

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Farklı Vana Türlerinin Su Darbesi Üzerine Etkisi <i>Effect of Valve Type on Water Hammer</i> Bülent SELEK, M.Salih KIRKGÖZ, Zeliha SELEK.....	1
Bilgisayar Yardımı ile Kanalizasyon Şebekelerinin Hidrolik Tasarımı <i>Computer Aided Design of Sewage Systems</i> Recep YURTAL, Çolpon MAKEEVA, Galip SEÇKİN.....	15
Çok Katlı Yapıların Yeni Deprem Yönetmeliğine Göre Analizi ve Yapı Düzensizliklerinin İrdelenmesi <i>Analysis of Investigation of Structural Irregularities of Multistory Structures According to the New Turkish Earthquake Code</i> Fatih AYDINALEV, Beytullah TEMEL.....	29
Elastik Olmayan Düzlemsel Çelik Çerçevelerin Nonlinear Analizi <i>Nonlinear Analysis of Inelastic Steel Plane Frames</i> Nihat ATMACA, A.Kamil TANRIKULU.....	45
Çeşitli Kesit Alanlı Kanalların Minimum Entropi Üretimine Göre Optimizasyonu <i>Optimization of Ducts of Arbitrary Cross-Sections for Minimum Entropy Generation</i> Alper YILMAZ, Tuncay YILMAZ.....	67
Adsorpsiyonlu Buharlaştırılmalı Soğutma Sistemi <i>Adsorptive Evaporative Cooling System</i> Cuma KARAKUŞ, Tuncay YILMAZ.....	81

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ**

Çukurova University, Journal of Faculty of Engineering and Architecture

Sahibi

A.Hamit SERBEST
Çukurova Üniversitesi
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanı

Editör

Mesut ANIL

YAYIN KURULU

Mesut ANIL Beşir ŞAHİN
Recep YURTAL Osman BABAARSLAN
Hasan ÇETİN

YAZI İNCELEME KURULU (Editorial Board)

(SÜREKLİ)

İ.Deniz AKÇALI (Ç.Ü.) Nur AKIN (İ.T.Ü.)
Ergin ARIOĞLU (İ.T.Ü.) Orhan AKSOĞAN (Ç.Ü.)
Ahmet AYHAN (G.Y.T.E.) Ergüzer BİNGÖL (Ç.Ü.)
A.Feyzi BİNGÖL (F.Ü.) Baki CANİK (A.Ü.)
Cavit DEMİRKOL (Ç.Ü.) İlhan ERHAN (M.S.Ü.)
Aziz ERTUNÇ (Ç.Ü.) Cahit HELVACI (D.E.Ü.)
M.Baki KARAMIŞ (E.Ü.) Erdal KEREM (İ.Ü.)
Erhan KIRAL (Ç.Ü.) Salih KIRKGÖZ (Ç.Ü.)
Erdem KOC (Ç.Ü.) Engin MERİC (İ.Ü.)
Güven ÖNAL (İ.T.Ü.) Işık ÖZPEKER (İ.T.Ü.)
Kazım PIHTILI (F.Ü.) Senai SALTOĞLU (İ.T.Ü.)
Hamit SERBEST (Ç.Ü.) Vedia TOKER (A.Ü.)
Bedri TUÇ (G.Ü.) İbrahim UZMAY (E.Ü.)
Servet YAMAN (Ç.Ü.) Cengiz YETİŞ (Ç.Ü.)
Yücel YILMAZ (İ.T.Ü.) Tuncay YILMAZ (Ç.Ü.)

(Bu Sayıda Görüşlerinden Yararlanılan Diğer Hakemler)

Ali BERKTAY (S.Ü.) Orhan BÜYÜKALACA (Ç.Ü.)
Mehmet ÇANBAZOĞLU (Ç.Ü.) Fethi ÇALIŞIR (İ.T.Ü.)
Cengiz DÜNDAR (Ç.Ü.) Hakan ERDEM (19 Mayıs Ü.)
Erkin ERTEN (Ç.Ü.) Hunay EVLİYA (Ç.Ü.)
Tefaruk HAKTANIR (E.Ü.) Mine İNCEOĞLU (İ.T.Ü.)
Fikret İŞLER (Ç.Ü.) Hasan KAPLAN (P.Kale Ü.)
Ali KOKANGÜL (Ç.Ü.) Zeliha SELEK (Ç.Ü.)
Beşir ŞAHİN (Ç.Ü.) Recep YURTAL (Ç.Ü.)
Ahmet YÜCEER (Ç.Ü.)

YAZISMA ADRESİ

Ç.Ü.Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Dergi ve Yayın Kurulu Başkanlığı
01330 Balcalı / ADAÑA

Tel: (322) 338 63 57 Faks: (322) 338 61 26

(Bu sayı Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Eğitim-Araştırma ve Güçlendirme Vakfı (ÇÜMVAK)-Yayıncılık ve Fuarlılık İktisadi İşletmesi (YA-FU) tarafından yayımlanmıştır).

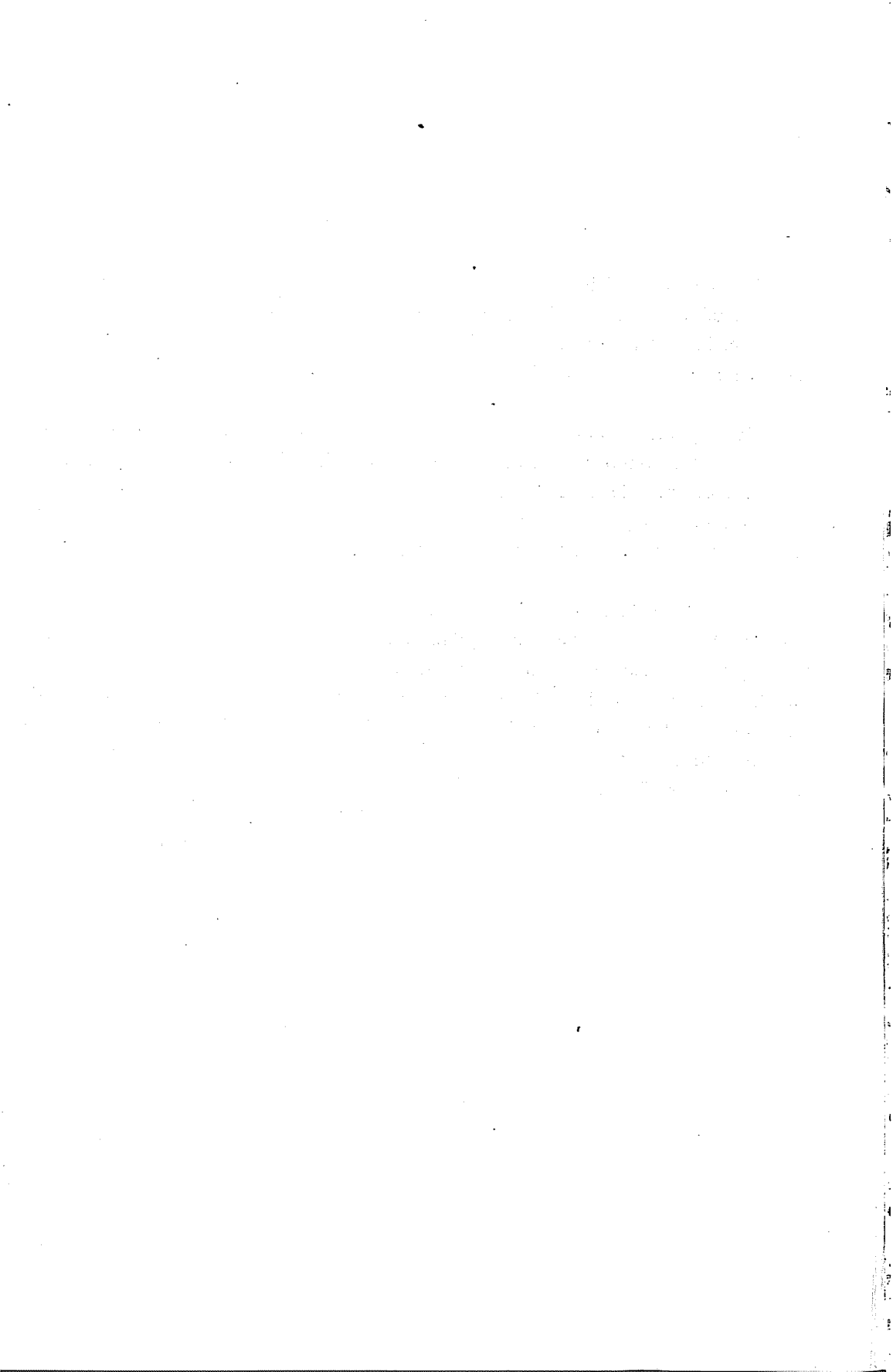
ÖNSÖZ

Fakülte Dergimizin 14.cilt 1-2.sayısını maalesef gecikmeyle yayınlayabildik. Ancak 2000 yılına ait 15. cilt de dizilmeye başlanmıştır. Bu gecikmelerin en önemli sebebi maddi imkansızlıklar olup, ülkemizin içinde bulunduğu derin ekonomik kriz süreci de genç araştırmacıların bile üzerinde olumsuz etki yaratmıştır.

Bu sayımızda toplam 11 makaleye yer verilmiştir. Bu çalışmaların çoğu Fakültemizdeki bölümlerde gerçekleştirilen master ve doktora tezleriyle ilgilidir. 15. ciltten itibaren makaleleri IBM uyumlu bilgisayar dizgisiyle yapacağımızdan Macintosh programlarında dergi dizimi için süre kaybımız ortadan kalkacak ve makalelerin baskıya hazırlanması daha kısa sürede tamamlanabilecektir.

Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Eğitim-Araştırma ve G \ddot{u} çlendirme Vakfı (ÇÜMVAK) - Yayıncılık ve Fuarçılık İktisadi İşletmesi (YA-FU) tarafından bir süreden beri yayınlanan Fakülte Dergimize her türlü desteğini esirgemeyen Vakıf Başkanı ve Fakülte Dekanı Prof.Dr. A.Hamit Serbest'e, dergimize makale veren değerli yazarlarımıza, büyük bir özveriyle derginin dizgisini yapan Filiz Demirkıran'a ve basınımlı büyük bir titizlikle gerçekleştiren Üniversitemiz Matbaası yetkililerine teşekkür etmeyi görev biliriz.

Yayın Kurulu





CİLT
VOL 14

SAYI
NO 1-2

HAZİRAN / ARALIK
June/December 1999

ISSN 1019-1011

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

- Farklı Vana Türlerinin Su Darbesi Üzerine Etkisi
Effect of Valve Type on Water Hammer
Bülent SELEK, M.Salih KIRKGÖZ, Zeliha SELEK 1
- Bilgisayar Yardımı ile Kanalizasyon Şebekelerinin Hidrolik Tasarımı
Computer Aided Design of Sewage Systems
Recep YURTAL, Çolpon MAKEEVA, Galip SEÇKİN 15
- Çok Katlı Yapıların Yeni Deprem Yönetmeliğine Göre Analizi ve Yapı
Düzensizliklerinin İrdelenmesi
*Analysis of Investigation of Structural Irregularities of Multistory
Structures According to the New Turkish Earthquake Code*
Fatih AYDINALEV, Beytullah TEMEL 29
- Elastik Olmayan Düzlemsel Çelik Çerçevesinin Nonlineer Analizi
Nonlinear Analysis of Inelastic Steel Plane Frames
Nihat ATMACA, A.Kamil TANRIKULU 45
- Çeşitli Kesit Alanlı Kanalların Minimum Entropi Üretimine
Göre Optimizasyonu
*Optimization of Ducts of Arbitrary Cross-Sections for Minimum
Entropy Generation*
Alper YILMAZ, Tuncay YILMAZ 67
- Adsorpsiyonlu Buharlaştırılmalı Soğutma Sistemi
Adsorptive Evaporative Cooling System
Cuma KARAKUŞ, Tuncay YILMAZ 81

Geleneksel ve Günümüz Konut Yakın Çevreleri İçin İyileştirme Önerileri ve Adana Örneği <i>Some Suggestions on the Rehabilitation of Domicile of Buildings in Historic and Present Urban Areas: A Particular Study on Adana</i> Serpil ÇERÇİ.....	95
Pozantı'nın (Adana) Doğu (Akdağ) ve Kuzeydoğusunda (Karıncadağ) Yüzeyleyen Çinko-Kurşun Cevherleşmesinin Mineralojisi <i>Mineralogy Lead-Zinc Deposites in East (Akdağ) and Northeast (Karıncadağ) of Pozantı (Adana)</i> Mustafa AKYILDIZ, Mesut ANIL.....	103
Evsel Atıklardan Yeniden Kullanılabilir Maddelerin Kazanılması <i>Recovery of the Reusable Materials from Domestic Refuse</i> Mehmet YILDIRIM	123
Dynamic Programming Formulation of N-Job M-Stage Flowshop Sequencing Problem and an Application to an Industry <i>N-İş ve M-Safhalı Akış Tipi Üretim Sistemlerinde Sıralama Probleminin Dinamik Programlama ile Formülasyonu ve Endüstriyel Bir Uygulaması</i> Rızvan EROL	133
İçme Suyu Arıtma Tesisleri Atık Çamurlarının Yağ Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Koagülant Olarak Kullanılması <i>The Use of Waste Sludge Generated from Water Treatment as a Coagulant for the Treatment of Vegetable Oil Wastewater</i> Ahmet YÜCEER, Mesut BAŞIBÜYÜK, Turan YILMAZ	141

FARKLI VANA TÜRLERİNİN SU DARBESİ ÜZERİNE ETKİSİ**Bülent SELEK***D.S.İ. 6. Bölge Müdürlüğü, Adana/Türkiye***M.Salih KIRKGÖZ***Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye***Zeliha SELEK***Ç.Ü., Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*

ÖZET : Su darbesini idare eden kütlelerin korunumu ve momentumunun korunumu denklemleri karakteristikler yöntemi ile çözülmüştür. Akımın sınır şartları olarak membada sabit seviyeli bir hazne ve mansapta ise altı değişik tür kontrol vananın deşarj karakteristikleri esas alınmıştır. Su darbesinden doğan değişken akım şartlarında basınç dalgasının yayılma ve yansımaları belirlemek için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Sayısal uygulamalar örnek bir hazne-boru sistemi için yapılmıştır. Sayısal bulgulardan, üniform kapanmaya maruz vana basıncının zamanla değişimini grafik olarak sunulmuştur. Hesap bulgularından, basıncın zamanla değişiminin ve maksimum değerinin vana türüne bağlı olduğu görülmüştür.

EFFECT OF VALVE TYPE ON WATER HAMMER

ABSTRACT : The governing equations of water hammer, the conservation of mass and the conservation of momentum, are solved using the method of characteristics. The boundary conditions of the flow are related to an upstream constant-head reservoir, and the discharge characteristics of six different downstream control valves. A computer program is developed to determine the propagation and reflection of the pressure wave during the transient-state flow conditions. Numerical applications are carried out for a reservoir-pipeline system. From the computational results, the variations of the transient pressure at the valve are presented for uniform valve closure schedules. The results show that the variations of transient pressure and the maximum value of it depend on the valve type.

1. GİRİŞ

Bir hazneden türbine su ileten boruda, duruma göre debinin kısa sürelerde değişmesi sonucu su darbesi olarak bilinen yüksek basınç artışları gelişir. Normal işletme şartlarında söz konusu olmayan bu tür basınçlara karşı hidroelektrik tesislerdeki basınçlı boruların dayanımlı olarak tasarımı önem arz etmektedir.

Mühendislik uygulamalarında bilgisayar yöntemlerindeki gelişmelerle birlikte, su darbesini idare eden kütlelin korunumu ve momentumun korunumu denklemlerinin pratik amaçlara yönelik çözümü birçok araştırmaya konu olmuştur. Wood ve Jones (1), sürtünmesiz halde su darbesini idare eden denklemlerin kesin çözümünü hazne-boru-vana sistemine uygulayarak altı değişik türde vana'nın kapanması sonucu oluşan su darbesi basınçlarını veren abaklar sunmuşlardır. Shimada ve Okushima (2); Chaudhry ve Hussaini (3), nonlinear konvektif terimleri ihmal ederek elde ettikleri basitleştirilmiş su darbesi denklemlerinin sonlu farklar yöntemi ile sayısal çözümünü yapmışlardır. Azoury ve ark. (4), hazne-boru sisteminde doğrusal ve doğrusal olmayan vana kapanma durumlarında, basitleştirilmiş su darbesi denklemlerini birinci mertebe sonlu farklar tekniği kullanarak karakteristikler yöntemi ile çözmüşlerdir. Brunone ve Morelli (5), benzer yaklaşımı, bir su dağıtım sistemindeki otomatik kontrol vanasının ayarlanması sonucu oluşan su darbesinin analizi için kullanmışlar ve sayısal model bulgularını deneylerle karşılaştırmışlardır. Ghidaoui ve Karney (6), konvektif ve sürtünme terimlerini ihmal ederek, sabit zaman aralıklı karakteristikler yöntemini su darbesi denklemlerine uygulamışlardır.

Su darbesi denklemlerinin sayısal çözümü için yapılan bir çok uygulamada, temel denklemlerde ve sayısal çözüm yönteminde bazı basitleştirmeler yapılmıştır. Bu çalışmada, su darbesini idare eden nonlinear kısmi diferansiyel denklemlerin karakteristikler yöntemi kullanarak sürtünmeli durumda hazne-boru sistemi için çözümü yapılmıştır. Çeşitli vana tiplerinin sabit hızla (üniform) kapanma durumunda vana'da oluşan basıncın değişimi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. SU DARBESİNİ İDARE EDEN DENKLEMLER VE KARAKTERİSTİKLER YÖNTEMİ İLE SAYISAL ÇÖZÜMÜ

Değişken akım türü olan su darbesi olayını idare eden ifadeler kütlelin korunumu ve momentumun korunumu denklemleridir (7,8). Bu eşitlikler dx uzunluğundaki bir diferansiyel kontrol hacmi için

$$\frac{\partial H}{\partial t} + V \frac{\partial H}{\partial x} - V \sin \theta + \frac{C^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\lambda}{2D} V|V| = 0 \quad (2)$$

şeklinde elde edilir. Burada, $H(x,t)$ piyezometrik yüksekliği (vanadan itibaren), $V(x,t)$ ortalama akım hızını, C basınç dalgası yayılma hızını, D boru çapını, (boru ekseninin yatayla yaptığı açığı, (Darcy-Weisbach sürtünme faktörünü, g yerçekimi ivmesini, x boru memba ucundan uzaklığı ve t zamanı ifade etmektedir. (1) ve (2) eşitlikleri nonlineer kısmi diferansiyel denklemlerdir ve analitik çözümleri mümkün olmadığından karakteristikler yöntemi ile sayısal çözümleri yapılabilmektedir (8).

Karakteristikler yöntemi ile (1) ve (2) eşitlikleri, karakteristik denklemler olarak anılan aşağıdaki iki çift adi diferansiyel denklemlere dönüştürülür.

İlerleyen karakteristikler için:

$$\frac{dH}{dt} + \frac{C}{g} \frac{dV}{dt} - V \sin \theta + \frac{C\lambda}{2gD} V|V| = 0 \quad (3)$$

$$\frac{dx}{dt} = V + C \quad (4)$$

Gerileyen karakteristikler için:

$$\frac{dH}{dt} - \frac{C}{g} \frac{dV}{dt} - V \sin \theta - \frac{C\lambda}{2gD} V|V| = 0 \quad (5)$$

$$\frac{dx}{dt} = V - C \quad (6)$$

(4) ve (6) eşitliklerinde, metal borular için V akım hızı C basınç dalgasının yayılma hızı yanında çok küçük kaldığından ihmal edilebilir. Böylece karakteristik doğruların eğimleri aşağıdaki gibi olur (Şekil 1):

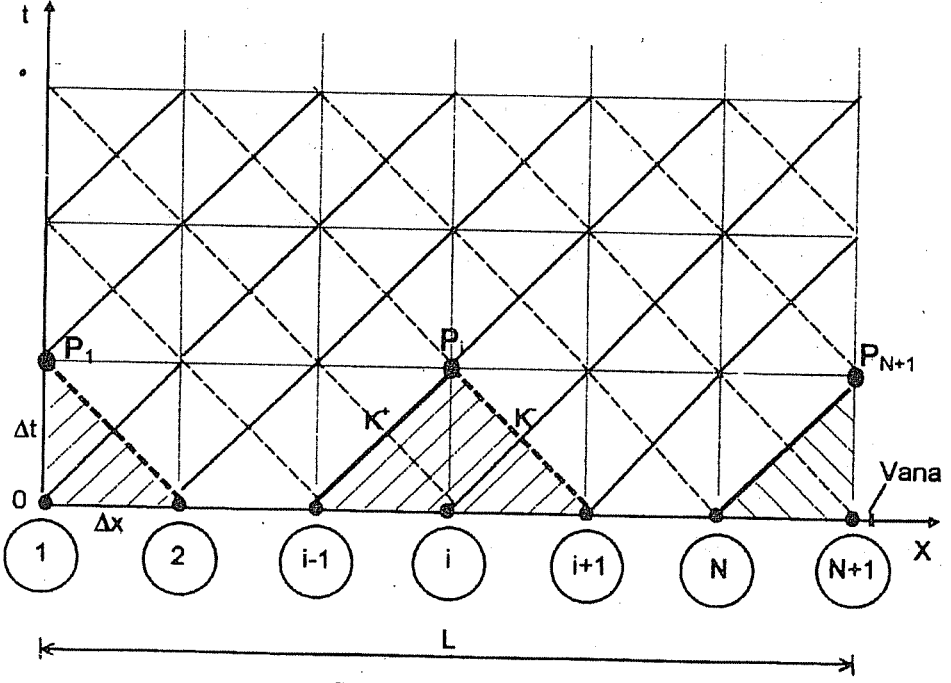
$$K^+: \frac{dx}{dt} = C \quad (4a)$$

$$K^-: \frac{dx}{dt} = -C \quad (6a)$$

Sayısal yöntemin uygulamasında boru boyu L , N eşit parçaya bölünür, böylece $\Delta x=L/N$ olur ve başlangıçta her kesitte H ve V bilinmektedir. Şekil 1'de görüldüğü gibi, su darbesi probleminin çözümü (x,t) düzleminde karakteristik doğruların kesişme noktasında gerçekleştirilebilir. Hesaplar için zaman aralığı $\Delta t=\Delta x/C$ dir. Böylece herbir kesişme noktasında x ve t bilinmektedir.

(3) eşitliği $i-1$ ve P_i arasında K^+ karakteristiği boyunca integre edilirse

$$H_{P_i} - H_{i-1} + \frac{C}{g} (V_{P_i} - V_{i-1}) - V_{i-1} \sin \theta \Delta t + \frac{C\lambda}{2gD} V_{i-1} |V_{i-1}| \Delta t = 0 \quad (7)$$



Şekil 1. Karakteristikler ağı

elde edilir. Benzer şekilde (5) eşitliği $i+1$ ve P_i arasında K^- karakteristiği boyunca integre edilirse

$$H_{P_i} - H_{i+1} - \frac{C}{g}(V_{P_i} - V_{i+1}) - V_{i+1} \sin \theta \Delta t - \frac{C\lambda}{2gD} V_{i+1} |V_{i+1}| \Delta t = 0 \quad (8)$$

elde edilir. (7) ve (8) denklemlerinin ortak çözümünden

$$H_{P_i} = \frac{1}{2} \left[H_{i-1} + H_{i+1} + \frac{C}{g}(V_{i-1} - V_{i+1}) + \Delta t \sin \theta (V_{i-1} + V_{i+1}) - \frac{C\lambda \Delta t}{2gD} (V_{i-1} |V_{i-1}| - V_{i+1} |V_{i+1}|) \right] \quad (9)$$

$$V_{P_i} = \frac{g}{2C} \left[H_{i-1} - H_{i+1} + \frac{C}{g}(V_{i-1} + V_{i+1}) + \Delta t \sin \theta (V_{i-1} - V_{i+1}) - \frac{C\lambda \Delta t}{2gD} (V_{i-1} |V_{i-1}| + V_{i+1} |V_{i+1}|) \right] \quad (10)$$

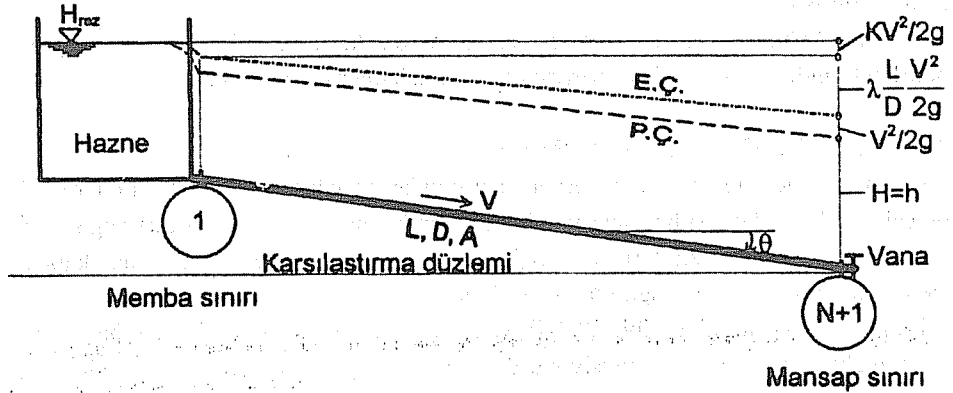
elde edilir. (9) ve (10) eşitliklerinden $i=2$ den N e kadar boru kesitlerindeki P_i keşişme noktalarında H_{p_i} ve V_{p_i} bilinmeyenleri belirlenebilir. Borunun memba ucunda K^- karakteristiği için geçerli (7) eşitliği, mansap ucunda ise K^+ karakteristiği için geçerli (8) eşitliğinin ilgili sınır şartları ile ortak çözümünden 1 ve $N+1$ kesitlerindeki H ve V değerleri elde edilir.

Memba Ucu

Borunun memba ucunda, $i+1=2$ ve P_1 noktaları arasındaki K^- karakteristik doğru için geçerli olan (8) denklemi H_{p_i} ve V_{p_i} bilinmeyenlerini içermektedir (Şekil 1). Bu bilinmeyenlerin belirlenebilmesi için ikinci bir eşitliğe ihtiyaç vardır ve bu eşitlik borunun memba ucu sınır şartından elde edilir. Memba ucunda sabit seviyeli hazne (veya denge bacası) kabul edilerek aşağıdaki ifade yazılabilir (Şekil 2):

$$H_{p_i} = H_{rez} - (K + 1) \frac{V_{p_i}^2}{2g} \quad (11)$$

Burada H_{rez} vanadan itibaren hazne seviyesini ve K boru girişindeki yerel kayıp katsayısını ifade etmektedir.



Şekil 2. Boru hattında memba ve mansap sınır şartları

Mansap Ucu

Borunun mansap ucunda, $i-1=N$ ve vananın hemen önündeki P_{N+1} noktaları arasındaki K^+ karakteristik doğru için geçerli olan (7) denklemi $H_{P_{N+1}}$ ve $V_{P_{N+1}}$ bilinmeyenlerini içermektedir (Şekil 1 ve 2). Mansap sınır şartı olarak diğer bir eşitlik debi değişiminden elde edilir. Düzenli halde vanadan geçen akımın debisi için

$$Q_0 = AV_0 = C_d A_{v0} (2gH_0)^{1/2} \quad (12)$$

yazılabilir. Burada, A boru kesit alanı, V_0 düzenli halde akım hızı, C_d debi katsayısı, A_{v0} başlangıçtaki vana kesit alanı ve H_0 düzenli akım halinde vanadaki basınç yüksekliğini ifade etmektedir.

Değişken akım durumunda da debinin (12) eşitliğine benzer bir ifade ile tanımlanabileceği kabul edilirse

$$Q = AV_{P_{N+1}} = C_d A_v (2gH_{P_{N+1}})^{1/2} \quad (13)$$

yazılabilir. (12) ve (13) eşitliği taraf tarafa bölünürse $H_{P_{N+1}}$ ve $V_{P_{N+1}}$ bilinmeyenleri için ikinci eşitlik elde edilir:

$$\frac{V_{P_{N+1}}}{V_0} = \frac{A_v}{A_{v0}} \left(\frac{H_{P_{N+1}}}{H_0} \right)^{1/2} \quad (14)$$

(14) eşitliğinde, A_v/A_{v0} değeri vana kapanma sırasında herhangi bir andaki vana alanının, düzenli akım halindeki vana alanına oranını ifade etmektedir. A_v/A_{v0} açıklık oranının zamanla değişimi, vana türüne ve vana kapatılma şekline (sabit veya değişken hızla) bağlıdır. Bu çalışmada bu oran "vana kapanma fonksiyonu" olarak adlandırılmıştır.

Sayısal çözümde $i=1$ den $N+1$ 'e kadar herbir kesitteki H_{p_i} ve V_{p_i} değerleri belirlendiğinde, zaman Δt kadar artırılır ve aynı işlemler tekrar edilir.

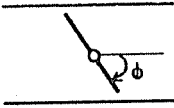
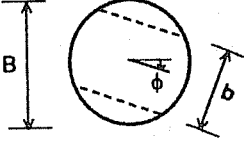
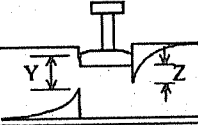
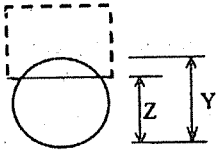
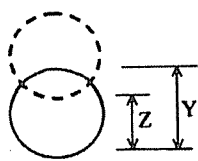
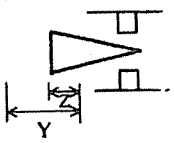
3. VANA TÜRLERİ VE KAPANMA FONKSİYONLARI

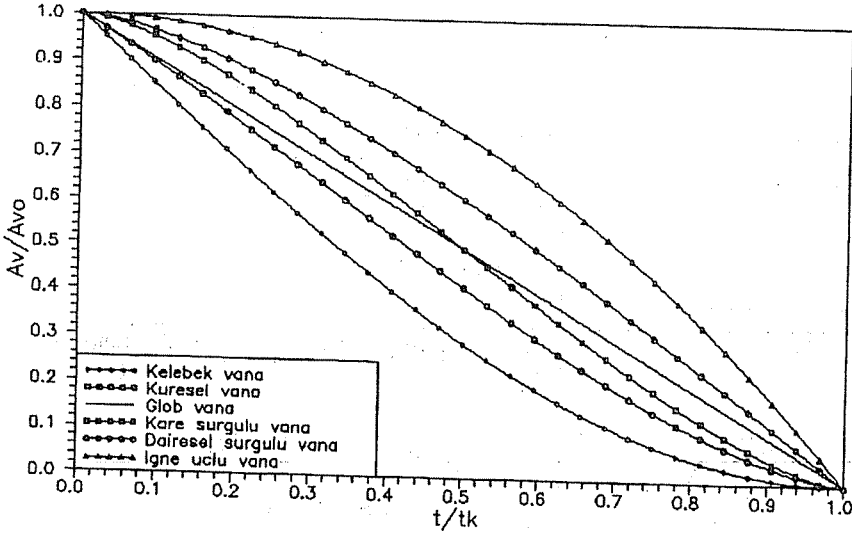
Wood ve Jones (1) tarafından verilen bazı standart vanaların kapanma karakteristikleri bu çalışmada su darbesi basınçlarının hesabı için kullanılmıştır. Tablo 1'de değişik vana türlerinin şematik çizimleri ve A_v/A_{v0} kapanma fonksiyonları, vana kapanma elemanının pozisyonuna bağlı olarak verilmiştir.

Tablo 1'de görüldüğü gibi, ilk iki vana kapama elemanının dönme hareketi ile kapanmakta ve kapanma fonksiyonu dönme açısı ϕ 'ye göre tanımlanmaktadır. Diğer dört tür vana ise vana kapama elemanının doğrusal hareketi ile kapanmakta olup kapanma fonksiyonu, vana kapama elemanının pozisyonu Z'nin tam kapanma pozisyonu Y'ye oranına bağlı olarak ifade edilmektedir. Her bir vananın kapanma sürecindeki tam açık ve tam kapalı durumlarındaki işletme aralıklarına ait ϕ ve Y/Z değerleri tabloda görülmektedir.

Bu çalışmada ele alınan vanaların t_k kapanma süresi içerisinde üniform olarak kapandığı kabul edilmiş ve kullanılan vanalara ait zamana bağlı kapanma fonksiyonları Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi glob vana dışındaki vanalar açık alan değişimi bakımından doğrusal olmayan kapanma süreçleri sergilemektedirler.

Tablo 1. Değişik Vana Türleri ve Kapanma Fonksiyonları.

Vana Türü	Kapanma Fonksiyonu
<p>Kelebek Vana</p> 	$\frac{A_v}{A_{v0}} = 1 - \cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right)$ $0 \leq \phi \leq \phi_m = \pi/2$
<p>Küresel Vana</p> 	$\frac{A_v}{A_{v0}} = \frac{1 + \cos \phi}{2} + \frac{\cos \phi}{\pi} \left\{ \arcsin(-x) + \frac{\sin[2 \arcsin(-x)]}{2} \right\}$ $- \frac{1}{\pi} \left[\arcsin x + \frac{\sin(2 \arcsin x)}{2} \right]$ <p>burada; $x = \frac{\sin \phi [(B/b)^2 - 1]^{1/2}}{1 + \cos \phi}$</p> $0 \leq \phi \leq \phi_m \Rightarrow 1 + \cos \phi_m = \sin \phi_m [(B/b)^2 - 1]^{1/2}$
<p>Glob Vana</p> 	$\frac{A_v}{A_{v0}} = \frac{Z}{Y}$ $0 \leq Z/Y \leq 1$
<p>Kare Sürgülü Vana</p> 	$\frac{A_v}{A_{v0}} = 1 - \frac{1}{\pi} \left\{ \arccos\left(\frac{2Z}{Y} - 1\right) - \left(\frac{2Z}{Y} - 1\right) \left[1 - \left(\frac{2Z}{Y} - 1\right)^2 \right]^{1/2} \right\}$ $0 \leq Z/Y \leq 1$
<p>Dairesel Sürgülü Vana</p> 	$\frac{A_v}{A_{v0}} = 1 - \frac{2}{\pi} \left\{ \arccos\left(\frac{Z}{Y}\right) - \frac{Z}{Y} \left[1 - \left(\frac{Z}{Y}\right)^2 \right]^{1/2} \right\}$ $0 \leq Z/Y \leq 1$
<p>İğne Uçlu Vana</p> 	$\frac{A_v}{A_{v0}} = 2 \frac{Z}{Y} - \left(\frac{Z}{Y}\right)^2$ $0 \leq Z/Y \leq 1$



Şekil 3. Çeşitli vanalarda kapanma fonksiyonları

4. SAYISAL UYGULAMALAR

Bir hidroelektrik tesisteki basınçlı boruda su darbesinin karakteristikler yöntemi ile çözümüne yönelik bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen program basınç dalgasının boru boyunca vana ile hazne arasında yayılma ve yansımaları simüle eden grafik animasyon yapabilmekte ve Tablo 1'de verilen değişik türde vanaların kapanması durumunda, borunun herhangi bir kesitinde basıncın zamanla değişimini belirleyebilmektedir. Program hakkında daha geniş bilgi Selek (9)'de verilmiştir. Su darbesindeki en şiddetli basınçlar borunun mansap ucunda olduğu için, bu çalışmada hesaplanan sonuçlardan sadece vana kesitindeki basınç değişimleri sunulmuştur.

Hesaplar, aşağıda karakteristikleri verilen boru sistemi için yapılmıştır (simgeler için Şekil 2'ye bakınız).

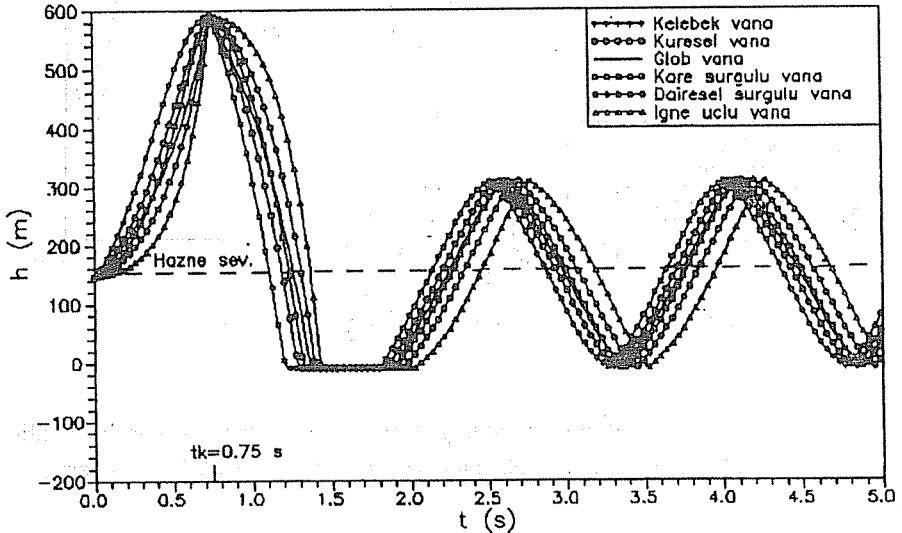
Hazne seviyesi (vanadan itibaren)	: $H_{rez}=150$ m
Düzenli akım halinde debi	: $Q_0=20$ m ³ /s
Boru hattının uzunluğu	: $L=400$ m
Boru çapı	: $D=2.5$ m
Boru et kalınlığı	: $d=30$ mm
Boru girişinde yerel kayıp katsayısı	: $K=0.5$
Boru eşdeğer kum pürüzlülüğü	: $k=0.2$ mm
Boru ekseninin yatayla yaptığı açı	: $\theta=-7.18^\circ$
Basınç dalgası yayılma hızı	: $C=1067$ m/s
Boruda hesap aralıkları	: $N=20$

Hesaplarda, kapanmanın başladığı anda vananın tam açık ve bu durumdaki vana açık alanının boru kesit alanına eşit, yani; $A_{V0}=A$ olduğu kabul edilmiştir. Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı λ , Colebrook-White kanunundan elde edilmiştir.

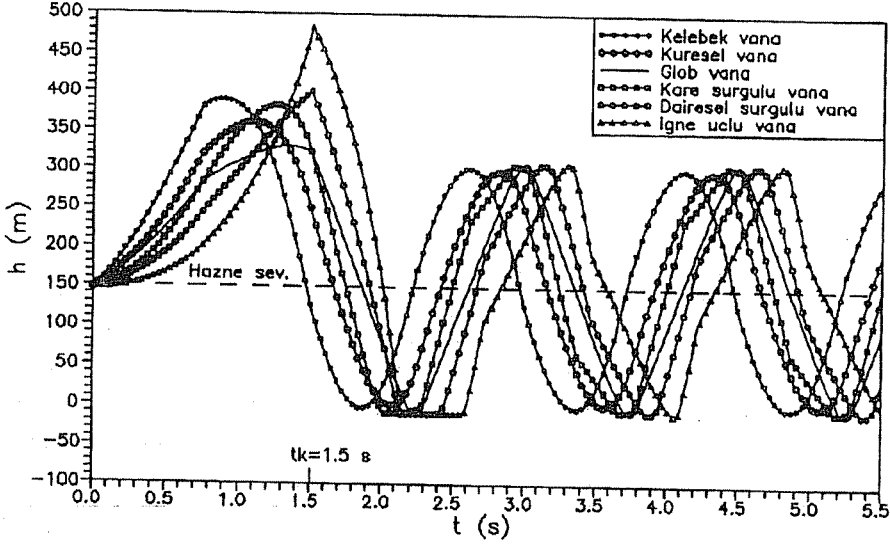
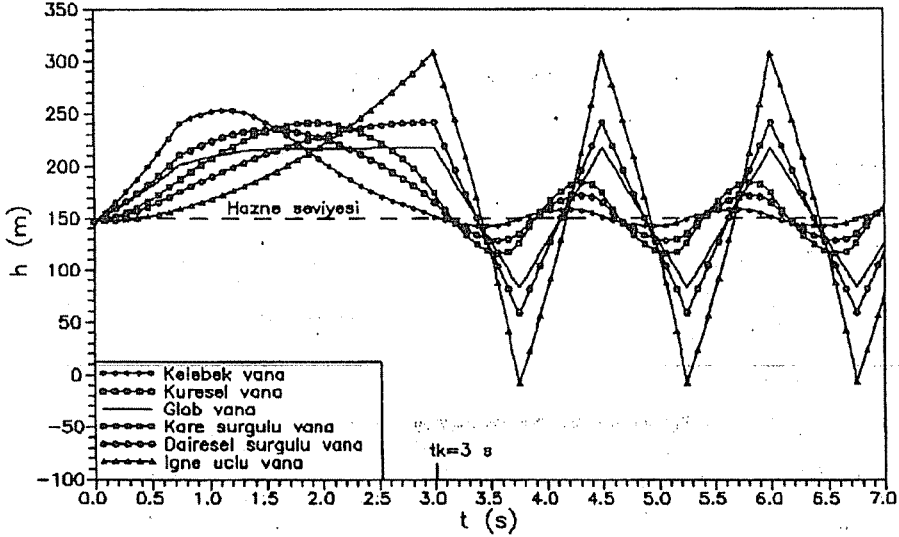
Su darbesinden doğan basınçlar üniform vana kapanması durumunda aşağıdaki vana kapanma süreleri için hesaplanmıştır: $t_k=2L/C=0.75$ s, $4L/C=1.5$ s, $8L/C=3$ s, $16L/C=6$ s, 10 s, 15 s, ve 20 s. $2L/C$ değeri t_k nin hızlı vana kapanması durumu için üst sınır olan basınç dalgasının başladığı yere dönme zamanıdır. Buna göre yukarıdaki kapanma sürelerinden $t_k=0.75$ s en şiddetli darbe basınçlarına sebep olacağı beklenmelidir.

Şekil 4-8'de değişik tür vanaların farklı kapanma zamanları için vanadaki basınç yüksekliğinin, h , zamana göre değişimi verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi, vanada basınç değişimi genelde maksimum değerden sonra şiddeti önemli ölçüde azalan sönümlü salınım biçiminde seyretmektedir. Maksimum basınç; "statik basınç" ve "su darbesi" basıncı olarak adlandırılan dinamik basınç olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Şekil 4-8 deki grafiklerde $t=0$ ile t_k arasında, basınç yüksekliği değişimi yönünden, değişik tür vanalar için önemli farklılıkların olduğu görülmektedir. Bu oluşum Şekil 3'de görüldüğü gibi vana kapanma fonksiyonlarındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır.

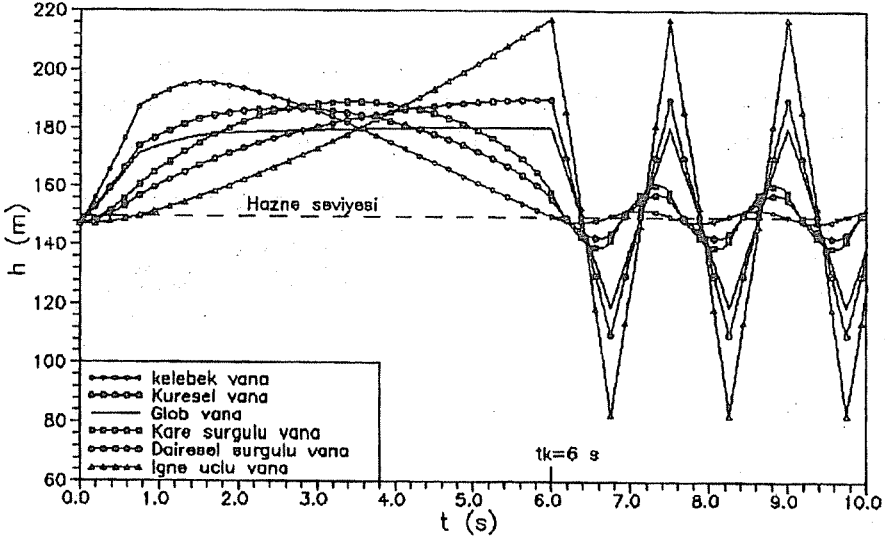
Şekil 9'da farklı vana türleri için maksimum basınç yüksekliği h_{mak} 'in, t_k kapanma zamanı ile değişimi verilmiştir. Şekil 9'da görüldüğü gibi, bütün vanalar için h_{mak} değeri t_k nin artması ile hızlı bir şekilde azalmakta ve hazne seviyesine asimtotik olarak yaklaşmaktadır. Örneğin $t_k=16L/C=6$ s için oluşan basınç, $t_k=2L/C=0.75$ s hızlı



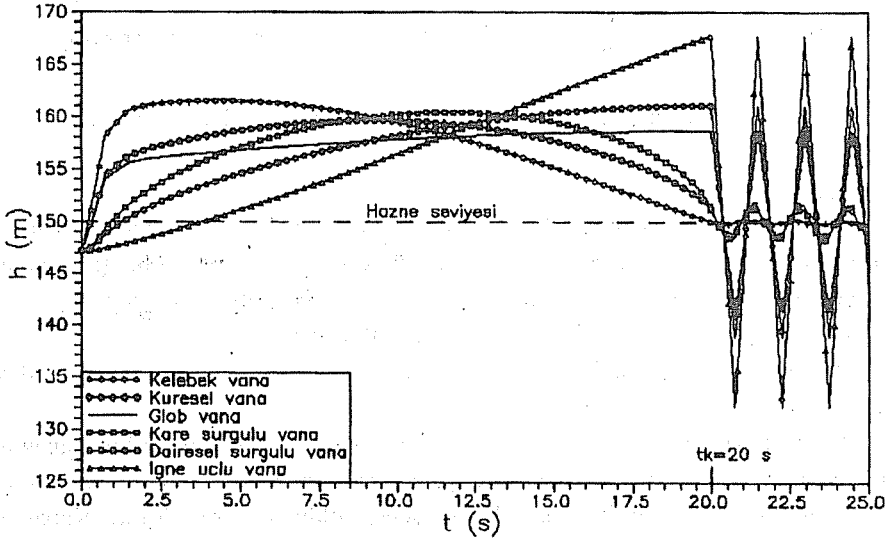
Şekil 4. Vanada basınç yüksekliği değişimi, $t_k=0.75$ s

Şekil 5. Vanada basınç yüksekliği değişimi, $t_k=1.5$ sŞekil 6. Vanada basınç yüksekliği değişimi, $t_k=3$ s

kapanma durumu ile karşılaştırıldığında yaklaşık %90 oranında azaldığı görülmektedir. $t_k > 2L/C$ için iğne uçlu vanada en yüksek, glob vanada ise en düşük h_{\max} değeri elde edilmektedir.



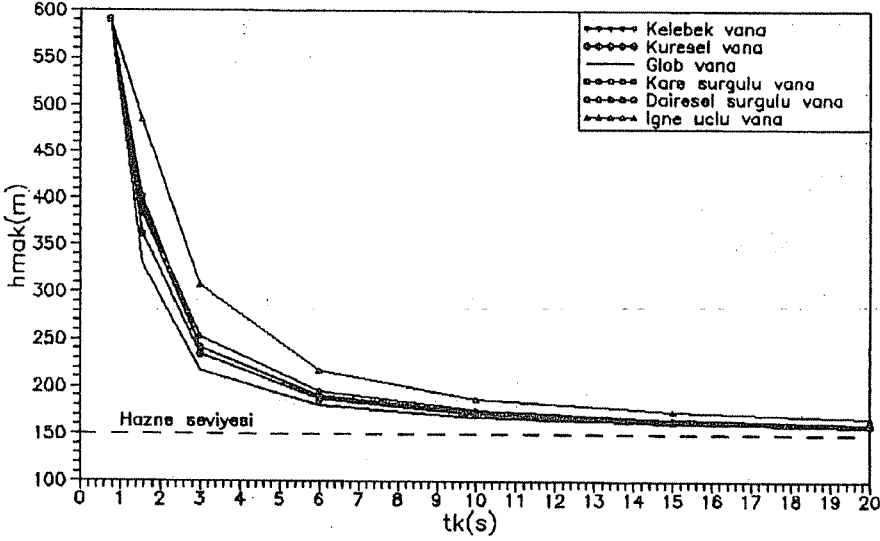
Şekil 7. Vanada basınç yüksekliği değişimi, $t_k=6$ s



Şekil 8. Vanada basınç yüksekliği değişimi, $t_k=20$ s

Şekil 9'dan, maksimum su darbesi basıncının, Şekil 3'de verilen A_V/A_{V0} vana kapanma fonksiyonu ile tanımlanan vana tipine bağlı olduğu açık olarak görülmektedir. Şekil 3 ile birlikte ele alındığında Şekil 9'daki bulguların genel eğilimi, glob vanada olduğu gibi kapanma fonksiyonunun zamanla doğrusal değişmesi durumunda, maksimum su darbesi basıncı pratik bakımdan en olumlu sonuçları doğurmaktadır.

maksimum su darbesi basıncı A_V/A_{V0} kapanma fonksiyonunun doğrusallıktan sapması ölçüsünde artmaktadır. Diğer taraftan, iğne uçlu vana hariç olmak üzere farklı vana türleri için bulunan h_{mak} değerindeki farklar $t_k \geq 15$ s için önemsiz olmaktadır.



Şekil 9. Maksimum basınç yüksekliğinin kapanma süresi ile değişimi

5. SONUÇLAR

Su darbesini idare eden kütlelerin korunumu ve momentumun korunumu denklemleri karakteristikler yöntemi ile çözülmüştür. Farklı türde vanalar mansap sınır şartı olarak alınmış ve vanadaki su darbesi basınçları incelenmiştir. Bu çalışmada yapılan sayısal çözüm uygulamalarından aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Su darbesi basıncının değişimi ve maksimum değeri borunun mansap ucundaki vananın kapanma fonksiyonuna bağlıdır.

