

Enformasyon Teorisinin Esasları

A. Gültekin Yıldız

Y. Müh. Yıldız Y.

Teknik Okulu Asistanı

GİRİŞ:

Enformasyon kelime olarak bilgi, malumat demektir. Malûmatın bir kaynaktan (canlı veya herhangi bir sistem) belirli bir gaye için muayyen bir vasıta yoluyla belirli bir hedefe ulaştırılmasına HABERLEŞME diyoruz. Haberleşme vasıtaları çok çeşitlidir. Haberleşmenin gayesi ise her gün biraz daha tekamül etmekte olan otomatik kontrol sistemlerinin ortaya çıkışı ile daha yeni ve geniş sahalara yayılmıştır. Zira böylece insanlar arasında yapılagelen haberleşmeden gayri elektriki ve mihaniki sistemler arasında da haberleşme ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Meselâ: mütakâmil bir asansör sisteminde kumanda butonları, hafıza ünitesi, hata analizörü ve motor kumanda şalterleri arasında devamlı bir haberleşme mevcuttur. Otomatik, hafızalı ve büyük çapta bir hesap makinasından başka bir şey olmayan elektronik beyin'in muhtelif üniteleri arasındaki haberleşme bunun diğer bir misalidir. Bunlara otomatik ısıtıcılar ve otomatik nişan alıp ateş yapan uçaksavar sistemleri gibilerini de ilâve edip bunların medeni dünyada günlük hayat ve askeri maksatlarla ne kadar fazla miktarda kullanıldığını düşünersek sistemler arasındaki haberleşmenin ehemmiyeti kendiliğinden meydana çıkar.

Kısaca haberleşme malûmat nakli olduğuna göre bu kadar çeşitli gayelere inhisar edebilen haberleşmelerde nakil edilen malûmatın ne kadar çeşitli olabileceği aşikârdır. Basit manası ile haberleşmede nakil edilen malûmat: A'nın buz dolabı B'ninkinden daha büyüktür, Türkiyedeki güdümlü mermiler söküldü gibi şeylerdir. Sistemler veya üniteler arasındaki haberleşmeye misal olmak üzere bir otomatik uçaksavar sisteminin hata analizörünü ele alalım. Radar kısmından gelen malûmat falan arz, tul ve yükseklikte bir tayyarenin falan doğrultuda falan hızla seyrettiğidir. Çıkış kısmından gelen malûmat ise namlunun falan noktaya tevcih edilmiş vaziyette olduğudur. Hata analizörü uçağın bulunduğu nokta ile namlunun tevcih edilmiş olduğu nokta arasındaki farka (hataya) göre mekanizmalara emir gönderip namlunun otomatik olarak uçağın bulunduğu noktaya doğru tevcihini yani hatanın sifira doğru yaklaşmasını sağlayacak ve bu temin edilince atış mekanizmasını harekete geçirecektir. Hata analizörünün bu işi başarı ile yap-

bilmesi için hatayı devamlı olarak veya belirli fasılalarla öğrenmesi ve bunun içinde hem radar ve hemde çıkış kısmından devamlı olarak veya belirli fasılalarla analizöre malûmat gelmesi lâzımdır. Buna ilâveten namluyu hareket ettiren ve atışı temin eden mekanizmaların da hata analizöründen gelen emirlerden haberdar olmaları icabeder.

Yukarıdaki izahat haberleşme ve malûmat kelimelerinin daha geniş bir zaviyeden anlamlarını açıklamak gayesi ile verilmiştir. Bundan böyle NAKİL OLUNAN MALÛMAT yerine ENFORMASYON diyeceğiz.

Fizik, matematik gibi müsbet ilimlerle uğraşan mühendisler fiziki veya hayali bir mefhumdan bahsederken daima büyüklüğü veya miktarı hakkında da fikir vermek mecburiyetindedirler. Bir şeyin miktarını belirtmek için ise evvelâ kullanışlı ve mantıklı bir birim tarif edip miktarı bu birimin katları olarak vermek malûm âdettir. Bizde burada evvelâ enformasyonun ölçü birimini ve miktarını tari fedeceğiz.

