu formülde c, hız katsayısıdır. R, hidrolik yarıçapı, I ise yüksek suyun (uygulamada dere tabanının) eğimini ifade eder. Hız katsayısının hesabı için Bazin'in

$$c = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

formülünden yararlanılabilir. Bu formüldeki γ , pürüzlülük değeridir ve aşağıdaki tablodan (TAVŞANOĞLU 1974, s. 58) alınabilir :

TABLO I.
BAZİN'E GÖRE PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ

Mecra Kenarlarının ve Tabanının Durumu	Pürüzlülük Değeri (γ)
Çok düzgün	0,06
Düzgün (Yontma taş ya da ahşap)	0,16
Harcı taş ya da beton duvar	0,46
Kırma taş duvar ya da kaldırım	0,85
Şevler duvarla tahkim edilmiş, taban ham	1,30
Kenarlar pürüzlü, taban ham	1,75
Kenarlar taş ve pürüzlü, tabanda su bitkileri	3,00
Kaya içinde açılmış düzgün oluk	4,00
Taşıntı sevkedilen pürüzlü oluk	5,00
Fazla miktarda taşıntı sevkedilen oluk	6,00

Hız katsayısı c nin değeri ortalama olarak 50 ve taş döşenmiş olan mecralarda 60 kabul edilebilir (ÇIKINOĞLU 1947, s. 11). Hidrolik yarıçap, R=F/U eşitliğiyle hesaplanır ki bu eşitlikte F = su ile kaplı kesit alanı (m²), U = ıslak çevre (m) dir. Mecra genişliğinin büyük, su derinliğinin küçük olduğu durumlarda hidrolik yarıçap olarak su derinliği kabul edilebilir.

Köprü akım profilinde yüksek suların ulaşacağı düzeye göre belli olan kesimin alanı (F) ve bu kesimden akacak suyun ortalama hızı (v) bilindiğine göre, bu kesimden birim zamanda akabilecek su miktarı, genel debi formülü

$$Q = F \cdot v$$

ile bulunmaktadır. Sonuçta, havzadan beklenebilecek en büyük su akımı (Q_{max}) ile, köprüünün akım profilinin akıtabileceği en fazla su miktarı (Q) arasında;

$Q > Q_{max}$
 durumunun gerçekleşip gerçekleşmediği araştırılır. Bu durum gerçekleşmezse, köprü açıklığının artırılması gerekir.

Açıklıkları 12 m yi aşmayan ve yalnız baş ayakları üzerine oturtulacak olan köprülerde, dayanak açıklığının kısaltılması amacıyla ayakların dere içine doğru çıkıntılı olarak yapılması söz konusu olur. Böyle durumlarda derenin akım profilinde bir daralma meydana gelecektir. Daralan profil nedeniyle genel debi formülü

$$Q = \mu \cdot F \cdot v$$

biçimini alır. Bu formülde μ , suyun büzülme katsayısı olmaktadır. Büzülme katsayısı μ 'nın değeri, düz ve az eğimli arazide 0,8, dağlık arazide ve özellikle fazla miktarda taşıma materyali sürükleyen sularda 0,5 olarak kabul edilmelidir. Bu durumda köprü akım profilinden birim zamanda geçebilecek su miktarının önemli ölçüde azalacağı ortadadır. Çözüm olarak, köprü akım profilinin büyütülmesi gerekir. Bu büyütme, köprü yüksekliğini arttırmak suretiyle sağlanır. Ancak köprü yüksekliği yolun düzeyine bağlı bulunduğundan, bu farkı gidermek amacıyla köprüünün iki yanında yol boyunca dolduru yapmak, ya da köprü yerini değiştirmek düşünülebilir.

Köprü açıklıklarının belirlenmesinde, köprü akım profili için hesaplanan su hızının dere tabanı için kabul edilebilecek sınırı aşıp aşmayacağı hususu da incelenmelidir (TAVŞANOĞLU 1973, s. 354). Köprü ayaklarının altlarının oyulmasını önlemek amacıyla, belli yapıdaki dere tabanları için aşılmasını gereken ortalama su hızları aşağıda gösterilmiştir :

TABLE II.
 DERE TABANINDA EROZYON VE OYULMAYA YOL AÇMAYAN SU HIZLARI 1

Dere Tabanını Oluşturan Materyal	Suyun Ortalama Hızı (m/san)
İnce kum - gevşek silt	0,15 - 0,30
Balçıklı kum (% 15 kil)	0,36
Kumlu balçık (% 40 kil)	0,55 - 0,61
İri kum	0,46 - 0,61
Gevşek, çakıllı toprak	0,76
Balçık (% 65 kil)	0,91
Kil balçıkları	1,22 - 2,13
Sert kil	1,83
Tabakalı kayalar	2,44
Küçük kayalar, taşlar	2,44 - 4,56
Sert kaya	3,96

Köprülerde görülen gökme, sürüklenme, yıkılma vb gibi zarar ve hasarlar çoğunlukla suların kabarma zamanlarında temellerde meydana gelen oyulmalar yüzünden olur. Bu nedenle, yüksek sular sırasında köprü altından geçecek suların hızı, tabanda kazılma ve oyulmalara olanak verecek hızın altında tutulmak zorundadır.

2 BASIT AHŞAP KİRİŞLİ KÖPRÜLER

2.1 Alt Yapı

2.1.1 Köprü Ayakları

Aşılacak engelin iki yanına yapılan baş ayaklarla (kenar ayakları; sahil ayakları), açıklığı fazla olan köprülerde dayanak açıklığını küçültmek amacıyla yapılan ara ayaklardan oluşur. İki ayağın iç yüzleri arasındaki açıklığa *serbest açıklık (s)*, taşıyıcı kirişlerin ayaklar üzerinde dayandığı noktalar arasındaki açıklığa da *dayanak açıklığı (l)* denir. Serbest açıklıkları 6 m ye kadar olan ahşap kirişli köprülerde dayanak açıklığı, $l=1,05 s \pm 0,20$ biçiminde hesaplanmaktadır.

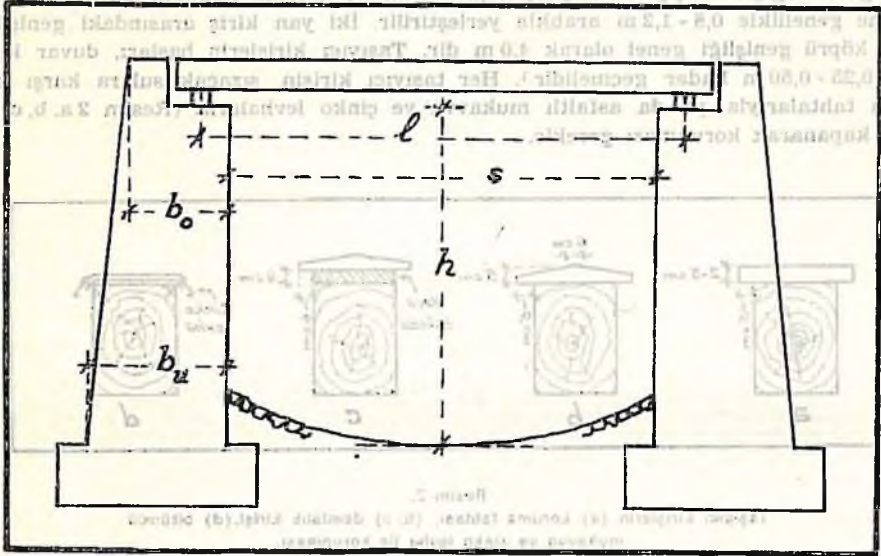
Köprü ayakları ahşap ya da demir yapı malzemesi ile yapılabildiği gibi, çoğunlukla masif (kâgir ya da beton) olarak yapılmaktadır.

Masif köprü ayaklarında, ayak üst ve alt genişlikleri, köprü yüksekliği (h) ye bağlı olarak hesaplanmakta ve;

$$\text{üst genişlik : } b_0 = 0,20 h + 0,30$$

$$\text{alt genişlik : } b_u = 0,33 h + 0,15$$

olarak alınmaktadır (Resim 1).



Resim 1.

Bir köprüde dayanak açıklığı (l), serbest açıklık (s), köprü yüksekliği (h), ayak üst genişliği (b_0) ve ayak alt genişliği (b_u).

Masif ayaklar, zemine 0,8 - 1,0 m kadar gömülmüş temeller üzerinde yapılır. Bu ayakların su yüzü genellikle düşey, yüksekçe olanlarda ise 1:1/5 - 1:1/10 oranın-

da eğimli; arka yüzü düşey ya da eğimli, ya da - özellikle beton ayaklarda - basamaklı olarak yapılmaktadır.

Köprü yüksekliği (h), daha önce değinildiği üzere yüksek su düzeyine bağlıdır. Ayakların yüksekliği, taşıyıcı kirişler yüksek su düzeyinden en az 30 cm yukarıda kalacak biçimde ayarlanmalıdır (TAVŞANOĞLU 1973, s. 199 - 200).

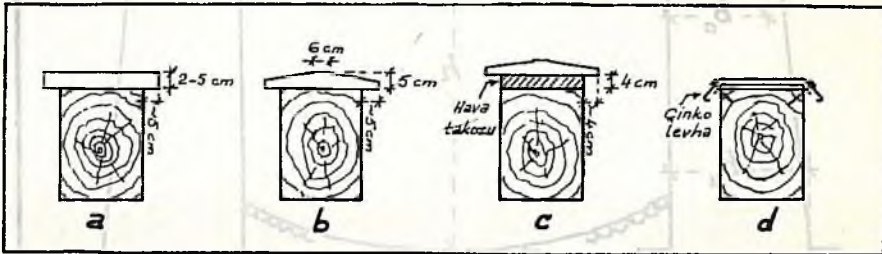
2.2 Üst Yapı

2.2.1 Duvar Kirişleri

Ayaklar üzerine, ayak iç kenarından 10 - 15 cm içeride olmak üzere boylu boyunca konan 20×22 cm ya da 20×25 cm kesitindeki kirişlerdir. Taşıyıcı kirişler (köprü kirişleri), bu duvar kirişleri üzerine oturtulurlar. Taşıyıcı kirişlerle duvar kirişlerinin birbiri üzerine bindiği kısımlarda kirişler 2 - 3 cm yontularak birbirine kavratılır ve böylelikle taşıyıcı kirişlerin ileriye, geriye, sağa ve sola oynamaları ve kaymaları önlenmiş olur.

2.2.2 Taşıyıcı Kirişler

Taşıyıcı kirişler, adından da anlaşılacağı gibi, köprü üzerinden geçecek yükleri taşıyan ve bunların ağırlığını ayaklara aktaran kirişlerdir. Kesitleri, dayanak açıklığına, köprü üzerinden geçecek taşıtların yüklü ağırlığına ve kullanılan ağacın cinsine göre değişir. Taşıyıcı kirişler, köprü ayakları üzerine konulan duvar kirişleri üstüne genellikle 0,8 - 1,2 m aralıkla yerleştirilir. İki yan kiriş arasındaki genişlik, yani köprü genişliği genel olarak 4,0 m dir. Taşıyıcı kirişlerin başları, duvar kirişini 0,25 - 0,50 m kadar geçmelidir¹. Her taşıyıcı kirişin, sızacak sulara karşı koruma tahtalarıyla, ya da asfaltlı mukavva ve çinko levhalarla (Resim 2 a, b, c, d) üstü kapanarak korunması gerekir.



Resim 2.
Taşıyıcı kirişlerin (a) koruma tahtası, (b, c) damlalık kirişi, (d) bitümlü mukavva ve çinko levha ile korunması.

