

Ölçme Bilimi "Metroloji (Metrology)" ile İlgili Temel Bilgiler

"Ölçemediğiniz şeyi kontrol edemezsiniz."

Tom DeMarco (1940-), ABD Yazılım Uzmanı

Nasıl ölçeceğiz?

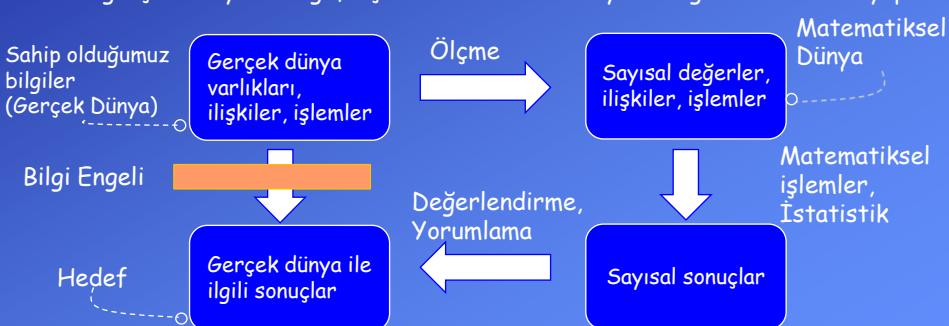
T. DeMarco, Controlling software projects : management, measurement & estimation. New York NY: Prentice Hall/Yourdon Press, 1982.

Kaynaklar:

- N. Fenton, "Software measurement: a necessary scientific basis," IEEE Transactions on Software Engineering, vol. 20, no. 3, pp. 199–206, Mar. 1994.
<http://dx.doi.org/10.1109/32.268921>
- B. Kitchenham, S. L. Pfleeger, and N. Fenton, "Towards a framework for software measurement validation," IEEE Transactions on Software Engineering, vol. 21, no. 12, pp. 929–944, Dec. 1995.
<http://dx.doi.org/10.1109/32.489070>
- Fenton, N and Bieman, J., "Software metrics: A rigorous and practical approach", 3/e, CRC Press, 2015

Bilgi Engeli (Intelligence Barrier)

- Gerçek dünyadaki bazı varlıklar (özellikle yazılım varlıkları) hakkında gözlem yoluyla değerlendirme yapıp kararlar vermek kolay değildir (hatta bazen mümkün değildir).
 - Örneğin, aynı işi yapan iki yazılımdan hangisinin hata çıkarmaya daha yatkın olduğunu sadece gözlemlerle belirleyemek için deneyimli yazılım uzmanlarının bu yazılımları uzun süre incelemesi ve yorumlaması gereklidir.
 - Bir yazılım modülü gerektiğinde kolay değiştirilebilir mi, bunu belirlemek de iş gücü gerektirir.
 - Bu tür karşılaştırmalar ve yorumlar ölçüme yoluyla dolaşılı olarak yapılır.
- Değerlendirme gerçek dünyada değil, ölçüme ile elde edilen sayısal değerler üzerinde yapılır.



Ölçmenin İki Temel Kullanım Şekli:

Değerlendirme (*assessment*) ve öngörü (*prediction*)

1. Değerlendirme (*Assessment, judgment*):

- Yazılımın/projenin o andaki durumu değerlendirilir ve kararlar verilir.

Örnekler:

- Yazılım modülleri olgunlaşmış mıdır, hata yoğunlukları belli bir düzeyin altında mıdır, yoksa bu modüller iyileştirilmeli mıdır?
- İki yazılım modülü anlaşılırlik yönünden karşılaştırılıp uygun olan seçilebilir.
- Bir modülün eski ve yeni sürümlerdeki karmaşaklıği karşılaştırılır, iyileşme var mı belirlenir.
- Kestirim (*estimation*): Sistemin doğrudan ölçülemeyen niteliklerinin o andaki durumu ile ilgili tahmin (kestirim) ölçülebilen nitelikler cinsinden oluşturulur.

Örnek:

- Programda henüz bulunmamış hata sayısı, önceki hataların sayısı, sınıf sayısı, metot sayısı gibi ölçüler kullanılarak kestirilebilir.

Ölçmenin İki Temel Kullanım Şekli (devamı):

2. Öngörü (*Prediction*):

- Yazılımın/projenin gelecekteki durumu hakkında değerlendirme yapılır.
- Burada kural tabanlı veya makine öğrenmesine dayanan yöntemler kullanılır.

a) Gelecekteki değeri öngörmek istenen karakteristik, o anda ölçülebilen başka niteliklerin ölçülerini cinsinden ifade edilir (korelasyon, nedensellik aranır).

Örneğin, bakım sırasında oluşacak güncelleme maliyeti o andaki karmaşalık ölçülerini cinsinden hesaplanarak öngörülebilir.

Hesaplamların sonuçları kesin sayısal değerler yerine "düşük", "orta", "yüksek" gibi sınıflar şekilde de olabilir.

Metrikler belli referans değerleri ile karşılaştırılarak kural tabanlı kararlar da verilebilir.

b) Bir karakteristikle ilgili geçmişte toplanan verilerden (ölçümlerden) bir model oluşturularak aynı karakteristiğin gelecekteki değeri öngörlür.

Örneğin, geçmişte sık hata çıkan sınıflara benzer özelliklere sahip sınıfların gelecekte sık hata çıkarması beklenebilir.

Sık hata çıkan ve çıkarmayan sınıfların nitelikleri ile bir eğitim kümesi oluşturularak model eğitilir.

Bu model daha sonra hata çıkma olasılığı yüksek olan sınıfları öngörmek için kullanılır.

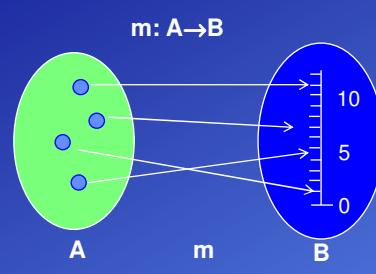
Ölçme Bilimi "Metroloji (Metrology)" ile İlgili Temel Bilgiler

Nasıl ölçeceğiz?

Ölçme (Measurement):

- **Ölçme**, gerçek dünyadaki fiziksel ya da sezgisel (*empirical*) varlıkların (*entity*) bazı niteliklerine (*attribute*) belli kurallara uygun şekilde sayılar ya da semboller karşı düşürmektedir.
- **Varlık (entity)**: Ölçmeye konu olan fiziksel ya da sezgisel varlıklardır.
Örneğin; kişi, sınıf, nesne, metot, test süreci, bilgisayar donanımı.
Hatırlatma: Yazılım dünyasında varlıklar üç alandan seçilir:
Yazılım ürünleri, yazılım süreçleri, kaynaklar.
- **Nitelik (attribute)**: Varlığın ölçülmemek istenen özelliği.
Örneğin; kişinin boyu, sınıfın işlevsel uyumu, nesnenin bellekte kapladığı yer, metodun uzunluğu.
Nitelikler çok boyutlu (*multidimensional*) olabilir.
Örneğin hız (*velocity*) hem birim zamanındaki yer değiştirmeye (*speed*) hem de yön bilgisi içerebilir.