2. Üiform kapanma durumuna göre bu çalışmada kullanılan farklı kapanma fonksiyonuna sahip altı değişik vanadan kapanma fonksiyonu yaklaşık doğrusal olan glob vananın en düşük darbe basınçlarına sebep olduğu görülmüştür. Kapanma fonksiyonunun doğrusal değişimden sapma derecesine bağlı olarak basınçlarda artışlar kaydedilmektedir

3. Su darbesinden doğan basınç değişiminin maksimum değeri, beklendiği gibi kapanma süresi arttıkça hızlı bir şekilde azalmakta ve hazne seviyesine asimtotik olarak yaklaşmaktadır. Seçilen örnek için elde edilen bulgular belirli bir kapanma fonksiyonuna sahip vanada hangi kapanma süresinde ne ölçüde darbe basınçları oluşabileceği hakkında pratik amaçlara yönelik fikir vermektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Wood, D.J. and Jones, S.E., "Water-hammer charts for various types of valves", *J.Hydr. Div., ASCE*, 99 (HY1), 167-178, 1973.
2. Shimada, M. and Okushima, S., "New numerical model and technique for waterhammer", *J.Hydr. Engrg., ASCE*, 110 (6), 736-748, 1984.
3. Chaudhry, M.H. and Hussaini, M.Y., "Second - order accurate explicit finite - difference schemes for waterhammer analysis", *J.Fluid Engrg., ASME*, 107, 523-529, 1985.
4. Azoury, P.H., Baasiri, M. and Najm, H., "Effect of valve-closure schedule on water hammer", *J.Hydr. Engrg., ASCE*, 112 (10), 890-903, 1986.
5. Brunone, B. and Morelli, L., "Automatic control valve - induced transients in operative pipe system", *J.Hydr. Engrg., ASCE*, 125 (5), 534-542, 1999.
6. Ghidaoui, M.S. and Karney, B.W., "Equivalent differential equations in fixed grid characteristics method", *J.Hydr. Engrg., ASCE*, 120 (10), 1159-1175, 1994.
7. Streeter, V.L. and Wylie, E.B., "Fluid mechanics", McGraw-Hill Book Co., New York, N.Y., 1985.
8. Chaudhry, M.H., "Applied hydraulic transients", Van Nostrand Reinhold Co., New York, N.Y., 1987.
9. Selek, B., "Su Darbesinin Farklı Sınır Şartları Altında Analizi", Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1999.

BİLGİSAYAR YARDIMI İLE KANALİZASYON ŞEBEKELERİNİN HİDROLİK TASARIMI

Recep YURTAL, Çolpon MAKEEVA ve Galip SEÇKİN
Ç.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

ÖZET : *Pis su kanallarının hidrolik hesabı projelendirmenin çok önemli aşamalarından birisidir. Hidrolik hesabın elde yapılması uzun zaman almakta, hata yapma oranı da daha yüksek olmaktadır. Bu hesabın hatasız ve kısa zamanda yapılması arzu edilir. Bu çalışmada pis su kanallarının projelendirilmesi ve hidrolik hesapların yapılması için genel amaçlı bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen program ile, uzaklaştırılacak olan su miktarı hesaplanmakta ve bu miktar göz önüne alınarak boru çapı ve eğimi seçilmekte, ayrıca döşeme derinliği hesaplanmaktadır.*

COMPUTER AIDED DESIGN OF SEWAGE SYSTEMS

ABSTRACT : *The hydraulic computation of the waste water networks is one of the most important stage of the sewage project. Manual calculations of the hydraulic design take up a great deal of time and the probability of making mistakes is considerably high. The computational stage of the design need to be completed in a reasonably short period of time. In this study a computer program is developed for the design of waste water networks and its hydraulic computations. The developed program computes quantity of the waste water and based on this diameters and slopes of the pipes are selected and flooring depth is determined.*

1. GİRİŞ

Bir su getirme sistemi genel olarak sulama, iletim, depolama ve dağıtım işlemlerini oluşturan kısımlardan teşekkül etmesine benzer olarak, pis suları uzaklaştırma sistemi de kullanılmış suları toplama ve toplanmış suları uzaklaştırma işlemlerini oluşturan kısımlardan, kanalizasyon, pompa istasyonu ve arıtma istasyonundan oluşmaktadır.

Kullanılmış suları toplayan sistemler, birleşik ve ayrık olmak üzere ikiye ayrılırlar. Birleşik sistem, evsel ve endüstriyel atık suları yağmur suyu ile aynı kanalda uzaklaştırır. Ayrık kanalizasyon sistemi de, evsel ve endüstriyel suları ayrı, yağmur suyunu ayrı kanallarla uzaklaştırır.

Kanalizasyon sisteminin hidrolik hesabının yapılması maksadı pis suların miktarını hesaplamak ve kanalizasyon borularının hem ekonomik hem de kullanım açısından en elverişli, en uygun çapını tespit etmek ve minimum kazı hacmi elde etmektir. Hidrolik hesabın el ile yapılması çok uzun zaman almaktadır. Bu çalışmada geliştirilmiş olan bilgisayar programı yardımıyla hidrolik hesabın kısa zaman içinde yapılması ve çeşitli ülkelerin standartlarına göre hesaplanması sağlanmıştır. Program, standartlardaki değişiklikleri veya değişik ülke standartlarını data dosyası olarak alabilecek şekilde geliştirilmiştir. Çalışmada BDT (eski SSCB) ve Türkiye standartlarına göre bulunacak çözümlerin karşılaştırılması da amaçlanmıştır.

2. KULLANILMIŞ SU MİKTARLARI

2.1. Nüfus ve Nüfus Dağılımı

Pis suyun miktarı, nüfus dağılımı ile doğrudan bağlantılı olduğuna göre, bir şehrin kapsamlı pis su tesislerinin uygun ve bilimsel bir şekilde planlanabilmesi için, geçmiş ve gelecekteki nüfusun gerekli detayda etüdü yapılmalıdır. Nüfus tahmini çalışmaları, gelecekteki kanalizasyon debilerinin hesaplanması ve sevkedilecek organik madde miktarlarının değerlendirilmesi için esas bilgiyi sağlar (1).

2.2. Kullanılmış Suları Meydana Getiren Kaynaklar ve Ortalama Değerler

Mecralardaki akım, şehir veya kasabaların kullanılmış sularını, sızan yeraltı sularını ve yağmur sularını ihtiva eder. Bunlardan yalnız birisi, veya bir kaç birliktelik olarak mecralarda akabilir (2).

İnsanlarla meskun bir yere ait kullanılmış sular, bu şehir veya kasabaya dağıtılan suyun binaların drenaj sistemleri yoluyla kanallara verilen kısmını teşkil eder. Isıtma - havalandırma maksatları, endüstriyel işlemler ve benzer ihtiyaçlar için özel su kaynaklarından çekilen sular da sarfedildikten sonra kullanılmış su haline gelebilirler. Genel olarak, şehre iletilen toplam suyun %60 ila 70'i kullanılmış su haline geçer. Geri kalan kısmı çimenleri ve bahçeleri sulamak, caddeleri yıkamak, yangın söndürmek, buhar hasıl etmek, ve çeşitli ev, ticaret ve endüstriyel ihtiyaçları karşılamak için kullanılır (2).

Aşağıda BDT standardına göre su ihtiyacının hesap yöntemi verilmektedir:

Kanalizasyonu sağlanacak birimler: yerleşim birimi, endüstri, sarfiyata sahip diğer birimler- yatılı okul, poliklinik, yemekhane, garaj vb.

Yerleşim birim alanının ortalama günlük sarfiyatı, su ihtiyacının bölgedeki nüfus sayısı ile çarpılarak belirlenmektedir. Ortalama günlük sarfiyatı:

$$Q_{\text{gün}}^{\text{ort}} = \frac{a \times N}{1000} \quad (1)$$

Burada; $Q_{\text{gün}}^{\text{ort}}$ ($\text{m}^3/\text{gün}$) ortalama günlük sarfiyat; a ($\text{l}/\text{kişi}/\text{gün}$) su ihtiyacı (bölge bayındırlık derecesine bağlıdır); N (kişi) nüfustur.

Maksimum saatlik ve saniyelik sarfiyat da ortalama saatlik ve ortalama saniyelik sarfiyatların, standartlara göre kabul edilmiş olan genel değişkenlik katsayısıyla çarpılarak elde edilir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Ortalama Atık Su Sarfiyatına Göre Atık Su Genel Değişkenlik Katsayısı (İnşaat Norm ve Kuralları, 1986)

Ortalama atık su sarfiyatı (l/s)	5	10	20	50	100	300	500	1000	5000
$K_{\text{max}}^{\text{gen}}$	2.5	2.1	1.9	1.7	1.6	1.55	1.5	1.47	1.44

Maksimum saatlik sarfiyat :

$$Q_s^{\text{ort}} = \frac{Q_{\text{gün}}^{\text{ort}}}{t} \quad (2)$$

$$Q_s^{\text{max}} = K_{\text{max}}^{\text{gen}} \times Q_s^{\text{ort}} \quad (3)$$

Burada; Q_s^{max} (m^3/sa) saatlik maksimum sarfiyat; $K_{\text{max}}^{\text{gen}}$ gün içinde değişkenliği gösterir, ortalama saniyelik sarfiyata göre Çizelge 1 den alınır. t (sa) kanalizasyon sistemine atık suların günlük geliş saati (24 saat olarak alınır).

Maksimum saniyelik sarfiyat:

$$q_{\text{sn}}^{\text{ort}} = \frac{Q_s^{\text{ort}} \times 1000}{3600} \quad (4)$$

$$q_{\text{sn}}^{\text{max}} = k_{\text{max}}^{\text{gen}} \times q_{\text{sn}}^{\text{ort}} \quad (5)$$

Burada; q_{sn}^{max} (l/s) maksimum saniyelik sarfiyat; q_{sn}^{ort} (l/s) ortalama saniyelik sarfiyattır.

Maksimum günlük sarfiyat:

$$Q_{gün}^{max} = k_{gün} \times Q_{gün}^{ort} \quad (6)$$

Denklemdede; $k_{gün}$ senede gün boyunca atık suyun değişkenliğini gösteren 1.1 - 1.3 arasında bir katsayıdır.

Tüm yerleşim birim alanı boyunca toplam sarfiyat hesaplanır. Yerleşim birim alanında yerli endüstri, hesaba katılmamış sarfiyatları bulunduğundan dolayı, tamamlayıcı sarfiyatı yerleşim birim alanının toplam atık su sayısının % 5-10'u olarak kabul edilir. Böylece, yerleşim biriminin toplam sarfiyatı 1.05-1.1 katsayısı ile çarpılır ve önceki bulunan toplam sarfiyata ilave edilir.

Endüstrideki atık su sarfiyatı, insanların günlük ihtiyacı dolayısıyla meydana gelen atık su ve duş (banyo) atık sularının toplamını gösterir. Maksimum işçi çalıştığı ve maksimum üretimin yapıldığı vardiyaya göre alınır.

Endüstrideki günlük atık su sarfiyatı:

$$Q_{gün}^{ort} = M \times a \quad (7)$$

Burada; $Q_{gün}^{ort}$ ($m^3/gün$) günlük ortalama sarfiyat; M günlük üretilen birim adedi; a ($m^3/günlük$ birim) birim için su ihtiyacıdır.

Endüstri işletiminde günlük sarfiyat vardiyalardaki sarfiyatların toplamı olarak kabul edilir. Birim adedi için su ihtiyacı endüstri mühendisi tarafından belirlenir.

Saatlik su sarfiyatı:

$$Q_{ort}^s = \frac{Q_{var} d}{T} \quad (8)$$

Burada; T(sa) vardiya çalışma süresidir.

Saniyelik su sarfiyatı:

$$Q_{ort}^{sn} = \frac{Q_{ort}^s}{3.6} \quad (9)$$

Burada; Q_{ort}^{sn} (l/s) saniyelik ortalama sarfiyattır.

Saatlik maksimum su sarfiyatı:

$$q_{max}^s = k \times Q_{ort}^s \quad (10)$$

Burada; q_{max}^s (m^3/sa) saatlik maksimum sarfiyat; k (2,5) değişkenlik katsayısıdır.

Saniyelik maksimum su sarfiyatı:

$$q_{\max}^{\text{sn}} = k \times q_{\text{ort}}^{\text{sn}} \quad (11)$$

Burada; q_{\max}^{sn} (l/s) saniyelik maksimum su sarfiyatı.

2.3. Endüstride İnsanların Günlük İhtiyaçlarından Dolayı Meydana Gelen Atık Su

Endüstrideki ihtiyaç atık suların hesaplanmış sarfiyatı endüstri atık su hesaplanmış sarfiyatının hesap edildiği formüller ile hesaplanır. İhtiyaç suların su ihtiyacı soğuk ve sıcak suya göre kabul edilir. Soğuk suyun kullanılmasında su ihtiyacı bir vardiya için kişi başına 25 litredir ve değişkenlik katsayısı da, 3'e eşittir. Sıcak su kullanılmasında su ihtiyacı bir vardiya için kişi başına 45 litredir ve değişkenlik katsayısı da, 2,5'e eşit olmaktadır. Duş ihtiyaçları için su sarfiyatı, bir duş filesi için bir vardiyada 500 litre su sarf edildiği göz önüne alınarak tayin edilir.

Bir vardiyada duş atık su sarfiyatı:

$$Q_{\text{vard}} = m \times 0.5 \times 0.75 \quad (12)$$

Burada; Q_{vard} (m^3/vard) vardiyada atık su sarfiyatı; m her vardiyada kullanılan duş filesi sayısı; 0.5 (m^3) bir duş filesi için su ihtiyacı; 0.75 (sa) duşun kullanıma süresi bir saat değil 45 dakikadır ve böylece 0.75 saat sayılır.

$$Q_{\text{gb}} = \frac{Q_{2\text{gb}}}{3.6} \quad (13)$$

BDT (eski SSCB)'de kullanılan yöntemlere göre ilk olarak tüm şebekelerdeki sarfiyat tayin edilir, son olarak da ana şebekedeki sarfiyat tayin edilir. Her bir şebekeye bağlı olan ağalar ve adaların alanları tespit edilir. Şebeke alanındaki saniyelik ortalama sarfiyat akıtım modülüne karşılık gelen bölgedeki ada alanı ile çarpılarak hesaplanır.

$$q_{\text{h}} = F \times q_0 \quad (14)$$

Burada; q_{h} (l/s) sarfiyat; F (ha) bölge alanı; q_0 (l/s \times ha) akıtım modülü.

Akıtım modülü aşağıdaki formül ile bulunur:

$$q_0 = \frac{(p \times n \times a)}{86400} \quad (15)$$

Burada; p (kişi/ha) nüfus yoğunluğu (hektar başına nüfus), n (l/s \times kişi) kişi başına su ihtiyacı, a - endüstriden hesaba katılmamış sarfiyatı hesaba alan katsayı (1.05-1.1 kabul edilir),

Hesaplanmış saniyelik sarfiyat ortalama saniyelik sarfiyatı genel değişken katsayıya

k_{\max}^{gen} çarpılarak bulunur:

$$q_h = q_{top} \times k_{max}^{gen}$$

(16)

3. HİDROLİK HESAP VE ŞEBEKENİN PROJELENDİRİLMESİ

3.1. Şebekenin Projelendirilmesi

Pis su drenajı ile, her türlü yerleşim yerinin ve endüstri tesisleri atıklarının uzaklaştırılması ve bunların gerektiğinde ve tercihen endüstri tesis yerinde veya sonunda herhangi bir kirletmeyi önlemek üzere toplu halde arıtılması amaçlanmaktadır (2).

Ayrı ayrı her bir kanalın hesabına girmeden önce, bütün bir sistemin ilk bir genel vaziyet planı yapılır. Pis su kanalları, her bir binaya bir bağlantı yapılabilecek şekilde sokaklara döşenirler. Tali kanalların başındaki bacalar genel olarak, son binanın cephe uzunluğu içinde, ve bina kanalının yeri nazarı itibara alınmak suretiyle teşkil olunur (2).

Genel olarak kanallar, zemin eğimini takip etmeli ve pis suları, topoğrafik durum ve sokak planının müsaadesi nispetinde mümkün olduğu kadar en kısa bir yoldan mansap noktasına iletmelidir. Böylece iyi projelendirilmiş bir sistemde akım, yüzeysel akışla hemen hemen aynı yolu takip eder (2).

3.4. Hidrolik Hesap Yöntemi

Hidrolik hesabın yapılış amacı kanalizasyon borularının hem ekonomik hem de kullanım açısından en elverişli ve uygun döşeme derinliğini belirlemek, yani minimum kazı hacmini elde etmek ve kanalizasyon borularının en uygun çapını tespit etmektir.

Kanalizasyon şebekesinin hidrolik tasarımı için Fortran dilinde iki program hazırlanmıştır. Programlardan biri BDT (eski SSCB)'nin kullanmış olduğu yöntemlere göre hidrolik hesap yapmaktadır. İkincisi ise Türkiye'de kullanılmakta olan yöntemlere göre hesap yapmaktadır.

Hesap esnasında aşağıdaki şartlar göz önünde bulundurulmalıdır:

1. Borudaki atık suyu basınçsız serbest yüzeyle, permanent ve üniform olmayan harekete sahip olmalıdır.
2. Atık su şebeke alanının başlangıcından gelecek ve alan boyunca değişmeyecektir.
3. Hesaplanmış sarfiyatı akıtmakta olan boru eğimi, çökelmeyi meydana getirmeyecek hız oluşturmaktadır.
4. Belirli hesaplanmış sarfiyatı geçirmekte olan ve belirlenmiş eğimde olan borudaki suyla doldurulmuş boru seviyesi sınırını geçmemelidir.
5. Belirli hesaplanmış sarfiyatta, eğimde ve doldurulmuş seviyesinde borudaki atık suyun hızı çökelmeyi oluşturu derecede olmamalıdır (İnşaat Norm ve Kuralları, 1986).

Açık kanallardaki akımla ilgili teorik formüllerdeki sürtünme faktörleri hakkında kesin bilgilerin elde mevcut olmaması sebebiyle mühendisler atık su kanallarında uygun empirik formül kullanmaya devam etmektedirler. Genellikle Kutter ve Manning

formülleri bu amaçla kullanılmaktadır. Manning formülü:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2} \quad (17)$$

Burada, n, cidar pürüzlülüğü ile ilgili bir katsayı olup uygun bir değerin kabul edilmesi son derece önemlidir. Kısmen dolu kanallarda n, su derinliği ile, bir miktar değişmektedir (4).

3.4.1. Kısmen Dolu Kanallarda Akım

Eğer kanallara sızacak yeraltı suyu ve yağmur suyu hesaba katılmıyorsa, kanalları %40 ila 60 dolu olarak projelendirmek gerekir. Bütün bu sebeplerden dolayı, kısmen dolu akışta, kanallardaki hidrolik büyüklükleri hesaplamaya ihtiyaç vardır. Su derinliği d, ve kanal çapı D ile gösterilirse, kısmen dolu kanallara ait, ıslak çevre, ıslak kesit, hidrolik yarıçap gibi büyüklükleri d/D doluluk oranı cinsinden hesaplamak mümkündür (4)

$$\frac{v}{V} = \left(\frac{r}{R} \right)^{2/3} \quad (18)$$

olur. Benzer şekilde debi oranı için

$$\frac{q}{Q} = \left(\frac{a}{A} \right) \left(\frac{v}{V} \right) = \left(\frac{a}{A} \right) \left(\frac{r}{R} \right)^{2/3} \quad (19)$$

yazılabilir. (18) ve (19) no'lu denklemlerde a ve A sırayla kısmen ve tam dolu dairesel kanallar için enkesit alanı, r ve R sırayla kısmen ve tam dolu dairesel kanallar için hidrolik yarıçap, v ve V sırayla kısmen ve tam dolu dairesel kanallar için ortalama hız, q ve Q sırayla kısmen ve tam dolu dairesel kanallar için debidir. n = N için bu formüllerden elde edilmiş hız ve debi oranları literatürde verilmiştir (4). Bu çalışmada bu değerler için en uygun polinom uydurulmuş ve programda kullanılmıştır (20 ve 21 no'lu denklemler).

$$\frac{d}{D} = 0.0205 + 2.7406 \frac{q}{Q} - 9.638 \left(\frac{q}{Q} \right)^2 + 19.893 \left(\frac{q}{Q} \right)^3 - 18.943 \left(\frac{q}{Q} \right)^4 + 6.7381 \left(\frac{q}{Q} \right)^5 \quad (20)$$

$$\frac{v}{V} = 0.3214 + 4.26 \frac{q}{Q} - 13.862 \left(\frac{q}{Q} \right)^2 + 25.621 \left(\frac{q}{Q} \right)^3 - 23.004 \left(\frac{q}{Q} \right)^4 + 7.8087 \left(\frac{q}{Q} \right)^5 \quad (21)$$

Şebekenin her bir alanı hesaba tabi olunacaktır. Bir önceki şebeke alanının sonundaki yer kotu, bir sonraki şebeke alanının başlangıcındaki yer kotuna eşittir. Bir önceki alandaki mecra sırtının kotu bir sonraki alandaki mecra sırtının kotuna eşit olmalıdır.

Bir önceki alandaki borunun tabanının kotu ve borunun döşeme derinliği kendi aralarında eşit olmayabilir (3).

Şebekenin başlangıç noktasındaki borunun döşeme derinliğinin hesabında yapılacak ilk adım alanın eğimini ve alanın uzunluğunu belirtmektir. Bu bilgiler kot farkını hesaplamamıza yardımcı olur.

$$h = i \times l \quad (22)$$

Burada; h (m) kot farkı, i (m) borunun eğimi, l (m) borunun uzunluğudur.

BDT'de uygulanmış olan yöntemlere göre mecranın başlangıcında mecra tabanının derinliği aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$H = h_0 + i(L - l) + z_1 - z_2 + \Phi, m \quad (23)$$

$$h_0 \geq h_{np} - 0.3 \geq 0.7 + d \quad (24)$$

Burada; H (m) borunun başlangıç noktasındaki derinliği; h_0 (m) sokak şebekesinin başlangıç noktasının derinliği; i (m) mahalle iç şebekesinin eğimi; L (m) mahalle iç şebekesinin uzunluğu; l (m) - kontrol kuyusundan hesap noktasına kadar dalın uzunluğu; z_1 (m) hesaplanacak düğümdeki gözlem kuyusunun zemin kotu; z_2 (m) mahalle iç şebekenin en uzak gözlem kuyusundaki zemin kotu; F (m) mahalle içindeki ve sokak şebekesindeki boruların tabanındaki kot farkı; h_{np} (m) toprağın donma derinliği; d (m) en uzak noktadan hesap düğümüne kadar olan alandaki borunun çapıdır.

Kuyularda farklı çaplı boruların birleştirilmesi boru sırtı ile gerçekleştirilir, böylece hidrolik hesap bu şartlara göre yapılmalıdır. Hesap esnasında şebekenin en son noktasında döşeme derinliği sert topraklarda 5.5 - 6 m ve yumuşak topraklarda 7 m'yi geçmemesine dikkat edilmelidir. Atık suyun değişmeyen akım hareketini sağlamak için ve çöküntülerin birikmesi olaylarını önlemek için aşağıdaki şartların yerine getirilmesi önerilir (3):

1. Hesap "su yüzeyi" ile değil "boru sırtı" ile yürütüldüğüne göre, borudaki su yüzeyi kontrol edilmelidir, takip eden borudaki su yüzeyinin bir önceki borudaki su yüzeyinden daha yüksek olmaması gözden kaçırılmamalıdır.
2. Şebekenin bir alanından diğerine geçerken su hareket hızı hesap hızından küçük olmamalıdır, fakat ilerledikçe hız artmalıdır.
3. Yan birleşmelerde hız, ana borudaki hıza eşit veya daha küçük olmalıdır.
4. Eğer takip eden borudaki hız bir önceki borudaki hızdan küçük olursa, takip eden borunun başlangıcında 0.15 - 0.2 metre derinliğinde kot farkı verilmelidir (3).

Başınçsız akan boruların en küçük çapı aşağıda belirtilecek olan sınırdır:

1. Sokak şebekesi için - 200 mm,
2. Evsel ve endüstriyel kanalizasyonların mahalle içindeki şebekeleri için - 150 mm,
3. Yağış suyu sokak şebekesi için -250mm, mahalle içindeki şebeke için -200 mm.

Proje kriterleri arasında verilmesi gereken bir değer de iki baca arasında, müsaade edilen maksimum mesafedir. Bacaları daha sık yapmak suretiyle, birçok hallerde, kazı hacmini azaltmak mümkündür. Fakat kazı hacminden yapılacak tasarrufun, ilave baca inşa etmek için harcanacak parayı karşılaması gerekir (4).

Kanal boykesitleri geçirilip eğimler tespit edildikten sonra kanallara çap verilir. Hesaplar sırasında dikkat edilecek husus, boru çaplarının, kanal ağı boyunca artması, yahut da hiç değilse, aynı kalmasıdır. Eğimin müsait olması halinde, hesap, çapı küçültme imkanı verse de, buna müsaade edilmez. Proje kriterleri bu şekilde tespit edildiğine göre, caddelerin eğim durumuna bağlı olarak tekrarlanan bazı haller mevcuttur. Bütün çözümlerde kazı hacminin minimum olması ve en büyük baca aralığını sağlamak hedef alınmıştır. Şartların sağlanması için kanal, uygun bir eğimle devam ettirilmeli ve minimum hendek derinliğine indirilmelidir (4)

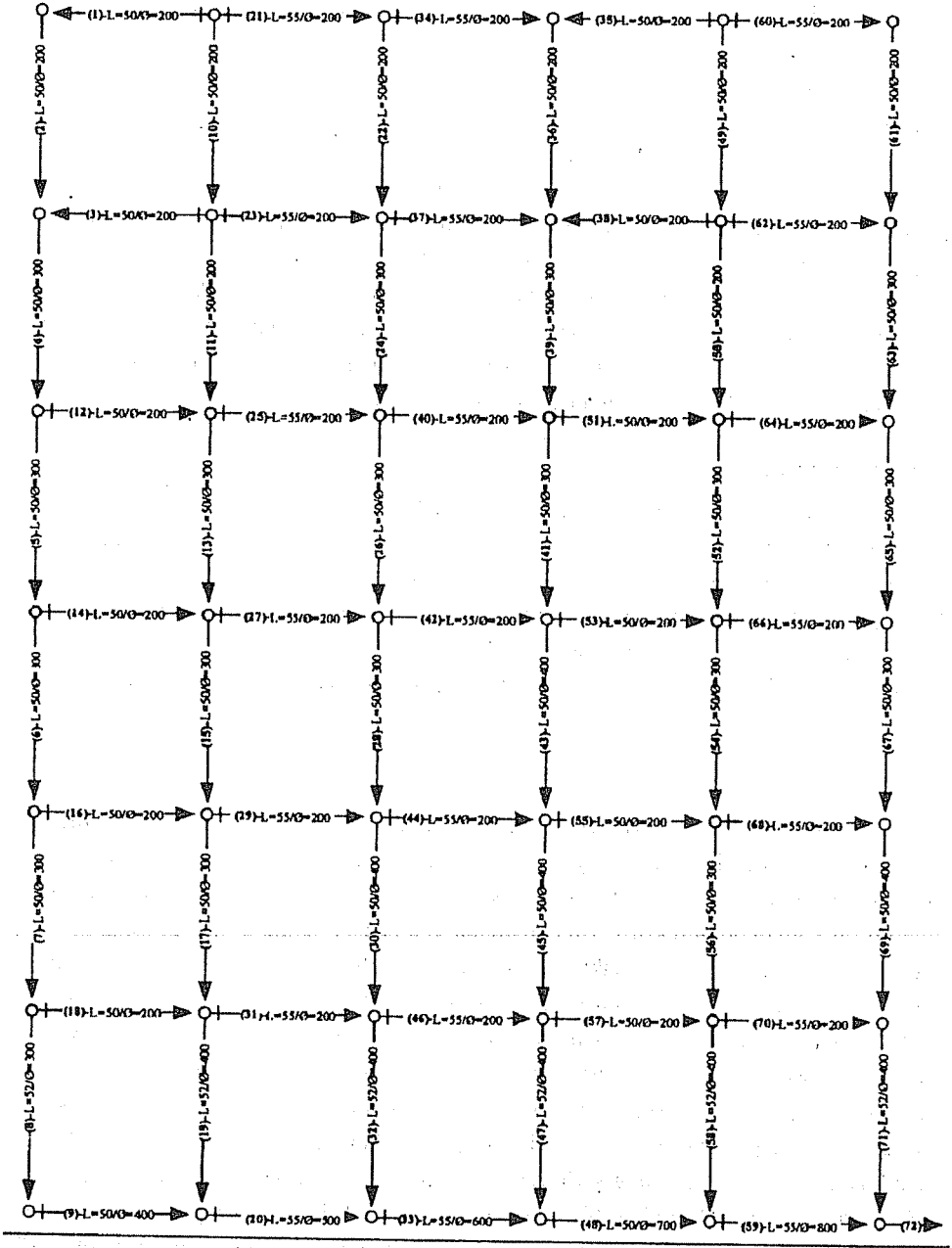
4. UYGULAMA

Geliştirilen program Şekil Ek.1'de planı verilmiş olan 75030 nüfuslu bir yerleşim birimine uygulanmıştır. Önce, yerleşim birimi planı üzerine, cadde ve sokaklara göre kanalizasyon şebekesi yerleştirilmiştir. Sonra, her iki düğüm noktası arasında kalan kanal parçasına kanal numarası verilmiştir. Bu kanal numaralarına göre arazi kotları ve diğer gerekli veriler programa ait data dosyasına girildikten sonra program çalıştırılmıştır. Programın uygulanmasından sonra bulunan sonuçlar Çizelge Ek.1 ve Ek.2'de verilmiştir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, pis suları uzaklaştırma ayırık kanalizasyon sistemi yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Kanalizasyon şebekesinin hidrolik tasarımı yanında, şebekedeki pis suyun miktarı, yani uzaklaştırılacak suyun miktarı da projelendirme açısından önemli bir çalışmayı gerektirir. Bu çalışmalar geleneksel olarak el ile yapılmaktadır. Bu da zaman kaybına neden olmaktadır. Bu çalışmada hazırlanan bilgisayar programı ile kanalizasyon şebekelerinin hidrolik tasarımı ve debi hesapları ile ilgili çalışmaların çok daha hızlı bir şekilde yapılması mümkün hale gelmiştir. Ayrıca program yapısı itibarı ile çok esnek tutulmuştur. Farklı ülkelerdeki farklı standartlar kullanıcı tarafından girilebildiği için değişik ülke standartlarında kullanılabilmesi gibi, uygulanan ülkedeki standartların değişmesi durumunda da programda herhangi bir değişiklik yapılmadan data dosyasında yapılacak değişikliklerle kolaylıkla program kullanılabilir.

Araştırmanın amaçlarından biri de Türkiye ve BDT 'daki uygulama sonuçlarını karşılaştırmak idi. Program uygulama açısından her iki ülke standartlarına göre çözüm üretebilmektedir. Ancak, gerek projelendirme ile ilgili yöntemlerin, gerekse kullanılan malzeme standartlarının farklılığından dolayı böyle bir karşılaştırma mümkün olmamıştır.



Şekil Ek.1. Yerleşim birimine ait kanalizasyon şebekesi planı

Çizelge Ek.1. Örnek program çıktısı (BDT standardına göre sarfiyat hesabı)

EVSEL PİS SU SARFİYATI

Alan	Nüfus Yoğunluğu	Nüfus	Su İhtiyacı	Bayındırlık Derecesi	Ortalama Günlük Sarfiyat	Ortalama Saatlik Sarfiyat	Ortalama Saniyelik Sarfiyat
(ha)	(kişi/ha)	(kişi)	(l/s)		(l/gün)	(l/sa)	(l/s)
95.0	260.00	24700	160.00	1	3952.000	164.667	45.741
94.5	280.00	26460	230.00	2	6085.800	253.575	70.438
77.0	310.00	23870	230.00	2	5490.100	228.754	63.543
266.5		75030			15527.900	646.996	179.721
					16304.290	679.346	188.707

Günlük Değişkenlik Katsayısı	Genel Değişkenlik Katsayısı	Maksimum Saniyelik Sarfiyat (l/s)	Maksimum Saatlik Sarfiyat (l/sa)	Maksimum Günlük Sarfiyat (l/gün)
1.3	1.87	85.60860	308.19090	5137.60000
1.3	1.64	115.57910	416.08490	7911.54000
1.3	1.63	103.38960	372.20260	7137.13000
1.3	1.57	304.57740	1096.47900	20186.27000
1.3	1.57	319.806	1151.302	21195.580

ENDÜSTRİ İŞLETİMİNDE ATIK SU SARFİYATI TAYİNİ

Vardiya Süresi (sa)	Çalışan Sayısı (kişi)	Su İhtiyacı (l/s)	Vardiyada Sarfiyat (l/s)	Değişkenlik Katsayısı	Hesaplanmış Sarfiyat (l/s)	Hesaplanmış Sarfiyat (l/s)
8	180	25	4.500	3.0	1.688	.4688
8	150	25	3.750	3.0	1.406	.3906
8	10	45	.450	2.5	.141	.0391
8	9	45	.405	2.5	.127	.0352
			9.105		.8281	.50781

Duş Sayısı	Su İhtiyacı (l/s)	Su Sarfiyatı (l/s)	Saniyelik Sarfiyat (l/s)
15	5	5.625	1.56250
10	5	3.750	1.04167
1	5	.375	.10417
1	5	.375	.10417
		10.125	
		6.000	1.66667

ÜRETİLEN ATIK SU SARFIYATI TAYINI

Çalışma Birim Saati	Su İht. (l/s)	Sarfiyat (l/gün)	Sarfiyat (l/sa)	Sarfiyat Katsayısı (l/s)	Hesaplanmış Sarfiyat (l/sa)	Hesaplanmış Sarfiyat (l/s)		
16	19606	.03	588.18	36.761	10.211	2.5	91.90	25.53

ŞEBEKE ALANINDAKİ HESAPLANMIŞ SARFIYAT

Kanal	Ada No	Ada		Mecradaki Toplam		Değişkenlik		Hesaplanmış		Diğer		Aktarılmış		Toplam
		Alanı (ha)	Modülü (l/s*ha)	Sarfiyat (l/s)	Sarfiyat (l/s)	Katsayısı	Sarfiyat (l/s)	Sarfiyat (l/s)	Sarfiyat (l/s)	Sarfiyat (l/s)	Sarfiyat (l/s)	Sarfiyat (l/s)		
1-2	4	5	3.13	.51	1.58	1.58	2.50	3.95	.00	.00	.00	.00	3.95	
2-3	8	9	3.13	.51	1.58	3.16	2.50	7.90	.00	.00	.00	.00	7.90	
3-4	12	13	7	8	11	4.30	7.46	17.13	.00	.00	.00	.00	17.13	
4-5	16	17	11	12	15	4.36	11.82	22.88	.00	.00	.00	.00	22.88	
5-6	20	21	15	16	14	9.38	4.74	16.56	2.03	33.63	.00	.00	33.63	
6-B	24	25	19	20	23	10.00	5.06	21.61	1.71	36.97	.00	.00	36.97	
I-B	23	24	4	00	51	2.02	2.02	2.50	5.06	.00	.00	.00	5.06	
7-8	5	6	2	4.13	51	2.09	2.09	2.50	5.21	.00	.00	.00	5.21	
8-9	9	10	5	9	4.38	51	2.21	4.30	2.50	10.74	.00	.00	10.74	
9-10	13	14	9	3.88	51	1.96	6.26	2.20	13.77	.00	.00	.00	13.77	

Çizelge Ek.1. (Devam) (Uzun bir program çıkışının örnek olması açısından sadece 1-10 boruları arası verilmiştir)

Çizelge Ek.2. KANAL2.FOR programıyla yapılmış hidrolik tasarımının sonuçları
(Uzun bir program çıktısının örnek olması açısından sadece 1-10 boruları
arası verilmiştir)

KANALİZASYON ŞEBEKESİNİN HİDROLİK TASARIMI

Kanal No	Mecra Hesaplanmış			Cadde Eğimi (1/m)	Mecra Eğimi (1/m)	Kot Farkı (m)	Doluluk Hızı (m/s)	Doluluk Oranı (%)
	Uzunluğu (m)	Sarfıyat (l/s)	Çap (mm)					
1-2	225.0	3.95	200.0	.009	.009	2.02	.00	.00
2-3	250.0	7.90	200.0	.009	.009	2.25	.82	.38
3-4	250.0	7.13	250.0	.009	.009	2.25	.95	.38
4-5	250.0	22.88	250.0	.009	.009	2.25	1.05	.48
5-6	250.0	33.63	300.0	.009	.009	2.25	1.05	.48
6-B	275.0	36.97	350.0	.010	.010	2.75	1.14	.43
I-B	250.0	5.06	200.0	.010	.010	2.50	1.25	.38
7-8	250.0	5.21	200.0	.010	.010	2.50	.71	.30
8-9	250.0	10.74	200.0	.010	.010	2.50	.88	.40
9-10	250.0	13.77	250.0	.010	.010	2.50	.98	.37

Kanal No	Başta Zemin	Sonda Zemin	Başta Mecra Sırt	Sonda Mecra Sırt	Başta Mecra Taban	Sonda Mecra Taban	Başta Derinlik	Sonda Derinlik
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1-2	338.20	336.18	336.70	334.68	336.50	334.48	1.70	1.70
2-3	336.18	333.93	334.68	332.43	334.48	332.23	1.70	1.70
3-4	333.92	331.67	332.42	330.17	332.17	329.92	1.75	1.75
4-5	331.67	329.42	330.17	327.92	329.92	327.67	1.75	1.75
5-6	329.42	327.17	327.92	325.67	327.63	325.38	1.80	1.80
6-B	327.17	324.42	325.68	322.93	325.33	322.58	1.85	1.85
I-B	326.90	324.40	324.88	322.38	324.67	322.17	2.22	2.23
7-8	337.60	335.10	336.00	333.50	335.80	333.30	1.80	1.80
8-9	335.10	332.60	333.50	331.00	333.30	330.80	1.80	1.80
9-10	332.60	330.10	331.00	328.50	330.75	328.25	1.85	1.85

Çizelge Ek.2. (Devam)

ANA TOPLAYICININ HİDROLİK TASARIMI

Kan.	Mecra Uzunluğu (m)	Toplam Sarfiyat (l/s)	Cadde Çap (mm)	Mecra Eğimi (1/m)	Mecra Eğimi (1/m)	Hız (m/s)	Doluluk Oranı (%)	Kot Farkı (m)	Başta Zemin	Sonda Zemin
									Kotu (m)	Kotu (m)
C-D	250	40.75	350	.003	.003	.80	.41	.75	323.67	322.92
D-E	300	61.87	400	.001	.003	.88	.55	.90	322.92	322.02
E-F	750	132.32	600	.003	.003	1.06	.51	2.25	322.02	319.77
F-K	300	204.88	600	.002	.003	1.18	.58	.90	319.77	318.88
K-L	250	254.87	600	.001	.003	1.24	.68	.75	318.88	318.13
L-M	750	310.50	700	.006	.006	1.70	.48	4.72	318.13	313.40

Kanal	Başta Zemin	Sonda Zemin	Başta Mecra Sirt Kotu	Sonda Mecra Sirt Kotu	Başta Taban Kotu	Sonda Taban Kotu	Başta Mecra Derinliği	Sonda Mecra Derinliği
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
C-D	323.67	322.92	322.18	321.43	321.83	321.08	1.85	1.85
D-E	322.92	322.02	321.43	320.53	321.03	320.13	1.90	1.90
E-F	322.02	319.77	320.53	318.28	319.93	317.68	2.10	2.10
F-K	319.77	318.88	318.28	317.38	317.68	316.78	2.10	2.10
K-L	318.88	318.13	317.38	316.63	316.78	316.03	2.10	2.10
L-M	318.13	313.40	316.63	311.90	315.93	311.20	2.20	2.20

6. KAYNAKLAR

1. Gizbili, M.M., "Kanalizasyon", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi Yayınları, Ankara, 1992.
2. Fair, G.M., Geyer, J.C.H., "Su Getirme ve Kullanılmış Suları Uzaklaştırma Esasları", 1958.
3. İnşaat Norm ve Kuralları, "Kanalizasyon (BDT Standardı), Dış Şebeke ve Elemanları", Moskova, 1986.
4. Mustu, Y., "Su ve Atıksu Teknolojisi", Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 1994.
5. Topacık, D., Eroğlu, V., "Su Temini ve Atıksu Uzaklaştırılması Uygulamaları", İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1993.

ÇOK KATLI YAPILARIN YENİ DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE ANALİZİ VE YAPI DÜZENSİZLİKLERİNİN İRDELENMESİ

Fatih AYDINALEV ve Beytullah TEMEL

Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : *Bu çalışmada, Yeni Deprem Yönetmeliği (TDY-98) incelenmekte ve getirdiği rijit diyafram, planda ve düşeyde düzensizlikler, görelî kat ötelemeleri ve ikinci mertebeye etkileri gibi yeni kavramlar irdelemektedir. Ayrıca Eşdeğer Deprem Yüğü ve Mod Birleştirme Yöntemi ile bulunan sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Diğer bir karşılaştırma statik Rayleigh oranı ve serbest titreşim analizinden bulunan temel periyotlar arasında yapılmıştır. Bu çalışmada perdelerin elemanter geniş kolon olarak modellenmesi sonuçları da karşılaştırılmaktadır. Tüm uygulamalar genel amaçlı SAP90 programı ile çözülmektedir.*

ANALYSIS AND INVESTIGATION OF STRUCTURAL IRREGULARITIES OF MULTISTORY STRUCTURES ACCORDING TO THE NEW TURKISH EARTHQUAKE CODE

ABSTRACT : *In this work, the New Turkish Earthquake Code is studied and the new concepts such as rigid diaphragm floor model, structural irregularities in the plane and in the elevations, relative drift of the stories and second order effects are investigated. The results obtained by the method of equivalent earthquake storey loads and mode superposition spectrum analysis are compared. Another comparison is also made between the results due to statical Rayleigh ratio and free vibration analysis for the computation of first fundamental period of the building. All the examples are solved with the aid of general purpose SAP90 computer program.*

1. GİRİŞ

Deprem, yer kabuğunun bir titreşimi olduğu için, yapıların mesnetlerinde zamana bağlı bir yerdeğiştirme hareketi doğurarak dinamik bir etki oluşturur. Deprem önlenmesi mümkün olmayan bir afet olduğundan, gerekli yapı analizleri yapıp bu analizler neticesinde belirli bir dayanıma sahip taşıyıcı bir sistem tasarlamak gerekir. Deprem etkisi bulunan ülkelerde, depreme dayanıklı yapı projelendirmesi ve yapım esasları bu konu ile ilgili yönetmeliklerle düzenlenmiştir.

1 Ocak 1998 tarihinde yürürlüğe giren Yeni Deprem Yönetmeliği şu ana ilkeler doğrultusunda değerlendirilmelidir; hafif şiddetli depremlerde bina hasar görmeyecek, orta şiddetli depremlerde hasar onarılabilir düzeyde kalacak ve şiddetli depremlerde bina kısmen veya tamamen göçmeyecek.

Yeni Deprem Yönetmeliği (TDY-98), eski yönetmeliğe göre olumlu değişiklikler içermektedir. Bunlar, döşemelerin rijit diyafram olarak modellenmesi, planda ve düşeyde düzensizlikler, görelî kat ötelemeleri ve ikinci mertebeye etkileri gibi kavramlardır. Bunun yanında "Eşdeğer Deprem Yüğü" yöntemine ilave olarak "Mod Birleştirme" ile "Zaman Tanım Alanında Hesap" yöntemlerine yer verilmekte ve tüm bu yöntemlerde üç boyutlu analiz yapılması zorunluluğu getirilmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında genel eğilim sünek taşıyıcı sistemlerin teşvik edilmesi şeklindedir. Yeni Yönetmelikte yer alan "Güçlü kolon-Zayıf kiriş" kavramı yönetmeliğin önemli bir getirisidir. Analiz yöntemi olarak, "Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi"ne ek olarak, "Mod Birleştirme Yöntemi" de standart bir yöntem olarak hatta "Zaman tanım alanında hesap yöntemleri" de kullanılacak yöntemler olarak belirlenmesi bu yönetmelikle sağlanmıştır.

2. EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ

Kiriş, kolon ve perdelerden oluşan betonarme iskelet yapılarda etkileyen deprem yükleri genellikle yapıya döşemeleri seviyesinde etkileyen yatay yükler olarak kabul edilir. Yatay yüklerin binanın asal doğrultularında ayrı ayrı etkidiğı kabul edilerek, taşıyıcı sistemlerin elemanlarında kesit tesirleri bulunur.

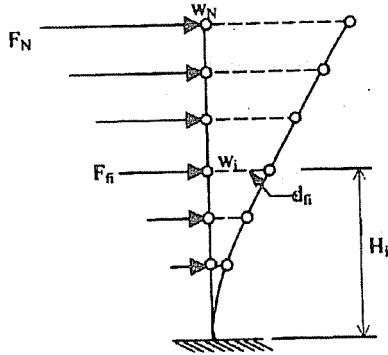
2.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin Hesap Adımları

Adım 1: Döşemeler rijit diyafram olarak kabul edilmiş ise master noktası kütle merkezinde seçilir.

Adım 2: Katlara etkileyen fiktif yükler hesaplanır (F_{fi}).

$$F_{fi} = \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)} \quad (1)$$

H_i , binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliğidir.



Şekil 1. Fiktif yükler ve yerdeğiştirmeler

Adım 3: Bulunan fiktif yükler (F_{fi}), seçilen deprem doğrultusunda, yapının kat kütle merkezlerine etkiltilerek üç boyutlu statik analiz yapılır ve kuvvet doğrultusundaki deplasmanlar (d_{fi}) bulunur.

Adım 4: Binanın birinci doğal titreşim periyodu, (T_1) hesaplanır.

Yönetmelikte, T_1 'in hesabı için iki yol önerilmektedir.

a) Ampirik yöntemle T_1 'in hesabı:

Birinci ve ikinci deprem bölgelerinden temel üstünde ölçülen toplam bina yüksekliğinin $H_N \leq 25$ m olması durumunda, aynı zamanda üçüncü ve dördüncü deprem bölgelerinde, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulandığı tüm binalarda, birinci doğal titreşim periyodu,

$$T_1 \cong T_{1A} = C_t H_N^{3/4} \quad (2)$$

bağıntısı ile hesaplanır (TDY-98, denklem 6.11). Bu bağıntıda görülen C_t katsayısı, bina taşıyıcı sistemine bağlı olarak TDY-98'de aşağıdaki şekilde belirtilmiştir:

i. Deprem yüklerinin tamamının betonarme perdelerle taşındığı binalarda C_t ,

$$C_t = 0.075 / A_t^{1/2} \leq 0.05 \quad (3)$$

formülü ile hesaplanacaktır (TDY-98, denklem 6.12). Bu ifadede A_t değeri,

$$A_t = \sum_j A_{wj} \left[0.2 + \left(l_{wj} / H_N \right)^2 \right] \quad (4)$$

ile verilmektedir. Burada,

A_{wj} : Binanın temel üstündeki ilk katında j'inci perdenin brüt enkesit alanı [m^2],

l_{wj} : Binanın temel üstündeki ilk katında j'inci perdenin deprem doğrultusunda çalısın uzunluğudur.

Ayrıca, $l_{wj}/H_N \leq 0.9$ koşulu sağlanmalıdır.

ii. Taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden veya dışmerkez çelik çaprazlı perdelerden oluşan binalarda $C_t=0.07$, taşıyıcı sistemi sadece çelik çerçevelerden oluşan binalarda $C_t=0.08$, diğeri tüm binalarda ise $C_t=0.05$ alınacaktır.

b) Rayleigh oranı ile T_1 'in hesabı:

$$T_1 = 2\pi \left[\frac{\sum_{i=1}^N (m_i d_{fi}^2)}{\sum_{i=1}^N (F_{fi} d_{fi})} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

bağıntısı ile hesaplanır (TDY-98, denklem 6.13). Bu bağıntıda,

m_i = Binanın i'inci katının kütesini ($m_i = w_i/g$),

d_{fi} = Binanın i'inci katında F_{fi} fiktif yüklerine göre hesaplanan yerdeğıştirmeyi,

N = Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısını göstermektedir.

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulandığı tüm binaların birinci doğal titreşim periyodu Rayleigh oranı ile hesaplanabilir. Bunun yanında birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, temel üstünden ölçülen toplam bina yüksekliğinin $H_N > 25$ m olması durumunda, T_1 'in Rayleigh oranı ile hesaplanması zorunludur.

Yönetmelik, Ampirik Yöntemle bulunan periyodun $T_{1A} > 1.0$ s olması durumunda, Rayleigh oranı ile elde edilen periyodun en büyük değeri, T_{1A} 'nın 1.30 katından daha fazla olmamasını isteyerek, Rayleigh oranı için sınırlandırma getirmektedir.

Adım 5: Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü (taban kesme kuvveti) hesaplanır (TDY-98, denklem 6.4).

$$V_t = W A(T_1) / R_a(T_1) \geq 0.1 A_0 I W \quad (6)$$

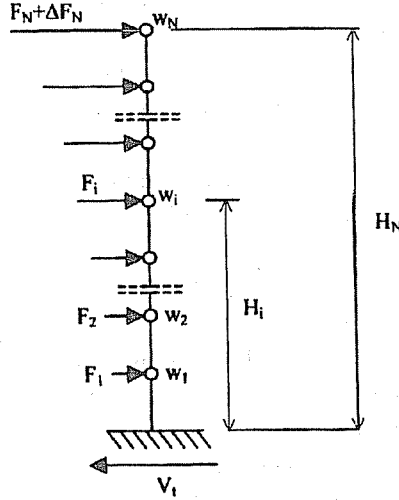
Adım 6: Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri aşağıdaki bağıntı ile hesaplanacaktır (TDY-98, denklem 6.9).

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)} \quad (7)$$

Burada ΔF_N yapının en üst katına ek olarak uygulanacak yatay yüküdür (Şekil 2) ve T_1 'e bağılı olarak,

$$\Delta F_N = 0.07 T_1 V_t \leq 0.2 V_t \quad (8)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (TDY-98, denklem 6.8).



Şekil 2. Kat hızlarına etkileyen eşdeğer deprem yükleri

Böylece Adım 5'de hesaplanan toplam eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkileyen yatay kuvvetlerin toplamı olarak,

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (9)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir (TDY-98, denklem 6.7).

Temel üstünden ölçülen toplam bina yüksekliğinin $H_N \leq 25$ m olması durumunda $\Delta F_N=0$ alınacaktır.

Adım 7: Eşdeğer deprem yükleri (F_i), yapıya her iki deprem doğrultusunda $\pm 5\%$ eksantrisite ile uygulanarak üç boyutlu statik analiz yapılır ve kat deplasmanları ile iç kuvvetler bulunur (Şekil 2).