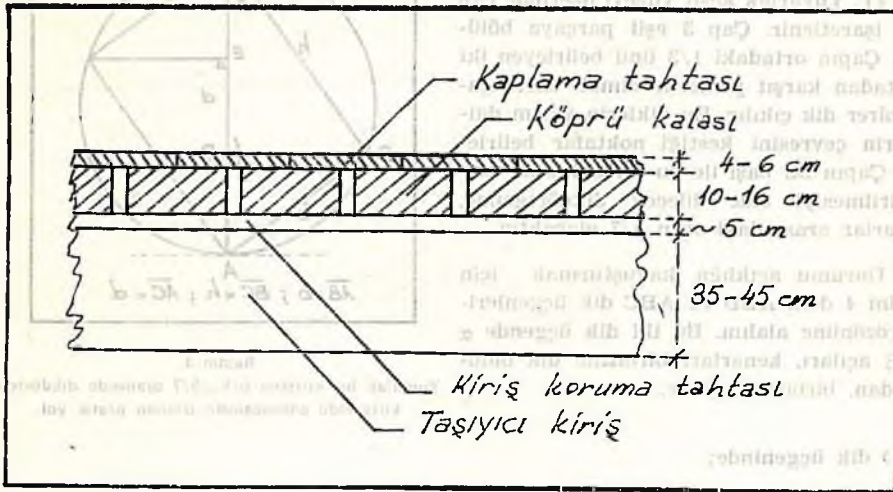
2.2.3 Köprü Döşemesi (Tabliye)

Köprü döşemesi, çoğunlukla kalaslardan, kaplama tahtalarından, kırmataş ve kum tabakalarından ve kenar eşiği de denilen yan ağaçlardan meydana gelir.

¹ Kirişin baş kısımları nem ve mantar zararları nedeniyle zamanla çürüyebilir. Böyle davranmakla, çürüklüğün dayanak noktalarına ulaşması uzun bir süre için geciktirilmiş olacaktır.

Kalaslar (madriyeler), 0,10 - 0,16 m kalınlıkta ve 0,20 - 0,35 m genişlikte olurlar ve taşıyıcı kirişler üzerine, köprü eksenine dikey olarak, 3 - 4 cm aralıkla yan yana çakılırlar. Kalasların boyutları, köprü üzerinden geçecek taşıtların ağırlığına göre saptanır.

Bir yandan bu köprü kalaslarını korumak, öte yandan da köprü üzerinden geçecek yükün basıncını eşit biçimde dağıtmak amacıyla kalaslar üzerine, 4 - 6 cm kalınlığında kaplama tahtaları yan yana ve aralıksız olarak çakılır. Kalaslarla aynı doğrultuda, yani köprü eksenine dikey doğrultuda konan kaplama tahtaları ile kalasların ara kesitleri şaşırtılır (Resim 3). Kaplama tahtaları mukavemet hesabında gözönüne alınmazlar.



Resim 3.

Köprü kalasları ile kaplama tahtalarının ara kesitlerinin şaşırtılması.

Çoğu kez yol kaplaması köprü üzerinde de devam ettirilmektedir. Bu taktirde kaplama tahtaları üzerine 5 cm kalınlıkta kırmataş ya da çakıl döşenir ve bunun üzeri de yeterli kalınlıkta kum tabakasıyla örtülür. Kırmataş tabakasının köprü üzerinde de devam ettirileceği durumlarda çoğunlukla kırmataş tabakasının biraz daha kalın döşenmesi, örneğin 8 - 12 cm kalınlıkta yapılması uygun olur.

Yan ağaçlar ya da kenar eşikleri, köprü kalasları üzerine ve bunlara dikey doğrultuda olmak üzere köprü'nün iki kenarına çakılırlar. Yaklaşık 15×20 cm kesitinde olurlar. Bunlar hem kalasların farklı çalışmalarını önler, hem de köprü üzerinde devam ettirilen kırmataş ve kum tabakasının zamanla yanlardan dökülmesini engeller. Yan ağaçlara «baskı kirişleri» de denilmektedir.

2.2.4 Korkuluklar

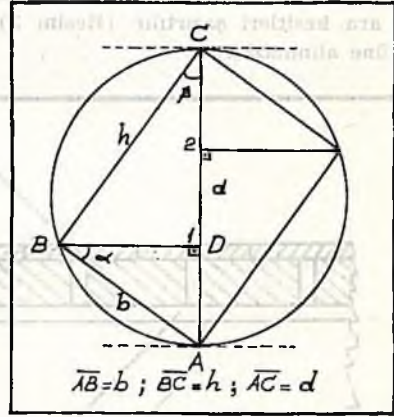
Orman yolları köprülerinde genellikle korkuluk yapılmaz. Bunun nedeni, korkulukların uzun tomruk taşınmasını güçleştirmeleridir.

2.3 Basit Ahşap Kirişlerle İlgili Genel Bilgiler

Köprülerde taşıyıcı kiriş olarak kullanılan ağaçlar, çeşitli kesit ve biçimlerde olabilir. Ancak, daha çok dikdörtgen kesitli kirişler kullanılmaktadır. Bu kirişlerin genişliği (b) ve yüksekliği (h) arasındaki oranın (b/h nin) $5/7 - 3/4$ olması, mukavemet ve ekonomi bakımından aranan bir koşuldur.

Yuvarlak bir kirişin (gövde ya da tomruğun), kesit boyutları arasındaki oran $5/7$ olacak bir dikdörtgen kesitli kirişe dönüştürülmesinde izlenecek yol şudur (Resim 4): Yuvarlak kesit yüzeyi üzerinde çap (d) işaretlenir. Çap 3 eşit parçaya bölünür. Çapın ortadaki $1/3$ ünü belirleyen iki noktadan karşıt yönlerde olmak üzere çapa birer dik çıkarılır. Bu diklerin yarım dairelerin çevresini kestığı noktalar belirlenir. Çapın iki başı ile bu iki noktanın birleştirilmesiyle elde edilecek dikdörtgende, kenarlar arasındaki oran $5/7$ olacaktır.

Durumu açıklığa kavuşturmak için Resim 4 deki ABD ve ABC dik üçgenlerini gözönüne alalım. Bu iki dik üçgende α ve β açıları, kenarları birbirine dik olduğundan, birbirine eşittir.



Resim 4.

Yuvarlak bir kirişten $b/h=5/7$ oranında dikdörtgen kiriş elde edilmesinde izlenen pratik yol.

ABD dik üçgeninde;

$$\sin \alpha = \frac{d/3}{b}$$

ABC dik üçgeninde;

$$\sin \beta = \frac{b}{d}$$

dir. α ve β açıları eşit olduğundan:

$$\frac{d/3}{b} = \frac{b}{d}$$

olup, buradan

$$b^2 = \frac{1}{3} d^2 \quad (1)$$

bulunur. Öte yandan,

ABC dik üçgeninde;

$$\cos \beta = \frac{h}{d}$$

BCD dik üçgeninde;

$$\cos \beta = \frac{2 d/3}{h}$$

dir. Dolayısıyla :

$$\frac{h}{d} = \frac{2 d/3}{h}$$

olup, buradan da

$$h^2 = \frac{2}{3} d^2 \quad (2)$$

bulunur. Böylece elde edilen (1) ve (2) numaralı eşitlikleri taraf tarafa bölersek;

$$\frac{b^2}{h^2} = \frac{d^2/3}{2d^2/3} = \frac{1}{2}$$

çıkar. Her iki tarafın pay ve paydalarının karekökünü aldığımızda,

$$\frac{b}{h} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{1,4}$$

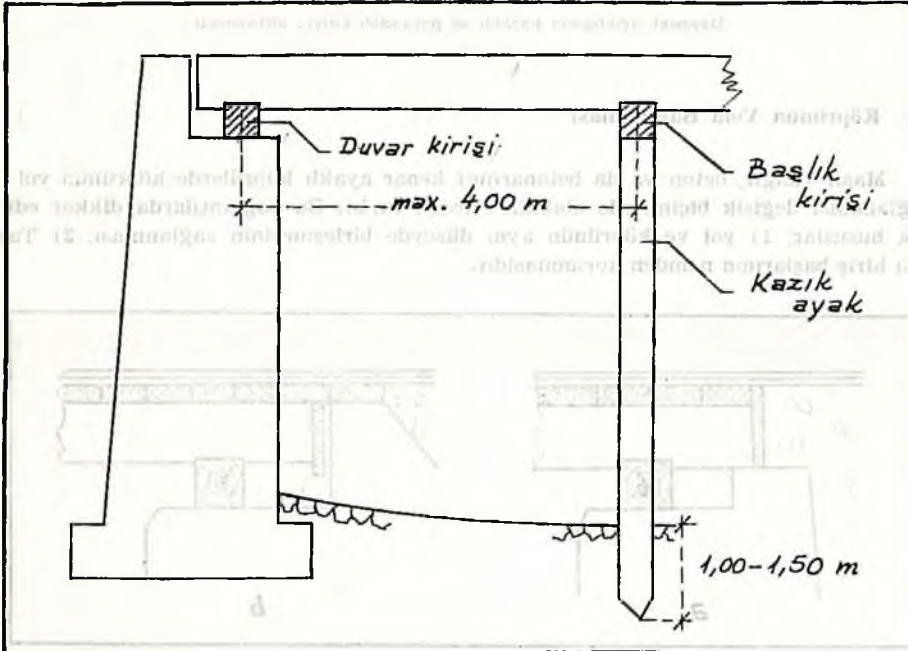
olduğu görülür ki, bu da $b/h=5/7$ demektir.

Duvar kirişlerinin meşe ya da sedrden, taşıyıcı kirişlerin meşe, sedir, ladin ya da göknardan yapılması uygun olur.

Köprü yapımında kullanılacak ahşap malzemenin (kiriş vb) elde edileceği ağaçların, vejetatif faaliyetlerin en az olduğu mevsimde kesilmeleri, kesimin kullanmadan en az 6 ay önce yapılması ve kullanma zamanına kadar havada kurumaya bırakılması, köprünün ömrünü uzatacak masrafsız önlemlerdir.

Köprü yapımında kullanılacak ağaçların olanaklar ölçüsünde az dallı olmaları, farklı çekme ve gerilmeleri önlemek bakımından önem taşır.

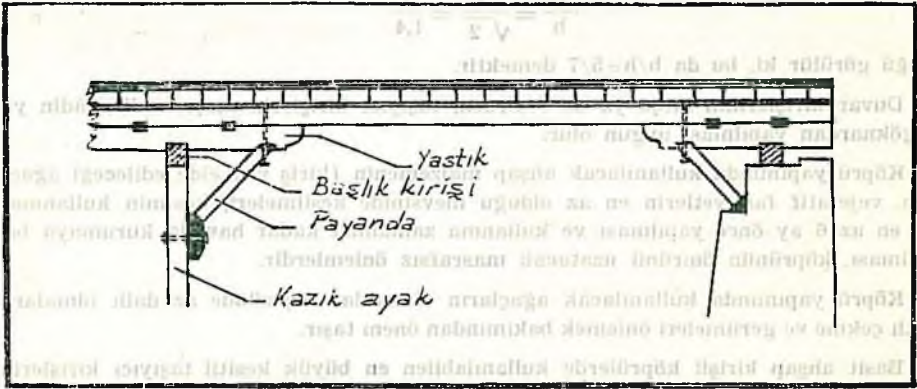
Basit ahşap kirişli köprülerde kullanılabilen en büyük kesitli taşıyıcı kirişlerin genişlikleri 30 - 35 cm, yükseklikleri 35 - 45 cm kadardır. Bu boyutlarda kirişlerin



Resim 5.

Dayanak açıklığının başlık kirişi ve kazık ayaklarla arttırılması.

bulunabileceği kabul edilirse, normal demiryolları için basit (tek) taşıyıcı (ahşap) kirişlerle yapılacak köprülerin maksimum dayanak açıklığı 6,0 m olabilir (PEY-NİRCİOĞLU 1951, s. 83). Yol köprülerinde ise, basit (tek) ahşap kirişli köprülerin en büyük dayanak açıklıkları, köprü üzerinden geçecek ağırlığa göre, 20 ton için 4,2 m, 12 ton için 5,3 m, 6 ton için 6,5 m olarak verilmektedir (TAVŞANOĞLU 1973, s. 215). Gereğinde altlık ağacı (başlık kirişi) ve kazık ayaklardan yararlanılarak (Resim 5), ya da başlıklı ve payandalı kiriş kullanılarak (Resim 6) dayanak açıklıkları arttırılır.