- **Ölçme**: A fiziksel ya da sezgisel gerçek dünya varlıkları kümesi, B formel (sayısal, matematiksel) varlıklar kümesi (örneğin reel sayılar) olmak üzere, m ölçmesi iki küme arasında bire bir karşı düşürme (*mapping*) olarak tanımlanır.



Gerçek (sezgisel) dünya
(*Empirical world*)

Matematiksel (formel) dünya
(*Mathematical, formal world*)

Örneğin $B = \mathbb{R}^+$ olabilir.

\mathbb{R}^+ : Pozitif reel sayılar kümesi

m ölçme işlemi bire bir (*one-to-one*) bir ilişki olduğu için A'daki her varlığın B'de mutlaka bir ve sadece bir karşılığı (ölçme değeri) vardır.

- **Değer (value)**: Ölçme işleminde niteliklere çoğunlukla sayısal değerler karşı düşürülür. Başka değerler de kullanılabilir.
Örneğin, yazılımdaki hatalar şu şekilde değerlendirilebilir:
 - Gereksinim hatası, tasarım hatası, kod hatası veya
 - Çok kritik, orta kritik, az kritik.
 Elbette bu değerler sayılarla da ifade edilebilir.

Ölçmede Temsil Teorisi (Representational Theory of Measurement)

- **Ölçmenin amacı**, gerçek dünyadaki varlıklar hakkında onları değerlendirebilecek (*assessment*) ve gelecekteki durumları hakkında öngörüler (*prediction*) yapabilecek bilgiler elde etmektir (bilgi engelini aşmak, bkz. 3.2).
- Ölçme yönteminde **temsil (representation) özelliği** olmalıdır.
 - Gerçek dünyada iki varlık arasında belli bir niteliğe göre var olduğu bilinen (öyle olduğu algılanan) bağıntı (ilişki) (*relation*), ölçme sonucu elde edilen değerler arasında da bulunmalıdır.
Örneğin, sezgisel (gözlemsel) olarak k1 kişinin boyunun k2 kişisinden "daha uzun" olduğu gözlemleniyorsa, ölçme sonucu k1 kişinin boyuna atanan sayı, k2 kişinin boyuna atanan sayıdan "daha büyük" olmalıdır.
 - Temsil özelliği, matematiksel dünyadan gerçek dünyaya doğru da geçerli olmalıdır.
Örneğin, yazılım sınıflarının anlaşılırlığını ölçebilen bir yöntem A sınıfından daha yüksek bir değer atadiysa gerçek yazılımda A sınıfı B sınıfından daha kolay anlaşılır olmalıdır.

Ölçme ve Bağıntılar (Measurement and Relationships)

Temsil koşulunu (*representation condition*) açıklamak için önce **bağıntı sistemi** tanımlanacaktır.

Bağıntı sistemi (relational system): Tanım üç küme içerir: (S,R,O).

Tanım: (S, r₁, ..., r_n, op₁, ..., op_m) Belli bir niteliğe (*attribute*) göre tanımlanır.

S: İncelenen niteliğe (*attribute*) sahip tüm varlıklar kümesi,

R={r₁, ..., r_n} : Varlıkların niteliği üzerinde tanımlı bağıntılar (ilişkiler) (*relation*),

O={op₁, ..., op_m} : Varlıklar üzerinde tanımlı ikili işlemler (*operation*),

Örnek: Gerçek dünyadaki (sezgisel) bir bağıntı sistemi

İlgilenilen nitelik: uzunluk.

S: Elimizdeki tüm iper,

R = {r₁, ..., r_n} : ip₁, ip₂'den "daha uzun". İp₁ ile ip₂'nin uzunlukları "aynı".

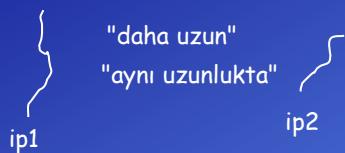
O = {op₁, ..., op_m} : İp₁ ve ip₂ "eklenip" ip₃ elde ediliyor.

Örnek: Sayısal (formel) bir bağıntı sistemi

S: Reel sayılar,

R = {r₁, ..., r_n} : büyük, küçük, eşit (<, >, ≤, ≥).

O = {op₁, ..., op_m} : Reel sayılar üzerindeki işlemler (+, -, ×, /).

Sezgisel (gerçek dünya) bağıntı sistemi (*Empirical Relation System*) Örnekleri**Örnek 1:** Varlıklar: ipler, İlgilenilen nitelik: **uzunluk**İlişkiler (*Relation*):İşlem (*Operation*):

"uç uca eklenir"

Örnek 2: Varlıklar: yazılım sınıfları, İlgilenilen nitelik: **karmaşıklık**

```
class ClassA{
public:
    ClassA(double);
    void FirstMethod(int);
    float SecondMethod();
private:
    double firstAttribute;
    int otherAttribute;
};
```

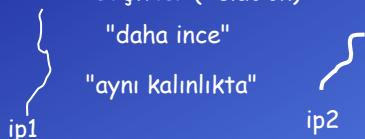
"daha karmaşık"
"eşit veya daha karmaşık"
Bu bağıntıları görmek
(sezmek) ilk örnekteki gibi
kolay değil.

```
class ClassB{
public:
    ClassB();
    int FirstMethod(int);
    double SecondMethod();
private:
    int otherAttribute;
};
```

Sezgisel bağıntı sistemi (*Empirical Relation System*) Örnekleri (devamı)

Sezgisel bağıntı sistemi belli bir niteliğe göre oluşturulur.

Örneğin iplerin uzunlukları yerine kalınlıkları ya da dayanaklılarına göre de ayrı bağıntı sistemleri bulunabilir.

Örnek 3: Varlıklar : ipler, İlgilenilen nitelik: kalınlıkİlişkiler (*Relation*):İşlem (*Operation*):

"birbirine sarılır"

Örnek 4: Varlıklar: yazılım sınıfları, İlgilenilen nitelik: anlaşılırlık

```
class ClassA{
};
```

"daha kolay anlaşılır"
"eşit veya daha kolay
anlaşılır"

```
class ClassB{
};
```

Temsil koşulu (*representation condition*)

$E=(C, R^E, O^E)$ bir gerçek dünya bağıntı sistemi (Empirical Relation System).

$F=(N, R^F, O^F)$ bir sayısal (formel) bağıntı sistemi (Numerical (formal) Relation System).

- Gerçek dünyadaki C varlık kümelerindeki nesnelerin belli bir niteliğinin ölçülebilmesi için E'den F'ye aşağıdaki özelliklere sahip bir ölçme, yani karşı düşürme (mapping) işlemi M tanımlanmalıdır.

$$M: (C, R^E, O^E) \rightarrow (N, R^F, O^F) \quad (\text{Sezgisel Dünya}) \rightarrow (\text{Sayısal Dünya})$$

- Bu ölçme işlemine (M) temsil (*representation*) denir.
- Temsil M, C kümelerindeki niteliklere N'den bir sayı düşürürken aynı zamanda, R^E kümelerindeki bağıntılarla R^F kümelerindeki bağıntıları ve O^E kümelerindeki işlemleri O^F kümelerindeki işlemleri birbirlerine karşı düşürür.