1 — 2 ENFORMASYONUN ÖLÇÜ BİRİMİ ve MIKTARI:

Enformasyonun en çok kullanılan ölçü birimi, haberleşme tekniğinde gerçekleştirilme kolaylığı, basitliği, deteksiyonunun kolaylığı ve parazit ve sistem parametrelerindeki muhtemel değişimlerden çok az müteessir oluşu dolayısıyla çok kullanılan Binary sinyallerine izafeten Bİnary-digİT kelimelerinin kısaltılmasıyla meydana gelmiş olan BIT kelimesiyle isimlendirilir. Bir BİT in ne miktar enformasyona tekabül ettiğini ve fiziksel anlamını aşağıdaki misal açıkça izah etmektedir.

MİSAL 1 — 1

Bir piyango torbasında 1 ve 32 dahil olmak üzere 1 den 32 ye kadar tam sayılarla numaralanmış 32 tane kart bulunduğunu düşünelim. Bir şahıs bu kartlardan rastgele birini çeksın ve diğer bir kimseye çekmiş olduğu kartta yazılı olan numarayı minimum sayıda ve sadece EVET veya HAYIR kelimeleriyle kesin olarak cevaplandırılacak şekilde sualler sorarak bulmasını söylesin. Şayet kartta yazılı olan numarayı bulması istenen kimse plansız ve düzensiz olarak rastgele meselâ «Karttaki numara 7 mi?» sualini sorarsa bu suale HAYIR cevabını alması ihtimali 31/32 ve EVET

Cevabını alması ihtimali ise 1/32 kadar zayıftır. Böylece rastgele sualler soracak ve şanslı ise bir kaç sualle numarayı bulacak aksi halde ise 31 taneye kadar bir çok sualler sormak mecburiyetinde kalacaktır.

Şimdi ikinci şahsın suallerini daima EVET veya HAYIR cevaplarını alması ihtimalleri biribiri-ne eşit yani 1/2 olacak şekilde plânladığını farzedelim. Yani ilk soru; «Karttaki numara 16 dan büyük mü?» olacaktır. Böyle bir soruya EVET cevabını alması ihtimaliyle HAYIR cevabını alması ihtimali birbirine eşit olup 1/2 dir. Meselâ cevap EVET ise bu defa ikinci soru; «Numara 8 den büyük mü?» olacaktır. Bu sorunun da EVET veya HAYIR kelimeleriyle cevaplandırılması ihtimalleri yine birbirine eşit yani 1/2 dir, Bu şekilde aldığı cevaplara göre bir sonraki soruyu EVET veya HAYIR kelimeleriyle cevaplandırılma ihtimalleri birbirine eşit olacak şekilde plânlıyacak ve beş soru ile karttaki numarayı muhakkak bulacaktır, işte, EVET veya HAYIR cevaplarının ihtimalleri birbirine eşit yani 1/2 olacak şekilde plânlanmış her bir soruya karşılık elde edilen enformasyon miktarı bir BİT tir. Bu misalde 32 tane eşit derecede muhtemel numara arasında bir tanesini bulmak için beş plânlanmış soruya ve dolayısıyla 5 BİT enformasyona ihtiyaç vardır. Beş sayısının bu misal için minimum sayıda soru sayısı olduğunu ileride plânlanmış her bir soruyla elde edilen enformasyon miktarının maksimum olduğunu matematik! olarak göstermek suretiyle isbat edeceğiz.

Yine bu misalimizde 32 tane eşit derecede muhtemel numara olduğundan rastgele seçilmiş bir kart üzerindeki numaraya tekabül eden ihtimaliyat derecesi 1/32 dir. İhtimaliyat derecesi 1/32 olan bir numarayı bulabilmek için ise 5 bit lik enformasyona ihtiyaç vardır. Yani ihtimaliyat derecesi ile enformasyon miktarı arasında,

$$-\log_2 1/32 = 5 \quad (1-1)$$

bağıntısı mevcuttur. Burada $\log_2 1/32$, 1/32 sayısının 2 tabanına göre logaritmasını gösterir.