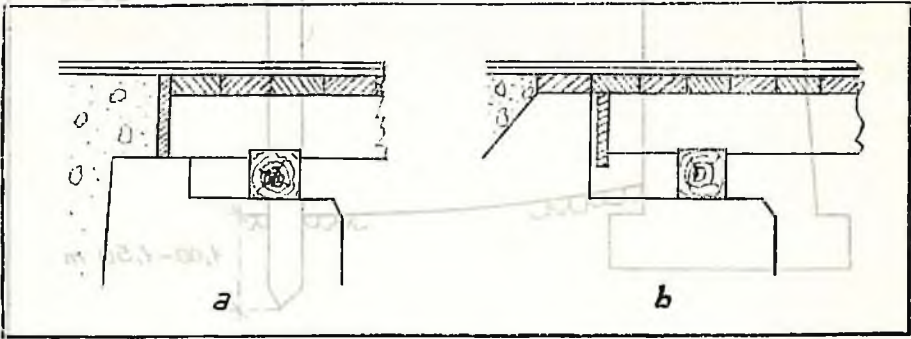


Resim 6.

Dayanak açıklığının başlıklı ve payandalı kirişte arttırılması.

2.4 Köprü'nün Yola Bağlanması

Masif (kâgir, beton ya da betonarme) kenar ayaklı köprülerde köprü'nün yol ile bağlanması değişik biçimlerde olabilir (Resim 7a, b). Bu bağlantılarda dikkat edilecek hususlar, 1) yol ve köprü'nün aynı düzeyde birleşmesinin sağlanması, 2) Taşıyıcı kiriş başlarının nemden korunmasıdır.



Resim 7:

Köprü'nün değişik biçimlerde yola bağlanması ve kiriş başlarının korunması.

Kiriş başlarının nemden korunması amacıyla kesit yüzeylerinin katran, çimento, yağlı boya vb gibi maddelerle sıvanması, ya da katranlı - kumlu kâğıtlarla izole edilmesi, kiriş içerisindeki nemin buharlaşmasını engelleyeceği için sakıncalıdır. Bu nedenle en uygun yol, kiriş başlarının toprakla temasını, nem alışverişini kesen kimyasal maddelerden birisiyle suya karşı yahtılmış bir tahta yardımıyla (Resim 7 a, b) kesmektir ¹.

3 BASİT AHŞAP KİRİŞLİ KÖPRÜLERLE İLGİLİ HESAPLAR

3.1 Köprüleri Etkileyen Kuvvetler

Köprüyü bütünüyle düşünürsek, bunu etkileyen kuvvetleri iki ana gruba ayırabiliriz:

I — Değişmez (sabit; daimi) yükler

- a) Zati yük
- b) Ölü yük

II — Değişebilir yükler

- a) Yararlı yük (trafik yükü; hareketli yükler)
- b) Ek (ilâve; munzam) yükler.

Birinci gruptaki yükler, köprünün değişik elemanlarının kendi ağırlıkları ile, bu elemanlara diğer köprü elemanlarının ağırlıkları nedeniyle binen yüklerden oluşur. İkinci grupta ise köprü üzerinden geçecek taşıtların ağırlıkları ile, kar ve insan yükleri söz konusudur. Büyük açıklıklı köprülerde rüzgâr basıncı, fren kuvveti ve dinamik kuvvetler de ayrı ayrı hesaba katılır. Ancak bizim konumuz olan küçük açıklıklı ve basit ahşap kirişli orman yolu köprülerinde genellikle insan yükü, rüzgâr etkisi, fren kuvveti ve dinamik kuvvetler hesaba katılmayacaktır.

Örnek olarak bir taşıyıcı kirişi düşünürsek, bu kirişin kendi ağırlığı zati yük olarak, kiriş koruma tahtasının, köprü kalasının, kırmataş ve kumun ağırlıkları ölü yük olarak, kar ağırlığı ek yük olarak, köprü üzerinden geçecek ağaçların ağırlıkları da trafik yükü olarak hesaba katılır.

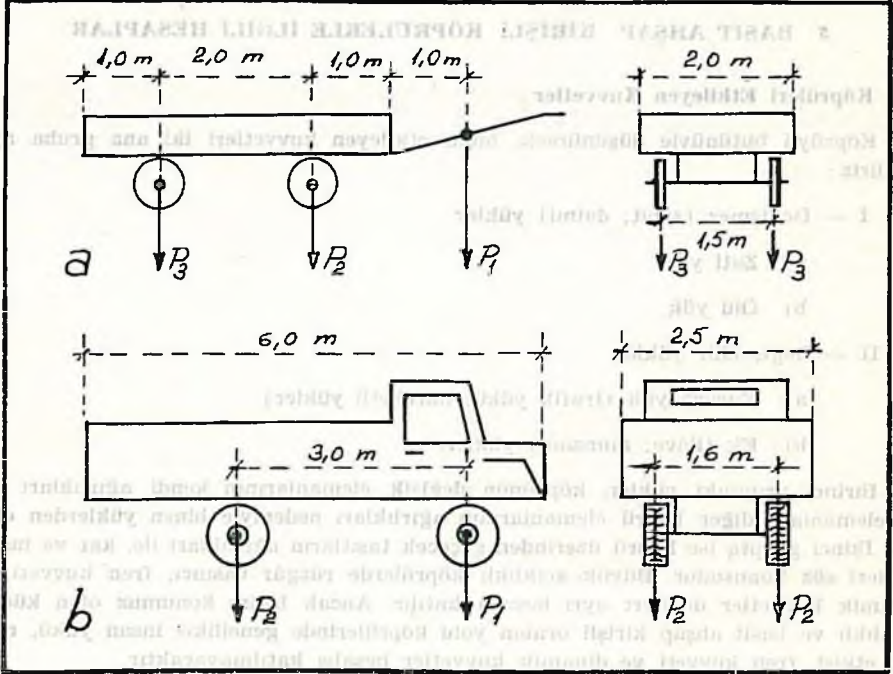
Ayrıca masif köprü ayaklarına, suyun kaldırma kuvveti ve ayakların arkasındaki dolduru materyalinin itmesi de etki yapmaktadır. Kesiti belirlenen ayakların statik emniyetlerinin, bilinen esaslara göre incelenmesi gerekir.

Kalaların ve taşıyıcı kirişlerin statik hesaplarında, yukarıdaki gruplandırma da değişmez yükler (zati yük ve ölü yük) ile değişebilir yüklerden ek yükleri, - kalas ve taşıyıcı kirişler boyunca her noktada eşit miktarda dağılmış oldukları kabul edildiğinden - *üniform yük* olarak isimlendireceğiz. Üniform yük kiriş eksenine dayanak açıklığının tam ortasında etki yapan düsey bir kuvvet biçiminde gösterilir. Değişebilir yükler arasında yararlı yükler olarak gruplandırdığımız hareketli yükler

¹ Taşıyıcı kirişlerin toprakla temas etmediği durumlarda da sızıntı sularla karşı aynı yolla kiriş başları korunabilir. Kiriş başlarının köprü ayaklarına temas ettirilmemesi ve kirişin kesit yüzeyi ile duvar arasında 2-5 cm lik bir mesafe bırakılması da, kirişin bünyesindeki suyun zamanla buharlaşmasını sağlamak amacıyla yöneliktir.

ise, kalas ve kirişleri yalnız bir noktada kiriş eksenine dik olarak etdikler ve yürür tek kuvvetler olarak isimlendirilirler.

Orman yollarında söz konusu olabilecek hareketli yükler değişik özellik ve ağırlıklarda olabilir. Atlı arabalara ve kamyonlara örnek olmak üzere birer tip (Resim 8 a, b), de gösterilmiştir.



Resim 8.

Hareketli yükler için birer örnek olmak üzere (a) atlı araba ve (b) kamyon.

3.2 Köprülerin Statik Hesabı

Köprülerle ilgili statik hesapların başlıca amacı, köprüyü etkileyen değişmez ve değişebilir yüklerle güvenlikle karşı koyabilecek kalas ve kiriş kesitlerinin bulunmasıdır.

Önce kalasların söz konusu kuvvetlere göre yeterli yüksekliklerinin bulunması gerekir. Köprü kalasları ikiden fazla taşıyıcı kiriş üzerine oturtulmuş olduklarından, «mütemadi kiriş» durumundadırlar. Ancak daha güvenilir sonuç sağlamak amacıyla bunların daima iki dayanak üzerine serbestçe oturmuş birer kiriş gibi düşülmeleri ve buna göre hesaplanmaları gerekir (ÇIKINOĞLU 1947, s. 96 - 97).

Kalas hesabında - kalası iki dayanak üzerine serbestçe oturmuş bir kiriş olarak düşündüğümüze göre - dayanak açıklığı, pratik olarak iki taşıyıcı kirişin eksenleri arasındaki uzaklıktır¹.

¹ Kalasların dayanak açıklığı olarak, iki taşıyıcı kiriş arasındaki serbest açıklığı her iki yandan 5 - 8 cm uzatarak bulunacak açıklık da kullanılabilir (ÇIKINOĞLU 1947, s. 97). Bu takdirde daha ekonomik bir kalas kesiti bulunur.

Yeterli bir kesit sağlayan kalas kalınlığı bulunduktan sonra, taşıyıcı kirişlerin hesabına geçirilir. Bu iş için önce trafik yükünü oluşturan yürür tek kuvvetlerin en büyük etkiyi yaptığı durumun, yani en elverişsiz yüklenme durumunun belirlenmesi gerekir. Bu duruma göre de yeterli kiriş kesiti hesaplanır.

Bu hesapları bir örnek çözümlerle görmek ve buna dayanarak basit bir köprü projesinin çizimini yapmak, konuyu daha anlaşılır bir duruma getirmek bakımından yararlı olacaktır.

3.2.1 Basit Ahşap Kirişli Bir Köprü'nün Hesabı

3.2.1.1 Veriler

Dayanak açıklığı 6,50 m, genişliği 4,00 m olan basit (tek) ahşap kirişli bir köprü hesaplanacaktır. Köprü ayakları harçlıtaş duvar olarak yapılacaktır.

— Köprü kirişleri (taşıyıcı kirişler) dikdörtgen kesitli olacak, meşeden yapılacak ve 5 kiriş 1,00 er m aralıkla yan yana konacaktır. Özgül ağırlıkları (hacim ağırlıkları) 600 kg/m^3 ve caiz görülen eğilme zorlanması $\sigma_{ca} = 70 \text{ kg/cm}^2$ dir. Taşıyıcı kirişlerin herbiri, iki yandan 5 er cm taşacak genişlikte ve 3 er cm kalınlıkta ladin tahtalarıyla (kapak tahtası) kaplanacaktır. Kapak tahtalarının hacim ağırlığı 520 kg/m^3 tür.

— Köprü kalasları 0,20 m genişliğinde olacak ve çamdan yapılacak, kirişler üzerine köprü eksenine dik doğrultuda ve aralıksız olarak konacaktır. Hacim ağırlığı 500 kg/m^3 , caiz görülen eğilme zorlanması $\sigma_{ca} = 60 \text{ kg/cm}^2$ dir.

— Köprü kalasları üzerine 0,05 m kalınlığında bir kırmataş tabakası döşenecek, bunun üzerine de yine 0,05 m kalınlığında bir kum tabakası yayılacaktır. Hacim ağırlıkları kırmataş için 2000 kg/m^3 , kum için 1250 kg/m^3 tür.

— Köprü üzerinde kışın da taşıma yapılacağından, 0,25 m kalınlığında bir kar tabakası gözönünde tutulacaktır. Karın hacim ağırlığı 1000 kg/m^3 alınacaktır.

