

# SPREAD SPECTRUM

## HABERLEŞME SİSTEMLERİ

Elek. Yük. Müh. Levent ERTAUL  
Doç. Dr. Erdem YAZGAN

### GİRİŞ

Son yıllarda uluslararası ve bölgesel haberleşme sistemlerinin ve Elektronik harbin hızla gelişmesi sonucu, değişik bantlarda ve değişik teorilere dayalı teknikler geliştirilmektedir. Bu durumdan en çok etkilenen haberleşme sistemleri askeri haberleşme sistemleri olup, gizlilik problemi ortaya çıkmıştır. Bunun sonucu olarak günümüzde askeri haberleşmede gizlilik sorununa cevap verebilecek teori, teknik ve sistemler üzerine yoğun çalışmalar ticari ve akademik yönden çok önem kazanmıştır.

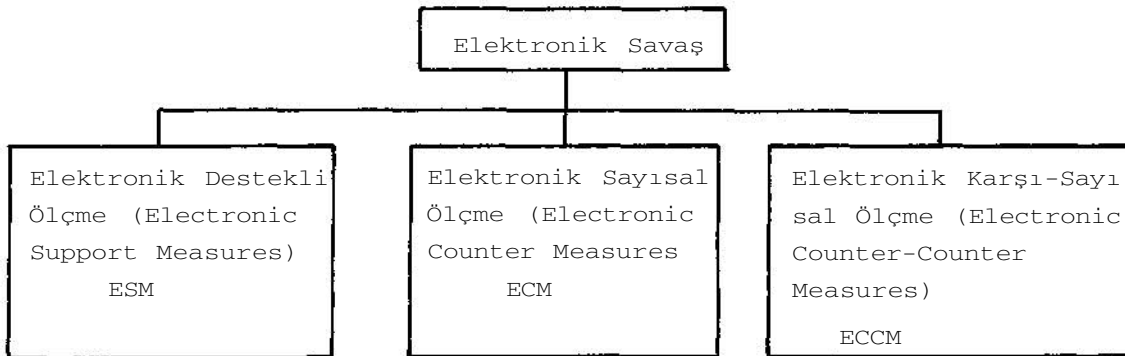
Bu yeni geliştirilen sistemlerden birisi de "SPREAD SPECTRUM" teknikleridir. Bu tekniklerde temel yapı gerekenden fazla bir band genişliği kullanarak, bilgi iminin alıcı ve verici tarafından aynı anda kullanılan bir kod yapısı ile iletilmesi temeline dayanır. Böylece barışta ve savaşta elektromagnetik spektrumun belirli kısımlarını kullanarak kendi silah ve sistemlerimizin korunmasında sağlanabildiği gibi, düşman yayınlarının tespit edilmesi, yayınların zayıflatılması ve karıştırılması da mümkün olabilmektedir. Bunun sonucu olarak da elektronik harp-

te başarılı olan ulus savaşın kaderini tayin eder duruma geçmektedir. Bu yazıda "SPREAD SPECTRUM" sistemleri ve parametreleri özet bir biçimde okuyucuya tanıtılmaya çalışılmaktadır.

