

ÖNGERMELİ BOŞLUKLU DÖŞEME PLAKLARININ HAZIRLANAN BİLGİSAYAR YAZILIMIYLA DEĞİŞİK YÜK VE AÇIKLIKLARA BAĞLI OLARAK TAŞIMA KAPASİTELERİNİN İNCELENMESİ

E. Hikmet BAYAR , A. Necati YELGİN

Özet-Beton plağın çekme gerilmesi oluşacak bölgelerinde basınç gerilmeleri meydana getirerek betonun çekme gerilmelerine maruz kalmasını engellemek amacıyla taşıyan öngerilme işlemi bu sayede çok daha narin kesitlerin dizaynına olanak tanımaktadır.

Bu çalışmada hazırlanan bilgisayar yazılımı yardımıyla farklı kesitlerde öngerilmeli boşluklu döşemelerin değişik yük ve açıklıklarda taşıma kapasiteleri incelenmiş ve döşeme elemanlarının öngerilme etkisindeki davranışı araştırılmıştır. Bu veriler ışığında farklı yük ve açıklıklar için belirli kesitteki öngerilmeli boşluklu döşeme elemanları için taşıma kapasiteleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler - Öngermeli Boşluklu Döşeme, Yük Açıklık Diyagramı, Kesit Dizaynı.

Abstract-In the process of prestressing concrete, the addition of compressive stresses to the tensile cross-sectional area of the concrete slab prevents the exposure of tensile stresses within that region. As a result more slender sectional designs can be incorporated.

In this article, with the assistance of prepared computer software, different load and span combinations of prestressed hollow slab members of differing cross-sections was examined. The slab member behaviour under prestressing was also investigated. The resulting observations revealed the various load capacities of certain prestressed hollow slab members in light of different loading and spanning combinations.

Keywords - Prestressed Hollow Core Slabs, Loading and Spanning Diagrams, Section Design.

E. H. Bayar, Sinta A.Ş., Organize San. Bölgesi, Gri Cad., No : 8 Bursa
A. N. Yelgin, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Esentepe, Sakarya

I. GİRİŞ

Önüretimli sanayi yapılarında büyük miktarlarda hareketli yüklere maruz kalan açıklıkların geçilmesinde öngerilmeli boşluklu döşemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Seri üretim imkanı sağlaması, kaliteyi yükselten fabrika ortamında üretim, taşıma ve montaj kolaylığı gibi etkenler bu elemanların kullanımını yaygınlaştırmaktadır.

Boşluklu döşemelerde öngerme işlemi, tutucu kafalar arasında gerdirilen öngerme tellerinin bulunduğu döşeme bandına gezici makine ile betonun dökülüp sıkıştırılması ve beton belli bir mukavemete ulaştıktan sonra tellerin bağlantılarından kurtarılması ile uygulanır. Böylece teller ve beton arasındaki aderans sayesinde kuvve betona aktarılır. Transfer aşamasında çelik ve beton arasında gerilme dengelenmesi sağlanır.

Öngerilmeli boşluklu döşeme üretiminde yüksek dayanımlı (C30 ve daha yukarı) betonlar kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra kullanılan öngerme telleri de, 170 kg/mm² gibi yüksek kopma mukavemetine sahip çeliklerden yapılmaktadır.[2]

Öngerilmeli elemanlarda zamanla öngerme kayıplarının oluşması söz konusudur. Bunlar betonda sünme, rötre ve elastik kısalma ile çeliğin sünmesi sonucu oluşan kayıplardır. Tüm bu etkiler ve değişik iklim koşulları vs göz önüne alındığında toplam %25 civarında bir öngerme kaybı dikkate alınmalıdır. [1]

II. ÖNGERİLİMLİ BOŞLUKLU DÖŞEME BOYUTLANDIRMA ESASLARI

II.1. Temel Esaslar

Öngerilmeli boşluklu döşemelerin kesitlerinin belirlenmesinde gerilmeler, öngerilme anından başlamak üzere tüm kullanım süreleri içerisinde etkisiz altında kalabilecekleri bütün elverişsiz durumlarda emniyet sınırları içinde kalacak, çatlak ve deformasyon yönünden kullanılabilir olacak ve taşıma güçleri de

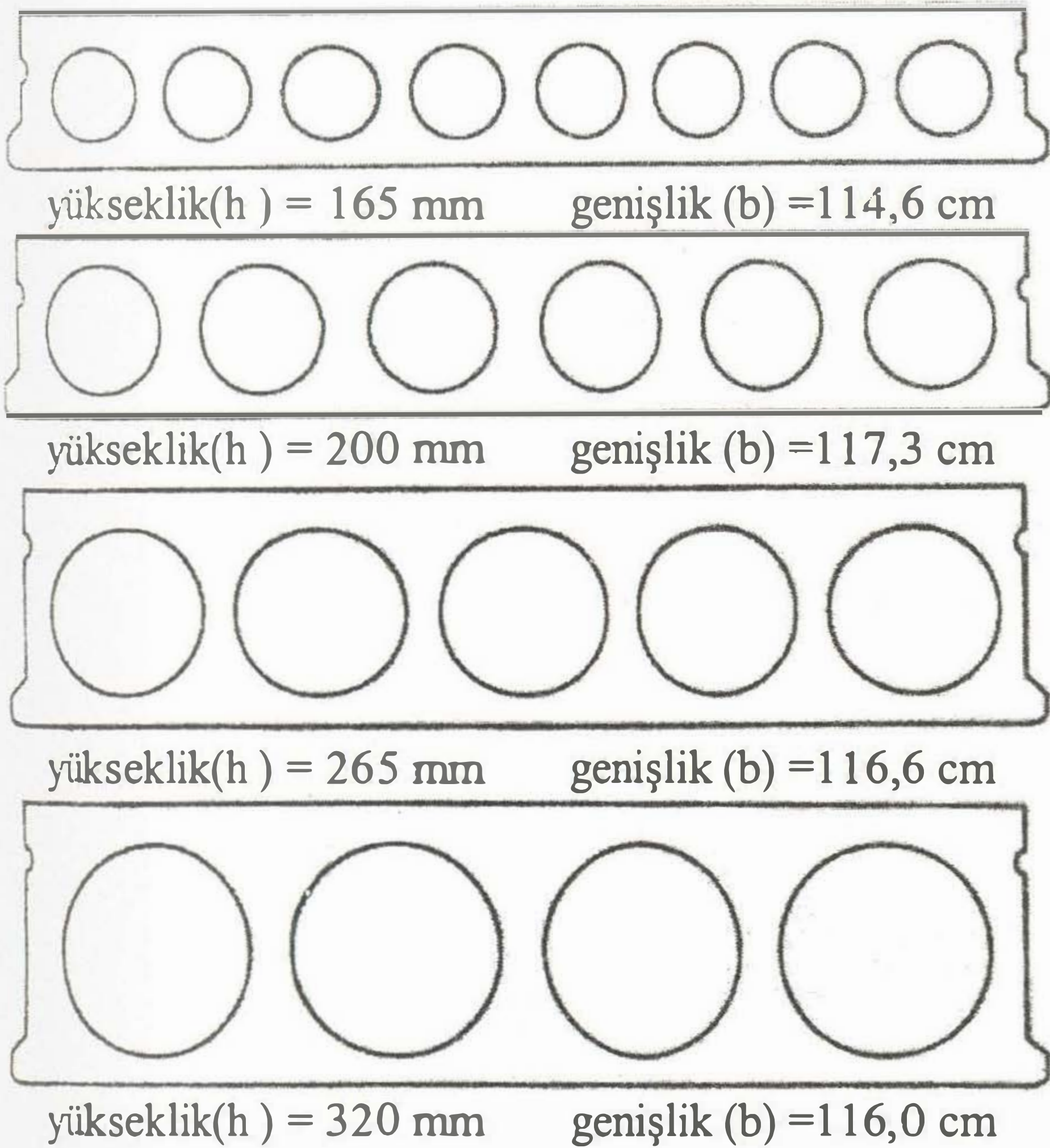
kırılmaya karşı yeterli emniyeti sağlayacak biçimde projelendirilmiş olmalıdır. [2]