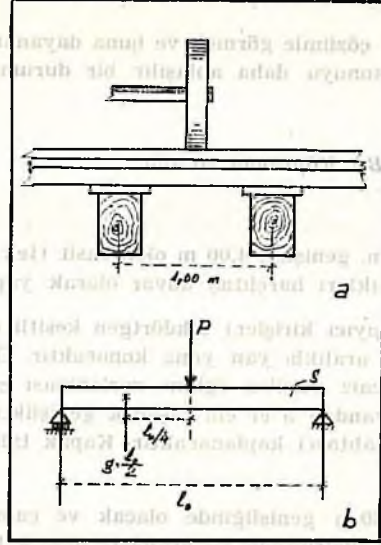
— Yüklenme, tomruk taşınmasının dört tekerlekli, iki at koşulu arabalarla yapılacağı düşünüldükten bulunacaktır. Bir atın ağırlığı $P_1 = 750 \text{ kg}$, ön ve arka akslarda herbir tekerleğe düşen ağırlık $P_2 = P_3 = 900 \text{ kg}$, akslar arasındaki mesafe 2,00 m, atın ağırlık merkezi ile ön aks arasındaki mesafe 1,80 m ve yine atın ağırlık merkezi ile önünde bulunabilecek başka bir arabanın arka aksı arasındaki mesafe en az 2,50 m dir.

3.2.1.2 Kalasların Hesabı

Hesap için, bir kalasın iki taşıyıcı kiriş üzerine oturan parçasını esas alıyoruz ve kiriş ortasından kiriş ortasına olan uzaklığı, köprü kalasının dayanak açıklığı olarak kabul ediyoruz¹ (Resim 9 a). İki taşıyıcı kirişin arasındaki uzaklık ilke olarak daima araçların iki ön ya da iki arka tekerleği arasındaki uzaklıktan daha küçük olacak biçimde ayarlandığından, bir kalasın iki kiriş arasında kalan kısmı üze-

¹ Alman normlarına göre ahşap köprülerde kalasların hesap açıklığı, $l_0 = w + 0.10 \text{ m}$ alınır (PEYNİRCİ-OĞLU 1951, s. 87). Burada w, taşıyıcı kirişler arasındaki serbest açıklıktır. Biz kiriş eksenleri arasındaki uzaklığı esas almakla, güvenlik payını biraz daha arttırmış oluyoruz. (Sayfa 150 deki dipnota bakınız.)

rinde en çok bir tekerlek bulunabilecektir ve en büyük zorlanma, tekerleğin tam ortada olması durumunda meydana gelecektir (Resim 9 b).



Resim 9.

Kalas hesabında esas alınan yük ve mesafeler.

Önce birim uzunluktaki kalasın kendi ağırlığını (kalasın 20 cm genişlikte olduğu bilindiğine göre, kalınlığını kendimiz kabul etmek durumundayız), sonra da bunun üzerindeki ölü yükleri, yani kırmataş, kum ve kar tabakalarının ağırlıklarını hesaplayarak bunları toplamak, böylece elde edilecek g (kg/m) değerini kalasın dayanak açıklığı ile çarparak, kalası etkileyen üniform yük ($g \cdot l_0$) yi (kg) cinsinden bulmak gerekir.

— Köprü döşemesi :

$$\text{Kalasın ağırlığı}^1 : 0,20 \cdot 0,10 \cdot 500 = 10,00 \text{ kg/m}$$

$$\text{Kırmataş tabakasının ağırlığı} : 0,20 \cdot 0,05 \cdot 2000 = 20,00 \text{ kg/m}$$

$$\text{Kum tabakasının ağırlığı} : 0,20 \cdot 0,05 \cdot 1250 = 12,50 \text{ kg/m}$$

$$\text{Kar tabakasının ağırlığı} : 0,20 \cdot 0,25 \cdot 1000 = 50,00 \text{ kg/m}$$

$$g = 92,50 \text{ kg/m}$$

$$g \cdot l_0 = 92,50 \cdot 1,00 = 92,50 \text{ kg}$$

Bundan sonra yapılacak iş, A noktasındaki dayanak reaksiyonunun hesaplanmasıdır.

¹ Deneme için kalasların kalınlığı 0,10 m olarak alınmıştır.

— Dayanak reaksiyonu :

$$A = g \cdot \frac{l_0}{2} + \frac{P_1^1}{2} ; \quad A = 92,50 \cdot \frac{1_0}{2} + \frac{900}{2} = 496,25 \text{ kg}$$

Şimdi maksimal momenti hesaplayalım. Söz konusu olan, hem üniform kuvvetten, hem de yürür tek kuvvetten dolayı meydana gelecek maksimal momenttir. Yükleme, tekerlek tam ortada olduğuna göre simetrik ve maksimal moment ortada meydana gelecektir.

— Maksimal moment :

$$M_{\max} = A \cdot \frac{l_0}{2} - g \cdot \frac{l_0}{2} \cdot \frac{l_0}{4} ; \quad M_{\max} = A \cdot \frac{l_0}{2} - g \cdot \frac{l_0^2}{8}$$

$$M_{\max} = 496,25 \cdot \frac{1_0}{2} - 92,50 \cdot \frac{1_0^2}{8} ; \quad M_{\max} = \frac{496,25}{2} - \frac{92,50}{8}$$

$$M_{\max} = 248,12 - 11,56 = 236,56 \text{ kgm}$$

Böylece maksimal moment de bulunduktan sonra, başlangıçta kabul ettiğimiz kalas kesitinin yeterli olup olmadığını inceleyebiliriz. Bu amaçla önce mukavemet momenti, sonra da maksimal moment ve mukavemet momenti değerlerinden yararlanılarak kalas kesitinin maruz kalacağı eğilme zorlanması hesaplanır.

— Kalas dimenziyonunun incelenmesi :

$$\text{Mukavemet momenti: } W = \frac{b \cdot d^2}{6} = \frac{20 \cdot 10^2}{6}$$

$$W = \frac{20 \cdot 100}{6} = \frac{2000}{6}$$

$$W = 333,33 \text{ cm}^3$$

$$\text{Eğilme zorlanması: } \sigma_k = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{23656 \text{ kgcm}}{333,33 \text{ cm}^3}$$

$$\sigma_k = 70,97 \text{ kg/cm}^2$$

Kalas için caiz görülebilecek eğilme zorlanmasının çam için $\sigma_{ca} = 60 \text{ kg/cm}^2$ olduğu biliniyordu. Normal olarak, bulduğumuz $\sigma_k = M_{\max}/W$ değerinin, bize verilen σ_{ca} değerinden daha küçük, ya da en çok buna eşit olması zorunludur. Bu durumda, kalas kesiti için alınan boyutlar ($b=20 \text{ cm}$, $d=10 \text{ cm}$) uygun değildir. Yeterli bir kesit elde etmek üzere kalas kalınlığı için daha büyük bir değer kabul ederek hesapları yineleriz. Burada, kalas kalınlığının önemli ölçüde artırılmasına gerek yoktur. Nitekim $d=10 \text{ cm}$ yerine $d=12 \text{ cm}$ kabul ederek hesapları yinelersek, sırasıyla $g=94,50 \text{ kg/m}$, $A=497,25 \text{ kg}$, $M_{\max}=236,81 \text{ kgm}$, $W=480 \text{ cm}^3$ ve $\sigma_k=49,34 \text{ kg/cm}^2$ buluruz ki, $\sigma_{ca} = 60 \text{ kg/cm}^2 > \sigma_k = 49,39 \text{ kg/cm}^2$ olduğundan kalasın kesiti yeterlidir, fakat ekonomik değildir.

Hesapları, kalas kalınlığını 10 cm yerine 11 cm kabul ederek yeniden yaptığımızda, sırasıyla $g=93,50 \text{ kg/m}$, $A=494,75 \text{ kg}$, $M_{\max}=236,69 \text{ kgm}$, $W=403,33 \text{ cm}^3$ ve $\sigma_k=58,68 \text{ kg/cm}^2$ değerlerini buluruz. Dolayısıyla $60 \geq 58,7$ olduğundan, kalas kesiti için bu kez alınan boyutlar ($b=20 \text{ cm}$, $d=11 \text{ cm}$) yeterli ve ekonomik demektir.

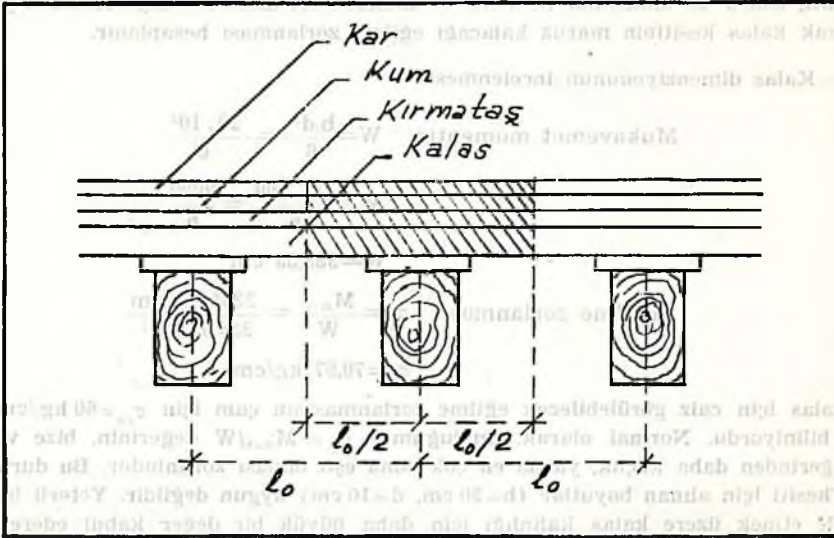
¹ Tekerlek tam ortada olduğuna göre, A ve B dayanak reaksiyonları birbirine eşittir ve herbirinin değeri, üniform kuvvetin yarısı ile yürür tek kuvvetin yarısının toplamı kadardır ($P_2=P_1$).

3.2.1.3. Taşıyıcı Kirişlerin Hesabı

Taşıyıcı kirişlerin hesabında da köprü kalaslarının hesabında gözönünde tutulan esaslar sözkonusudur. Dayanak açıklığı olarak, duvar kirişlerinin eksenleri arasındaki uzaklık alınır.

Başlangıçta kiriş kesitinin boyutlarını, $b/h=5/7$ olacak biçimde kendimiz seçeriz. Sonra kirişin birim (1,00 m) uzunluğunu etkileyen kirişin kendi ağırlığını, kapak tahtasının, köprü kalasının, kırmataş, kum ve kar tabakalarının ağırlıklarını ayrı ayrı hesaplayarak bunları toplar, böylece elde edilecek g (kg/m) değerini kirişin boyu (dayanak açıklığı) ile çarparak, kirişi etkileyen üniform yükü ($g.l$), (kg) cinsinden buluruz.

Bu hesabın yapılması sırasında dikkat edilecek nokta, köprü döşemesinden her bir kiriş üzerine düşen payın belirlenmesidir. Pratik olarak, kalas hesabındaki dayanak açıklığı (l_0) kadar genişlikteki kalas, kırmataş, kum ve kar tabakalarının ağırlıkları toplamını bir kiriş taşımaktadır (Resim 10). Burada ele aldığımız örnekte taşıyıcı kirişler 1,00 m aralıkla konmuştur ve kalas hesabında da dayanak açıklığı bu nedenle 1,00 m alınmıştır. Demek ki kirişlerin herbiri üzerine 1,00 m genişliğinde köprü döşemesinin ve kar tabakasının ağırlığı binmektedir.



Resim 10.

Bir taşıyıcı kiriş üzerine binen hareketsiz yükler.

Deneme için kiriş kesitinin boyutlarını $b/h=30/42$ cm olarak alalım ve üniform ağırlığını bulalım.