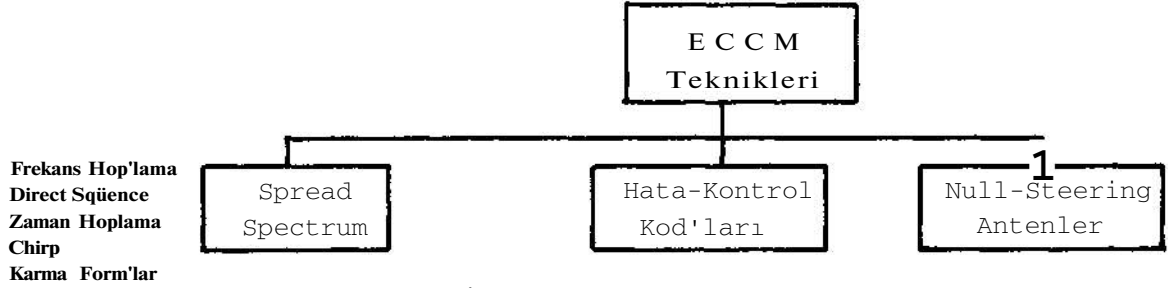
### SPREAD SPECTRUM SİSTEMLERİ

Son zamanlarda modern askeri haberleşme sistemleri, bilgi iletişiminde büyük bir hızla analog teknikler yerine sayısal teknikler kullanmaya başlamıştır. Sayısal sistemlerde bir bilgi imi, elektronik vuru dizileri kullanılarak tanımlanmaktadır. Bu elektronik vurulara iki'li digit'ler veya kısaca bit'ler adı verilir. Bu her bir vuru veya bit iletilecek bilgi iminin ufak bir aralığını içerir. Bilgi imi'nin tümü ise bu bitlerin komple yapısı ile ortaya çıkar.

Elektronik savaşın ana bölümleri Şekil 1'de görüldüğü gibi ESM, ECM ve ECCM'dir. ECCM teknikleri ise birkaç tanedir. Bu teknikler ise askeri alanda 1950'lerin ortalarına doğru geliştirilmiştir. ECCM tekniklerinin ise en



ŞEKİL 1. Elektronik savaşın ana kategorileri



ŞEKİL 2. ECCM teknikleri

önemli bölümü Spread Spectrum teknikleridir (Bkz. Şekil 2). Bu teknikle düşman silah sistemleri ve cihazlarına ilişkin karşı koruma tedbirlerinin ortaya konabilmesi için düşmana ilişkin sistem ve cihazların konumu, düşman yayınlarının belirlenmesi ve analiz edilmesi üzerine çalışmalar yapılır.

### 1.1. Spread Spectrum

Spread Spectrum'un karakteristik bir tanımı aşağıdaki gibi verilebilir.

Bir bilgi imi'nin iletilmesi için kullanılacak minimum band genişliğinden, daha fazla band genişliği kullanılarak iletişim sağlanmasıdır.

Band genişliğinin artırılması ise bilgi imin'den bağımsız bir kod yapısı ile gerçekleşir. Bu kod aynı zamanda alıcı sisteminde de senkronizasyon ve bastırma (despreading) işlemleri içinde kullanılır. Genel olarak bir spread spectrum sistem modeli Şekil 3'de gösterildiği gibidir.

Şekil 3'den hareketle genel bir Spread Spectrum iminin matematiksel ifadesinin bulunması için, öncelikle iletilen im  $s(u, t)$  aşağıda verildiği biçimde yazılabilir.

$$S(u, t) = \text{Re} [ d(u, t) c(u, t) e^{j(W_0 t + \phi(u))} ] \quad (1)$$

Burada  $C(u, t)$  yayıcı kod yapısını göstermektedir, iletişim kanalına verilen  $S(u, t)$  im'inin burada geliş güzel bir gecikmeye uğradığını ve taşıyıcı frekansının da

$W_0 + W_d$  dolayınca kaydığı kabul edilirse;

$$S(u, t) = \text{Re} [ c(u, t - \tau(u)) d(u, t - \tau(u)) ]$$

$$e^{-j((W_0 + W_d) t + \phi(u))} \quad (2)$$

im'i elde edilebilir. Ayrıca RF süzgeç'inden bozulma olmadan  $r(u, t)$  iminin geçtiğini düşünürsek. Veri seçiciye giden  $V(u, t)$  imi elde edilebilir.

$$V(u, t) = r(u, t) \cdot Cr^*(u, t - \hat{T}) e^{-j((W_0 + W_d) t + \phi(u))} \quad (3)$$