Bunun yanı sıra öngermeli elemanda kesit kuvvetlerinin hesabı deneysel ve basitleştirici varsayımlara dayanılarak bilimsel yöntemlerle yapılmalıdır. Model üzerinde gereken durumlarda ölçmeler yapılarak hesap ilkelerinin araştırılması ve düzeltilmesi için ölçmeler yapılmalıdır.[5]

Emniyet gerilmeleri yöntemi ile yapılan hesaplarda şu varsayımlar yapılmaktadır ;

- Birim deformasyon dağılımı kesit boyunca doğrusaldır.
- Gerilme kayıplarına maruz kalan öngirme çeliği ve beton doğrusal elastik davranış göstermelidir. Gerilme dağılımı kesit boyunca doğrusal kabul edilir.

Geçilecek olan açıklık ve yük miktarına bağlı olarak öngermeli boşluklu döşemenin dizaynı için döşeme kesiti seçimi yapılır. Böylece sistem oluşturulur. Belirli kalıp özelliklerine göre boşluklu döşeme kesitlerinin kesit ve atalet momenti değerleri hesaplanır.



Şekil 1. Boşluklu Döşeme Kesitleri

Şekil 1'de görüldüğü üzere genel olarak öngermeli boşluklu döşemeler, 16.5 cm, 20,0 cm, 26.5 cm ve 32,0 cm'lik yüksekliklerde ve kalıp genişlikleri 120 cm olup

farklı boşluk oranlarına sahiptirler. Öngermeli boşluklu döşeme tiplerinin kesit özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Boşluklu Döşeme Özellikleri

Döşeme Tip No	1	2	3	4
Döşeme Kalınlığı (cm)	16.5	20.0	26.5	32.0
Döşeme Genişliği (cm)	114.6	117.3	116.6	116.0
Kesit Alanı (cm ²)	1198	1423	1717	2050
Atalet Momenti (cm ⁴)	38126	66899	150811	261811

Öngermeli hesaplarında seçilecek öngirme teli miktarının belirlenmesinde uzun dönem gerilmelerini karşılayacak donatı alanı esas alınarak hesaplamalar yapılır.

Uzun dönemde kesit ağırlık merkezi olarak, döşeme plağı ve topping betonundan oluşan kompozit kesitin ağırlık merkezi esas alınır ve bu kesite göre gerilme hesabı yapılır.

f_1 : boşluklu döşeme kesit alanı,
 f_2 : kaplama betonu kesit alanı,
 y_1 : boşluklu döşeme kesit ağırlık merkezi y koordinatı değeri,
 y_2 : kaplama betonu kesit ağırlık merkezi y koordinatı değeri olmak üzere,

Kompozit kesit ağırlık merkezi E_h ,

$$E_h = (f_1 \cdot y_1 + f_2 \cdot y_2) / (f_1 + f_2) \quad (1)$$

olarak hesaplanır.

Oluşan yeni kesitin atalet momenti,

$$I_{yeni} = (I_h + f_1 \cdot (y_1 - E_h)^2) + [I_c + (w_h \cdot H_c) \cdot (y_2 - E_h)^2] \quad (2)$$

olarak hesaplanır. Burada

I_c : boşluklu döşeme atalet momenti,
 w_h : boşluklu döşeme genişliği,
 I_h : boşluklu döşeme kesiti atalet momenti,
 H_c : kaplama betonu yüksekliğidir.

Uzun dönemde kompozit kesitte dizayn yüklerinden dolayı kesitin altta oluşacak gerilme değeri,

$$\sigma_{alt-uzun} = M_{zati} / W_{alt} \quad (3)$$

olarak hesaplanır. Burada ;

M_{zati} : boşluklu döşeme zati yüklerinden dolayı oluşan moment,
 W_{alt} : kesit alt kısım mukavemet momentidir.

Uzun dönem için öngirme kuvveti değeri,

$$P_{St2} = \sigma_{alt-uzun} \cdot W_{alt} \cdot A_{yeni} / (W_{alt} + (Eh - e') \cdot A_{yeni}) \quad (4)$$

bağıntısıyla hesaplanır

A_{yeni} : kompozit kesit alanı
 e' : öngerilme teli demeti eksantritesi .

