

# KISA SÜRELİ GERİLİM DÜŞÜMLERİ VE ENDÜSTRİYEL DAĞITIM SİSTEMLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Ahmet Serdar Yılmaz , Ertan Yanıkoğlu, Hüseyin Gelberi

**Özet-** Kısa süreli gerilim düşümleri ( K.S.G.D ), kısa devre veya büyük güçlü motorların yol almasından kaynaklanan, gerilimin efektif değerinin genliğinde meydana gelen ani ve kısa süreli azalmalardır. Endüstriyel sistemlerin güvenilirlik değerlendirmesinde önemli bir role sahiptir. Proses kontrol sistemleri çoğu kez gerilim düşümlerine duyarlılık göstermektedir. Modern güç sistemlerindeki en çok dikkate alınan enerji kalitesi kavramlarından biridir. Çünkü tüketici cihazlarında yanlış çalışma veya devre dışı kalmaya yol açabilmektedir. Bu makalede hassas proses kontrol sistemleri için kabul edilebilir güç ve gerilim düşümü tanımları sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler :** Kısa süreli gerilim düşümleri. Güç kabuledilebilirliği. Enerji Kalitesi.

**Abstract**—Voltage sags are suddenly short duration reductions in the rms voltage magnitude caused by remote short circuits or large motor starting. Voltage sags have an important role in industrial system reliability evaluation. Modern process controls are often sensitive to voltage sags. Voltage sags are one of the most concerned power quality events in the modern power systems. Because they can lead to tripping or mis-operation of the customer equipment. This paper presents the power acceptability and voltage sag indices in the sense process control systems.