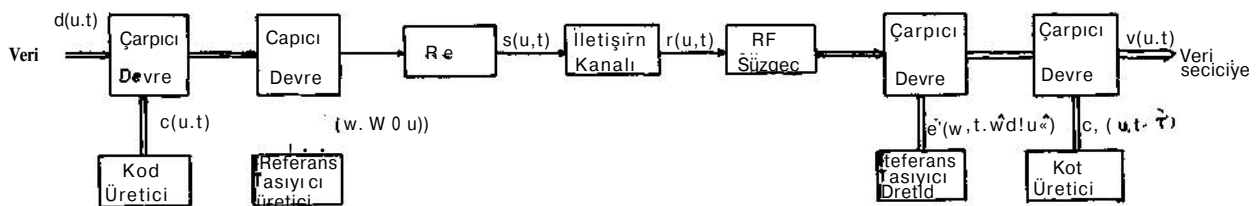
Burada  $Cr^*(u, t - \hat{T})$  im'i  $Cr(u, t)$  im'inin bir kopyasıdır. \* işareti ise  $Cr(u, t)$  im'inin eşleniğini gösterir. Denklem 3'de  $r(u, t)$  imi yerine konursa

$$V(u, t) = C(u, t - T(u)) d(u, t - T(u))$$

$Cr^*(u, t - \tau(u)) e^{-j((W_0 + W_d) t + \phi(u))}$  elde edilebilir. Burada da taşıyıcı frekansının ikinci harmoniğinin bir süzgeç tarafından bloke edildiği varsayılmıştır.

Yukarıda elde edilen ifadeler (özellikle 4 bağıntısı) bir Spread Spectrum alıcısı için önemli özellikler içermektedir. Bunlar

↑  $f$   $T$  SS Kod senkronizasyonu



ŞEKİL. Genel bir Spread Spectrum iletişim sisterrti modeli

Wd =s Yd Frekans kilitlenmesi  
0 « 6 (U) Faz kilitlenmesi

olarak isimlendirilirler. Biz modelimizde hem senkronizasyon ve hem de kilitlenme için tam bir uyum kabullenmesi yaparsak

$$V(u, t) = d(U, t - r(U)) \quad (5)$$

ifadesini elde edebiliriz.

### 1.2. Sistem Kazancı

Spread Spectrum sistemlerinde sistem kazancı kavramı, bant genişliğinin yaygınlaştırılması ve bastırılması işlemlerinde ortaya çıkan bir kavramdır. Sistemlerin verici bölümünde herhangi bir yaygınlaştırma metodu ile bant genişliğinin yaygınlaştırılması işlemi yapılır. Bastırma (despreading) işlemi ise sistemlerin alıcı bölümünde gerçekleşir. Bu tanımlamaların ardından bir spread spectrum sistemi için sistem kazancını, çıktı ve girdilerin sinyal-gürültü oranlarının farkı olarak tanımlanabilir. Spread Spectrum sistemlerinde sistem kazancına ilişkin diğer bir yaklaşım ise Thumb yasası olarak bilinir.

**Buna göre**

$$\text{Sistem Kazancı} = G_p = \frac{BW_{RF}}{R_{info}} \quad (6)$$

dir. Burada  $R_{info}$ , gönderilen spread spectrum im'inin RF bant genişliği,  $R_{info}$  ise veri hızıdır. Spread Spectrum sistemlerinde karışan im güçlerinin artması, uygulanan sistem kazancının miktarına bağlı değildir.

