

Helisel İki Kol Ortasında Dairesel Sahanlığa Sahip Uzak Taşıyıcı Merdivenler

Sadık KÖSEOĞLU*

ÖZ

Bu çalışmada, helisel iki kol ortasında dairesel sahanlığa sahip uzak taşıyıcı merdivenlerin uzak çubuk sistem olarak statik analizi, değişik üç çözüm yöntemi ile incelenmektedir. Bu çözüm yöntemlerinden birincisi, uzak çubuk sistemin (hiperstatik sistemin) kuvvet yöntemine dayanan sürekli çözüm yöntemi ile ilgili kapalı formüllerin çıkarılmasına yöneliktir. İkinci yöntem, SAP2000 programı ile yapılan sonlu eleman (ayrık-discrete) çözümü olarak seçilmiştir. Üçüncü yöntem ise, sahanlıklı helisel merdivenin aynı kat yüksekliğine ve açılım açısına sahip, sahanlıksız fiktif helisel merdivende kuvvet yöntemine dayanan çözümünden yararlanarak oluşturulan yaklaşık yöntemdir.

Bir sayısal örnek üzerinde her üç yöntemle elde edilen iç kuvvetler karşılaştırılmış ve sürekli (kapalı) çözümden elde edilen iç kuvvetlere göre farklılıklar ve nedenleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Helisel merdiven, kuvvet yöntemi, ayrık çözüm.

ABSTRACT

Three-Dimensional Spiral Staircases with Two Helical Portions and a Circular Landing

In this study, the statical analysis of three-dimensional spiral staircases modeled as space bar structures has been investigated by three different solution methods. The first approach uses the force method and an attempt is made to obtain a closed solution for the statically indeterminate spatial system. In the second method, a finite element analysis is conducted by means of the program SAP2000 resulting in a discrete solution. The third approach models the structure as an equivalent spiral staircase of the same height and helical angle without a landing and an approximate solution is obtained by means of the force method.

The internal forces obtained by each of these methods are compared on a numerical example and the reasons of the differences in internal forces with respect to the exact solution are investigated.

Keywords: Helical staircase, force method, discrete solution

Not: Bu yazı

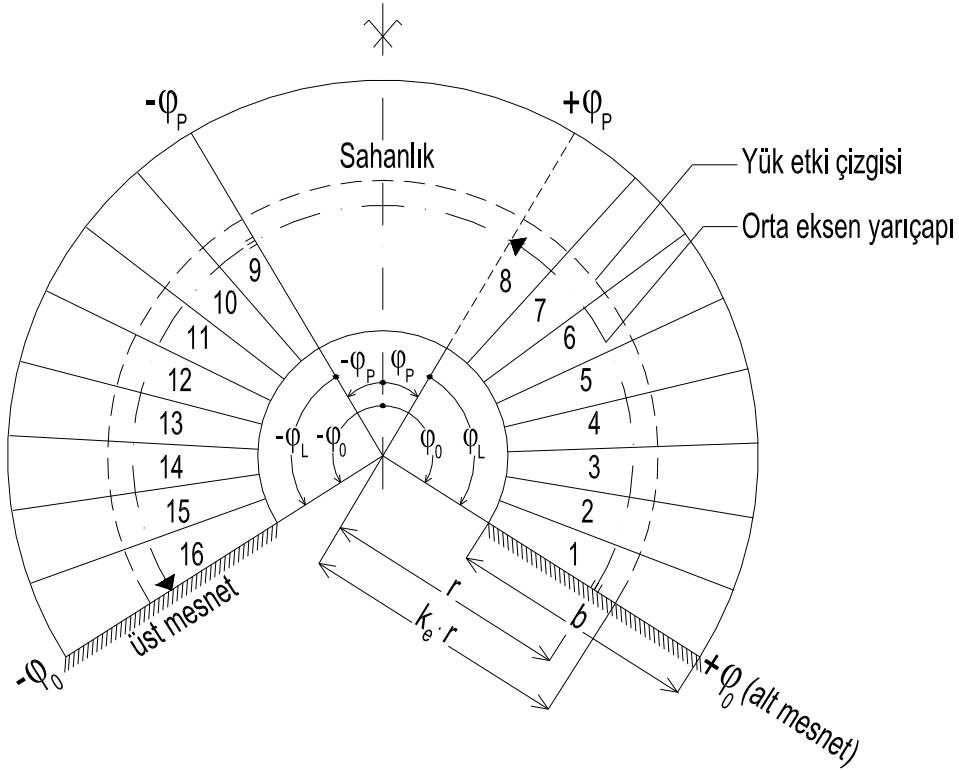
- Yayın Kurulu'na 13.11.2009 günü ulaşmıştır.
- 30 Haziran 2011 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* BST Mühendislik Ltd. Şti., Antalya - koseoglusa@gmail.com

1. GİRİŞ

Helisel merdivenler genellikle büyük alanlı giriş katlarından bir üst kata çıkmak için düzenlenen ve işlevi kadar görünüşü ve estetiği de çok önemli olan yapı bölümleridir. Bu tür merdivenler uzay taşıyıcı sistemler olduğundan mimari tasarımı kadar, statik analizi ve boyutlandırılması da özel bilgi ve deneyim gerektirir.

Helisel merdivenler çoğunlukla iddialı yapıların giriş katlarında kullanıldığından, kat yükseklikleri genellikle normalden daha yüksek seçilmektedir. Sirkülasyon yoğunluğu yüksek bu tür merdivenlerin kat yükseklikleri 2 m'nin üstüne çıktığında, merdivende yürüme konforu yönünden merdivenin orta bölgesine uzunluğu merdiven genişliğinden az olmamak üzere bir sahanlık düzenlenmesi ilgili yönetmelikler tarafından istenmektedir. Düzenlenen bu sahanlık, bir taraftan merdivenin iniş çıkış konforunu artırırken, öte taraftan merdivenin estetiği üzerinde de önemli bir katkı sağlamaktadır. Bu nedenlerden dolayı sözü edilen yapılarda sıkça uygulanan, ortasında sahanlığı bulunan helisel merdivenin statik analizi çeşitli hesap yöntemleri ile incelenmiştir. Bir uygulama örneği üzerinde mesnetlerin tam ankastre ve elastik ankastre durumlarına göre, değişik üç hesap yönteminden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak, farkların nedenleri açıklanmaya çalışılmıştır.



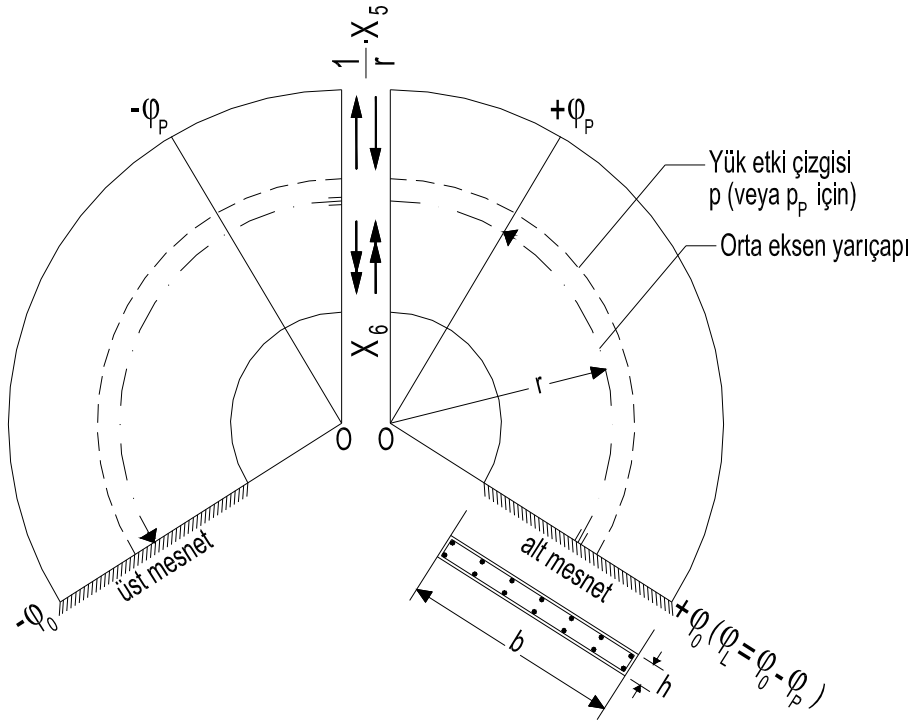
Şekil 1. Sahanlıklı Helisel Merdiven Plan Görünüşü

2. İKİ UCUNDAN ANKASTRE MESNETLİ SAHANLIKLI HELİSEL MERDİVENİN KUVVET YÖNTEMİNE GÖRE STATİK ANALİZİ

Ara sahanlıklı helisel merdivenin elastik, izotrop ve homojen bir malzemeden oluştuğu varsayılmıştır. Merdiven taşıyıcı sistemi, doğrusal elastik davranan üç boyutlu (uzaysal) çubuk sistem olarak (birinci merteye kuramına göre) incelenmiştir.

Ara sahanlıklı uzay taşıyıcı helisel merdivenin statik analizi, planda r yarıçapında olan helisel bir çubuk sistem olarak kuvvet yöntemine dayanan sürekli (kapalı) çözüm yöntemi ile yapılabilir.

Sahanlığın merdivenin ortasında bulunması durumunda (ki bu durum, merdivenin işlevselliği yönünden de tercih edilmesi gerekir), taşıyıcı sistemin ve yüklemenin merdiven ortasına göre simetrik olması özelliğinden yararlanarak, izostatik ana sistemin elde edilmesi amacıyla merdiven (sahanlık) ortasından bir kesim yapıldığında, biri V_y kesme kuvvetini karakterize eden $\frac{1}{r} \cdot X_5$ ve diğeri M_y eğilme momentini karakterize eden X_6 hiperstatik bilinmeyen ortaya çıkar (Diğer 4 hiperstatik bilinmeyen $X_1 = X_2 = X_3 = X_4 = 0$ olur). Burada her iki hiperstatik bilinmeyen birimlerinin aynı olmasını (kNm biriminde) sağlamak amacıyla X_5 bilinmeyeni izostatik ana sistemde $\frac{1}{r} \cdot X_5$ olarak gösterilmiştir (bak. [1], [2] ve [3]).