Temsil koşulu (*representation condition*):

- $\forall x, y \in C \text{ ve } " < " \in R^E, \exists " < " \in R^F : x < y \Leftrightarrow M(x) < M(y)$
- $\forall x, y \in C \text{ ve } " \oplus " \in O^E, \exists " + " \in O^F : M(x \oplus y) = M(x) + M(y)$

Örnek: Gerçek dünyada ip1 ip2'den "daha kısaydı", ölçme sonucu ip1'e atanın sayı ip2'ye atanın sayıdan "daha küçüktür". Bu ters yönde de doğrudur.

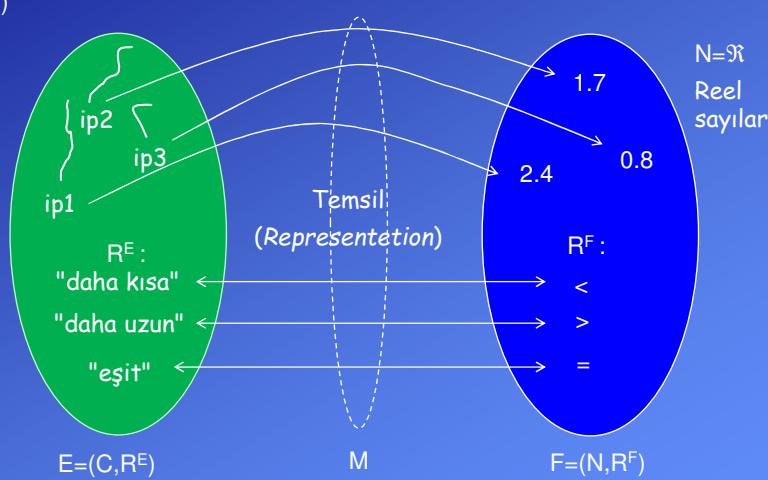
İki ip birbirine eklenirse ölçme değerleri toplanır.

Örnek: Temsil koşulu (*representation condition*):

İşlemleri (*operation*) dikkate almadan sadece varlıklar ve bağıntılar ile de bağıntı sistemleri oluşturulabilir.
 $E=(C, R^E)$, $F=(N, R^F)$

Nitelik: Uzunluk

Varlıklar: ip



Gerçek dünya (sezgisel) bağıntı sistemi
(Empirical Relation System)

Sayısal (formel) bağıntı sistemi
(Numerical (formal) Relation Sys.)

Tekli (unary) ilişkiler

- Tek bir varlığın niteliği üzerinde tanımlanan tekli (birli) ilişkiler de vardır.**
Örneğin, "A kişisinin boyu çok uzundur".
- Matematiksel dünyada bu ilişkiler eşik (referans) değerleri kullanılarak temsil edilir.**
Örneğin, $M(A) > 1.90m$
Bunun (M) geçerli bir temsil olması için boyu $1.90m$ 'den uzun olanların o toplumda "çok uzun" olarak kabul edilmesi gereklidir.
- Birli ilişkiler yazılım dünyasında belli kararları verebilmek için gereklidirler.
Örneğin,
 - " A sınıfı fazla büyük, bölünmesi gereklidir",
 - " A sınıfı fazla karmaşık, yeniden tasarlanması gereklidir",
 - " A sınıfının anlaşılırlığı kabul edilebilir düzeydedir, düzenleme yapmaya gereklidir".
- Buradaki temel zorluk temsil koşulunu sağlayan eşik değerlerini belirleyebilmektir.
- Bu konu "Bölüm 6: Tasarım Kusurlarının Belirlenmesi" bölümünde ele alınmıştır.

Ölçmenin Temel Adımları

1. **Gerçek dünya varlığının ölçmek istenen niteliği tanımlanır;**

Niteliklerin geçerli bir modeli (formül, denklem de olabilir) oluşturulur.

Örneğin bir yazılım sınıfının büyülüüğünün tanımı veya
bir yazılım modülünün karmaşıklığının tanımı.

2. **Ölçülecek nitelik için gerçek dünyada geçerli olan sezgisel ilişkiler tanımlanır.**

Ölçülmek istenen nitelikle ilgili olarak gerçek dünyada geçerli olan (bilinen, uzlaşılmış olan) ilişkiler nelerdir?

Örneğin; eşit, aynı değil, daha büyük, çok karmaşık.

3. **Sezgisel ilişkilere karşı düşen formel (sayısal) ilişkiler belirlenir.**

Örneğin $a = b$, $a \neq b$, $a > b$, $a > 75$

4. **Gerçek dünya varlıklarının niteliklerine sayılar karşılaştırılır.**

$M : E \rightarrow F$ (Sezgisel Dünya) \rightarrow (Sayısal Dünya) dönüşümü tamamlanmış olur.

5. **Temsil koşulunun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir.**

Sezgisel ve sayısal ilişkiler **iki yönlü** olarak birbirini gerektiriyor mu?

Aynı E sezgisel sistemini temsil eden birden fazla F sayısal sistemi oluşturmak mümkündür (Bkz. Kabul edilebilir dönüşüm).

Ölçmede Niteliklerin Modeli:

Ölçülmek istenen nitelik doğru bir biçimde tanımlanmalı ve modellenmelidir.

Örnekler:

- Bir kişinin boyu ölçülmeden önce "kişinin boyu" niteliği modellenmeli (tanımlanmalı).

Ölçme sırasında ayakkabı giyilebilir mi?

Ölçüm saat kaçta yapılmalı?

- Bir kişinin zeka düzeyi belirlenmek isteniyor.

Zekanın tanımı nedir? Tek bir nitelik midir, alt niteliklerden mi oluşur?

IQ testi sonucu bize doğru bilgi verir mi (temsil özelliği var mı)?

- Bir yazılım modülünün (alt program, metot vb.) karmaşıklığı ölçülecek.

Karmaşıklık nedir?

Örnek: Karmaşıklığı (sadece) McCabe sayısı ile tanımlamak doğru mudur?

McCabe sayısı bir program modülünde kaç tane bağımsız yol olduğunu verir.

McCabe sayısı programdaki karar noktalarına bağlıdır.

Karmaşıklığının artmasıyla programın anlaşılırlığının azalması ve bakımının zorlaşması beklenir.

Ancak bazı programlarda karar noktaları arttıkça programın daha kolay anlaşıldığı ve bakımının daha kolay yapıldığı görülmüştür (temsil özelliği?).

Ölçek (Scale)

$E = (C, R^E, O^E)$ bir gerçek dünya bağıntı sistemi (*Empirical Relation System*),

$F = (N, R^F, O^F)$ bir sayısal bağıntı sistemi (*Numerical (formal) Relation System*) ve

$M: E \rightarrow F$, şeklinde bir ölçü (temsil) olmak üzere

(E, F, M) üçlüsüne **ölçek (scale)** denir.