### 1.3. Jamming Margin

Jamming margin, düşman güçlerinin sistemi etkilediği bir çevrede sistem kapasitesi olarak tanımlanır. Bu tanım sistemin çıktı im gürültü oranı ile sistem içi kayıpları içine alır. Bu ifadeyi formüle edersek

$$\text{Jamming Margin} = G_p - [L_{sys} + S_{çıkıktı} + (T/T) + 1] \quad (7)$$

Burada

$G_p$  = Sistem Kazancı

$L_{sys}$  = Sistem İçi Kayıplar

$(\frac{S}{N})_{çıkıktı}$  = Bilgi çıktısında im Görüntü Oranı

Bir sistemin Jamming Eşiği (Threshold), Girişimli (Interference) bir ortamda sistemin nasıl çalışacağını tanımlanmasıdır. Aşağıda gösterilen modeli ele alarak, bu tanımlamaya çalışırsak;

$$\langle | \rangle_{Girdi} G_p \left( \frac{S}{N} \right)_{çıkıktı} = \left( \frac{S}{N} \right)_{Girdi} \times G_p \quad (8)$$

Burada giriş gürültüsü girişim etkilerini de içermektedir. İlgilenilen bölge ise  $S < N$  olduğu bölge'dir ve denklem

(8) bu bölge için geçerlidir. Eşitlik 8'i logaritmik olarak yazarsak

$$\left( \frac{S}{N} \right)_{çıkıktı} (dB) = \left( \frac{S}{N} \right)_{Girdi} (dB) + G_p (dB) \quad (9)$$

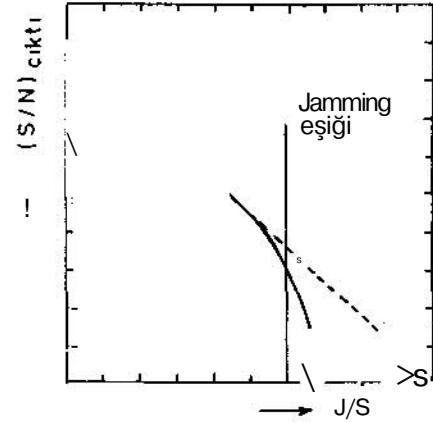
şeklinde elde edilebilir. Burada

$$\left( \frac{S}{N} \right)_{Girdi} (dB) = - \frac{J}{S} (dB) \quad (10)$$

olarak tanımlanırsa

$$\left( \frac{S}{N} \right)_{çıkıktı} (dB) = G_p (dB) - \frac{J}{S} (dB) \quad (11)$$

Jamming eşiğinin yukarı için (11) ifadesi elde edilebilir



ŞEKİL 4, Sistem kazana eğrisi

Bir sistem için eşik seviyesi

$$[G_p (dB) - \frac{J}{S} (dB)] - [G_p (dB) - \frac{J}{S} (dB)]_{ölçülen} = 1 \text{ dB} \quad (12)$$

biçiminde elde edilir.

Eşiklemenin nedenleri tarama kayıpları ve doğrusalsızlıktır. Jamming eşiği göz önüne alınmaksızın sistem tasarımı yapmak mümkün değildir. Fakat dikkatli bir yaklaşımla eşik noktası normal çalışma bölgesinin ötesine yerleştirilebilir.

### 1.4. Spread Spectrum Sistemlerinin Özellikleri

Spread Spectrum sistemleri iki önemli özellik üzerine geliştirilmiştir. Bu özellikler:

- İletişim bant genişliğinin, gönderilen imin bant genişliğinden çok daha fazla olması
- Bilgi im'inin iletiminden sonraki bazı fonksiyonların, iletişim bant genişliğinin tanımlanması için kullanılır olmasıdır.

Genellikle Spread Spectrum sistemlerinde RF im bant genişliği, bilgi im'i bant genişliğinden  $10^4$  kere daha fazladır. Bazı önemli sistemlerde ise bu oran  $10^5$  veya  $10^{10}$  ya kadar çıkmaktadır.

Acaba iletişim mühendisleri neden böylesi bir sistem düşünüp uygulamaya koymuşlardır? Çünkü im bant genişliğinin yaygınlaştırılma işlemi ve daha sonra alıcıda yapılan bazı işlemlerin avantajları diğer haberleşme sistemleri için geçerli değildir.