Şekil 2. İzostatik Ana Sistem ve Hiperstatik Bilinmeyenler

2.1 Tanımlamalar ve İşaret Kuralları

Tanımlamalar

- r : Merdivenin plandaki ortalama yarıçapı (kol ve sahanlık için),
 $2\varphi_0$: Merdivenin toplam açılım açısı,
 φ : Merdivenin yarısı için değişken açılım açısı ($0 \leq \varphi \leq \varphi_0$),
 α : Kol eksenine boyunca eğim açısı,
 b : Merdiven kolu ve sahanlık genişliği,
 h : Merdiven taşıyıcısının kalınlığı,
 p ve p_p : Helisel kolun ve yatay sahanlığın yatay düzlemdeki birim yük çizgisi uzunluğuna etki eden toplam şerit yüküdür (kN/m).

İşaret kuralları:

φ açılım açısı: Merdiven ortasından başlayarak iniş doğrultusunda pozitif, çıkış doğrultusunda negatif olarak alınır.

Merdivenin kol eksenindeki $\tan \alpha$ eğiminin işareti daima pozitif alınır.

İlke olarak, pozitif φ yönü dış normalin yönünde olan kesitte, kesit büyüklüklerinin yönleri koordinat eksenlerinin pozitif yönleriyle çakıştığında işareti pozitif alınmaktadır. Bu genel kuralın uygulanması sırasında bazı iç kuvvetlerin işaretleri, sağ dönüşlü* merdivende sol dönüşlünden farklı olarak elde edilmektedir. Bu nedenle gerek sağ, gerekse sol dönüşlü merdivenlerde, iç kuvvet işaretlerinin aynı olmasını sağlayabilmek amacıyla işaret kuralı aşağıdaki biçimde verilmektedir:

N Normal kuvvet : çekme pozitif,

M_y Eğilme momenti : kesitin alt tarafında çekme doğuruyorsa pozitif,

M_z Eğilme momenti : kesitin dış tarafında çekme doğuruyorsa pozitif,

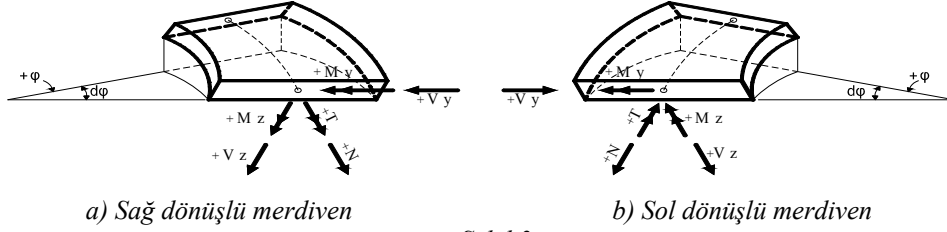
Ayrıca dış normal φ 'nin artma yönünde olan kesitlere bakıldığında;

V_y Kesme kuvveti : dıştan içe doğru etkirse pozitif,

V_z Kesme kuvveti : yukarıdan aşağı doğru etkirse pozitif,

T Burulma momenti: sağ dönüşlü merdivenlerde (Şekil 1'deki merdivende ve Şekil 3a'daki kesit elamanında olduğu gibi) sola (saat ibresine ters yönde) döndüren, sol dönüşlü merdivenlerde sağa (saat ibresi yönünde) döndüren moment pozitif alınmaktadır. Buna göre sağ ve sol dönüşlü merdivenlerin dış normal φ 'nin artma yönünde olan kesitleri için iç kuvvetlerin pozitif yönleri Şekil 3'de gösterilmiştir.

* Sağ dönüşlü merdiven deyimi ile, pozitif φ yönü (iniş doğrultusu) saat ibresi yönünü gösteren merdivenler amaçlanmıştır.



Şekil 3

2.2 İzostatik Ana Sistemde Dış Yüklerden ve Birim Yüklemelerden Oluşan İç Kuvvetler

2.2.1 Sahanlıkta dış yüklerden ($X = 0$) oluşan iç kuvvetler

-Merdiven alt yarısı için:

[3]'deki Formül 5.31'de, merdiven eğim açısı $\alpha=0$ alınarak;

$$\left. \begin{aligned} V_{y0} &= 0, & V_{z0} &= -p_p \cdot r \cdot \varphi, & N_0 &= 0, \\ M_{y0} &= -p_p \cdot r^2 \cdot k_e \cdot (1 - \cos \varphi) \\ M_{z0} &= 0 \\ T_0 &= -p_p \cdot r^2 \cdot (\varphi - k_e \cdot \sin \varphi) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Formüllerde p_p sahanlık yük etki çizgisinden etkileyen kN/m biriminde çizgisel yükü, k_e bu çizgisel yükün $1+e_p/r$ olarak orta eksene göre eksantriklik katsayısını göstermektedir.

Merdiven alt yarısı için bulunan bu iç kuvvet formüllerinde φ yerine $-\varphi$ konulursa, merdiven üst yarısındaki iç kuvvetler bulunur.

2.2.2 Sahanlıkta birim yüklemelerden oluşan iç kuvvetler

-Merdiven alt yarısı için:

[3]'deki Formül 5.32'de, merdiven eğim açısı $\alpha=0$ alınarak;

$X_5=1$ yüklemesinden:

$$\left. \begin{aligned} V_{y5} &= \frac{1}{r} \cdot \cos \varphi, & V_{z5} &= 0, & N_5 &= \frac{1}{r} \cdot \sin \varphi \\ M_{y5} &= 0, & M_{z5} &= -\sin \varphi, & T_5 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$X_6=1$ yüklemesinden:

$$\left. \begin{aligned} V_{y6} &= V_{z6} = N_6 = 0 \\ M_{y6} &= \cos \varphi, & M_{z6} &= 0, & T_6 &= \sin \varphi \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Merdiven alt yarısı için bulunan bu iç kuvvet formüllerinde φ yerine $-\varphi$ konulursa, merdiven üst yarısındaki iç kuvvetler elde edilir.

2.2.3 Alt merdiven kolunda dış yüklerden oluşan iç kuvvetler

[3]'deki Formül 5.10'dan yararlanarak;

$$\left. \begin{aligned} V_{y0} &= 0 \\ V_{z0} &= -p \cdot r \cdot \cos \alpha \cdot \varphi \\ N_0 &= -p \cdot r \cdot \sin \alpha \cdot \varphi \\ M_{y0} &= -p \cdot r^2 \cdot k_e \cdot (1 - \cos \varphi) \\ M_{z0} &= +p \cdot r^2 \cdot \sin \alpha \cdot (\varphi - k_e \cdot \sin \varphi) \\ T_0 &= -p \cdot r^2 \cdot \cos \alpha \cdot (\varphi - k_e \cdot \sin \varphi) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

2.2.4 Alt merdiven kolunda birim yüklemelerden oluşan iç kuvvetler

[3]'deki Formül 5.6'dan yararlanarak;

$X_5 = 1$ yüklemesinden:

$$\left. \begin{aligned} V_{y5} &= +\frac{1}{r} \cdot \cos \varphi \\ V_{z5} &= -\frac{1}{r} \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varphi \\ N_5 &= +\frac{1}{r} \cdot \cos \alpha \cdot \sin \varphi \\ M_{y5} &= -\tan \alpha \cdot \varphi_L \cdot \sin \varphi \\ M_{z5} &= -[\sin \alpha \cdot \tan \alpha \cdot \varphi_L \cdot \cos \varphi + \cos \alpha \cdot \sin \varphi] \\ &= -\cos \alpha \cdot [\tan^2 \alpha \cdot \varphi_L \cdot \cos \varphi + \sin \varphi] \\ T_5 &= +[\cos \alpha \cdot \tan \alpha \cdot \varphi_L \cdot \cos \varphi - \sin \alpha \cdot \sin \varphi] \\ &= +\sin \alpha \cdot [\varphi_L \cdot \cos \varphi - \sin \varphi] \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Sahanlıklı helisel merdiven kolunda $X_5 = 1$ yüklemesinden oluşan iç kuvvet formüllerinin sahanlıksız merdiven kolundakilerden tek farkı, $\frac{1}{r} \cdot X_5$ kuvvetinin z doğrultusundaki M_{y5} , M_{z5} , T_5 momentlerinin moment kollarını tanımlayan $(r \cdot \tan \alpha \cdot \varphi)$ çarpanlı terimlerdeki φ açısı yerine $\varphi_L = \varphi - \varphi_p$ açısının esas alınması gerektiğidir.

Üst merdiven kolu için iç kuvvetler 5 nolu formüllerde, φ yerine $-\varphi$ konularak bulunur.

$X_6 = 1$ yüklemesinden:

$$\left. \begin{aligned} V_{y6} &= V_{z6} = N_6 = 0 \\ M_{y6} &= \cos \varphi \\ M_{z6} &= -\sin \alpha \cdot \sin \varphi \\ T_6 &= +\cos \alpha \cdot \sin \varphi \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

2.3 δ_{ik} Yerdeğiştirme Sayılarının Hesabı

Normal kuvvet ve kesme kuvvetlerinin δ_{ik} yerdeğiştirme sayıları üzerine etkileri çok küçük olduğundan ihmal edilir ve sıcaklık değişimi mesnet çökme ve dönmesi göz önüne alınmazsa, δ_{ik} yerdeğiştirme sayıları genel formda aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\delta'_{ik} = \int_s \left[\frac{M_{yi} \cdot M_{yk}}{E \cdot I_y} + \frac{M_{zi} \cdot M_{zk}}{E \cdot I_z} + \frac{T_i \cdot T_k}{G \cdot I_T} \right] \cdot d_s \quad (7)$$

Dolu kesitli çubukların burulma rijitliğine esas burulma atalet momenti yaklaşık olarak $I_T = k \cdot A^4 / I_G$ basit formülü ile verilebilir [14]. Formülde A enkesit alanını, I_G kesitin ağırlık merkezine göre polar atalet momentini ve k kesit formuna bağlı bir katsayıyı tanımlamaktadır. Homojen kesitler için poisson oranı $\mu = 0,2$ varsayılarak

$G = \frac{E}{2(1+\mu)} = 0,42 \cdot E$ olarak alınır ve enkesit boyutları birbirinden çok farklı ince dikdörtgen (plak biçiminde) kesitler için $k = 0,0278$ olarak yerine konulursa [14], burulma rijitliği ifadesi; $G \cdot I_T \cong 1,7 \cdot E \cdot I_y \cdot I_z / (I_y + I_z)$ formunda yazılabilir. Poisson oranı varsayımındaki güvensizliğin ve merdiven taşıyıcı sistemi ile birlikte betonlanan basamakların burulma rijitliğine etkisinin ihmal edilmesinden doğan farklılığın giderilmesi amacıyla 1,7 katsayısı 2 olarak alınmıştır. Buna göre burulma rijitliği için

$$G \cdot I_T \cong 2 \cdot E \cdot \frac{I_y \cdot I_z}{I_y + I_z} \quad (8)$$

eşitliği yazılabilir.