Uzun dönem gerilme kayıplarına göre gereken öngerilme donatı alanı ise,

$$A_{st} = P_{St2} / ((f_{yd} \cdot 0.70) \cdot (1 - \text{kayıp \%})) \quad (5)$$

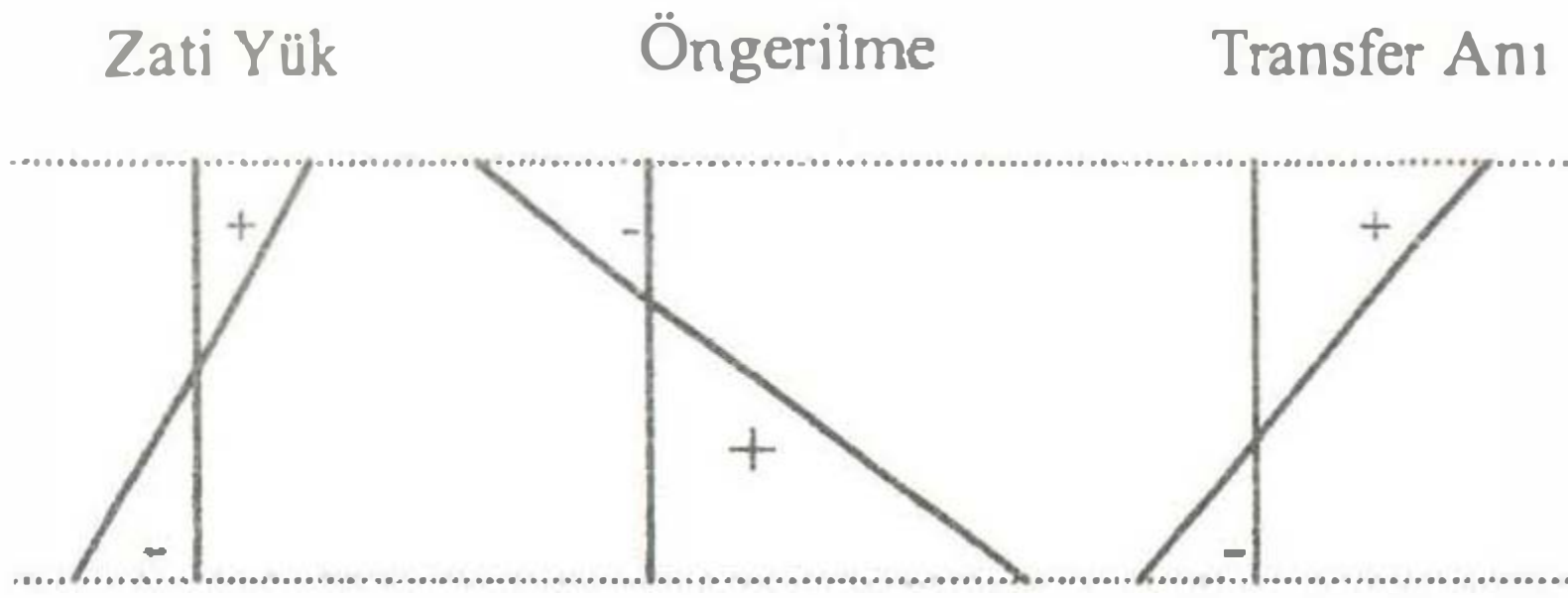
f_{yd} : öngerme teli kopma mukavemeti,

0.70 faktörü ise TS 3233 Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları gereğince gevşeme (relaksasyon) kayıpları çarpanıdır.

II.2. Gerekli Öngerilme Teli Kesit Alanına Göre Yapılan Hesaplamalar

II.2.1. Transfer Anı

Transfer aşamasında yalnız zati yükü etkisinde bulunan döşeme plağına öngerilme kuvveti uygulanarak çelik ve beton arasında dengeli bir gerilim sağlanması için gerilim aktarımı yapılır (Şekil 2). Bu işlemde hemen sonra, donatının gerilmesinde henüz zamana bağlı gerilme kayıpları oluşmamaktadır. Kablo kuvveti başlangıçtaki değerini korumaktadır.



Şekil 2. Transfer Anında Öngerilme Aktarımı

Transfer anı öngerme kuvveti,

$$P_{St1} = 0.7 \cdot f_{yd} \cdot A_{St} \quad (6)$$

olarak hesaplanır.

H_h : döşeme yüksekliği

olmak üzere transfer anı öngerilme momenti;

$$M_{pre} = P_{St1} \cdot (H_h / 2 - e') \quad (7)$$

q_{zati} zati yükü etkisiyle l_d boyundaki boşluklu döşeme transfer anında oluşan moment

$$M_{zati} = (q_{zati} \cdot l_d^2) / 8 \quad (8)$$

bağıntılarıyla hesaplanır.

Transfer anında döşemenin kendi ağırlığından dolayı altta ve üstte meydana gelen gerilmeler,

$$\sigma_{üst-zati} = (-) \sigma_{alt-zati} = (M_{zati} / I_h) \cdot (H_h / 2) \quad (9)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

Zati yüklerden düşey yönde aşağı doğru oluşan sehim,

$$\delta_{zati} = (5/384) ((q_{zati} \cdot l_d \cdot l_d^3) / (E_c I_h)) \quad (10)$$

bağıntısıyla hesaplanır. (E_c : beton elastisite modülü)

Öngerme kuvvetinden dolayı oluşan gerilmeler ise,

Üst gerilme,

$$\sigma_{üst-pre1} = (P_{St1} / A_h) - (M_{pre} / I_h) \cdot (H_h / 2) \quad (11)$$

Alt gerilme,

$$\sigma_{alt-pre1} = (P_{St1} / A_h) + (M_{pre} / I_h) \cdot (H_h / 2) \quad (12)$$

olarak hesaplanır. Burada A_h boşluklu döşeme kesit alanıdır.

Düşey doğrultuda yukarı yönde oluşan sehim,

$$\delta_{pre1} = ((M_{pre} l_d^2) / (8 E_c I_h)) \quad (13)$$

olarak hesaplanır.

Transfer anında zati döşeme yükü ve öngerme kuvvetinden dolayı oluşan toplam gerilmeler,

Üst kısımda;

$$\sigma_{tr-üst} = \sigma_{üst-zati} + \sigma_{üst-pre1} \quad (14)$$

Alt kısımda;

$$\sigma_{tr-alt} = \sigma_{alt-zati} + \sigma_{alt-pre1} \quad (15)$$

olarak belirlenir.