**Key words :** Short duration voltage sags. Power acceptability. Power Quality.

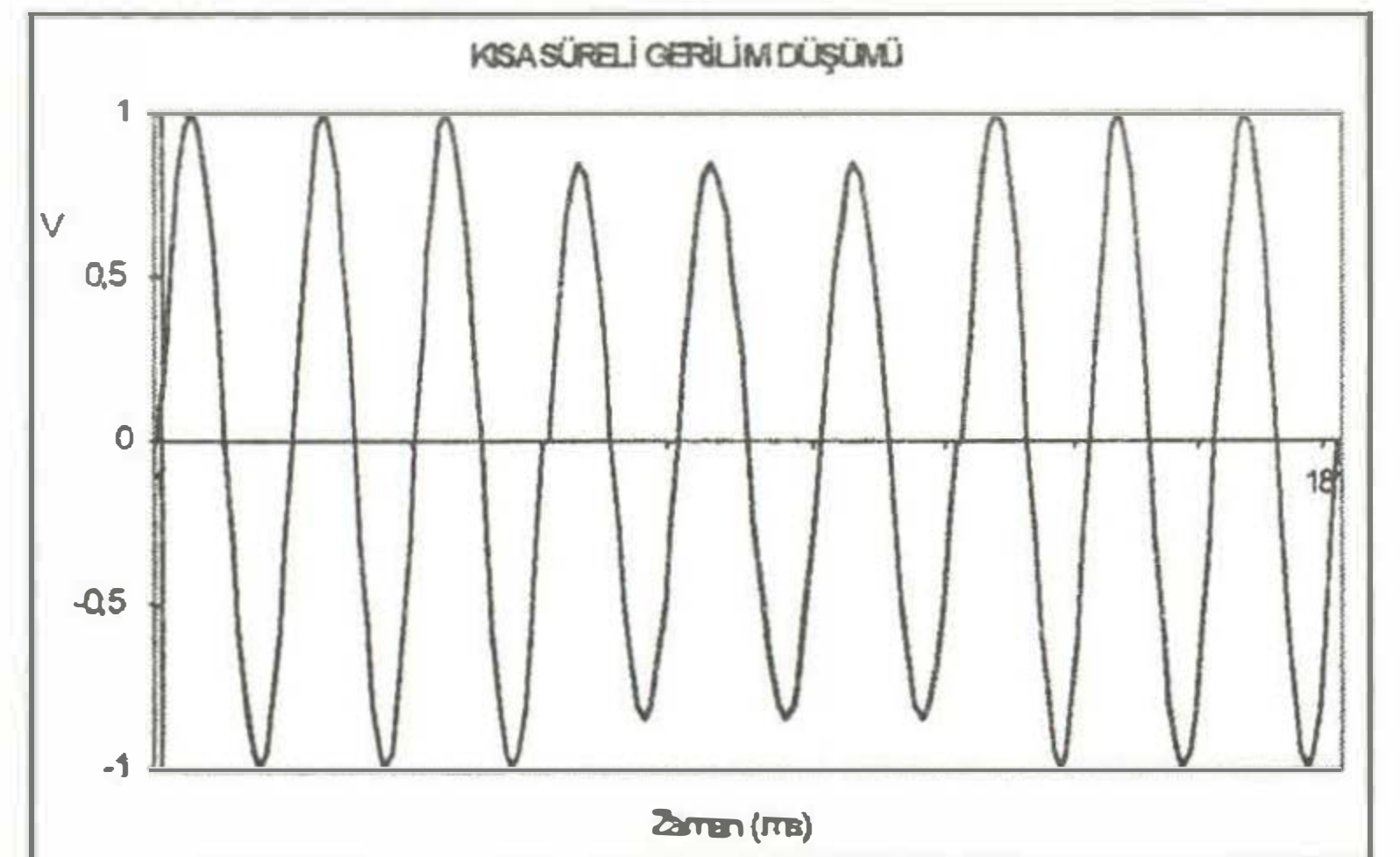
## I.GİRİŞ

Enerji dağıtım sistemlerindeki, büyük güçlü asenkron motorların yol alması ve sistemin bir başka yerinde meydana gelen kısa devre arızası sırasında sistemin her bölgesinde bir miktar gerilim azalması meydana getirir.

A.S. Yılmaz, E. Yanıkoğlu, H. Gelberi; Sakarya Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü Esentepe / Sakarya

Gerilimde meydana gelen bu ani düşme sonucu, duyarlı yüklerde yanlış çalışma ve işlevini yapamama gibi sorunlara yol açar. Bu, özelliklerde şehirlerde ve meskun mahallerde sıkıntılara yol açar. Ticari ve endüstriyel yüklerde de üretim ve maliyet kaybına yol açacak sorunlara sebep olur. Ani gerilim düşümlerinin en önemli kaynağı olarak kısa devreler gösterilebilir. Sistemin herhangi bir bölgesinde meydana gelen kısa devre, meydana geldiği noktaya elektriksel olarak bağlı her yerlerde, gerilimde ciddi düşümlere neden olur. Kısa devre noktasına olan uzaklık meydana gelecek düşümün şiddetini belirler [1].

Şekil.1'de tipik bir gerilim düşümü dalga şekli verilmektedir. Söz konusu dalga şeklinde üç periyot kadar süren %85 seviyelerindeki bir gerilim düşümü gösterilmektedir.