Adım 8: A1 burulma düzensizliği ve B2 yumuşak kat kontrolleri yapılır. Yapılan kontrollerde,

1. ve 2. derece deprem bölgelerinde rijitlik düzensizliği, $\eta_{ki} > 1.5$ ise dinamik analiz yapılması zorunludur. Burulma düzensizliği, $\eta_{bi} > 2$ ise dinamik analiz yapılması zorunludur. $1.2 < \eta_{bi} \leq 2$ ise eksantrisite değerleri her iki doğrultu için $D_i = (\eta_{bi}/1.2)^2$ katsayısı ile çarpılarak büyütülmeli ve analiz 7'inci adımdan itibaren tekrarlanmalıdır.

Adım 9: Göreli kat ötelemeleri ve ikinci mertebe etkilerinin kontrolü yapılır.

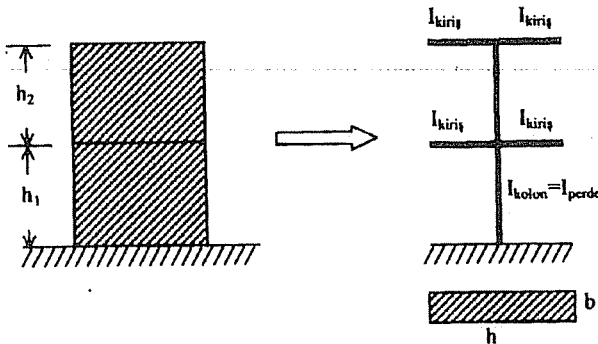
3. PERDELİ SİSTEMLER

Perdeler, deprem ve rüzgar etkilerinden oluşan yatay yükleri önemli ölçüde taşıyan elemanlardır. Özellikle çok katlı binalarda perdelerin bulunmaması durumunda kolon boyutları oldukça büyüyerek çözüm ekonomik olmaktan uzaklaştığı gibi mimari yönden de olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır. Perdeli sistemlerin çözümlerinde yukarıda anlatılan hesap adımları izlenir. Bunun yanında, Türk Deprem Yönetmeliği ayrıca deprem yüklerinin $\pm\%5$ eksantrik olarak yapıya uygulanmasından sonra, deprem doğrultusunda çalışan perdeler için aşağıda tanımlanan α_M katsayısı hesaplanarak, yapının süneklik düzeyine göre bazı kontrollerin yapılmasını öngörmektedir.

$$\alpha_M = \frac{\text{Perde Taban Momentleri Toplamı}}{\text{Toplam Devrilme Momenti}} \quad (10)$$

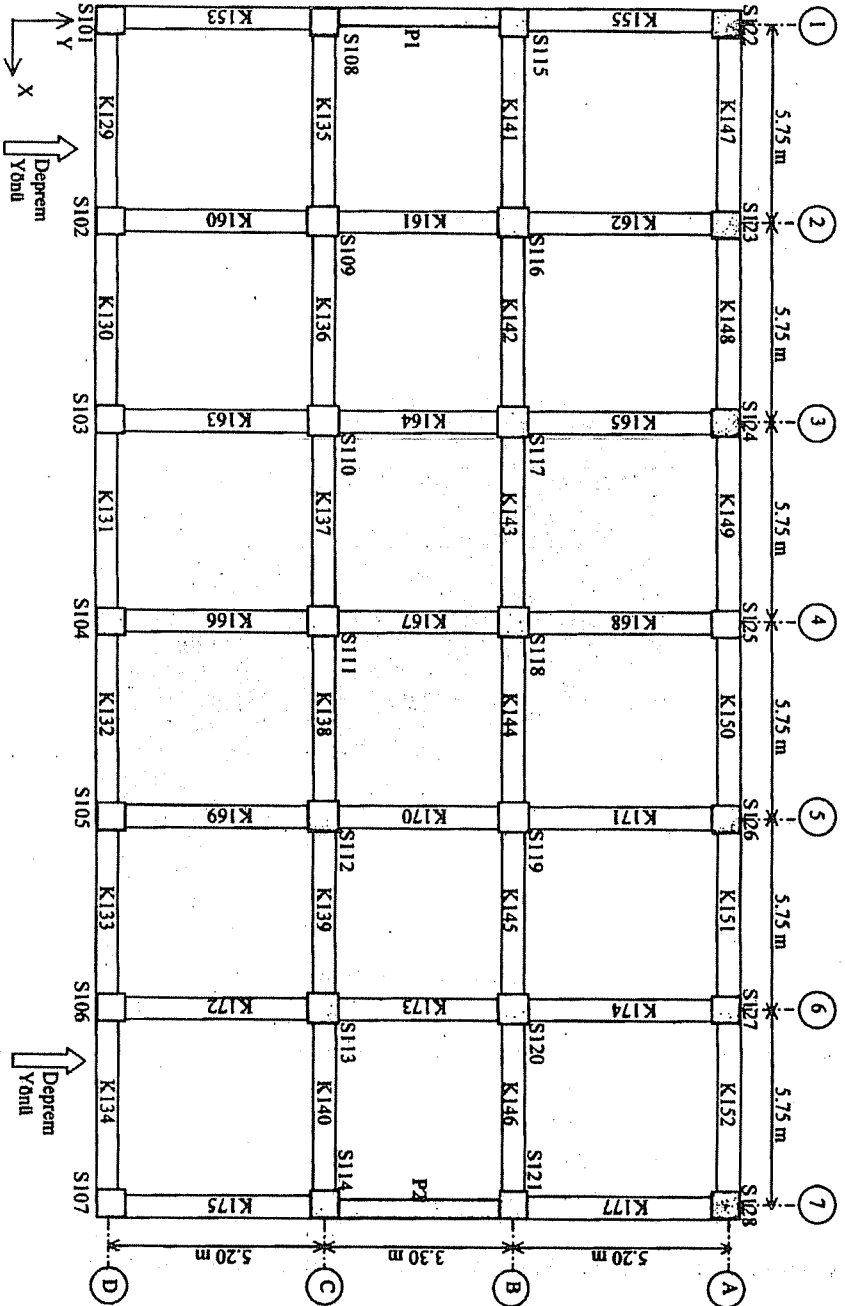
Süneklik düzeyi yüksek sistemlerde $R=7$ katsayısının kullanılabilmesi için α_M 0.75 olmalıdır. α_M değeri $0.75 < \alpha_M < 1.0$ aralığında ise R katsayısı, $R=10-4\alpha_M$ bağıntısı ile düzeltilerek analiz yeniden yapılmalıdır. Süneklik düzeyi normal sistemlerde α_M 0.75 şartı sağlanmalıdır. Bunun sağlanamaması halinde perde kesit alanları artırılarak hesapların yeniden tekrarlanması gerekir. Süneklik düzeyi karma sistemlerde her bir deprem doğrultusunda mutlaka α_M 0.40 olmalıdır. α_M 2/3 olması durumunda, deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek perde tarafından taşındığı durum için verilen R katsayısı ($R=R_{yp}$), taşıyıcı sistemin tümü için kullanılabilir. $0.4 > \alpha_M > 2/3$ aralığında, her iki deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin tümü için $R=R_{NÇ} + 1.5\alpha_M (R_{YP} - R_{NÇ})$ bağıntısı uygulanacaktır.

Geniş Kolon Modeli:



Şekil 3. Geniş kolon perde modeli

Perdenin geniş kolon olarak modeli Şekil 3'de görülmektedir. Buna göre perde, kolon ve kiriş elemanlarına indirgenmektedir. Perdenin kat seviyesindeki kısımları için



Şekil 5. Örnek 1'e ait yapının 1. kat kalıp planı

Kolon boyutları:

1. kat:

Kolon No	Boyut (X×Y)
A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 B1, B7, C1, C7 D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7	400 mm × 400 mm
B2, B3, B4, B5, B6 C2, C3, C4, C5, C6	450 mm × 450 mm

2. kat:

Kolon No	Boyut (X×Y)
A2, A3, A4, A5, A6 B2, B3, B4, B5, B6 C2, C3, C4, C5, C6 D2, D3, D4, D5, D6	400 mm × 400 mm
A1, A7, B1, B7 C1, C7, D1, D7	300 mm × 300 mm

3. kat:

Kolon No	Boyut (X×Y)
A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 B1, B7, C1, C7 D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7	300 mm × 300 mm
B2, B3, B4, B5, B6 C2, C3, C4, C5, C6	400 mm × 400 mm

4. ve 5. katın tüm kolonları : 300 mm × 300 mm

Taşıyıcı sistem türü: Yerinde dökme betonarme çerçeveli sistem,
Bina önem katsayısı: $I=1$, 1. derece deprem bölgesi, Yerel Zemin Sınıfı: Z2,
Etkin Yer İvmesi Katsayısı: $A_0=0.4$, Hareketli yük katılım katsayısı: $n = 0.3$
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı başlangıçta, $R = 7$ alınmıştır.
Perde et kalınlıkları 25 cm dir.
Kat ağırlıkları, $w_i = G_i+n \times Q_i$ formülü ile hesaplanmaktadır.

Çizelge 1. Örnek 1'e ait kat ağırlıklarının hesabı

Kat No	G _i (ton)	Q _i (ton)	w _i (ton)
5	309.0	119.6	344.88
4 - 3 - 2 - 1	528.6	236.6	599.58

Çizelge 2. Örnek.1'e ait katlara etkiyen fiktif yükler

Kat No	w _i (ton)	H _i (m)	w _i H _i (ton m)	F _n (ton)
5	344.88	17.50	6035.40	0.2234
4	599.58	14.00	8394.12	0.3107
3	599.58	10.50	6295.59	0.2330
2	599.58	7.00	4197.06	0.1553
1	599.58	3.50	2098.53	0.0777

$$\Sigma w_i = 2743.20$$

$$\Sigma w_i H_i = 27020.70$$

$$\Sigma F_n = 1.0$$

Çizelge 3. Örnek.1'e ait yapının Rayleigh oranı ile birinci doğal titreşim periyodunun hesabı

Kat No	m _i (w _i /g) (ton s ² /m)	F _n	d _n (m)	m _i d _n ² (ton s ² m)	F _n d _n (ton m)
5	35.156	0.2234	0.0000654	0.0000001502	0.0000146040
4	61.119	0.3107	0.0000489	0.0000001466	0.0000152180
3	61.119	0.2330	0.0000322	0.0000000633	0.0000075003
2	61.119	0.1553	0.0000166	0.0000000168	0.0000025795
1	61.119	0.0777	0.0000049	0.0000000015	0.0000003839

$$\Sigma = 3.7854 \times 10^{-7} \quad \Sigma = 4.0286 \times 10^{-5}$$

$$T_1 = 2\pi \left[\frac{3.7854 \times 10^{-7}}{4.0286 \times 10^{-5}} \right]^{\frac{1}{2}} = 0.609 \text{ s}$$

Çizelge 4. Örnek.1'e ait yapının Rayleigh oranı ve modal analiz ile bulunan birinci doğal titreşim periyotlarının karşılaştırılması ve bunların ANSYS ile kıyaslaması

	Rayleigh Oranı	Modal Analiz
SAP90	0.609 s	0.609 s
ANSYS	0.636 s	0.636 s

Yerel zemin sınıfı Z2 olduğundan, Spektrum karakteristik periyotları, $T_A=0.15$ s ve $T_B=0.40$ s dir.

$T_1 > T_B$ olduğundan dolayı, $S(T_1)=2.5(0.4/0.609)^{0.8}=1.78663$

$T_1 > T_A$ olduğundan, $R_a(T_1)=R=7$ alınmaktadır.

Spektral İvme Katsayısı: $A(T_1)=0.4 \times 1 \times 1.78663=0.71465$

Taban Kesme Kuvveti : $V_t=2743.2 \times 0.71465/7 = 280.06$ ton

$V_t > 0.1 \times 0.4 \times 2743.2 = 109.79$ ton olduğu görülmektedir.

Çizelge 5. Örnek.1'e ait yapının eşdeğer kat deprem yükleri (F_i)

Kat No	F_i (ton)
5	62.5657
4	87.0151
3	65.2543
2	43.4935
1	21.7608

$H_N < 25$ m olduğundan $\Delta F_N=0$ dir. Bulunan bu deprem yükleri yapıya +%5 eksantrisite ile uygulanarak aşağıdaki kontroller yapılmıştır.

Çizelge 6. Örnek.1 için α_M hesabı

	Geniş Kolon
Mperde1	925.4732 ton-m
Mperde2	1158.828 ton-m
Σ Mperde	2084.301 ton-m
Σ Mdev	3378.899 ton-m
α_M	0.62

$\alpha_M=0.62<0.75$ olduğu için ilk başta seçilen R değeri kullanılabilir.

Çizelge 7. Örnek 1'e ait A1 burulma düzensizliği kontrolü

Kat No	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$	η_{bi}
5	0.02023	0.01602	0.00510	0.00403	0.00457	1.118
4	0.01513	0.01199	0.00522	0.00413	0.00467	1.117
3	0.00991	0.00787	0.00482	0.00382	0.00432	1.116
2	0.00509	0.00405	0.00358	0.00285	0.00322	1.114
1	0.00150	0.00120	0.00150	0.00120	0.00135	1.112

$\eta_{bi}<1.2$ koşulu sağlandığından yapının burulma düzensizliği yoktur.

Çizelge 8. Örnek 1'e ait yapının görel kat ötelemeleri kontrolü

Kat No	$(d_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{max}$	h_i	$(\Delta_i)_{max}/h_i$
5	0.02023	0.00510	3.5	0.001458
4	0.01513	0.00522	3.5	0.001491
3	0.00991	0.00482	3.5	0.001378
2	0.00509	0.00358	3.5	0.001024
1	0.00150	0.00150	3.5	0.000429

$(\Delta_i)_{max}/h_i \leq 0.0035$ ve $(\Delta_i)_{max}/h_i \leq 0.02/R=0.0029$ koşulları sağlandığından yapıda görel kat ötelemesi düzensizliği bulunmamaktadır.

Çizelge 9. Örnek 1'e ait yapının ikinci mertbe etkilerinin kontrolü (θ_i)

Kat No	w_i	$\sum_{j=1}^N w_j$	$(\Delta_i)_{ort}$	V_i	h_i	θ_i
5	344.88	344.88	0.00457	62.5657	3.5	0.00719
4	599.58	944.46	0.00467	149.5808	3.5	0.00843
3	599.58	1544.04	0.00432	214.8351	3.5	0.00888
2	599.58	2143.62	0.00322	258.3286	3.5	0.00762
1	599.58	2743.20	0.00135	280.0894	3.5	0.00378

$\theta_i < 0.12$ olduğundan yapının ikinci mertbe etkilerinin kontrolü sağlanmıştır.

Örnek 2.

Burada, Örnek 1'de çözülen binadaki simetrik olarak 1. ve 7. akslara yerleştirilmiş perdelerden birinin kaldırılması durumu için gerekli irdelemeler yapılmıştır.

Çizelge 10. Örnek 2'ye ait yapının Rayleigh oranı ile birinci doğal titreşim periyodunun hesabı

Kat No	$m_i(w_i/g)$ (ton s ² /m)	F_n (ton)	d_n (m)	$m_i d_n^2$ (ton s ² m)	$F_n d_n$ (ton m)
5	35.156	0.2234	0.0001475	0.0000007649	0.0000329520
4	61.119	0.3107	0.0001280	0.0000010014	0.0000397700
3	61.119	0.2330	0.0000913	0.0000005091	0.0000212660
2	61.119	0.1553	0.0000548	0.0000001834	0.0000085073
1	61.119	0.0777	0.0000198	0.0000000241	0.0000015416

$$\Sigma=2.48284 \times 10^{-6} \quad \Sigma=1.0404 \times 10^{-4}$$

$$T_1 = 2\pi \left[\frac{2.48284 \times 10^{-6}}{1.04040 \times 10^{-4}} \right]^{\frac{1}{2}} = 0.9702 \text{ s}$$

Çizelge 11. Örnek 2'ye ait yapının Rayleigh oranı ve modal analiz ile bulunan birinci doğal titreşim periyotlarının karşılaştırılması ve bunların ANSYS ile kıyaslaması

	Rayleigh Oranı	Modal Analiz
SAP90	0.9702 s	1.0830 s
ANSYS	0.9873 s	1.0550 s

Yerel zemin sınıfı Z2 olduğundan, Spektrum karakteristik periyotları $T_A=0.15$ s ve $T_B=0.40$ s dir.

$$T_1 > T_B \text{ olduğu için } S(T_1) = 2.5(0.4/0.9702)^{0.8} = 1.2308$$

$$T_1 > T_A \text{ olarak bulunduğu için } R_a(T_1) = R = 7 \text{ olmaktadır.}$$

$$\text{Spektral İvme Katsayısı : } A(T_1) = 0.4 \times 1 \times 1.2308 = 0.4923$$

Taban Kesme Kuvveti:

$$V_t = 2743.2 \times 0.4923 / 7 = 192.926 \text{ ton}$$

$$V_t > 0.1 \times 0.4 \times 2743.2 = 109.73 \text{ ton olduğu görülür.}$$

Çizelge 12. Örnek.2'ye ait yapının eşdeğer kat deprem yükleri (F_i)

Kat No	F_i (ton)
5	43.0996
4	59.9420
3	44.9517
2	29.9614
1	14.9903

Bu deprem yükleri yapının master noktalarına +%5 eksantrisite uygulanarak aşağıdaki kontroller yapılmıştır.

Çizelge 13. Örnek 2 için α_M hesabı

Mperde1	352.7231 ton-m
ΣMperde	352.7231 ton-m
ΣMdev	2327.619 ton-m
α_M	0.15

$\alpha_M = 0.15 < 0.75$ olduğundan, ilk başta seçilen R değeri kullanılabilir.

Çizelge 14. Örnek 2'ye ait yapının A1 burulma düzensizliği kontrolü

Kat No	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$	η_{bi}
5	0.03443	0.00508	0.00199	0.00119	0.00159	1.25
4	0.03243	0.03895	0.05792	0.00124	0.00351	1.65
3	0.02664	0.00266	0.00821	0.00121	0.00471	1.74
2	0.01843	0.00145	0.01099	0.00987	0.00599	1.84
1	0.00744	0.00047	0.00744	0.00047	0.00395	1.88

$\eta_{bi} > 1.2$ olduğundan yapıda burulma düzensizliği vardır.

Çizelge 15. Örnek.2'ye ait yapının göreceli kat ötelemeleri kontrolü

Kat No	$(d_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\max}$	h_i	$(\Delta_i)_{\max}/h_i$
5	0.03443	0.00199	3.5	0.000571
4	0.03243	0.05792	3.5	0.001655
3	0.02664	0.00821	3.5	0.002345
2	0.01843	0.01099	3.5	0.003139
1	0.00744	0.00744	3.5	0.002126

$(\Delta_i)_{\max}/h_i > 0.02/R = 0.0029$ olduğundan yapıda göreceli kat ötelemeleri düzensizliği vardır.

Çizelge 16. Örnek.2'ye ait yapının ikinci mertebeye etkilerinin kontrolü (θ_i)

Kat No	w_i	$\sum_{j=1}^N w_j$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	V_i	h_i	θ_i
5	344.88	344.88	0.00159	43.0996	3.5	0.003643
4	599.58	944.46	0.00351	103.0416	3.5	0.009204
3	599.58	1544.04	0.00471	147.9933	3.5	0.014031
2	599.58	2143.62	0.00599	177.9546	3.5	0.020607
1	599.58	2743.20	0.00395	192.945	3.5	0.016060

Tüm katlarda $\theta_i < 0.12$ olduğundan, yapının ikinci mertebeye etkileri sınır değeri aşmamaktadır.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Perdeleri geniş kolon kabulü ile modellenen simetrik yerleştirilmiş iki tarafı perdeli ve tek tarafı perdeli binaların analizi sonucunda diyebiliriz ki;

Perdelerin simetrik yerleştirilmemesinin, yapı düzensizliklerini arttırdığı gözlenmektedir. Bu bakımdan ek burulma momentinin oluşmaması ve göreceli kat deplasmanlarının azaltılması açısından perdeler planda simetrik yerleştirilmelidir. Simetrisinin sağlanmasıyla rijitlik merkezi planda simetri merkezine yaklaşmaktadır.

Deprem yönüne göre, simetrik yapılarda statik olarak Rayleigh oranı kullanılarak bulunan temel periyodun, serbest titreşim ile bulunan temel periyotlarla aynı olduğu görülmektedir. Rijitlik bakımından simetrisinin bozulduğu durumlarda, bu periyot

değerleri birbirinden bir miktar ayrılmaktadır.

Bu çalışmanın bir amacı da, SAP90 programı ile elde edilen irdeleme sonuçları ile ANSYS programı irdeleme sonuçlarını kıyaslamaktır.

5. KAYNAKLAR

1. Aydınoğlu,N., "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik ile İlgili Eğitim Programı", İnşaat Mühendisleri Odası, Bölüm-6 Hesap Kuralları, Ankara, 1997.
2. Celep,Z., Kumbasar,N., "Betonarme Yapılar", Sema Matbaacılık, 888 s., İstanbul, 1998.
3. Çakıroğlu,A., Çetmeli,E., "Yapı Statiği Cilt II", Matbaa Teknisyenleri Basımevi, 411 s., İstanbul, 1983.
4. DüNDAR,C., KIRAL,E., TANRIKULU,K., TOKGÖZ,S., "Yeni Deprem Yönetmeliğine Göre Bina Analiz ve Tasarımı", Çakmak Ofset (TMMOB), 102 s., Adana,1998.
5. DüNDAR,C., KIRAL,E., "Perdeli Yapı Sistemlerinin Bilgisayar ile Hesabı", Özgün Matbaacılık, 195 s., Ankara,1986.
6. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Eğitim Merkezi, "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 85s., İzmir, 1998.
7. Özmen,G., Pala,S., Orakdöğen,G., Gülay, "Yeni Türkiye Deprem Yönetmeliğinin Spektrum Katsayısı Bakımından Değerlendirilmesi", Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, (385), s:13-16, 1996.
8. Özdemir Kılıçlar,E., "Yeni TDY-98'in ANSYS ile İrdelenmesi", Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması, Ç.Ü., 235 s., Adana,1999.

ELASTİK OLMAYAN DÜZLEMSEL ÇELİK ÇERÇEVELERİN NONLİNEER ANALİZİ

Nihat ATMACA

G.Ü. GMYO İnşaat Programı, Gaziantep/Türkiye

A. Kamil TANRIKULU

Ç.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Bu çalışmada elastik olmayan düzlemsel çelik çerçevelerin nonlinear analizi iteratif bir yöntem olan Eşdeğer Lineer Yöntem (ELY) ile yapılmış ve aynı yöntemle dayalı FORTRAN dilinde bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen program ile bazı örnek problemler çözülmüş, elde edilen sonuçlar ANSYS programının sonuçları ve literatürde mevcut diğer sonuçlar ile karşılaştırılmış, sonuçların büyük ölçüde uyumlu olduğu belirlenmiştir.

NONLINEAR ANALYSIS OF INELASTIC STEEL PLANE FRAMES

ABSTRACT : An iterative method which is called Equivalent Linear Method (ELM) is used for the nonlinear analysis of inelastic steel plane frames, and a FORTRAN program based on this method is developed. By using the program, several examples are solved, and the results are compared with the results of ANSYS package program and with the results reported in the literature. It is found that, the results of ELM are in good agreement with the others.

1. GİRİŞ

Yapı mekaniğinin en önemli konusu, servis yükleri altında yapı davranışının gerçeğe en yakın olarak belirlenebilmesidir. Bu sebeple yapı malzemesinin davranışa katkısının, hesaplara gerçekçi bir biçimde yansıtılması çok önemlidir.

Yapı analizi genellikle 'Lineer Teori' ve 'Nonlinear Teori' olarak adlandırılan teorilere dayalı analiz yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir.

Lineer teori genellikle normal servis şartları altında mühendislik yapılarının bir çoğunun analizinde yeterli olmaktadır. Ancak dış yüklerin taşıma gücünü aştığı durumlarda yapı davranışının incelenmesi halinde Lineer Teori geçerli kabul edilemez. Bu durumda 'Plastik Teori' adı verilen ve malzemenin lineer olmayan davranışını göz önüne alan 'Nonlinear Teori' kullanılmalıdır.

Modern mühendisliğin Plastik Metotları tercih etme sebepleri şöyle özetlenebilir:

a) Elastik Teori bazen yapının davranışı hakkında yanlış fikir verebilir. Plastik Teoriye nazaran, Elastik Teori daha çok kabullere dayanır. Bir yapı elemanında gerilme dağılışı eşit olmayabilir, ve çeşitli bölgelerde, gerilme konsantrasyonu yüzünden çelikteki gerilme zaten akma sınırını geçmiş olabilir. Mesnetlerde, ve yapı elemanı gövdesinde mevcut olan delikler etrafında bu tip durumlara rastlamak bilhassa mümkündür.

b) Elastik Teori, emniyet katsayısı hakkında unumiyetle muhafazakar davranmamıza sebep olur, ve böylece malzeme israfına gidilir. Elastik hesap metotlarında çoğunlukla alışagelmiş ampirik formüller kullanılır, ve bunlardan ötürü bir yapının tüm olarak emniyetini hesaplamak çok güçleşir.

Plastik Metotların olumlu bir çok yönünün yanı sıra plastik incelemenin sınırlı olduğu bazı haller de yok değildir. Mesela, yapı nazik bir makineyi veya alçı tavanı taşımak için hesaplanmış olabilir. Bu hallerde yapı sadece şekil değiştirmelerin çok küçük olması için yeter derecede kuvvetlidir. Zira aksi halde yapının amacı tam anlamıyla yerine getirilmemiş olur. Genel olarak bu şekil değiştirmelerin hesabı bir elastik inceleme isteyecektir.

Bu çalışmada, başlangıç kusuru içermeyen düzlemsel çelik çerçevelerin nonlinear analizi, daha önce Mengi ve arkadaşları (1) tarafından yığma yapıların nonlinear analizi için kullanılan 'Eşdeğer Lineer Yöntem' (ELY) ile gerçekleştirilmektedir.

İteratif bir yöntem olan ELY'in her adımında sistemin lineer analizi yapılarak deformasyon durumu belirlenmektedir. Daha sonra yapının elastik özellikleri bu deformasyon durumuna göre yeniden tanımlanıp analiz lineer olarak tekrarlanmaktadır. İterasyona sistemin elastik özelliklerindeki değişim önemsiz hale gelinceye kadar devam edilmektedir.

Çalışmada, düzlemsel çelik çerçevelerin nonlinear analizi için ELY'e dayalı FORTRAN dilinde bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde, yapıların lineer ve nonlinear analizinde kullanılan esaslar sıralanmaktadır.

2.1. Lineer Teori

Yapıların geleneksel Lineer Teorisi iki ana kabule dayanır;

a) *Malzeme Lineeritesi*, lineer gerilme şekil değiştirme kanunu ile tanımlanır.

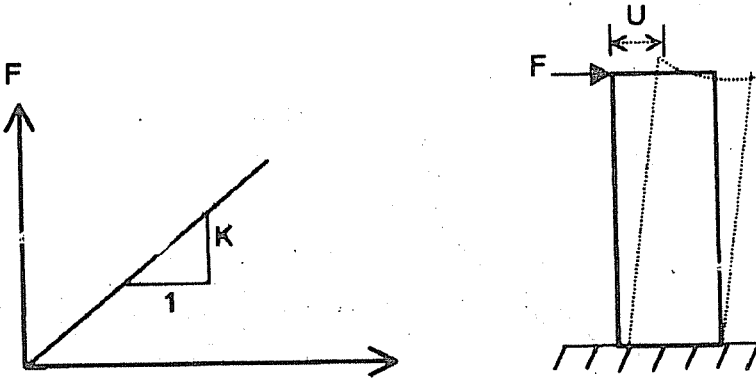
Bir yapı sistemine (F) kadar bir kuvvet uygulandığı zaman sistem bu kuvvetin şiddetine bağlı olarak (U) kadar yer değiştirir. F ve U arasındaki ilişkinin gerçeğe yakın tahmin edilebilir oluşu teknik elemanlar açısından çok büyük önem arz eder. Çünkü bu ilişkinin doğru tahmini neticesinde yapının maruz kaldığı yükler altındaki davranışı hakkında doğru hesaplamalar yapılabilir. Bir çok mühendislik uygulamalarında (F) ve (U) arasındaki ilişki Hooke Kanunu diye bilinen lineer bir eşitlik ile ifade edilir.

$$F=K*U$$

(1)

Bu eşitlikte orantılılık sabiti K yapının rijitliğini göstermektedir. F ile U arasındaki ilişki bir grafikte ifade edilecek olursa düzgün bir doğru (lineer) elde edilir (Şekil 1).

Yapı rijitliği sabit kaldığı sürece yapı için 'lineer' tabiri kullanılır. Çünkü yapının davranışı lineer eşitlikler kullanılarak analiz edilebilir. Bir çok yapı sisteminde normal servis şartlarında lineer dizayn esaslarından faydalanılır.



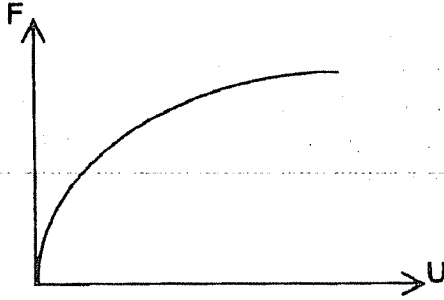
Şekil 1. Lineer Davranış $F=K*U$

b) *Geometrik Lineerite* ise, yapıda meydana gelen şekil değiştirmelerin çok küçük olduğu ve denge denklemlerinin, yapıların deformasyona uğramamış geometrisi üzerinde yazılabileceğini ifade etmektedir.

2.2. Nonlinear Teori

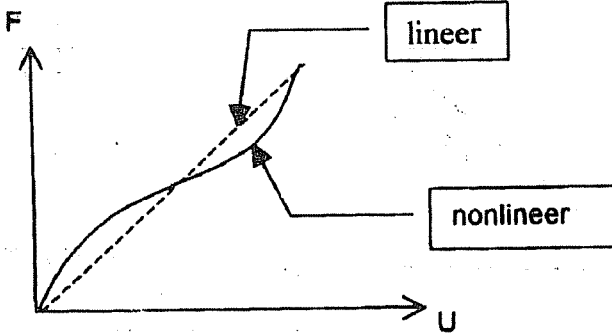
a) *Malzeme Nonlineeritesi*, yukarıda sözü edilen kuvvet (F) ve yerdeğiştirme (U) arasındaki ilişkinin lineer olmaması durumunu ifade etmektedir (Şekil 2). Bu tip sistemlerin davranışı doğrudan lineer bir denklem yardımıyla ifade edilemezler.

Malzeme nonlineeritesini gözönüne alan analiz yöntemleri 'Plastik Analiz Yöntemleri' olarak anılmaktadır.



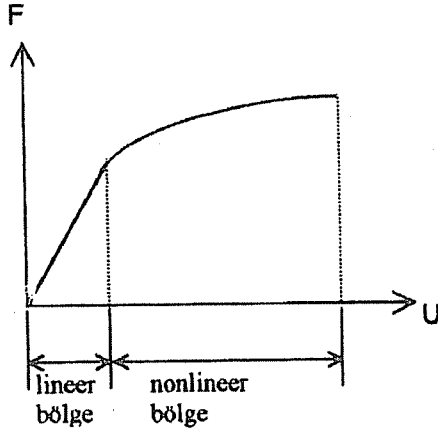
Şekil 2. Nonlinear Davranış $F \neq K*U$

Bazı sistemlerde ise genellikle lineere yakın ancak gerçekte doğrusal olmayan bir durum söz konusudur (Şekil 3). Yani nonlineerite derecesi ihmal edilebilecek ölçüde düşüktür. Böyle düşük nonlineeriteli sistemlerin analizi lineer yaklaşım ile ele alınabilmektedir.



Şekil 3. Düşük Nonlineeriteye Lineer Yaklaşım

Bazı sistemler ise hem lineer hem de lineer olmayan kısımları beraberce içerebilir (Şekil 4).



Şekil 4. Lineer ve Nonlinear Davranışı Birlikte İçeren Yapılar

Eğer ilgilendiğimiz kısım lineer aralıktaysa nonlinear analize gerek duyulmaz.

Kimi durumlarda servis yükünün altında bile yapının davranışı nonlinear olabilir. İşte bu tip durumlarda Lineer Teorinin doğruluk oranı büyük ölçüde düşer.

b) Geometrik Nonlineerite, yapı sisteminde meydana gelen deformasyonların çok büyük olması ve analizde gözönüne alınması durumunu ifade etmektedir.

Nonlinear davranışa sebep olan bir çok etkenler vardır. Bu etkenler nonlinear davranışı artırabilirler. Bu etkenleri üç ana grupta toplamak mümkündür:

a) Zamana bağlı veya zamandan bağımsız malzeme nonlinearitesi

b) Uygulanan yük veya yüklerin dağılımının ve büyüklüğünün değişmesine sebep olacak kadar yapının şeklini değiştiren büyük deplasmanlar

c) Küçük deplasmanlarla birlikte temas gerilmeleri

Nonlineerite hafif veya şiddetli, statik veya dinamik yahutta burkulma içerebilir veya içermeyebilir. Bu yüzden bütün Nonlinear problemler için tek bir çözüm metodu yoktur. Çok değişik çözüm yolları vardır ancak tümünün de temel prensipleri aynıdır.

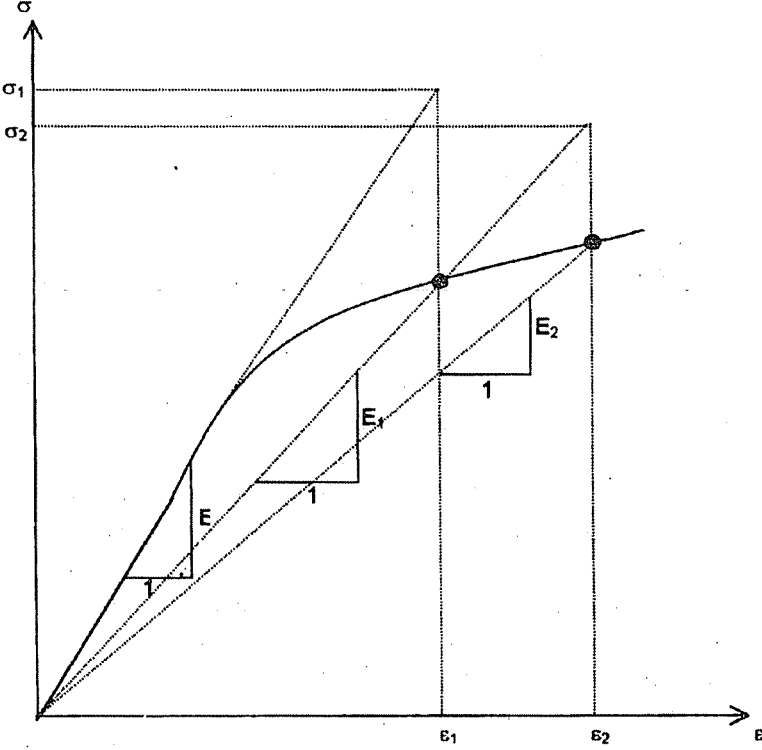
3. DÜZLEMSEL ÇELİK ÇERÇEVELERİN EŞDEĞER LİNEER YÖNTEM (ELY) İLE NONLİNEER ANALİZİ

Bu bölümde, düzlemsel çelik çerçevelerin nonlinear analizi için kullanılan 'Eşdeğer Lineer Yöntem' tanıtılmaktadır.

3.1 Malzeme Nonlineeritesi İçin Eşdeğer Lineer Yöntem

İteratif bir yöntem olan ELY' de yapının nonlinear analizi için yapı elemanları küçük parçalara ayrılmakta ve iterasyonun her adımında Lineer analiz gerçekleştirilmektedir. Yapının lineer analizi 'Rijitlik Matrisi Yöntemi' (2) ile yapılmaktadır. Bilindiği gibi bu yöntemde yapının her elemanı için farklı geometrik ve fiziksel özelliklerin

tanımlanması rahatlıkla mümkün olabilmektedir. Bu yöntemde en önemli konu, iterasyonun her adımında, sistemde meydana gelen deformasyon durumuna bağlı olarak, elemanların elastisite modüllerinin güncelleştirilmesidir. Elastisite modülünün güncelleştirilmesi işlemi Şekil-5 yardımı ile şöyle açıklanabilir:



Şekil 5. ELY'de Elastisite Modülünün Güncelleştirilmesi

Elemanın başlangıçtaki elastisite modülü E' dir. Yapılan lineer analiz sonucunda bu eleman için hesaplanan maksimum gerilme ve karşılık gelen şekil değiştirme değerleri sırasıyla σ_1 ve ϵ_1 olarak bulunmaktadır. İkinci adımda bu eleman için kullanılacak elastisite modülü, σ - ϵ eğrisinde ϵ_1 değerine karşılık gelen noktanın secant modülü (E_1) olacaktır. Üçüncü adımdaki Elastisite modülü ise benzer şekilde, lineer analiz sonucunda belirlenecek ϵ_2 şekil değiştirmesine karşılık gelen noktanın secant modülü (E_2) olarak belirlenecektir. İterasyona, son iki adımda belirlenen Elastisite modülleri arasındaki fark önemsiz hale gelinceye kadar devam edilecektir.

Her eleman için maksimum normal gerilme ve şekil değiştirme değeri

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{I} h_{\max} \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma_{\max}}{E} \quad (3)$$

formülleri ile hesaplanmaktadır. (2) denkleminde görülen M_{\max} , o elemanda hesaplanan en büyük eğilme momenti değeridir. I ve h_{\max} ise sırasıyla, eleman kesitinin eğilme atalet momenti ve kesit ağırlık merkezi ile bu merkeze en uzak nokta arasındaki uzaklıktır. (2) ve (3) denklemlerinden görüleceği üzere gerilme şekil değiştirme hesabında sadece eğilme momentinin etkisi göz önüne alınmakta, kayma ve eksenel yük etkileri ihmal edilmektedir.

Eşdeğer Lineer Yönteminin adımları aşağıda sıralanmaktadır:

ADIM 1 : Yapı sistemi küçük elemanlara ayrılır. Bu adımda bütün elemanların ilk elastisite modülü olarak s-e eğrisinin başlangıçtaki eğimini ifade eden (E) değeri kullanılarak sistemin lineer analizi gerçekleştirilir.

ADIM 2 : ADIM 1'de elde edilen deformasyon durumuna göre her eleman için yeni bir elastisite modülü belirlenir.

ADIM3 : Yeni elastisite modülleri kullanılarak sistemin yeniden lineer analizi yapılır.

ADIM 4 : Son analizde belirlenen deformasyon durumuna göre her eleman için yeni elastisite modülleri hesaplanır.

(N), sistemdeki eleman sayısı olmak üzere :

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{E_{\text{yeni}} - E_{\text{eski}}}{E_{\text{yeni}}} \right|_i \leq \varepsilon_{kr} \quad (4)$$

yakınsama kriteri sağlanıncaya kadar işlemler 3. adımdan itibaren tekrarlanır. (4) denkleminde görülen E_{yeni} ve E_{eski} sırasıyla i. elemanın son ve sondan bir önceki iterasyonda hesaplanan elastisite modülü, ε_{kr} ise istenildiği kadar küçük seçilebilen bir sabittir.

3.2. Geometrik Nonlineerite İçin Eşdeğer Lineer Yöntem

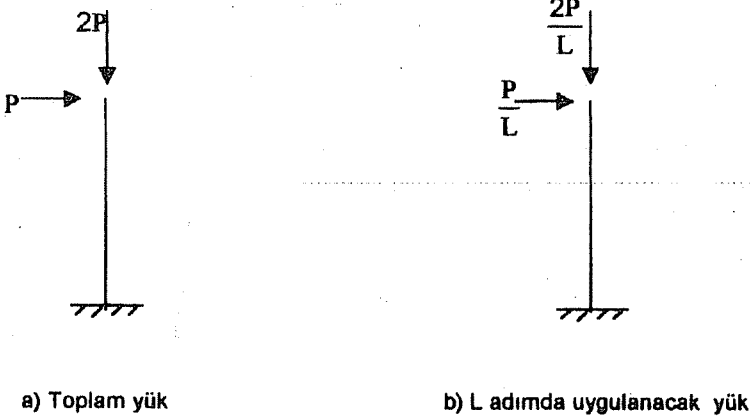
Eşdeğer lineer yöntem ile geometrik nonlineeritenin hesaba katılması için, sistem üzerine etki eden yükün küçük parçalara ayrılması ve adım adım yüklenmesi gerekmektedir. Örneğin Şekil 6' da görülen sistemin bu yöntem ile L adımda nonlineer analizi için, sistem üzerine etkiyen yükler L'ye bölünecek ve böylece her adımda sisteme yükün (1/L) katı uygulanacaktır. L adım sonunda yükün tamamı sisteme yüklenmiş olacaktır.

Yüklenmenin her adımı sonunda, sistemde meydana gelen deformasyona bağlı olarak çerçeve geometrisi, yani düğüm noktası koordinatları, yeniden belirlenmektedir. Her adımda çerçevenin lineer analizi yapılmaktadır. Burada bir iterasyon işlemi söz konusu

olmamaktadır.

Bu yöntem ile elde edilecek sonuçların iyileştirilebilmesi için yükleme adım sayısı ve/veya eleman sayısının artırılması gerekmektedir.

Eşdeğer Linear yöntem yardımıyla hem malzeme hem de geometrik nonlineeritenin birlikte gözönüne alınması ile ilgili algoritma, bir sonraki bölümde tanıtılacaktır.



Şekil 6. ELY İle Geometrik Nonlineeritenin Hesaba Katılması

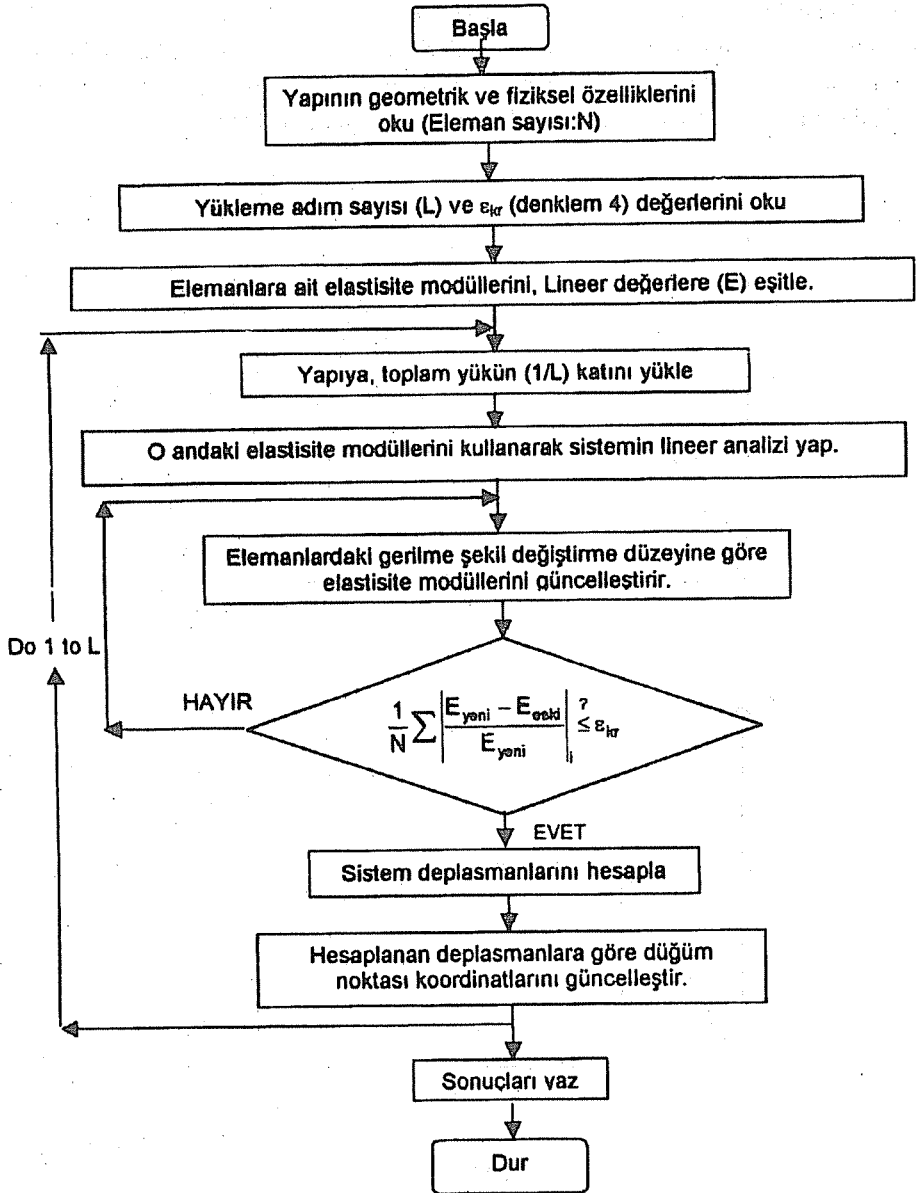
4. DÜZLEMSEL ÇERÇEVELERİN ELY İLE NONLINEER ANALİZİ İÇİN BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI

Bu bölümde, elastik olmayan düzlemsel çelik çerçevelerin nonlineer analizi için eşdeğer lineer yöntemle dayalı olarak geliştirilen bilgisayar programı (ELM) tanıtılacaktır.

Program FORTRAN programlama dili ile hazırlanmış olup DOS işletim sistemi ile çalışan kişisel bilgisayarlarda kullanılabilir. Programa ait bazı özellikler aşağıda sunulmaktadır.

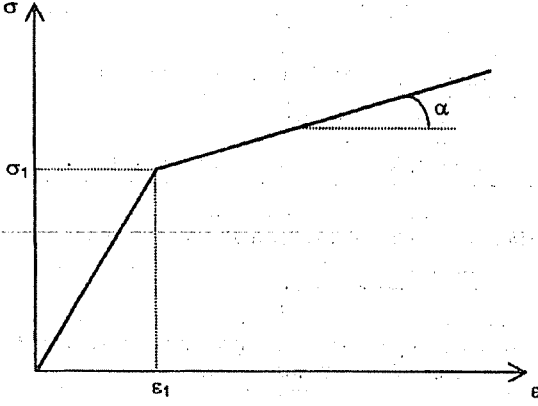
- i) Programa ait data dosyası serbest format ile hazırlanabilir.
- ii) Program bazı data türetme imkanlarına sahiptir. Bu özellik, data dosyasını önemli ölçüde kısaltmakta ve hata yapma ihtimalini azaltmaktadır.
- iii) Program ile istendiği takdirde sadece malzeme nonlineeritesi veya sadece geometrik nonlineerite göz önüne alınabileceği gibi, her iki nonlineeriteyi aynı anda hesaba katmak da mümkün olmaktadır.
- iv) Program her ne kadar nonlineer analiz için hazırlanmış ise de, yapıların lineer analizi için de kullanılabilir.

Programa ait akış diyagramı Şekil 7'de görülmektedir.

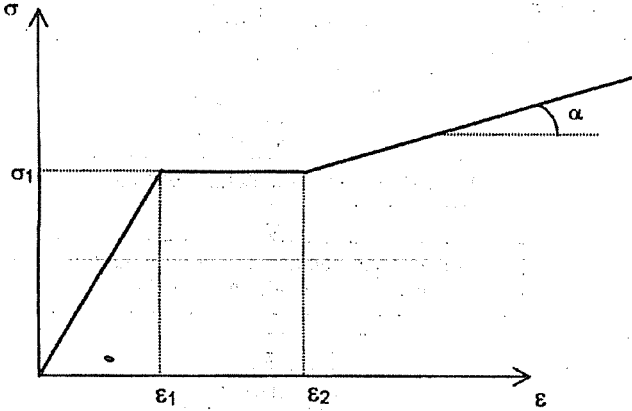


Şekil 7. ELM Programına Ait Akış Diyagramı

Hazırlanan bilgisayar programında, malzemeye ait gerilme şekil-değiştirme ilişkisi için, iki veya üç doğrusal malzeme modellerinden herhangi biri kullanılabilir (Şekil 8 a ve b). Bilgisayar programı ve data dosyası ile ilgili ayrıntılı bilgi Atmaca tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında (3) yer almaktadır.



(a)



(b)

Şekil 8. Malzeme σ - ϵ İlişkisi İçin Programda Kullanılan Modeller

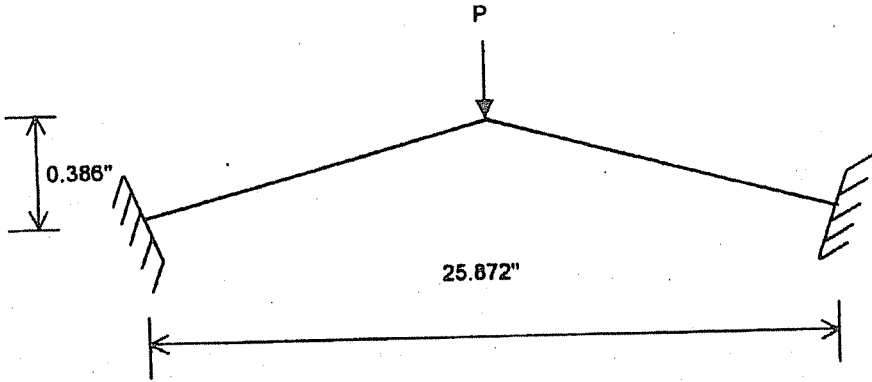
5. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu bölümde, bazı örnek yapı sistemlerinin nonlineer analizi, hazırlanan bilgisayar programı ile yapılmakta ve çeşitli karşılaştırmalara yer verilmektedir.

Basık Çerçeve Örneği

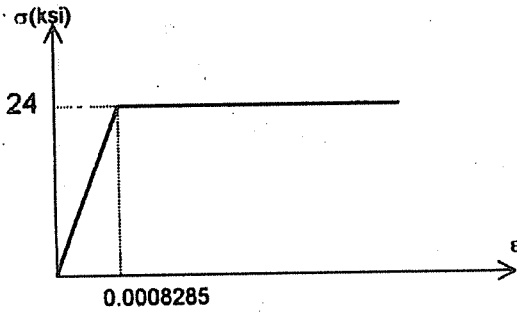
Bu örnekte, Şekil 9'da görülen daire kesitli basık çerçeve ele alınmaktadır. Sistemin kesit özellikleri aşağıda verilmektedir.