Bu genelleştirilerek ihtimaliyat derecesi p olan herhangi bir sembole tekabül eden enformasyon miktarı,

$$I = -\log_2 p \text{ bit} \quad (1-2)$$

Çünkü eğer piyango misalimizde 64 tane kart bulunsaydı rastgele seçilmiş bir kart üzerindeki numarayı bulabilmek için,

$$-\log_2 1/64 = 6 \text{ bit} \quad (1-3)$$

enformasyona yani 6 tane planlanmış soruya ihtiyaç olacaktı.

Bir sembole tekabül eden enformasyon miktarının enteresan bir hususiyeti formül (1-2) den kolayca görülebilir;

Sembolün ihtimaliyat derecesi arttıkça tekabül eden enformasyon miktarı azalmakta veya aksine **ihtimaliyat derecesi küçük olan bir sembole büyük enformasyon miktarı tekabül etmektedir.** Limit değerleri olarak sıfır ihtimaliyat derecesine sonsuz ve 1 ihtimaliyat derecesine ise sıfır enformasyon tekabül etmektedir. Bunu hissedebilmek için bir haberin yaratacağı sürpriz haberin taşıdığı enformasyonun miktarına bağlıdır diyebiliriz. Şimdi iki haber ele alalım :

- 1 — Başkan dün üç öğün yemek yedi.
- 2 — Bir âmâyâ şoförlük yapabilmesi için sağlam raporu verildi.

Birinci haber hemen hemen bir sürpriz yaratmakta dolayısıyla çok cüzi miktarda enformasyon vermektedir. Çünkü Başkan bir insan olduğuna göre günde üç öğün yemek yemesi kuvvetle muhtemeldir.

İkinci haberin yarattığı sürpriz büyüktür. Zira bir insanın şoför olabilmesi için yapılan sıhhi muayenede en önemli husus göz muayenesidir. Gözleri kör olan bir adamın göz muayenesinde muvaffak olabilmesi ihtimali sıfır denecek kadar zayıftır.

Enformasyon hesaplarında çok işe yarayan tablonun bir kısmı Şekil (1-1) de verilmiştir.

N	$\log_2 N$
1	0.00000
2	1.00000
3	1.58496
4	2.00000
5	2.32193
6	2.58496
7	2.80735
8	3.00000
9	3.16993
10	3.32193
11	3.45943
12	3.58496
13	3.70044
14	3.80735
15	3.906899

Şekil: 1 - 1

Bu kısmı kapatırken enformasyonun pek kullanılmamakla beraber tarif edilmiş olan diğer birimlerden de bahsetmek faydalı olur.

İhtimaliyat derecesi p olan bir sembole tekabül eden enformasyon miktarı genel olarak,

$$I = -\log p \quad (1-4)$$

formülü ile verilmiştir.

Logaritmanın tabanı 2 ise enformasyon birimi BİT,

logaritmanın tabanı 2,71 ... (Neper) ise birim NİT ve son olarak logaritmanın tabanı 10 ise birim HARTLEY dir.

İHTİMALİYAT TEORİSİNDEN ÖZETLER

Burada okuyucunun ihtimaliyat teorisi ile aşinalığı kabul edilmiş olmakla beraber hatırlatma bakımından bazı mühim notlar bu kısımda özetlenmiştir.

II —I STANDARD NOTASYON ve TARİFLER

a — Şelf ihtimaliyat kesafeti Fonksiyonu: P (x)

P (x) fonksiyonunun bağımsız değişkeni kararsız bir değişken (Random Variable) olan X dir. Eğer X kesintisiz olarak bütün mümkün değerleri alabiliyorsa buna devamlı kararsız değişken, (Continuous Random Variable) fakat yalnız bazı kademeli değerler alabiliyorsa kademeli kararsız değişken (Discrete Random Variable) diyeceğiz.