Taşıyıcı basamaklı merdivenlerin omurga kirişi biçiminde düzenlenen dikdörtgen kesitli uzay taşıyıcı helisel çubuk sistemlerde, bu katsayı 1,45 olarak alınmak koşulu ile aynı formüller kullanılabilir.

Bu tür uzay taşıyıcı merdiven sistemlerinin kesit boyutlandırılması sırasında, kesmeli burulma zorlanmasının kesitte eğik çatlama oluşturacak ölçüde büyük olarak elde edilmesi durumunda, doğrusal elastik analizin sağlıklı olması bakımından, eğik çatlama sınırının fazla aşılması amacıyla h taşıyıcı yüksekliğinin biraz artırılması önerilebilir.

Merdivenin elemanter uzunlukları;

- Yatay sahanlık bölümünde : $ds = r \cdot d\varphi$
- Eğimli helisel kol bölümünde : $ds = r \cdot d\varphi / \cos \alpha$

alınarak, δ_{ik} sayılarının ortak çarpanından kurtulmak için $\delta_{ik} = (\cos \alpha \cdot E \cdot I_y / r) \cdot \delta'_{ik}$

olarak tanımlanması daha pratiktir. İntegral sınırları için, taşıyıcı sistem ve yüklemenin simetrik olmasından dolayı, yalnız merdiven alt yarısı esas alınarak;

- Yatay sahanlık bölümünde : $\varphi = 0^\circ$ dan $\varphi = \varphi_p$ 'ye kadar,
- Eğimli helisel kol bölümünde : $\varphi = \varphi_p$ 'den $\varphi = \varphi_0$ 'a kadar alınır ve

$I_y/I_z = \beta$ ile gösterilirse;

$$\begin{aligned} \delta_{ik} = & \int_{\varphi=0}^{\varphi_p} \left[M_{yi} \cdot M_{yk} + \beta \cdot M_{zi} \cdot M_{zk} + \frac{1}{2}(1 + \beta) \cdot T_i \cdot T_k \right] \cdot \cos \alpha \cdot d\varphi \\ & + \int_{\varphi=\varphi_p}^{\varphi_0} \left[M_{yi} \cdot M_{yk} + \beta \cdot M_{zi} \cdot M_{zk} + \frac{1}{2}(1 + \beta) \cdot T_i \cdot T_k \right] \cdot d\varphi \end{aligned} \quad (9)$$

olarak yazılır. δ_{ik} sayılarındaki çarpım integrallerinden elde edilen φ_p ve φ_0 açılım açılımlarına bağlı bazı sabit değerler, sadeleştirme amacıyla bazı sabit katsayılarla (A, B, C, ... vb. gibi) tanımlanmıştır. Bu sabit değerler aşağıda verilmiştir [4]:

$$\begin{aligned} A &= \int (1 - \cos \varphi) \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi = \sin \varphi - D \\ B &= \int \varphi \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi = \sin \varphi - \varphi \cdot \cos \varphi \\ C &= \int \sin^2 \varphi \cdot d\varphi = \frac{1}{2} \cdot (\varphi - \sin \varphi \cdot \cos \varphi) \\ D &= \int \cos^2 \varphi \cdot d\varphi = \frac{1}{2} \cdot (\varphi + \sin \varphi \cdot \cos \varphi) \\ A' &= \int \varphi \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi = \frac{1}{2} \cdot (\varphi \cdot \sin^2 \varphi - C) \\ B' &= \int \varphi^2 \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi = \varphi^2 \cdot \sin \varphi - 2B \\ C' &= \int \varphi^2 \cdot \sin^2 \varphi \cdot d\varphi = \frac{\varphi^3}{6} - \frac{\varphi^2}{2} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi + A' \\ D' &= \int \varphi^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot d\varphi = \frac{\varphi^3}{6} + \frac{\varphi^2}{2} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi - A' \\ A'' &= \int \varphi \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi = \cos \varphi + \varphi \cdot \sin \varphi \\ B'' &= \int \varphi \cdot \sin^2 \varphi \cdot d\varphi = \frac{\varphi^2}{4} - \frac{\varphi}{4} \cdot \sin 2\varphi - \frac{1}{8} \cdot \cos 2\varphi \\ C'' &= \int \varphi \cdot \cos^2 \varphi \cdot d\varphi = \frac{\varphi^2}{4} + \frac{\varphi}{4} \cdot \sin 2\varphi + \frac{1}{8} \cdot \cos 2\varphi \\ D'' &= \int \sin \varphi \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi = \frac{1}{2} \cdot \sin^2 \varphi \end{aligned} \quad (10)$$

δ_{ik} yerdeğiştirme sayıları ile ilgili formüller:

$$\begin{aligned}
 \delta_{55} &= \beta \cdot \cos \alpha \cdot C_P + \tan^2 \alpha \cdot [C' - C'_P - 2\varphi_P \cdot (B'' - B''_P) + \varphi_P^2 \cdot (C - C_P)] \\
 &\quad + \beta \cdot \{\sin^2 \alpha \cdot \tan^2 \alpha \cdot [D' - D'_P - 2 \cdot \varphi_P \cdot (C'' - C''_P) + \varphi_P^2 \cdot (D - D_P)] \\
 &\quad + 2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot [A' - A'_P - \varphi_P \cdot (D'' - D''_P)] + \cos^2 \alpha \cdot (C - C_P)\} \\
 &\quad + \frac{(1 + \beta)}{2} \cdot \{\cos^2 \alpha \cdot \tan^2 \alpha \cdot [D' - D'_P - 2 \cdot \varphi_P \cdot (C'' - C''_P) + \varphi_P^2 \cdot (D - D_P)] \\
 &\quad - 2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot [A' - A'_P - \varphi_P \cdot (D'' - D''_P)] + \sin^2 \alpha \cdot (C - C_P)\} \\
 \delta_{56} &= -\tan \alpha \cdot [A' - A'_P - \varphi_P \cdot (D'' - D''_P)] \\
 &\quad + \beta \cdot \sin \alpha \cdot \{\sin \alpha \cdot \tan \alpha \cdot [A' - A'_P - \varphi_P \cdot (D'' - D''_P)] + \cos \alpha \cdot (C - C_P)\} \\
 &\quad + \frac{(1 + \beta)}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot [A' - A'_P - \varphi_P \cdot (D'' - D''_P) - (C - C_P)] \\
 \delta_{66} &= \cos \alpha \cdot \left[D_P + \frac{(1 + \beta)}{2} \cdot C_P \right] + D - D_P \\
 &\quad + \beta \cdot \sin^2 \alpha \cdot (C - C_P) + \frac{(1 + \beta)}{2} \cdot \cos^2 \alpha \cdot (C - C_P)
 \end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned}
 \delta_{50} &= pr^2 \cdot \tan \alpha \cdot k_e \cdot [(B - B_P) - (A' - A'_P)D'_P] \\
 &\quad + \varphi_P \cdot (\cos \varphi_0 - \cos \varphi_P) + \varphi_P(D'' - D''_P)] \\
 &\quad - p \cdot r^2 \cdot \beta \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \{\tan^2 \alpha \cdot [(B' - B'_P) - \varphi_P \cdot (A'' - A''_P)] \\
 &\quad - \tan^2 \alpha \cdot k_e \cdot [(A' - A'_P) - \varphi_P \cdot (D'' - D''_P)] \\
 &\quad + (B - B_P) - k_e \cdot (C - C_P)\} \\
 &\quad - pr^2 \cdot \frac{(1 + \beta)}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \{(B' - B'_P) - \varphi_P \cdot (A'' - A''_P) \\
 &\quad - k_e \cdot [(A' - A'_P) + \varphi_P \cdot (D'' - D''_P)] \\
 &\quad - (B - B_P) + k_e \cdot (C - C_P)\} \\
 \delta_{60} &= -pr^2 \cdot \cos \alpha \cdot \left[k_e \cdot A_P + \frac{(1 + \beta)}{2} \cdot (B_P - k_e \cdot C_P) \right] \\
 &\quad - pr^2 \cdot \{k_e \cdot (A - A_P) + \beta \cdot \sin^2 \alpha \cdot [B - B_P - k_e \cdot (C - C_P)] \\
 &\quad + \frac{(1 + \beta)}{2} \cdot \cos^2 \alpha \cdot [B - B_P - k_e \cdot (C - C_P)]\}
 \end{aligned} \tag{12}$$

δ_{ik} formüllerinde kullanılan sabit katsayılarla ilgili olarak; indissiz kullanılan katsayıların (A , A' ve A'' vb. gibi), Formül 10'daki eşitliklerin $\varphi = 0$ 'dan $\varphi = \varphi_0$ kadar olan integral sınırları için ve "P" indisli olarak kullanılan katsayıların (A_P , A'_P ve A''_P vb. gibi), $\varphi = 0$ 'dan $\varphi = \varphi_P$ 'ye kadar olan integral sınırları için bulunması gerektiğini hatırlatalım.

11 ve 12 nolu Formüllerde φ_P açısı ve "P" indisli katsayılar sıfır alınır, sahanlıksız helisel merdivenin δ_{ik} sayıları elde edilir. Sahanlık açılım uzunluğu helisel merdiven açılım

uzunluğuna göre küçük olduğundan, güvenli yönde kalarak sahanlık yükü $p_p=p$ alınabilir. Bu durumda δ_{50} ve δ_{60} yerdeğiştirme sayıları;

$$\delta_{50}^1 = \delta_{50}/(p \cdot r^2) \quad ve \quad \delta_{60}^1 = \delta_{60}/(p \cdot r^2) \quad (13)$$

olarak boyutsuz tanımlanırsa; bu durumda boyutsuz X_5^1 ve X_6^1 hiperstatik bilinmeyenleri aşağıdaki bağıntıdan bulunur:

$$X_5^1 = -\frac{\delta_{66} \cdot \delta_{50}^1 - \delta_{56} \cdot \delta_{60}^1}{\delta_{55} \cdot \delta_{66} - \delta_{56}^2} \quad ve \quad X_6^1 = -\frac{\delta_{55} \cdot \delta_{60}^1 - \delta_{56} \cdot \delta_{50}^1}{\delta_{55} \cdot \delta_{66} - \delta_{56}^2} \quad (14)$$

2.4 Merdiven Kesitlerindeki İç Kuvvetlerin Hesabı

2.4.1 Sahanlık kesitlerinde

$$\left. \begin{aligned} V_y &= p_p \cdot r \cdot X_5^1 \cdot \cos \varphi \\ V_z &= -p_p \cdot r \cdot \varphi \\ N &= p_p \cdot r \cdot X_5^1 \cdot \sin \varphi \\ M_y &= -p_p \cdot r^2 \cdot [k_e \cdot (1 - \cos \varphi) - X_6^1 \cdot \cos \varphi] \\ M_z &= -p_p \cdot r^2 \cdot X_5^1 \cdot \sin \varphi \\ T &= -p_p \cdot r^2 \cdot [(\varphi - k_e \cdot \sin \varphi) - X_6^1 \cdot \sin \varphi] \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Yukarıdaki formüller $\varphi = 0$ 'dan φ_p 'ye kadar değişen merdiven alt yarısı için geçerlidir. Merdiven üst yarısı için iç kuvvetler, bu formüllerde φ yerine $-\varphi$ konularak bulunur.