Kesit alanı : $A=0.063347 \text{ in}^2$
Eğilme Atalet Moment : $I=3.1933E-4 \text{ in}^4$



Şekil 9. Basık Çerçeve Örneği

Çerçevenin yapıldığı malzemeye ait gerilme şekil değiştirme diyagramı Şekil 10'da görülmektedir. Ele alınan çerçevenin;

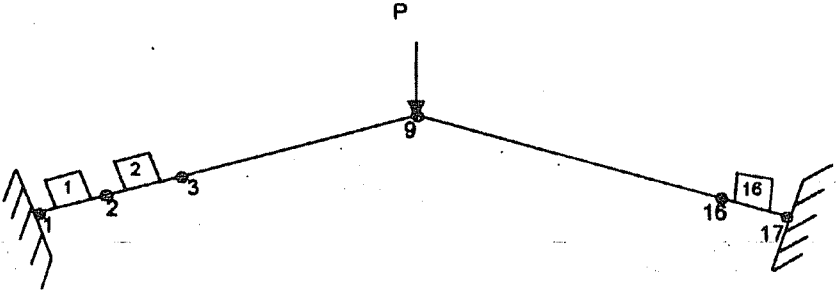


Şekil 10. Basık Çerçevenin Yapıldığı Malzemeye ait Gerilme - Şekil Değiştirme Diyagramı

- sadece geometrik nonlineerite,
- sadece malzeme nonlineeritesi ve

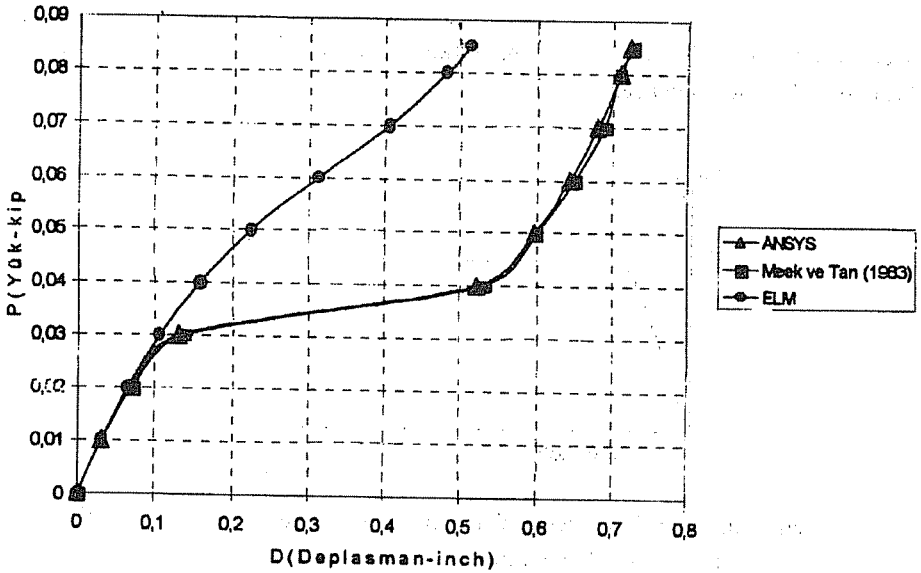
iii) her iki nonlineerite

için analizleri, bu çalışmada hazırlanan ELM bilgisayar programı ve ANSYS paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Her iki program ile çözüm yapılırken çerçeve Şekil 11'de görüldüğü gibi 16 elemana bölünmüştür.



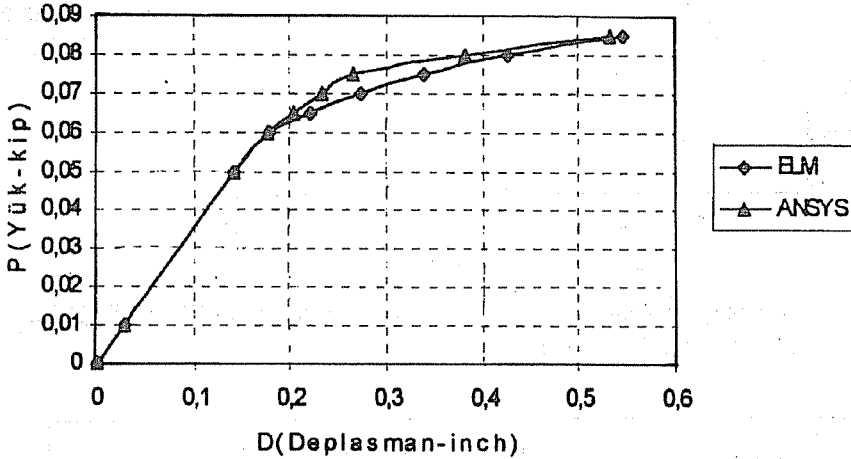
Şekil 11. Basık Çerçeveye ait Sonlu Eleman Modeli

Sadece Geometrik Nonlineerite için her iki bilgisayar programı ile elde edilen ve aynı çerçeve için literatürde Meek ve Tan tarafından verilen sonuçlar (4) Şekil 12'de, sadece



Şekil 12. Basık Çerçevenin Orta Noktası Düşey Deplasmanının Yük ile Değişimi (Geometrik Nonlineerite var)

Malzeme Nonlineeritesi için elde edilen sonuçlar Şekil 13'de, her iki nonlineerite için bilgisayar programları ve literatürde Kam ve arkadaşları tarafından verilen deneysel çalışma sonuçları (5) Şekil 14'e karşılaştırılmaktadır. Şekil 12-14'ün incelenmesinden görüleceği gibi, sadece geometrik nonlineeritenin gözönüne alınması durumunda ELM ile elde edilen sonuçlar, diğer sonuçlardan önemli ölçüde farklıdır. Sadece malzeme nonlineeritesi durumunda ise ELM ve ANSYS birbirine çok yakın sonuçlar vermiştir.



Şekil 13. Basık Çerçevenin Orta Noktası Düşey Deplasmanının Yük ile Değişimi (Malzeme Nonlineeritesi var)

Daha önce belirtildiği gibi, ELY ile analizde sonuçların iyileştirilmesi için eleman sayısının artırılması gerekmektedir. Ele alınan çerçevenin orta noktasındaki düşey deplasmanın eleman sayısı ile değişimi Şekil 15'de görülmektedir. Şeklin incelenmesinden görüleceği gibi, belli bir değerden sonra eleman sayısını arttırmanın gereği kalmamaktadır.

Bu ve bundan sonraki örneklerde, ELM ile ANSYS arasında sağlıklı bir karşılaştırma yapabilmek için eleman sayıları eşit alınmıştır.

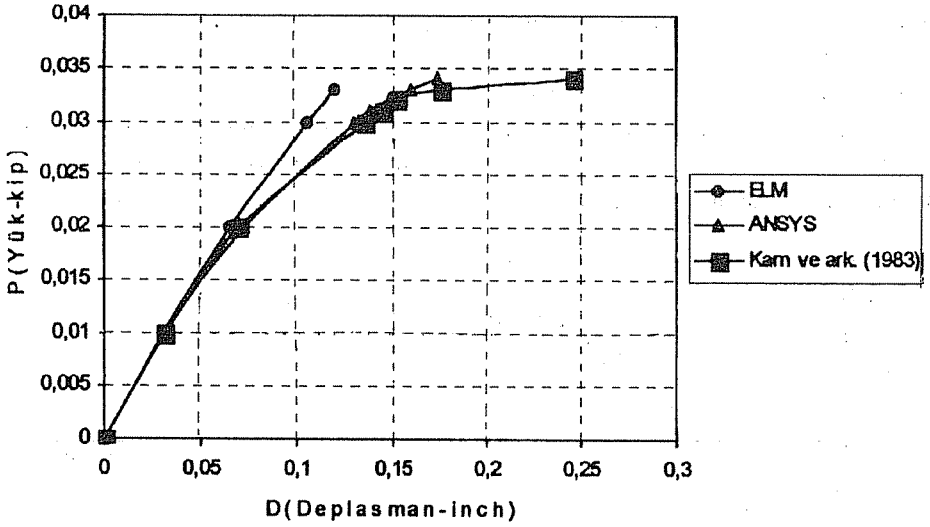
Ankastre Mesnetli Çerçeve Örneği

Bu örnekte, Şekil 16'da görülen ankastre mesnetli çerçeve ele alınmaktadır. Sistemin kesit özellikleri aşağıda verilmektedir.

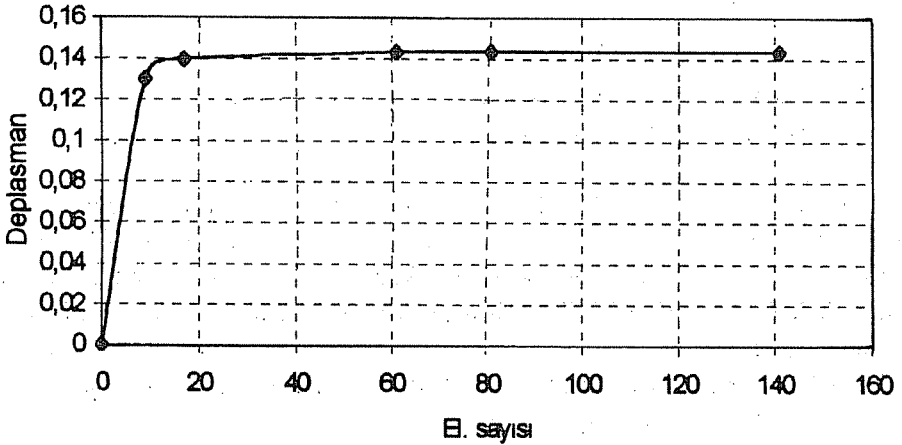
Kesit alanı : $A=10.3 \text{ in}^2$

Eğilme Atalet Moment : $I=285 \text{ in}^4$

Çerçevenin yapıldığı malzemeye ait gerilme şekil değiştirme diyagramı Şekil 17'de görülmektedir. Ele alınan çerçevenin;



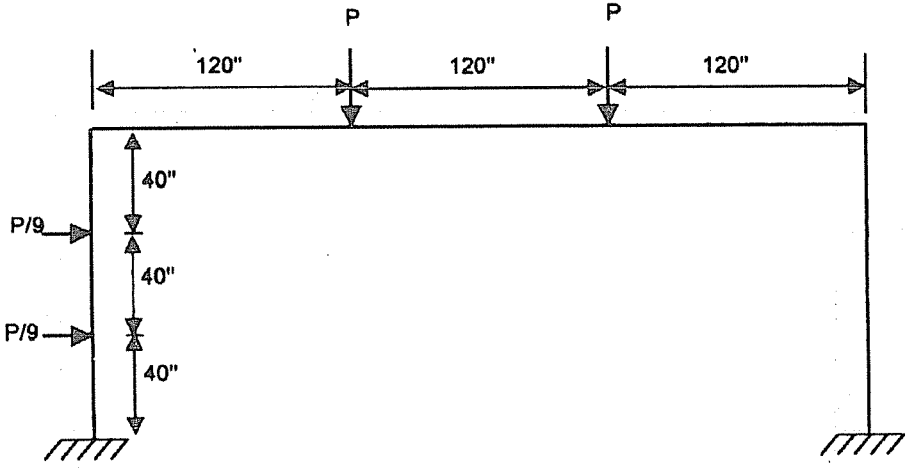
Şekil 14. Basık Çerçevenin Orta Noktası düşey deplasmanının Yük ile Değişimi (Her İki Nonlineerite var)



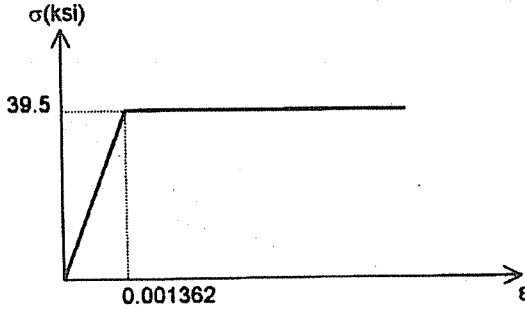
Şekil 15. Basık Çerçeve Orta Nokta Deplasmanının Eleman Sayısı İle Değişimi

- i) sadece geometrik nonlineerite,
- ii) sadece malzeme nonlineeritesi ve
- iii) her iki nonlineerite

için analizleri, bu çalışmada hazırlanan ELM bilgisayar programı ve ANSYS paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Her iki program ile çözüm yapılırken çerçeve Şekil 18'de görüldüğü gibi 75 elemana bölünmüştür.



Şekil 16. Ankastre Mesnetli Çerçeve Örneği



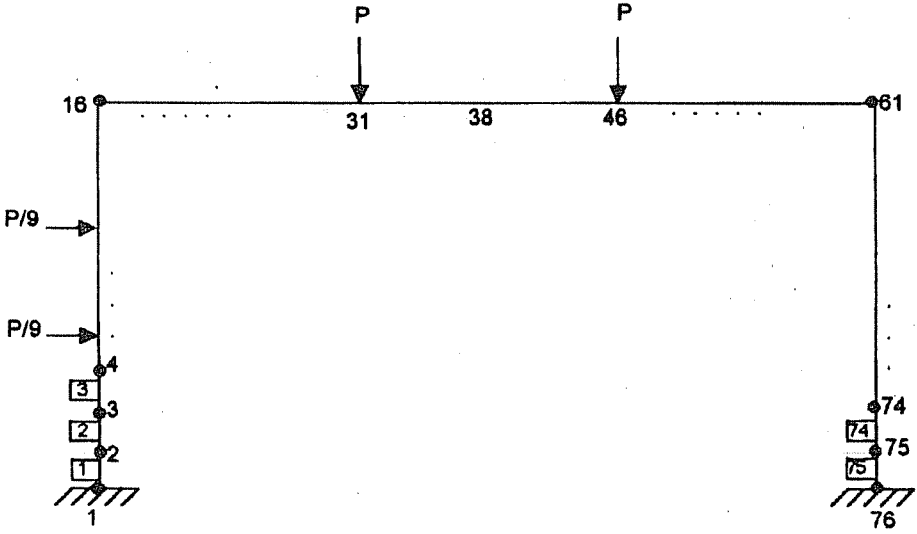
Şekil 17. Malzemeye ait Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı

Her iki bilgisayar programı ile elde edilen sonuçlar ve aynı çerçeve örneği için literatürde Kam, Rossow ve Corotis tarafından verilen deneysel çalışma sonuçları (5) Şekil 19-21'de karşılaştırılmaktadır. Şekillerden görüleceği üzere sonuçlar birbirleriyle uyum içindedir.

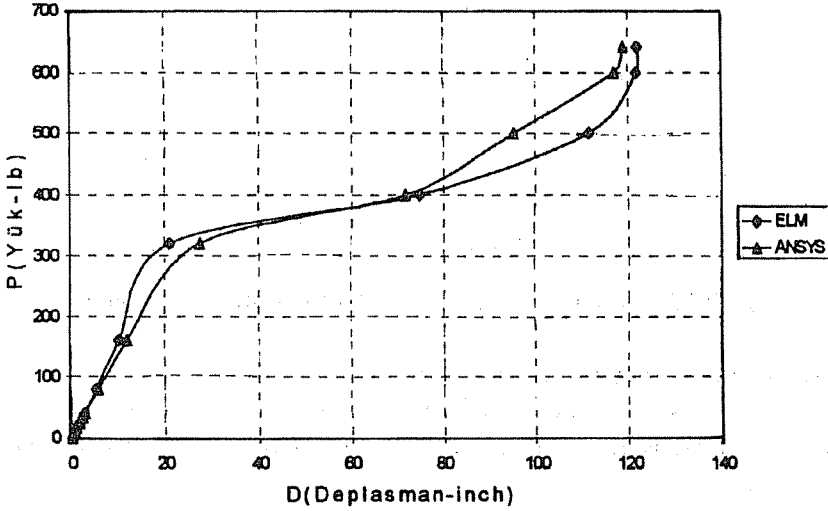
Kırık Kirişli Çerçeve Örneği

Bu örnekte, şekil 22'de görülen Kırık Kirişli Çerçeve ele alınmaktadır. Sistemin kesit özellikleri aşağıda verilmektedir.

I 80 için;
 Kesit alanı : $A=7.57 \text{ in}^2$
 Eğilme Atalet Moment : $I=77.8 \text{ in}^4$



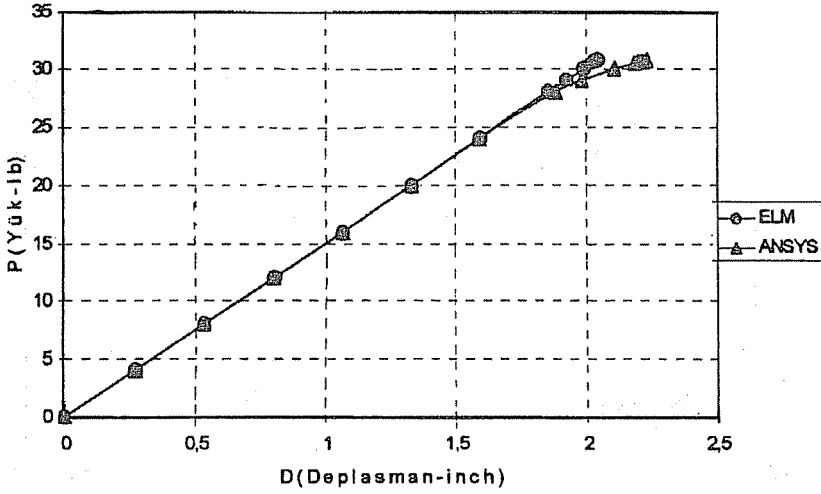
Şekil 18. Çerçeveye ait Sonlu Eleman Modeli



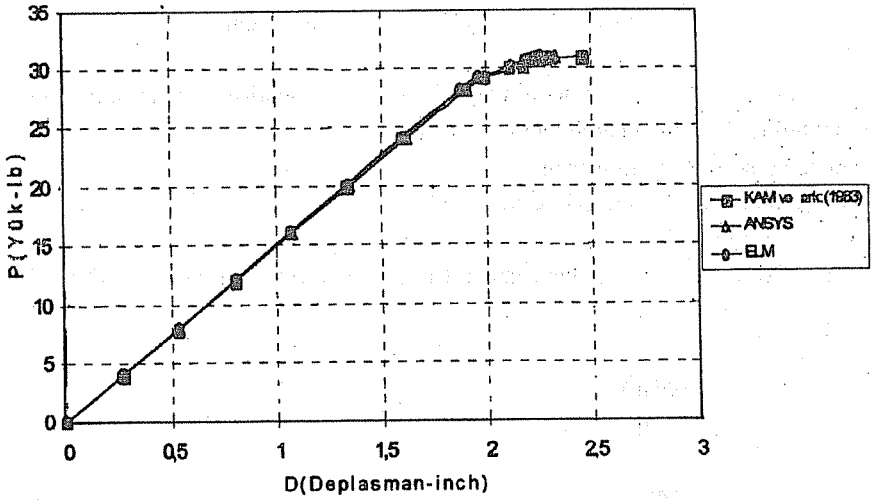
Şekil 19. Ankastr Mesnetli Çerçevenin Kiriş Ortası Deplasmanının Yük ile Değişimi (Geometrik Nonlineerite var)

I 100 için;

Kesit alanı : $A=10.6 \text{ in}^2$ Eğilme Atalet Moment : $I=171 \text{ in}^4$



Şekil 20. Ankastré Mesnetli Çerçevenin Kiriş Ortası Deplasmanının Yük ile Değişimi (Malzeme Nonlineeritesi var)



Şekil 21. Ankastré Mesnetli Çerçevenin Kiriş Ortası Deplasmanlarının Yük ile Değişimi (Her İki Nonlineerite var)

I 120 için;

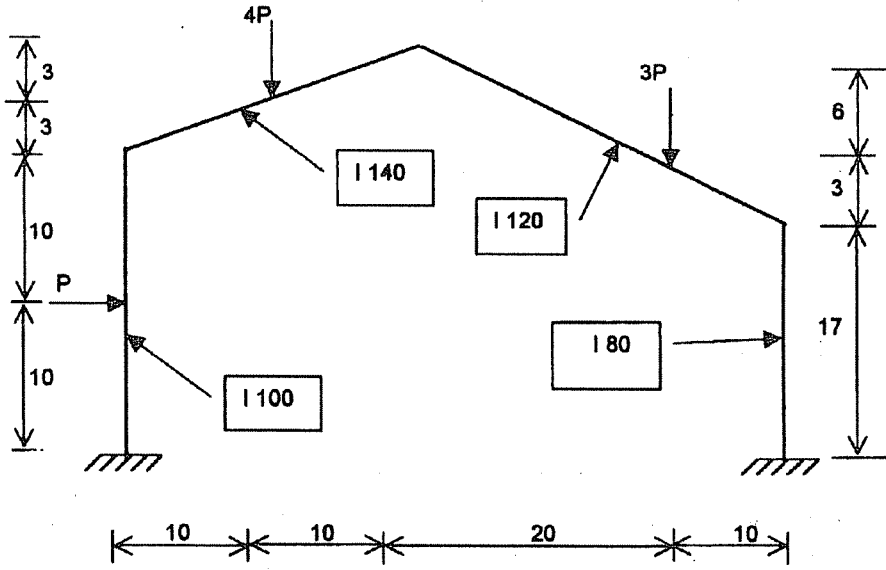
Kesit alanı : $A=14.2 \text{ in}^2$

Eğilme Atalet Moment : $I=328 \text{ in}^4$

I 140 için;

Kesit alanı : $A=18.2 \text{ in}^2$

Eğilme Atalet Moment : $I=573 \text{ in}^4$

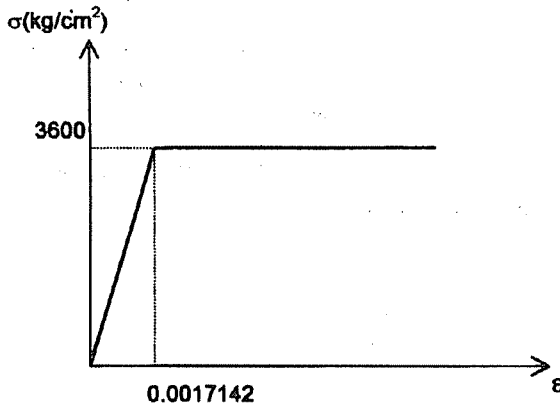


Şekil 22. Kırık Kirişli Çerçeve Örneği

Çerçevenin yapıldığı malzemeye ait gerilme şekil değiştirme diyagramını Şekil 23'de görülmektedir. Ele alınan çerçevenin;

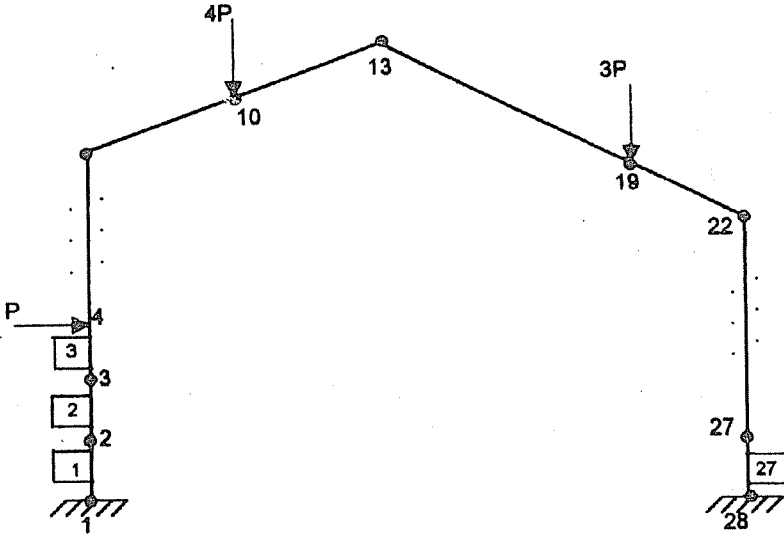
- i) sadece geometrik nonlineerite,
- ii) sadece malzeme nonlineeritesi ve
- iii) her iki nonlineerite

için analizleri, bu çalışmada hazırlanan ELM bilgisayar programı ve ANSYS paket



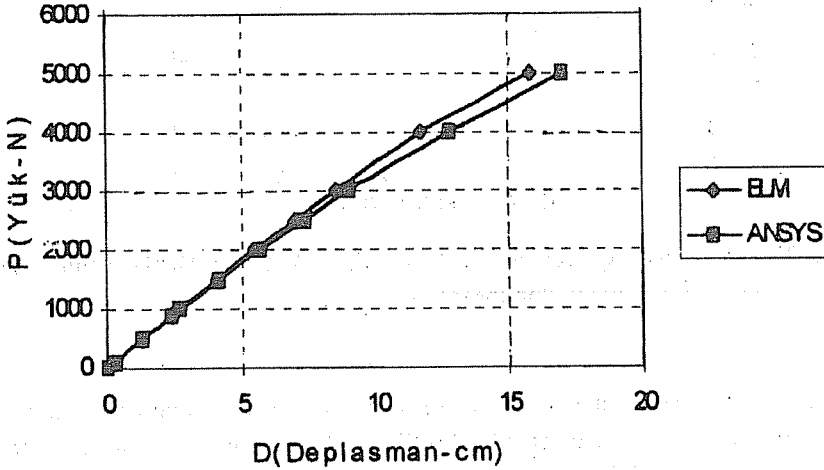
Şekil 23. Kırık Kirişli Çerçeve Örneğine ait Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı

programı ile gerçekleştirilmiştir. Her iki program ile çözüm yapılırken çerçeve Şekil 24'de görüldüğü gibi 27 elemana bölünmüştür.

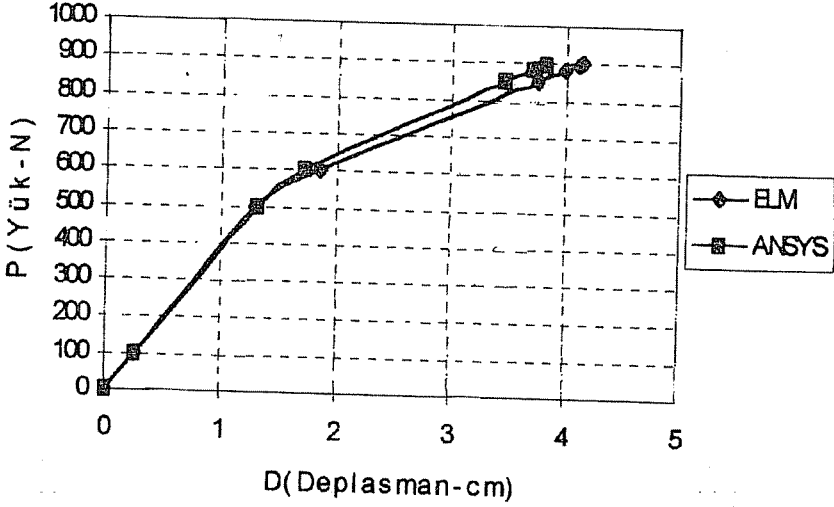


Şekil 24. Kırık Kirişli Çerçeveye ait Sonlu Eleman Modeli

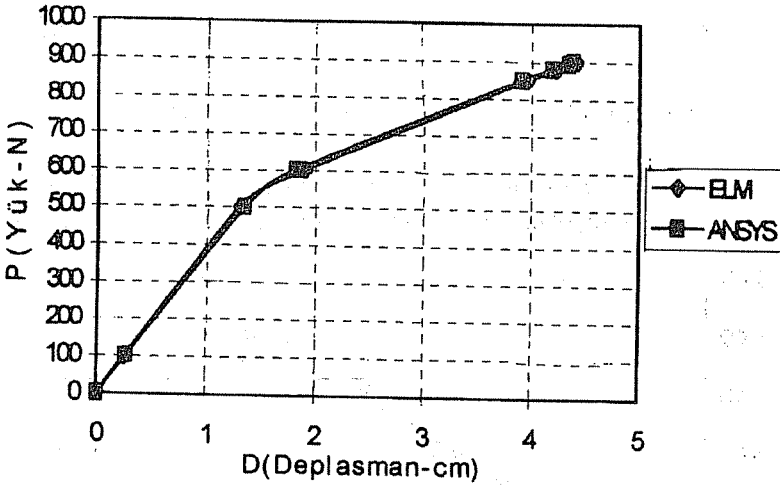
Her iki bilgisayar programı ile elde edilen sonuçlar Şekil 25-27'de karşılaştırılmaktadır. Şekillerden görüleceği üzere sonuçlar birbiriyile uyum içindedir.



Şekil 25. Kırık Kirişli Çerçevenin 3P Yükü Altındaki Düşey Deplasmanının Yük ile Değişimi (Geometrik Nonlineerite var)



Şekil 26. Kırık Kirişli Çerçevenin 3P Yüğü Altındaki Düşey Deplasmanın Yük ile Değişimi (Malzeme Nonlineeritesi var)



Şekil 27. Kırık Kirişli Çerçevenin 3P Yüğü Altındaki Düşey Deplasmanın Yük ile Değişimi (Her iki Nonlineerite var)

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada elastik olmayan düzlemsel çelik çerçevelerin nonlineer analizi iteratif bir yöntem olan Eşdeğer Lineer Yöntem (ELY) ile yapılmış ve aynı yönteme dayalı FORTRAN dilinde bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Geliştirilen program ile bazı örnek problemler çözülmüş, elde edilen sonuçlar ANSYS programının sonuçları ve literatürde mevcut diğer sonuçlar ile karşılaştırılmış ve

sonuçların büyük ölçüde uyumlu olduğu belirlenmiştir. ELM ile elde edilen sonuçların iyileştirilebilmesi için çerçevedeki eleman sayısının artırılması gerekmektedir.

Yapılan bu çalışma da bir kez daha görülmüştür ki, sistem geometrisi ve yüklemeye bağlı olarak, lineer ve nonlineer analiz sonuçları arasında son derece önemli farklılıklar meydana gelebilmektedir. Dolayısıyla bazı hallerde yapı sistemlerinin nonlineer analizinin yapılması kaçınılmaz olmaktadır.

7. KAYNAKLAR

1. Mengi,Y., McNiven,H.D. and Tanrıku,A.K., "A Model for Nonlinear Earthquake Analysis of Reinforced Brick Masonry Buildings", *Computers and Structures*, Vol. 41, No. 4, 801-812,1991.

2. Ghali,A. and Neville,A.M., "Structural Analysis, Chapman and Hall", NewYork, 779s., 1983.

3. Aımaca,N., "Elastik Olmayan Düzlemsel Çelik Çerçevelerin Nonlinear Analizi", Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 1999.

4. Meek,J.L. and Tan,H.S., "Geometrically Nonlinear Analysis of Space Frames by an Incremental Technique", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 47, 261-282, 1983.

5. Kam,T.Y., Rossow,E.C. and Corotis,R.B., "Inelastic Tangential Stiffness for 2-D Frames", *Journal of the Structural Engineering*, ASCE, 109: 2685-2697,1983.

ÇEŞİTLİ KESİT ALANLI KANALLARIN MİNİMUM ENTROPİ ÜRETİMİNE GÖRE OPTİMİZASYONU

Alper YILMAZ ve Tuncay YILMAZ

Ç.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Enerji üretiminde ve kullanımında da genel prensip, termodinamik kurallardan bildiğimiz gibi, bir işlem esnasında mümkün olan en az entropi üretmektir. Isı eşanjörlerinde entropi üretimi akıştan dolayı meydana gelen basınç kaybı dolayısıyla üretilen entropidir. Akışkan hızı yüksek ise basınç kaybı da yüksek, dolayısıyla bundan dolayı üretilen entropi de yüksektir. Ancak yüksek hızlarda ısı transferi katsayısı da yüksek olacağından entropi üretimini azaltmaktadır. Bu durum da bize belirli bir hızda veya sıcaklık farkında minimum entropi üretileceğini göstermektedir. Bu çalışmada çeşitli kesit alanlı kanallar için minimum entropi üretimini sağlayan sıcaklık farkı ve bunu sağlayan optimum geometri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Entropi, optimizasyon, çeşitli kesit alanlı kanallar

OPTIMIZATION OF DUCTS OF ARBITRARY CROSS-SECTIONS FOR MINIMUM ENTROPY GENERATION

ABSTRACT : The efficient energy production and usage can be achieved via generating minimum possible entropy by the general principals of thermodynamics. In heat exchangers, entropy is generated due to pressure losses in flow. Hence, the higher the speed of the flow, the higher is the entropy generation due to higher pressure losses. On the contrary, the heat transfer coefficient is higher in case of higher velocities which leads to a less temperature difference to transfer a given amount of heat, which in turn means less entropy generation. As a result, there should be an optimum velocity or temperature difference which allows minimum entropy generation. In this study, optimum temperature differences that allow minimum entropy generation and corresponding optimum geometries for ducts of arbitrary cross-sections are investigated.

Key Words: Entropy, optimization, ducts of arbitrary cross-sections

1. GİRİŞ

Konvektif ısı transferinde amaç en az basınç kaybına sebep vererek en yüksek ısı transfer etmektir. Enerji üretiminde ve kullanımında da genel prensip, termodinamik kurallardan bildiğimiz gibi, bir işlem esnasında mümkün olan en az entropi üretmektir.

Isı eşanjörlerinde entropi üretimi akıştan dolayı meydana gelen basınç kaybı dolayısıyla üretilen entropidir. Diğer bir tersinmezlik ise eşanjör cidarı ile akan akışkan arasında ısı transferi için gerekli olan sıcaklık farkından dolayı ortaya çıkar (1-4). Akışkan hızı yüksek ise basınç kaybı da yüksek, dolayısıyla bundan dolayı üretilen entropi de yüksektir. Ancak yüksek hızlarda ısı transferi katsayısı da yüksek olacağından belirli bir ısıyı transfer etmek için gerekli olan sıcaklık farkı azalacaktır. Bu da sıcaklık farkından dolayı ortaya çıkan entropi üretimini azaltmaktadır. Bu durum da bize belirli bir hızda veya sıcaklık farkında minimum entropi üretileceğini göstermektedir (5). Burada minimum entropi üretimini sağlayacak sıcaklık farkları belirlenecektir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Belirli kesit alanlı bir kanalda minimum entropi üretilen optimum durumlar tespit edildiğinde, bu durumlar için transfer edilen ısılar belirlenecektir. Böylece kanal kesit alan şeklinin entropi üretimi ve maksimum ısı transferi üzerine etkisi ile mutlak minimum entropi üretiminin kanal şekli ile değişimi de nümerik olarak araştırılacaktır.

Bir kanalda dx uzunluğunda üretilen entropi,

$$d\dot{S} = \dot{M} ds - \frac{d\dot{Q}}{T_w} \quad (1)$$

şeklinde yazılabilir (6-8). Burada ds için ise sıkıştırılmaz akışkanlar için,

$$ds = C_p \frac{dT}{T} - \frac{dp}{\rho T} \quad (2)$$

olarak yazılabilir.

Transfer edilen ısı akımı \dot{Q} ,

$$d\dot{Q} = \dot{M} c_p dT \quad (3)$$

eşitliğinden bulunur. Bu eşitliklerde \dot{S} entropi akımını, s özgül entropiyi, \dot{M} akışkan kütle debisini, c_p özgül ısıyı, T ortalama sıcaklığı, ρ yoğunluğu, p basıncı, T_w cidar sıcaklığını, P kanal kesit alan çevresini ve x de akış yönündeki koordinatı göstermektedir.

Yukarıda verilen eşitliklerden

$$d\dot{S} = \frac{\dot{M}c_p}{T}dT - \frac{\dot{M}}{\rho T}d\rho - \frac{\dot{M}c_p}{T_w}dT \quad (4)$$

bağıntısı bulunur. Burada aşağıdaki boyutsuz sayıların tanımıyla

$$\dot{S}^* = \frac{\dot{S} / A}{\rho c_p u_T} \quad (5)$$

$$\Delta T^* = \frac{T_0 - T_w}{T_w} \quad (6)$$

$$u^* = \frac{u}{u_T} \quad (7)$$

$$\theta = \frac{T - T_w}{T_0 - T_w} \quad (8)$$

$$p^* = \frac{p - p_0}{\rho u^2 / 2} \quad (9)$$

entropi üretimi için boyutsuz bir diferansiyel denklem çıkarılır:

$$d\dot{S}^* = -\frac{u^*}{1 + \Delta T^* \theta} \left\{ \Delta T^{*2} \theta d\theta + \frac{u^{*2}}{2} dp^* \right\} \quad (10)$$

Burada u akışkanın ortalama hızını göstermektedir. Yukarıdaki eşitliklerde u_T

$$u_T = \sqrt{c_p T_w} \quad (11)$$

şeklinde tarif edilir. Ayrıca

$$q^* = \frac{\dot{Q} / A}{\rho c_p T_w u_T} \quad (12)$$

tarifleriyle eşitlik (3)'ten

$$q^* = u^* \Delta T^* (1 - \theta) \quad (13)$$

bağıntısı elde edilir.

Yukarıda verilen eşitliklerden entropi değişiminin bilinmesi için θ sıcaklığının

bilinmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. θ değeri genel olarak aşağıdaki eşitlikten bulunur.

$$\theta = \exp(-4Nu_z) \quad (14)$$

Burada Nu Nusselt sayısı olup

$$Nu = \frac{hd_h}{k} \quad (15)$$

olarak ısı transferi katsayısı h ile tarif edilmiştir. d_h hidrolik boru çapını ve k de ısı iletim katsayısını göstermektedir. z boyutsuz giriş sayısı olup, Reynolds sayısı Re , Prandtl sayısı Pr ve kanal uzunluğu x ile aşağıdaki gibi tarif edilmiştir.

$$z^* = \frac{x}{d_h} \frac{1}{Re Pr} \quad (16)$$

$$z = \frac{x^*}{Pr} \quad (17)$$

$$Pr = \frac{\nu}{a} \quad (18)$$

Burada ν akışkanın kinematik viskozitesini ve a da ısı yayılım katsayısını göstermektedir.

$$d_h^* = d_h \sqrt{\frac{u_T}{Lv}} \quad (19)$$

tarifi ve eşitlik (7) ile; eşitlikler (16) ve (17) sırasıyla

$$L^* = \frac{1}{d_h^{*2} u^*} \quad (20)$$

$$z = \frac{1}{d_h^{*2} u^* Pr} \quad (21)$$

şeklinde de yazılabilir.

Eşitlik (14)'de gerekli olan Nusselt sayısı Yılmaz (9) tarafından verilen

$$Nu = (Nu_\infty^4 + Nu_0^4)^{1/4} \quad (22)$$

e itli inden bulunabilir. Bu e itlikte Nu_∞ de eri

$$Nu_\infty = Nu_{\infty, \infty} \left[1 - \frac{0.8}{X^{2/3}} + \frac{4.212}{X} \right]^{1/3} \quad (23)$$

eşitliğinden bulunmalıdır (10). Burada X aşağıdaki gibi tarif edilmiştir:

$$X = \frac{z \text{Nu}_{\infty, \infty}^3}{\phi \Phi_T^3} \quad (24)$$

$\text{Nu}_{\infty, \infty}$, ϕ ve ϕ_r aşağıda verilen bağıntılardan hesaplanmalıdır.

$$\text{Nu}_{\infty, \infty} = 3.657 \left[1 + \left(1 - \frac{1}{n} \right) \left(1 - 0.5153 \frac{d^{*2}}{3 - d^*} \right) + \Delta\phi \right]^{1/3} \quad (25)$$

$$\Phi_T = 1 + \frac{[3(d^*/2)^{7/8} / (1 + d^*)] - 1}{1 + \frac{0.25}{n - 1}} \quad (26)$$

$$\phi = 1 + \frac{(3/8)d^{*2}(3 - d^*) - 1}{1 + 0.33d^{*2.25} / (n - 1)} \quad (27)$$

$$\Delta\phi = \Delta\phi_{\max} \frac{0.95(n - 1)^{0.5}}{1 + 0.038(n - 1)^3} \quad (28)$$

$$\Delta\phi_{\max} = \frac{7.10^{-3} d^{*8}}{(1 + 10d^{*-28})(1 + 64.10^{-8} d^{*28})^{0.5}} \quad (29)$$

$z \rightarrow 0$ ve $\text{Pr} \neq \infty$ için geçerli olan Nu_0 ise

$$\text{Nu}_0 = \frac{0.6774z^{-1/2}}{f_T \text{Pr}^{1/6}} \quad (30)$$

olarak hesaplanmalıdır (11). Yukarıda verilen bağıntılar yardımıyla boyutsuz ortalama sıcaklık θ 'nın hesaplanması mümkündür.

Eşitlik (10)'dan S^* 'ın bulunabilmesi için boyutsuz basınç kaybı p^* 'ın da bilinmesi gereklidir. Bunun için Yılmaz (12) tarafından verilen eşitliğin kullanılması gerekmektedir.

$$-p^* = 64. \phi x^* + \frac{13.766. x^{*0.5}}{\left[1 + 13.95. \phi x^{*0.5} + \left(\frac{13.766}{K} \right)^3 x^{*1.5} \right]^{1/3}} \quad (31)$$

Burada $x^*=0$ da $p^*=0$ kabul edilmiştir. K ek basınç kaybını gösteren bir değer olup, aşağıdaki bağıntılardan hesaplanmalıdır.

$$K = 1.33 / \left\{ 1 + (1.33 / K_\infty - 1) / \left[1 + 0.74 \cdot d^{*2} / (n - 1) \right] \right\} \quad (32)$$

K_∞ değeri ise

$$K_\infty = \frac{12}{5} (3 - d^*)^2 \left[\frac{9}{7} \frac{3 - d^*}{7 - 3d^*} - \frac{1}{5 - 2d^*} \right] \quad (33)$$

formülü ile bulunur. Yukarıdaki bağıntılarda kullanılan d^* boyutsuz çapı ve n boyutsuz sayısı da

$$d^* = \frac{d_h}{d_{\max}} \quad (34)$$

$$n = \frac{P}{P_h} = \frac{A}{A_h} \quad (35)$$

bağıntıları ile tarif edilmiştir. Burada d_{\max} kanal kesit alanı içine yerleştirilebilen en büyük dairenin çapı ve d_h , P_h ve A_h da sırasıyla hidrolik çap, hidrolik çaplı dairenin çevresi ve hidrolik çaplı dairenin kesit alanıdır.

Böylece eşitlik (10)'dan S^* değerinin bulunması için gerekli tüm bağıntılar elde edilmiş olmaktadır.

Eşitlik (10)'dan S^* ve x^* 'in fonksiyonu olarak entegre edilecektir. Burada kanal geometrisi parametreleri olan n ve d^* önce belirlenecek ve sonuçlar da ΔT^* ve d_h^* sayılarının fonksiyonu olarak verilecektir. Bulunan sonuçlar irdelenecek ve optimum kanallar hakkında eşitlikler verilecektir.

3. SINIR DURUMLAR

Entropi üretimini ΔT^* parametresinin çok büyük ve çok küçük olması durumunda analitik olarak hesaplamak mümkündür.

3.1. ΔT^* 'ın çok büyük olması

ΔT^* 'ın çok büyük olduğunda entropi üretimi için esas terim ısı transferidir. Bu durumda eşitlik (10)'dan

$$dS^* = -u^* \Delta T^{*2} \frac{\theta}{1 + \Delta T^* \theta} d\theta \quad (36)$$

yazılabilir. Bu durumda $\theta \rightarrow 0$ durumu da dikkate alınarak eşitlik (13) ile

$$dS^* = -q^* \Delta T^* \frac{\theta}{1 + \Delta T^* \theta} d\theta \quad (37)$$

elde edilir. Bu eşitliğin de S^* için 0- S^* ve θ için de 1-0 arasında integrasyonu ile

$$S^* = q^* \left[1 - \ln(1 + \Delta T^*) / \Delta T^* \right] \quad (38)$$

bağıntısı bulunur.

3.2. ΔT^* 'in çok küçük olması

ΔT^* 'in çok küçük olması durumunda entropi üretimi için basınç kayıpları önemlidir. Burada aynı zamanda θ da 1'e çok yakındır. Eşitlik (10)'dan

$$\Delta T^* \rightarrow 0 : dS^* = -\frac{u^{*3}}{2} dp^* \quad (39)$$

bağıntısı elde edilir. Bu eşitliğin integrasyonu ile de

$$S^* = \frac{u^{*3}}{2} \Delta p^* \quad (40)$$

elde edilir.

$\theta \rightarrow 1$ durumunda $L^* \rightarrow 0$ durumu oldu u için e itlik (30)'dan

$$\Delta p^* = 13.766 \sqrt{L^*} \quad (41)$$

ve bu e itlik ile e itlikler (20) ve (39)'dan

$$S^* = \frac{13.766}{2} \frac{u^{*2.5}}{d_h^*} \quad (42)$$

e itli i elde edilir. Ayrıca $\theta \rightarrow 1$ için

$$1 - \theta = 4N_{uz} \quad (43)$$

ba ıntısı geçerlidir. Böylece e itlik (13)'ten

$$\theta \rightarrow 1 : u^* = \frac{q^*}{\Delta T^* 4N_{uz}} \quad (44)$$

bulunur. $\theta \rightarrow 1$ için eşitlik (23)'e göre

$$Pr = \infty : Nu = 1.615 \Phi_T \Phi^{1/3} z^{-1/3} \quad (45)$$

$$\text{Pr} \neq \infty : \quad \text{Nu} = \frac{0.6774z^{-1/2}}{F_T \text{Pr}^{1/6}} \quad (46)$$

$$\text{Nuz} = az^{1-n} \quad (47)$$

olarak yazılabilir. Böylece eşitlikler (44) ve (47)'den

$$u^* = \frac{q^*}{\Delta T^*} \frac{1}{4a} (d_h^{*2} u^* \text{Pr})^{1-n} \quad (48)$$

ve

$$u^* = \left(\frac{q^*}{\Delta T^*} \frac{1}{4a} \right)^{\frac{1}{n}} (d_h^{*2} \text{Pr})^{\frac{1-n}{n}} \quad (49)$$

elde edilir. u^* değeri eşitlik (42)'de yerine konarak

$$S^* = 6.883 \frac{1}{d_h^*} \left(\frac{q^* / \Delta T^*}{4a} \right)^{\frac{2.5}{n}} (d_h^{*2} \text{Pr})^{\frac{2.5(1-n)}{n}} \quad (50)$$

eşitliği elde edilir. Gelişmekte olan akış için eşitlik (46)'ya göre $n=1/2$ ve $a = \frac{0.6774}{f_T \text{Pr}^{1/6}}$ olduğundan

$$\text{Pr} \neq \infty : \quad S^* = 0.04713 f_T^5 q^{*5} d_h^{*4} \text{Pr}^{10/3} / \Delta T^{*5} \quad (51)$$

ve $\text{Pr}=\infty$ için eşitlik (45)'e göre $n=1/3$ ve $a = 1.615 \Phi_T \varphi^{1/3}$ olduğundan

$$\text{Pr} = \infty : \quad S^* = 5.768.10^{-6} \frac{q^{*7.5} d_h^{*10} \text{Pr}^5}{\Phi_T^{7.5} \varphi^{2.5}} \frac{1}{\Delta T^{*7.5}} \quad (52)$$

olarak çıkar.

5. SONUÇLAR

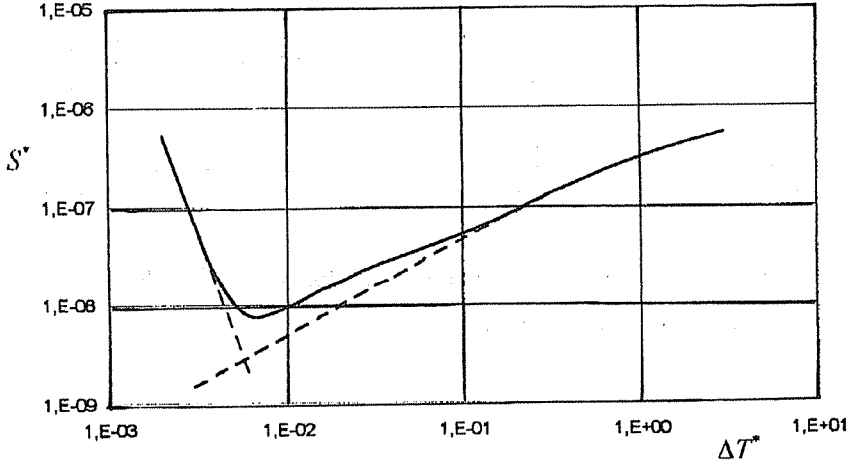
Nümerik sonuçlar $\text{Pr}=0.7$ ve dairesel kesit alanlı borular için bulunmuştur. Şekil 1, 2 ve 3'te $d_h^* = 1000$ değeri için $q^* = 10^{-6}$, 10^{-5} ve 10^{-4} olarak değiştirilmiş ve ΔT^* 'i minimum yapan değerler bulunmuştur. Bu şekillerde q^* ile minimum ΔT^* değerlerinin arttığı görülmektedir. Şekil 4, 5 ve 6'da ise $q^* = 10^{-5}$ değeri için $d_h^* = 400$, 2500 ve 10000 değerleri için hesaplar yapılmıştır. Bu şekillerden de yine d_h^* ile ΔT^* değerlerinin arttığı görülmektedir.

Şekil 7'de ise ΔT^* değerleri ($q^* \cdot d_h^*$) değerinin fonksiyonu olarak çizilmiştir. Buradan da

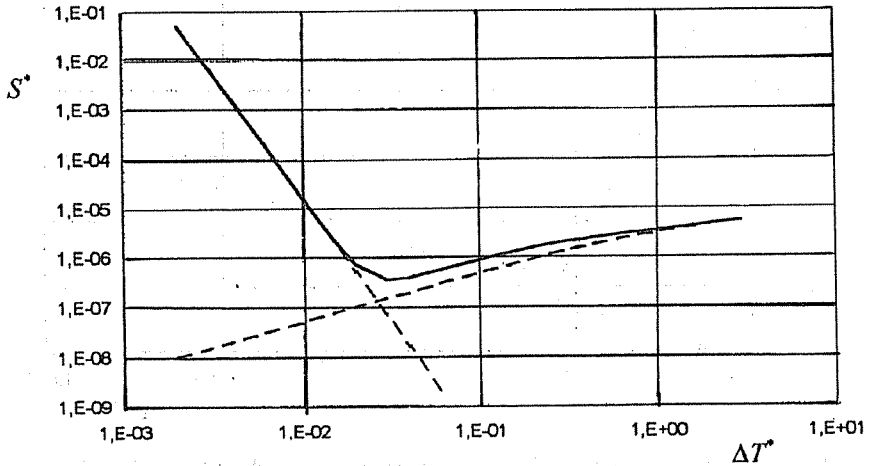
$$\Delta T^* = 0.66(q^* d_h^*)^{2/3}$$

eşitliği bulunmuştur.