Devamlı kararsız değişken halinde P (x). dx in değeri, kararsız değişken X in x ile x + dx arasında değerler alabilmesinin ihtimaline eşittir. Kademeli kararsız değişken halinde ise P (x,) kararsız değişken X in kesin olarak xi iğerini alabilmesi ihtimalini gösterir.

b — Müşterek ihtimaliyat kesafeti Fonksiyonu : P (x,y)

Burada iki ayrı kararsız değişken X ve Y vardır. P (x,y). dx. dy nin değeri hem kararsız değişken X in x ile x + dx arasında ve hemde aynı zamanda Y nin y ile y + dy arasında değerler alabilmelerinin müşterek ihtimaliyat derecesine eşittir. Kademeli kararsız değişkenler halinde ise müşterek ihtimaliyat kesafeti fonksiyonu için X in kesin olarak ki ve aynı zamanda Y nin kesin olarak yj değeri eşit olabilmelerinin müşterek ihtimaliyatını göstermek üzere P(x, yj) notasyonunu kullanacağız.

c — Şartlı ihtimaliyat kesafeti Fonksiyonu : P(x/y)

Yine iki kararsız değişken X ve Y vardır. P(x/y). dx in değeri kararsız değişken Y nin y ile y + dy arasında değerler aldığı bilinmesi şartıyla X in x ile x + dx arasında değerler alabilmesinin ihtimaline eşittir. Kademeli kararsız değişkenler halinde P(xj /yj) notasyonunu kullanacağız, Manası bundan evvelkilere benzetilerek çıkarılabilir.

11-2 BAZI MÜHİM'KANUNLAR

$$P(x) = \int_{-\infty}^{\infty} P(x,y) \cdot dy \quad \text{veya} \quad (U)$$

$$P(X_j) = \sum_y p(x_j, y)$$

$$P(y) \int_{-\infty}^{\infty} dx \quad \text{veya} \quad (II \ 2)$$

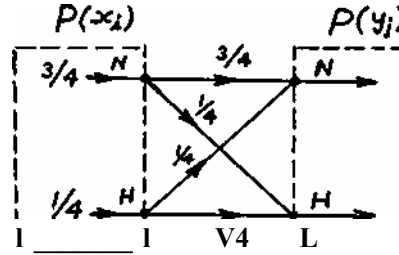
Bayes Formülü:

$$P(x, y) = P(y, x) = P(x) \cdot P(y/x) = P(y) \cdot P(x/y) \\ \text{veya } P(x, y_j) = P(y_j, X_i) \cdot P(x_i) \cdot P(y_j/x_i) \\ = P(V_j) \cdot P(X/y_j) \quad (H-3)$$

Yukarıdaki tarif ve kanunların manalarını daha açık olarak gösterebilmek için Misâl (II-1) tertiplenmiştir.

MİSAL : H-1

Basit bir haberleşme sisteminde 3/4 ihtimalle noktalar N ve 1/4 ihtimalle hatlar H gönderilmektedir. Fakat parazit ve diğer hata kaynakları sebebiyle hat ve noktaların ancak 3/4 ü aynen ve 1/4 ü ise yanlış olarak hedefe ulaşmaktadır. Şekil (H-1)



Burada kaynak tarafındaki sembollerini x, ve hedef tarafındaki sembollerini ise y₃ ile göstereceğiz. Gerek kaynak ve gerekse hedefte sadece iki cins sembol yani nokta veya hat bulunduğundan kararsız değişkenler kademelidir. Kaynak tarafında

X = X_j eğer bir nokta gönderilmişse X

= x₂ eğer bir hat gönderilmişse

Hedefte ise

Y = y₂ eğer bir nokta alınmışsa Y =

y₂ eğer bir hat alınmışsa.

Bu basit misal için şartlı ihtimaliyat fonksiyonunu P(y, - , X_j) nin değerleri şunlardır:

$$P(y, /x_i) = 3/4, \quad P(y, /x_i) = 1/4, \quad P(v, /x_i) = 1/4$$

----- i-
----- y

$$P(x_1/y_2) = \frac{P(x_1y_2)}{P(y_2)} = \frac{3/16}{3/8} = 1/2$$

$$P(x_2/y_1) = \frac{P(x_2y_1)}{P(y_1)} = \frac{1/16}{3/8} = 1/10$$

$$P(x_1/y_1) = \frac{P(x_1y_1)}{P(y_1)} = \frac{3/8}{3/8} = 1/2$$

Şekil : (II - Z)

Şimdi Bayes formül yardımıyla müşterek fonksiyonu $P(x_1, y_1)$ nin değerleri kolayca hesaplanabilir.