Elde edilen toplam gerilme değerlerinin emniyet ve yönetmelik (TS 3233 Öngerilmeli Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TS 9967 Prefabrike Yapıların Yapım Montaj Hesap Esasları) sınırlamalarına uygunluğu kontrol edilmelidir.

Transfer anı için toplam deformasyon,

$$\delta_{pre} = (+)\delta_{zati} + (-)\delta_{pre1} \quad (16)$$

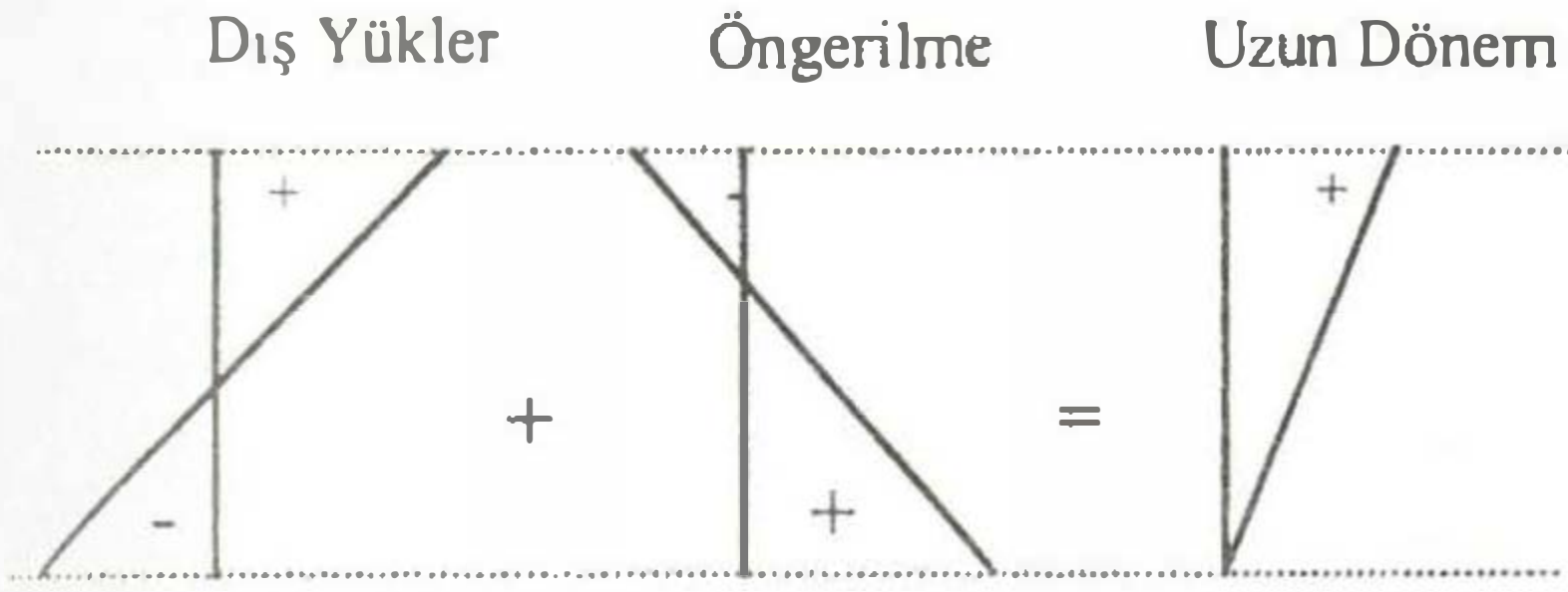
şeklinde bulunur.

Transfer anı için toplam gerilme miktarları alt ve üst lifler için ayrı ayrı olarak boşluklu döşeme betonu basınç ve çekme dayanımları ile karşılaştırılarak ve hem basınç hem de çekme gerilmesi emniyet koşullarının ve sehim emniyetinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir.

II.2. 2. Uzun Dönem

Öngerilme uygulanmış olan boşluklu döşeme uzun dönemde işletme durumuna girmiş ve döşeme kesitinin yanında topping betonu da öngerilme etkisine girmiş ve böylelikle ortaya kompozit bir kesit çıkmış olur.

Bu durumda döşemeye kendi zati yükleri ile beraber kaplama zati yükleri ve işletme hareketli yükleri de etki etmektedir. (Şekil 3).



Şekil 3. İşletme Yükleri Altında Gerilme Diyagramı

Uzun dönem öngerme kuvveti,

$$P_{St2} = 0.7 \cdot n \cdot f_{yd} \cdot A_{St} \quad (17)$$

olur. (n , kayıp sonrası net gerilme oranı katsayısıdır.)

Oluşan öngerme momenti,

$$M_{pre2} = P_{St2} \cdot (E_h - e') \quad (18)$$

olarak hesaplanır.

$M_{dış}$, dış yüklerden dolayı oluşan moment olmak üzere

Dış yüklerden dolayı oluşan üst gerilme,

$$\sigma_{üst-dış} = M_{dış} / W_{üst} \quad (19)$$

Dış yüklerden dolayı oluşan alt gerilme,

$$\sigma_{alt-dış} = M_{dış} / W_{alt} \quad (20)$$

olarak hesaplanır. (W_{alt} : kesit alt kısmı mukavemet momenti)

Aşağı yönde oluşan sehim,

$$\delta_{dış} = (5/384) ((q_{dış} l_d l_d^3) / (E_c I_{yeni})) \quad (21)$$

olarak bulunur.

Öngerme kuvvetinden dolayı oluşan gerilmeler,

Üst gerilme,

$$\sigma_{üst-pre2} = (P_{St2} / A_{yeni}) - (M_{pre2} / W_{üst}) \quad (22)$$

Alt gerilme,

$$\sigma_{alt-pre2} = (P_{St2} / A_{yeni}) + (M_{pre2} / W_{alt}) \quad (23)$$

bağıntılarıyla hesaplanır.

Yukarı yönde oluşan sehim,

$$\delta_{pre2} = ((M_{pre2} l_d^2) / (8 E_c I_{yeni})) \quad (24)$$

olarak hesaplanır.