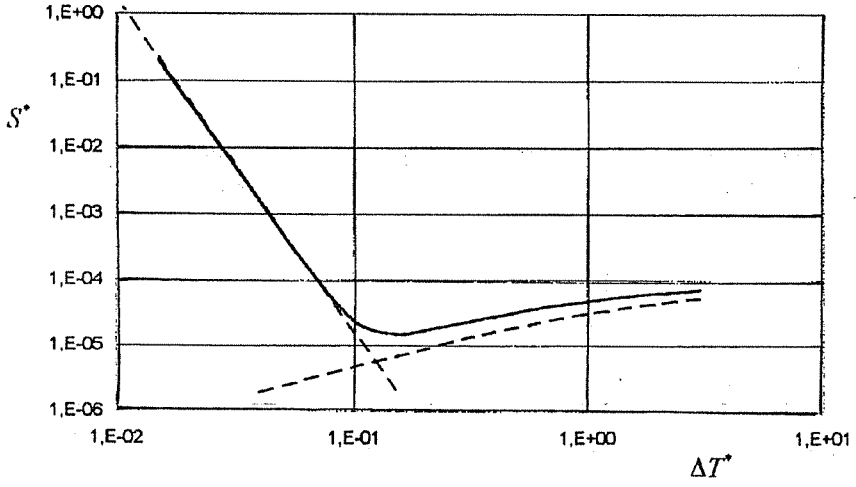
Bu neticelerle entropi üretimini minimum yapan ΔT^* değerinin bulunması mümkün olmaktadır. Böylece eşanjör dizaynı bu değerlerle optimum olarak tasarlanabilir.



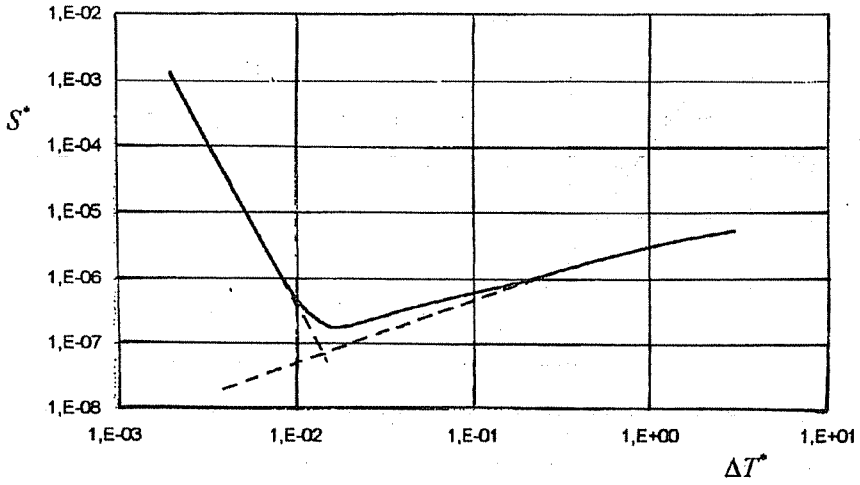
Şekil 1. Boyutsuz entropi S^* 'in boyutsuz sıcaklık farkı ΔT^* ile değişimi ($q^* = 10^{-6}$, $d_h^* = 1,000$)



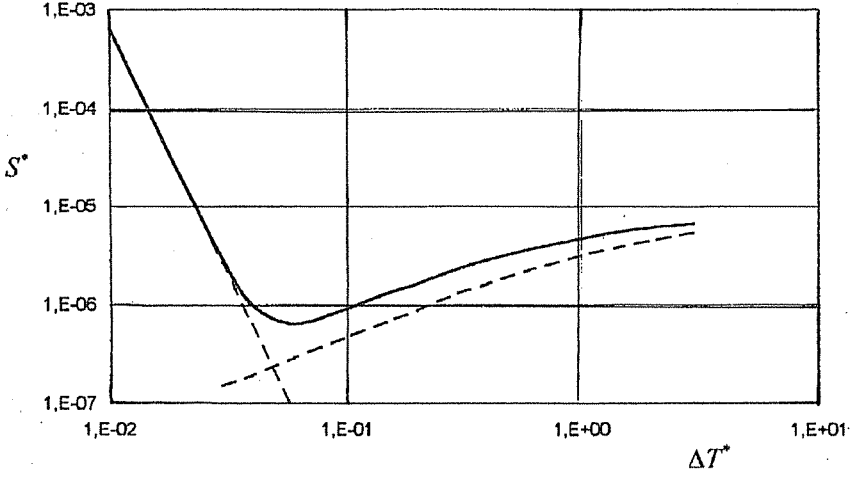
Şekil 2. Boyutsuz entropi S^* 'in boyutsuz sıcaklık farkı ΔT^* ile değişimi ($q^* = 10^{-5}$, $d_h^* = 1,000$)



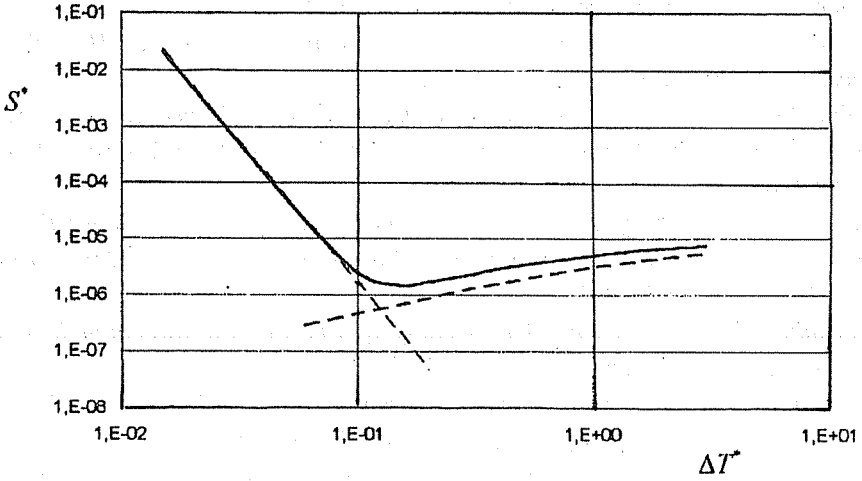
Şekil 3. Boyutsuz entropi S^* 'in boyutsuz sıcaklık farkı ΔT^* ile değişimi
($q^* = 10^{-4}$, $d_h^* = 1,000$)



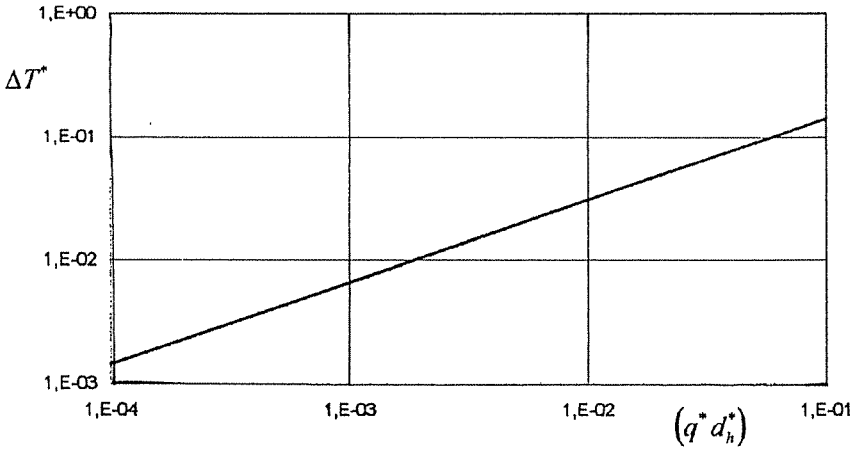
Şekil 4. Boyutsuz entropi S^* 'in boyutsuz sıcaklık farkı ΔT^* ile değişimi
($q^* = 10^{-5}$, $d_h^* = 400$)



Şekil 5. Boyutsuz entropi S^* 'in boyutsuz sıcaklık farkı ΔT^* ile değişimi ($q^* = 10^{-5}$, $d_h^* = 2,500$)



Şekil 6. Boyutsuz entropi S^* 'in boyutsuz sıcaklık farkı ΔT^* ile değişimi ($q^* = 10^{-5}$, $d_h^* = 10,000$)



Şekil 7. Boyutsuz sıcaklık farkı ΔT^* 'nin $(q^* d_h^*)$ ile değişimi

6. KAYNAKLAR

1. Bejan,A. ve Ledezma,G.A., "Thermodynamic Optimization of Cooling Techniques for Electronic Packages", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 39, No. 6, 1213-1221, 1996.
2. Bejan,A., "General Criterion for Rating Heat Exchanger Performance", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 21, 655-658, 1978.
3. Bejan,A., "A Study of Entropy Generation in Fundamental Convective Heat Transfer", *Heat Transfer*, Vol. 101, (1979), 718-725, 1979.
4. Cowell,T.A., "A General Method for the Comparison of Compact Heat Transfer Surfaces", *J. Heat Transfer*, Vol. 112, 289-294, 1990.
5. Nag,P.K. ve Kumar,N., "Second Law Optimization of Convective Heat Transfer Through a Duct with Constant Heat Flux", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 13, 537-543, 1989.
6. Nag,P.K. ve Mukherjee,P., "Thermodynamics Optimization of Convective Heat Transfer Through a Duct with Constant Wall Temperature", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 30, No. 2, 401-405, 1987.
7. Sekulic,D.P., "The Second Law Quality of Energy Transformation in a Heat Exchanger", *J. Heat Transfer*, Vol. 112, 295-300, 1990.
8. Şahin,A.Z., "Second Law Analysis of Laminar Viscous Flow Through a Duct Subjected to Constant Wall Temperature", *J. Heat Transfer*, Vol. 120, 76-83, 1998.
9. Yılmaz,A., "The Optimum Shape and Dimensions of Ducts for Convective Heat Transfer", *MSc. Thesis, University of Çukurova, Adana, Turkey*.
10. Yılmaz,T. ve Cihan,E., "General Equation for Heat Transfer for Laminar Flow in Ducts of Arbitrary Cross-Sections", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 36, No. 13,

3265-3270, 1993.

11. Yılmaz,A., Büyükalaca,O. ve Yılmaz,T., "Optimum Shape and Dimensions of Ducts for Convective Heat Transfer in Laminar Flow at Constant Wall Temperature", Vol. 43, 767-775, 2000.

12. Yılmaz,T., "General Equation for Pressure Drop for Laminar Flow in Ducts of Arbitrary Cross-Sections", J. En. Res. Tech., Vol. 112, 220-223, 1990.

ADSORPSİYONLU BUHARLAŞTIRMALI SOĞUTMA SİSTEMİ

Cuma KARAKUŞ

M.K.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü Hatay/Türkiye

Tuncay YILMAZ

Ç.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü Adana/Türkiye

ÖZET : Nem oranı yüksek bölgeler için önerilen adsorpsiyonlu buharlaştırmalı soğutma sisteminin farklı adsorpsiyon oranlarında ve değişik mahal şartlarındaki çalışma durumları teorik olarak araştırılmıştır. Araştırmada iç ortam sıcaklığı ve bağıl nemin konfor şartlarında, dış ortam şartlarının ise Adana ili yaz çalışması dizayn değerlerinde olduğu kabul edilmiştir. Bu şartlar altında sistem için gerekli olan silikajel miktarı ve iç ortama gönderilecek hava miktarı hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Adsorpsiyon, Desorpsiyon, Silikajel, Buharlaştırmalı Soğutma,

ADSORPTIVE EVAPORATIVE COOLING SYSTEM

ABSTRACT : Adsorptive evaporative cooling system, which is recommended for regions having high humidity levels, has been investigated theoretically for different adsorption rates and indoor conditions. Then, indoor temperature and relative humidity are taken as comfort conditions. Outdoor conditions have been assumed as summer design value for the city of Adana. Under these circumstances, the amount of silica gel which is needed for the system and the amount of air which is sent to indoor medium has been calculated.

Keywords : Adsorption, Desorption, Silica gel, Evaporative Cooling

1. GİRİŞ

İnsanların konfor şartlarını yerine getirebilecek iklimlendirme sistemlerinden biride adsorpsiyonlu buharlaştırma soğutma sistemidir. Buhar sıkıştırma sistemleri ile elde edilemeyen düşük bağıl nem değerlerinin adsorpsiyonlu buharlaştırma soğutma ile elde edilebilmesi ve çok düşük çıkış çığ noktası istendiği durumlarda adsorpsiyonlu soğutma, buhar sıkıştırma sistemlere göre avantajlı olmaktadır (1). İnsanlar konfor için ortamın belirli kuru termometre sıcaklığı ve nem şartlarında olmasını tercih ederler. Bu yüzden nem oranı yüksek ve sıcak olan iklimlerde adsorpsiyonlu buharlaştırma soğutma sistemi önerilmektedir (2-4). Bu çalışmada adsorpsiyonlu buharlaştırma soğutma sisteminin farklı adsorpsiyon oranlarında ve değişik mahal şartlarındaki çalışma durumları teorik olarak araştırılmıştır. Araştırmada iç ortam sıcaklığı ve bağıl nemin konfor şartlarında, dış ortam şartlarının ise Adana ili yaz çalışması dizayn değerlerinde olduğu kabul edilmiştir. Bu şartlar altında sistem için gerekli olan silikajel miktarı ve iç ortama gönderilecek hava miktarı hesaplanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

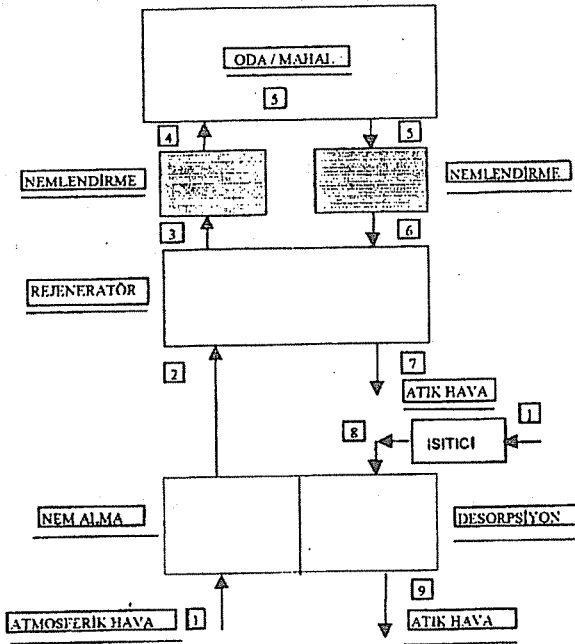
Adsorpsiyon ve adsorpsiyonlu soğutma konusunda günümüze kadar bir çok bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Jury ve Edwards (5) denge nem miktarının adsorpsiyon potansiyelinin bir fonksiyonu olduğunu göstermişlerdir. Kruckels (6), izotermal silikajel parçacıklarıyla su buharının adsorpsiyonunu teorik ve deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışma silikajele nem geçişini açıklayan en uygun çalışmadan biridir. Kruckels yapmış olduğu deneysel ve teorik çalışmalarda adsorpsiyon oranlarının kıyaslamasını yapmıştır. Bu kıyaslamaların sonucunda parçacık içindeki difüzyonun, sıcaklığın ve konsantrasyonun fonksiyonu olduğunu belirlemiştir.

Pedrom ve Hines (7), su buharının silikajel üzerindeki adsorpsiyon izotermelerini 15°C, 25 °C ve 35 °C'de üç sıcaklık için elde etmişlerdir. Barlow ve ark. (8), paralel geçişli döner tip adsorbentli nem alıcısının tasarımını ve verim hesabı için deneysel çalışmalar yapmıştır. Çalışmaların sonucunda döner tip nem alıcılarının en iyi performansa sahip olduğu kanaatine varmıştır. Gidaspow ve Raghavan (9), izotermal paralel kanaldaki laminar akış için silikajelle su buharı adsorpsiyonunu deneysel olarak incelemişlerdir. Chuah ve ark. (1), duvarlarında ince silikajel tabakası bulunan paralel geçişli nem alıcılarda su buharı adsorpsiyonunu incelemişlerdir. Ayrıca silikajelin denge izotermine bulmak için deneysel çalışmalar yapmışlardır.

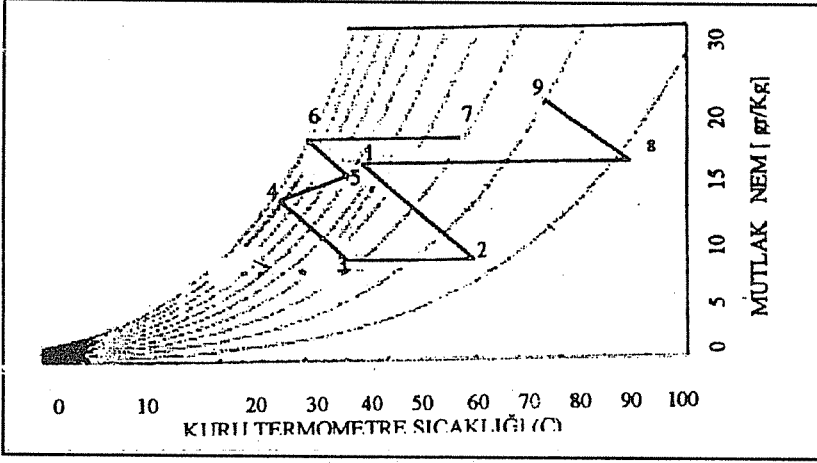
3. ADSORPSİYONLU BUHARLAŞTIRMALI SOĞUTMA SİSTEMİNİN TANITILMASI

Önerilen sistemin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi ilk olarak dış ortamdan nemli hava alınıp (Adana ili için (1) noktası 38 °C T_K

sıcaklığı ve 26 °C T_Y sıcaklığında) adsorpsiyon-desorpsiyon kısmından geçirilip silikajel adsorbenti yardımıyla nem oranı verime bağlı olarak istenen değerler nisbetinde düşürülmektedir (2 noktası). Silikajel adsorbenti havanın nemini aldıktan belli bir süre sonra doyma durumuna yaklaşmaktadır. Silikajel doyma durumuna yaklaşıncaya daha fazla nem alması güçleşmektedir. Bu noktada, ıslak silikajeldeki nemin kurutulması amacıyla desorpsiyon işlemine başvurulur. Desorpsiyon işleminde, dış ortamdan alınan hava (1), bir ısıtıcı vasıtasıyla ısıtılarak (8), doymuş durumdaki silikajel üzerinden geçirilir. Böylece silikajel içindeki nem buharlaştırılarak silikajelin kurutulması sağlanır (9). Bu işlemden sonra nemi alınan hava, rejeneratörden geçirilerek bir miktar soğuması sağlanmaktadır (3). Soğutulan kuru hava buharlaştırmalı nemlendirme ile mahal ortamı için istenen şartlara getirilmektedir (4). Hava (4) şartlarında mahal girmektedir. Mahal ortamında enerjisini bırakan soğuk hava ısınarak ve nemlenerek mahal ortamını terk etmektedir (5). Mahalden alınan hava, buharlaştırmalı nemlendirmeye girerek bir miktar soğutulmaktadır (6). Buharlaştırmalı soğutucudan çıkan hava (6) rejeneratörden geçerek (2) noktası şartlarındaki kuru havayı (3) şartlarına getirmesiyle soğutma işlevini yapmaktadır. Rejeneratörden sonra havanın işlevi tamamlanmakta ve (7) noktasından atık akışkan olarak sistemi terk etmektedir. Sistemin psikrometrik diyagramda gösterimi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Adsorpsiyonlu buharlaştırmalı soğutma sisteminin şematik çizimi



Şekil 2. Adsorpsiyonlu buharlaştırmalı soğutma sisteminin psikrometrik diyagramda gösterimi.

4. SİLİKAJEL DENGE NEMİ

Chuah ve ark.(1), araştırmaları neticesinde silikajel için adsorpsiyon izoterm eğrisini ve buna bağlı olarak bağıl nem ile denge nemi arasındaki ilişkiyi aşağıdaki şekilde bulmuşlardır. Adsorpsiyon ve desorpsiyon için denge nemi W , bağıl nem ϕ olmak üzere,

$$W = 0.876\phi - 1.93\phi^2 + 3.69\phi^3 - 2.58\phi^4 \quad (1)$$

olarak ifade edilir.

Jury ve Edwards (5), silikajelin adsorbe ettiği nem miktarının adsorpsiyon potansiyeline bağlı olduğunu ve bunun bir doğru şeklinde tarif edildiğini belirlemişlerdir. Adsorpsiyon potansiyeli E , Dubinin-Polanyi teoremine göre

$$E = -R T \ln \left(\frac{P_v}{P_s} \right) = -R T \ln(\phi) \quad (2)$$

şeklinde yazılır.

Denge nem miktarı W , adsorpsiyon potansiyelinin (E) fonksiyonu olduğundan, verilen denge nem miktarı için sıcaklığın T_1 ' den T_2 ' ye artması esnasında bağıl nemin değişimi,

$$\theta = T_1 / T_2$$

$$\phi_2 = \phi_1^\theta \quad (3)$$

şeklinde olmaktadır. Buradaki T_1 sıcaklığı $21,1\text{ }^\circ\text{C}$ ($294,2\text{ K}$) referans sıcaklığı olup bütün hesaplarda sabittir.

Önerilen sistemde (Şekil 1) adsorpsiyon işlemi sonucundaki havanın bağıl nemi (3) denkleminde giriş bağıl nemi olarak yazılırsa,

$$\varphi_1 = \varphi_2^{1/6} \quad (4)$$

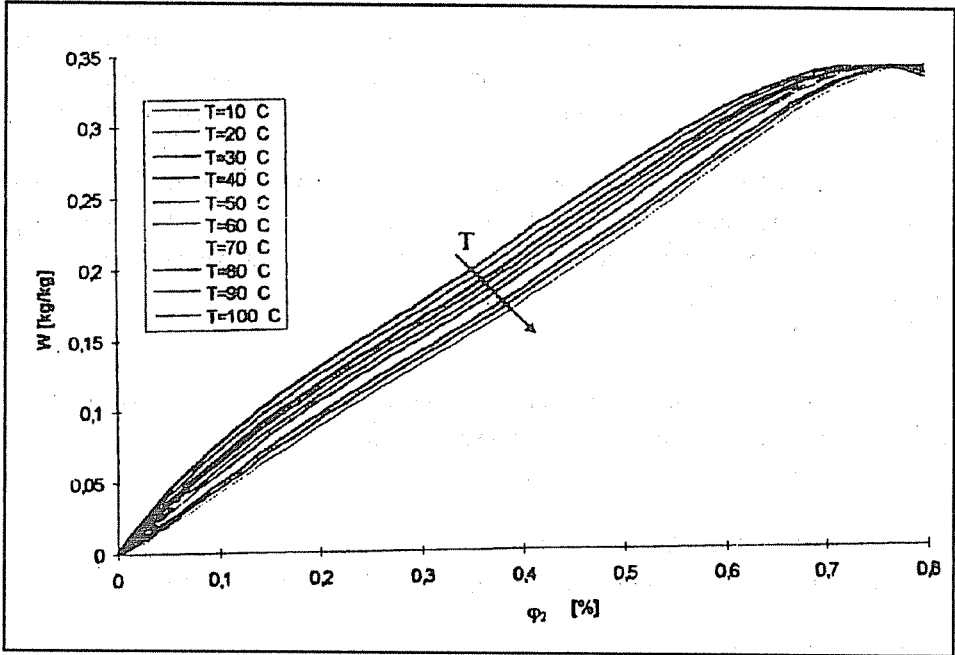
şeklini alır.

Denklem (3) denklem (1)'de yazılacak olursa,

$$W = 0.876\varphi_2^{1/6} - 1.93\varphi_2^{2/6} + 1.93\varphi_2^{3/6} - 2.58\varphi_2^{4/6} \quad (5)$$

şeklinde denge nem miktarı formülü bulunur.

Bulunan silikajel denge nemi eşitliği grafik olarak Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Silikajel denge nem grafiği

5. ADSORPSİYONLU BUHARLAŞTIRMALI SOĞUTMA SİSTEMİNİN HESABI

Nem oranı yüksek olan bölgeler için önerilen sistemin (Şekil 1) çeşitli çalışma şartlarındaki durumları hesaplanıp, irdelenecektir. Bu amaçla adsorpsiyonlu buharlaştırmalı soğutma sisteminde hava, dış ortamdan Adana ili yaz şartı için $38\text{ }^\circ\text{C}$ T_K ve $26\text{ }^\circ\text{C}$ T_Y sıcaklığında sisteme alınmaktadır (1 noktası). Tüm hesaplarda rejeneratör

verimi $\eta_e = 0,80$ ve nemlendirme verimi $\eta_n = 0,90$ olarak alınmıştır. Desorpsiyon işlemi için dış ortamdan (1) şartlarında alınan hava bir ısıtıcı vasıtasıyla sabit özgül nemde %3 bağıl nem değerine kadar ısıtılmaktadır (8). Havanın %3 bağıl nemdeki sıcaklığı ise 95,93 °C olmaktadır (9). Sistemdeki mahal bağıl nemi tüm örnek çözümler için %50 kabul edilmiştir.

Tüm mahal için 10.000 kcal ısı kazancı gözönüne alınmıştır. Bunun 8.000 kcal'lik miktarı duyulur ısı geri kalanı ise gizli ısı olduğu varsayılmıştır. Bu verilerden duyulur ısı oranı (ψ)=0.80 olarak elde edilmiştir.

Psikrometrik diyagram üzerindeki adsorpsiyonlu buharlaştırma soğutma sisteminin hesabı nemli havanın termodinamiği denklemlerine başvurulmuş yapılmıştır. Ele alınacak bir örnek için bütün sistemin psikrometrik diyagram üzerindeki hesapları sayısal olarak irdelenecektir. Diğer örneklerin sonuçları ise tablolarda verilecektir.

Bu bölümde ilk olarak adsorpsiyon işlemi esnasındaki denge nem miktarı bulunacaktır. Daha sonra desorpsiyon işlemi esnasındaki denge nem miktarı bulunup silikajelin nemli havadan alabileceği maksimum nem miktarı hesaplanacaktır. (1) ve (8) noktaları çözülen bütün örnekler için sabit olup aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

(1) noktası :

Adsorpsiyon işlemine 38 °C T_K ve 26 °C T_Y şartları altında giren nemli hava, silikajel üzerinde bir denge durumu oluşturacaktır (38 °C T_K ve 26 °C T_Y sıcaklıklarında bağıl nem değeri %39,64). Bilinen bu değerler (3) ve (5) eşitliklerinde yerine konulduğunda silikajel denge nemi W_{ads1}

$$W_{ads1} = 0,2027 \text{ kg su/kg adsorbent}$$

(8) Noktası :

Desorpsiyon işlemi için dış ortamdan alınan hava (38 °C T_K ve 26 °C T_Y) bir ısıtıcı vasıtasıyla ısıtılarak % 3 bağıl nem ve 95,93 °C şartlarına getirilmektedir. Bu şartlarda silikajel üzerinde desorpsiyon işlemi esnasındaki denge nemi W_{des8} (3) ve (5) eşitliğinden,

$$W_{des8} = 0,01049 \text{ kg su/kg adsorbent}$$

Yukarıda bulunan değerlerle 1 kg silikajelin nemli havadan alabileceği maksimum nem miktarı :

$$\Delta W_{top} = W_{ads1} - W_{des8} \quad (6)$$

denkleminde,

$$\Delta W_{top} = 0,1922 \text{ kg su/kg adsorbent}$$

(2) Noktası :

Adsorpsiyon işlemi sonundaki nemi alınmış olan havanın durumudur. Adsorpsiyon sonunda bağıl nemin alacağı değer $\phi_{adsson} = \%5$ olarak kabul edilmişti. İşlem adyabatik olarak gerçekleştiğinden (2) noktasının $\phi_{adsson} = \%5$ bağıl nem değerindeki sıcaklığı $T_K = 62,24$ °C olarak bulunmaktadır.

$\phi_{\text{ads2}} = \%5$ ve $T_K = 62,24$ °C şartlarındaki denge nem miktarı (5) eşitliğinden,

$$W_{\text{ads2}} = 0,02685 \text{ kg su/kg adsorbent}$$

Adsorpsiyon işlemi sonunda alınan gerçek nem miktarı (1-2) noktaları için denklem 6'dan,

$$\Delta W_{\text{ads}} = 0,1758 \text{ kg su/kg adsorbent}$$

Desorpsiyon işlemi ile alınan gerçek nem miktarının bulunması ise şöyle olmaktadır. İşlem adyabatik olarak gerçekleştiğinden bağıl nemin % 3'ten % 5'e geldiği yaş termometre doğrusu üzerindeki kuru termometre sıcaklığı 87,33 °C dir.

$T_K = 87,33$ °C - $\phi = \% 5$ şartlarındaki denge nemi (5) eşitliğinden,

$$W_{\text{des9}} = 0,02112 \text{ kg su/kg adsorbent}$$

Bu verilerle desorpsiyon işlemi ile alınan gerçek nem miktarı ΔW_{des} ,

$$\Delta W_{\text{des}} = W_{\text{des9}} - W_{\text{des8}} \quad (7)$$

denkleminde,

$$\Delta W_{\text{des}} = 0,01063 \text{ kg su/kg adsorbent,}$$

(5) Noktası :

Sistemde, dış ortam ile iç ortam arasında 10 °C'lik fark olduğu varsayılmaktadır. Yani mahal kuru termometre sıcaklığı 28 °C ve bağıl nemi % 50 dir (5 şartları). (5) şartlarında mahalden alınan hava buharlaştırmalı soğutucuya girmektedir. Verilen şartlarda havanın termodinamik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1'den $T_d = 20,38$ °C, $\eta_n = 0,90$ alınarak nemlendirme verim ifadesini tanımlayan nemli havanın termodinamiği denklemlerinden $T_6 = 21,42$ °C olarak bulunur.

(7) Noktası :

Rejeneratör çıkışında T_6 sıcaklığı T_7 sıcaklığına erişmektedir. $\eta_e = 0,80$ ile nemli havanın termodinamiği denklemlerinden $T_7 = 54,02$ °C

(3) Noktası:

T_2 sıcaklığı rejeneratör çıkışında T_3 olmaktadır. $\eta_e = 0,80$ ile $T_3 = 29,36$ °C Aynı zamanda (3) noktasında sıcaklık T_3 , özgül nem ise (2) noktasındaki özgül nem ile eşit olmaktadır.

(4) Noktası :

(4) noktasındaki T_Y sıcaklığı (3) noktasındaki T_Y sıcaklığına eşittir.

$T_{Y4} = T_{Y3} = 16,94$. °C olarak bulunur. Bilinen bu yaş termometre sıcaklığı ve $\psi = 0,8$ değerleri ile psikrometrik diyagram üzerinde nemli havanın termodinamiği denklemlerinden (4) noktasının T_K sıcaklığı veya bağıl nemi okunur.

Tüm sistem için bilinen T_K sıcaklığı veya bağıl nem değerleri ile diğer termodinamik özellikler hesaplanmış ve Tablo 1'de gösterilmiştir.

6. HAVA DEBİSİ VE GEREKLİ OLAN SİLİKA JEL MİKTARI

Sistem için gerekli olan toplam hava miktarı, Q_{top} değerinin, Tablo 1'de verilen (5) ve (4) noktalarındaki entalpi değerleri ile

$$m_a = \left(\frac{Q_{top}}{h_5 - h_4} \right) \quad (8)$$

Verilerin denklemde yerine konulması ile $m_a = 3854,24 \text{ kg/h} = 1,0706 \text{ kg/s}$ olarak bulunur. Bu değer saatte 10,000 kcal soğutma sağlayacak olan hava debisidir. 1 kg dış ortam şartlarındaki havada 16,55 gr nem bulunmaktadır. Adsorpsiyon işlemi sonunda ise bu değer 6,87 gr olmaktadır. İşlem sonunda ise alınan nem miktarı = $16,55 - 6,87 = 9,68 \text{ gr}$ nem olmaktadır.

$3854,24 \text{ kg}$ havadan alınacak olan nem miktarı = $3854,24 \cdot 9,68 \text{ gr} = 37309 \text{ gr}$ dır.

37309 gr nemi alabilecek olan silikajel miktarı ise şöyle bulunmaktadır: 1 kg silikajel adsorpsiyon işlemi sonunda 175,80 gr denge nemi kapasitesine sahiptir. Dolayısıyla 37309 gr nemi alabilecek silikajel miktarı $212,22 \text{ kg}$ bulunur.

Adsorpsiyonlu buharlaştırıcı soğutma sisteminin bu çalışma şartlarındaki ve diğer çalışma şartlarındaki silikajel miktarları ile sistem için gerekli hava debisi, adsorpsiyon işlemi sonunda alınan nem miktarı, desorpsiyon işlemi sonunda alınan nem miktarı, havadan alınan toplam nem miktarı değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4'de gösterilmiştir.

7. ADSORPSİYONLU BUHARLAŞTIRMALI SOĞUTMA SİSTEMİNİN HESAP SONUÇLARI

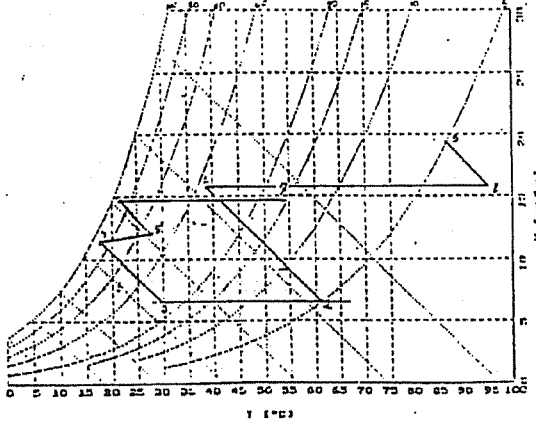
7.1. ÖRNEK 1: Örnek 1'de çevrime ait havanın bilinen özellikleri aşağıdaki gibidir.

1	$T_K = 38 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_Y = 26 \text{ }^\circ\text{C}$
2	$h = 80,22 \text{ kJ/kg}$	$\varphi = \%5$
3	$T_K = 29,36 \text{ }^\circ\text{C}$	$x = 6,87 \text{ gr/kg}$
4	$T_K = 18 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_Y = 16,94 \text{ }^\circ\text{C}$
5	$T_K = 28 \text{ }^\circ\text{C}$	$\varphi = \%50$
6	$T_K = 21,42 \text{ }^\circ\text{C}$	$\varphi = \%93,50$
7	$T_K = 54,02 \text{ }^\circ\text{C}$	$x = 14,65 \text{ gr/kg}$
8	$\varphi = \%3$	$x = 16,55 \text{ gr/kg}$
9	$\varphi = \%5$	$x = 20,08 \text{ gr/kg}$

Çevrim sonunda bütün noktalarda havanın bulunan termodinamik özellikleri ise aşağıdaki gibi olmaktadır. Sistemin psikrometrik diyagramdaki gösterimi Şekil 4'de verilmektedir.

Tablo 1. Örnek 1'in çözümü ile elde edilen sonuçlar.

	T_K [°C]	T_Y [°C]	T_c [°C]	ϕ [%]	x [gr/kg]	v [m ³ /kg]	h [kJ/kg]
1	38	26	21,98	39,64	16,55	0,90	80,22
2	62,24	26,37	8,69	5	6,87	0,96	80,22
3	29,36	16,94	8,69	27,11	6,87	0,87	46,91
4	18	16,94	16,39	90,25	11,55	0,84	47,26
5	28	20,38	16,7	50	11,78	0,87	58,1
6	21,42	20,38	20,06	93,5	14,65	0,85	50,34
7	54,02	18,83	20,06	15,49	14,65	0,95	92,15
8	95,93	37,22	21,98	3	16,55	1,07	140,3
9	87,33	37,22	25,07	5	20,08	1,05	140,8



Şekil 4. Birinci örnekteki sistemin psikrometrik diyagramdaki gösterimi.

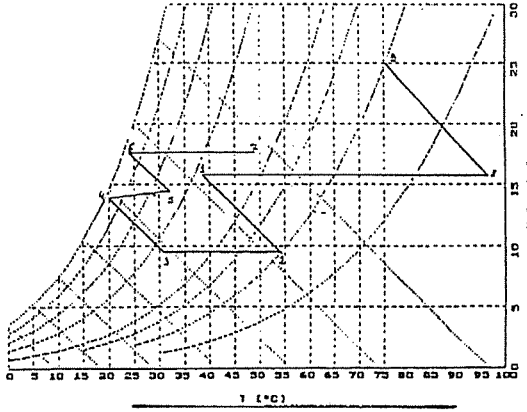
7.2. ÖRNEK 2: Örnek 2'de çevrime ait havanın bilinen öze'likleri aşağıdaki gibidir.

1	$T_K = 38$ °C	$T_Y = 26$ °C
2	$h = 80,22$ kJ/kg	$\phi = \%10$
3	$T_K = 39,57$ °C	$x = 9,76$ gr/kg
4	$T_K = 20$ °C	$T_Y = 19,55$ °C
5	$T_K = 32$ °C	$\phi = \%50$
6	$T_K = 24,51$ °C	$x = 18,08$ gr/kg
7	$T_K = 48,75$ °C	$x = 18,08$ gr/kg
8	$\phi = \%3$	$x = 16,55$ gr/kg
9	$\phi = \%10$	$x = 25,06$ gr/kg

Çevrim sonunda bütün noktalarda havanın bulunan termodinamik özellikleri ise aşağıdaki gibi olmaktadır. Sistemin psikrometrik diyagramdaki gösterimi Şekil 5'de verilmektedir.

Tablo 2. Örnek 2'nin çözümü ile elde edilen sonuçlar.

	T_k [°C]	T_y [°C]	T_c [°C]	ϕ [%]	x [gr/kg]	v [m ³ /kg]	h [kJ/kg]
1	38	26	21,98	39,64	16,55	0,90	80,22
2	54,81	26,19	13,83	10	9,75	0,94	80,22
3	30,57	11,66	13,83	35,75	9,75	0,87	55,52
4	20	19,55	19,35	96,03	14	0,86	55,54
5	32	23,68	20,35	50	14,92	0,88	70,22
6	24,51	23,68	23,59	93,45	18,08	0,87	70,55
7	48,75	21,49	23,38	24,64	18,08	0,94	95,62
8	95,93	37,22	21,98	3	16,55	1,07	140,3
9	75,38	37,22	28,68	10	25,06	1,03	141,6



Şekil 5. İkinci örnekteki sistemin psikrometrik diyagramdaki gösterimi.

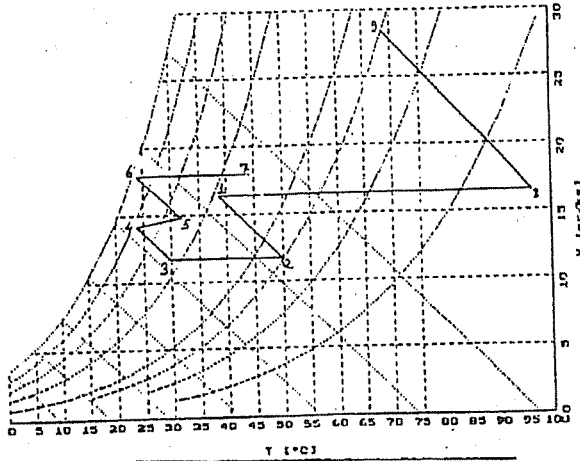
7.3. ÖRNEK 3: Örnek 3'de çevrime ait havanın bilinen özellikleri aşağıdaki gibidir.

1	$T_k = 38$ °C	$T_y = 26$ °C
2	$h = 80,22$ kJ/kg	$\phi = \%15$
3	$T_k = 29,62$ °C	$x = 11,62$ gr/kg
4	$T_k = 23,5$ °C	$T_y = 20,75$ °C
5	$T_k = 32$ °C	$\phi = \%50$
6	$T_k = 24,51$ °C	$T_y = 23,68$ °C
7	$T_k = 44,94$ °C	$x = 18,08$ gr/kg
8	$\phi = \%3$	$x = 16,55$ gr/kg
9	$\phi = \%15$	$x = 28,03$ gr/kg

Çevrim sonunda bütün noktalarda havanın bulunan termodinamik özellikleri ise aşağıdaki gibi olmaktadır. Sistemin psikrometrik diyagramdaki gösterimi Şekil 6'da verilmektedir.

Tablo 3. Örnek 3'ün çözümü ile elde edilen sonuçlar

	$T_K [^{\circ}C]$	$T_Y [^{\circ}C]$	$T_c [^{\circ}C]$	ϕ [%]	x [gr/kg]	v [m^3/kg]	h [kJ/kg]
1	38	26	21,98	39,64	16,55	0,90	80,22
2	50,05	26,24	16,48	15	11,62	0,93	80,22
3	29,62	20,75	16,48	44,87	11,62	0,87	51,34
4	23,5	20,75	19,6	78,61	14	0,86	59,63
5	32	23,68	20,35	50	14,82	0,88	70,22
6	24,51	23,68	23,59	93,45	18,08	0,867	70,55
7	44,94	23,64	23,38	29,91	18,08	0,93	91,68
8	95,93	37,22	21,98	3	16,55	1,07	140,3
9	68,40	37,22	30,54	15	28,03	1,01	142,01



Şekil 6. Üçüncü örnekdeki sistemin psikrometrik diyagramdaki gösterimi.

Tablo 4. Örneklerin Çözümünden Elde Edilen Denge Nem - Gerekli olan Hava - Gerekli olan Silikajel Miktarı Sonuçları

ÖRNEK	ΔW_{ndk}	ΔW_{dck}	m_s (kg/h)	X_{top} (kg)	$m_{alınan}$ (kg)	m_s (kg)
1	0,1758	0,01063	3854,24	63,79	37,31	212,22
2	0,1452	0,03953	2846,04	47,10	19,34	133,19
3	0,1170	0,06739	3953,73	65,43	19,49	166,60

8. SONUÇ

Yapılan hesaplarda, iç mahal (5) sıcaklığı ve bağıl nemi konfor şartlarında tutulup sistem için gerekli olan silikajel miktarı ve iç ortama gönderilecek hava miktarı ile sistemde dolaşan toplam nem miktarı ve sistemden silikajelle alınan toplam nem miktarı da hesaplanmıştır. Yapılan hesaplar sonucunda iç ortam sıcaklığı düşük bir değerde alındığında mahale daha fazla hava göndermek gerekir. Bu da adsorpsiyon işlemi için daha fazla silikajel miktarı ihtiyacını doğurur. İç ortam sıcaklığı yüksek alındığında ise mahale gönderilecek hava miktarı azalmaktadır. Dolayısıyla nem alma işlemi için daha az silikajel kullanılması gerekmektedir. Adsorpsiyon işlemi sonunda alınan nem miktarı azaltılırsa (1-2) iç ortama gönderilecek hava miktarı daha fazla olmaktadır. Bunun nedeni ise iç ortam şartlarındaki (5) entalpi değeri ile iç ortama gönderilen havanın (4) entalpisi arasındaki farkın küçük olmasıdır. Bu fark küçük olduğundan belirli bir soğutma sağlayabilecek hava miktarının daha fazla olması gerekmektedir. Adsorpsiyon işlemi sonunda (2 noktası) bağıl nem değeri yüksek tutulduğunda sistem için gerekli hava miktarı, havadan alınabilecek nem miktarı ve nemi almak için gerekli olan silikajel miktarı artmaktadır. Adsorpsiyon işlemi sonunda bağıl nem değeri düşük alındığında silikajel denge nem değeri yüksek olmaktadır. Örneklerin çözümünden elde edilen adsorpsiyon işlemi sonunda %5 bağıl nemde (2 noktası) silikajelle alınan nem miktarı 0,1758 kg olurken , %10 bağıl nemde silikajelle alınan nem miktarı 0,1452 kg olurken, %15 bağıl nemde bu değer 0,117 kg olmaktadır. Sistem yüzde yüz dış hava ile çalıştırılmaktadır. Bundan dolayı iç ortama daima temiz hava verilmektedir. Bu da konfor açısından son derece uygundur. Sonuç olarak adsorpsiyonlu buharlaştırılmalı soğutma sisteminin nem oranı yüksek bölgelerde konfor şartlarını sağlayacağı görülmüştür.

9. KAYNAKLAR

1. Chuah,K.Y., Norton,P. and Kreith,F., *3Transient Mass Transfer in Parallel Passage Dehumidifiers With and Without Solid Side Resistance*, *Transactions of The ASME, Vol.111, pp.1038-1044, 1989.*
2. Pesaran,A.A. and Mills,F.A., *"Moisture Transport in Silica Gel Packed Beds - I. Theoretical Study"*, *Int.J.Heat and Mass Transfer, Vol.30, No.6, pp.1037-1049, 1987.*
3. Pesaran,A.A. and Mills,F.A., *"Moisture Transport in Silica Gel Packed Beds - II. Experimental Study"*, *Int..J.Heat and Mass Transfer, Vol.30, No.6, pp.1051-1060, 1987.*
4. Pesaran,A.A. and Mills,F.A., *"Diffusion and Adsorption of Moisture in Desiccant Shee:"*, *AIChE Journal, Vol.31, No.11, pp.1791-1800, 1987.*
5. Jury,S.H. and Edwards,H.R., *"The Silica Gel-Water Vapor Sorption Term"*, *Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol.49, pp.663, 1971.*
6. Kruckels,W. W., *"On Gradient Dependent Diffusivity"*, *Chem. Engn. Sci., Vol.28, pp.1565-1567, 1973.*

7. Pedrom, E.O. and Hines, A.L., "J.Chem. Eng. Data", Vol.28, pp.11, 1983.

8. Barlow, R.S. Met, U.C. and Lavan, Z., "An Assessment of Dehumidifier Geometries of Desiccant Cooling System", SER I ITR-252-1529, Solar Energy Research Institute, Golden, CO., 1984.

9. Gidosgow, D. and Raghavan, V., "Diffusion and Adsorption of Moisture in Desiccant Sheets", AIChE Journal, Vol.31, No.11, pp.1791-1799, 1985.

GELENEKSEL VE GÜNÜMÜZ KONUT YAKIN ÇEVRELERİ İÇİN İYİLEŞTİRME ÖNERİLERİ VE ADANA ÖRNEĞİ

Yrd. Doç.Dr. Serpil ÇERÇİ

Ç.Ü. Mimarlık Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Ülkemizin diğer kentlerinde olduğu gibi Adana kentinde de konut yerleşimlerinde, insan gereksinmelerini daha çok konut birimi ölçeğinde ele alan ve konut yakın çevresinde açık mekan ihtiyaçlarını ihmal eden bir yaklaşım geçerli olmaktadır (1).

Bu çalışma ile, Adana kentinde, geleneksel ve bugünkü yapılanmalar analiz edilmiş; kentin genel çevre kalitesinin artırılması için, gelecekteki yapılaşmalara model oluşturacak öneriler yanısıra, mevcut yapılanmalarla ilgili iyileştirme önerileri de sunulmaya çalışılmıştır.

SOME SUGGESTIONS ON THE REHABILITATION OF DOMICILE OF BUILDINGS IN HISTORIC AND PRESENT URBAN AREAS : A PARTICULAR STUDY ON ADANA

ABSTRACT : In residential areas of Adana as in other cities of our country, the valid approach in handling human requirements in residential scale more than nearby housing environment and neglecting open space requirements.

In this study, traditio:al and contemporary built environment of Adana city has been searched a proposed model of increasing environment quality for future developments and rehabilitation of existing environment suggested.

1. GİRİŞ : KENT MEKANININ YAŞANABİLİRLİĞİ

Çevre kalitesinin en önemli göstergesinin, konut ve çevresindeki kullanıcıların yaşama biçimleri, sosyal / psikolojik beklentileri ve gereksinimlerine yanıt vermesi olarak kabul edilmektedir. Çevrenin sözü edilen bu tür gereksinimlere yanıt vermesi, kent mekanının yaşanabilirliği ile olanaklı hale gelmekte; "yaşanabilirlik" ise, güvenlik, çevre düzeni, sosyal ilişkiler, vb. paradigmalara açıklanmaktadır. Bugün mimari çevreleri güzel yapan değerler ve nitelikler, emniyet, konfor, estetik yanısıra, doğal ve ekolojik olgular ile de ölçümlendirilmektedir.

Paylaşılan bir yaşam biçimi oluşturması açısından etkili olmakla birlikte, park, çocuk bahçeleri, vb. mekanların toplumsal eylem ve dostlukların kurulmasında da oldukça önemli olduğu bilinmekte; bu nedenle de, bu alanlarda bulunan binalar, yeşil alan, ulaşım vb. birimlerde donatı, malzeme, renk, doku ve biçimle ilgili estetik değerlerin özenle ele alınması gerekmektedir. Ancak, günümüzde hızlı kentleşmenin getirdiği sorunlar, gelir seviyesindeki azalma, yetersiz konut koşulları, düşük standartta alt yapı ve yerleşme alanları oluşturarak çevresel kaliteyi dolayısı ile yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilemiştir.

2. YENİ YAPILANMALARA YÖNELİK ÖNERİLER

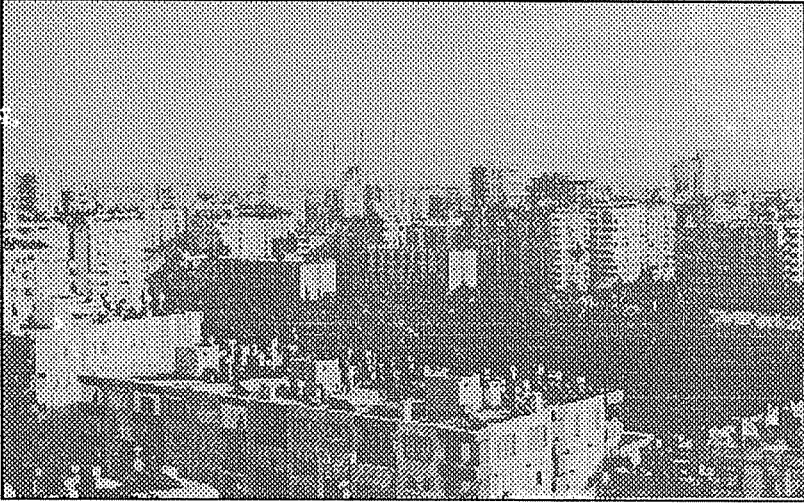
Günümüz yerleşimlerinde, yoğun yapılanma ve ona bağlı olarak gelişen mekansal karmaşa, ulaşım sıkıntısı, hava ve çevre kirliliği ve ekolojik dengenin bozulması gibi etkenler nedeni ile, eski yerleşimlere oranla sosyal yapıyı ve bütünlüğü bozan sağlıklı bir gelişme görülmektedir.