Örnekler:

- Kişilerin boyunun santimetre ile ölçülmesi bir ölçek, inç olarak ölçülmesi başka bir ölçektir.
- Bir yazılımın boyutunun satır sayısı ile ölçülmesi, sınıf sayısı ile ölçülmesi.

Gerçek dünyadaki hangi nitelikler ölçülebilir?

- E sezgisel sistemiyle tarif edilen bir niteliğin anlamlı olarak ölçülebilmesi için (E, F, M) şeklinde ölçek oluşturabilecek bir ölçüm (*measure*) M bulunabilmesi gerekir.
- Diğer bir deyişle E 'den F 'ye temsil koşulunu sağlayan bir karşı düşürme (*mapping*) M bulunabilirse E 'de tarif edilen varlıkların niteliği ölçülebilir.

Hatırlatma:

- Temsil M , gerçek dünyada sezgisel (doğal) olarak belirlenen ilişkilerin sayısal sistemde de korunmasını sağlar.
- Ölçme değerleri arasında bulunan ilişkiler gerçek dünyada da geçerlidir.

Kabul Edilebilir Dönüşüm (*Admissible transformation*)

- E sezigisel sisteminde yer alan bir nitelik birden fazla ölçülebilir.
Örneğin; kişilerin boyunun uzunluğu santimetre ölçüği ile sayısal sisteme dönüştürülebileceği (ölçülebileceği) gibi inç ölçüği ile de dönüştürülebilir.
- (E, F, M) bir ölçekse ve (E, F', M') aynı E sezigisel sistemine ilişkin başka bir ölçekse M' ölçümü (temsili) M ölçümünün kabul edilebilir dönüşümür (*admissible transformation*).
Örneğin; inç ölçüğindeki sonuçlar santimetre ölçüğine dönüştürülebilir.
 $T(x) = 2.54 \cdot x$
- M' ölçümü, M ölçümünün E sisteminde sağladığı tüm ilişkileri sağlamalıdır.**
Örnek: Gerçek dünyada ip1, ip2'den daha uzunsa tüm kabul edilebilir dönüşümlerde ip1'e atanan sayı, ip2'ye atanan sayıdan daha büyütür.
Sezigisel sisteme: ip1 "daha uzun" ip2
 $\Rightarrow M(ip1) > M(ip2)$ (santimetre ölçüği)
 $\Rightarrow M'(ip1) > M'(ip2)$ (inç ölçüği)
- Bu örnekte iki ölçek arasında $M = cM'$ şeklinde bir bağıntı (dönüşüm) vardır.
- Ölçekler arasında tiplerine bağlı olarak farklı bağıntılar (dönüşüm yöntemi) olur.

Ölçek Tipleri (*Scale Types*)

Ele alınan E sezigisel sistemindeki

- ilişkilerin çeşitligine (sayısına) ve
- bu ilişkilerin ne kadarının ölçme işleminde sağlandığına (temsil edildiğine)

bağlı olarak, bu sezigisel sistemin ölçülmesinde kullanılan ölçeklerin ve kabul edilebilir dönüşümlerin nitelikleri değişir.

Temsil edilen bağıntıların ayrıntılarına bağlı olarak ölçekler 5 farklı tipe ayrılır:

1. İsimlendirme (*Nominal*) Ölçeği:

- Sadece etiketleme (isimlendirme) (*labeling*) yapılır.
- Varlıkların farklı niteliklerine farklı sayılar (veya simgeler) karşılaştırılır.
- Atanan sayılar arasında sıralama amaçlı karşılaştırma yapmak mümkün değildir.
- Sezigisel sisteme tek bağıntı "farklı olma" (veya "aynı olma") bağıntısı olabilir.
- Atanan sayılar arasında aritmetik işlem yapmak anlamlı değildir.

Örnekler:

- Programlarda fonksiyonların döndürdükleri hata kodları:
dosya açılamadı : 1, dosya okunamıyor: 2, disk dolu:3 vs.
- Kişilerin etiketlenmesi: kadın=1, erkek=0.

Farklı niteliklere farklı değerle atayan tüm yöntemler kabul edilebilir dönüşümlerdir.

2. Sırasal (Ordinal) Ölçek:

- Varlıklara atanan sayılar belli bir niteliğe göre varlıklar arasında (sadece) sıralama yapılmasını sağlar.
- Geçerli bağıntılar: $A < B$, $A > B$, $A = B$, $A \neq B$.
- Geçersiz bağıntılar:
 - " A , B 'den 5 birim daha büyük" ya da " A , B 'nin 2 katıdır" gibi önermeler yapılamaz.
 - Atanan sayılar arasındaki farklar (aralıklar) anlamlı değildir.
 - Atanan sayılar arasında aritmetik işlem yapmak anlamlı değildir.

Örnekler:

- Mohs mineral sertlik katsayısı; bir malzemenin diğerini çizebilmesi ilkesine dayanır. $A:2$, $B:1$ ise A , B 'den daha serttir.
 - Hava kalitesine (ya da hava kirliliğine) atanan sayılar.
 - 1: Düşük risk, 2: Orta risk, 3: Yüksek risk, 4: Çok yüksek risk
 - İthalatlara atanan değerler: önemsiz (0), kritik(1), çok kritik(2).
- Aynı sırayı koruyan temsiller kabul edilebilir dönüşümlerdir.
Monotonik artan fonksiyonlar kabul edilebilir dönüşümlerdir.
 $M(x) > M(y) \Rightarrow M'(x) > M'(y)$

3. Aralık (Interval) Ölçeği:

- Varlıkların niteliklerine atanan sayılar, varlıklar arasında hem sıralama yapılmasını sağlarlar hem de sayılar arasındaki farklarda (aralıklar) anlamlıdır.
- Örneğin sıcaklığın $10^{\circ}C$ 'den $20^{\circ}C$ 'ye çıkmasıyla $30^{\circ}C$ 'den $40^{\circ}C$ 'ye çıkması aynı sıcaklık farkının olduğu anlamına gelir.
- Geçerli bağıntılar: $A - B = C - D$, $A - B > C - D$ gibi.
 - Geçersiz bağıntı: " A , B 'nin 2 katı" gibi önermeler yapılamaz.
 - Çünkü bu tür sistemlerde mutlak sıfır noktası yoktur. Sıfır değeri hiçlik (yokluk) belirtmez.
 - Sayılar arasındaki aralıklar (farklar) anlamlıdır ancak oranlar geçerli değildir.
 - Atanan sayılar arasında toplama ve çıkarma işlemleri yapılabilir; ancak çarpma ve bölme yapılmaz (anlamlı değildir).

Örnek:

- Sıcaklığın Celsius, Fahrenheit ölçekleri ile ölçülmesi.

Kabul edilebilir dönüşümler: $M' = a \cdot M + b$; $a > 0$

Örnek: ${}^{\circ}F = 1.8 * {}^{\circ}C + 32$

4. Oranlı (Ratio) Ölçeği:

- En üst düzeydeki ölçektir (en zengin ilişkiye sahip sistemi temsil eder).
- Ölçme sistemi mutlak sıfır değerine sahiptir. Bir niteliğe sıfır sayısının atanması yokluğu ifade eder.
- Aralık ölçüğine ek olarak atanın sayılar arasındaki oranlar da anlamlıdır.
Örneğin "ip1'in uzunluğu ip2'nin uzunluğunun 2 katıdır" önermesi anlamlıdır.
- Atanın sayılarına tüm aritmetik işlemler uygulanabilir.