Buna göre uzun dönemde işletme yükleri etkisindeki döşemede oluşan toplam gerilme,

$$\sigma_{üst-uzun} = \sigma_{üst-dış} + \sigma_{üst-pre2} \quad (25)$$

$$\sigma_{alt-uzun} = \sigma_{alt-dış} + \sigma_{alt-pre2} \quad (26)$$

bağıntılarıyla hesaplanır.

Uzun dönemde toplam deformasyon ise,

$$\delta_{uzun} = (+)\delta_{dış} + (-)\delta_{pre2} \quad (27)$$

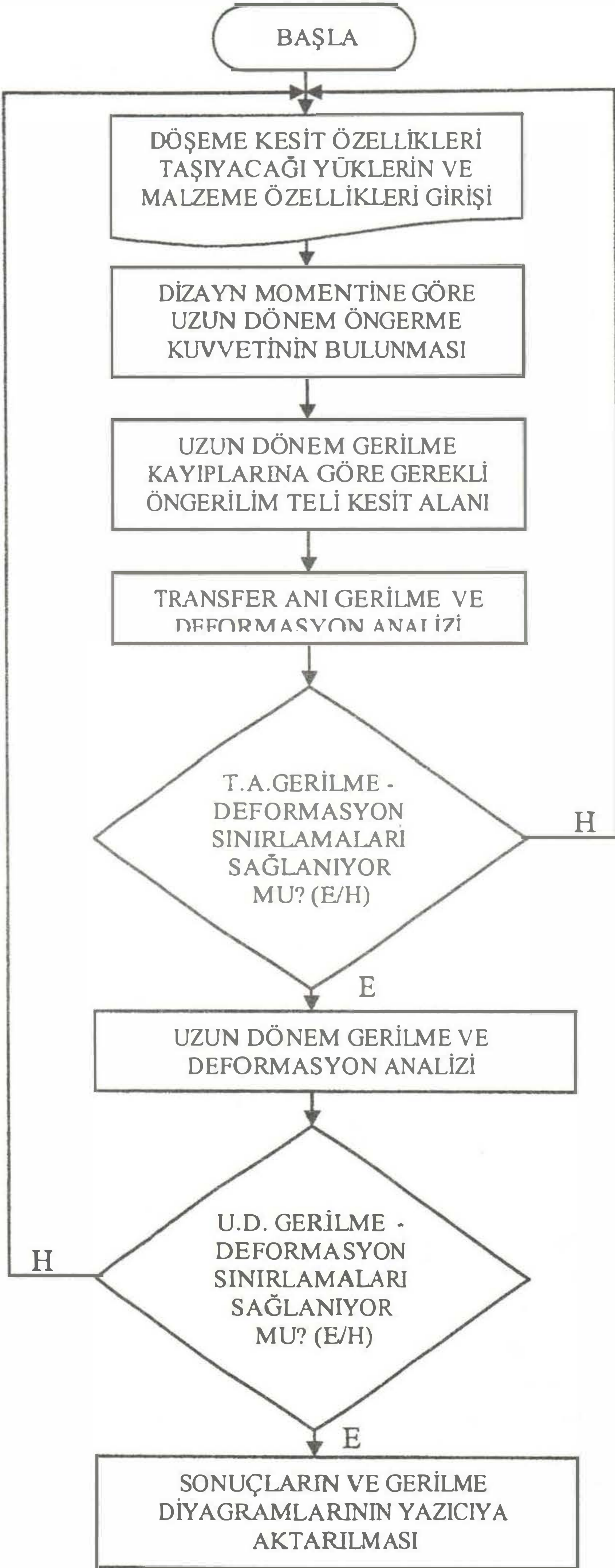
olur.

Uzun döneme ait gerilme değerlerinin emniyet ve yönetmelik sınırlamalarına uygunluğu kontrol edilir. [4]

Betonun özelliğinden dolayı çekme mukavemeti ve çekme kopma uzaması sıfır veya sıfıra yakındır. Bu durum betonun önemli bir dezavantajıdır. Bu kusurun giderilmesi, işletme durumunda söz konusu olabilecek tüm yükleme hallerinde, taşıyıcı sistemin hiçbir kesitinde ya hiç çekme gerilmesi olmamasını veya bu çekme gerilmesinin çatlama olmayacak kadar küçük kalmasını veya çatlak genişliğinin istenilen değeri aşmamasını temin eden bir gerilme durumunu dış yüklerden önce veya onların bir kısmının etkimesi ile beraber taşıyıcı sistemde yapay olarak yaratmak suretiyle mümkün olur. [7]

III. ÖNGERİLMELİ BOŞLUKLU DÖŞEME TİP KESİTLERİ İÇİN AÇIKLIK-YÜK KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ

Yukarıda belirtilen boyutlandırma adımları ışığında Microsoft Excel ortamında Öngermeli Boşluklu Döşeme Dizayn Yazılımı hazırlanmıştır.