Ülkemizin diğer kentlerinden farksız olarak Adana kentinde de, çevresel kalite anlayışı ve standardı daha çok konut içi düzeyinde mekan sayısı ve büyüklükleri, döşeme, duvar kaplamaları, mekan donatıları, kapı, pencere gibi elemanlar olarak ele alınmakta, konut dışına yönelik, çevre düzeni, komşuluk ilişkileri, aktivite alanları gibi sosyal ve yapısal çevre oluşumu konusunda gerekli çaba gösterilmemektedir.

Kentte, az gelirliler kesimin gittikçe artması ile kişi başına düşen alanın; özellikle verimli topraklara rağmen (mikroklimatik açıdan da son derece gerekli olan) yeşil alanların azalması sonucu, yüksek katlı yapılaşmaları beraberinde getiren uygulamalar gerçekleştirilmiştir (Şekil.1). Örneğin ;

. Ana aks üzerinde daha çok bitişik düzende ve çok katlı yapılaşma izninin verilmesi ile caddelerin iki tarafı, bir anlamda set oluşturan beton yığınlarına dönüştürülmüştür. Ayrıca, sosyal alt yapı oluşturulmadan, yoğun apartmanlaşmanın arkasında, yoğunluğu daha az yapılaşmalar ile, ısı, ışık, manzara vb. engellenerek binaların kullanım ve ekonomik değerlerinin düşmesine neden olmuştur (2).

. Özellikle, kuzey Adana'da, son 10-15 yılda yapılanmasına karşın yeterli otopark, spor, kültür, merkez vb. kompleksleri, fuar alanları vb. konut alanlarına erişilebilir uzaklıkta çocuk bahçe ve parklarının olmaması nedeni ile bölge halkının gereksinimlerini karşılamaktan uzak bir yerleşim gelişmiştir.



Şekil 1. Adana'da günümüz (çok katlı) yapılanmalarına ait örnekler

. Doğal klima görevi gören, kent rantının dengelenmesinde ve kentin nefes almasında çok önemli rolleri olan yeşil alanların, beton bloklara ve asfalt yollara dönüşmesi ile, eskiden kent merkezine göre daha serin olan rüzgarlı bu bölgede, hava aksine daha sıcak, durgun ve nemli hale gelmiştir (2).

. Kuzey Adana, çağdaş yerleşimlerin ya da "artık Adana kentinde olması gereken yerleşimlerin" uygulanabileceği bir bölge iken " yeni", ancak "çevreleri olmayan kalitesiz yapılaşmalar" çığ gibi büyümüş, üstelik kimliksizleşen bu görünüm, "Yeni Adana" olarak adlandırılmıştır.

Konutun içinde bulunduğu çevrenin; toplumsal hizmetlere yakınlığı, kentle olan işlevsel bağlantısı, açık alan, bahçe gereksinimi, trafik, temizlik hizmetleri, güvenlik, estetik gibi paradigmalara sahip olması beklenir. Üstte sözünü ettiğimiz "çağdaş ve yaşanabilir yerleşimler"i Kuzey Adana'da sağlamak mümkün iken; ayrıca, ekonomik, ferah, az katlı, yeşil alanı bol, üstelik daha fazla gelir elde edilebilecek çözümler varken; bilinçsizce ve geri dönüşümü olmayan kararlar verilmiştir.

Oysa, kullanıcıların yaşama biçimleri, sosyal ve psikolojik beklentileri ve gereksinimlerine karşı daha duyarlı olabilecek çözümler üretmek mümkündür. Örneğin;

- . Nazım veya uygulama planları ile, henüz yapılaşmamış kesimlerde, ana akslarda daha düşük yoğunlukta, geniş bahçeli ve az katlı yapılanmalar; arka planda ise, daha yüksek yoğunlukta binalar ile, hava, ışık vb. manzara sağlayarak arazi kullanımının (ekonomik ve görsel değer vb.) optimum değerlendirilmesi;

- . Yüksek alt yapı yatırımlarını azaltan bir çözüm olarak; (yeterli araç park yerleri de sağlanarak) kentin gereğinden fazla yayılmasının, dolayısı ile arazi israfının engellenmesi,

- . Günümüzde, ticaretin anlam ve içeriğinin değişmesi ile ana aks üzerinde apartmanlar altında dükkanların yerine, zemin kat vb. kullanılabilir mekanlar yaratılarak kazanç sağlanması, ticaret alanlarının ise, konutlarla iç içe olmaması ve önceden belirlenen yerlerde çarşı ya da pasaj gibi serinletilmiş mekanlarda çözümlenmesi (2).

- . Mekanın bir bütün olarak algılanamıza ve mekanın tanınlanmasına yardımcı olan ve belli özelliği olan yollar, örneğin topluluk yürüyüşü, kutlama vb. ulaşımı engellemeyen kente kişilik ve ferahlık kazandıran meydan düzenlemelerinin oluşturulması,

- . Reklam panosu, işaretler, binalarda bilinçsizce renk kullanımı, vb. yapısal veya doğal temel elemanların görsel kirliliğe neden olmayacak nitelikte düzenlenmesi,

- . Dış mekanlara işlevsel katkısı olabilecek; oyun, gezinti, oturma-dinlenme alanları vb. fonksiyonel birimler; kent mobilyaları, heykel vb. donatı öğeleri düzenlemeleri ile, değişik yaş gruplarını bir araya getirmek için uygun mekanların oluşturulması,

- . Geçmişte tarım amacı ile yapılan kanalların üstü yer yer kapatılarak, iki yanında uzanan yolların ceplerle birleştirilerek bölgede dinlenme, eğlenme, hobi, alışveriş vb. alanlar ile fonksiyonlar kazandırılması,

- . Konut alanlarından çok, baraj gölü kenarında toplanan yeşil alanların yerini gittikçe betonlaşmanın aldığı gözlemlenmekte olup, yeşil alan ve su sporlarının yer aldığı milli park niteliğinde rekreatif çözümler ile, kent kimliğine önemli katkılar sağlayarak, kent içi ve kent dışı turizminin canlandırılması,

- . Göç vs nedenlerle, oluşan yasal olmayan yerleşimlerde yaşayan insanlara sosyal ve teknik alt yapı olanaklarının sunulması konusunda girişimlerde bulunulması vb. öneriler çerçevesinde; kent merkezinin yoğunluğundan uzak, Üniversite ve Sivil Toplum

Kuruluşları vb. desteği ile, Adana kenti için örnek oluşturabilecek çağdaş yerleşimlerin bir an önce fizibilite çalışmalarını başlatmak gerekmektedir.

3. GELENEKSEL YAPILANMALARA YÖNELİK ÖNERİLER

Araştırmalarda, tarihsel yapıların, amaçlı, sistemli bir şekilde kullanılabilir ve yaşanabilir mekanlara dönüştürülmesi durumunda, şehirlerin hızlı bir şekilde yok olan kimliğini bir ölçüde korunmasına yardımcı olabileceği ortaya konmuştur. Kimlik arayışı açısından da, geleneksel yapı kültürünün sahip olduğu kalite ve kimliğin tasarımcılara yol göstereceği sayısız veriler içereceği bulgulanmıştır.

Adana kentinde, geçmişte geleneksel dokuyu sergileyen çevresel kalite; sokak dokuları, doğal peyzajı, insana değer veren, kullanıcıyı düşünen, huzurlu ve mutlu yaşam çevreleri yaratarak çevresel kimlik oluşturmuşlardır (Şekil 2).

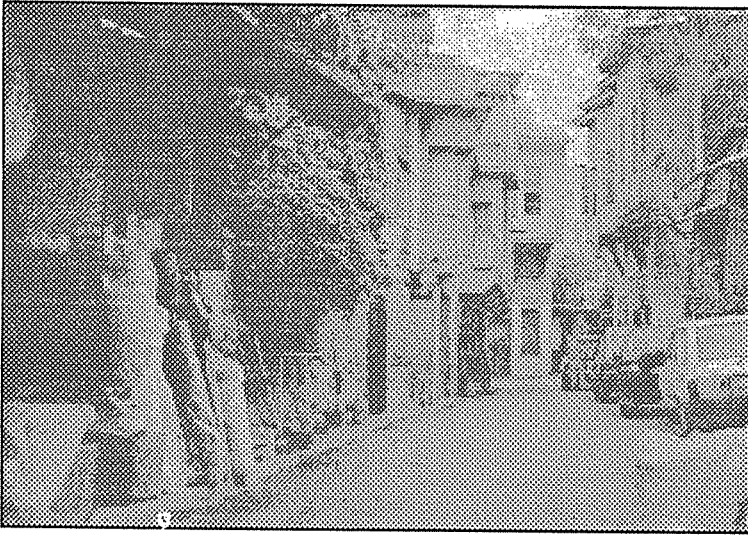
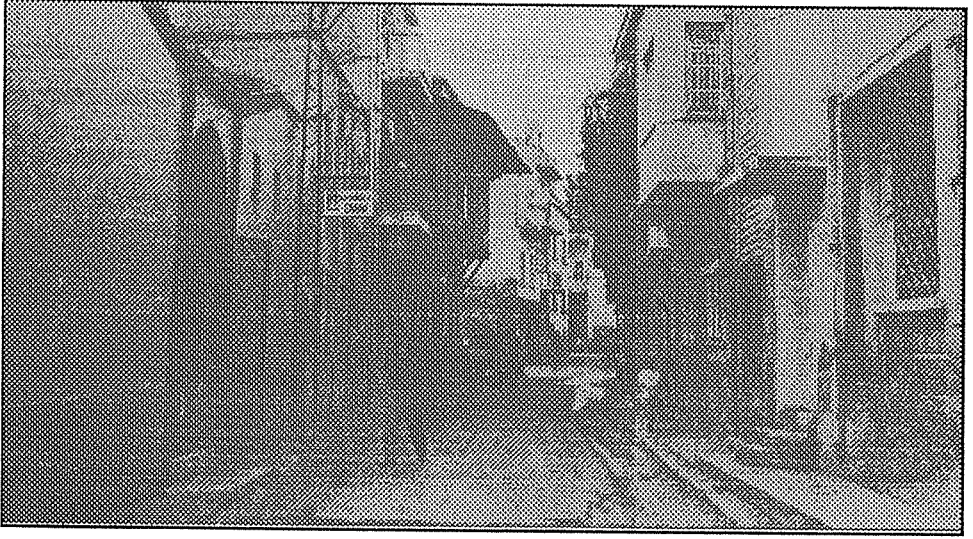
Günümüzde ise, hızlı nüfus artışı, köyden kente göçün de büyük etkisi ile bu oluşumlar yerini yoğun ve yüksek binalarla, ulaşım sorunu yaratan yeşil ve havasız mekanlara bırakmıştır. Mekansal karmaşaya, sıradanlığa ve kimliksizliğe terk edilen, dar yolları ile kullanışı sınırlı bir merkez konumunda, ancak bir zamanlar kentin cazibe merkezi olan bu bölgenin, günümüzdeki ideal kullanımına yönelik çözüm önerileri aşağıda sunulmuştur.

Antalya örneğinde olduğu gibi, iç ve dış turizm açısından, yeni yapılaşmaların yerine, farklılık arayışı içinde, daha özgün yerlerin tercih edildiği düşünüldüğünde, Tepebağ vb. geleneksel yerleşimlerin önemi büyüktür. Tarih, anılar, kimlik, sıcaklık, kültür, doğal müze vb. geleneksel mimarinin sentezlendiği dokuya, Safranbolu örneğinde olduğu gibi, iyi zaman geçirebilme, spor, eğlence, kendini geliştirebilme vb. alternatif turizm eğlence paketi gibi çağdaş olanakların verilmesi, kent rantına da, önemli katkılar sağlayabilir.

Adana kentinin tarihi dokusundan yararlanma konusunda,

- ulaşım sorununun çözülmesi,
- ticari mekanların başka bölgelere kaydırılması,
- tarihi konutların ve sokak dokusunun yenilenmesi,
- konut yerine, üstte sözü edilen kültür, hobi, eğlence, dinlenme olanakları vb farklı işlevlerle yeni anlamlar ve yerel kimlik kazandırılarak kent halkının kullanımına sunulması konusunda, ana kararlar saptayarak, yeniden yapılanma stratejisinin oluşturulması gerekmektedir.

Ancak, ülke genelinde geleneksel bölgelere yatırımın olamaması nedeni ile, bu konunun devlete yada Kültür Bakanlığına bırakılamayacağı söz konusu olmaktadır. Bu nedenle emlak vergisi ile oluşturulacak fon ya da kuruluşların bünyesinde kamu ve yerel yönetim birlikte elele vererek yıllara bağlı turizm master planı ile hedeflerin bir an önce belirlenmesi gerekmektedir.



Şekil 2. Adana'da geleneksel yapılanmalardan örnekler.

4. YAPILMASI GEREKENLER

Globalleşme sürecinde dünyadaki değişen değerler, ölçüler, kent ölçeğinde de kendini göstermekte, insanların yaşam kalite seviyelerinde de farklılaşma yaratmaktadır.

Yaşam kalitesinin biçimini ya da çok gelişmişlik kavramlarını tanımlaması açısından standartların önem taşıdığı, günümüzde ise, en az iç mekan kadar kullanım niteliği gerektiren konut çevrelerinde yaşam kalite ve standartlarının ne durumda olduğu çok

fazla önemsenmemektedir. Bu nedenle, günümüzde, geliştirilen "ISO - 14000" Çevre Yönetim sistemleri; ekonomik kararlarla, ekolojik kararların bir arada düşünülmesini esas almakta ve gelecek nesiller için önemli gelişmeler olarak kabul edilmektedir (4).

Çevrenin biçimlendirilmesi, geçmişte insanların çevreleri ile, doğrudan ilişkilerinin doğal bir sonucu iken, günümüzde bu biçimlenme kişi ve kuruluşlar tarafından yapılmaktadır (1).

Örneğin, bugün konut açığını gidermek için, kamu desteği ile yaratılan bir model teşkil eden toplu konut üretimi Emlak Bankası, Toplu Konut İdaresi, Kooperatifler ya da özel şirketler vasıtası ile çevresi ile bir bütün oluşturan (3) hatta "uydu şehir" anlayışı ile planlanmış bahçe şehir örneğinde olduğu gibi, doğa içinde sosyal ve teknik alt yapısı olan konut çevreleri ile çevre kalitesinin yaratılması söz konusu olmaktadır.

Gelişmiş ülkelerde, (ekolojik mimari konsepti ile) konut ve yerleşme ilişkisi kurularak, konutu çevresi ile birlikte üretilmesini öngören yeni anlayış ve arayışlar getirilmiş ve bu uygulamaların her birinde; bireyselliğe olanak tanıma, psikolojik işlevinin iyi anlaşılması, çevre kimliğine katkıda bulunması, mekan büyüklüğünün yorumu, çevre bina özellikleri, kullanıcı yoğunluğunun ayarlanması vb.gibi ölçütler dikkate alınmıştır (1).

Yerel yönetim kararlarını, rant doğrultusunda vermesi, özel sektör tarafından yapılan konutların çokluğu vb. nedenler ile; ülkenin bir çok yerleşim alanlarında da görüldüğü gibi, sağlıksız, denetimsiz, alt yapısız ve sosyal yapıdan uzak yapılanmalar, artan nüfusun yükselen yaşam standardına ayak uyduramaması vb. sorununu ortaya çıkarmaktadır.

Bu bağlamda, bu tür uygulamalar için, mevcut konut alanlarındaki sıhhileştirme - yenileşme konularını da kapsayan, nüfus alan ve yapı ilişkileri, insanların sosyal ve kültürel gereksinimleri veya bölgenin çevresi ile olan bağlantıları, gelecekteki gelişme potansiyeli ile ilgili çevre standardının geliştirilmesi gerekli olmaktadır. Ancak çok uzun bir zaman alacak bu standartların oluşumu ve uygulamaya geçmesi nedeni ile, gelişmiş ülkelerdeki örnek uygulamalar için fizibilite çalışmalarını (7) başlatmak gerekli olmaktadır.

Genelde, kent imar planlarının yapılmasında veya revize edilmesi durumunda; özelde, kamu arazi, tesis ve kaynakların halkın yararına değerlendirilmesinde ilgili meslek odaları ve üniversitenin bilgi ve görüşlerinden yararlanarak mevcut potansiyelin kullanılması oldukça önemlidir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mekansal karmaşa, çevre kirlenmesi, ve doğal kaynakların azalması nedeniyle, dış mekan gereksinimi konusunda toplum isteklerinin düne oranla farklılaşması daha yaygın, belirgin ve ısrarlı düzeye ulaşmasını, bunun sonucunda ise, mimarın dış mekan tasarımıdaki değişen rolünü de gündeme getirmekte, iç mekandaki gereksinmelerin

yanında, dış mekan yaşamını da zenginleştirecek, ya da, anlamlı mekanlar oluşturacak çözümlere gitme eğilimi gösterilmektedir (5).

Örneğin, mekan kimliğinin insan kimliğinin gelişiminde önemli etkileri vardır (6). Bu nedenle, kent kimliğinin ortaya çıkarıldığı çağdaş kentlerin oluşturulması, gelir düzeyi, sosyo kültürel yapı ve teknik gerekler dikkate alınarak ;

-belirli standartların topluma benimsetilmesi,

-sosyal ve fiziksel çevre olanaklarını yaratacak koşulların yeni malzeme ve tekniklerinin denenmesi ve tasarlanması önemlidir.

Bu tür uygulamaların Toplu konut yasasının maddeleri arasında yer alan ve yaşanır bir çevre yaratılmasını gerektiren, konutu çevresi ile birlikte üretme olanağı veren yaptırım maddelerinin, konut dışı alanlarla ilgili standart ve normlarda geliştirilerek ülkede, tüm kentsel yerleşmelerde, yapı adası ölçeğinde uygulanmasına gidilmesi zorunludur (7).

Sonuç olarak, bu öneriler çerçevesinde nitelikli çevreler ve tasarımlar için öncelikle yapılması gereken ;

-Sivil Toplum Kuruluşlarının desteği ile, Üniversite - Yerel Yönetim - Meslek Örgütleri işbirliğinin sağlanması ve katılımcı kent modelinin uygulanmasına bir an önce geçilmesi için toplum bilincinin oluşturulması ve bu bağlamda,

-Ülkemizde genel çevre kalitesinin oluşumunda denetim boşluğunun önemli bir rol oynaması nedeni ile araştırmalardan ortaya çıkan ölçütlerle ilgili yönetmelik, standartlar ve şartnamelerin oluşturulmasıdır.

Toplum bilincinin oluşturulmasında ise, örgütsel kuruluşlar, eğitimciler, basın yayın organlarının çaba ve katkıları gerekmektedir. Ayrıca bu çaba ve katkıların hiç kuşkusuz, son günlerde yaşadığımız Marmara depremindeki toplumsal kayıpların yine toplumsal kazanca dönüştürülmesi yönündeki tüm çalışmalara da katkı sağlayan önemli bir güç olacağı tartışılmazdır.

6. KAYNAKLAR

1. Özsoy vd., "Toplu Konutlarda Davranışsal Verilere Dayalı Nitelik Değerlendirmesi", Proje No : intag 102, s.102, İstanbul, 1995.
2. Erginkaya,C,K., "Genişleyen Adana, Kentin Sorunlarına Eleştirel Bir Yaklaşım", Adana'nın Kentsel Gelişme Sorunları Sempozyumu, s.6-11, Adana,1996.
3. Çerçi,S., "Çevresel Kalite Arayışlarında Standartlar", Ç.Ü. Bülteni, 1999.
4. Knight,A., "ISO-TC 207" , Unep Industry and Environment, 1995.
5. Simonds,J.O., "Landscape Architecture", Mc Graw - Hill Co. s.50, 1961.
7. Schulz,C., "New World Architecture", The Architectural League of New York/Princeton Architectural Press, New York, NY, 1988.
8. Çubuk,M., "Türkiye Şehircilik Kongresi" , s.200, 1985.

POZANTI'NİN (ADANA) DOĞU (AKDAĞ) VE KUZEYDOĞUSUNDA
(KARINCADAĞ) YÜZEYLEYEN ÇİNKO-KURŞUN
CEVHERLEŞMESİNİN MİNERALojİSİ

Mustafa AKYILDIZ

Ç.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

Mesut ANIL

Ç.Ü., Maden Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : *Ecemiş Fay kuşağının doğu ve batı bloğunda yer alan Akdağ ve Karıncadağ Zn-Pb cevherleşmelerinde birincil cevher tipinde galenit ve sfalerit hakim mineral olup, pirit, kalkopirit, fahlerz ve neodijanit gibi sülfür mineralleri de parajenezde görülür. İkincil cevher ise nisbeten açık renkli olup, yollu yapılara sıkça rastlanır. Mikroskopik gözlemlerde smitsonit, serüsit, anglezit, hidrozinkit ve limonitin yanı sıra seyrek olarak malakit ve azurit görülür. Parlatılmış bir çok kesitte kenarlarından smitsonite dönüşmüş sfalerit ile anglezit ve serüsite dönüşmüş galenitin görülmesi ikincil bir dönüşümü işaret etmektedir. Ana mineralizasyon 3 evreli bir oluşumu yansıtmaktadır.*

Mineralizasyonun birinci evresinde oluşan mineraller; kataklastik pirit, kuvars, kalkopirit ve az oranda kalsittir. İkinci evresinde ise başta sfalerit olmak üzere öz ve yarı öz şekilli pirit, kalsit ve az oranda kalkopiritten oluşmuştur. Ana mineralizasyonun üçüncü evresinde oluşan başlıca mineraller ise kalsit ve galenit olup, bununla birlikte fahlerz, neodijanit, sfalerit, pirit ve az oranda da kuvarsa rastlanılmaktadır.

MINERALOGY OF LEAD-ZINC DEPOSITES IN EAST (AKDAĞ) AND
NORTHEAST (KARINCADAĞ) OF POZANTI (ADANA)

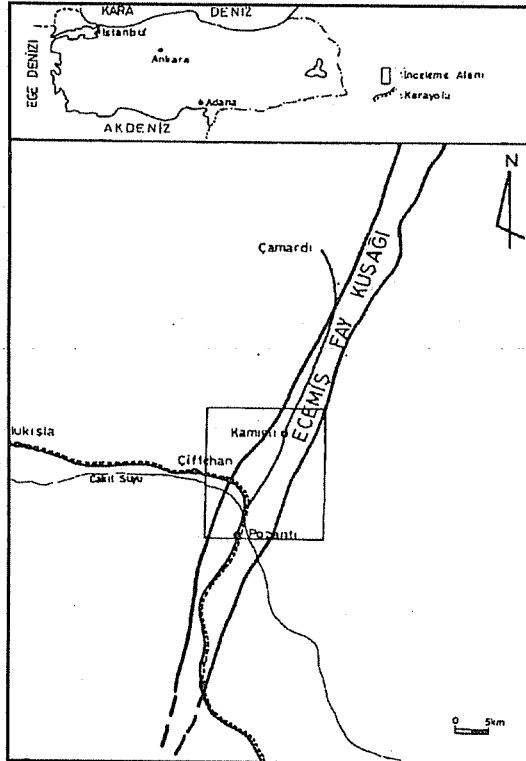
ABSTRACT : *Number of mineralizations exist in both eastern and western blocks of the Ecemiş fault but they genetically do not present close relationships with this fault. The primary mineralization is dominated by galenite and sphalerite but sulphur minerals namely pyrite, calcopyrite, fahlerz, neodiganite are also seen in the paragenesis. The secondary mineralization, generally in light colour, is characterized by channel structure. Microscopic studies show that smithsonite, cerussite, anglesite and limonite constitute the main phases whereas malachite and azurite are the minor phases in the secondary mineralization.*

The smithsonite has concretion, concentric structure and channel structure, occupied by limonite. Carbonate filling contains ore minerals and coarse calcite crystals indicated to mineralizations. In bright section, the sphalerite converted to the smithsonite and the galenite converted to the anglesite and the serusite, is indicating to secondary transformations.

Cataclastic pyrite, quartz, calcopyrite and calcite are the mineral that occur the first cycle of the primary mineralization. Also sphelarite, automorphic-subautomorphic Pyrite, calciteand and calcopyrite are formed the second cycle of the primary mineralization. Finanly calcit and galenite, fahlerz, neodiganite, sphalerite, pyrite, minerals are seen the thirt cycle of the primary mineralizations.

1. GİRİŞ

Çalışma alanı Adana ilinin 80 km kuzey batısında yer almakta olup, yaklaşık 370 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Burada Bolkar Birliği ve Aladağ Birliği gerek jeolojik yapısı ve gerekse içerdikleri maden yatakları bakımından birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir (1-12).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Bu araştırmada doğrultu atımlı sol yönlü Ecemiş fay kuşağının Doğu bloğu'nu oluşturan Aladağ Birliği (Akdağ) ile Batı bloğunu oluşturan Bolkar Birliği (Karıncadağ) içerisinde gözlenen karbonatlı Zn-Pb cevherleşmesinin özellikle maden mikroskobunda gerçekleştirilen incelemelerine ait araştırma bulguları verilmiştir.

2. GENEL JEOLojİ

İnceleme alanında yer alan doğrultu atımlı sol yönlü Ecemiş fayı iki farklı grubu karşı karşıya getirmiş olup, bu gruplar batı blok ve doğu blok olarak ayrı ayrı incelenmiştir. Batı blok (Bolkarlar) Paleozoyik'e ait Permiyen yaşlı Bolkar mermer ve şistleri, Mesozoyik'te Üst Kretase yaşlı Alihoca Ofiyoliti ve Madenköy Ofiyolitik Melanji, Horoz Granodiyoriti, Ömerli formasyonu ve Kalkankaya formasyonu, Senozoyik'te Tabaklı ve Ardıçlı formasyonları ile temsil edilmektedir. Doğu blok (Aladağ Birliği) ise Mesozoyik'te Üst Triyas-Jura-Kretase yaşlı Demirkazık formasyonu ile Senoniyen yaşlı Gökbel formasyonu, Üst Kretase yerleşim yaşına sahip Mazmı Ofiyoliti, Senozoyikte Oligo-Miyosen yaşlı Çukurbağ formasyonu ile Miyosen yaşlı Burç formasyonundan oluşmaktadır.

3. CEVHERLEŞMELER

Çalışma alanı içerisindeki cevherleşmeler Ecemiş fay kuşağının batısında, Karıncadağ'da, doğu blokta ise Akdağ'da bulunmaktadır.

3.1. Karıncadağ Cevherleşmesi

Cevherleşme Permiyen yaşlı Bolkar mermer ve kireçtaşları içerisindeki kırık, çatlak ve karstik boşluklar içerisinde yer almaktadır. Karıncadağ'da iki ocak, iki adet yarına ile birlikte yer yer küçük demir şapkalarada rastlanılmıştır. Buradan alınan cevher örneklerinden yapılan incelemelerde birincil sülfürlü mineralleri olarak galen, sfalerit, pirit olup, ikincil oksit ve karbonatlı minerallerden smitsonit, serüzit, anglezit, yer yer malakit ve azurite rastlanılmaktadır.

3.1.1. Yüksel Ocak

Bolkar mermer ve şistleri içerisinde açılan ocakta cevherleşmeler belirli bir stratigrafik seviyeyi takip etmeyerek düzensiz bir dağılım göstermektedir. İlk gözlenen cevher galeri girişinde K60°B doğrultulu kalınlığı 3-5 cm arasında değişen fay zonu içerisinde yer almaktadır. Ana galerinin 9.metresinde K12D doğrultulu 70° KB eğimli kalınlığı 2-5 cm kırık içerisinde kalsit dolgusu gözlenmektedir. Galerinin 11. metresinde K60B doğrultulu 78° GB eğimli kırık içerisinde kalınlığı 10-30 cm arasında değişen ikincil minerallerden oluşan cevherleşmeye rastlanılmaktadır. Galerinin 15. metresinde K50D doğrultulu 72° GD eğimli kırık içerisinde kalınlığı 1-10 cm arasında değişen kalınlıkta ikincil minerallerden oluşan cevherleşme yer almaktadır. Bu

metreden itibaren ana galerinin sağ tarafında arama galerisi açılmış galeri içerisinde rastlanan kırıklara bağlı küçük cevherleşmeler alınmış ekonomik boyutta cevher bulunamaması nedeni ile bu yöndeki aramalar durdurulmuştur. Ana galerinin 16. metresinde K70B yönlü 74° GB ya eğimli kırık içerisinde çok ince birincil cevher minerallerinden galenit bulunmaktadır. Ana galerinin 16. metresinden itibaren sol tarafa arama galerisi sürülmüş, bu galeri içerisinde karstik boşluklar içerisindeki limonitce zengin ikincil cevherin tamamı alınmış olup, yan kayacın ceplerinde sadece cevher kalıntıları gözlenmiştir. Sol tarafa açılan arama galerisinin ilerisi göçük nedeni ile kapandığından daha ileriye gidilememiştir. Yan kayaç içerisinde ilerleyen ana galerinin 25. metresinde karstik boşluk içerisinde yer alan smitsonitce zengin açık renkli cevhere rastlanılmış ve bu cevherli kısmın tamamı alınmıştır. Yapılan arama çalışmaları sırasında yine ana galerinin 45. metresinde kırık içerisinde ikincil minerallerden smitsonit, anglezit serüzit ile oldukça yaygın limonitleşmeden oluşan cevherleşmeye rastlanılmıştır. Bu galeriye paralel üst kesiminde açılan ikinci galeri küçük boyutlu olup, cevherleşme kırıklar içerisinde ve daha çok karstik boşluklarda görülmektedir. Buradaki karstik boşluklarda güncel dikit ve sarkit oluşumları gözlenebilmektedir. Ayrıca yine bu galeri içerisindeki kırık ve çatlaklarda 1-2 cm kalınlığında malakit ve azurit cevherleşmesine rastlanılmıştır. Birincil sülfürlü mineraller olarak galen, sfalerit, pirit ve kalkopirit ikincil mineralleri ise smitsonit, serüzit ve anglezit ile yer yer malakit ve azurit bulunmakla birlikte ikincil cevherleşme limonitleşmenin etkisinde kalmıştır.

3.1.2. Karınca Ocak

Permian yaşlı Bolkar mermerleri içerisinde açılan toplam uzunluğu 20 m olan galeride cevherleşme galeri girişinden itibaren K40D doğrultulu 55° GD eğimli fay zonu içerisinde başlamakta, 5m sonra K70D doğrultulu 30° KB eğimli bir diğer fayın kesişim noktasında son bulmaktadır. Ocak içerisinde cevherin kalınlığı 25cm den 1cm kadar düşmekte olup, bu nedenle buradan küçük ölçekte cevher alınmıştır. Galerinin 11. Metresinde sadece ince bir kalsit damarına rastlanılmış olup, ileriki metrelerde de cevherli zona rastlanılmadığı için aramalara son verilmiştir. Limonitleşmenin etkisi ile cevher koyu renkli olarak gözlenmekte, buradan alınan cevher örneklerinden yapılan mikroskop çalışmalarında galen, sfalerit gibi birincil minerallere rastlanamamıştır. İkincil minerallerden smitsonit hakim minerali oluşturmaktadır.

3.1.3. Karıncadağ Yarma

Bölgedeki incelemeler sırasında MTA tarafından yaptırılan cevher aramalarına yönelik yarmalara rastlanılmıştır. Yaklaşık 1750 kotunda açılan yarmada cevherleşme fay kırıkları boyunca ve bazı kesimlerde karstik boşluklar içerisine yerleşmiştir. oksitli cevherleşmenin hakim olduğu cevherleşmede yer yer limonitleşmenin etkisi ile sarımsı renklere ikincil minerallere rastlanılmaktadır.

3.2. Akdağ Cevherleşmesi

Ecemiş Fay kuşağının doğusunda yer alan kurşun-çinko cevherleşmeleri platform karbonat tipindeki mikritik kireçtaşı ve dolomitize kireçtaşı içerisinde yer almaktadır. Bu bölgedeki cevherleşmeler Karıncadağ cevherleşmesinde olduğu gibi belirli bir stratigrafik seviyeyi takip etmeyerek Demirkazık kireçtaşlarının kırık, çatlak ve erime boşlukları içerisinde kalınlıkları oldukça değişkendir. Çinkur ve Pınar ocakta birincil sülfürlü cevher minerallerine rastlanılmakta olup, diğer ocaklarda ikincil mineraller hakimdir. Akdağ bölgesinde simitsonit, serüzit, anglezit gibi ikincil cevherleşmeler hakim olup, birincil minerallerden pirit, galenit, sfalerit ve Pınar ocaktada kalkopirit gözlenmiştir.

3.2.1. Çinkur Galerisi

Demirkazık kireçtaşı içerisinde kırık, çatlak ve erime boşlukları içerisinde yataklanmış cevherleşmenin eski devirlerden beri işletildiği sanılmaktadır. Galeri girişinden itibaren yaklaşık 15 metre sonra cevhere röper teşkil eden birbirine paralel veya birbirini kesen kalsit damarların yaygınlaştığı gözlenmiştir. Galeri girişinden itibaren yaklaşık 30 metre sonra ilk gözlenen cevher K55D doğrultulu bir fay aralığına yerleşen cevher içerisinde yer yer ince kalsit damarlarına rastlanılmıştır. Burada 80. metreden itibaren K-G yönüne saparak ikiye ayrılan arama galerisinde K25D istikametinde ve 65° GD'ya eğimli bir diğer cevher damarı bulunmaktadır. Yer yer konsantrik halkalar oluşturan damarlarda simitsonit, serüzit, anglezit ile birlikte limonitleşme de yoğun olarak gözlenmiştir. Arama galerilerinde yapılan incelemelerde cevher damarlarının kireçtaşı ile olan dokanıkları tektonik olup, cevherin kırık zonları ile erime boşluklarını doldurmuş olduğu gözlenir. Limonitleşme nedeniyle koyu kahverenkli cevherleşmenin hakim olmasının yanında açık renkli çinko'ca zengin hidrozinkit ve smitsonit damarlarına rastlanılmıştır. Bu cevher zonunda eski çalışmalardan kalan ve tehlike sunan birçok göçük ve dibek taşı bulunmaktadır. Kılcal damarlar halinde smitsonit, serüzit ve anglezitten oluşan cevheri muhtemelen daha sonra oluşan damarcıklar çevreler. Yer yer kovuklu yapı sunan bu tip cevher örnekleri içerisinde kalsit dolgunusunda rastlanılır. Çinkoca zengin açık renkli ve konsantrik damarcıkları ile dikkati çeken cevherleşme ekonomik özellikte olup, kırık ve erime boşluklarını doldurması ile bir simitsonit, anglezit, serüzit yataklanması şeklinde görülmektedir.

3.2.2. Doğan Ocak

Çinkur ocağına yakın konumlu bulunan ocak benzer yataklanma göstermektedir. İlk cevherleşme galeri girişinde bulunan K60D doğrultulu ve 75-80° GD eğimli kireçtaşı tabakaları arasına yerleşmiş smitsonit damarcıkları sayesinde görülmüştür. İlk cevher damarı galeri girişinden itibaren 18 m sonra K60B doğrultulu fay aralığında rastlanılmış, smitsonit ve limonitce zengin olan cevher damarının kalınlığı yaklaşık 30

cm'dir. Bu cevher damarını takip etmek amacı ile KB yönünde yaklaşık 10m kadar baca sürülmüş limonit içeriği fazla damara rastlanılması nedeni ile aranaya son verilmiştir. Limonitleşmenin yaygın olduğu bu kesimlerde yaygın olarak killeşme de görülür. KB yönünde yapılan arama faaliyetlerinden olumlu sonuç alınmaması üzerine doğu-batı yönlerinde daha sonra ise kuzey-güney yönlerinde bacalar sürülerek arama çalışmalarına devam edilmiş ise de önemli bir cevher damarı kesilememiştir. Ana galerinin kuyu başında kalınlığı yer yer 2 m'yi bulan cevher zonu bulunmuş ve 1450 kotundan 1423 kotuna kadar toplam 27m'lik bir kuyu inilmiştir. Kuyu açımı ile birlikte arama faaliyetleri de sürdürülmüş olup, yaklaşık 80 m civarında arama galerisi sürülmesine rağmen kalınlığı 30cm yi geçmeyen smitsonitce zengin bu damarların dışında cevher damarlarına rastlanılamamıştır. 1450 kodundaki kuyu başında bir fazla kesilen cevher damarının devamını bulmak için 1423 kotundan itibaren yaklaşık 20m taban bacası sürülmüş ve kaybedilen damar tekrar yakalanmıştır. K25D yönlü fay aralığında gelişen iri kalsit kristallerinin yaygınlığı ve cevherleşmenin ince damar sunması ve yukarı kotlara doğru cevherin ekonomik olmaması nedeniyle çalışmalar durdurulmuştur.

Galerideki cevherleşmede oksitli ikincil mineraller yoğunlukta olup, smitsonit, anglezit , serüzit ve limonitleşmeden oluşmaktadır. Cevherleşme kireçtaşı'nın kırık, çatlak ve erime boşluklarına dolarak yataklanmıştır.

3.2.3. Pınar Ocak

Demirkazık kireçtaşları içerisinde sülfürlü parajenezin yoğun olduğu bu ocakta limonitin oldukça fazla bulunması nedeniyle koyu bir renge sahiptir. İlk cevherleşme 1860 kotunda fliş karakterli Gökbel formasyonu ile kireçtaşı tektonik dokanakta olup, K30B yönünde gelişen bir fay ve bu faydan 5 m sonra ilk oksitli cevher bulunarak sağlı sollu cephelerle cevherin emniyet topuğu dışında önemli bir kesimi alınmıştır. 1860 kotunda cevher aramaya yönelik sürülen arama galerisinde önemli bir cevher damarı yakalanmamakla beraber, kalınlıkları 30 cm ile 1m arasında değişen damar dolgusu şeklindeki oksitli cevhere rastlanılmıştır. Bu zondan aşağı kotlara sürülen başaşağı ve kuyulardan yer yer önemli sonuçlar alındığı için alt katlardaki cevher çıkarılmak amacı ile 1834 kotundan 80 metrelik taban galerisi sürülmüş ancak iki yerde ince cevher damarı kesilmiştir. Taban galerisinin 80. metresinden itibaren K30B doğrultusunda kalınlığı 30 cm-1 m arasında değişen bir cevher damarı bulunmuştur. Damar limonitleşmenin etkisi ile koyu kırmızımsı-kahverengimsi bir renk almıştır. Bu cevher damarında diğer ocaklardan farklı olarak birincil sülfür zonuna ait cevher mineralleri bulunmaktadır. Masif cevherin yanı sıra kırık, çatlak ve diğer süreksizlik zonlarına çözültü halinde yerleştikten sonra katılan oksitli cevhere de aynı anda rastlanılması bu ikincil oluşukların büyük olasılıkla birincil cevherin dönüşümü ile oluştuğunu kanıtlamaktadır.

Pınar galerisinde çok sık görülen iri kristalli kalsit damarları genellikle cevherli damarlarla iç içe görülmekte olup, bazen bu kristallerin 15-20 cm kadar büyüyebildikleri görülmüştür.

Birincil cevher mineralleri olarak pirit, galen, sfalerit ve kalkopirit minerallerinin yanı sıra ikincil minerallerden smitsonit anglezit ve serüzit yer almaktadır.

3.2.3 Koyuncular Ocak

Demirkazık kireçtaşları içerisindeki cevherleşme küçük kırık, çatlak ve erime boşlukları içerisinde yer almakta, büyük bir rezerv sunmamaktadır. Galeri girişinde kırıklar içerisinde yer yer kalsit dolgu ve yer yerde cevherleşmeler gözlenmiştir. 51 metrede arama galerisi sürülmüş K80D yönündeki kırık içerisinde cevherin tamamı alınmış bu yöndeki aramaya son verilmiştir. Ana galerinin 80. metresinde güncel küçük dikit ve sarkıtlarında olduğu karstik boşluğa rastlanılmış, buradaki limonitleşmenin etkisinde kalmamış açık renkli cevher alınmakla birlikte 20-30cm boyutunda küçük cevher bloklarına da rastlanılmıştır. Bu zonda birincil sülfür mineralleri saptanamamış, üretilen cevher açık renkli smitsonit, anglezit ve serüzitten oluşmaktadır.

3.2.4. Hakverdi Ocak

Oksitli ikincil cevherleşmenin hakim olduğu ocakta cevherleşme kireçtaşları içerisinde kırık, çatlak ve karstik boşluklar içerisinde gözlenmektedir. Cevherleşmeye ana galerinin 71 metresinde yaklaşık 10-25 cm kalınlıkta yer yer kalsit dolgu ile karışık K30D doğrultulu 51° GD eğimli kırık içerisinde rastlanılmıştır. Ana galerinin 81. metresinde K48D yönlü kırık içerisinde iri kalsit kristalleri ile birlikte cevherleşmeye rastlanılmış, buradaki cevher alındıktan sonra galerinin üst seviyelerine doğru kırığın daralan kesimlerinde cevher bırakılmıştır. Bu metreden itibaren ana galeri kuzeydoğu ve güney batı yönlerinde iki kola ayrılarak aramalara devam edilmiştir. Güney batıya doğru yapılan aramalarda 88. Metrede başaşağı inilmiş burada bulunan erime boşluğu içerisindeki cevher alınmış demirce zengin cevherleşmenin artması nedeni ile aramalara son verilmiştir. Kuzeydoğuya doğru yapılan arama galerisinin 86 metresinde baş yukarı sürülmüş yaklaşık kalınlığı 20-30 cm arasında değişen kırık içerisindeki cevherin büyük bir kısmı alınmıştır. Aynı galerinin 93 metresinde K60D doğrultulu 85° GD eğimli kırık içerisindeki cevherin tamamı alınmıştır. Galerinin 115 metresinde yaklaşık çapı 70 cm çapında erime boşluğuna rastlanılmış olup, bu cevherin tamamı alınarak bu yönde aramaya son verilmiştir.

Ocaktan çıkarılan cevherler açık renkli çinkoca zengin ve koyu kahve-kırmızı renkli demirce zengin cevherden oluşmaktadır. Stok sahasında açık renkli cevher elle triyajlama yapılarak ayırtılmakta, demirce zengin cevher ise pasa olarak bırakılmaktadır.

3.2.5. Balpınar Ocak

Demirkazık kireçtaşları içerisinde yer alan bu küçük ocakta bir süre oksitli cevher üretilmiş ancak yeterli rezervin bulunamaması nedeniyle üretim durdurulmuştur. Ocak içerisine göçük nedeni ile girilememiş olup, ocak girişine yakın kesimlerde K50D 60° KB yönlü ve K7D 800° GD'ya yönlü kırıklar içerisinde cevherleşmelere rastlanılmıştır.

3.2.6. Akdağ Oksitli Cevher Zonu

Akdağ zirvesine yakın olan bu zonda oksitli cevher mineralleri görülmekte olup, yataklanma kırık ve karstik boşluk içerisinde gelişmiştir. Karstik boşluk içerisinde gelişen cevherleşme smitsonit-anglezit-seruzit'ten oluşan yollu yapılar gösteren ve yer yer konsantrik halakalar içeren bir cevherleşme göstermektedir. Oldukça düzenli bir damar şeklindeki bu dolgu kireçtaşı içerisindeki bu karstik boşluğu muhtemelen birincil cevherin çözünerek bu süreksizlik zonunda dolaşması ile dolmuştur. Bu cevher zonuna benzer ikinci bir karstik boşlukta ise birincisi kadar zengin olmayan smitsonitce zengin cevherleşme ile dolmuştur.

4. CEVHER MİKROSKOPİSİ

Birincil sülfütlü mineraller pirit, sfalerit, galen olup, az oranlarda kalkopirite ve elipsoidal taneler şeklinde fahlerz minerallerine rastlanılmaktadır. Oksitli ve karbonatlı cevherlerden oluşan ikincil cevher mineralleri smitsonit, seruzit, anglezit olup, Karıncadağ'daki cevherleşme içerisinde yer yer malakit ve azurite rastlanılmaktadır (12).

4.1. Birincil Sülfürlü Mineraller

4.1.1. Sfalerit

Sfalerit gri, grimsi kahverengi tonlarda genellikle iri, yarı ve öz şekilsiz kristaller halinde gözlenmektedir. Sfalerit mineralleri kahverengi, kırmızımsı- kahverengi renk tonlarında iç yansıma göstermektedir. Sfaleritlerin el örneklerinde ve gerekse iç yansımalarındaki renkler içerisindeki FeS oranı ile bağlantılıdır (13). Akıncı (14) sfaleritteki renk koyuluğunun bünyesindeki Mn, İn ve Cd gibi iz elementlere bağlarken, Mc Limans ve Barnes (15) bu özelliği CdS ve FeS zenginleşmesine bağlamaktadırlar Yarı ve öz şekilli piritler ile galenit, kalsit gangı ile sfaleriti ornatmakta ve çatlaklarını doldurmaktadır (Levha 1 Şekil 1). Galenitler ise sfaleriti kenar ve çatlakları boyunca ornatmaktadır (Levha 1 Şekil 2). Sfaleritler erken oluşumlu piritleri ornatırken, daha ileriki safhalarda sfaleritin içerisindeki piritler, iskelet halinde kalmıştır. Öz ve yarı öz şekilli piritler ise sfaleritin kenarları ve boşluklarında kümeler veya saçınunlar şeklinde bulunmaktadır. Sfalerit içerisinde az oranda kalkopirit kapanımlara rastlanılmakta, yeryerde kenarları ve çatlaklar boyunca smitsonite dönüşümde gözlenmektedir. Sfaleritlerde kataklastik kırılımlar belirgin olmayıp,

birbirleri ile kenetli yapı oluşturan sfaleritlerin yanı sıra yarı öz şekilli kristal saçınımlarında rastlanılmaktadır.

4.1.2. Pirit

Öz, yarı öz ve özşekilsiz kristaller halinde yer yer süngerimsi yapıda olan piritler mikroskopik olarak iki değişik tipte gözlenmektedir. Birinci tipte galenit, sfalerit ve diğer cevher mineralleri ile bulunan kristal boyları diğer piritlere göre daha büyük olan yarı öz, öz şekilsiz piritler olup, yer yer boyutu 4.8 mm varan kristaller halinde bulunmaktadır (Levha 1 Şekil 3). Bu piritler cevher içerisinde tek kristalli, saçınımlar veya küçük kristal kümeleri halinde bulunurlar. Kataklastik yapıları çok belirgindir (Levha 1 Şekil 4). Öz ve yarı öz şekilli ikinci tip piritler ise kuvars, galen ve sfalerit bulunan kalsit gangın içerisinde saçınımlı daha küçük kristalli piritlerden oluşmaktadır. Kataklastik piritler birincil cevher içerisinde en yaşlı sülfidli cevher minerali olarak bulunmaktadır. Hemen hemen bütün diğer cevher mineralleri tarafından ornatılmıştır.

4.1.3. Kalkopirit

Mineral dağılımı içerisinde az oranda gözlenen kalkopirit genellikle sfaleritlere bağlı bulunan gerek mineral içerisindeki bulunuş şekline ve gerekse süksesyon içerisindeki konumuna göre iki farklı tipte bulunmaktadır. Bunlar,

1- Sfalerit içerisinde kapanımlar şeklinde bulunan kalkopiritler, yarı öz şekilli ve öz şekilsiz kristaller şeklindedir (Levha 2 Şekil 1). Ramdohr (14)'e göre Sfalerit-kalkopirit ayrılmaşmasının iyi bir termometre olarak kullanılamayacağını, oluşum sıcaklığı düştükçe sfaleritin kalkopirit ayrılımı bulundurma oranının artacağını ileri sürmektedir. Park ve McDiammid (17) ise ayrılım ve karışmazlık olaylarının ürünü olduğunu belirterek sfalerit kalkopirit ayrılım dokularının 400°C sıcaklığın altında ortaya çıktığını, soğumanın yavaş olması halinde kalkopirit kristallerinin daha öz şekilli gelişeceğini belirtmiştir. Çalışma sahasındaki yataklarda sfalerit içerisindeki kalkopirit ayrılmaşmasının az oranda olması nedeniyle sfaleritlerin yüksek sıcaklıkta bir oluşumu yansıtabileceğini belirtebilir (8).

2- Gang içerisinde saçınımlı olarak bulunan kalkopiritler, sfaleritlerden daha genç olup, galenit ve gang mineralleri ile beraber sfalerit çatlaklarını ve kristal boşluklarını doldururlar. Kuvars, kalsit gangı ile beraber öz şekilli piritlerde eş oluşum dokuları sunarlar. Genel süksesyon içerisinde sfalerit ile ayrılım dokusu sunan kalkopiritler ikinci evrenin, gang içerisinde bulunan kalkopiritler ise üçüncü evrenin ürünleridir.