Mesela: $P(x_1) = 3/4$ ve $P(y_1/n_1) = 3/4$
 $P(x_1/y_1) = P(x_1) \cdot P(y_1/n_1) = 3/4 \cdot 3/4 = 9/16$

Aynı şekilde

$P(x_1/y_2) = P(x_1) \cdot P(y_2/n_2) = 1/4 \cdot 3/16 = 3/64$
 $P(x_2/y_1) = P(x_2) \cdot P(y_1/n_2) = 1/4 \cdot 1/16 = 1/64$
 $P(x_2/y_2) = P(x_2) \cdot P(y_2/n_2) = 1/4 \cdot 3/16 = 3/64$

*H

----- ^-----

*«

Şekil : (II - 3)

Formül (ü-2) yardımıyla hedef tarafındaki şelf ihtimaliyat fonksiyonu $P(y_1)$ nin değerleri

$P(y_1) = P(x_1, y_1) + P(x_2, y_1) = 9/16 + 1/16 = 5/8$
 $P(y_2) = P(x_1, y_2) + P(x_2, y_2) = 3/16 + 3/16 = 3/8$

olarak bulunur.

Kolayca anlaşılacağı üzere $P(y_1)$ hedefte alınan bir sembolün nokta, $P(y_2)$ ise hat olma ihtimalleridir.

Yine Bayes formülü yardımıyla şartlı ihtimaliyat fonksiyonu $P(x_i/y_j)$ nin değerleri şöylece elde edilir.

$P(x_1/y_1) = \frac{9/16}{5/8} = 9/16$
 $P(x_2/y_1) = \frac{1/16}{5/8} = 1/20$

y,

x
*1 *-2 JC;
4

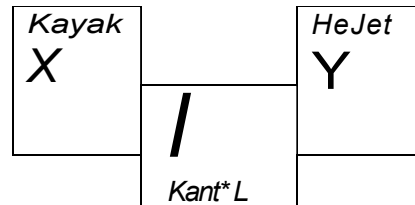
ŞeMl : (II - 4)

Burada mesela $P(x_1/y_2)$ hedefte müşahade edilen bir hattın kaynaktan bir nokta olarak gönderilmiş olma ihtimali olup $1/2$ dir.

ENFORMASYONUN MATEMATİKSEL ANALİZİ

III-1 TEMEL PRENSİPLER

Bir haberleşme sistemi genel olarak enformasyonun üretildiği kaynak, enformasyonun nakil olduğu kanal ve enformasyonun alınıp kullanıldığı hedeften mteşekkildir. Şekil (m-1).



ŞeMl : (III - 1)

Kaynaktan üretilen enformasyon kanal vasıtasıyla hedefe ulaşır, ideal bir sistemde parazit ve diğer hata kaynaklarının tesiri sıfır olduğundan kaynaktan gönderilen semboller hatasız olarak hedefe varır. Pratikte parazit ve diğer hata kaynaklarının tesiri bazı semboller üzerinde kararsız olarak bazen zayıf ve bazen şiddetle görülür.

Matematiksel bir disiplin içinde analizimizi yapabilmek için kaynak tarafındaki sembolleri bir kararsız değişken X, hedef tarafındaki sembolleri

ise diğ er bir kararsız değişken Y ile göstereceğiz. Mesela: bir teletayp sistemi için her biri alfebenin muhtelif harflerine tekabül etmek üzere $X; x_1, X_2, x_3, \dots, x_n$ ve Y ise $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ gibi değerler alacaktır.

Kaynakta üretilen sembollerden ancak hatasız olarak hedefe ulaşabilenler iş e yarayacak, hatalı olanlar ise aslından başka bir sembol olarak müş ahade edilecektir. Hatalı sembolere tekabül eden enformasyon bir iş e yaramadığı ndan gayri YANLIŞ olduğu için NEGATİ F tir.