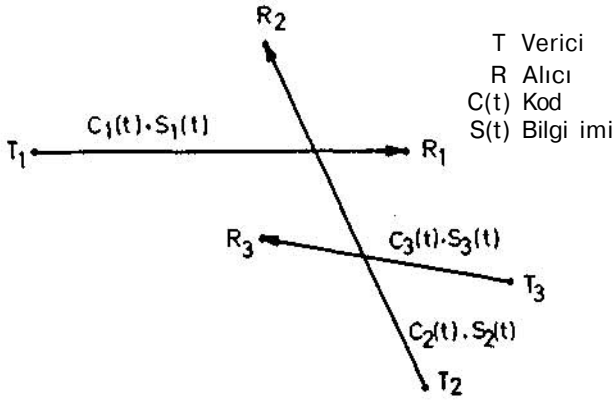
RF Spectrumun kısıtlı olduğu iletişim sistemlerinden spread spectrum sistemlerini üstün kılan özellikler şunlardır.

#### a) Mesaj Güvenliği:

Mesaj güvenliği, spread spectrum sistemlerinde kullanılan kod yapısına göre değişim gösteren fakat her spread spectrum tekniklerinin doğasında varolan bir kavramdır. Spread spectrum sistemlerinde mesaj güvenliğinin derecesi kullanılan kod yapısına bağımlı olarak değişir. Spread Spectrum sistemleri çok değişik kod yapılarına uygulanabilir durumda tasarlanmıştır.

#### b) Değişik Adresleme:

Değişik adresleme yapısı spread spectrum sistemlerinde değişik kodlar uygulanması yoluyla gerçekleştirilebilir. Alıcıya verilen bir kod vasıtasıyla, bilgi im'ini bu kod'la ileten verici ile alıcı arasında iletişim sağlanabilir. Bir genel sistem içinde tüm alıcılar ayrı ayrı kodlarla adreslenir, verici ise iletişim anında sadece bir alıcı kodu kullanarak tek bir alıcıyı seçebilir. Bu yapı Şekil 5'de şematik biçimde gösterilmektedir.



ŞEKİL 5. Değişik adresleme

R1 alıcısını ele alırsak Şekil 2.5'te de görüldüğü gibi bu alıcıya gelen im (M kullanıcı olduğunu varsayarsak)

$$Y_1(t) = C_1(t) \cdot S_1(t) + a_2 \cdot C_2(t) \cdot S_2(t)$$

$$+ \dots + a_m \cdot C_m(t) \cdot S_m(t) \quad (13)$$

şeklinde yazılabilir. Burada a\_j ifadesi kazanç ya da kayıp faktörü olarak adlandırılır.

R1 alıcısı için bastırma (despreading) işlemi ele alırsak Y1(t) im'i d(t) ile çarpılmalıdır ve S1(t) im'inin bant genişliği içerisinde bir süzgeçten geçirilmelidir. Bu işlemde elde edilecek olan C1\*(t) ifadesi kullanılan kod özelli-

ğine bağımlı olarak 1'e eşittir. Böylece

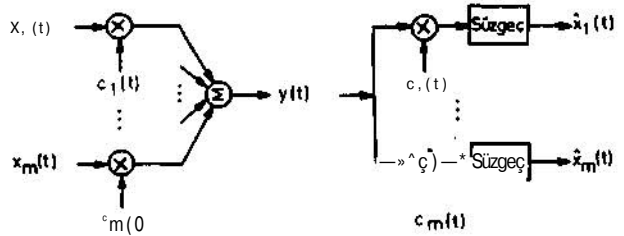
$$Y_1(t) \cdot C_1(t) = S_1(t) + a_2 \cdot C_2(t) \cdot S_2(t) +$$

$$+ \dots + a_m \cdot C_m(t) \cdot S_m(t) \quad (14)$$

ifadesi elde edilebilir. Buradan da görüldüğü gibi istenilen bir kod yapısı ile C1(t) \cdot C2(t) \dots Cm(t) istenilen alıcıya ulaşmak mümkündür. Kısacası her bir alıcıyı bir kod yapısı ile adreslemek işlemi spread spectrum sisteminin yapısı nedeniyle olanaklıdır.