4.1.4. Galenit

Galenit grimsi, beyazımsı renkte, yarı ve öz şekilsiz kristaller halinde en genç sülfidli mineral olarak gözlenmektedir. Kalsit, dolomit ve kuvars mineralleri ile yer yer eş oluşumlu doku sunmaktadır. Galenitlerin piritlerle ilişkileri fazla belirgin olmamakla

LEVHA 1

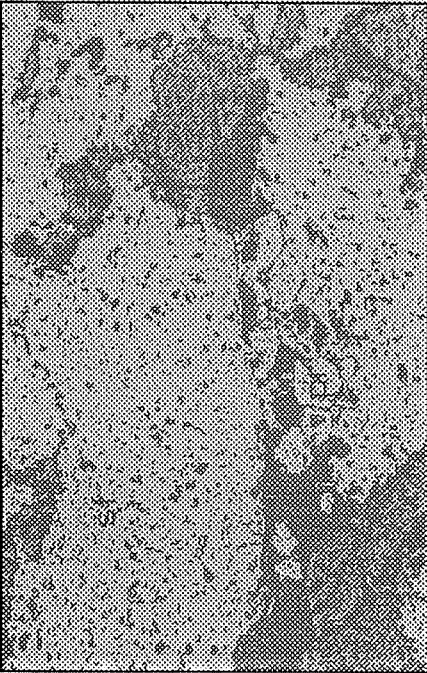
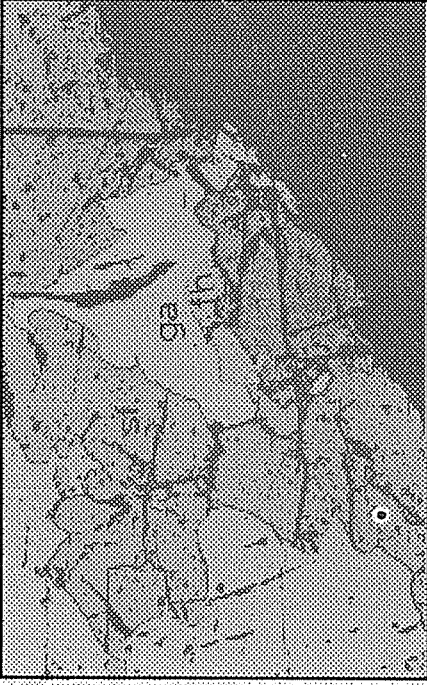
Şekil 1. Öz şekilsiz sfalerit (Sf), yarı öz şekilli pirit (Pr) tarafından kenarları boyunca ornatılmıştır.

Şekil 2. Beyazımsı-grimsi renkli galenit (Ga) tarafından ornatılan kahverengimsi-gri renkli sfalerit (Sf) ile galenitin üzerinde bulunan yeşilimsi-gri renkli fahlerz (Fh) bulunmaktadır.

Şekil 3. Galenit (ga) tarafından kuşatılan yarı öz şekilli pirit (Pr).

Şekil 4. Katakaltik doku sunan irili ufaklı öz, yarı öz şekilli beyazımsı sarı renkteki pirit (Pr) kristalleri.

POZANTI'NIN DOĞU VE KUZEYDOĞUSUNDA YÜZEYLEYEN
ÇİNKO-KURŞUN CEVHERLEŞMESİNİN MİNERALOJİSİ



beraber öz şekilli piritlerin etrafını sarması ve bazen galenitlerin öz şekilli piritler tarafından kesilmesi ise bunlardan genç veya çok yakın evreli oluşuma sahip olduğunu göstermektedir. Gang içerisindeki öz ve ayrı özşekilli kristaller halinde olup, üzerinde kama (üçgen) şekilli tipik boşlukları daha belirgindir. Ramdohr (13)'a göre bunlar yüksek sıcaklığı ifade etmektedir. Sfaleritlerle beraber bulunan galenitlerin üzerinde gri renkli elipsoidal ve yuvarlak taneler halinde fahlerzler bulunmaktadır. Galen kenar, çatlak ve kırıklar boyunca seruzit ve anglezite dönüşüm göstermektedir (Levha 2 Şekil 2-3). Galenitin bazı kesitlerde sfalerit minerallerini yer yer ornattığı, bazı kesitlerde de deformasyondan dolayı galenit içerisinde akma yapılarının oluştuğu gözlenmektedir.

4.1.5. Fahlerz

Galenitlerin içerisinde grimsi renkte kapanım kristalleri halinde çok ince yuvarlağımsı ve elipsoidal tanecikler şeklinde bulunmaktadır (Levha 2 Şekil 2). Fahlerzin oluşum sınırları çok geniş olup, en yaygın olarak mağmatik bir kaynağa bağlı hidrotermal evrelerde gelişir. Kontak metazomatik ve pegmatitik kayaçlar fahlerz erken oluşum minerali olarak belirir. Sub-volkanik yataklarda epitermal olarak fahlerz gözlenebilir. Sedimanter yataklarda oldukça yaygındır (13).

4.1.6. Neodijanit

Mavi rengi ile dikkati çeken Neodijanit kalkopiritin dönüşümü sonucunda galenitin kenarları boyunca gözlenmektedir.

4.2. Oksitli ve Karbonatlı Cevherler (İkincil Parajenez)

Birincil sülfürlü mineraller yer altı suyunun etkili olduğu derinliklerde ayrışarak ikincil minerallere dönüşmüşlerdir. Bu oksidasyon minerallerine bağlı olarak oluşan cevherleşmelerde boşluk dolgusu, yönlü kristal büyümeleri, karst sedimantasyonuna bağlı dereceli, bantlı, merceksi çökelmeler, konsantrik yapılar, sarkıtlar ve dikitler, böbreğımsi ve kovuklu yapılar en sık rastlanılan yapı ve doku özellikleridir. Oksitli ve karbonatlı cevherler içinde hakim ve ekonomik mineral olan smitsonit ile birlikte anglezit, seruzit, hidrozinkit, malakit, azurit ve limonit mineralleri bulunmaktadır. Bu cevherleşmelere kalsit ve kuvars eşlik etmektedir.

4.2.1. Smitsonit

Bölgede ekonomik cevher mineralini oluşturan smitsonit, sülfürlü cevher damarından uzaklaştıkça ve morfolojik olarak cevherli seviyelerin üst seviyelerine doğru gidildikçe smitsonit oranı derceli olarak azalmaktadır (6). Smitsonitin yapı ve rengi içerisindeki çinko tenörüne bağlı olarak değişmekte, Zn tenör oranı yaklaşık % 20 altında olan smitsonitler toprağımsı görünümlü, kahverengimsi ve tonlarında olanlar ise önemli

oranda demir içermektedir. Demir tenörünün düşük ve çinko tenörü arttıkça smitsonitin hem sertliği artmakta hemde beyazımsı, grimsi-bozumsu renklere ortaya çıkmaktadır. Smitsonitler genellikle değişik oranlarda limonit, kil mineralleri ile karışım halinde bulunmaktadır. Smitsonitler konsantrik ve yollu yapılar ile düzensiz kristal yığılımları şeklindedir.

4.2.2. Serüzit-Anglezit

Serüzit ve anglezit galenitlerin oksidasyon zonunda dıştan içe doğru ayrışmaları sonucu bunların etrafını saran kuşaklar şeklinde gelişmiştir. Galenitler kenar ve çatlakları boyunca önce anglezite daha sonrada serüzite dönüşmektedirler. Serüzitler beyaz, kirli sarımsı, yeşilimsi renklere ve karst dolgularında öz şekilsiz levhamsı kristaller halinde bulunmakta olup, parlak kesitlerde böbreğimsi, üzümsü yapı ve kolloform dokudadır (Levha 2 Şekil 3). Smitsonitin tersine topoğrafik olarak yükseldikçe yataklardaki Pb oranlarında bir azalma gözlenmemektedir Serüzitin oksidasyon zonlarında çözünürlülük ve kararlılık alanları smitsonit ile aynıdır Anglezit ise 6'dan daha düşük pH değerine sahiptir. Böylece asidik ortamlarda ve nisbeten daha yüksek Eh değerlerinde kararlıdır (17).

4.2.3. Hidrozinkit

Karbeyaz renkleri ile dikkat çeken, böbreğimsi, bantlı yapı ve toprağimsi görünümde olan hidrozinkitler smitsonitlerin kovuklarında dolgu halinde, smitsonit ile ritmik olarak veya diğer cevherleri kabuk şeklinde sarmış halde bulunmaktadır. Hidrozinkit nütüre yakın Eh ve pH değerlerine sahip ortamlarda kararlı olup, asitli çözeltilerlede çözünen sfaleritlerin açığa çıkan Zn iyonlarının oksidasyon zonu ortamlarında seyrelerek asitliğini kaybetmesi ile okside olarak çökmesiyle oluşmaktadır.

4.2.4. Malakit-Azurit

Karbonatlı kayalar içerisinde az oranda bulunan malakit ve azurit dağılımı oldukça düzensizdir. Bakırlı birincil sülfidli cevher mineralleri olan kalkopirit, bornit ve kalkosinlerin ayrışması ile oluşmuşlardır. Kırık ve çatlak içerisinde yerleşmiş yeşilimsi (Malakit) ve mavi (Azurit) renk tonlarında gözlenmektedir.

4.2.5. Limonit

Oksidasyon kuşağının en yaygın minerallerinden olan limonit smitsonitlerle değişik oranlarda karışımlar veya kalsit ve smitsonitlerle bantlar halinde bulunmaktadır. Birincil minerallerden pirit az oranda da kalkopiritin bünyelerindeki demirin oksidasyonu ile oluşmaktadır. Açık sarıdan, kırmızımsı kahverengimsi renklere kadar değişen renk skalasına sahiptir. Limonit cevherleşmelerin rengini ve kalitesini etkilemektedir.

4.3. Gang Mineralleri

4.3.1. Kalsit

Cevherleşmelerin bütün evrelerinde en sık rastlanan gang mineralidir. Mineralizasyon sırasında sıcaklığın düşmesi ile birlikte karbonat gangunda artış olmaktadır. Sfaleritlerle birlikte gözlenen kalsit mineralleri özşekilli, yarı öz şekilli kristallerden oluşmaktadır. Kalsit gangı cevher mineralleri arasını doldurmakta veya veya onları damarcıklar şeklinde kesmektedir.

4.3.2. Kuvars

Cevher içerisinde az miktarda gözlenen kuvars, kalsit ve cevher mineralleri ile damarcıklar oluşturmaktadır. Bazen gangın tamamını oluştururken bazende karbonat gangı içerisinde çok az miktarda bulunmaktadır. Ana mineralizasyonun birinci evresinde oluşan kuvarslar oldukça öz şekilli ve iri kristaller halinde gözlenebilmektedir (Levha 2, Şekil 4). Ana mineralizasyonun ikinci evresinde sfaleritlerin yoğun olduğu kısımlarda artış gösteren kuvarslar genelde ilk kuvarslara göre daha küçük boyutludur.

5. PARAJENEZ VE MİNERAL SÜKSESYONU

Akdağ - Karıncadağ çinko-kurşun cevherleşmesinde belirlenen parajenez içinde bulunan mineraller ana mineralizasyon ve bu evre sonrasında gelişen oksidasyon evresiyle oksitli ve karbonatlı ikincil minerallerin (Post mineralizasyon) oluşturduğu mineralizasyon olarak iki gruba ayrılmıştır.

Birincil cevherleşmenin gerçekleştiği ana mineralizasyon evresinde ortamın sıcaklık, basınç, pH, Eh gibi etkenlerle çözeltilerin bileşiminin değişmesi yeni mineralleri ortaya çıkarmıştır. Yeni minerallerin ortaya çıkması, kaybolması, minerallerin birbirini ornatması, ayrılma ve kapanım kristalleri halinde bulunulması, yapı ve doku özelliklerine göre ana mineralizasyon dönemine ait 3 evre saptanmıştır (Şekil 2).

Ana mineralizasyonun birinci evresinde oluşan mineraller; kataklastik pirit, kuvars, kalkopirit ve az oranda kalsittir. Mineralizasyonun ikinci evresinde ise başta sfalerit olmak üzere öz ve yarı öz şekilli pirit, kalsit ve yer yer kalkopirit bulunmaktadır. Ana mineralizasyonun üçüncü evresinde oluşan başlıca mineraller ise kalsit ve galenit olup, bununla birlikte fahlerz, neodijanit, sfalerit, pirit ve az oranda da kuvarsa rastlanılmaktadır. Bu evrede bulunan sfalerit içerisinde kalkopirit kapanımları bulunmamaktadır. Ana mineralizasyondan sonra cevher damarları atmosferik şartların gerekse yüzey ve yeraltı suyunun etkisi ile sülfidli mineraller ayrışarak oksitli ve karbonatlı ikincil mineraller oluşmuştur. Bu mineraller başta smitsonit ile serüzit-anglezit, hidrozinik, malakit, azurit ve limonitten oluşmaktadır.

Mineraller	Ana mineralizasyon			Post Mineralizasyon
	1. Evre	2. Evre	3. Evre	
Pirit				
Kalkopirit				
Sfalerit				
Galen				
Fahlerz				
Neodijanit				
Kuvars				
Kalsit				
Smitsonit				
Anglezit				
Serüzit				
Malakit				
Azurit				
Limonit				
Hidrozinkit				

Şekil 2 Akdağ- Karıncadağ Zn-Pb yataklarına ait mineral süksesyonu (12).

6. SONUÇLAR

Akdağ-Karıncadağ cevherleşmesi Horoz granodiyoritine bağlı oluşmuştur. Çok zengin parajenez sunmayan cevherleşmede birincil mineraller üç evrede gerçekleşmiştir. Birincil parajenezde pirit, sfalerit, kalkopirit, galen, fahlerz ve neodijanit saptanmıştır. Birincil mineralizasyonun ardından gerek yüzey sularının ve gerekse yer altı sularının etkisi ile oksitli ve karbonatlı cevherleşmeler oluşmuştur.

Birincil sülfür parajenezinde cevher yerleşimi ornatma, ayrılma, kapanım, iskelet, çatlak genişlemesi ve nadiren dentritik yapılar olduğunu gösteren pek çok özellik saptanmıştır. Cevher taşıyan çözeltiler ile yankayaç durumundaki karbonatlı kayalar arasında çok belirgin hidrotermal alterasyonlar görülmez.

Cevherleşme tektonizmadan aşırı etkilenmemekle birlikte yer yer piritlerdeki kataklazmalar ve galenitlerin içerisinde akma yapılarının bulunması bunların kısmende olsa tektonizmadan etkilendiği sonucunu ortaya koymaktadır.

Parajenezde yüksek sıcaklıklarda oluşan minerallerin saptanamaması bu cevherleşmenin büyük olasılıkla mezotermal evrede oluşmaya başladığını daha sonra çözeltilerin soğuması ile epitermal evreye geçiş yaptığı söylenebilir.

Oksitli ve karbonatlı ikincil parajenezde ait smitsonit, anglezit, ve serüzinin hakim olduğu ve yer yer yoğun bir limonitleşme görülen bazı karstik boşlukların içinde bile genellikle merkezi zonda galen+sfalerit+pirite rastlanması, bu ikincil parajenezin çok

LEVHA 2

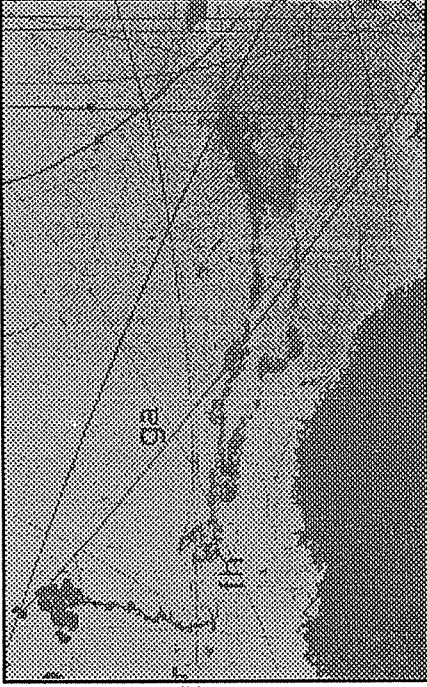
Şekil 1. Sfalerit içerisinde kapanımlar şeklinde bulunan kalkopiritler (Kpr)

Şekil 2. Beyazımsı -gri renkli galenit (ga) ve galenitin üzerinde gri renli yuvarlak ve elipsoidal taneler şeklindeki fahlerz dizilimi (fh).

Şekil 3. Galenit (ga) üzerinde yuvarlak ve elipsoidal şekilde bulunan fahlerz'ler (fh) ve galenitin kenarları boyunca serüzit ve anglezite dönüşüm.

Şekil 4. Galenit (Ga) ve Sfaleriti (Sf) ornatın öz şekilli iri kuvars (Q) kristali.

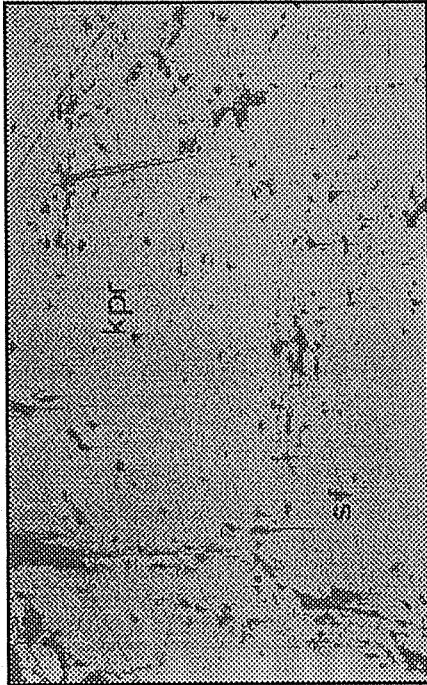
POZANTI'NİN DOĞU VE KUZUYDOĞUSUNDA YÜZEYLEYEN
ÇİNKO-KURŞUN CEVHERLEŞMESİNİN MİNERALOJİSİ



2



4



1



3

büyük bir olasılıkla sülfürlü parajenezden dönüştüğünü kanıtlamaktadır. Parlatılmış bir çok kesitte smitsonit ve serüzit ile anglezitin orta kesimlerinde yer yer galenit+sfalerit+pirite rastlanması ve ayrıca sfalerit içinde kalkopirit inklizyonlarının görülmesi bu ikincil cevherleşmenin sülfür zonunda alterasyon sonucunda oluştuğunu gösterir. Tüm kesitlerde galen+sfalerit kristallerinin kenar zonlarından itibaren smitsonit ve serüzite dönüştüğü görülmüştür.

7. TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışma sırasında yardımlarını gördüğü Prof.Dr. Sedat Temur, Doç.Dr. İbrahim Çopuroğlu, Prof. Dr Servet Yaman ile Pozmer Müdürlüğü ve projeye destek sağlayan Ç.Ü.Araştırma Fonuna teşekkür ederler.

8. KAYNAKLAR

1. Çalapkulu, F., *Le charriage de L'urite Ophiolitique de Alihoca sur les marbres de Bolkardağ (Taurus-Turquie), Laboratoire de Geologie Applique, Universite D'arleans, 1976.*
2. Çalapkulu, F., *Bolkardağı, Pb-Zn-Ag-Au Maden Yatakları, TJK 32. Kurultayı Bildiri Özetleri, 58-59, 1978.*
3. Ayhan, A., *Aladağ Yöresi Karbonatlı Pb-Zn Yataklarının Kökeni , TJK Kur. Bül. 26, 2, 103-116, 1983.*
4. Ayhan, A., Lengeranli, L., Çelteç, N., Aksoy, E., *Aladağlar (Batı Zamanı) Yöresi (Yahyaltı- Çamardı) Jeolojisi ve Kurşun-Çinko Etüdüleri, MTA Raporu, Ankara, 1984.*
5. Çevikbaş, A., *Ulukışla-Çamardı (Niğde) Tersiyer Havzasının Jeodinamik Evrimi ve Maden Yatakları Yönünden Önemi, Doktora Tezi, İ.Ü. Müh. Fak. Jeoloji Müh. Böl., 235s. (yayımlanmamış), İstanbul, 1991.*
6. Temur, S., *Bolkardağ (Ulukışla -Niğde Yöresi) Çinko-Kurşun Yataklarının Jenetik Özellikleri, Ç.Ü . Ahmet Acar Sempozyumu Bildiri Kitapçığı, 1989.*
7. Temur, S., *Bolkardağ (Ulukışla-Niğde) Pb-Zn Yataklarının Minerolojik incelemesi. MTA Der. Sayı 112. S 74-81, 1991.*
8. Temur, S., *Bolkardağ (Ulukışla-Niğde) Pb-Zn Yataklarının Jeokimyasal incelemesi, TJK Cilt 35, Sayı 2, 1992.*
9. Çevikbaş, A., Boztuğ, D., Demirkol, C., Yılmaz, S., Akyıldız, M., Açlan, M., Demir, Ö., Taş, R., *Horoz Plütononun (Ulukışla-Niğde) Dengelenmiş Hiprit Sisteminin, Mineralojik ve Jekimyasal Kanıtları, TJK. Kur. Bül. 62-77 s., 1995.*
10. Anıl, M., *Doğu Akdeniz Bölgesinin Çinko-Kurşun Yatakları Envanteri, 150 s. Adana, 1997.*
11. Uçar, L., Gülek-Pozantı-Kamışlı (NW-Adana) Dolayının Stratigrafik ve Sedimanter Petrografik İncelemesi, Doktora Tezi, Adana, 1997.
12. Akyıldız, M., *Pozantı'nın (Adana) Doğu (Akdağ) ve Kuzeybatısında (Karıncadağ)*

Yüzeyleyen Çinko-Kurşun Yatakları, Ç.Ü. Fen Bil. Ens. Doktora Tezi Adana, 1999 (yayınlanmamış).

13. Ramdohr, P., *The Ore minerals and their intergrowths*; Pergamon press, Oxford, 1200 s., 1980.

14. Akıncı, Ö., *Bılacak Sfaleritlerinde Eser Element Dağılımına ve Renge Etkiyen Etmenler*, TJK Kur.Bül. 18, 1. 63-69, 1975.

15. Mc Limans, R. K., Barnes, H. L., *Sphalerite stratigraphy of upper Mississippi Valley Zinc-Lead district, Southwest Wisconsin*, *Econ. Geol.*, 75, 351-361, 1980.

16. Park, C.F. And Mac Diarmid, R.A., *Ore Deposits*, W.H. Freeman and Comp, 530s., 1964.

17. Garrels, M.R., *Mineral species as functions of pH and oxidations- reductions potentials, with special reference to the zone of oxidations and secondary enrichment of sulphide ore deposits*, *Geochemica et Cosmochemica Acta*, 5.153,168, 1953.

EVSEL ATIKLARDAN YENİDEN KULLANILABİLİR MADDELERİN KAZANILMASI

Mehmet YILDIRIM

Ç.Ü., Maden Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : *Bu makalede, evsel atıklardan yeniden kullanılabilir maddelerin kazanımında uygulanabilen esas metotlar, ayırma metotlarının seçimi, tesisin belirlenmesi ve mümkün akış devrelerinin seçimi temel cevher hazırlama bilgilerine uygun olarak verilmektedir. Aynı zamanda dizayn için değerlendirmeler ve akış devresi geliştirme, maliyetlerin belirlenmesi ve geleceğe ait geri kazanım seçenekleri esas olarak sunulmaktadır.*

Anahtar Sözcükler : Evsel Atıklar, Evsel Atıkların Hazırlanması

RECOVERY OF THE REUSABLE MATERIALS FROM DOMESTIC REFUSE

ABSTRACT : *This paper describes the basic methods applicable in the recovery of reusable materials from domestic refuse, selection of the separation methods, determination of the plant and choice of the possible circuits in accordance with the basic mineral processing knowledges. Also, design considerations, circuit development principles, evaluation of costs and future recycling options are basically presented.*

Key Words: Domestic Refuse, Processing of Domestic Refuse

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi, hammaddelerin fiyatları oldukça önemli kabul edilebilecek boyutlarda periyodik alçalma ve yükselmeler göstermektedir. Bazı gelişmiş ülkeler tarafından kullanılan birçok hammaddenin birim fiyatındaki yükselme eğilimi daha çok üretmekle azaltılabilir.

Bugün Türkiye'de ve bütün dünyada, içinde paketlenen malzemelerinin de bulunduğu katı evsel atıklar önemli bir çevre problemi oluşturmaktadır. Nüfus artışı ve sanayideki üretim artışı ile tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi faktörler paketlemede kullanılan kağıt, naylon, plastik ve metal türü malzemelerin aşırı tüketimine yol açmakta, buda gerek çöp alanlarında atık hacminin artmasına gerekse hammadde ve kaynak israfına neden olmaktadır.

Atıklardan kullanılabilir maddelerin kazanılmasında ciddi mühendislik ve bilimsel faaliyetlerin gereksinimi politik, sosyal ve ekonomik faktörlerin gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için bir kompleks oluşturmasından kaynaklanmaktadır. En yalın hali ile teknolojik olarak bu alandaki çabalar için gereksinim doğal kaynakların zamanla azalmasından ve enerji kısıntılarından meydana gelmektedir.

Dünyada birçok ülke tükettiği hammaddenin belli bir yüzdesini ithal etmektedir. Bu nedenle hammadde tüketiminin ekonomik ölçülerde olmasını maksimum düzeyde tutmak gerekmektedir. Evsel atıklar, yeniden kullanılabilir maddeler için potansiyel bir kaynaktır. Tahmin edilmektedir ki yılda dört milyon ton kağıt, yaklaşık bir milyon ton demir türü metal, bir milyon ton cam ve yüzlerce ton demir dışı metal, evsel atıklarla atılmaktadır.

Gelişmiş ülkelerde atıklardan kullanılabilir madde geri kazanım programlarının önemi tamamen anlaşılmış bulunmaktadır. Bu davranış diğer ülkeler tarafından takip edilmekte ve atıkları değersiz bir potansiyel olarak değerlendirme kültürü artık değişim süreci içindedir. Bu kaynaklar (evsel atıklar) geleceğin mineral kaynağı olarak düşünülebilecektir. Böyle kıt kaynakların rasyonel kullanımı herhangi bir sosyal içerikli amacın karşılanmasında maliyetin en aza indirgenmesini gerektirir. Evsel atıkların toplanması ve bu atıklardan yeniden kullanılabilir maddelerin kazanılması artık yerel sorumlular için bir yerel mecburiyettir.

2. AYIRMA METODLARI

Uygulamada katı taneciklerden oluşan hemen her numuneyi meydana getiren bileşenlerin fiziksel karakteristik farklılıklarından yararlanılarak dizayn edilmiş ticari ayırıcılar vardır. Bu ayırıcıların kapasitesi, ürünlerin kalitesi ve çalışma koşullarının ekonomikliği üzerinde yapılan çalışmalar hızlı bir şekilde bütün dünyada devam etmektedir. Ayırıcılar taneciklerin boyutu, şekli, yoğunluğu, kırılgenliği, manyetik alınganlığı, elektrik iletkenliği, yüzey özellikleri gibi fiziksel özellik bazına göre yapılabilmektedir. Halbuki işlem aşamasında bütün bu özellikler belirli limitlere

sahiptir ve işleme tabi tutulacak belirli karışımın ekonomik/teknolojik değerlendirilmesi ile ulaşılan sonuca uygun olarak yararlanılmalıdır.

Hazırlama metotları, evsel atıkları bileşenlerine ayırmak için fiziksel ayırma koşulları ile birlikte dikkate alınarak dizayn edilebilir. Genel olarak, atığın işlenmesi için dizayn edilen akım şemasında çekeçli değirmenler, elekler/tromeller ve band üzeri manyetik ayırıcılar esas ayırıcı birim olarak öngörülebilir. Kuru veya yaş olarak yoğunluk farkına dayalı ayırma sistemleri, renk ayırıcılar, elütriatörler, elektrodinamik ayırıcılar en son teknolojidirler ki bütün dünyada değişik prototip tesislerde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır (1). Elektrostatik ve infra-red ayırıcılar gibi diğer metotlar uygulamada bu alanda henüz sıkça kullanılmamaktadır. Bununla beraber, evsel atıktan yeniden kullanılabilir malzemelerin kazanılmasında birbirlerine alternatif olabilecek ayırma teknikleri mevcuttur. Düşük değerli büyük hacimli katı maddeleri işleyen endüstriyel uygulamalar tarafından bu bağlamda büyük katkılar yapılmaktadır. Örneğin, katı atıklardan geri kazanım için "know-how" ve mevcut teknolojiye mineral, kağıt, kimya ve ziraî endüstriler büyük katkıda bulunmaktadır. Çizelge 1'de uygulamada kullanılması mümkün prosesler, ayırma ortamı ve her proses için yararlanılan fiziksel özellikler görülmektedir.

Çizelge 1. Evsel atıkların hazırlanmasında uygulanabilecek fiziksel ayırma yöntemleri.

Yöntem	Ayırma Ortamının Özelliği	Ayırma Etkileyen Özellik ve Farklılıklar
Eleme	Kuru	Farklı bileşenlerin tane boyutları
Eleme	Yaş	" "
Havali Sınıflandırma	Kuru	Aerodinamik kaldırma kuvveti (taneciğin kesit alanına, kütesine ve şekline bağlı olarak)
Elütriasyon	Yaş	Suyun kaldırma kuvveti (taneciğin kesit alanına, kütesine ve şekline bağlı olarak)
Yüzme/Batma	Yaş	Yoğunluk farkı
Jig ile Ayırma	Yaş	" "
Seçimli Öğütme	Kuru	Kırılmaya karşı direnç farklılığı
Şekile Dayalı Ayırma	Kuru	Bileşenlerin farklı şekilleri
Optik Ayırıcı	Kuru	Bileşenlerin renk farkına göre
Manyetik Ayırma	Kuru	Manyetik alınganlık farkına göre
Elektrostatik Ayırma	Kuru	Elektrik iletkenlik farkına göre
Flotasyon	Yaş	Yüzey özellik farkına göre

3. AYIRMA YÖNTEMLERİNİN SEÇİMİ

Herhangi bir cevher numunesinin fiziksel yöntemlerle mineral tanecikleri bazında ayırma yönteminde olduğu gibi evsel atığın bileşenlerine ayrılması kendi fiziksel özellik farklılıkları baz alınarak teknolojik ve ekonomik verilere bağlı olarak incelenmelidir. Teknolojik olarak, bu ayırma işleminde çok sayıda ayrıcalıklı problemlerle karşılaşmaktadır. Bunlar, evsel atığın kompleks heterojen ve çok sayıda bileşenden oluşması düşük yoğunlukta ve büyük hacimde olması, parçacık olarak kuru ortamda akışkanlığı olmaması, kirli ve sağlığa zararlı olması, ayırım için öngörülen prosesin büyük hacimden dolayı büyük boyutta olma olasılığı ve bileşenin ekonomik olarak diğerinden ayırma güçlüğüdür. Örneğin, kağıt/plastik, kağıt/yağ ve demir/kalay'dan kolaylıkla ayrılamaz.

Evsel atıklardaki kullanılabilir maddelerin geri kazanımında başvurulan sadece tek bir metot yoktur. Proses, atığın bileşenlerinin özelliklerine ve diğer şartlara uygun olarak dizayn edilmelidir. Atığın miktarı, boşaltılacağı alanın genişliği, geri kazanılan maddelere olan talep, yerel yönetimler üzerindeki baskılar gibi koşullar yöntemin seçimini etkilemektedir. Bu koşullara bağlı olarak atık geri kazanım prosesinde hazırlanabilir, ısı elde etmek amacı ile yakılabilir veya zirai amaç için paketlenir. Bazan tek, bazanda birden fazla ürünün kazanılması amaçlanabilir. Bundan kazanılan kağıt ve demir türü metaller genellikle yeterli özelliklerde değildir, bu nedenle üretim sürekli olma yerine kesik kesik planlanabilir.

Günümüzdeki bu alanda yapılan birçok araştırmanın amacı bu olumsuzlukları gidermek ve mümkün olduğu kadar fazla, ticari spesifikasyonlara uygun çeşitli ürünün kazanılmasını sağlamaktır. Bu amaçlara ulaşıldığında belirli bileşenler için ürünlerin alınabileceği optimum proses devrelerinin dizaynı sağlanabilecektir. Örneğin, kağıt, inşaat malzemesi veya yakıt hammaddesi olarak kazanılabilir. Alternatif olarak hayvan yemine dönüştürülebilir. Ancak, tabii ki karmaşık sistemler yerine en basit ve en ekonomik ayırma yöntemleri seçilmelidir.

4. TESİSİN SEÇİMİ

Tesis seçiminde yukarıdaki belirtilenler ve diğer şartlar detaylı bir şekilde gözden geçirilmelidir. Örneğin kuru ve yağ hazırlama sistemleri belirli şartlarda birbirlerine alternatif olabilirler. Genel olarak, üretilen eşit miktardaki ürün için kuru ayırma devreleri yağ devrelere kıyasla bazı avantajlara sahiptir. Bu avantajlar:

1. Kullanılan aletler daha az ilk yatırım masrafına sahiptir. Örneğin, kuru yöntem sonucu toz tutma ve gaz temizleme işleminde kullanılan aletlerin ilk yatırımı yağ hazırlama yönteminde gerekli olan susuzlandırma ve atık suların temizlenmesinde kullanılan aletlerin ilk yatırımından daha ucuzdur (2).

2. Kuru sistemden elde edilen nihai ürünün kalorifik değeri yağ sistemde elde edileninkinden daha yüksek olacaktır. Aynı malzeme için kurutma işleminde ek enerji

tüketimi söz konusu olabilecektir.

3. Atıktaki kağıtların başarılı bir şekilde kazanılabilmesi için yaş uygulamada seçimliliğin sağlanabilmesi amaçlandığında düşük katı yoğunluğu gerekmektedir. Bu ise; daha çok pompalama ve boru ile pülp nakliyatını gerektirmektedir. Diğer taraftan yaş hazırlama yöntemleri kimyasalların atık suların ve minerallerin hazırlanmasında sıkça kullanılmaktadır. Yaş sistemle hazırlama yönteminde konvansiyonel depolama ve pompa sistemleri kullanılarak daha kolay depolama ve besleme sağlanabilir.

4. Kuru yöntem sonucu elde edilen nihai ürünün dolgu olarak çevre düzenlemesinde kullanılması aşamasında karşılaşılan çevre problemleri yaş sistemle hazırlanana oranla daha az olacaktır.

5. HAZIRLAMA DEVRELERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Eysel atıktaki yeniden kullanılabilir maddenin ekonomik olarak ayırılabilmesi için devre dizaynındaki gereksinimler:

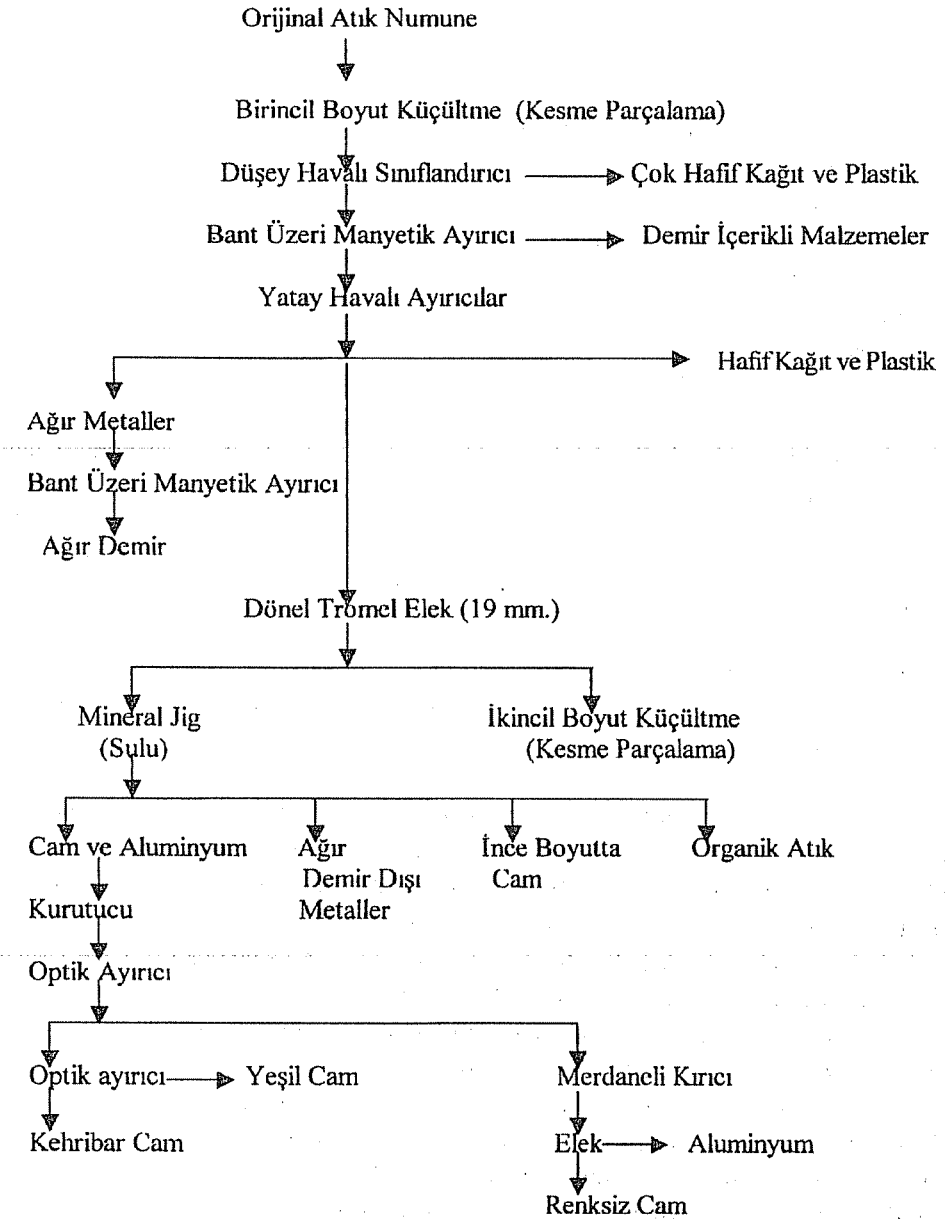
1. Birçok durumda orijinal atık malzeme numunesi kağıt veya plastik poşet içinde toplanmış olurlar. Ayrım işlemi için bileşenlerin ilk işlem olarak serbestleştirilmesi gerekmektedir.

2. Ayırma ortamı (su veya hava) doğru seçilmelidir. Hava ile ayırmanın avantajlarının yanında dezavantajları da vardır. Sağlanacak hava için gerekli sistemlerin maliyeti atmosfere karışma noktasında havanın temizleme güçlüğü maliyeti artırmaktadır. Bu nedenle hava ile ayırma belirli bileşene sahip atık malzeme dışında yaygın olarak kullanılmamaktadır.

3. Çekiçli değirmen ile boyut küçültme işlemi parça serbestleşmesini ve parçacıkların akışkanlığını sağlamasına karşın (Ör. metal kapaklar cam şişeden) bundan sonra gelecek temizleme işlemlerinde problemlere neden olabilir. Tozların oluşmasına, kir ve yağların diğer bileşenlere yayılmasına neden olabilir. Kağıt endüstrisinde, bu ürün kağıt üretiminde ve yakıt olarak kullanılacaksa değerini düşürebilmektedir (3). Cam şişeler çok ince boyutlara kırılacağı için diğer ürünler ile ayırımı güçleşebilir. Diğer taraftan metal meşrubat kutuları parçalanmadan ezilip yuvarlatılacağı için ayırımı güçleşebilir. Keserek parçalama ile boyut küçültme sistemleri ise ancak belirli bir grup malzeme için uygun olabilir. Örneğin, lastik ve türevi malzemeler için. Bu nedenlerle boyut küçültme işleminde bu hususlar, daha prosesi seçmeden dikkate alınmalıdır (2).

4. Oluşturulacak devre bir bütün olarak ele alındığında işlenen malzemenin düşük değerli bir malzeme olduğu bilinmeli ve ilk yatırım ve işletme masrafı düşük olabilecek devre oluşturulmalıdır.

Proses akım devresi oluşturulurken malzemenin bileşenlerine uygun ayırma ortamı seçildikten sonra, tane serbestleşmesi için boyut küçültme ve bileşenlerin ayrılmasını sağlamak gerekir. Mümkün akım şeması Şekil 1' de görülmektedir (3).



Şekil 1. Basitleştirilmiş Mümkün Geri Kazanım Akım Şeması (US Bureau of Mines) (3).

6. KAZANILMIŞ MALZEMELER İÇİN MÜMKÜN TÜKETİM ALANLARI

Evsel atık hazırlama teknolojisine dayalı bir büyük ölçekli tesisin başarısının derecesi kazanılmış malzemelerin satılabilme veya yeniden kullanılabilme oranı ile ölçülebilmektedir. Karışık bileşime sahip evsel atıklardan kazanılmış malzemeler için en yaygın ve en oturmuş pazar demir cevheri konsantresi tüketen endüstri kuruluşlarıdır. Evsel atığın kompozisyonu ve o kompozisyondaki bileşenlerin %' leri değiştiği için elde edilen ürünlerin %' leride değişebilmektedir. Türkiye'de seçilmiş il merkezlerinin katı atık kompozisyonları Çizelge 2' de görülmektedir.

Çizelge 2. Türkiye'de seçilmiş il merkezlerinin katı atık kompozisyonları
(Aralık, 1993) (3).

İller	Geri Kazanılabilir Maddelerin Miktarları (%)						
	Kağıt	Metal	Cam	Plastik, Naylon	Pet şişe, PVC	Lastik, Kauçuk	Artık Tekstil
Adana	38.24	10.33	23.07	12.21	4.77	4.42	6.76
Ankara	51.72	8.84	16.41	10.45	14.69	5.19	1.86
Diyarbakır	21.41	8.65	29.06	11.12	7.06	10.37	5.50
İstanbul	45.91	10.89	15.70	13.12	7.40	2.00	4.38
İzmir	43.02	7.20	23.65	14.40	4.59	1.26	5.76
Samsun	29.23	10.48	31.22	17.18	5.19	---	4.57

Band üzeri manyetik ayırıcı ve gravite yöntemi sonucu elde edilen ürünlerdeki meşrubat kutularından gelen kalay içeriği ürünün demir-çelik üretiminde kullanılmasına engel teşkil etmektedir. Çünkü kalay, demir-çeliğin basma dayanımını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle bazı gelişmiş ülkelerde (Ör. İngiltere gibi) meşrubat kutuları evsel atıklardan ayrı ürün olarak kazanılmaktadır (4). Bu ülkelerde metal meşrubat kutularındaki tüketilen toplam miktarın belirli bir %' si geri kazanılan ürünlerden oluşmaktadır.

Evsel atıklardan kazanılan kağıtların büyük bir kısmı kirli olduğu için kağıt üretiminde direkt tüketilmemektedir. Ancak kağıt ve selüloz sanayiine bağlı endüstri kollarında tüketilebilmektedir. Bir kısmı da yakılarak ısı temininde kullanılmaktadır. Toplanan karton içecek kutusu atıkları, İstanbul'da 500ton/yıl kapasiteli geri kazanım tesisinde yıkama, kurutma, kesme ve presleme işlemlerinden geçirilerek, inşaat ve mobilya sektöründe kullanılabilen sunta benzeri levhalar haline getirilmektedir (5).

Cam endüstrisinde, geri kazanılmış camı kullanırken manyetik, organik ve diğer elementlerin maksimum limitlerini belirlerken renkli camların oranının da belirli sınırlarda olması gerekmektedir. Bu nedenle cam ürün karışık olarak kazanıldıktan sonra belirli boyut aralığına hazırlanmakta ve renk ayırıcılarla beyaz cam kullanımdan önce renkli camdan ayrılması gerekmektedir. Başlangıçtaki ve ileri aşamalardaki boyut

küçültme işlemlerinden dolayı oluşan çok ince boyuttaki cam tanecikleri (Ör. -0,5 mm gibi) flotasyon yöntemi ile kazanılabilir. Atıklardan kazanılan cam kanalizasyon ve atık su borularının imalatında ve tuğla yapımında kullanılabilir.

Temiz ve birincil kaynaklı plastik madde fiyatlarının yüksek oluşu, ikincil kaynaktan elde edilen plastik malzemelerin yeniden kullanılabilmesini sağlamaktadır. Türkiye gibi gelişmekte olan pek çok ülkede evsel atıklardan elde edilen kullanılabilir ürünlerin endüstriyel tesis anlamında kurulu işletmelerden kazanılması henüz yaygın değildir. Ancak, Türkiye'de bazı şirketler tarafından oluşturulan organizasyon ile, bazı maddeler hemen kaynağında ayrılıp toplama merkezlerine ulaştırılmaktadır. Buradan, bu maddelerin yeniden işlenebileceği tesise girdi olarak kabulü sağlanmaktadır. Toplanan atık PET'lerin değerlendirilmesi için SASA, Adana'da 9000ton/yıl kapasiteli bir geri kazanım tesisi kurmuş olup, tesiste 1994 yılından beri elyaf üretimi devam etmektedir. Toplama merkezlerine ulaştırılan plastik türü malzemeler eritilerek granül yapılmak sureti ile hammadde haline getirilmektedir. Orijinal hammaddeye göre oldukça ekonomik olan granüller, orijinal hammaddeye belirli oranlarda karıştırılarak ev eşyası, şişe yapımı, tükenmez kalem, otomotiv yan sanayi ürünleri gibi alanlarda tüketilmektedir. Önce kırılarak ve öğütülerek mikronize hale getirilen PVC şişe atıkları özellikle yer karosu (marley), elektrik borusu, köşebent, bazı inşaat malzemeleri yapımında kullanılmaktadır (5).

Tekstilce zengin ürün, diğer kuru organik maddelerle birlikte yakılmak suretiyle ısısından yararlanmak, henüz en uygun tüketim şeklidir.

7. ATIĞIN MALİYETİNİN BELİRLENMESİ

Evsel atığın ortalama değeri aşağıdaki formül ile belirlenebilmektedir.

$$M = \sum M_i \cdot T_i / \sum T_i \quad (6)$$

Burada;

M: Genel ortalama maliyet

M_i: Evsel atığın değerlendirilmesinde her bir seçenek için (ör. ayırma) ortalama maliyet değeri

T_i: Her bir seçenek için (ör. ayırma) değerlendirilen tonaj (miktar)

Seçenekler :

- . Arazi dolgusu
- . Kesme parçalama
- . Kesme parçalama ve arazi dolgusu
- . Ayırma
- . Yakma
- . Ayırma ve yakma

. Compostlama

8. GELECEKTE SEÇENEKLERİ ETKİLEYECEK FAKTÖRLER

Doğal kaynakların hızla tükenmesinden kaynaklanan baskı, malzeme temini ve hazırlama ile ilgili olarak çözüm üretmek isteyenlerin, evsel atıkların değerlendirilmesi söz konusu olduğunda arazi dolgusu veya yakılarak enerji temini yerine bazı malzemelerin geri kazanım temelinde düşünmelerine neden olmaktadır ve olacaktır. Şu an gelişmiş birçok ülkede ve gelecekte gelişmekte olan ülkelerde evsel atıklardaki yeniden kullanılabilir maddelerin kazanımı öncelikle düşünülecektir. Gerekli ekonomik ve teknolojik güce ulaşamamış ülkeler ve sorunun ilk sahibi yerel yönetimler bu kaynağı arazi dolgusunda kullanabilmektedir. Ekonomik olarak, 1 ton atıktan kazanılarak satıştan elde edilen gelirin yapılan masrafı karşılama oranı bu sektör için de önemli bir faktördür.

Atıktan kullanılabilir maddelerin geri kazanımı için bir tesisin dizayn edilebilmesi için önce laboratuvar ölçeğinde yapılan çalışmalardan pozitif sonuçlar alınabilmelidir. Burada elde edilen sonuçlar ise atık malzemenin kompozisyonu ile yakından ilgilidir. İkincil maddeleri üreten endüstriler oldukça rekabetçidir. Bu demektir ki maliyeti etkileyecek en küçük teknik veya organizasyon hatası, sonucu çok etkileyecektir. Bu tür kaynakların kontrolü genellikle yerel yönetimlere aittir. Bu nedenle yönetimlerin yaklaşımı, öncelikleri ve kamuya verdiği önem, teknolojinin gelişmesine etken olacaktır. Geri kazanım işlemi saf ekonomik, endüstrinin genişlemesi ve saf çevre temizliği olarak düşünülebilir.

Gelecekte insanların kültür düzeyi ile ilgili olarak muhtemelen atıkta %60'a yakın kağıt olacaktır. Diğer taraftan plastik, cam ve metal türlerinin %'leri de artacaktır. Kurulacak teknolojiler atığın kompozisyonuna bağlı olduğu için ayırım için gerekli prosesler çok uzun zamanda gelişecektir. İşlemin ekonomikliği değerlendirilirken arazi dolgusu olarak kullanıldığı takdirde ton başına maliyet, her zaman önemli karşılaştırma kriteri olacaktır.

9. SONUÇLAR

- a. Büyük miktarlardaki evsel atıktan yeniden kullanılabilir maddelerin kazanılması için dizayn edilecek hazırlama sistemi etken ve düşük maliyetli olmalıdır.
- b. İlk aşamadaki keserek parçalama-boyut küçültme ve çekiçli değirmenden geçirmeden önce cam, kağıt ve meşrubat kutularının şekil değiştirmeden ayrılması hazırlama masraflarını azaltabilecektir.
- c. Ton başına maliyet, geri kazanım için teknoloji belirlerken etken faktördür. Ancak seçilecek ayırma prosesi, atık malzemenin kompozisyonuna direkt bağlıdır.
- d. Evsel atıklardan kazanılabilen malzemeler şu anda endüstride birçok alanda yeniden kullanılmaktadır. Konunun öneminin yeterince kabul görmesi halinde, hem

yeni hammaddeler kullanım alanlarına verilecektir, hem de birçok yerleşim birimi için, çevre için olumsuzluk yaratan atıklar ortadan sistemli ve düzenli bir şekilde kaldırılabilir.

e. Bu tür atıklardan, ısı değeri düşük yakıt, demir türü maddeler, kağıtça zengin ürün, cam içeriği fazla ürün ve demir dışı metaller içeren ürün kazanmak mümkündür. Ancak uygulamada, tüketimi sırasında daha önce belirtilen olumsuzlukları üretim aşamasında gidermek amacı ile çalışmalar yapılmalıdır.

10. KAYNAKLAR

1. Rosegger, J., "How Separation Produces More: Latest Standards and Developments in Recycling Waste Glass and Plastics", *WMR International*, pp 26-29, 1995.
2. Porteus, A., "Towards a Profitable Means of Municipal Refuse Disposal", *American Society of Mechanical Eng., Annual Conference, Paper 67, WA/PID-2, Pittsburgh, 1967.*
3. Bostancı, O., "Adana Kenti Katı Atık Potansiyelinin Belirlenmesi", *Bitirme Ödevi, Ç.Ü.Müh. Mim. Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, Adana, 1997.*
4. Cooper, J., "The Economics of Recycling", *Waste Management and Recycling International*, pp.161-165, 1994.
5. Ağırğün, S., "Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği", *T.C. Çevre Bakanlığı Tüketici Bülteni, No. 105, s.4-8, 1997.*
6. Pearce, D., "The Economics of Waste Disposal in the U. K.", *Resources Policy*, pp. 247-255, December 1976.