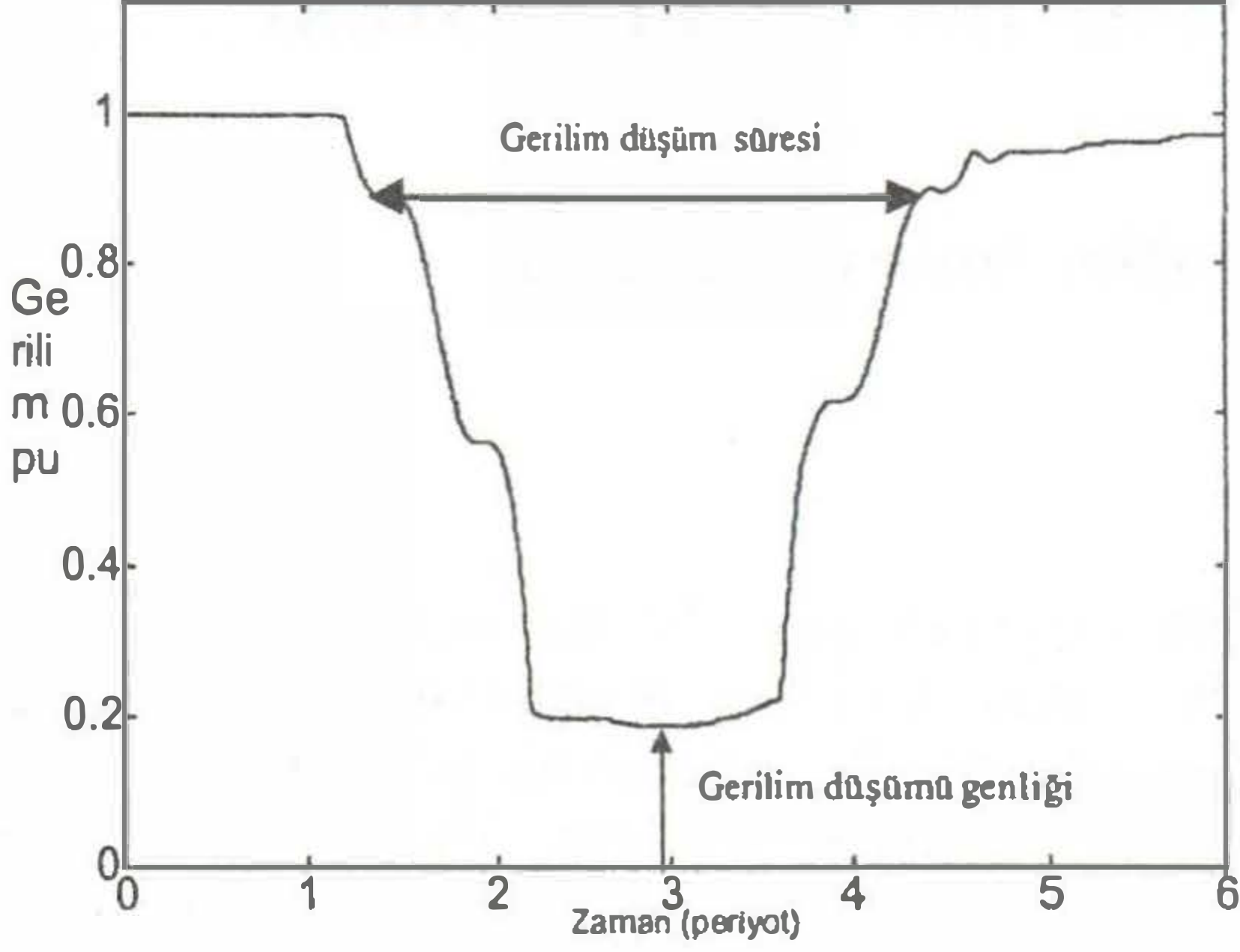
Şekil.1 Tipik Bir Kısa Süreli Gerilim Düşümü

## II. KISA SÜRELİ GERİLİM DÜŞÜMLERİ

### II.1 KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ

Genlik ve süre iki önemli gerilim düşümü karakteristiğidir. Gerilim düşümü genliği yüzde olarak net efektif gerilim veya sistem nominal gerilimin birim

değerde ifade edilmesidir. Bir başka deyişle, arta kalan gerilim genliğidir [2]. Gerilim düşümü yarım periyot ile bir dakika arasında sürebilir ve bu süre içerisinde genlik %10 ile %90 arasında değişebilir [3]. Şekil.2'deki dalga şeklinde genlik ve süre kavramları açıklanmaktadır [4].