— Üniform ağırlığın hesabı :

Kirişin ağırlığı	:	$0,30 \cdot 0,42 \cdot 600 =$	75,60 kg/m
Kapak tahtasının ağırlığı	:	$0,40 \cdot 0,03 \cdot 520 =$	6,24 kg/m
Köprü kalasının ağırlığı	:	$0,11 \cdot 1,00 \cdot 500 =$	57,20 kg/m

Kirmataş tabakasının ağırlığı : $0,05 \cdot 1,00 \cdot 2000 = 100,00 \text{ kg/m}$

Kum tabakasının ağırlığı : $0,05 \cdot 1,00 \cdot 1250 = 62,50 \text{ kg/m}$

Kar tabakasının ağırlığı : $0,25 \cdot 1,00 \cdot 1000 = 250,00 \text{ kg/m}$

$$g = 551,54 \text{ kg/m}$$

$$g \cdot l = 551,54 \cdot 6,50 = 3585 \text{ kg}$$

Kiriş hesabının bundan sonraki bölümlerini yapabilmek için, kirişin yüklenme durumunun bilinmesi gereklidir. Aynı anda bir kiriş üzerinde bulunabilecek kuvvetler bellidir. Ancak, bunlardan hangileri kiriş (köprü) üzerinde olursa ve hangi noktada bulunursa kirişin en fazla etkileneceği hususunun araştırılarak ortaya çıkarılması sözkonusudur.

3.2.1.3.1. En Elverişsiz Yüklenme Durumunun Belirlenmesi

En elverişsiz yüklenme durumunun belirlenmesinde izlenecek yol şudur :

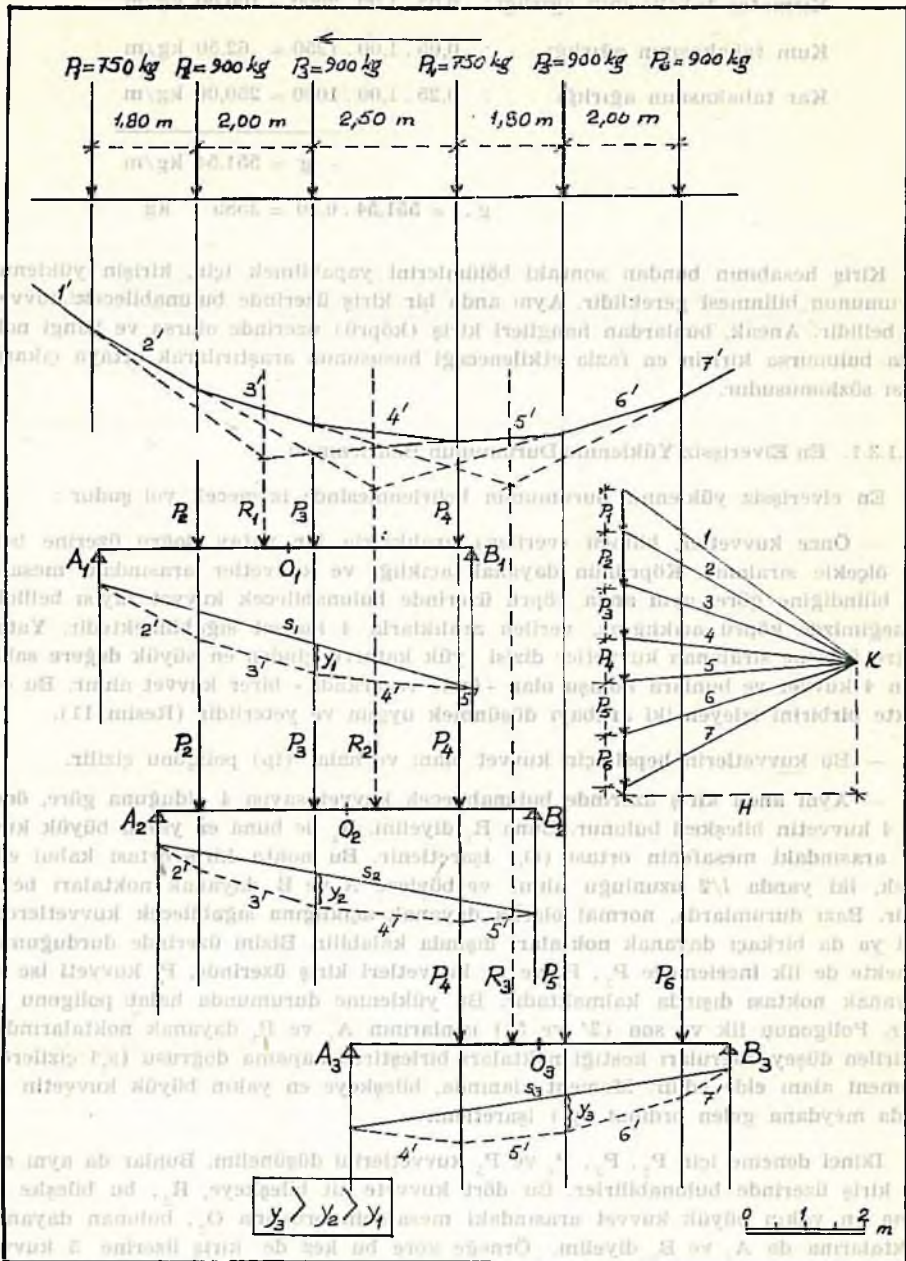
— Önce kuvvetler, bilinen (verilen) aralıklarla bir yatay doğru üzerine belli bir ölçükle sıralanır. Köprünün dayanak açıklığı ve kuvvetler arasındaki mesafeler bilindiğine göre, aynı anda köprü üzerinde bulunabilecek kuvvet sayısı bellidir. Örneğimizde köprü açıklığına, verilen aralıklarla 4 kuvvet sığabilmektedir. Yatay doğru üzerine sıralanan kuvvetler dizisi (yük katarı) içinden en büyük değere sahip olan 4 kuvvet ve bunlara komşu olan -önde ve arkada- birer kuvvet alınır. Bu örnekte birbirini izleyen iki arabayı düşünmek uygun ve yeterlidir (Resim 11).

— Bu kuvvetlerin hepsi için kuvvet planı ve halat (ip) poligonu çizilir.

— Aynı anda kiriş üzerinde bulunabilecek kuvvet sayısı 4 olduğuna göre, önce ilk 4 kuvvetin bileşkesi bulunur. Buna R_1 diyelim. R_1 ile buna en yakın büyük kuvvet arasındaki mesafenin ortası (O_1) işaretlenir. Bu nokta kiriş ortası kabul edilerek, iki yanda $l/2$ uzunluğu alınır ve böylece A ve B dayanak noktaları belirlenir. Bazı durumlarda, normal olarak dayanak açıklığına sığabilecek kuvvetlerden biri ya da birkaçı dayanak noktaları dışında kalabilir. Bizim üzerinde durduğumuz örnekte de ilk incelemede P_2 , P_3 ve P_4 kuvvetleri kiriş üzerinde, P_1 kuvveti ise A_1 dayanak noktası dışında kalmaktadır. Bu yüklenme durumunda halat poligonu çizilir. Poligonun ilk ve son ($2'$ ve $5'$) ışınlarının A_1 ve B_1 dayanak noktalarından indirilen düşey doğruları kestiği noktaları birleştiren kapama doğrusu (s_1) çizilerek, moment alanı elde edilir. Moment alanında, bileşkeye en yakın büyük kuvvetin altında meydana gelen ordinat (y_1) işaretlenir.

İkinci deneme için P_2 , P_3 , P_4 ve P_5 kuvvetlerini düşünelim. Bunlar da aynı anda kiriş üzerinde bulunabilirler. Bu dört kuvvete ait bileşkeye, R_2 , bu bileşke ile buna en yakın büyük kuvvet arasındaki mesafenin ortasına O_2 , bulunan dayanak noktalarına da A_2 ve B_2 diyelim. Örneğe göre bu kez de kiriş üzerine 3 kuvvet (P_2 , P_3 , P_4) bulunmakta, P_5 kuvveti ise B_2 dayanağı dışında kalmaktadır. Bu yüklenme durumuna göre de yukarıdaki yol izlenerek moment alanı elde edilir ve bileşkeye en yakın büyük kuvvetin altında meydana gelen ordinat (y_2) işaretlenir.

Son olarak aynı işleri bu kez de P_3 , P_4 , P_5 ve P_6 kuvvetlerini göz önünde tutarak yaparız. Bu 4 kuvvet de aynı anda kiriş üzerinde bulunabilirler. Bunlara ait



Resim 11.

En elverişsiz yüklenme durumunun belirlenmesi.

bileşke R_3 bu bileşke ile buna en yakın büyük kuvvet arasındaki mesafenin ortası O_3 , bulunan dayanak noktaları da A_3 ve B_3 olsun. Bu inceleme sonucunda da kiriş üzerinde 3 kuvvet (P_1 , P_3 , P_6) kalmakta, P_3 kuvveti A_3 dayanak noktası dışına çıkmaktadır. Bu yüklenme durumunda göre elde edilecek moment alanında da bileşkeye en yakın büyük kuvvetin altında meydana gelen ordinat (y_3) işaretlenir.

Görülüyor ki üç ayrı incelemede de dayanaklar arasında 3 kuvvet kalmaktadır. Kuvvetler dizisine birkaç kuvvet daha ekleyerek incelemeyi sürdürmek, buraya kadar yapılanları yinelemekten öteye bir anlam taşımaz ve gereksizdir.

En elverişsiz yüklenme durumunu belirleyebilmek için, elde edilen moment diyagramında işaretlenmiş bulunan y_1 , y_2 ve y_3 ordinatları ölçülür ve bunlardan hangisinin diğer ikisinden daha büyük olduğu aranır. Örneğimizde (Resim 11), üç ordinat içinde en büyüğü y_3 tür. Dolayısıyla burada en elverişsiz yüklenme durumu, son inceleme sonucunda ortaya çıkan durum olmaktadır¹.

En elverişsiz yüklenme durumu böylece belirlendikten sonra, bundan sonraki bütün çizim ve hesaplar bu duruma göre yapılacaktır.

3.2.1.3.2 Dayanak Reaksiyonlarının Bulunması

Dayanak reaksiyonları hem grafik olarak, hem de hesap yoluyla bulunur.

Tek kuvvetlerden dolayı meydana gelecek dayanak reaksiyonları, bu kuvvetlere ait halat poligonunun iki ucunu birleştiren kapama doğrusuna, kuvvet planındaki K kutup noktasından geçmek üzere çizilecek bir s' paralelinin kuvvetler doğrusu üzerinde ayırdığı parçalardan yararlanılarak elde edilir (Resim 12).

Uniform kuvvetlerden dolayı meydana gelecek dayanak reaksiyonları da,

$$A^{UK} = g \cdot \frac{1}{2} \quad \text{ve} \quad B^{UK} = g \cdot \frac{1}{2}$$

kadardır.

Hem tek kuvvetlerin, hem de üniform kuvvetlerin birlikte etkileri dolayısıyla meydana gelecek dayanak reaksiyonları ise,

$$A = A^{TK} + A^{UK}, \quad B = B^{TK} + B^{UK}$$

kadar olacaktır.

Çizimle elde edilen A ve B uzunluklarından -örneğin çizimde kuvvet ölçeği 1 cm=1000 kg alınmışsa, bu uzunlukları 1000 ile çarparak, A ve B dayanak reaksiyonları kg cinsinden elde edilir.

Örnek çizimde (Resim 12) $A^{TK}=1,00$ cm, $B^{TK}=1,55$ cm, $A^{UK}=1,79$ cm, $B^{UK}=1,79$ cm ölçüldüğüne ve kuvvet ölçeği 1 cm=1000 kg olduğuna göre,

$$A^{TK} = 1,00 \times 1000 = 1000 \text{ kg} \quad B^{TK} = 1,55 \times 1000 = 1550 \text{ kg}$$

$$A^{UK} = 1,79 \times 1000 = 1790 \text{ kg} \quad B^{UK} = 1,79 \times 1000 = 1790 \text{ kg}$$

$$A = A^{TK} + A^{UK} = 2790 \text{ kg} \quad B = B^{TK} + B^{UK} = 3340 \text{ kg}$$

olarak bulunur.

¹ En elverişsiz yüklenme durumunun belirlenmesinde yararlanılan kuramsal temele burada değinilmemiştir. İlk anda 4 kuvvetin kiriş üzerinde bulunduğu durumda maksimum momentin daha büyük olacağı akla gelebilirse de, bu doğru değildir. Nitekim 4 kuvvetli (P_1 , P_3 , P_5 , P_7) kiriş üzerine sıfırlanarak çizilecek moment diyagramında y ordinatı, birinci ve ikinci durumlardaki y_1 ve y_2 ordinatları ile aynı büyüklükte, dolayısıyla üçüncü durumdaki $y_3 = y_{max}$ ordinatından daha küçüktür.