2.4.2 Helisel merdiven kesitlerinde

Aşağıdaki formüller $\varphi = \varphi_p$ 'den φ_0 'a kadar değişen alt helisel kol için geçerlidir. Üst helisel koldaki iç kuvvetler, formüllerde φ yerine $-\varphi$ konularak bulunur.

$$\left. \begin{aligned} V_y &= +p \cdot r \cdot X_5^1 \cdot \cos \varphi \\ V_z &= -p \cdot r \cdot [\cos \alpha \cdot \varphi + X_5^1 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varphi] \\ N &= -p \cdot r \cdot [\sin \alpha \cdot \varphi - X_5^1 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \varphi] \\ M_y &= -p \cdot r^2 \cdot [k_e \cdot (1 - \cos \varphi) + X_5^1 \cdot \tan \alpha \cdot \varphi_L \cdot \sin \varphi - X_6^1 \cdot \cos \varphi] \\ M_z &= +p \cdot r^2 \cdot [\sin \alpha \cdot (\varphi - k_e \cdot \sin \varphi) \\ &\quad - X_5^1 \cdot \cos \alpha \cdot (\tan^2 \alpha \cdot \varphi_L \cdot \cos \varphi + \sin \varphi) - X_6^1 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varphi] \\ T &= -p \cdot r^2 \cdot [\cos \alpha \cdot (\varphi - k_e \cdot \sin \varphi) \\ &\quad - X_5^1 \cdot \sin \alpha \cdot (\varphi_L \cdot \cos \varphi - \sin \varphi) - X_6^1 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \varphi] \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Sahanlıklı helisel merdiven için verilen 16 nolu M_y , M_z ve T formüllerinde ($X_5^1 \cdot \tan \alpha \cdot \varphi_L$) değeri içeren terimlerdeki ($\tan \alpha \cdot \varphi_L$) çarpanı, $\varphi = 0$ 'dan itibaren $\frac{1}{r} \cdot X_5^1$ kuvvetinin z eksenine doğrultusundaki düşey moment kolu ile ilgili olduğundan, bu formüllerdeki φ_L açısı, $\varphi = 0$ kesitinden sahanlık-kol geçiş kesitine ($\varphi = \varphi_P$ kıvrım kesitine) kadar moment kolu değeri sıfır olacak biçimde, $\varphi_L = \varphi - \varphi_P$ olarak yerine konulması gerekir. Sahanlıksız helisel merdivenin M_y , M_z ve T iç kuvvet formüllerinde $\varphi_L = \varphi$ (veya $\varphi_P = 0$) alınması gerektiği açıktır.

2.5 İki Ucundan Elastik Ankastre Mesnetli Sahanlıklı Helisel Merdivenin Kuvvet Yöntemine Göre Statik Analizi

2.5.1 δ_{ik} Yerdeğiştirme sayılarının hesabı:

Elastik mesnetli sisteme ilişkin δ_{ik}^* yerdeğiştirme sayıları, ankastre mesnetli sistem için bulunan δ_{ik} yerdeğiştirme sayılarına, mesnetlerin elastik yerdeğiştirme ve dönmelerinin eklenmesiyle bulunur [7 ve 3].

Elastik yerdeğiştirme ve dönmelerin bulunması amacıyla, izostatik ana sistemde birim yüklemelerden mesnet kesitlerinde oluşan mesnet iç kuvvetlerinin (düşey mesnet kesitlerindeki iç kuvvetler) bilinmesine gereksinim vardır. Bu iç kuvvetler aşağıda tablo biçiminde gösterilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1 Alt (ve üst) merdiven mesnetlerinde birim yüklemelerden oluşan mesnet düşey kesitlerindeki \bar{M}_y , \bar{M}_z ve \bar{T} iç kuvvetleri

Alt (ve üst) mesnet	\bar{M}_{yu} (\bar{M}_{y0})	\bar{M}_{zu} (\bar{M}_{z0})	\bar{T}_u (\bar{T}_0)
$X_5 = 1$	$-\tan \alpha \cdot (\varphi_0 - \varphi_P) \cdot \sin \varphi_0$	$(+) \sin \varphi_0$	$(-) \tan \alpha \cdot (\varphi_0 - \varphi_P) \cdot \cos \varphi_0$
$X_6 = 1$	$+\cos \varphi_0$	$-$	$(-) \sin \varphi_0$
$X = 0$	$-q \cdot r^2 \cdot k_e \cdot (1 - \cos \varphi_0)$	$-$	$(+) q \cdot r^2 (\varphi_0 - k_e \cdot \sin \varphi_0)$

Yeterli kalınlıkta düzenlenmiş kat döşemelerine eşit deformasyon koşullarında mesnetlenen merdiven sistemlerinde, genellikle \bar{V}_z ve \bar{N} 'den oluşan mesnetteki düşey deplasmanlar eşit alınabilir ve ayrıca \bar{N} ve \bar{V}_y kuvvetlerinden oluşan yatay deplasman da ihmal edilebilir. Ayrıca yeter kalınlıkta sürekli kat döşemelerine mesnetlenmiş merdiven sistemlerinde, genellikle θ_z (\bar{M}_z enine momentinden oluşan deformasyon) ve θ_x (T burulma momentinden oluşan) dönme faktörleri çok küçük olacağından ihmal edilebilir.

Bu durumda elastik mesnetli sistemin δ_{ik}^* sayıları, ankastre mesnetli sistemin δ_{ik} sayılarına, ilgili dönme faktörleri ve birim yüklemelerdeki moment değerlerinin çarpımlarının eklenmesiyle bulunur ($\delta_{ik}^* = \delta_{ik} + \theta_y \cdot \bar{M}_{yi,u} \cdot \bar{M}_{yk,u}$):

$$\left. \begin{aligned} \delta_{55}^* &= \delta_{55} + \theta_y \cdot \tan^2 \alpha \cdot (\varphi_0 - \varphi_P)^2 \cdot \sin^2 \varphi_0 \\ \delta_{56}^* &= \delta_{56} - \frac{\theta_y}{2} \cdot \tan \alpha \cdot (\varphi_0 - \varphi_P) \cdot \sin 2\varphi_0 \\ \delta_{66}^* &= \delta_{66} + \theta_y \cdot \cos^2 \varphi_0 \\ \delta_{50}^* &= \delta_{50} + \theta_y \cdot p \cdot r^2 \cdot k_e \cdot (1 - \cos \varphi_0) \cdot \tan \alpha \cdot (\varphi_0 - \varphi_P) \cdot \sin \varphi_0 \\ \delta_{60}^* &= \delta_{60} - \theta_y \cdot p \cdot r^2 \cdot k_e \cdot (1 - \cos \varphi_0) \cdot \cos \varphi_0 \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

2.5.2 Elastik mesnedin dönme faktörü

Normal kat döşemelerine mesnetlenmiş bir merdiven sisteminde, mesnedin θ_y' dönme faktörü genel olarak aşağıdaki bağıntı ile verilir:

$$\theta_y' = \frac{l_y}{\bar{\theta}_y \cdot E \cdot I_{pl}} \quad (18)$$

Formülde; l_y mesnet plağının merdiven kolunun mesnetteki eksenini doğrultusundaki açıklığını, $E \cdot I_{pl}$ plağın aynı doğrultudaki eğilme rijitliğini ve $\bar{\theta}_y$ plağın mesnetlenme koşullarına bağlı olarak verilen aynı doğrultudaki dönme katsayısını tanımlamaktadır.

Yukarıda verilen δ_{ik}^* formüllerinde δ_{ik}^* yerdeğiştirme sayılarının tümü ($\cos \alpha \cdot EI_y/r$) çarpanı ile çarpılmış olduğundan, dönme faktörlerinin de aynı çarpanla çarpılması gerekir. Böylece mesnedin θ_y dönme faktörü için:

$$\theta_y = \left(\frac{E \cdot I_y}{E \cdot I_{pl}} \right) \cdot \frac{l_y}{\bar{\theta}_y \cdot r} \cdot \cos \alpha \quad (19)$$

bağıntısı yazılabilir. Bu dönme faktörü Formül 17'de yerlerine konularak, elastik ankastre mesnetli sistemin δ_{ik}^* yerdeğiştirme sayıları bulunur.

3. İKİ UCUNDAN MESNETLİ SAHANLIKLI HELİSEL MERDİVENLER ÜZERİNE SAYISAL UYGULAMA

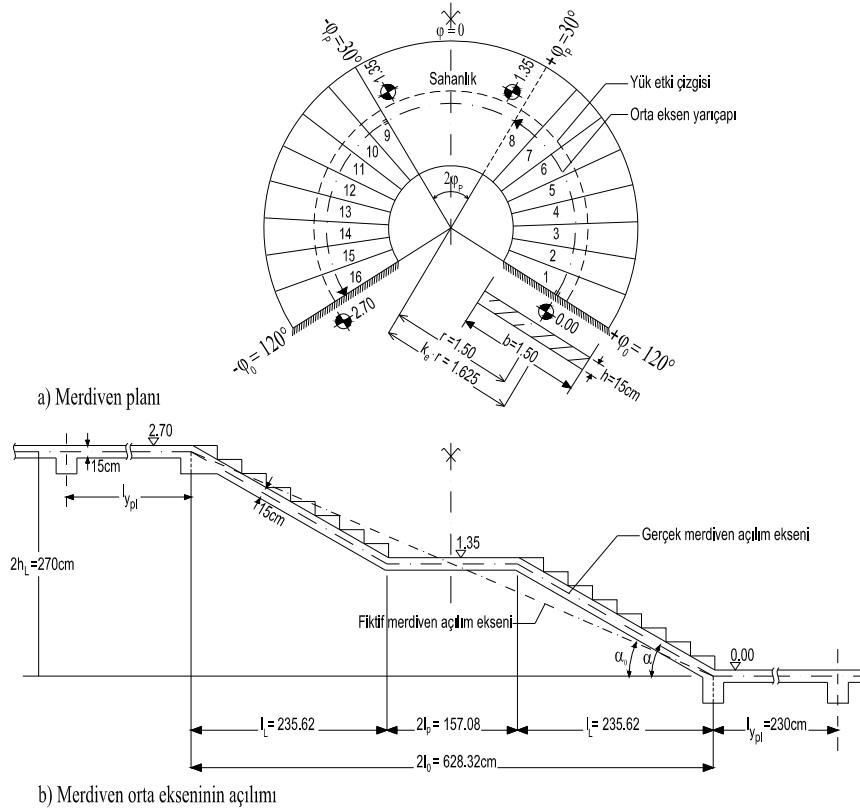
Sahanlıklı helisel merdiven, önce her iki ucundan ankastre mesnetli durum için;

- Uzay çubuk sistem varsayımına göre, hiperstatik sistemin “kuvvet yöntemine dayanan sürekli çözümü” (Bölüm 1’de açıklanan yöntem ve formüllerle) üzerine bir sayısal uygulama gerçekleştirilmiştir.