Örnekler:

- Varlıkların uzunluk
- Nesnelerin ağırlıkları

Kabul edilebilir dönüşümler:

$$M' = a \cdot M \quad ; \quad a > 0$$

5. Mutlak (Absolute) Ölçek:

- Varlıkların nitelikleri belli bir şeyin sayısı (adeti) olarak ifade edilir.
Örnek: Programdaki satır sayısı, testlerde rastlanan hata sayısı
- Ölçme işlemi, ilgili niteliği oluşturan unsurlar sayılarak yapılır.
- Söz konusu niteliği sadece tek bir temsil ile ölçmek mümkündür. $M' = M$
- Diğer tüm özelliklerin özelliklerine sahiptir (sıra, aralık, orantı ilişkileri sağlanır).

Dikkat edilmesi gereken noktalar:

- Sayma yapılan her ölçme işlemi mutlak ölçekte olmaz.
- Örneğin; bir program modülünün **boyutu (uzunluğu)** ölçülmek istendiğinde programdaki satırlar sayılabilir.
Ancak bu ölçme işlemi mutlak ölçekte değil, orantı ölçüğinde olur.
Çünkü nitelik bir şeyin sayısı olarak tanımlanmamıştır ve başka şekillerde de ölçülebilir. Örneğin; karakter sayısı veya bellekte kapladığı yer olarak ölçülebilir.
Eğer ölçülmek istenen nitelik "**programdaki satır sayısı**" olarak tanımlanırsa ölçme işlemi mutlak ölçekte olur.
- Örneğin; bir program modülünün karmaşıklığı başlangıç ile bitiş arasındaki bağımsız yollar sayılarak yapılabilir (McCabe).

Bu yöntem sıralama ölçüğindedir çünkü gerçek dünyada karmaşıklık konusundaki algı bu düzeydedir.

Ölçeğin tipini belirleyen nedir?

1. Ölçeğin tipi, sezgisel sistemdeki varlıkların nitelikleri arasındaki bağıntıların ayrıntılarına bağlıdır.
Diğer bir deyişle varlıkların nitelikleri arasında ne gibi ilişkiler algılanabildiğine (sezilebildiğine) bağlıdır.
2. Bu ilişkilerin hangilerinin ölçme sonucu belirlenmek istendiğine bağlıdır.
 - Günümüzde yazılımların birçok niteliği hakkındaki algımız en fazla karşılaştırma düzeyindedir.
Örneğin: "A programı, B programından daha karmaşıktır."
Daha doğru ifade: "A programının karmaşıklığı, B programının karmaşıklığından daha büyütür."
"A sınıfının uyumu B sınıfının uyumundan daha düşüktür" gibi.
 - Bu tür nitelikler **sırasal ölçükle** ölçülebilirler.
 - Eğer iki program parçasını (A, B) karşılaştırıp
 - "A, B'den 5 birim daha karmaşık" kararı verilebilse karmaşıklık aralık (*interval*) ölçüği ile ölçülebilirdi.
 - Gerçek dünyada "A, B'den 2 kat daha karmaşık" kararı verilebilseydi karmaşıklık orantısı (*ratio*) ölçüği ile ölçülebilir.

Geçerli olan ölçek, ölçme sonuçlarının nasıl değerlendirileceğini etkiler:

- Ölçeğin tipi sonuçlar üzerinde hangi yorumların yapılabileceğini ve hangi istatistiksel işlemlerin uygulanabileceğini belirler.

a. İsimlendirme (nominal) ölçek:

- Sadece A ve B'nin incelenen niteliklerinin aynı veya farklı olduğu söylenebilir.
- $M(A)=1$, $M(B)=2$ ise "A, B'den daha küçüktür" önermesi geçerli olmaz.
- Sonuçlar üzerinde istatistiksel olarak sadece yoğunluk hesabı yapılabilir.

Örneğin:

- Bu sistemde kaç tane X değerine sahip nitelik var?
- Hataların kaç tanesi "derleme", kaç tanesi "çalışma zamanı" tipinde?
- Belli bir sürede olan olayların ne kadarı Y niteliğine sahip?

b. Sırasal ölçek:

- A'nın niteliğinin B'nin niteliğinden küçük/büyük olduğu söylenebilir ama ne kadar küçük/büyük olduğu söylenemez.
- Sonuçlar üzerinde istatistiksel olarak medyan hesabı yapılabilir.
- Bu değerler üzerinde ortalama alınması yanlışdır, çünkü değerler arasındaki aralıklar (farklar) anlamsız değildir.

Geçerli olan ölçek, ölçme sonuçlarının nasıl değerlendirileceğini etkiler: (devamı)**c. Aralık ölçüği:**

- Ölçüm sonuçları arasındaki **farklar da anlamlıdır.**
- Bir değerin diğerinden ne kadar büyük olduğu **söylenebilir.**
- Ancak orantısal yorum yapılamaz.
- Ölçme değerinin sıfır olması o niteliğin "yokluğu" anlamına gelmez.
Örneğin, sıcaklık ölçümünün sonucu 0°C elde edilmesi sıcaklık olmadığı anlamına gelmez.
- Sonuçlar üzerinde (öncekilere ek olarak) istatistiksel olarak aritmetik ortalama, standart sapma hesapları yapılabilir.

d. Oranti ölçüği (ve mutlak ölçek):

- Sonuçların birbirlerine oranları da anlamlıdır.
- Bir değerin diğerinden kaç kat kadar büyük olduğu **söylenebilir.**
- Ölçme değerinin sıfır olması o niteliğin "yokluğu" anlamına gelir.
Örneğin uzunluğun veya ağırlığın sıfır olması.
- Sonuçlar üzerinde (öncekilere ek olarak) **gerekçiğinde geometrik ortalama hesabı** yapılabilir.

Ölçme sonuçları üzerinde yapılan yorumların anlamlı (*meaningful*) olması:

- Sıcaklık 10°C 'den 20°C 'ye çıktığında "sıcaklık iki kat arttı" yorumu anlamlı mıdır?
- Kütle 10 kg'den 30 kg'ye çıktığında "kütle üç kat arttı" yorumu anlamlı mıdır?
- Birinci ipin uzunluğu 10 inch ikinci ipin uzunluğu 20 inch ise "birinci ipin uzunluğu ikinci ipin uzunluğunun iki katıdır" yorumu anlamlı mıdır?
- Bir ölçme sonucu üzerinde yapılan yorumun anlamlı olması demek, bu yorumun **gerçek dünyada geçerli** (temsil prensibine uygun) olması demektir.
Örneğin; sıcaklık 10°C 'den 20°C 'ye çıktığında "sıcaklık iki kat arttı" yorumu anlamlı ise bu sıcaklık değişiminin gerçek dünyadaki etkileri de bu orana uygun olmalı.
- Ölçme sonuçları üzerinde yapılan yorumun anlamlı olması **o ölçmenin hangi ölçekte olduğuna bağlıdır.**
- Ölçme sonucunun **doğru olması ile anlamlı** olarak yorumlanması farklı konulardır.
- Bir yorumun anlamlı olup olmadığını sınamak için, bu yorumun doğru veya yanlışlığının ölçme yapılan sistemin tüm kabul edilebilir dönüşümlerinde aynı olup olmadığı kontrol edilebilir.