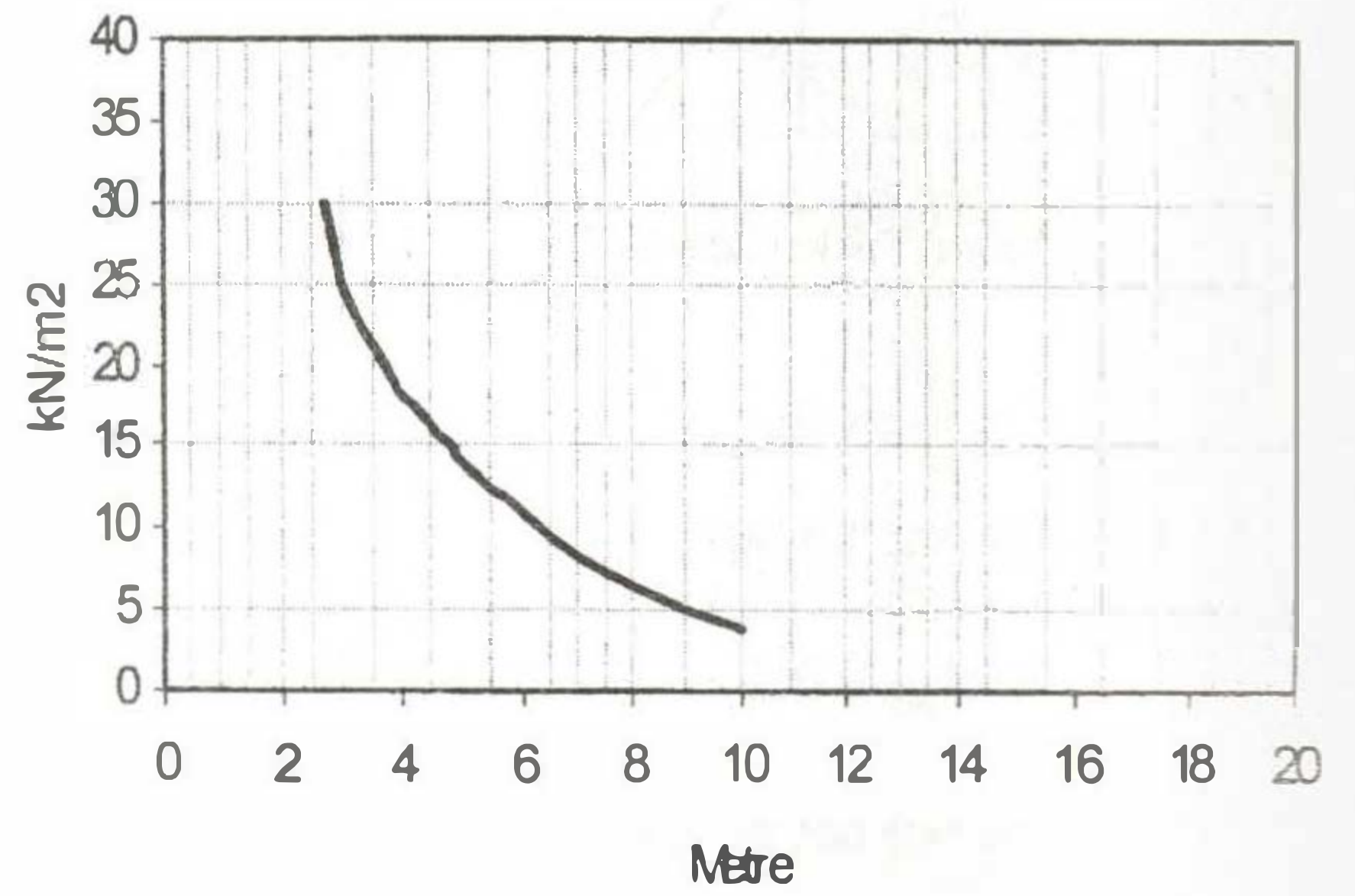


Şekil 4. Öngermeli boşluklu döşeme dizayn yazılımı akış diyagramı

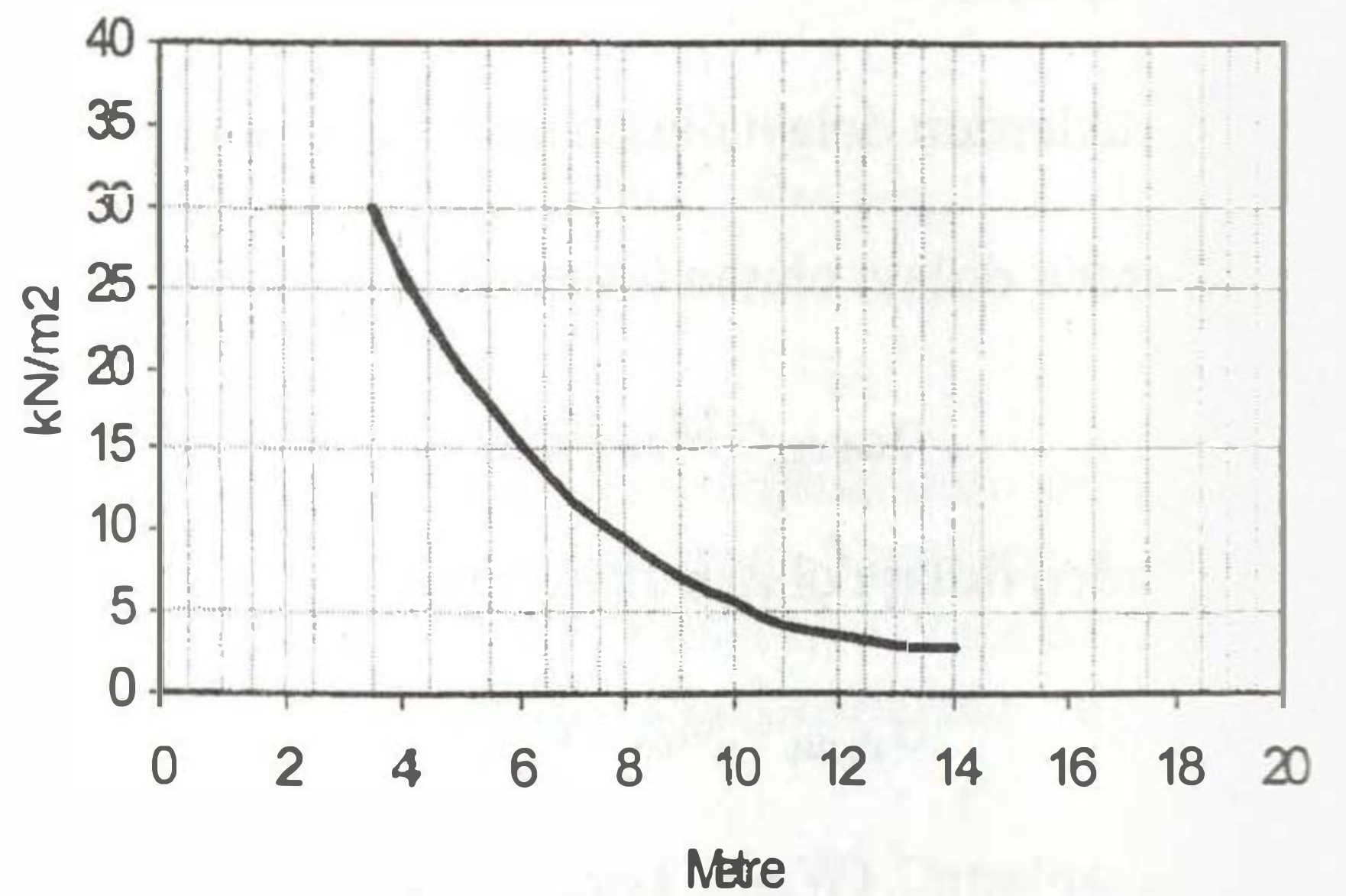
Şekil 4'te akış diyagramı görülen yazılım beton ve öngermeli tel malzeme özellikleri, etkiyen dış yükler ve seçilen kesit özelliklerine bağlı olarak gerekli öngermeli miktarını belirleyerek öngermeli boşluklu döşeme plağının transfer anında ve işletme durumunda (uzun dönem) gerilme ve deformasyon kontrollerini gerçekleştirmekte ve kesit gerilme diyagramlarını oluşturmaktadır.