Şekil.2 Gerilim düşümü süresi ve genliği [4]

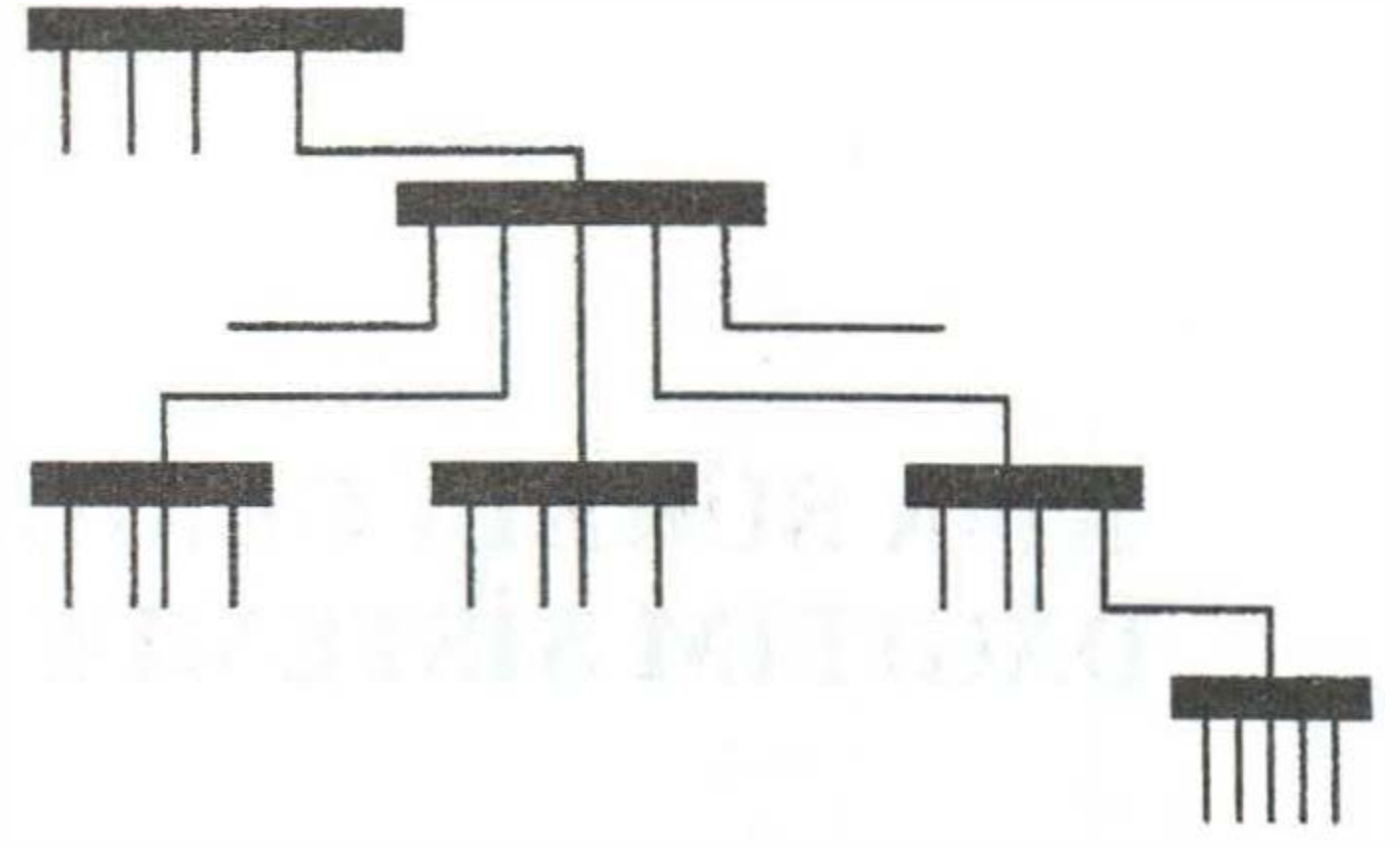
Kısa devre kaynaklı gerilim düşümlerine dağıtım sistemlerinde daha sık rastlanır ve iletim sistemine göre daha etkilidir. İletim sisteminde arıza temizleme zamanının daha kısa olması, düşüm süresinin kısa kalmasına ve sistemi etkilememesine yol açar. Ne varki dağıtım sistemleri için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Koruma cihazları açma zamanları daha uzundur ve hepsinden önemlisi yük bölgelerinde meydana gelecek problemlerden ilk önce bu sistemlerin zarar görebilecek olmasıdır. Bu nedenle gerilim düşümü incelemelerinde orta ve alçak gerilim dağıtım sistemleri daha fazla risk altındadır. Tablo.1'de bazı koruma cihazlarının arıza temizleme zamanları verilmektedir [2].