- Aynı merdivenin statik analizi, “sonlu elemanlar” yöntemine göre SAP2000 statik analiz programı ile, uzay çubuk sistem örneğin 32 eşit doğrusal parçaya ayrılarak “sürekli olmayan (discrete) çözüm yöntemi” ile gerçekleştirilmiştir.
- Yine aynı merdiven için, kat yüksekliği ve açılım açısı aynı olan sahanlıksız helisel merdivenin kuvvet yöntemine dayanan sürekli çözümünden yararlanarak bulunan hiperstatik bilinmeyenlerin, sahanlıksız helisel merdivenin iç kuvvet formüllerinde (sahanlık bölgesindeki iç kuvvetler düşey kesitler için verilen formüllerinden bulunmak koşulu ile) yerine konulmak suretiyle yaklaşık bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir (bak. [3], Bölüm 5.1.3.3’e).

3.1 İki Ucundan Ankastre Mesnetli Uzak Taşıyıcı Sahanlıklı Helisel Merdivenin Kuvvet Yöntemine Göre Çözümü

Şekil 4.’de planı ve orta eksen açılım profili gösterilen sahanlıklı uzak taşıyıcı helisel merdiven, iki ucundan kat döşemelerine mesnetlenmiş bir otel merdiveni olarak tasarlanmıştır.



Şekil 4. Sahanlıklı helisel merdivenin plan ve profili

Helisel İki Kol Ortasında Dairesel Sahanlığa Sahip Uzay Taşıyıcı Merdivenler

a) Sahanlıklı helisel merdivenin kuvvet yöntemine dayanan kapalı formüllerle sürekli çözümü:

1) Geometrik tasarım:

Kat yüksekliği: $2h_L = 270$ cm,

Basamak yüksekliği için başlangıç değeri olarak; $s \approx 17$ cm seçilirse,

Basamak sayısı: $2n \approx \frac{2h_L}{s} = \frac{270}{17} = 15,88 \rightarrow 16$ adet bulunur.

Basamak genişliği başlangıç değerini; $a \approx 63 - 2 \cdot s = 63 - 2 \cdot 17 = 29$ cm seçelim.

Merdiven genişliği: $b = 150$ cm,

Orta eksen yarıçapı: $r = 150$ cm,

Merdiven kolları orta eksen açılım uzunluğu (yaklaşık): $2l_L = 2n \cdot a = 16 \cdot 29 = 464$ cm.

Merdiven kolu açılım açısı (yaklaşık): $\varphi_L = \frac{l_L}{2\pi r} \cdot 360^\circ = \frac{232}{2\pi \cdot 150} \cdot 360^\circ = 88,62^\circ$

$\varphi_L = 90^\circ$ seçilirse, $\varphi_L = 2\pi \cdot 90^\circ / 360^\circ = 1,5708$ radyan ve

Orta eksen kol açılım uzunluğu $l_L = r \cdot \varphi_L = 150 \cdot 1,5708 = 235,62$ cm

Sahanlık açılım uzunluğu: $l_p \approx 75$ cm $\geq b / 2$ seçilirse;

Orta eksen sahanlık açılım açısı: $\varphi_p = \frac{l_p}{2\pi r} \cdot 360^\circ = \frac{75}{2\pi \cdot 150} \cdot 360^\circ = 28,648^\circ$

$\varphi_p = 30^\circ$ seçilirse; $\varphi_p = 2\pi \cdot \frac{30^\circ}{360^\circ} = 0,5236$ radyan ve

Sahanlık uzunluğu $l_p = r \cdot \varphi_p = 150 \cdot 0,5236 = 78,54$ cm bulunur.

Buna göre merdiven yarısı için;

Toplam açılım açısı: $\varphi_0 = \varphi_L + \varphi_p = 90^\circ + 30^\circ = 120^\circ$

Toplam açılım uzunluğu: $l_0 = l_L + l_p = 235,62 + 78,54 = 314,16$ cm

Gerçek basamak yüksekliği: $s = \frac{2h_L}{2n} = \frac{270}{16} = 16,875$ cm

Gerçek basamak genişliği: $a = l_L / n = 235,62 / 8 = 29,453$ cm

Merdiven kolu eğim açısı:

$$\tan \alpha = \frac{s}{a} = \frac{16,875}{29,453} = 0,573 \rightarrow \alpha = 29,81^\circ, \quad \sin \alpha = 0,497, \quad \cos \alpha = 0,868$$

2) Kesit kalınlığı ve yükler:

Sahanlık açılım uzunluğu merdiven kolu açılım uzunluğuna göre küçük olduğundan, güvenli olarak sahanlık yükü $p_p = p$ alınarak basitleştirme yapılmıştır.

$h = 15$ cm için üniform yayılı toplam yük : $p_1 = g + q = 7,81 + 5,0 = 12,81$ kN/m² bulunmuştur.

Merdiven orta ekseninden etki eden çizgisel yük : $p = b \cdot p_1 = 1,50 \times 12,81 = 19,215$ kN/m
 $p \cdot r = 19,215 \times 1,50 = 28,82$ kN ve $p \cdot r^2 = 19,215 \times 1,50^2 = 43,23$ kNm

3) Yardımcı büyüklükler:

$$\beta = \frac{I_y}{I_z} = \left(\frac{h}{b}\right)^2 = \left(\frac{15}{150}\right)^2 = 0,01, \quad (1 + \beta)/2 = 0,505$$

$$k_e = 1 + \frac{e}{r} = 1 + \frac{b^2}{12 \cdot r^2} = 1 + \frac{150^2}{12 \times 150^2} = 1,083$$

$\varphi_p = 30^\circ$ için: $\varphi_p = 0,5236$ rad , $\sin \varphi_p = 0,5$, $\cos \varphi_p = 0,866$ ve katsayılar;

$$A_p = 0,0217, B_p = 0,0466, C_p = 0,0453, D_p = 0,4783$$

$$A'_p = 0,0428, B'_p = 0,0439, C'_p = 0,0073, D'_p = 0,0405$$

$$A''_p = 1,1278, B''_p = -0,1073, C''_p = 0,2444, D''_p = 0,1250$$

$\varphi_0 = 120^\circ$ için: $\varphi_0 = 2,0944$ rad , $\sin \varphi_0 = 0,866$, $\cos \varphi_0 = -0,5$ ve katsayılar;

$$A = 0,0353, B = 1,9132, C = 1,2637, D = 0,8307$$

$$A' = 0,1536, B' = -0,0277, C' = 2,6345, D' = 0,4279$$

$$A'' = 1,3138, B'' = 1,6126, C'' = 0,5807, D'' = 0,3750$$

olarak 10 nolu formüllerden hesaplanır.

4) δ_{ik} Yerdeğiştirme sayılarının hesabı (Formül 11 ve 12'den):

$$\delta_{55} = 0,56397, \quad \delta_{56} = -0,25306, \quad \delta_{66} = 1,25401$$

$$\delta_{50}^1 = \frac{\delta_{50}}{p \cdot r^2} = 0,93832, \quad \delta_{60}^1 = \frac{\delta_{60}}{p \cdot r^2} = -0,24355$$

5) Hiperstatik bilinmeyenlerin hesabı:

Sistem ve yükleme simetrik olduğundan, X_5 ve X_6 olmak üzere iki hiperstatik bilinmeyen ortaya çıkar. Bu hiperstatik bilinmeyenler, yukarıdaki δ_{ik} değerlerinden Formül 14'e göre hesaplanırsa, aşağıdaki gibi boyutsuz olarak elde edilir:

$$X_5^1 = \frac{X_5}{p \cdot r^2} = -\frac{1,11503}{0,64318} = -1,7336, \quad X_6^1 = \frac{X_6}{p \cdot r^2} = -\frac{0,10010}{0,64318} = -0,1556$$

Helisel İki Kol Ortasında Dairesel Sahanlığa Sahip Uzay Taşıyıcı Merdivenler

Yukarıda boyutsuz olarak hesaplanan X_5^1 ve X_6^1 hiperstatik bilinmeyenleri, sahanlık kesitleri için Formül 15'de ve helisel merdiven kesitleri için Formül 16'da yerlerine konularak, merdivenin değişik kesitlerindeki iç kuvvetler hesaplanmış ve Tablo 2.a'da verilmiştir.

b) İki ucundan ankastre mesnetli sahanlıklı helisel merdivenin iç kuvvetleri; aynı kat yüksekliğine ($2h_L$) ve açılım açısına ($2\varphi_0$) sahip sahanlıksız fiktif helisel merdivenin öik yerdeğiştirme sayıları ve hiperstatik bilinmeyenleri kullanarak yapılan yaklaşık çözüm sonuçları Tablo 2.b'de topluca verilmiştir.

Açılım açısı $2\varphi_0 = 240^\circ$ olan sahanlıksız fiktif helisel merdivenin;

Eğimi: $\tan \alpha_0 = 2h_L / 2l_L = 270 / 628,32 = 0,4297 \rightarrow \alpha_0 = 23,25^\circ$

$\sin \alpha_0 = 0,395$, $\cos \alpha_0 = 0,919$ ve $p = 12,81 \times 1,5 = 19,215$ kN/m için

$X_{5\text{ KED}}^1 = X_{5\text{ KED}} / pr^2$ ve $X_{6\text{ KED}}^1 = X_{6\text{ KED}} / pr^2$ hiperstatik bilinmeyenleri [2 ve 3]'deki formüller kullanılarak veya S. Köseoğlu' tarafından hazırlanan "MERSTAB – 2009" adlı bilgisayar programı kullanılarak bulunabilir.

$$X_{5\text{ KED}}^1 = \frac{X_{5\text{ KED}}}{p \cdot r^2} = -1,62016 \quad \text{ve} \quad X_{6\text{ KED}}^1 = \frac{X_{6\text{ KED}}}{p \cdot r^2} = +0,96816$$

14 nolu formülden bulunan X_6^1 hiperstatik bilinmeyi (izostatik ana sistemden elde edilen) ile Fuchssteiner'in [1] uzay taşıyıcı helisel merdivenin kesit elemanı dengesinden integral sabiti olarak elde edilen $X_{6\text{ KED}}^1$ hiperstatik bilinmeyi arasında $X_6^1 = X_{6\text{ KED}}^1 - k_e$ bağıntısı bulunduğunu hatırlatalım ($X_6^1 = 0,96816 - 1,083 = -0,11484$). Bununla birlikte X_5^1 hiperstatik bilinmeyi, kesit elemanın dengesinden bulunan $X_{5\text{ KED}}^1$ değerine eşittir.