Çalışmada C40 sınıfı beton kullanımı esas alınmış olup tasarım esasların da belirtilen toplam öngermeli kayıpları oranı (%25) dikkate alınmıştır.

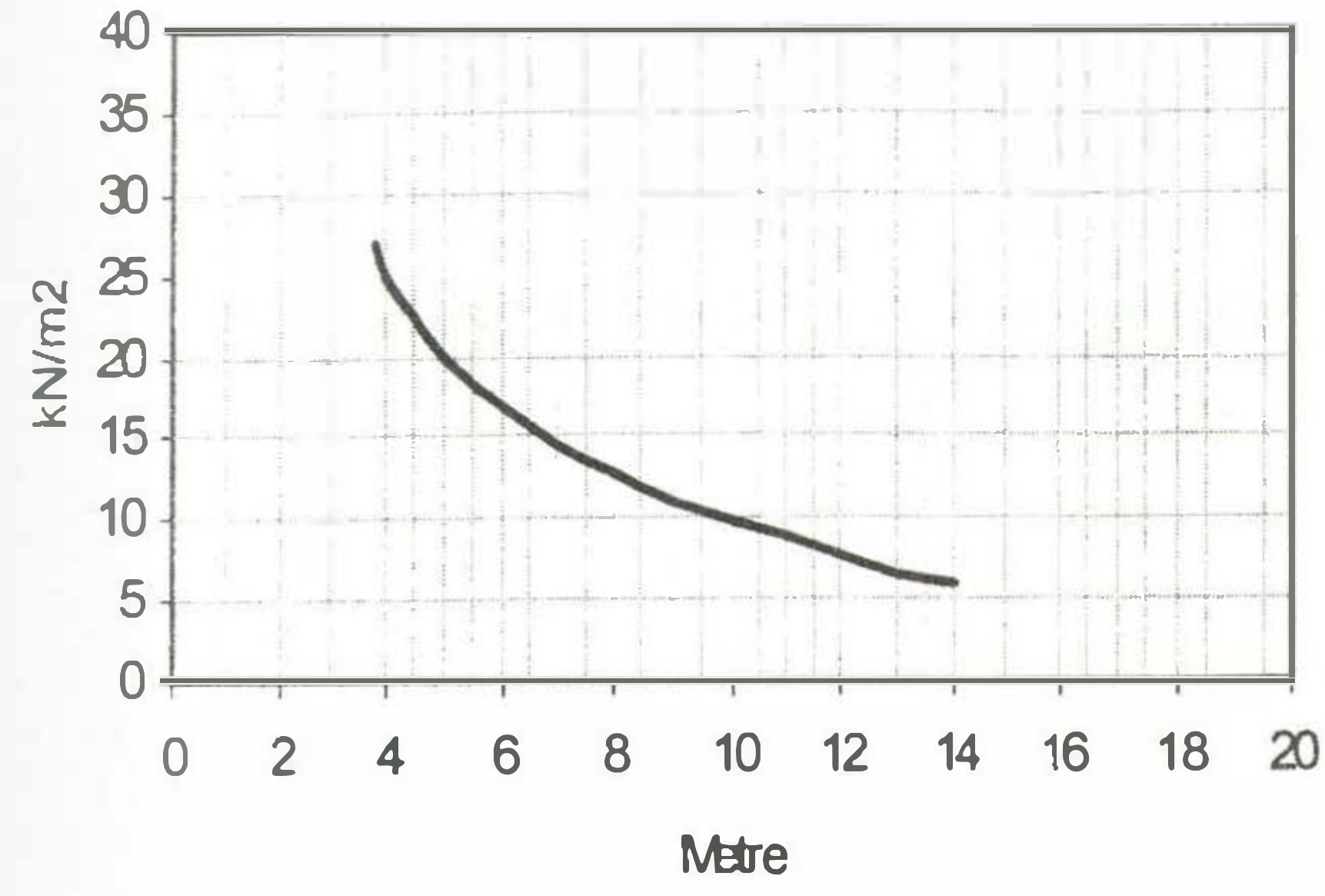
Buna göre belirtilen özelliklere dayanarak her döşeme tipi için farklı açıklıklar ve yüklemeler için $h = 165$ mm'lik (Şekil.5), için $h = 200$ mm'lik (Şekil.6), için $h = 265$ mm'lik (Şekil.7) ve için $h = 165$ mm'lik (Şekil.8) döşeme yük açıklık diyagramları oluşturulmuştur.