#### c) Kod-Bölmeli Çoklama:

Uygulamada kod-bölmeli çoklama olarak bilinen bu sistem aslında değişik adresleme sistemi biçimindedir. Fakat buradaki tek fark, tek bir vericinin birçok im'i birarada göndermesidir. Şekil 6'da bu yapı gösterilmektedir.



ŞEKİL 6. Kod - Bölmeli Çoklama

En üst kol için süzgeç girişi yazılırsa

$$Y(t) \cdot C_1(t) = X_1(t) + C_2(t) \cdot X_2(t) +$$

$$+ \dots + C_m(t) \cdot X_m(t) \quad (15)$$

ifadesi elde edebilir. Y(t) ifadesi ise

$$Y(t) = a_1 \cdot C_1(t) \cdot S_1(t) + a_2 \cdot C_2(t) \cdot S_2(t) +$$

$$+ \dots + a_m \cdot C_m(t) \cdot S_m(t) \quad (16)$$

olarak bulunabilir. Bu tür yapılar özellikle uydu haberleşme sistemlerinde TDM ve FDM yapılan yerine kullanılır.

#### d) Girişim - Red Yapabilirliği:

Spread Spectrum sistemleri, başka bir yolla karşılanmayacak bir girişim-red yapabilirliği sağlayabilirler. Hem kasıtlı hem kasıtsız girişimler bir spread spectrum alıcısı tarafından, bu alıcı için "Jamming Margin" olarak bilinen bir nortaya değin red edilir. Bu "Jamming Margin" noktası kullanılan kod yapısının veya frekans kanallarının sayısının bir fonksiyonudur.

#### e) Düşük Yoğunluk:

Düşük yoğunlukla iletilen im'ler, diğer sistemlerle girişim etkilerini azaltırlar. Spread spectrum im'lerinin

düşük yoğunlukta olmasına yol açan birinci etken bant genişliğinin artırılmasıdır.

#### **f) Yüksek - Duvarlı Aralık ölçümü:**

Direct sequence tipi spread spectrum im'leri yüksek-rezulyasyonlu aralık ölçme sistemlerinde en kullanışlı im'lerdir. Yalnız bu tür sistemler için yüksek hızlı kod'lar kullanılarak, modüle edilmiş im'ler kullanılması gerekmektedir.

Yukarıda sayılan bu özelliklere rağmen spread spectrum sistemlerinin bazı dezavantajları da vardır. Bunlar:

- a) Bu sistemler, geleneksel moduleli sistemlere AM veya FM göre daha fazla bant genişliği kullanmak,
- b) Bu sistemlerin son derece karmaşık olması, Şöyle ki, bu sistemler kod generatörleri, ilişkilendiriciler (correlators), kod tarayıcı döngüler, chirp veya faz-kod uyumlandırıcı uyumlu süzgeçler ve diğer alt sistemler. Oysaki bu sistemler bir geleneksel sistem için gerekli değildir.

Bir spread spectrum sistem tasarımında önemli noktalar şunlardır:

- a) Sistem performansı ölçümü

#### **b) Kullanıcı kod yapısı**

- c) Jamming ve Girişim önlemedeki başarı.