Ölçme sonuçları üzerinde yapılan yorumların anlamlı olması (devamı)

Örnek 1:

- "Sıcaklık 2 katına çıktı" yorumu anlamlı mıdır?
 - Celsius ve Fahrenheit birimlerinde ölçülen sıcaklık, aralık ölçüğünde olduğundan bu yorum anlamlı değildir.
 - Ölçeği bilmeden de bu yorumun anlamlı olup olmadığını aşağıdaki yönteme sınayabiliriz.
 - Yorumun anlamlı olabilmesi için bu önermenin sonucunun (doğru/yanlış) o anda kullanılan sıcaklık ölçüğinin tüm kabul edilebilir dönüşümlerde aynı olması gereklidir.
- $10^{\circ}\text{C} = 50^{\circ}\text{F}$
 $20^{\circ}\text{C} = 68^{\circ}\text{F}$
- Celsius birimindeki değer iki katına çıkmasına karşın Fahrenheit birimindeki değer iki katına çıkmamıştır.
 - Bu sınamaya göre "sıcaklık 2 katına çıktı" yorumu anlamlı değildir.
 - Bu ölçmede aralık ölçüği geçerli olduğundan "Sıcaklık 10°C arttı" yorumu anlamlıdır.
 - Celsius biriminde 10°C 'lik fark Fahrenheit ölçüğünde her zaman 18°F 'lik farka karşı gelecektir.

Ölçme sonuçları üzerinde yapılan yorumların anlamlı olması (devamı)

Örnek 2:

- "Birinci ipin boyu ikinci ipin boyunun 2 katıdır" yorumu anlamlı mıdır?
- Uzunluk ölçümünde ölçek tipi orantı (*ratio*) ölçüği olduğundan yorum anlamlıdır.

Sınama:

- Birinci ip: 10 inch = 25.4 cm
- İkinci ip: 20 inch = 50.8 cm
- Her iki birimde de önerme doğru olduğundan bu sınamaya göre de yorum anlamlıdır.

Ölçme sonuçları üzerinde yapılan yorumların anlamlı olması (devamı)

Örnek 3:

İki yazılım sisteminin (X ve Y) modüllerinin (örneğin sınıf) anlaşılırlıklarını (*understandability*) (daha doğrusu anlaşılma zorlukları) değerlendirdiriliyor ve her birine aşağıdaki beş dereceden biri atanıyor.

Çok basit (*trivial*), Basit (*simple*), Orta (*moderate*), Karmaşık (*Complex*), Anlaşılmaz (*Incomprehensible*)

- Bu dereceler arasındaki aralıklar belirli (ve eşit) değildir. Bu nedenle bu derecelendirmeyle yapılan **ölçme sıralama ölçügünde** olur.

Buna göre yukarıdaki dereceleri temsil etmek üzere aşağıdaki sayılar kullanılabilir.

	Çok basit	Basit	Orta	Karmaşık	Anlaşılmaz
M :	1	2	3	4	5
M' :	1	2	3	4	10

(kabul edilebilir dönüşüm)

X sistemindeki 5 adet modüle (x_i), değerlendirciler aşağıdaki dereceleri atamıştır:

x_1 : Çok basit, x_2 : Basit, x_3 : Basit, x_4 : Orta, x_5 : Anlaşılmaz

Y sistemindeki 7 adet modüle (y_i) ise aşağıdaki dereceler atanmıştır:

y_1 : Basit, y_2 : Orta, y_3 : Orta, y_4 : Orta, y_5 : Karmaşık, y_6 : Karmaşık, y_7 : Karmaşık

Bu durumda iki sistemin anlaşılırlığı nasıl karşılaştırılır? Ortalama almak uygun mudur?

Örnek 3: (Devamı)

İki yazılım sisteminin (X ve Y) anlaşılırlıklarını anlamlı olarak nasıl karşılaştırılabilir?

Ortalama üzerinden karşılaştırma:

- Eğer karşılaştırma için ortalamadan yararlanmak düşünülürse ve önceki yanda verilen M ölçmesi kullanılırsa X sisteminin anlaşılma zorluğunun ortalaması 2,6; Y sisteminin ortalaması ise 3,1 (daha yüksek) olarak hesaplanır.

$$E[M(Y)] > E[M(X)]$$

$E[M(X)]$: M ölçmesinin X sistemine uygulanmasıyla edilen sonuçların beklenen değeri (ortalaması).

- Eğer M' ölçmesi kullanılırsa X sisteminin anlaşılma zorluğunun ortalaması 3,6; Y sisteminin ortalaması ise 3,1 (daha düşük) olarak hesaplanır.

$$E[M'(X)] > E[M'(Y)]$$

- Sıralama ölçügünde** ortalama anlamlı olmadığından iki sistemi ortalamaları üzerinden karşılaştırmak mümkün değildir.

Örnek 3: (Devamı)

İki yazılım sisteminin (X ve Y) anlaşılırlıklarını anlamlı olarak nasıl karşılaştırılabilir?

Medyan (merkezi değer) üzerinden karşılaştırma:

- Her iki ölçme için de (M ve M') X sisteminin anlaşılma zorluğunun medyanı 2; Y sisteminin medyanı ise 3 (daha yüksek) olarak hesaplanır.

$\text{Med}[M(Y)] > \text{Med}[M(X)]$

$\text{Med}[M(X)]$: M ölçmesinin X sistemine uygulanmasıyla edilen sonuçların orta değeri (medyanı).

- Örnekte verilen sistemler için her zaman $\text{Med}[M(X)] = \text{basit}$, $\text{Med}[M(Y)] = \text{orta}$ bulunur.

Bu nedenle tüm kabul edilebilir dönüşümlerde aynı sonuç elde edilir.

Örnek M'' ölçmesi:

M'' : Çok basit: 0,5 Basit: 3,8 Orta: 72 Karmaşık: 104 Anlaşılmaz: 500

$\text{Med}[M''(Y)] = 72 > \text{Med}[M''(X)] = 3,8$

- Sıralama ölçüğünde medyan anlamlı olduğundan iki sistemi medyan üzerinden karşılaştırmak mümkündür.

Ölçme değerlerinin (ölçülerin) elde edilmesi:**1. Doğrudan ölçme (Direct measurement):**

- Bazı niteliklerin ölçümüleri başka niteliklere gerek duyulmadan doğrudan ölçülebilir.
- Yazılımın iç nitelikleri genellikle doğrudan ölçülebilir.

Örneğin, bir sınıfıktaki metot sayısı.