DYNAMIC PROGRAMMING FORMULATION OF N-JOB M-STAGE FLOWSHOP SEQUENCING PROBLEM AND AN APPLICATION TO AN INDUSTRY

A.İhsan SÖNMEZ ve Adil BAYKASOĞLU

G.Ü., Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gaziantep/Türkiye

Rızyan EROL

Ç.Ü., Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ABSTRACT : *In this study, a dynamic programming formulation is introduced for optimal solution of the deterministic sequencing of n jobs on m machines in a flowshop environment. Furthermore, an application of the developed formulation to a steel pipe manufacturing factory is presented. The formulation of the problem takes into consideration the following assumptions: (1) jobs go through the same sequence of operations; (2) each job requires setup time at each stage and setup times are sequence-dependent. The objective function of the proposed dynamic programming model is to minimise the total tardiness of the schedule.*

N-İŞ VE M-SAFHALI AKIŞ TİPİ ÜRETİM SİSTEMLERİNDE SIRALAMA PROBLEMİNİN DİNAMİK PROGRAMLAMA İLE FORMÜLASYONU VE ENDÜSTRİYEL BİR UYGULAMASI

ÖZET : *Bu çalışmada, akış tipi üretim ortamında n tane işin m tane makinada optimum olarak sıralanması problemi için bir dinamik programlama formülasyonu geliştirilmiştir. Ayrıca, geliştirilen formülasyonun çelik boru üreten bir fabrikadaki uygulama sonuçları da sunulmuştur. Formülasyonda şu faktörler göz önüne alınmıştır: (1) işlerin sırası bütün safhalarda aynıdır; (2) her iş için her safhada hazırlık süresi söz konusu olup ve hazırlık süreleri iş sırasına bağlıdır. Geliştirilen dinamik programlama modelinin amaç fonksiyonu çizelgenin toplam pozitif gecikmesinin en küçüklenmesidir.*

1. INTRODUCTION

The sequencing problem studied in this paper is concerned with minimising the total tardiness in a $(n \times m)$ flowshop sequencing problem. In the formulation of the problem, it is assumed that the order of jobs in all machines are identical; each machine can process only one job at a time; each job requires setups at each stage and setup times are sequence-dependent.

In today's global manufacturing environment meeting due dates is a very important competitive factor. Failure to meet due dates results in loss of customers and eventual loss of market share. For these reasons, tardiness is more meaningful measure of effectiveness than makespan in such circumstances. Both analytical and heuristic approaches to the minimisation of the total tardiness in a flow shop are far from satisfactory due to inherent computational complexity in this problem. Consequently, there exists neither a universally accepted heuristic nor an analytical algorithm for solving this tardiness problem (1).

An extensive literature survey reveals that there is a considerable amount of published work on the subject of sequencing in general; however, there is little work done on the sequencing problem mentioned in this paper. P. Vachajitpan (2) introduces a computer program that uses graphical techniques to generate feasible solutions of $(n \times m)$ job sequencing problem in flow shops. The objective in this work is minimisation of makespan without setup times. M. Ozden et al. (3) study job scheduling in a group technology environment for a single facility. Kusiak et al. (4) develops a mixed integer programming formulation of flexible single forging machine scheduling problem. K.R. Baker (5) introduces an algorithm to solve a single machine sequencing problem. He considers due dates but ignores setup times. U. G. Rothblum et al. (6) develops a dynamic programming formulation for a two-stage flowshop production sequencing problem with setup times. In their formulation they consider makespan as criterion. Salen and Hott (7) introduce a mixed integer goal programming model for $(n \times m)$ flowshop by using minimum flow time as performance measure. Emmons (8, 9) develops a branch and bound formulation for the solution of single machine sequencing problems with measures of effectiveness being the mean flow time and the maximum penalty due to job tardiness. Ignizo (10) studies job sequencing in single stage production environments by considering minimum completion time as the performance criterion. Sen and Gupta (11) develop a branch and bound formulation for a single machine sequencing problem where flow time and tardiness are performance measures. And last but not the least, Miyazaki (12) develops a heuristic model for solving single machine sequencing problems.

2. FORMULATION OF N-PRODUCT MULTI-STAGE FLOWSHOP PROBLEM

A dynamic programming formulation is developed to solve the job sequencing

problem in n-job, m-machine flowshops with due date constraints and sequence-dependent setup times. The following assumptions are made during the formulation of the problem: (1) a set of n multi operation jobs are available for processing at time zero; (2) setup times at machines are sequence-dependent; (3) job descriptors are known in advance; and (4) impact of machine failures is negligible. The notation used in this paper is summarised as follows:

- C_{jm} : completion time of job j on machine m
- S_{ijm} : setup time for job j immediately following job i on machine m
- t_{jm} : processing time of job j on machine m
- D_{jm} : slack time on machine m for job j
- T_j : tardiness of job j
- w_j : weighting coefficient of job j
- d_j : due date of job j
- J : subset of $N = \{1, 2, \dots, n\}$
- I : complementary set of J

Dynamic programming formulation is explained in steps as the following:
At first, the completion time of job j on machine 1 is calculated as

$$C_{j1} = C_{i1} + S_{ij1} + t_{j1} \tag{1}$$

Completion time of job j at machine $m=2, 3, \dots, k$ can be found from

$$C_{jm} = C_{j(m-1)} + t_{jm} + D_{jm} \quad \text{if } D_{jm} \geq 0 \tag{2}$$

$$C_{jm} = C_{j(m-1)} + t_{jm} \quad \text{if } D_{jm} < 0 \tag{3}$$

Slack time on machine m for job j is obtained as

$$D_{jm} = \left[C_{im} - C_{i(m-1)} + S_{ijm} - S_{ij(m-1)} - t_{i(m-1)} + (D_{j(m-1)})^- \right] \tag{4}$$

In equation 4, $(D_{j(m-1)})^-$ is the negative component of $D_{j(m-1)}$, $D_{j1}=0$, and if $i=0$ then $C_{im}=t_{im}=0$.

Recursive relation is the minimisation of the total tardiness and it is expressed in the following equation:

$$G(J) = \min_{j \in J} \{ T_j + G(J - \{j\}) \} \tag{5}$$

In equation 5, $G(\emptyset) = 0$, total tardiness can be found from

$$T_j = \begin{cases} w_j * (C_j - d_j) & \text{if } C_j > d_j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

In the case of a 4-job 5-machine flowshop sequencing problem, algorithmic computations for the data set presented in Table 1 are illustrated in Table 2.

Table 1. Processing Times, Due Dates, Weighting Coefficients and Setup Times of Jobs.

t_{jm}						d_j, w_j			S_{ij1}					S_{ij2}				
j/m	1	2	3	4	5	j	d_j	w_j	i/j	1	2	3	4	i/j	1	2	3	4
1	2	4	3	1	5	1	25	1	1	---	2	6	3	1	---	3	2	2
2	5	6	4	2	3	2	23	1	2	1	---	5	2	2	4	---	1	3
3	3	2	5	6	4	3	32	1	3	3	1	---	4	3	1	---	4	---
4	4	3	2	5	2	4	38	1	4	2	3	1	---	4	3	4	2	---

S_{ij3}					S_{ij4}					S_{ij5}				
i/j	1	2	3	4	i/j	1	2	3	4	i/j	1	2	3	4
1	---	3	4	2	1	---	4	3	2	1	---	1	4	2
2	2	---	3	1	2	3	---	2	1	2	2	---	3	1
3	2	3	---	4	3	2	1	---	4	3	3	2	---	4
4	1	2	3	---	4	4	3	2	---	4	1	3	4	---

Table 2. Dynamic Programming Calculations for 4 × 5 Flowshop Sequencing Problem.

Stage-1				
J	{1}	{2}	{3}	{4}
1	{2,3,4}	{1,3,4}	{1,2,4}	{1,2,3}
$j \in J$	1 1 1 1 1*	2 2 2* 2 2 2	3 3 3 3 3* 3	4 4* 4* 4* 4 4
$i \in I$	2 2 3 3 4 4	1 1 3 3 4 4	1 1 2 2 4 4	1 1 2 2 3 3
C_j	42 39 45 48 48 38	39 39 37 41 42 38	46 48 45 45 41 44	45 37 38 36 44 48
T_j	17 14 20 23 23 13	16 16 14 18 19 15	14 16 13 13 9 12	7 0 0 0 6 10
$G(J-\{j\})$	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0
$G(J)$	17 14 20 23 23 13	16 16 14 18 19 15	14 16 13 13 9 12	7 0 0 0 6 10

Stage-2						
J	{1,2}	{1,3}	{1,4}	{2,3}	{2,4}	{3,4}
1	{3,4}	{2,4}	{2,3}	{1,4}	{1,3}	{1,2}
$j \in J$	1 1 2* 2	1 1* 3 3*	1* 1 4 4	2 2 3* 3	2* 2 4 4	3 3* 4 4
$i \in I$	3 4 3 4	2 4 2 4	2 3 2 3	1 4 1 4	1 3 1 3	1 2 1 2
C_j	35 35 32 34	35 34 40 37	32 41 30 39	32 32 32 36	32 33 32 35	41 37 33 30
T_j	10 10 9 11	10 9 8 5	7 16 0 2	9 9 0 4	9 10 0 0	9 5 0 0
$G(J-\{j\})$	14 14 13 13	9 9 13 13	0 0 13 13	9 9 14 14	0 0 14 14	0 0 9 9
$G(J)$	24 24 22 24	19 18 21 18	7 16 13 15	18 18 14 18	9 10 14 14	9 5 9 9

Stage-3

<i>J</i>	{1,2,3}	{1,2,4}	{1,3,4}	{2,3,4}
<i>I</i>	{4}	{3}	{2}	{1}
<i>j</i> ∈ <i>J</i>	1* 2 3	1 2* 4	1* 3 4	2* 3 4
<i>i</i> ∈ <i>I</i>	4 4 4	3 3 3	2 2 2	1 1 1
<i>C_j</i>	24 27 27	28 25 27	28 33 26	24 28 21
<i>T_j</i>	0 4 0	3 2 0	3 1 0	1 0 0
<i>G(J-j)</i>	14 18 22	9 7 22	5 13 18	5 9 14
<i>G(J)</i>	14 22 22	12 9 22	8 14 18	6 9 14

Stage-3

<i>J</i>	{1,2,3,4}
<i>I</i>	{0}
<i>j</i> ∈ <i>J</i>	1* 2 3 4
<i>i</i> ∈ <i>I</i>	0 0 0 0
<i>C_j</i>	15 20 20 16
<i>T_j</i>	0 0 0 0
<i>G(J-j)</i>	6 8 9 14
<i>G(J)</i>	6 8 9 14

As seen from previous tables, at stage 4, job 1 should come first in set *J*, the remaining jobs are {2,3,4}. At stage 3, job 2 should be the next job in the sequence, so the remaining jobs are {3,4}. At stage 2, job 3 should come next in the sequence. Finally, the optimum sequence is {1 → 2 → 3 → 4} with a total tardiness of 6.

3. APPLICATION IN A STEEL PIPE MANUFACTURING FACTORY

The developed formulation is implemented in a steel pipe manufacturing company to demonstrate its usefulness. This factory has a manufacturing line as illustrated in Figure 1. The factory produces pipes with different sizes and shapes. The setups take a considerable amount of time due to significant retooling and reconfiguration requirements and depend on the sequence of pipe types produced. For instance, the forming and the sizing mills must be resetup for the next job. These long setup times are the main cause of not meeting due dates of orders. Table 3 summarizes the data collected in the factory.

The manufacturing line capacities for the pipe sizes are: 60 m/min for (25*25) square pipe, 55 m/min for (30*20) pipe, 50 m/min for (40*20) pipe, 45 m/min for (50*30) pipe and 35 m/min for (60*40) pipe. Total production times for pipe types are shown in Table 4.

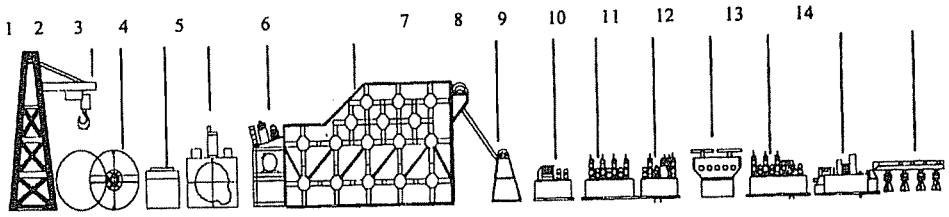


Figure 1. Schematic Representation of Steel Pipe and Profile Manufacturing Line: 1) Jip crane, 2) Un-coiler, 3) Welding table, 4) Hoop and shear, 5) Hoop feedroll equipment, 6) Hoop cage, 7) Guide roll, 8) Starting table, 9) Forming mill, 10) Welding equipment, 11) Pipe cooling device, 12) Sizing mill, 13) Flying cut-off saw machine, 14) Run-out table.

Table 3. Demand for Pipes with Different Due Dates and Weighting Coefficients.

<i>Sizes (mm*mm)</i>	<i>Demands (number of pipes, a standard pipe=6m)</i>	<i>Due dates (1 day =1440 min.)</i>	<i>Weights</i>
25*25	60000 m	5760 min.	1
30*20	48000 m	2280 min.	1
40*20	43200 m	4320 min.	1
50*30	36000 m	4320 min.	1
60*40	21000 m	1440 min.	1

Table 4. Production Times of Pipes. (In pipe production, the production is not stopped until the entire lot is manufactured.)

<i>Size (mm*mm)</i>	<i>Production time (min.)</i>
25*25	1000
30*20	873
40*20	864
50*30	800
60*40	600

Table 5. Setup time matrix (in minutes)

	25*25	30*20	40*20	50*30	60*40
25*25	***	180	190	240	300
30*20	140	***	210	260	320
40*20	170	190	***	270	325
50*30	180	200	230	***	330
60*40	190	210	235	285	***

The developed dynamic programming yields the following optimal sequence:

(60*40) - (30*20) - (50*30) - (40*20) - (25*25)

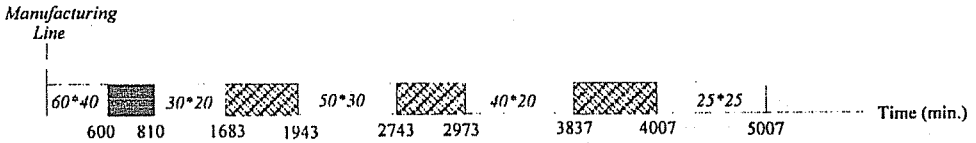


Figure 2. Gantt Chart of Optimum Sequence (Completion Time=5007, Total Tardiness=0).

4. CONCLUSIONS

A dynamic programming formulation for job sequencing problem of n-job, m-machine flowshop with due date constraints and sequence-dependent setups is introduced in this study. In some industries such as textile, paint, steel or plastic pipe manufacturing setups take considerably amount of time and they are commonly dependent on the sequence of jobs to be processed. Furthermore, meeting due dates is an important factor in today's time-based competition. Although there is a vast published literature on the subject of job sequencing in flowshops in general, most studies focus on minimising makespan rather than minimising the total tardiness of the production schedule. Successful application of the developed algorithm to a steel pipe and profile manufacturing company has resulted in a significant increase on the performance of the facility to meet due dates.

5. REFERENCES

1. Yang, T., HE, Z., and Cho, K.K., "An Effective Heuristic Method for Generalized Job Shop Scheduling with Due Dates", *Comput & Indus. Engng*, 26, 647-660, 1994.
2. Vachajitpan, P., "A Computer Program for Solving Job Sequencing Problems", *Comput & Indus. Engng*, 7, 173-185, 1983.
3. Özden, M., Egbelu, P.J. and Iyer, A.V., "Job Scheduling in a Group Technology Environment for a Single Facility", *Comput & Indus. Engng*, 9, 67-72, 1985.
4. Kusiak et al., "Modelling and Solving the Flexible Forging Module Scheduling Problem", *Engineering Optimization*, 12, 1-12, 1987.
5. Baker, K.R., "Introduction to Sequencing and Scheduling", Wiley, New York, 1974.
6. Rothblum, U.G., "A Dynamic Programming Formulation of a Production Sequencing Problem", *Comput & Indus. Engng*, 7, 69-75, 1983.
7. Salen et al., "A Mixed Integer Goal Programming Formulation of the Standard Flow-Shop Scheduling Problem", *J. Oper. Res. Soc.*, 37, 1121-1128, 1986.
8. Enmons, H., "One Machine Sequencing to Minimize Mean Flow Time with Minimum Number of Tardy", *Naval Res. Log. Quarterly*, 22, 585-592, 1975.
9. Enmons, H., "A Note on a Scheduling Problem with Dual Criteria", *Naval Res. Log. Quarterly*, 22, 615-616, 1975.

10. Ignizio et al., "A Generalized Goal Programming Approach to the Minimal Interference", *Multi Criteria Nxl Scheduling Problems, IEE Transactions*, 16, 316-322, 1984.
11. Sen, T., Gupta, S.K., "A Branch and Bound Procedure to Solve Bicriterion Scheduling Problems", *IEE Transactions*, 15, 84-88, 1983.
12. Miyazaki, S., "One Machine Scheduling Problem with Dual Criteria", *J. Operations Research Society Japan*, 24, 37, 1981.

İÇME SUYU ARITMA TESİSLERİ ATIK ÇAMURLARININ YAĞ ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ARITIMINDA KOAGÜLANT OLARAK KULLANIMI

Ahmet YÜCEER, Mesut BAŞIBÜYÜK ve Turan YILMAZ

Ç.Ü., Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET: Bu çalışmada içme suyu arıtma tesislerinde koagülasyon-flokülasyon işlemlerinden sonra ortaya çıkan atık çamurların yağ endüstrisinden kaynaklanan atıksuların arıtımında koagülant olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla auksuya ilave edilecek olan optimum atık çamur dozu ve pH değeri, KOİ, yağ-gres ve AKM giderimi açısından incelenmiş ve 3960 mg/L çamur dozunda ve pH 5 de %95.9 KOİ, %76.9 yağ-gres, ve %99.7 AKM giderimi sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar aynı sektöre ait atıksuların arıtımında başvurulan demir klorür, alum ve kireç gibi klasik koagülant verimleri ile karşılaştırılmış ve buna göre arıtma çamurlarının klasik koagülantlarla benzer verimi sağladığı görülmüştür.

THE USE OF WASTE SLUDGE GENERATED FROM WATER TREATMENT AS A COAGULANT FOR THE TREATMENT OF VEGETABLE OIL WASTEWATER

ABSTRACT : The use of waste sludge generated from potable water treatment plant has been investigated for the treatment of vegetable oil refining wastewaters as coagulant. For this purpose, the optimum dosage and pH have been investigated for the removal of COD, SS, and oil and grease. Under the condition of 3960 mg/L waste sludge dosage and pH 5, %95.9 COD, %76.9 oil and grease, and %99.7 SS removals were obtained. Results were compared with other coagulants like FeCl₃, lime and alum where applied widely for the particular wastewater. From the results, it was concluded that waste sludge can be used successfully as a coagulant for the treatment of vegetable oil wastewater.

* Bu proje Ç.Ü. Rektörlüğü Araştırma Fonu tarafından FBE.98.84 nolu proje ile desteklenmiştir

1. GİRİŞ

Endüstriyel gelişme ve yaygınlaşan sanayi kuruluşları endüstriyel kirlenme problemini de beraberinde getirmektedir. Endüstriyel kuruluşlardan üretim sonucu olarak meydana gelen ve değerlendirilemeyen çıktılar endüstriyel atıkları ve bunların çevredeki etkileri de endüstriyel kirlenmeyi oluşturur.

Yağ endüstrisinden kaynaklanan atıksuların arıtımında deşarj standartlarında dikkate alınan çeşitli parametreler Türk Çevre Mevzuatında Tablo 5.4 de verilmiştir. Bu sektörden kaynaklanan atıksuların deşarj standartlarını sağlamak için dikkate alınması gereken parametreler KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) yağ-gres ve pH dır (1). Bitkisel yağ endüstrisi atıksularında en önemli kirletici parametre yağ-gresdir. Yağ-gres atıksuda büyük oranda emülsiyon halinde bulunmaktadır. Bu endüstrinin atıksuları için konvansiyonel arıtma fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerle birlikte mekanik çamur yoğunlaştırma işleminden oluşan bir kombinasyondur (2). Yağ-gres özellikle aerobik biyolojik arıtma sistemlerinde biyolojik parçalanmaya karşı çok dirençli olmasından ve bu tür sistemlerde ki aktif biyokütle floklarının oksijen alımını engellemesinden dolayı biyolojik arıtmaya girmeden önce atıksudan yağ-gresin uzaklaştırılması gerekmektedir (3). Atıksuda bulunan serbest yağlar basit yağ tutucularla kolayca uzaklaştırılabilirler. Ancak emülsiyon halinde bulunan yağların giderilmesi, flotasyon veya koagülasyon-flokülasyon gibi işlemlerin uygulanmasını gerektirir. Atıksuyun yağ-gres ve AKM (askıda katı madde) miktarlarına göre bu yöntemlerden biri uygulanabilir. Yüksek yağ-gres, düşük AKM oranında koagülasyon, veya bunun tersi söz konusu olduğunda flotasyon uygulanabilir (4).

İçme suyu arıtımında, özellikle yüzeysel su kaynaklarından temin edilen suların arıtımında kolloidal halde bulunan kil, silt ve partiküler organiklerin çöktürülmesinde koagülasyon temel bir prosedir. Koagülasyon elektriksel yük dengesini bozarak, kolloidal sistemin destabilizasyonu, çökelek içinde hapsedme, adsorblama ve çökelme sırasında sürüklenme gibi birden fazla mekanizmanın etken olduğu bir işlemdir. Bu amaçla alümin ve demir klorür en çok kullanılan koagülantlardır. Bu tür arıtma sistemlerinde oluşan atık çamurlar, kullanılan koagülantla birlikte giderilen kil, silt gibi maddelerin floklaşmış formları olup bu atık çamurların tekrar kullanılması mümkündür. Bu nedenle kil ile birlikte floklaşmış olan koagülantların tekrar koagülant olarak kullanımının araştırılması önem kazanmaktadır.

2. MATERYAL VE METOD

Deneysel çalışmalarda kullanılan atık çamur Adana Organize Sanayi Bölgesi içme ve Kullanma Suyu Arıtma Tesisinden elde edilmiştir. İçme suyu arıtma tesisi koagülasyon işleminde koagülant madde olarak 800 kg/gün demir üç klorür ($FeCl_3$) kullanılmaktadır. Deneysel çalışmalarda kullanılan yağ sanayiine ait atıksular bitkisel yağ üreten bir fabrikadan elde edilmiştir. Alınan numuneler aynı gün Ç.Ü. Müh. Mím. Fak. Çevre

Mühendisliği Bölümü laboratuvarına getirilerek atıksuların karakterizasyon çalışması yapılmıştır. Jar test deneyleri bu karakterizasyon çalışması yapılmış numunelerde gerçekleştirilerek KOİ, yağ-gres ve AKM gibi kirlilik parametrelerinin giderim verimi araştırılmıştır. Ayrıca ortamın pH'sının arıtma verimine etkisi de incelenmiştir. Tüm deneyler Standart Metotlara göre yapılmıştır (5).

Koagülasyon Flokülasyon Deneyleri

İçme suyu arıtma tesisinden çıkan atık çamurların endüstriyel atıksu arıtımında koagülant olarak etkinliğini belirlemek için laboratuvar ortamında hızı 0-120 Devir/dk arasında ayarlanabilen 6 pedallı jar test düzeneği kullanılmıştır. Jar test deneyleri, 900 ml atıksu numunesinin 1000 ml'lik 6 (altı) adet behere konulması ve jar test düzeneğine yerleştirilmesini takiben 2 dk süreyle 100 devir/dk hızda hızlı karıştırma, 30 dk süreyle 60 devir/dk hızda yavaş karıştırma ve oluşan flokların çökmesi için 30 dk süreyle çökeltme şeklinde yapılmıştır. Hızlı karıştırma sırasında, kullanılan arıtma çamuruna bağlı olarak her bir beherdeki çözeltinin pH'sı optimum şartlara göre ayarlanmıştır. Çökeltme sonunda beherlerin üst kısmından 300 ml numune sifonla alınmış ve önceden belirlenen parametrelerin analizleri yapılmıştır.

3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Yağ endüstrisine ait atıksuların fizikokimyasal arıtımı için kıyaslama yapmak amacıyla alümin, kireç ve demir klorür gibi klasik koagülantlar da atık çamura ilave olarak kullanılmış olup KOİ, AKM ve yağ gres giderimleri incelenmiştir. Bu amaçla deneylerde farklı periyotlarda alınan 3 adet kompozit yağ endüstrisi atıksuyu kullanılmıştır. Atıksu karakterizasyonunda KOİ, yağ-gres ve AKM ölçümleri yapılarak sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yağ endüstrisi atıksu özellikleri

Numune	I	II	III
pH	8.70	10.40	11.5
AKM (mg/L)	880	480	1186
KOİ (mg/L)	5720	2075	8350
Yağ-gres (mg/L)	608	506	1347

Hem klasik koagülantların ve hem de içme suyu atık çamurlarının kullanıldığı koagülasyon çalışmaları benzer çalışmalara uygun olarak aynı deneysel şartlar altında gerçekleştirilmiştir (4). Bu deneysel şartlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Jar test deneylerinin gerçekleştirildiği şartlar

Deney Şartları	
Hızlı karıştırma devri (devir/dk)	120
Hızlı karıştırma süresi (dk)	2
Yavaş karıştırma devri (devir/dk)	70
Yavaş karıştırma süresi (dk)	30
Çökelme süresi (dk)	30
pH	5

3.1. Atık Çamurun Koagülant Etkisi

İçme suyu arıtma tesisinden çıkan atık çamurların koagülant etkisini anlamak için içme suyu arıtma tesislerinde koloidal madde giderimine de bakmak gerekir. İçme suyu arıtma tesislerinde kendiliğinden çökelemeyen koloidal maddelerin giderilmesi amacıyla alum, demir klorür ve kireç yaygın olarak kullanılmaktadır. Atık çamurların alındığı içme suyu arıtma tesisinde koagülant olarak demir (III) klorür kullanılmaktadır. Demir (III) klorür sulu ortamda aşağıdaki şekilde hidroliz olur.

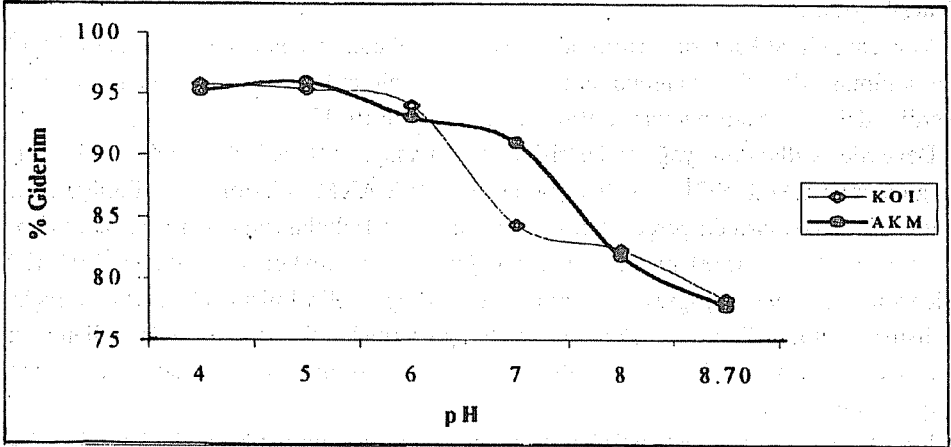


Ortamdaki metal tuzları hidroliz olurken pıhtılaşma işlemi gerçekleşir ve koloidal maddeler hidrate polimerik yapı içerisinde tutularak çöker. Pıhtılaşmanın tam olması koagülant dozuna ve ortamın pH'sına bağlıdır. Demir tuzları için koagülasyon pH 4 ile 10 arasında değişir. Bu tip pıhtılaştırma işleminde kolloidler hidrate yapı içerisinde tutulur. Atık çamurların alındığı içme suyu arıtma tesisi Ceyhan nehrinden su almaktadır. Nehir suyu bulanık olup, hali hazırda 10089 ton/gün sediment taşımakta olup, su ortamında bulunan koloidal formdaki kil bulanıklığın nedenlerindedir (6). Bu durumda içme suyu arıtma tesisinden çıkan atık çamur hem kil ve hem de pıhtılaşmış demir hidroksit bileşikleri içermektedir. Ma ve Pierre (7) yaptıkları çalışmada kilin demir klorür bileşikleriyle aynı ortamda koagülant etkisini göstermişlerdir. Buna göre kilin koagülant etkisi Derjaguin, Landau, Verwey, ve Overbeek (DLVO) teorisi ile ve difüzyon-sınırlı agregasyon (DLA) teorileri açıklanması mümkün olup, burada Fe^{+3} iyonları yalnızca kil parçacıklarının etrafındaki elektriksel çift tabakayı sıkıştıran zıt iyonlar olarak davranmakla kalmayıp aynı zamanda hidrolize uğrayarak Fe^{+3} 'ün hidroliz ürünlerini yukarıda açıklandığı şekilde oluşturmaktadır (7). Hidroliz ürünleri kil yüzeyinin elektriksel özelliklerini modifiye ederek süspansiyonlarda koagülasyon mekanizmasını harekete geçirmektedir. İçme suyu arıtma tesislerinin atık çamurlarının koagülasyon etkisi bu çamurların içerdiği kilden ve çamurda bulunan demir hidroksit bileşiklerinden kaynaklandığı öngörülmektedir. Öte yandan koagülasyon-flokülasyon

deneylerinin gerçekleştirildiği pH 5 de yağ endüstrisi atıksularında bulunan yağ ve gres emülsiyonlarının parçalanabildiği ve emülsiyonların parçalanmasının KOİ ve yağ gres giderimi verimini %8 ila 14 arasında arttırdığı belirtilmektedir (8)

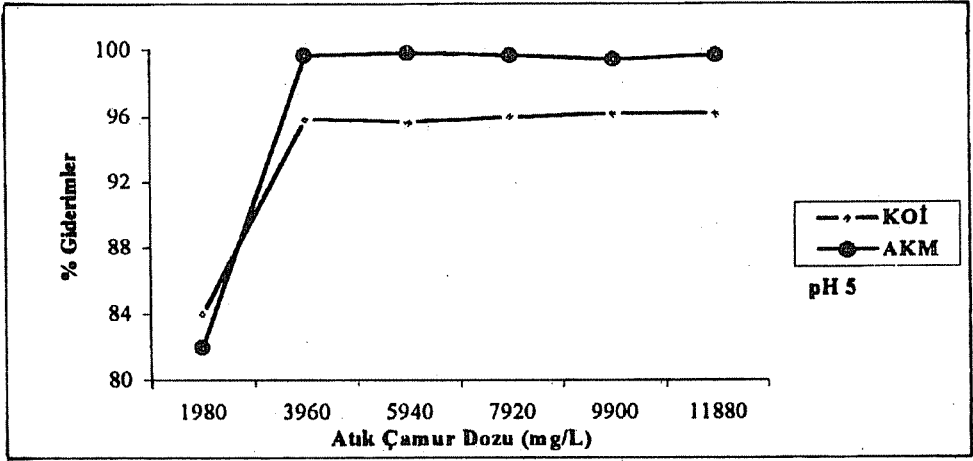
3.2. Yağ Sanayii Atıksuları İçin Optimum pH ve Doz ayarlaması

Optimum pH değerini bulmak için atık çamur kullanılarak hem çamurun kendi pH'sı olan 8.7 de ve hem de pH 4, 5, 6, 7, 8 değerlerinde koagülasyon deneyleri gerçekleştirilmiş olup, pH 5 de ve 4'de yüksek giderimler elde edilmiştir. Bu üç pH değerlerinde benzer sonuçlar elde edildiği Şekil 1'den görülmekte olup pH arttıkça verimde düşme görülmüştür. Daha düşük pH değeri daha fazla asit kullanımı gerektirdiğinden optimum pH olarak pH 5 değeri kullanılmış ve deneyler bu pH da gerçekleştirilmiştir. Değişik pH değerlerinde elde edilen giderme verimleri Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekil 1'den de görüldüğü gibi gerek KOİ ve gerekse AKM değerleri için en yüksek giderim verimleri değerler pH 5 de elde edilmiştir. Bundan dolayı da takip eden deneyler pH 5 de gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. KOİ ve AKM giderim değerlerine göre optimum pH değerinin belirlenmesi

Optimum pH belirlendikten sonra bu pH da optimum doz belirlenmiştir. pH 5 de değişik atık çamur dozlarıyla elde edilen KOİ ve AKM sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir. Buna göre 3960 mg/L çamur dozundan sonra giderme veriminde önemli bir artış gözlenmemektedir. Bu dozda oldukça yüksek giderme verimi olan %95.6 lık KOİ giderimi ve %99 AKM giderim verimi elde edilmiştir. Bu durumda çamur dozunu daha fazla artırmanın giderme verimine önemli bir katkısı olmayacağı görülmektedir. Diğer numuneler üzerinde yapılan deneylerde ortalama kuru ağırlığı 4000 mg/L civarında olan aynı atık çamur kullanılmıştır. Değişik dozlarda elde edilen KOİ ve AKM giderim verimleri Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Arıtma çamuru dozunun giderim verimleri üzerine etkisi

3.3. Atık Çamur ve Klasik Koagülanların Yağ Sanayii Atıksuları Açısından Karşılaştırılması

Yağ sanayii atıksuların arıtımında koagülan olarak genelde alümin ve demir klorür kullanılmaktadır. Bu koagülanların bu sektöre ait atıksuların arıtımında iyi sonuç verdiği değişik araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (9, 10).

Deneyde kullanılan yağ endüstrisine ait atıksuya pH 6.5 da 2000 mg/L alümin uygulanarak %96.8 KOİ, %69.9 yağ-gres ve %95.2 AKM giderim elde edilmiştir. Yağ endüstrisi atıksularında gerçekleştirilen koagülasyon-flokülasyon çalışmalarında pH 6.5 da 500 mg/L ile 1500 mg/L arasında değişen alümin dozları kullanılarak %94 KOİ giderimi ve %92 yağ-gres giderimi elde edildiği belirtilmiştir (10). Bu sonuçlar, çalışmada elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Burada elde edilen daha yüksek giderim verimi ise kullanılan alümin dozunun daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

Karşılaştırma için gerçekleştirilen diğer set deneylerde aynı atıksuya bu kez pH 8.5 da değişik dozlarda demir klorür uygulanmıştır. Buna göre 2000 mg/L demir klorür dozunda maksimum %96.7 KOİ, %76 yağ-gres ve %95 AKM giderimi elde edilmiştir. Benzer sonuçlar Yılmaz tarafından da gösterilmiştir (4).

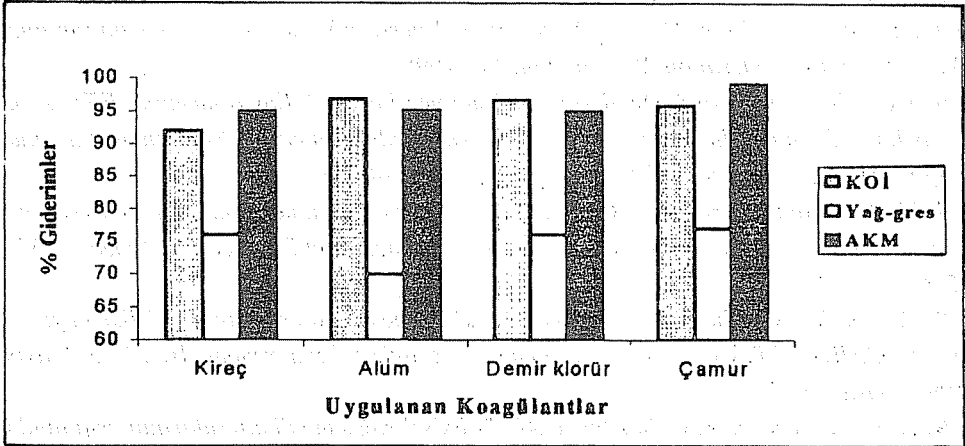
Karşılaştırma amacıyla son olarak kireç kullanılmıştır. Koagülasyon deneylerinde kireç için optimum pH olan pH 10 da 3750 mg/L kireç dozunda maksimum %92 KOİ, %76 yağ-gres ve %95 AKM giderimi elde edilmiştir. Yılmaz ise kireç için pH 10 da %73 KOİ ve %71 yağ-gres giderimi elde etmiştir (4).

Öte yandan atık çamur için bulunan optimum pH 5 de ve 3960 mg/L arıtma çamur dozuyla birinci numune için, %96 KOİ, %77 yağ-gres ve %99 AKM giderimi elde edilmiştir. İki ve üç nolu numunelerde elde edilen sonuçlar, bir nolu numunedan elde edilen sonuçlarla benzerdir. Sonuçlar Tablo 3'de gösterilmektedir.

Tablo 3. Her bir numune için optimum çamur dozunda elde edilen verimler

Parametre	AKM (mg/L)			KOİ (mg/L)			yağ-gres (mg/L)		
	Ham	Kalan	% Giderim	Ham	Kalan	% Giderim	Ham	Kalan	% Giderim
1	880	22	97.5	5720	230	95.9	608	140	76.9
2	480	15	96.8	2075	120	94.2	506	136	72.8
3	1186	22	98.2	8350	392	95.3	1347	269	80

Deneyler sonunda elde edilen klasik koagülant ve atık çamur sonuçları Şekil 3'de gösterilmektedir. Şekil 3'den de görüleceği gibi atık çamur ile klasik koagülantlar arasında gerek KOİ giderimi, gerek yağ-gres giderimi ve gerekse AKM giderimi açısından büyük bir benzerlik vardır. Bu bakımdan içme suyu arıtma tesislerinden çıkan bu atık çamurların yağ endüstrilerinden kaynaklanan atıksuların arıtılmasında koagülant olarak kullanımı mümkündür. Elde edilen sonuçlar atık çamurların en az klasik koagülantlar kadar etkili olduğunu göstermektedir. Böylece bu atık çamurların atılmadan önce yağ endüstrisinde koagülant olarak tekrar kullanılabilceği deney sonuçlarından görülmektedir.



Şekil 3. Klasik koagülantlar ve atık çamurun KOİ, yağ-gres ve AKM giderim verimlerinin karşılaştırılması

4: SONUÇ

Yapılan Jar test deneyleri sonucunda, içme suyu arıtma tesisinden çıkan atık çamurların yağ endüstrisinden kaynaklanan atıksuların arıtılmasında koagülant olarak kullanımı araştırılmış ve aynı atıksuya hem klasik koagülantlar olan alüm, demir klorür ve kireç uygulanmış ve hemde atık çamur uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre

atık çamur ile yağ endüstrisinden kaynaklanan atıksularda yaklaşık 4000 mg/L dozda ve pH 5 de oldukça yüksek verim elde edilmiştir. Böylece, elde edilen deney sonuçlarından atık çamurların atıl olarak kalması yerine yağ endüstrisinden kaynaklanan atıksuların arıtımında klasik koagülanların yerine kullanılmasının mümkün olduğu anlaşılmaktadır. Sonuç olarak içme suyu arıtma tesislerinden çıkan atık çamurların yağ endüstrisi atıksularının arıtımında koagülan olarak kullanımı tesis işletme maliyetini olumlu yönde etkileyeceği görülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Türk Çevre Mevzuatı, "Türkiye Çevre Vakfı Yayınları", c. II s.806, Ankara, 1999.
2. Eroğlu,V., Öztürk,İ., San,H.A. and Demir.İ., "Comparative Evolution of Treatment Alternatives for Wastewater from and Edible Oil Refining Industry", *Wat. Sci. Tech. Vol.22, No.9, pp 225-234, 1990.*
3. Arundel,J., "Sewage and Industrial Treatment, A practical Guide", Blackwell Science Limited, pp. 48-49, 1995.
4. Yılmaz,T., "Bitkisel Yağ Sanayii Rafineri Atıksularının Fizikokimyasal ve Biyolojik Arıtılabilirlik Derecelerinin Araştırılması", *Ç.Ü. Fen Bilimleri. Ens. Yüksek Lisans Tezi. s.102. 1997.*
5. APHA, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th edition", American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Federation, Washington,D.C. 1998.
6. Çetin,H., Bal,Y. and Demirkol,C., "Engineering and Environmental Effects of Coastline Changes in Turkey, Northeastern Mediterranean", *Environmental and Engineering Geoscience, Vol:5, No:3, pp.315-330, Fall 1999.*
7. Ma,K.S., and Pierre,A.C., "Colloidal Behaviour of Montmorillonite in the Presence of Fe⁺³ Ions", *Colloid and Surfaces A-Physicochemical and Engineering Aspects, 155: (2-3) 359-372. 1999.*
8. Yılmaz,T. ve Yüceer,A., "Bitkisel Yağ sanayii Atıksularının Fizikokimyasal Arıtılabilirliği", *Türkiye Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu II, 22-23 Mayıs 1997 Gebze, 1997.*
9. Yılmaz,T., Yüceer,A. ve Başibüyük,M., "Bitkisel yağ sanayii atıksularının arıtımında CHF ve koagülasyon-sedimentasyon işlemlerinin karşılaştırılması", *Kayseri I. Atıksu Sempozyumu, 22-26 Haziran Kayseri, 1998.*
10. Yüceer,A., Yılmaz,T. ve Başibüyük,M., "Physicochemical and biological treatability of the vegetable oil refinery wastewater", *1st International workshop on environmental quality and environmental engineering in the Middle East region Konya October 5-7, 1998.*

FAKÜLTEMİZDE 1999-2000 YILLARINDA YAPILAN BİLİMSEL FAALİYETLER

- * 05-10 Temmuz 1999 tarihleri arasında Jeoloji Mühendisliği Bölümü tarafından "4 th European Ostracodologist Meeting" adlı uluslararası paleontoloji toplantısı yapılmıştır.
- * Fakültemiz Tekstil Mühendisliği Bölümü tarafından 6-8 Ekim 1999 tarihleri arasında UÇTEK 99, I. Ulusal Çukurova Tekstil Kongresi düzenlenmiştir.
- * Fakültemiz Makina Mühendisliği Bölümü ve Ç.Ü. Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Uygulama ve Araştırma Merkezi ile birlikte 13-14 Nisan 2000 tarihleri arasında SIMER 2000, VI. Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Kongresi düzenlenmiştir.
- * Fakültemiz Dekanlığı ve TMMOB'nin Adana Şubeleri ile birlikte 18-23 Ekim 2000 tarihleri arasında "Mühendislik Haftası" etkinlikleri düzenlenmiştir.
- * Fakültemiz Bilimsel, Sosyal ve Kültürel Etkinlikler Çalışma Grubu tarafından 2000 yılında konferanslar dizisi düzenlenmiş ve;
- * Boğaziçi Üniversitesi Rektörü Prof.Dr. Üstün ERGÜDER tarafından 06 Nisan 2000 tarihinde "Küreselleşen Dünyada Eğitim ve Üniversite"
- * Kanal D Haber ve Program Koordinatörü Haluk ŞAHİN tarafından 10 Nisan 2000 tarihinde "Değişen Dünya ve Değişen Medya"
- * ABD Nevada Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof.Dr. Yunus ÇENGEL tarafından 13 Nisan 2000 tarihinde "Dünyada ve Türkiye'de Jeotermal Enerjinin Isıtma, Soğutma ve Elektrik Üretiminde Kullanımı"
- * Paxar Teslo Tekstil Ürünleri San. Tic. A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Mehmet ŞUHUBİ tarafından 18 Mayıs 2000 tarihinde "III. Bin Yılda Yükselen Sektörlerde Çalışma Hayatı" konulu sunumlar yapılmıştır.
- * Endüstri Mühendisliği Bölümü ve Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nün işbirliği ile 14-16 Ekim 1999 tarihleri arasında 7. Ulusal Ergonomi Kongresi yapılmıştır.
- * Tekstil Uzmanı Adnan ENER tarafından 5 Aralık 2000 tarihinde "Tekstilde 60 Yıllık Birikimden Önemli Notlar"
- * Maden Mühendisliği ve Ecole des Mines de Paris arasındaki bilimsel işbirliği anlaşması çerçevesinde Doç.Dr. Jean du MOUZA Fakültemizde 20.12.2000 tarihinde "Madencilik ve Çevre" konulu bir konferans vermiştir.

YAZIM KURALLARI

Gönderilecek makaleler, Mühendislik Bilimleri ile ilgili başka bir yerde yayınlanmamış orijinal bir araştırma niteliğinde olmalıdır. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilemez. Yazı dili Türkçe ve İngilizce'dir. Dergi ofset tekniği ile basıldığından makaleler IBM uyumlu bilgisayarla Microsoft Word 97 ve yukarısı programda yazılmış, biri orijinal ikisi fotokopisi olmak üzere üç nüsha olarak gönderilmelidir.

Makalelerin incelenmesi yapıldıktan sonra düzeltmeler yazarlar tarafından yapılmalı, tüm şekil ve grafikler yerleştirilmiş olarak, düzeltilmiş nüshaya ait disket ile birlikte 15 gün içerisinde geri gönderilmelidir. Makalenin başlığı metne uygun kısa ve açık ifadeli olmalıdır. Başlık büyük harflerle ve sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Makale 1,5 satır aralıkla yazılmalıdır. Alt başlıklarla ilk paragraf ve paragraflar arasında 1,5 aralık bırakılmalıdır. Yazar adı ve soyadları ünvan belirtilmeden başlığın 1 cm altına sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Yazar sayısı birden çok ise, hepsi alt alta yazılmalıdır. Yazar adresi (Üniversite, Fakülte, Bölüm, Şehir) makale başlığının altına yazılmalıdır.

Makaleler, çizelge, şekil ve fotoğraflarla birlikte en fazla 15 sayfa olmalıdır. Ancak kısaltılması mümkün olmayan makalelerin yayınlanmasında yayın kurulu yetkilidir. Şekil ve grafikler çini mürekkep ile aydınlatılmış beyaz veya beyaz kuşe kağıda çizilmeli, resimler parlak fotoğraf kartına siyah-beyaz ve net basılmış olmalıdır.

Çalışma herhangi bir kurumun desteği ile yapılmış ise, bu ilk sayfa altına * işaretini takip edecek şekilde dipnotu olarak yazılmalıdır.

Başlıklar 1., 2., ve alt başlıklar 1.1., 1.2.,..... v.b. numaralandırılıp alt başlıklar küçük harflerle, fakat kelime başharfleri büyük olarak yazılmalıdır. Metindeki eşitlikler (1), (2),..... v.b. numaralandırılmalı ve numaralar sayfanın en sağına yerleştirilmelidir. Daktiloda bulunmayan işaretler, siyah çini mürekkep ve şablon kullanılarak (veya elle çok düzgün bir şekilde) yazılmalıdır.

Makalenin bölümleri aşağıdaki sıraya göre olmalıdır: Türkçe başlık, özet, İngilizce başlık ve özet, metin, teşekkür (gerekli ise) ve kaynaklar. Özetler en az beş, en fazla 10 satır olmalıdır. Özeten sonra makalenin İngilizce başlığı büyük harflerle ve sayfa ortalanarak yazılıp, bunun altına da "Abstract" İngilizce olarak verilmelidir. Metinde mutlaka giriş ve sonuç bölümleri bulunmalıdır. Ara bölümler materyal ve metod, deneysel çalışma, teorik esaslar gibi başlıklar veya alt başlıklar şeklinde düzenlenebilir. Metin içinde kaynaklara atıfta bulunmak istenildiğinde, yazar adı verilerek veya verilmeksizin kaynak numarası parantez içinde gösterilmelidir. Numaralandırma metinde veriliş sırasına göre yapılmalıdır. İki'den fazla yazar sayısı durumunda ilk iki yazar adı yazılıp, Türkçe kaynaklarda "ve diğ." yabancı kaynaklarda "et.al." ibaresi eklenir. Kaynak makale ise, önce yazar adı başharfi, yazarın soyadı, makalenin adı (yalnız ilk kelimenin baş harfi büyük), derginin adı veya varsa kısaltılmış adı, dergi cilt ve sayısı, parantez içinde yılı ve en sona da başlangıç ve bitiş sayfaları tire ile ayrılarak verilmelidir. Kaynak bir kitap ise yazar adının ilk harfi, soyadı, kitap adı (kelime harfleri büyük), yayınevi, yayın yeri, yayın yılı ve sayfa numarası verilmelidir.

Makalesi yayınlanan yazarlara bir adet dergi, 10 adet ayrı baskı gönderilir, ancak telif hakkı ödenmez. Dergiye gönderilen yazılar yayınlansın veya yayınlanmasın iade edilmez. Makaleleri yayınlama yetkisi dergi yayın kuruluna aittir.

Yayınlanması istenen makaleler aşağıdaki adrese gönderilmelidir.

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Dergi Yayın Kurulu Başkanlığı
01330 Balcalı-ADANA
Tel : (322) 338 63 57 Fax: (322) 338 61 26

Geleneksel ve Günümüz Konut Yakın Çevreleri İçin İyileştirme Önerileri ve Adana Örneği <i>Some Suggestions on the Rehabilitation of Domicile of Buildings in Historic and Present Urban Areas: A Particular Study on Adana</i> Serpil ÇERÇİ.....	95
Pozantı'nın (Adana) Doğu (Akdağ) ve Kuzeydoğusunda (Karıncadağ) Yüzeyleyen Çinko-Kurşun Cevherleşmesinin Mineralojisi <i>Mineralogy Lead-Zinc Deposites in East (Akdağ) and Northeast (Karıncadağ) of Pozantı (Adana)</i> Mustafa AKYILDIZ, Mesut ANIL.....	103
Evsel Atıklardan Yeniden Kullanılabilir Maddelerin Kazanılması <i>Recovery of the Reusable Materials from Domestic Refuse</i> Mehmet YILDIRIM	123
Dynamic Programming Formulation of N-Job M-Stage Flowshop Sequencing Problem and an Application to an Industry <i>N-İş ve M-Safhalı Akış Tipi Üretim Sistemlerinde Sıralama Probleminin Dinamik Programlama ile Formülasyonu ve Endüstriyel Bir Uygulaması</i> Rızvan EROL	133
İçme Suyu Arıtma Tesisleri Atık Çamurlarının Yağ Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Koagülant Olarak Kullanılması <i>The Use of Waste Sludge Generated from Water Treatment as a Coagulant for the Treatment of Vegetable Oil Wastewater</i> Ahmet YÜCEER, Mesut BAŞIBÜYÜK, Turan YILMAZ.....	141