#### **KAYNAKLAR**

- (1) Dixon, R.C., "Spread Spectrum Systems" Jhon Wiley and Sons, 1975.
- (2) Pettit, R.H., "ECM and ECCM Techniques For Digital Communication Systems" Jhon Wiley and Sons, 1982.
- (3) Scholtz, R.A., "The Spread Spectrum Concept" IEEE Transactions on Communication. Vol. Com-25, No: 8, 1977.
- (4) Kullustam, P.A., "Spread Spectrum Performance Analysis in Arbitrary Interference" IEEE Transactions on Communication, Vol. Com-25, No: 8, 1977.
- (5) Ince, A.N., Schemel, R.E., "Factors Affecting Use and Design of Spread - Spectrum Modems for the HG Band" Iroc.IEEVol. 133, PL. FNo:2, April 1986.
- (6) Mohanty, N.C., "Spread Spectrum and Time Division Multiple Access Satellite Communications" IEEE Transactions on Com. Vol. Com-25, No: 8, 1977.
- (7) Cook, C.E., "An Introduction to Spread Spectrum", IEEE Com., May., March 1983.
- (8) Sass, P.F., "Why is the Army Interested in Spread Spectrum?" IEEE Com. May 1983.
- (9) Moser, R.J., Gross, G.J., "Spread Spectrum Techniques", Microwave Journal p. 89-92, Oct. 1982.
- (10) Viterbi, A.J. "Spread Spectrum Communication Myths and Realities" IEEE Com., May 1984.

### **"İNSAN - MAKİNA" KONULU FOTOĞRAF YARIŞMASI**

*16-18 Kasım 1987 tarihlerinde Bur ta'da yapılacak Uluslararası Mühendislikte İnsan-Makina İlişkileri Sempozyumu etkinlikleri arasında "İnsan-Makina" konulu fotoğraf yarışması da yer almaktadır.*

**KATILIM:** Yarışma tüm sanatçılara açıktır. Yarışmacılar SİYAH-BEYAZ ve RENKLİ baskı dallarında en fazla üçer yapıta yarışmaya katılabilirler.

**BOYUTLAR:** En büyük 30x40 cm ve en küçük 18x 24 cm olarak belirlenmiştir. Ancak 30x 40 cm'den küçük olan tüm fotoğrafların 30 x 40 cm boyutuna ulaşacak biçimde paspartulanması gerekmektedir.

**GÖNDERİM:** Fotoğrafların arkalarına yarışmacı ad ve adresleri ile fotoğraf adları açık bir biçimde yazılacak, ayrıca bir sayfayı geçmeyecek biçimde sanatçının yaşamı özetlenerek 1 adet 4,5 x 6 vesikalık fotoğraf eklenecektir. Rumuz kullanılmayacaktır.

*Fotoğrafların, postada zarar görmeyecek şekilde gönderilmesi ya da elden teslimi gerekmektedir.*

**SON GÖNDERİM :** 5 Ekim 1987 • Saat 18.00

**SONUÇ BİLDİRİMİ :** 20 Ekim 1987

**GERİ GÖNDERİM :** 15 Aralık 1987

#### **ÖDÜLLER :**

*Siyah • Beyaz*

*Renkli*

*En iyi üç yapıta  
100.000'er TL.*

*En iyi üç yapıta  
100.000'er TL*

*Siyah-beyaz ve renkli fotoğraflarda en iyi üç dereceyi alan yapıt sahiplerinin sempozyum süresince (üç gün) Uludağ'da konaklanmaları sağlanacaktır.*

*Ödüller 16 Kasım 1987 akşamı serginin açılışı sırasında düzenlenecek bir kokteyl ile sahiplerine verilecektir.*

**SERĞİ:** Yarışmaya katılan yapıtlardan sergilemeye değer bulunanlar 16-18 Kasım 1987 tarihinde Bursa'da anılan sempozyum sırasında sergilenmektedir. Sergi bitiminde yarışmaya katılan yapıtlar posta ile gönderilecektir.

**KATALOG:** Yarışmada ödül ve sergileme alan yapıtlar ile seçici kurulun belirleyeceği fotoğraflar, bir katalog halinde basılacak, yapıt sahiplerine gönderilecektir.

#### **GÖNDERME ADRESİ :**

**TMMOB Makina Mühendisleri Odası  
İzmir Şubesi  
Ali Çetinkaya Bulv. 12/1 Alsancak - İZMİR  
Telf. : 2 17 4 68 - 22 08 11**