Bir sembole tekabül eden enformasyon miktarının sembolün ihtimaliyat derecesine bağlı olduğunu görmüş tk. Burada ise hedefe ulaş an bir sembole tekabül eden enformasyon miktarının hem sembolün kaynaktaki ş elf ihtimaliyat derecesine ve hemde hedefteki sembolün kaynakta üretilmiş olana sadakatının ihtimaliyatına bağlı olacağı aş ikardır. Ş u halde sistemde x. ve y. sembollerine tekabül eden karş it (mutual) enformasyon miktarını tarif ederken bu iki ihtimaliyat derecesini birden hesaba katmak mecburiyeti vardır. Bunun için Bayes formülünü ş u şekilde yazacağız:

$$P(x_i) \quad (ra-i)$$

$$\frac{P(X_j) P(x_i)}{P(x_i)} = P(y_j) \quad (m-2)$$

Formül (İÜ -2) nin sol tarafındaki ifade sistemin x_i ve y_j sembollerinin karş it (mutual) ihtimaliyat kesafeti fonksiyonudur.

Bu bu mülahazalara dayanarak x_i - ve y_j sembollerine tekabül eden **karş it enformasyon ş iddeti (sembol baş ına mutual enformasyon miktarı) :**

$$= \log_2 \frac{P(x_i, y_j)}{P(x_i) P(y_j)} \quad \text{BİT/Sembol (m -3)}$$

$$\text{yahut} \\ = \log_2 \frac{P(x_i, y_j)}{P(x_i) P(y_j)}$$

$$= \log_2 \frac{P(x_i, y_j)}{P(x_i) P(y_j)} \quad \ll n-4)$$

olarak tarif edilmiştir.

Eğer hedefteki semboller kaynaktaki sembolere tamamen sadık ise,

ve

olacaktır. Bu halde

elde edilecektir ki formül (Di - 5) in sağ tarafındaki ifade kaynağın ş elf enformasyon ş iddeti $K(IJ)$ den başka bir şey değildir. Yani tam sadakat halinde sistemin karş it enformasyon ş iddeti $I(x_i; y_j)$ kaynağın ş elf enformasyon ş iddetine eş ittir.

Fakat hedefteki sembollerin kaynaktaki sembolere sadakat emsali sıfır ise,

$$P(x_i, y_j) = P(x_i) P(y_j) \quad \text{ve sistemin} \\ \text{karş it enformasyon ş iddeti}$$

$$I(x_i; y_j) = \log_2 1 = 0$$

sıfır olacaktır.

Normal ç alışma şartlarında:

$$I(x_i; y_j) > P(x_i)$$

olacağı ndan

Bu tarif ve ifadelerin bir takbikatını yapmak üzere daha evvelki Misal (ü - 1) e dönelim.

MİSAL : m - 1

Misal (H - 1) deki haberleş me sisteminde X_j ve y_j sembollerine tekabül eden karş it enformasyon ş iddeti fonksiyonu $I(x_i; y_j)$ nin değerleri, Misal (H - 1) de zaten bulunmuş olan ihtimaliyat dereceleri, formül (III -4) ve Ş ekil (I- 1) deki tablo yardımıyla kolayca bulunabilir.

Mesela:

$$I(x_i; y_j) = \log_2 \frac{P(x_i, y_j)}{P(x_i) P(y_j)}$$

$$= \log_2 \frac{9/16}{3/4 \cdot 5/8} = \log_2 6/5$$

$$\log_2 6/5 = \log_2 6 - \log_2 5 = 0.263 \text{ bit/sembol}$$

Aynı yoldan

$$I(x_i; y_j) = -0.585 \text{ bit/sembol} \\ I(x_i; y_j) = -1.322 > I(x_i; y_j) \\ = 1.000 > \text{ olarak bulunur.}$$

-0.585 1.00

1

-1 --- -1

1

Ş ekil : (III - 2)

Karşıt enformasyon şiddetlerinden hatalı sembolere tekabül edenlerin negatif bir değer oluşu dikkate değer.