Dayanak reaksiyonları ile üniform ve tek kuvvetler dengede olduklarından

$$A+B=g \cdot l+P_4+P_5+P_6$$

$$A \cdot 1 - P_4 \cdot (1-a) - g \cdot l \cdot \frac{1}{2} - P_5 \cdot [1-(a+b)] - P_6 \cdot d + B \cdot 0 = 0$$

esitlikleri söz konusudur. İkinci eşitlikten;

$$A = \frac{P_4 \cdot (1-a) + g \cdot l \cdot \frac{1}{2} + P_5 \cdot [1-(a+b)] + P_6 \cdot d}{1}$$

$$A = \frac{750 \cdot (6,50 - 1,90) + 551,54 \cdot 6,50 \cdot \frac{6,50}{2} + 900 \cdot [6,50 - (1,90 + 1,80)] + 900 \cdot 0,80}{6,50}$$

$$A = \frac{750 \cdot 4,60 + 11651,28 + 900 \cdot 2,80 + 900 \cdot 0,80}{6,50}$$

$$A = \frac{18341,28}{6,50}$$

$$A = 2821,73 \text{ kg}$$

bulunur. Bu değer birinci eşitlikte yerine konulduğunda;

$$B = g \cdot l + P_4 + P_5 + P_6 - A$$

$$B = 551,54 \cdot 6,50 + 750 + 900 + 900 - 2821,73$$

$$B = 3585,01 + 750 + 900 + 900 - 2821,73$$

$$B = 3313,28 \text{ kg}$$

olarak elde edilir.

Grafik yolla ve hesap yoluyla bulunan dayanak reaksiyonları arasındaki fark 100 - 150 kg dan büyük olmamalıdır. Bu da, çizimde 1 - 1,5 mm yi aşan bir hatanın olmaması gerektiği anlamını taşır. Dolayısıyla çizimde çok dikkatli davranmak zorunludur.

3.2.1.3.3 Maksimal Moment

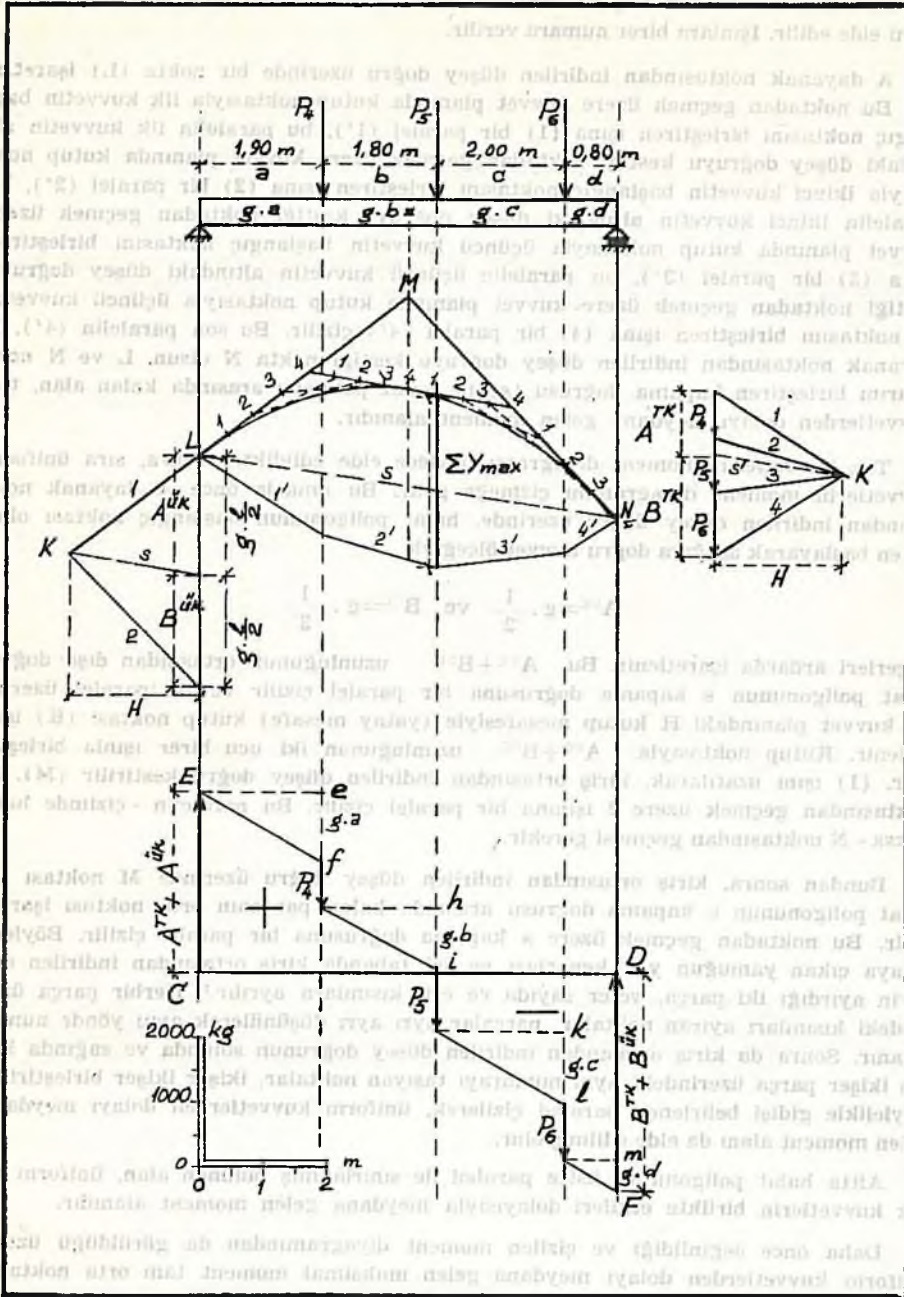
3.2.1.3.3.1 Moment Diyagramı

Maksimal momentin grafik yoldan bulunması için önce moment diyagramının çizilmesi gerekir.

Bu çizimin yapılmasında izlenecek yol şudur (Resim 12):

Belli bir ölçükle kiriş çizilir, A ve B dayanak noktaları belirlenir ve kiriş üzerine, yerleri en elverişsiz yüklenme durumuna göre bulunmuş olan kuvvetler verilen aralıklarla yerleştirilir. Dayanak noktalarından, kuvvetlerden ve kiriş ortasından aşağıya doğru birer düşey doğru çizilir.

Sonra kuvvetleri yine belli bir kuvvet ölçüğüyle düşey doğrultuda uç uca eklemek, seçilen bir H kutup mesafesinde işaretlenecek bir K kutup noktası ile bu



Resim 12.

Moment diyagramı ve kesme kuvvetleri diyagramı.

kuvvetlerden her birinin baş ve sonlarını birer ışınla birleştirmek suretiyle kuvvet planı elde edilir. Işınlara birer numara verilir.

A dayanak noktasından indirilen düşey doğru üzerinde bir nokta (L) işaretlenir. Bu noktadan geçmek üzere kuvvet planında kutup noktasıyla ilk kuvvetin başlangıç noktasını birleştiren ışına (1) bir paralel (1'), bu paralelin ilk kuvvetin altındaki düşey doğruyu kestiği noktadan geçmek üzere kuvvet planında kutup noktasıyla ikinci kuvvetin başlangıç noktasını birleştiren ışına (2) bir paralel (2'), bu paralelin ikinci kuvvetin altındaki düşey doğruyu kestiği noktadan geçmek üzere kuvvet planında kutup noktasıyla üçüncü kuvvetin başlangıç noktasını birleştiren ışına (3) bir paralel (3'), bu paralelin üçüncü kuvvetin altındaki düşey doğruyu kestiği noktadan geçmek üzere kuvvet planında kutup noktasıyla üçüncü kuvvetin uç noktasını birleştiren ışına (4) bir paralel (4') çizilir. Bu son paralelin (4'), B dayanak noktasından indirilen düşey doğruyu kestiği nokta N olsun. L ve N noktalarını birleştiren kapama doğrusu (s) ile halat poligonu arasında kalan alan, tek kuvvetlerden dolayı meydana gelen moment alanıdır.

Tek kuvvetlerin moment diyagramı böylece elde edildikten sonra, sıra üniform kuvvetlerin moment diyagramını çizmeğe gelir. Bu amaçla önce A dayanak noktasından indirilen düşey doğru üzerinde, halat poligonunun başlangıç noktası olan L den başlayarak aşağıya doğru kuvvet ölçeğiyle

$$A^{EK} = g \cdot \frac{1}{2} \quad \text{ve} \quad B^{EK} = g \cdot \frac{1}{2}$$

değerleri ardarda işaretlenir. Bu $A^{EK} + B^{EK}$ uzunluğunun ortasından dışa doğru, halat poligonunun s kapama doğrusuna bir paralel çizilir ve bu paralel üzerinde, kuvvet planındaki H kutup mesafesiyle (yatay mesafe) kutup noktası (K) işaretlenir. Kutup noktasıyla $A^{EK} + B^{EK}$ uzunluğunun iki ucu birer ışınla birleştirilir. (1) ışını uzatılarak, kiriş ortasından indirilen düşey doğru kestirilir (M). M noktasından geçmek üzere 2 ışınına bir paralel çizilir. Bu paralelin - çizimde hata yoksa - N noktasından geçmesi gerekir.

Bundan sonra, kiriş ortasından indirilen düşey doğru üzerinde M noktası ile halat poligonunun s kapama doğrusu arasında kalan parçanın orta noktası işaretlenir. Bu noktadan geçmek üzere s kapama doğrusuna bir paralel çizilir. Böylece ortaya çıkan yamuğun yan kenarları ve üst tabanda kiriş ortasından indirilen düşeyin ayırdığı iki parça, yeter sayıda ve eşit kısımlara ayrılır¹. Herbir parça üzerindeki kısımları ayıran noktalar, parçalar ayrı ayrı düşünülerek aynı yönde numaralanır. Sonra da kiriş ortasından indirilen düşey doğrunun solunda ve sağında kalan ikiser parça üzerindeki aynı numarayı taşıyan noktalar, ikiser ikiser birleştirilir. Böylelikle gidişi belirlenen parabol çizilerek, üniform kuvvetlerden dolayı meydana gelen moment alanı da elde edilmiş olur.

Altta halat poligonu ve üstte parabol ile sınırlanmış bulunan alan, üniform ve tek kuvvetlerin birlikte etkileri dolayısıyla meydana gelen moment alanıdır.

Daha önce değinildiği ve çizilen moment diyagramından da görüldüğü üzere, üniform kuvvetlerden dolayı meydana gelen maksimal moment tam orta noktada, tek kuvvetlerden dolayı meydana gelen maksimal moment de kiriş ortasına en yakın olan büyük kuvvetin (P_3) altındadır. Öyleyse hem üniform kuvvetlerin, hem de tek kuvvetlerin birlikte etkilerinden dolayı meydana gelecek maksimal moment ya kiriş

¹ Böylece bu dört doğru parçası sayıca birbirine eşit, fakat uzunlukları birbirinden farklı olan kısımlara ayrılmış olmaktadır.

ortasında, ya kiriş ortasına en yakın büyük kuvvetin altında, ya da bu ikisinin arasındadır. Maksimal momentin nerede meydana geleceğini, kesme kuvvetlerini inceleyerek hem grafik yoldan, hem de hesap yoluyla bulabiliriz.