2. Dolaylı ölçme (Indirect measurement):

- Bazı niteliklerin değerleri tek bir ölçme işlemi ile diğer niteliklerden bağımsız olarak atanamaz.
- Bu tür niteliklerin değerleri başka niteliklerin ölçümülden elde edilen değerlerin belli bir modelle göre işlenmesiyle elde edilir. Hesaplama da (*calculation*) denir.

Örneğin bir programın çalışma zamanı hata sıklığını ölçmek için hem çalışma süresini hem de hata sayısını ölçmek gerekir.

- Öngörü (*prediction*) yöntemleri de bir çeşit dolaylı ölçmedir.

Örneğin bir yazılımın güncelleme maliyetini doğrudan ölçmek için o yazılımın tamamlanması gereklidir. Proje henüz geliştirme aşamasındayken bazı iç nitelikler kullanılarak ilerideki güncelleme maliyeti dolaylı olarak ölçülebilir (öngörülebilir).

- Yazılım yüksek düzeyli kalite kriterleri genellikle dolaylı olarak ölçülebilir.

Ölçmede Güvenirlilik (Reliability) ve Geçerlilik (Validity)

Güvenirlilik (Reliability): Ölçme (veri toplama) yönteminin **tutarlı** olmasıdır.

- Aynı varlığın, aynı niteliği, aynı koşullar altında defalarca ölçüldüğünde aynı veya yakın sonuçlar elde edilmelidir.

Geçerlilik (Validity): Ölçme (veri toplama) yönteminin gerçekten ölçmek istenen nitelik ile ilgili bilgi vermesidir.

- Örneğin, bir yazılım biriminin **karmaşıklığını** ölçmek için o birimdeki **satır sayısı** kullanılırsa bu **geçerli bir yöntem** olur mu?

- Bir ölçme sisteminde temsil özelliğinin olabilmesi için ölçme yönteminin hem güvenilir hem de geçerli olmalıdır.



Güvenilir, geçerli değil



Geçerli, güvenilir değil



Güvenilir ve geçerli

Babbie, Earl R., *The practice of social research*, Wadsworth Cengage Learning, 2013.

Ölçmede Güvenirlilik (Reliability) ve Geçerlilik (Validity) (devamı)

Güvenirlilik (Reliability):

- Ölçmede güvenirlilik ile ilgili sorunlar ölçme (veri toplama) yöntemindeki hatalardan kaynaklanırlar.
- Bir ölçme sisteminin güvenirlliğini sınmak için ölçme işlemi tekrarlanarak farklı zamanlarda elde edilen sonuçlar arasında korelasyon aranır.

Geçerlilik (Validity): Ölçme (veri toplama) yönteminin gerçekten ölçmek istenen nitelik ile ilgili bilgi vermesidir.

- Ölçmede geçerlilik ile ilgili sorunlar ölçülecek olan niteliğin iyi anlaşılmasından veya doğru tanımlanmasından kaynaklanırlar.
- Ölçme yöntemindeki hatalar da geçerliliği etkiler.
- Bir ölçme sisteminin geçerliliğini sınmak için
 - Değeri bilinen niteliklerin ürettiği ölçme sonuçları incelenebilir.
 - Ölçme sonucu elde edilen bazı (özellikle sıra dışı, çok küçük, çok büyük) değerlerin geçerliliği gerçek dünyadaki varlıklar gözle incelenerek doğrulanmaya çalışılır.

Nesnel (*Objective*) ve Öznel (*Subjective*) Ölçme

Nesnel (*objective*) ölçmenin sonuçları ölçümede rol oynayan kişilerden bağımsızdır.

- Aynı varlığın, aynı niteliği farklı kişiler tarafından da ölçülse (yöntem güvenilir ise) aynı (en azından benzer) sonuçlar elde edilir.
- Sonuçlar tutarlı olduğundan (eğer mümkünse) nesnel ölçme tercih edilir.

Öznel (*subjective*) ölçmenin sonuçları ölçümede rol oynayan kişilerin öznel (kişisel) görüşlerinden etkilenir.

- Aynı varlığın, aynı niteliği için farklı kişiler farklı değerlendirmede bulunabilirler.
- Sonuçlar kişilere göre farklılık gösterse de çoğunluğun görüşü dikkate alındığında ortaya belli bir eğilim çıkıyorsa (yöntem güvenilir ise) öznel ölçme sonuçları da yararlı olurlar.
- Yazılım konusunda, özellikle geliştirilen nesnel ölçme yöntemlerinin sağlamasını yapmak (doğruluğunu göstermek) için öznel ölçme sonuçlarından yararlanılır.
- Örneğin, bir kodun anlaşılırlığını ölçebilen bir yöntem geliştirdiğiniz düşünün.
- Bu yöntemle değerlendirdiğiniz yazılım modüllerini belli sayıda programcıya okutarak anlaşılırlıklarını puanlamalarını istersiniz.
- Eğer yönteminizin değerlendirmesiyle programcılar arasında bir tutarlılık varsa sizin yönteminizin doğru sonuçlar ürettiğini iddia edebilirsiniz.

Nesnel (*Objective*) ve Öznel (*Subjective*) Ölçme (devamı)

Örnek: Öznel (*subjective*) ölçme

Bir yazılım projesinde test senaryoları hazırlanmadan önce ilgili isterlerin (*requirements*) anlaşılırlıklarının test takımı tarafından değerlendirilmesi isteniyor.

Takımın her üyesi her ister için 1 - 5 arası puan veriyor.

1: "Bu isteri tamamen anladım. Bu isterin karşılanması karşılanmadığını belirleyecek test senaryolarını yazabilirim."

5: "Bu isteri anlamadım. Bu ister ile ilgili test senaryosunu yazamam."

Aşağıdaki tabloda kaç kişinin hangi tip isterlere hangi puanı verdiği gösterilmiştir.

Öznel ölçme sonuçları:	İster Tipi	1 (iyi)	2	3	4	5 (kötü)
		12	7	2	1	0
	Performans isterleri	16	12	2	0	0
	Veri tabanı isterleri	3	4	6	7	1
	Arayüz isterleri	14	10	1	0	0
	Diger isterler					

Öznel sonuçlar arasında farklılıklar olsa da bu tabloya baktığımızda arayüz isterlerinin çok açık olmadığı ve gözden geçirilmeleri gerektiği sonucuna varabiliriz.

Çok Bileşenli Nitelikler

- Bazı nitelikler birden fazla bileşenden (alt nitelikten) oluşurlar.
Örneğin, ISO/IEC kalite modellerinde ana karakteristikler.
- Çok bileşenli niteliklerin ölçülmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve gerektiğinde varlıkların karşılaştırılabilmesi için birden fazla bileşenin (alt niteliğin) birlikte değerlendirilebilmesi için amaca uygun yöntemlerin geliştirilmesi gereklidir.

Örnek:

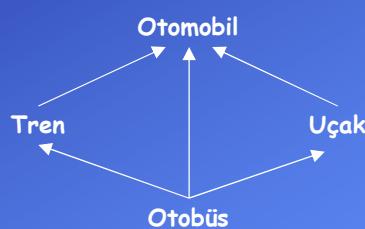
- Farklı ulaşım araçlarının kalitesinin değerlendirilmesi ve bu araçların karşılaştırılması isteniyor.
- Araçların kalitesi iki bileşenden oluşuyor: yolculuk süresi ve maliyet.