Sahanlıksız fiktif helisel merdiven için bulunan bu hiperstatik bilinmeyenler, [1,2 ve 3]'de verilen helisel merdivene ait iç kuvvetler formüllerinde yerlerine konularak iç kuvvetler bulunur. Gerçek merdivenin sahanlık bölümüne karşı gelen kesitlerdeki ($\varphi = 0$ ile $\varphi = \overset{+}{(-)}\varphi_P$ arasındaki) iç kuvvetler, düşey kesitler için verilen iç kuvvetler formüllerinden ([3]'deki Formül 5.3'den) bulunması gerekir. Eğimli helisel kol bölümüne karşı gelen kesitlerdeki ($\varphi = \overset{+}{(-)}\varphi_P$ ile $\varphi = \overset{+}{(-)}\varphi_0$ arasındaki) iç kuvvetler [3]'deki Formül 5.26'da verilen iç kuvvetler formüllerine göre bulunur.

c) Her iki ucundan ankastre mesnetli sahanlıklı helisel merdiven örneği, merdiven orta ekseninden geçen çubuk sistem olarak p çizgisel merdiven yükü ve e yük eksantrikliği etkisi altında 32 sonlu elemanla modellenerek SAP2000 programı ile çözülmüştür.

Her biri planda $\Delta\varphi_0 = \varphi_0/16 = 7,5^\circ$ ye karşı gelen sonlu eleman kamalarının alanı

$$A_{\Delta\varphi_0} = \pi \cdot (r_a^2 - r_i^2) \cdot \Delta\varphi_0/360^\circ = \pi \cdot (2,25^2 - 0,75^2) \cdot 7,5^\circ/360^\circ = 0,2945 \text{ m}^2$$

ve toplam yükü $P_{\Delta\varphi_0} = A_{\Delta\varphi_0} \cdot p_1 = 0,2945 \cdot 12,81 = 3,7725$ kN olarak bulunur. Planda dairesel forma sahip merdivenin yük eksantrikliği $e = b^2/(12 \cdot r) = 1,50^2/(12 \cdot 1,50) = 1,50/12 = 0,125$ m olduğuna göre, her bir kamaya etkiyen tekil burulma momenti $M_{\Delta\varphi_0} = P_{\Delta\varphi_0} \cdot e = 3,7725 \cdot 0,125 = 0,4716$ kN.m olur. Her bir sonlu elemanın $r = 1,5$ m

yarıçaplı dairesel yay boyu $l_{\Delta\varphi_0} = \pi \cdot r \cdot \Delta\varphi_0 / 180^\circ = \pi \cdot 1,50 \cdot 7,5^\circ / 180^\circ = 0,1963$ m olduğuna göre, merdiven ekseninden içten dışa doğru etki eden yayılı burulma momenti $m_T = M_{\Delta\varphi_0} / l_{\Delta\varphi_0} = 0,4716 / 0,1963 = 2,40$ kN m/m olarak bulunur. Merdiven sistemi $p = 18,215$ kN/m çizgisel yükü ve $m_T = 2,40$ kN m/m burulma momenti altında SAP2000 programı ile çözülmüş ve sonuçlar Tablo 2.c'de verilmiştir.

Tablo 2.a İki ucundan ankastre mesnetli sahanlıklı helisel merdivenin çubuk sistem olarak kuvvet yöntemine dayanan sürekli çözümünden elde edilen değişik kesitlerindeki iç kuvvetler

İç kuvvetler	Sahanlık Bölümü		Alt (ve Üst) Helisel Merdiven Kolu				Birim
	$\varphi = 0$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi_P = 30^\circ$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = 30^\circ$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = 60^\circ$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = 90^\circ$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = \varphi_0 = 120^\circ$	
V_y	-49,96	-43,27	-43,27	-24,98	0	+24,98	kN
V_z	0	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 15,09$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 0,68$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 4,69$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 14,46$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 30,89$	kN
N	0	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 24,98$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 29,18$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 52,56$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 65,87$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 67,56$	kN
M_y	-6,73	-12,10	-12,10	-7,30	-1,85	-8,45	kN m
M_z	0	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 37,47$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 33,74$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 67,17$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 78,87$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 67,32$	kN m
T	0	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 2,59$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 16,38$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 13,34$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 13,10$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 13,08$	kN m

Tablo 2.b İki ucundan ankastre mesnetli sahanlıksız helisel merdivenin, $\tan \alpha_0 = h_L / l_L$ eğiminde fiktif sahanlıksız helisel merdivende kuvvet yöntemine dayanan sürekli çözümünden yararlanarak elde edilen iç kuvvetler

İç kuvvetler	Sahanlık Bölümü		Alt (ve Üst) Helisel Merdiven Kolu				Birim
	$\varphi = 0$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi_P = 30^\circ$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = 30^\circ$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = 60^\circ$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = 90^\circ$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = \varphi_0 = 120^\circ$	
V_y	-46,7	-40,44	-40,44	-23,30	0	+23,30	kN
V_z	0	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 15,09$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 13,87$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 11,80$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 23,20$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 39,50$	kN
N	0	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 23,35$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 27,40$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 49,10$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 60,80$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 61,00$	kN
M_y	-5,00	-10,57	-10,57	+1,40	+0,40	-13,20	kN m
M_z	0	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 35,02$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 38,20$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 65,50$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 74,60$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 64,70$	kN m
T	0	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 1,71$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 0,30$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 1,20$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 3,70$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 3,00$	kN m

Helisel İki Kol Ortasında Dairesel Sahanlığa Sahip Uzay Taşıyıcı Merdivenler

Tablo 2.c İki ucundan ankastre mesnetli sahanlıklı helisel merdivenin, yük eksantrikliği etkisi hesaba katılarak sonlu elemanlar yöntemine göre SAP2000 programı ile çözümünden elde edilen iç kuvvetler

İç kuvvetler	Sahanlık Bölümü		Alt (ve Üst) Helisel Merdiven Kolu				Birim
	$\varphi = 0$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi_P = 30^0$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = 30^0$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = 60^0$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = 90^0$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = \varphi_0 = 120^0$	
$V_y = -V_3$	- 48,48	- 43,58	- 40,36	- 24,20	0	+ 21,47	kN
$V_z = V_2$	0	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix}$ 15,08	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix}$ 1,60	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix}$ 7,27	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix}$ 19,13	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix}$ 34,66	kN
$N = P$	0	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix}$ 21,47	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix}$ 30,96	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix}$ 52,59	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix}$ 66,85	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix}$ 70,21	kN
$M_y = M_3$	- 8,05	- 13,44	- 13,00	- 9,31	- 6,31	- 16,68	kN m
$M_z = M_2$	0	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix}$ 36,43	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix}$ 33,70	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix}$ 67,00	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix}$ 80,14	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix}$ 73,29	kN m
$T = -T_{FE}$	0	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix}$ 2,40	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix}$ 14,43	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix}$ 12,14	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix}$ 11,01	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix}$ 9,52	kN m

3.2 İki Ucundan Elastik Ankastre Mesnetli Uzay Taşıyıcı Sahanlıklı Helisel Merdivenin Kuvvet Yöntemine Göre Çözümü

3.2.1 Dönme faktörü ve δ_{ik}^* yerdeğiştirme sayılarının hesabı

Kat plağının mesnetlenme koşulu olarak, merdivenin mesnetlendiği kenara paralel kenar ankastre mesnetli ve diğer karşılıklı iki kenarı boşta olan dikdörtgen bir plak esas alınmıştır..

Merdivenin altta ve üstte aynı mesnet koşullarına sahip kat plaklarına mesnetlenmesi durumunda, $I_y = 2,30$ m ve $h_{pl} = 15$ cm (merdiven plağı kalınlığına eşit) için $\bar{\theta}_y = 4$ olarak yerine konulursa;

$$\theta_y = \left(\frac{E \cdot I_y}{E \cdot I_{pl}} \right) \cdot \frac{l_y}{\bar{\theta}_y \cdot r} \cdot \cos \alpha = 1 \times \frac{2,30}{4 \times 1,5} \times 0,868 \approx \frac{1}{3}$$

elde edilir. Elastik mesnetlenme ile ilgili 17 nolu δ_{ik}^* formüllerinde;

$$\tan \alpha = 0,573, \quad \varphi_0 = 120^0 \text{ için : } \varphi_0 = 2,0944 \text{ rad. , } \sin \varphi_0 = 0,866, \quad \cos \varphi_0 = -0,5,$$

$$\sin 2\varphi_0 = -0,866, \quad \varphi_0 - \varphi_P = 90^0 = 1,5708 \text{ rad. , } k_e \cdot (1 - \cos \varphi_0) = 1,6245$$

değerleri yerlerine konulursa; δ_{ik}^* sayıları θ_y değerine bağlı olarak bulunur:

$$\delta_{55}^* = 0,56397 + \theta_y \cdot \overline{0,573^2} \cdot \overline{1,5708^2} \cdot \overline{0,866^2} = 0,56397 + 0,60756 \cdot \theta_y$$

$$\delta_{56}^* = -0,25306 - \theta_y \cdot 0,573 \cdot 1,5708 \cdot (-0,866) / 2 = -0,25306 + 0,38973 \cdot \theta_y$$

$$\delta_{66}^* = 1,25401 + \theta_y \cdot (\overline{-0,50})^2 = 1,25401 + 0,25 \cdot \theta_y$$

$$\delta_{50}^{1*} = 0,93832 + \theta_y \cdot 1,6245 \times 0,573 \cdot 1,5708 \cdot 0,866 = 0,93832 + 1,26623 \cdot \theta_y$$

$$\delta_{60}^{1*} = -0,24355 - \theta_y \cdot 1,6245 \cdot (-0,50) = -0,24355 + 0,81225 \cdot \theta_y$$

3.2.2 X_5^1 ve X_6^1 hiperstatik bilinmeyenlerin hesabı:

Yukarıdaki δ_{ik}^* sayıları Formül 14'de yerlerine konulur ve gerekli kısaltmalar yapılırsa;

$$X_5^1 = \frac{X_5}{p \cdot r^2} = -\frac{1,11503 + 2,12292 \cdot \theta_y}{0,64318 + 1,11205 \cdot \theta_y}$$

$$X_6^1 = \frac{X_6}{p \cdot r^2} = -\frac{0,10010 + 0,26485 \cdot \theta_y}{0,64318 + 1,11205 \cdot \theta_y}$$

hiperstatik bilinmeyenler θ_y dönme faktörüne bağlı olarak elde edilir.