Kaynaktaki **sembollerin birbirlerinden istatistik! olarak> bağımsız** olmaları şartı ile şelf enformasyon şiddetleri:

$$I(x_1) = -\log_2 P(x_1) = -\log_2 \frac{1}{4} = 0.415 \text{ bit/sembol}$$

$$I(x_2) = -\log_2 P(x_2) = -\log_2 \frac{1}{4} = 0.415 \text{ bit/sembol}$$

Hedefteki sembollerin şelf enformasyon şiddetleri:

$$I(y_1) = -\log_2 P(y_1) = -\log_2 \frac{5}{8} = 0.678 \text{ bit/sembol}$$

$$I(y_2) = -\log_2 P(y_2) = -\log_2 \frac{3}{8} = 1.415 \text{ bit/sembol}$$

m-2 ENFORMASYON ENTROPİSİ

Enformasyon miktarının sembol başına ihtimali (istatistik) ortalamasına entropi denir. Şekil İÜ - 1 deki haberleşme sisteminde

a — Kaynağın Şelf Entropisi:

Kaynaktaki sembollerin birbirinden istatistik olarak bağımsız olmaları şartıyla

$$H(X) = -\sum p(x_i) \log_2 p(x_i) \text{ bit/sembol}$$

b — Hedefin Şelf Entropisi:

Hedefin sembollerin birbirinden istatistik olarak bağımsız olmaları şartı ile

$$H(Y) = -\sum P(y_j) \log_2 P(y_j) \text{ bit/sembol}$$

c — Hedef ve Kaynak arasındaki Şartlı Entropiler:

$$H(Y/X) = -\sum P(x_i) \log_2 P(y_j/x_i) \text{ bit/sembol}$$

$$H(X/Y) = -\sum P(y_j) \log_2 P(x_i/y_j) \text{ bit/sembol}$$

d — Ortalama Karşıt Enformasyon:

$$I(X;Y) = \sum_{x,y} P(x,y) \log_2 \frac{P(x,y)}{P(x)P(y)} \text{ bit/sembol}$$

e — Hedef ve Kaynakta toplam Ortalama Enformasyon :

$$H(X,Y) = -\sum_{x,y} P(x,y) \log_2 P(x,y) \text{ bit/sembol}$$

Muhtelif entropi ve ortalamaların yukarıda ve rilen tariflerinden şu münasebetler kolayca çıkarılır:

$$H(Y/X) = H(X,Y) - H(X)$$

$$H(X/Y) = H(X,Y) - H(Y)$$

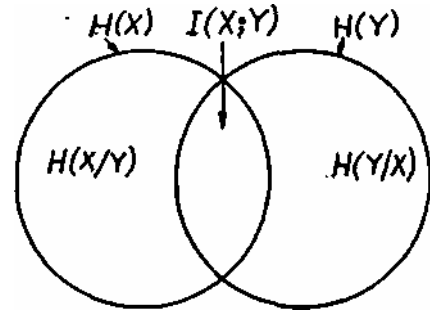
$$H(X) + H(Y) - I(X;Y)$$

$$I(X;Y) = H(X) - H(X/Y) = H(Y) - H(Y/X)$$

$$I(X;Y) < H(X) \quad H(Y/X) < H(Y) \quad H(X/Y)$$

$$I < H(X)$$

Bu münasebetler Şekil (m - 3) deki Venn diyagramında gösterilmiştir.



ŞeMI : (III - 3)

Burada:

$H(X)$: -Kaynaktan gönderilen sembollerin ortalama enformasyon şiddeti, $I(X;Y)$

:Hedefe ulaşabilen **net enformasyon** sembol başına ortalama şiddeti,

$H(X/Y)$: Parazit ve hatalardan dolayı ortalama enformasyon kaybı şiddeti, : Hedefe alınan bütün sembollerin ortalama

$H(Y)$: Hedefte alınan sembollerin ortalama enformasyon şiddeti,

$H(Y/X)$: Hedefte alınan sembollerin

mühemi-

yetten dolayı sembol başına ortalama hatasıdır.

İdeal bir haberleşme sisteminde,

$$H(Y/X) = H(X/Y) = 0 \text{ ve}$$

$$H(X,Y) = IC = H(X) = H(Y) \text{ olacaktır.}$$