Ulaşım Aracı	Yolculuk Süresi (saat)	Maliyet (TL)
Otomobil	3	30
Tren	5	60
Uçak	3,5	85
Otobüs	7	90

Çok Bileşenli Nitelikler (devamı)

Örnek (devamı):

- Ulaşım aracı A'nın kalitesinin B ulaşım arasının kalitesinden yüksek olması için A'nın hem yolculuk süresinin hem de maliyetinin B'den düşük olması istenebilir.
Kalite (A) > Kalite (B): Eğer yolculuk süresi (A) < yolculuk süresi (B) VE
maliyet (A) < maliyet (B)
- Bu değerlendirme modeli kullanıldığından araçlar arasında kısmi sıralama bağıntısı (*partial order relation*) oluşur.



- Bu modele göre otomobilin kalitesi diğer tüm araçlardan daha yüksektir.
- Otobüsün kalitesi diğer tüm araçlardan daha düşüktür.
- Ancak tren ve uçak arasında karşılaştırma yapmak mümkün değildir.

Çok Bileşenli Nitelikler (devamı)

Çok bileşenli niteliklerin tek bir sayı ile ifade edilmesi:

- Tüm varlıkların birbirleriyle karşılaştırılabilmesi için birden fazla alt nitelikten elde edilen verilerin tek bir sayısal değerle ifade edilmesi istenebilir.
- Temsil özelliğini (gerçek dünyaya uyumu) sağlayarak bu tür karmaşık kalite niteliklerinin tek sayı ile ifade edilmesi her zaman mümkün olmayabilir.
- Bununla beraber, pratik yararlar sağlayan (örneğin sorunlu yazılım birimlerini büyük oranda belirleyen) modeller kurulabilir.
- Çok sayıda alt nitelikten oluşan bir kalite niteliğine değer atamak üzere model oluştururken aşağıdaki iki sorunun çözülmesi gereklidir.
 - Alt niteliklere ilişkin değerlerin aralıkları (en küçük - en büyük) farklıdır.**
 - Örneğin, yolculuk süresi 3 - 7 saat arasında değişirken, maliyet 30 - 90 TL arasında değişmektedir.
 - Alt niteliklerin önemi (ağırlığı) farklı olabilir**
 - Örneğin, yolculuk süresi, maliyetten daha önemlidir.

1. Alt niteliklere ilişkin değerlerin aralıkları (en küçük - en büyük) farklıdır.

- Bu sorunu gözlemek için değerler, uygun yöntemlerle aynı aralığa getirilir.
 - Örneğin; min-max normalizasyonu. $y = (x - \text{min}) / (\text{max} - \text{min})$
 - Örneğin; alt niteliklerden en küçüğünün değeri 1 kabul edilerek diğer alt niteliklerin değerleri orantısallaşırma olarak hesaplanabilir.

Örnek: Alt niteliklerin, en küçük değer 1 kabul edilerek normalize edilmesi:

Ulaşım Aracı	Yolculuk Süresi (normalize)	Maliyet (normalize)
Otomobil	1	1
Tren	1,67	2
Uçak	1,17	2,83
Otobüs	2,33	3

- Bu normalizasyon işlemin yapılabilmesi için bu alt niteliklerin orantı ölçüğinde değer alması gereklidir.
- Ölçüm hangi ölçekteyse, normalizasyon işlemi ona uygun bir kabul edilebilir dönüşüm şeklinde olmalıdır.

Normalizasyon sonrası elde edilen değerler, orijinal değerler ile aynı ilişkileri ölçüge uygun şekilde sağlamalı.

Normalize edilmiş alt niteliklerin modelde kullanımı

- Örneğin yolculuk süresi ve maliyet eşit önemdeyse bir A aracının kalitesi normalize değerler kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

Kalite (A) = Normalize Yolculuk Süresi (A) + Normalize Maliyet (A)

- Bu modelde elde edilen daha küçük değerler daha yüksek kaliteyi ifade eder.

Ulaşım Aracı	Kalite
Otomobil	2
Tren	3,67
Uçak	4
Otobüs	5,33

- Daha büyük değerlerin daha yüksek kaliteyi ifade etmesi için formül aşağıdaki gibi oluşturulabilir:

Kalite (A) = $100 / (\text{Normalize Yolculuk Süresi (A)} + \text{Normalize Maliyet (A)})$

- Bu modele göre (her iki formüle göre de) tren yolculuğunun kalitesi uçak yolculuğundan yüksektir.

- Buradaki modeller sadece örnek olarak verilmiştir.

Ölçme yönteminin temsil özelliğinin olup olmadığıın incelenmesi gereklidir.

Ulaşım Aracı	Kalite
Otomobil	50
Tren	27,25
Uçak	25
Otobüs	18,76

Normalize edilmiş alt niteliklerin modelde kullanımı (devamı)

- Kalite hesabında kullanılan metrik değerleri belli bir referans noktasına göre normalize edildiğinden elde edilen sonuç değerleri (örneğin Uçak: 25), kendi başlarına bir anlam ifade etmezler.
- Bu değerler, tabloda yer alan araçların birbirlerine göre bağılı olarak değerlendirilmelerini sağlar.
- Eğer normalizasyon işlemi belli bir referans sistemindeki alt niteliklerin değerlerine göre yapılrsa ölçülen sistemin o referansa göre kalitesi belirlenir.

Böylece ölçülen sistem, referans sistemle karşılaştırılarak karar verilebilir.

Örneğin, referans sistem vapur yolculuğu olabilir.

Tren yolculuğunun kalitesi vapur yolculuğuna göre (bağılı) ölçülebilir ve buna göre tren ile yolculuk yapıp yapmamaya karar verilebilir.

2. Alt niteliklerin öneminin (ağırlığının) belirlenmesi

- Ağırlıkların atanmasında gerçek dünyaya uyum (temsil) büyük önem taşır.
- Alt niteliklerin ağırlıklarının birbirlerine oranı gerçek dünyada geçerli olmalı.
- Örneğin yolculuk süresinin, maliyetten iki kat daha önemli (ağırlıklı) olduğu düşünülebilir.

Yeni oranlara göre A aracının kalitesi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{Kalite (A)} = 2 \times \text{Normalize Yolculuk Süresi (A)} + \text{Normalize Maliyet (A)}$$

veya

$$\text{Kalite (A)} = 100 / (2 \times \text{Normalize Yolculuk Süresi (A)} + \text{Normalize Maliyet (A)})$$

- Bu modelde göre ise uçak yolculüğünün kalitesi tren yolculduğundan daha yüksektir.

Ulaşım Aracı	Kalite
Otomobil	33,3
Uçak	19,34
Tren	18,73
Otobüs	13,05

- Ağırlıkların belirlenmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır:

Geçmişteki deneyimlerden yararlanılır, var olan projeler üzerinde deneme yanılma yöntemleri uygulanır, makine öğrenmesi yöntemleri kullanılır.

- İlerleyen bölümlerde bu yöntemler inceleneciktir.