- Ankastr mesnetli merdiven için $\theta_y = 0$ alınarak;

$$X_5^1 = -1,11503 / 0,64318 = -1,7336, \quad X_6^1 = -0,10010 / 0,64318 = -0,1556$$

- M_y 'ye göre elastik ankastr merdivende $\theta_y = 1/3$ alınarak;

$$X_5^1 = -\frac{1,11503 + 2,12292/3}{0,64318 + 1,11205/3} = -1,7977, \quad X_6^1 = -\frac{0,10010 + 0,26485/3}{0,64318 + 1,11205/3} = -0,1858$$

M_y 'ye göre elastik ankastr ($\theta_y = 1/3$) mesnetli merdiven sisteminin iç kuvvetleri için, yukarıda hesaplanan hiperstatik bilinmeyenler esas alınarak ankastr mesnetli merdivendekine benzer biçimde aşağıdaki tablolar düzenlenmiştir (Tablo 3):

Tablo 3.a İki ucundan elastik ankastr mesnetli (dönme faktörü: $\theta_y = 1/3$ olan) sahanlıklı helisel merdivenin, çubuk sistem olarak sürekli çözüm yönteminden bulunan değişik kesitlerdeki iç kuvvetler (yük eksantrikliği hesaba katılarak)

İç kuvvetler	Sahanlık Bölümü		Alt (ve Üst) Helisel Merdiven Kolu				Birim
	$\varphi = 0$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi_P = 30^\circ$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = 30^\circ$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = 60^\circ$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = 90^\circ$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = \varphi_0 = 120^\circ$	
V_y	- 51,90	- 44,95	- 44,95	- 25,95	0	+ 25,95	kN
V_z	0	$\begin{matrix} (-) \\ (+) \end{matrix}$ 15,09	$\begin{matrix} (-) \\ (+) \end{matrix}$ 0,20	$\begin{matrix} (-) \\ (+) \end{matrix}$ 3,86	$\begin{matrix} (-) \\ (+) \end{matrix}$ 13,50	$\begin{matrix} (-) \\ (+) \end{matrix}$ 30,05	kN
N	0	$\begin{matrix} (-) \\ (+) \end{matrix}$ 25,95	$\begin{matrix} (-) \\ (+) \end{matrix}$ 30,03	$\begin{matrix} (-) \\ (+) \end{matrix}$ 54,02	$\begin{matrix} (-) \\ (+) \end{matrix}$ 67,55	$\begin{matrix} (-) \\ (+) \end{matrix}$ 69,02	kN
M_y	- 8,03	- 13,23	- 13,23	- 7,20	- 0,10	- 5,53	kN m
M_z	0	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix}$ 38,93	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix}$ 35,40	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix}$ 70,13	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix}$ 82,05	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix}$ 69,42	kN m
T	0	$\begin{matrix} (-) \\ (+) \end{matrix}$ 3,24	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix}$ 16,53	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix}$ 13,23	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix}$ 13,42	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix}$ 14,49	kN m

Helisel İki Kol Ortasında Dairesel Sahanlığa Sahip Uzay Taşıyıcı Merdivenler

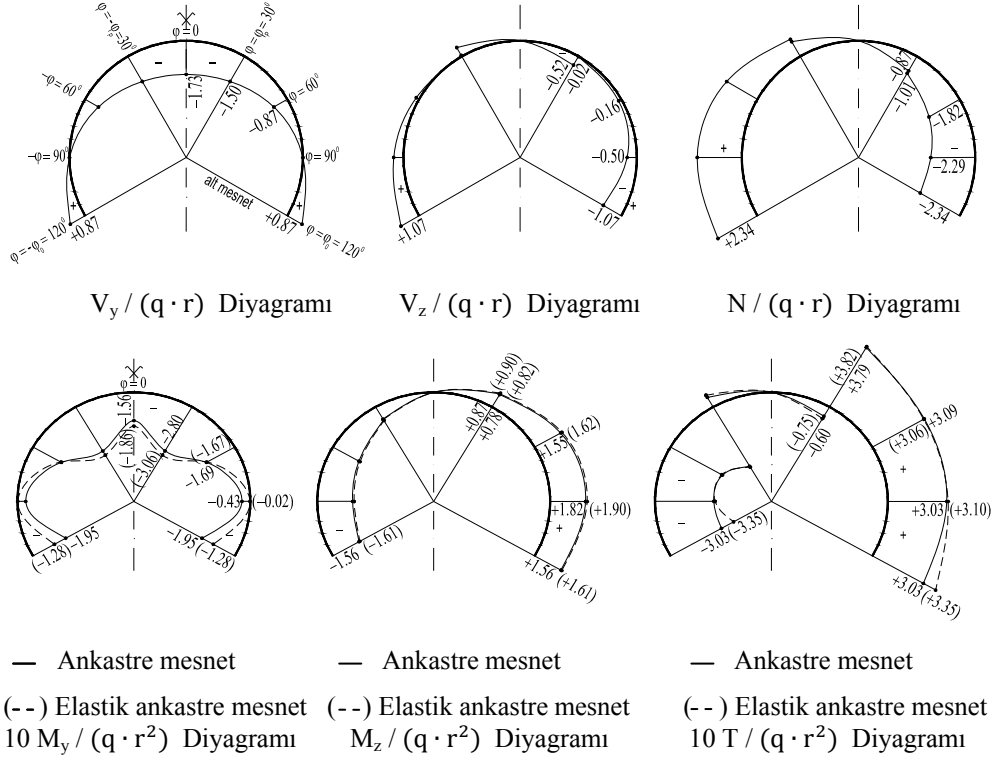
Tablo 3.b İki ucundan elastik ankastre mesnetli sahanlıklı helisel merdivenin, $\tan \alpha_0 = h_l/L_L$ eğiminde fiktif helisel merdivende kuvvet yöntemine dayanan sürekli çözümden yararlanarak bulunan değişik kesitlerindeki iç kuvvetler

İç kuvvetler	Sahanlık Bölümü		Alt (ve Üst) Helisel Merdiven Kolu				Birim
	$\varphi = 0$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi_P = 30^0$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = 30^0$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = 60^0$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = 90^0$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = \varphi_0 = 120^0$	
V_y	- 49,73	- 43,06	- 43,06	- 24,90	0	+ 24,90	kN
V_z	0	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 15,09$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 13,87$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 10,72$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 22,00$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 38,50$	kN
N	0	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 24,86$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 28,80$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 51,50$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 63,60$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 63,40$	kN
M_y	- 6,88	- 12,24	- 12,24	+ 2,20	+ 3,50	- 8,70	kN m
M_z	0	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 37,29$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 35,32$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 70,20$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 79,60$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 68,20$	kN m
T	0	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 2,67$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 12,28$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 0,30$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 3,70$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 4,90$	kN m

Tablo 3.c İki ucundan elastik ankastre mesnetli sahanlıklı helisel merdivenin, yük eksantrikliği etkisi hesaba katılarak sonlu elemanlar yöntemine göre SAP2000 programıyla çözümden elde edilen iç kuvvetler (elastik ankastre mesnet, $l_y = 2,30$ m açıklıklı dış ucundan ankastre mesnetli çubuk ile modellenmiştir)

İç kuvvetler	Sahanlık Bölümü		Alt (ve Üst) Helisel Merdiven Kolu				Birim
	$\varphi = 0$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi_P = 30^0$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = 30^0$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = 60^0$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = 90^0$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} \varphi = \varphi_0 = 120^0$	
$V_y = -V_3$	- 55,76	- 50,13	- 46,43	- 27,84	+ 0,03	+ 24,69	kN
$V_z = V_2$	0	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 15,09$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 2,29$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 4,14$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 15,52$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 31,40$	kN
$N = P$	0	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 24,69$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 34,48$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 58,07$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 73,17$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 75,90$	kN
$M_y = M_3$	- 2,28	- 8,25	- 8,20	- 3,59	+ 0,25	- 10,49	kN m
$M_z = M_2$	0	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 41,91$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 36,88$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 73,58$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 86,79$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 77,15$	kN m
$T = -T_{FE}$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 0,01$	$\begin{matrix} - \\ (+) \end{matrix} 0,14$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 19,94$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 19,78$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 21,46$	$\begin{matrix} + \\ (-) \end{matrix} 22,52$	kN m

Sahanlıklı helisel merdivenin uzay çubuk varsayımına göre, iki ucundan gerek ankastre mesnetlenme ve gerekse elastik ankastre mesnetlenme durumu için kuvvet yöntemine dayanan sürekli çözümden elde edilen iç kuvvetler Şekil 5'de diyagram biçiminde bir arada gösterilmiştir.



Şekil 5. Ankastre ve elastik ankastre mesnetlenme için iç kuvvet diyagramları

Sahanlıklı helisel merdivenin açıklık ortasındaki ortalama düşey deplasmanı (sehimi), hem kuvvet yöntemine, hem de sonlu elemanlar yöntemine göre hesaplanmıştır. Ortalama düşey deplasmanın sırasıyla ankastre mesnetlenme durumu için 1,2 mm ve 1,5 mm, elastik ankastre mesnetlenme durumu için 3,1 mm ve 3,3 mm dolayında olduğu görülmüştür. Esasen bu tür merdivenlerde yatay ve düşey deplasmanlar uzaysal kemerlenmeden dolayı genelde küçük olmaktadır.

Böylece merdiven ortasındaki maksimum düşey deplasmanın hem ankastre mesnetlenme hem de elastik ankastre mesnetlenme için güvenlik sınırları içinde bulunduğu anlaşılır.

4. DEĞİŞİK ÇÖZÜM YÖNTEMİ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE YORUMLANMASI

Uzay taşıyıcı sahanlıklı helisel merdiven, çubuk sistem olarak hem iki uçundan ankastre mesnetlenme ve hem de elastik ankastre mesnetlenme durumları için;

Helisel İki Kol Ortasında Dairesel Sahanlığa Sahip Uzay Taşıyıcı Merdivenler

- Kuvvet yöntemini temel alan 'sürekli çözüm yöntemi'ne,
- Fiktif helisel merdiven varsayımı üzerine kurulan ve kuvvet yöntemini temel alan 'yaklaşık çözüm yöntemi'ne ,
- SAP 2000 programı ile gerçekleştirilen çubuk sistemini temel alan 'sonlu elemanlar (discrete) çözüm yöntemi'ne göre analiz edilmiş ve elde edilen iç kuvvetler Tablo 2 ve 3'de verilmiştir.