3.2.1.3.3.2 Kesme Kuvvetleri Diyagramı

Genel kural olarak *maksimal moment, üniform ve tek kuvvetlerin kesme kuvvetinin sıfır olduğu, ya da sıfırdan geçtiği yerde ($T^{0K} + TK = 0$) meydana gelir.*

Maksimal momentin yerini grafik yoldan belirleyebilmek için, kesme kuvvetleri diyagramı çizilir. Bu amaçla moment diyagramının altında, A ve B dayanak noktalarından inilen düşey doğrular yatay bir doğruyla kestirilir (Resim 12). Kesişme noktaları C ve D olsun. Daha önce A ve B dayanak reaksiyonlarını bulmuştuk. A dayanak noktasından indirilen düşey doğru üzerinde C noktasından yukarıya doğru A dayanak reaksiyonu kuvvet ölçeğiyle alınarak E noktası işaretlenir. E noktasından bir yatay çizilerek birinci kuvvetin altındaki düşey kestirilir (e). Bu noktadan aşağıya doğru kuvvet ölçeğiyle g.a işaretlenerek bulunan f notası ile E birleştirilir. f den aşağıya doğru P_4 kuvveti - yine ölçekle - çizilir. Bu kuvvetin ucundan çizilen yatayla ikinci kuvvetin altındaki düşey kestirilir (h). Bu noktadan aşağıya doğru ölçekle g.b işaretlenir ve bulunan i noktası birinci kuvvetin alt ucu ile birleştirilir. i noktasından aşağıya doğru ikinci kuvvet çizilir. Kuvvetin ucundan çizilen yatayın üçüncü kuvvetin altındaki düşeyi kestiği k noktasından aşağıya doğru g.c kadar alınarak işaretlenen l noktası, ikinci kuvvetin alt ucuna birleştirilir. l noktasından aşağıya doğru üçüncü kuvvet çizilir. Kuvvetin alt ucundan çizilecek yatay, B dayanak noktasından indirilen düşeyi m noktasında kessin. Bu noktadan aşağıya doğru g.d kadar alınarak F noktası işaretlenir ve bu nokta ile üçüncü kuvvetin alt ucu birleştirilir. Çizimde hata yapılmamışsa, DF uzunluğu grafik olarak B dayanak reaksiyonunu verecektir.

Böylece hem üniform kuvvetler, hem de tek kuvvetler göz önünde tutularak kesme kuvvetleri diyagramı elde edilmiş olmaktadır. Üzerinde durduğumuz örnekte kesme kuvveti ikinci kuvvet (P_5) in altında sıfır olmaktadır. Bu da, maksimal momentin bu kuvvetin altında meydana geldiğini gösterir.

Kesme kuvvetlerinin hesap yoluyla bulunabilmesi için, sırasıyla A, P_4 , P_5 , P_6 ve B nin bulunduğu düşey doğrular üzerindeki kesme kuvvetleri şöyle hesaplanır :

$$T_A \rightarrow = 0 \text{ (A noktasının solunda ; A noktasına kadar)}$$

$$T_A \downarrow = +A = 2821,73 \text{ kg (A noktasında)}$$

$$T_{P_4} \rightarrow = +A - g.a = +2821,73 - 1047,926 = +1773,804 \text{ kg}$$

$$T_{P_4} \downarrow = +A - g.a - P_4 = T_{P_4} \rightarrow - P_4 \\ = 1773,804 - 750 = +1023,804 \text{ kg}$$

$$T_{P_5} \rightarrow = +A - g.a - P_4 - g.b = T_{P_4} \downarrow - g.b \\ = 1023,804 - 992,772 = +31,032 \text{ kg}$$

$$T_{P_5} \downarrow = +A - g.a - P_4 - g.b - P_5 = T_{P_5} \rightarrow - P_5 \\ = 31,032 - 900 = -868,968 \text{ kg}$$

$$T_{P_6}^{\rightarrow} = +A - g.a - P_4 - g.b - P_5 - g.c = T_{P_5}^{\downarrow} - g.c$$

$$= -868,968 - 1103,080 = -1972,048 \text{ kg}$$

$$T_{P_6}^{\downarrow} = +A - g.a - P_4 - g.b - P_5 - g.c - P_6 = T_{P_6}^{\rightarrow} - P_6$$

$$= -1972,048 - 900 = -2872,048 \text{ kg}$$

$$T_B^{\rightarrow} = +A - g.a - P_4 - g.b - P_5 - g.c - P_6 - g.d = T_{P_6}^{\downarrow} - g.d$$

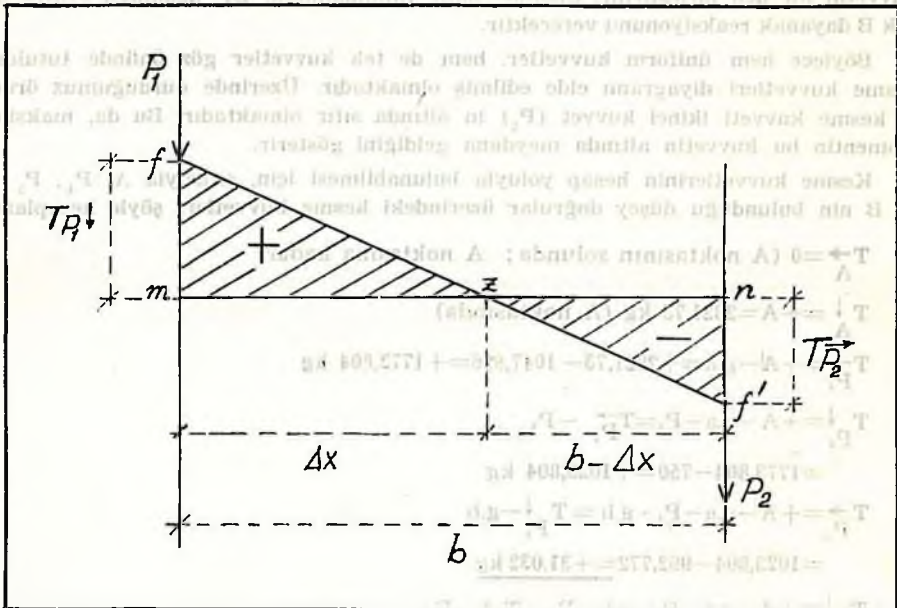
$$= -2872,048 - 441,232 = -3313,28 \text{ kg}$$

$$T_B^{\downarrow} = +A - g.a - P_4 - g.b - P_5 - g.c - P_6 - g.d + B = T_B^{\rightarrow} + B$$

$$= -3313,28 + 3313,28 = 0$$

Burada görülüyor ki P_5 kuvvetinin solunda kesme kuvveti (+), P_5 kuvvetinin altında ve onun sağında ise kesme kuvveti (-) işaretlidir. Yani kesme kuvveti diyagramı P_5 kuvvetinin bulunduğu noktada sıfırdan geçerek işaret değiştirmektedir. Böylelikle maksimum momentin P_5 kuvvetinin altında meydana geldiği hesap yoluyla da anlaşılmış olmaktadır.

Örneğimizde kesme kuvveti diyagramı kiriş ortasına en yakın olan büyük kuvvetin altında yatay kesmektedir. Ancak bazı durumlarda - daha önce de değinildiği gibi - kesme kuvveti diyagramı yatayı kiriş ortasında, ya da kiriş ortasıyla buna en yakın büyük kuvvet arasında da kesebilir. Kesme kuvveti diyagramının kuvvetler arasındaki bir z noktasında yatay doğruyu kesmesi durumunda, bu noktanın ve dolayısıyla maksimum momentin yeri, söz konusu iki kuvvet arasında yatay doğru ile kesme kuvveti diyagramının oluşturacağı iki üçgenin benzerliğinden yararlanılarak hesaplanabilir (Resim 13):



Resim 13.

Kesme kuvveti diyagramının 0 olduğu, ya da maksimum momentin meydana geldiği yerin bulunması.

f noktasının ordinatı $T_{P_1} \downarrow$, f' noktasının ordinatı $T_{P_2} \rightarrow$ dir. İki kuvvet arasındaki uzaklığa b dersek, z noktasının P_1 den uzaklığı Δx ise, P_2 den uzaklığı da (yatay olarak) $b - \Delta x$ olur. Yani $mf = T_{P_1} \downarrow$, $nf' = T_{P_2} \rightarrow$, $mz = \Delta x$, $nz = b - \Delta x$ kadardır. fmz ve $f'nz$ üçgenlerinin benzerliğinden,

$$\frac{T_{P_1} \downarrow}{T_{P_2} \rightarrow} = \frac{\Delta x}{b - \Delta x}$$

$$T_{P_2} \rightarrow \cdot \Delta x = T_{P_1} \downarrow \cdot (b - \Delta x)$$

$$T_{P_2} \rightarrow \cdot \Delta x = T_{P_1} \downarrow \cdot b - T_{P_1} \downarrow \cdot \Delta x$$

$$T_{P_2} \rightarrow \cdot \Delta x + T_{P_1} \downarrow \cdot \Delta x = T_{P_1} \downarrow \cdot b$$

$$\Delta x (T_{P_2} \rightarrow + T_{P_1} \downarrow) = T_{P_1} \downarrow \cdot b$$

$$\Delta x = \frac{T_{P_1} \downarrow \cdot b}{T_{P_2} \rightarrow + T_{P_1} \downarrow}$$

olarak bulunur.

3.2.1.3.3.3. Maksimal Momentin Bulunması

En elverişsiz yüklenme durumuna göre buraya kadar yapılan incelemelerden, maksimal momentin kirişin hangi kesitinde meydana geleceği anlaşılmıştır. Bu duruma (Resim 12) göre maksimal moment hesaplanır.

$$M_{max} = M_{P_5} = A \cdot (a + b) - P_1 \cdot b - g \cdot (a + b) \cdot \frac{a + b}{2}$$

$$M_{max} = 2821,73 \cdot (1,90 + 1,80) - 750 \cdot 1,80 - 551,54 (1,90 + 1,80) \cdot \frac{1,90 + 1,80}{2}$$

$$M_{max} = 2821,73 \cdot 3,70 - 750 \cdot 1,80 - 551,54 \cdot 3,70 \cdot \frac{3,70}{2}$$

$$M_{max} = 10440,40 - 1350 - 3775,29$$

$$M_{max} = 5315,11 \cong 5315 \text{ kgm}$$

Maksimal momenti grafik yoldan da bulalım. Bu amaçla moment diyagramından yararlanacağız. Moment diyagramında (Resim 12), üniform ve tek kuvvetlerin birlikte oluşturduğu moment alanının en büyük ordinatı, ikinci kuvvetin altındaki ordinattır. Buna ΣY_{max} diyelim.

Maksimal momentin grafik yoldan bulunmasında,

$$M_{max} = \Sigma Y_{max} \cdot H$$

eşitliğinden yararlanılmaktadır. Bu eşitlikte ΣY_{max} ordinatı uzunluk (şekil) ölçeği ile, kutup mesafesi H ise kuvvet ölçeğiyle değerlendirilir. Örnek çizimde (Resim 12) şekil ölçeği 1 : m = 1 : 100 (1 cm = 100 cm), kuvvet ölçeği de 1 : n = 1 : 1000 (1 cm = 1000 kg) alındığına, moment diyagramında $\Sigma Y_{max} = 2,65$ cm olarak ölçüldüğüne ve kuvvet planında H = 2 cm olduğuna göre;

$$M_{max} = (\Sigma Y_{max} \cdot m)^{cm} \cdot (H \cdot n)^{kg}$$

$$M_{max} = (2,65 \cdot 100)^{cm} \cdot (2 \cdot 1000)^{kg}$$

$$M_{max} = 265 \cdot 2000 = 530000 \text{ kgcm}$$

$$M_{max} = 5300 \text{ kgm}$$

bulunur. Hesap yoluyla ve grafik yolla bulunan M_{\max} değerleri arasındaki farkın 100 - 150 kgm yi aşmaması gerekir. M_{\max} daha önce 5315 kgm olarak hesaplanmıştı. Bu kez de 5300 kgm olarak bulunmuştur. Bu ikisi arasındaki fark,

$$5315 - 5300 = 15 < 100$$

olduğundan, çizimde normal sınırlar dışında bir hata bulunmadığı anlaşılmaktadır.