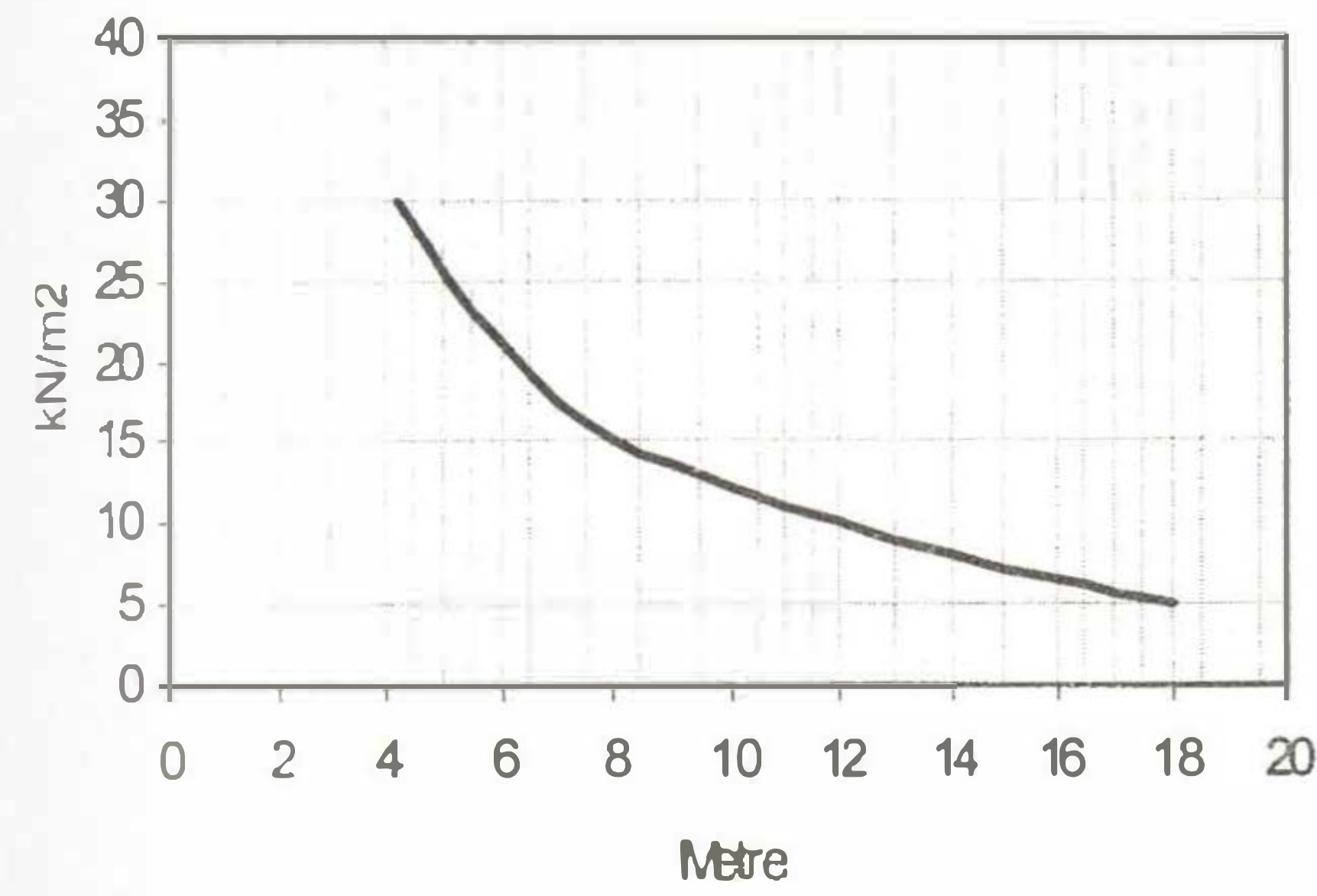
Şekil 5. $h = 165$ mm döşeme tipi için yük açıklık kapasite diyagramı



Şekil 6. $h = 200$ mm döşeme tipi için yük açıklık kapasite diyagramı



Şekil 7. h = 265 mm döşeme tipi için yük açıklık kapasite diyagramı



Şekil 8. h = 320 mm döşeme tipi için yük açıklık kapasite diyagramı

IV. SONUÇLAR

Endüstri yapılarında gerek tek başlarına gerekse kompozit kesit olarak çok sıklıkla kullanılan öngermeli boşluklu döşemeler, seri üretim ve montaj kolaylıkları ve ilgili avantajlarını kaliteli ve ekonomik kesit tasarımları için kullanmak mümkündür.

Kullanılan farklı kesitlerdeki boşluklu döşeme tipleri arasındaki en az yükseklikte olanı 165 mm'lik döşemelerin yaklaşık olarak 9 m açıklığa kadar geçilebildiği görülmektedir (Şekil 5). Ancak bu açıklık 10 kN/m² gibi çok düşük faydalı yüklerle geçilebildiği görülmektedir. Bu yüzden bu tip döşeme çok hafif ve nispeten dar açıklıklarda kullanılabilir.

Şekil 6'daki 200 mm'lik öngermeli boşluklu döşemeye yük diyagramından 6 ila 8 m gibi açıklıklarda normal yüklerine sahip bir yapının faydalı yüklerinin uygun ekonomik bir kesitle taşınabildiği görülmektedir.

Endüstriyel yapılardaki aşırı yüklemelere nispeten uygun olan kesit Şekil 7 de yük açıklık diyagramı yer alan 265 mm'lik döşemelerdir.

Ancak en büyük kesite sahip olan 320 mm'lik döşemelerle 14 m. gibi geniş açıklıkların da geçilebildiği görülmektedir. Bu döşeme tipinin taşıma kapasitesi göz önüne alındığında ağır makine ve araç yüklerine sahip yapılarda uygun kesit olduğu görülmektedir.

Öngermeli boşluklu döşemelerde kesit tasarımında, açıklık ve hareketli yük gibi etkenlerin yanında kaplama betonunun atalet momenti de etkili olmaktadır. Bunun yanı sıra aderansın sağlanması ile yeterli basınç ve çekme gerilmelerinin karşılanabilmesi için yüksek dayanımlı beton kullanılması uygun olmaktadır.

Öngermeli boşluklu döşeme elemanlarının kesitlerinin ön tasarım ve boyutlandırılmasında, yük açıklık ilişkisinden faydalanılarak hazırlanan bu diyagramların kullanılması yararlı olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Collins, M. P., Mitchell, D., Prestressed Concrete Structures, Prentice Hall, New Jersey, 1991.
- [2] I. Öngermeli Beton ve Uygulamaları Semineri, İTÜ, Rabak A.Ş., İstanbul, 1986.
- [3] Hanahmedova, Z., Betonarme ve Öngermeli Yapıların Tasarımı, Ankara, 1998.
- [4] TS 3233 Öngermeli Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Ankara, 1979.
- [5] Gilbert, R. I., Mickleborough, Design of Prestressed Concrete, Unwin Hyman, 1990.
- [6] Ersoy, U., Betonarme, Cilt I, Evrim Yayınevi, İstanbul, 1985.
- [7] Nawy, E. G., Prestressed Concrete, Prentice Hall, New Jersey, 2000.
- [8] Dobrowolski, J. A., Concrete Construction Handbook, McGraw Hill, 1990.