Ayrıca her iki ucundan ankastre mesnetli sahanlıklı helisel merdiven sistemi için, fiktif sahanlıksız helisel merdivenin kuvvet yöntemine dayanan yaklaşık çözüm yöntemine ve SAP 2000 programı ile gerçekleştirilen sonlu elemanlar çözüm yöntemine göre statik analizinden elde edilen iç kuvvetlerin, kuvvet yöntemine dayanan sürekli çözümden bulunan iç kuvvetlerden farklılıkları(sapmalar) Tablo 4'de verilmiştir.

Tablonun incelenmesinden de anlaşılacağı üzere, yaklaşık çözüm yönteminde özellikle M_y düşey eğilme momentinde(yalnız güvenli yönde bulunan ankastre mesnetlerdeki M_y momenti hariç olmak üzere) ve T burulma momentinde güvensiz yönde önemli ölçüde büyük sapmalar bulunmaktadır.

Tablo 4 Ankastre mesnetli sahanlıklı helisel merdiven sisteminde, yaklaşık çözüm ve sonlu elemanlar çözüm yönteminden elde edilen iç kuvvetlerin, kuvvet yöntemine dayanan sürekli çözüm yönteminden elde edilen iç kuvvetlerden farklılıkları (sapmalar)

İç kuvvetler		Sahanlık Bölümü		Alt (ve Üst) Helisel Merdiven Kolu			
		$\varphi = 0$	$(-)\varphi_P = 30^0$	$(-)\varphi = 30^0$	$(-)\varphi = 60^0$	$(-)\varphi = 90^0$	$(-)\varphi = \varphi_0 = 120^0$
V_y	Yaklaşık yöntem	- %7	- %7	- %7	- %7	-	- %7
	Sonlu eleman yöntemi	- %3	%1	- %7	- %3	-	- %14
V_z	Yaklaşık yöntem	-	0	%1940	%152	%59	%28
	Sonlu eleman yöntemi	-	0	%135	%55	%32	%12
N	Yaklaşık yöntem	-	- %7	- %6	- %7	- %8	- %10
	Sonlu eleman yöntemi	-	- %14	%6	0	%2	%4
M_y	Yaklaşık yöntem	- %26	- %13	- %13	- %119	- %122	%54
	Sonlu eleman yöntemi	%20	%11	%7	%27	%241	%100
M_z	Yaklaşık yöntem	-	- %7	%13	- %2	- %5	- %4
	Sonlu eleman yöntemi	-	- %3	0	0	%2	%9
T	Yaklaşık yöntem	-	- %34	- %102	- %91	- %72	- %77
	Sonlu eleman yöntemi	-	- %7	- %12	- %9	- %16	- %27

Not : + işaretli rakamlar güvenli yönde, - işaretliler güvensiz yönde farklılığı tanımlar.

Merdivenin normal kuvvet + eğilme momenti boyutlandırılması sırasında, alt (ve üst) merdiven yarısında tüm kesitler alt (ve üst) mesnet kesitindeki N , M_y ve M_z iç kuvvetlerine göre boyutlandırılır ve bulunan donatı alt (ve üst) merdiven yarısı boyunca kesintisiz sürdürülürse, M_y momentinden kaynaklanan güvensizlik giderilmiş olur. Ancak T burulma momentindeki güvensizliğin giderilmesi için, yaklaşık yöntemden ankastre mesnet kesitinde bulunan burulma momenti %450 dolayında artırılarak, kesmeli burulmaya göre kesit kontrol edilip gerekli donatının konulması gerekir. Buradan, yaklaşık yöntemin M_y ve T iç kuvvetleri yönünden kabul edilebilir sonuçlar vermediği ve güvenilir olmadığı sonucu çıkar. M_y ve T dışındaki tüm iç kuvvetlerin kesit boyutlandırılmasında yeter yaklaşıklıkla güvenli olarak kullanılabilceği söylenebilir.

Yine Tablo 4'ün incelenmesi sonucu; SAP2000 programı ile gerçekleştirilen sonlu elemanlar yöntemine göre statik analizden elde edilen iç kuvvetlerden (yalnız T burulma momenti hariç) hemen hemen tümü, kuvvet yöntemine dayanan sürekli çözüm yönteminden elde edilenlere göre güvenli yönde bulunmaktadır. Burulma momentinde %7 ila %27 arasında güvensiz yönde sapma bulunmaktadır. Bu güvensiz yöne sapmanın önemli bir bölümünün, her iki çözüm yöntemindeki burulma ve eğilme rijitliği arasındaki bağıntının farklı alınmasından kaynaklandığı sanılmaktadır. Söz konusu bağıntı; sonlu eleman yönteminde muhtemelen basık kirişler için öngörülen 1,65- 1,70 katsayısı ile hesaba katıldığı halde, kuvvet yöntemine dayanan sürekli çözüm yönteminde bu katsayı birlikte betonlanan beton basamakların burulma rijitliğine etkisini de içeren 2 katsayısı ile hesaba katılmıştır.

Öte yandan sonlu elemanlar yönteminden elde edilen M_y momentinde güvenli yöndeki sapmalar çok büyük değerlere ulaşmaktadır. Momentindeki bu sapmaların bir bölümünün burulma ve eğilme rijitliği arasındaki bağıntı farklılığından kaynaklandığı tahmin edilmesine karşın, sapmanın büyük bölümünün nedeni konusunda mantıklı bir yorum yapılamamıştır.

Sonuç olarak, SAP 2000 programı ile yeterli sayıda sonlu eleman (bu örnekte 32 eleman yeterli sayı olarak önerilebilir) seçilerek ve dairesel yük alanı nedeniyle ortaya çıkan yük eksantrikliği hesaba katılarak gerçekleştirilen ara sahanlıklı helisel merdivenin statik analiz sonuçlarından elde edilen iç kuvvetlerden, burulma momenti dışındakilerin (burulma momentinde %7 ila %27 arasında güvensiz yönde sapmalar bulunmaktadır) kesit boyutlandırılmasında güvenle kullanılabilceği söylenebilir. Ancak SAP 2000 programı kullanılarak gerçekleştirilen sonlu elemanlar yönteminden elde edilen iç kuvvetlerle yapılan normal kuvvetli eğilme boyutlandırılmasının, fazla güvenli olmasından dolayı ekonomik olmayan sonuçlar vereceği açıktır.

Her iki uçundan M_y eğilme momentine göre elastik ankastre ara sahanlıklı helisel merdiven sistemi için, fiktif sahanlıksız helisel merdiven sistemindeki yaklaşık çözüm yöntemine ve SAP 2000 programı ile gerçekleştirilen sonlu elemanlar çözüm yöntemine göre statik analizden elde edilen iç kuvvetlerin, kuvvet yöntemine dayanan sürekli çözümden bulunan iç kuvvetlerle karşılaştırılması sonucu, iç kuvvetler arasında ankastre mesnetli durumdakine benzer farklılıklar bulunmasına karşın, sonlu elemanlar çözümündeki sonuçların ankastre mesnetli durumdaki kadar kuvvet yöntemiyle uyumlu olmadığı görülmektedir. Bu uyumsuzluğun bir bölümünün mesnetlerdeki elastik ankastreliğin farklı biçimde tarif edilmesinden kaynaklandığı sanılmaktadır. Elastik ankastrelik, kuvvet yönteminde dönme faktörü ile hesaba katılmasına karşın, sonlu elemanlar yönteminde merdiven sistemine

mesnetlerde sürekli bağlanmış doğrusal çubuklarla modellenmiştir. Bununla birlikte elastik ankastre mesnetlenme durumunda, SAP 2000 programı ile gerçekleştirilen sonlu elemanlar yönteminden bulunan iç kuvvetlerle ankastre mesnetli durumda belirtilenlere benzer önlemler alınarak merdiven kesitleri boyutlandırılabilir.

Kaynaklar

- [1] Fuchssteiner, W. : Treppen, Beitrag S. 51-84 in Beton Kalender 1955, 1960, 1965 II. Teil, Berlin / München; W. Ernst und Sohn 1965.
- [2] Köseoğlu, S. : Treppen, Beitrag S. 901-1034 in Beton Kalender 1980, II. Teil, Berlin / München; W. Ernst und Sohn 1980.
- [3] Köseoğlu, S. : Merdivenler – Statiği ve Konstrüksiyonu, 4. Baskı İstanbul 1992.
- [4] Köseoğlu, S.: Uzay taşıyıcı düz kollu merdivenler, İMO-Teknik Bülten 1971, Sayı 5
- [5] Köseoğlu, S. : Yatay Doğrultuda Elastik Mesnetli Kıvrımlı Sistem Merdivenler, İMO Teknik Dergi Cilt 9, Sayı 1 Ocak 1998.
- [6] Walter, H. : Zur Abstützung Freitragender Wendeltreppen, Beitrag S. 64-68 in Beton – und Stahlbetonbau Heft 3, 1958.
- [7] Özmen, G.: Elastik mesnetli dönel merdivenler, İstanbul Teknik Üniversitesi Bülteni Sayı 18/1 – 1960
- [8] Morgan, V. A. : Comparison of analyses of helical stairs, Concrete and Constructional Engineering, March 1960.
- [9] Scordelis, A. C. : Internal forces in uniformly – loaded helicoidal girders, A. C. I. Journal, October 1960.
- [10] Cusens, A. R. ; and Santathadaporn , S. : Helical Stairs, Concrete Publication LTD., London 1966.
- [11] Eichstaedt, H. R. : Zur Berechnung freitragender Wendeltreppen mit Zwischen - podium, Stahlbetonbau Heft 5, 1960.
- [12] Garz, K. F. : Statische Vergleiche zwischen freitragenden Wendeltreppen über eliptischen und kreisförmigen Grundrissen, Die Bautechnik 6/1967.
- [13] Rosman, R. : Beitrag zu Entwurf und Statik der freitragende Podestreppe, Die Bautechnik 9/1981.
- [14] İnan, M.: Cisimlerin Mukavemeti 2. Baskı 1970 İstanbul.
- [15] Çakıroğlu, A ve Çetmeli, E: Yapı Statiği I ve II, 6. Baskı 1979 İstanbul.
- [16] TS500, 2000 – Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TSE 2000 Ankara.
- [17] Ersoy, U. : Betonarme – Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı Cilt 1 1985 İstanbul.