3.2.1.3.4 Kiriş Dimenzionunun İncelenmesi

Taşıyıcı kirişe ait maksimal momenti böylece bulduktan sonra, kiriş hesabının geriye kalan bölümünü sürdürebiliriz. Başlangıçta kabul ettiğimiz kiriş kesitinin ($b/h=30/42$ cm) yeterli olup olamayacağını ortaya çıkarabilmek amacıyla önce mukavemet momentinin, sonra da maksimal moment ve mukavemet momenti değerlerinden yararlanılarak kiriş kesitinin maruz kalacağı eğilme zorlanmasının hesaplanması gerekir.

— Kiriş dimenzionunun incelenmesi :

$$\text{Mukavemet momenti ; } W = \frac{b \cdot h^3}{6} = \frac{30 \cdot 42^3}{6}$$

$$W = \frac{30 \cdot 1764}{6} = \frac{52920}{6}$$

$$W = 8820 \text{ cm}^3$$

$$\text{Eğilme zorlanması ; } \sigma_k = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{531500 \text{ kgcm}}{8820 \text{ cm}^3}$$

$$\sigma_k = 60,26 \text{ kg/cm}^2$$

Kiriş için caiz görülebilecek eğilme zorlanması, (meşe için) $\sigma_{ca} = 70 \text{ kg/cm}^2$ olarak verilmişti. Kirişin maruz kalabileceği eğilme zorlanması, caiz görülen eğilme zorlanmasından küçüktür. Yani,

$$\sigma_k = 60,26 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{ca} = 70 \text{ kg/cm}^2$$

dir. Bu durumda kiriş kesiti yeterlidir. Ancak, kalas hesabında da değinildiği üzere, ekonomik davranmış olmak için kesiti biraz daha küçülterek σ_k değeri σ_{ca} değerine yaklaştırılabilir. Böyle durumlarda kiriş hesabını baştan alarak, yeni kabul edilecek daha küçük bir kesite göre hesapları her aşamada yeniden yapmak gerekir. Bir örnek olmak üzere bu kez kiriş kesitini 30/42 cm yerine 30/40 cm boyutunda alalım ve yalnız hesap yoluyla sonuca ulaşmağa çalışalım. Yeniden yapılan hesaplar sonunda $g=547,94 \text{ kg/m}$, $g \cdot l=3561,61 \text{ kg}$, $A=2810 \text{ kg}$ olarak bulunur. Maksimal momentin nerede meydana geleceğini bulmak için, yeni A ve g değerlerini esas alarak birinci kuvvetin altındaki ve ikinci kuvvetin solundaki kesme kuvvetleri hesaplanır.

$$T_{P_4} \downarrow = +868,914 \text{ kg}; T_{P_5} \rightarrow = -117,378 \text{ kg}$$

çıkılmaktadır. Bu değerler gösteriyor ki kesme kuvvetleri diyagramı yatay doğruyu P_4 ve P_5 kuvvetleri arasında kesmekte, başka bir deyişle maksimal moment, kiriş ortası ile P_5 kuvveti arasındaki bir yerde meydana gelmektedir. Maksimal momentin meydana geldiği noktanın P_4 kuvvetinden ne kadar uzaklıkta olduğunu, daha önce verilen

$$\Delta x = \frac{T_{P_4} \downarrow \cdot b}{T_{P_4} \downarrow + T_{P_5} \rightarrow}$$

eşitliğinden (Resim 13) hesaplarız :

$$\Delta x = \frac{T_{P_4} \downarrow \cdot b}{T_{P_4} \downarrow + T_{P_5} \rightarrow} = \frac{868,914 \cdot 1,80}{868,914 + 117,378^{11)}$$

$$\Delta x = \frac{1564,045}{986,292} = 1,586 \text{ m}$$

$$\Delta x \cong 1,59 \text{ m}$$

Maksimal momentin P_4 ve P_5 kuvvetleri arasında ve P_4 kuvvetinden 1,59 m uzaklıkta meydana geldiği böylece bulunduktan sonra, bu noktaya göre moment alınarak

$$M_{\max} = 5277,418 \text{ kgm}$$

bulunur. Sonra, mukavemet momenti

$$W = \frac{30 \cdot 40^2}{6} = 8000 \text{ cm}^3$$

olacağına göre kirişin maruz kalacağı eğilme zorlanması,

$$\sigma_k = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{527742 \text{ kgcm}}{8000 \text{ cm}^3}$$

$$\sigma_k = 65,97 \cong 66 \text{ kg/cm}^2$$

olarak elde edilir.

$$\sigma_k = 66 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{ca} = 70 \text{ kg/cm}^2$$

olduğundan, bu kez alınan kiriş kesiti (30/40 cm) hem yeterli, hem de bir öncekine oranla daha ekonomiktir.

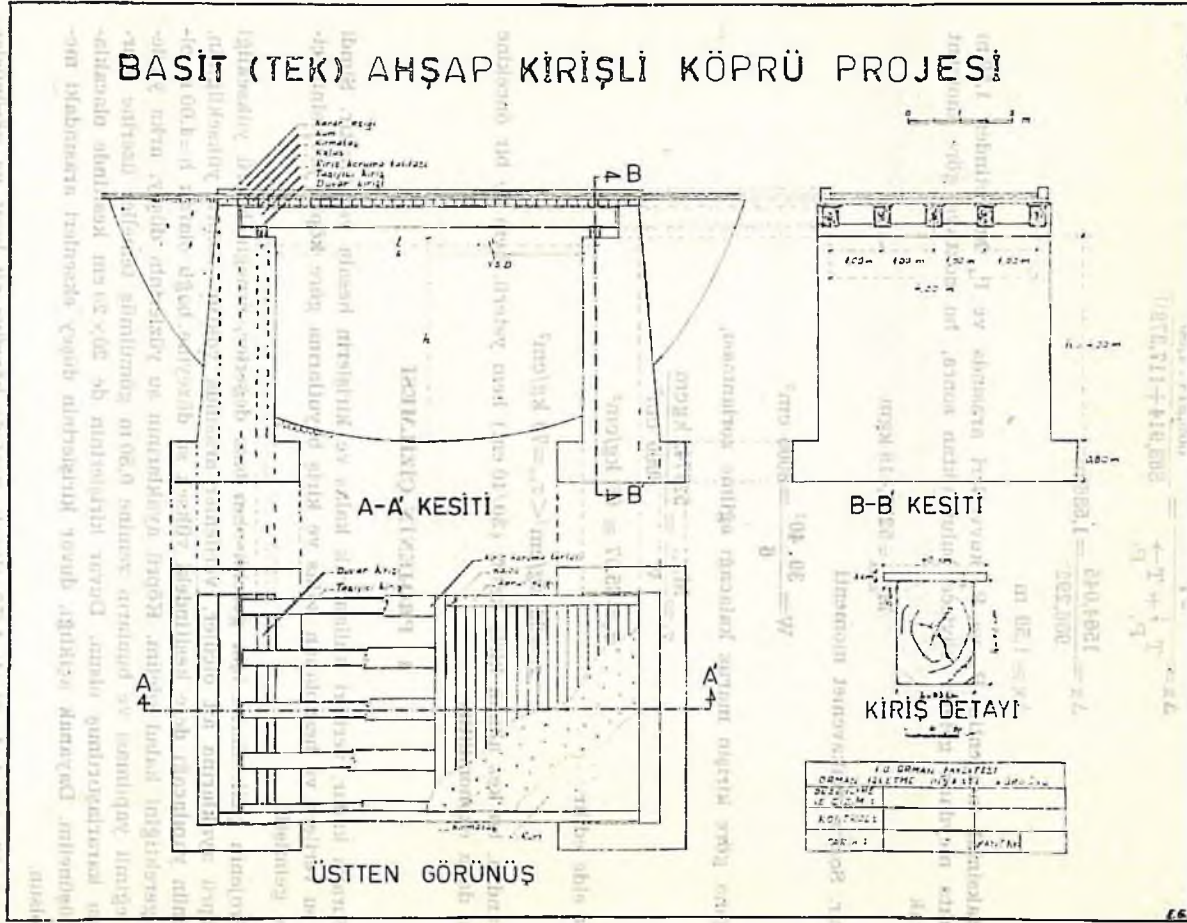
4 PROJENİN ÇİZİLMESİ

Buraya kadar, verileri kullanarak kalas ve kirişlerin hesabı yapılmıştır. Şimdi sıra, bu verilere ve hesaplanan kalas ve kiriş boyutlarına göre köprü projesinin çizimine gelmiştir.

Projenin çizilebilmesi için gerekli olan bazı değerler, örneğin köprü yüksekliği ve köprü ayaklarına ait ölçüler, verilenler arasında yoktur. Köprü yüksekliğinin, köprünün yapılacağı dere kesitindeki yüksek su düzeyine bağlı olarak $h=4,00$ m olması gerektiğini kabul edelim. Köprü ayaklarının su yüzlerinin düşey, arka yüzlerinin eğimli yapılması ve bunların zemine 0,80 m gömülmüş temeller üzerine oturulması kararlaştırılmış olsun. Duvar kirişlerinin de 20×20 cm kesitinde olacaklarını düşünelim. Dayanak açıklığı, duvar kirişlerinin düşey eksenleri arasındaki mesafe olsun.

Projenin çiziminde ölçek 1/50 olacak, projede köprüye ait kesit ve görünüşler birbirleriyle bağlantılı olarak çizilecek, genel esaslara uygun olarak projenin başlığı, ölçeği ve sınıflama çerçevesi unutulmayacaktır.

¹¹ $T_{P_5} \rightarrow = -117,318$ kg idi. Ancak bu eşitlikte $T_{P_4} \downarrow$ ve $T_{P_5} \rightarrow$ değerleri, iki üçgenin birer kenarının uzunlukları olarak yer almakta, dolayısıyla $T_{P_5} \rightarrow$ in, eşitlikle mutlak değer olarak - işareti hesaba katılmadan - yer alması gerekmektedir.



Resim 14.
Bir proje örneği (küçültülmüş).

Verilen, hesaplanan ve kabul edilen değerlere göre, istencilere uygun bir proje örneği Resim 14 de görülmektedir. Bu kesit ve görünüşlerin yanısıra, en elverişsiz yüklenme durumunun belirlenmesi amacıyla yapılan grafik incelemenin (Resim 11) ve buna bağlı olarak hazırlanan moment diyagramı ile kesme kuvvetleri diyagramının (Resim 12) da projeye katılması, ayrıca verileri ve yapılan hesapları kapsayan bir teknik raporun da projeye eklenmesi gereklidir.

Projenin tamamlanabilmesi için bir de maliyet hesabının yapılması zorunludur. Bu amaçla, köprünün yapılacağı yöre için geçerli rayiçlerden yararlanılarak köprü için gerekli her türlü malzemenin tutarı ile işçilik giderleri bulunur ve sonuçta köprünün maliyeti hesaplanır. Bizim üzerinde durduğumuz proje ödevinde maliyet hesabı istenmediğinden, burada bu hesabın ayrıntıları üzerinde durulmamıştır.

KAYNAKLAR ¹

ÇIKINOĞLU, Ferit 1947 : *Ormanda Ağaç Köprüler. Orman Genel Müdürlüğü Yayınlarından, Özel Sayı: 40, İstanbul.*

KITTREDGE, Joseph 1948 : *Forest Influences. McGraw - Hill Book Company, Inc., New York - Toronto - London.*

PEYNİRCİOĞLU, Hamdi 1951 : *Köprüler - Cilt I. Teknik Okulu Yayınları, Sayı 5, İstanbul.*

TAVŞANOĞLU, Faik 1973 : *Orman Transport Tesisleri ve Taşıtları. İ.Ü. Yayın No. 1744, Orman Fak. Yayın No. 182, İstanbul.*

TAVŞANOĞLU, Faik 1974 : *Sel Yataklarının Tahkimi, İ.Ü. Yayın No. 1972, Orman Fak. Yayın No. 203, İstanbul.*

¹ Bu yazının hazırlanmasında, belirtilen kaynakların yanısıra, Prof. Dr. Orhan Uzunsoy'un Orman Transport Tesisleri ve Taşıtları dersinin uygulama notlarından da yararlanılmıştır.