Tablo.1 Dağıtım sistemlerindeki arıza temizleme cihazlarının çalışma zamanları

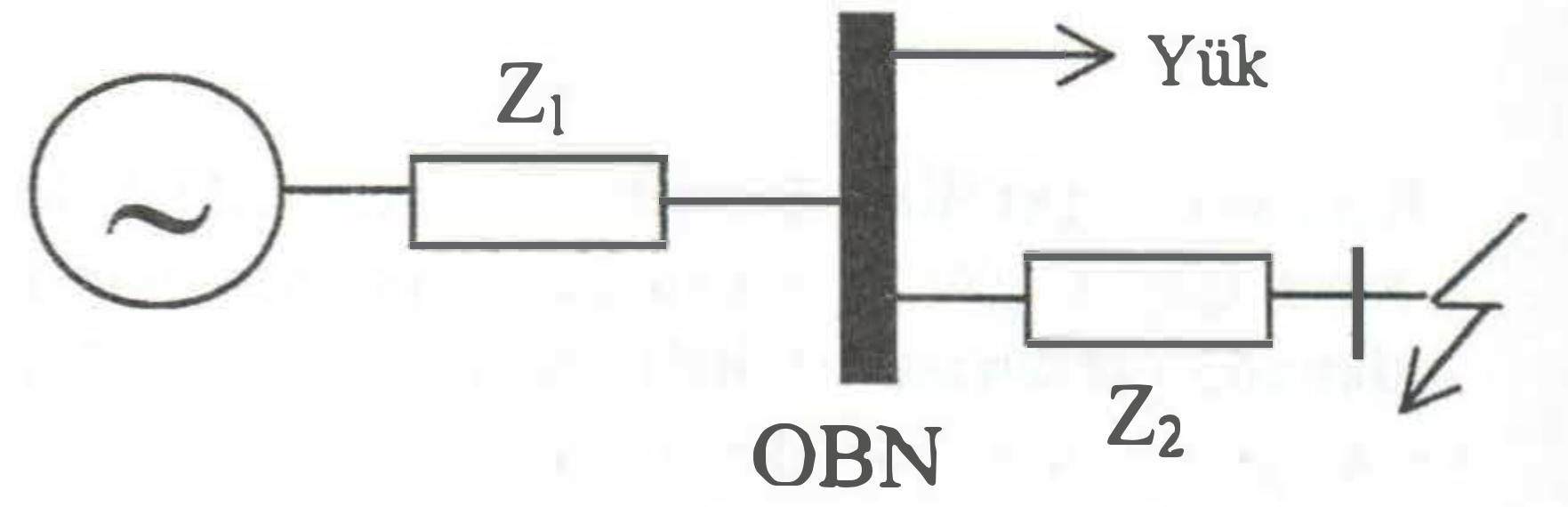
| Koruma Cihazı Türü       | Temizleme süresi (per.) |          | Mümkün tekrar çalışma |
|--------------------------|-------------------------|----------|-----------------------|
|                          | Min                     | Ortalama |                       |
| Bıçaklı sigorta          | 0.5                     | 0.5-60   | Yok                   |
| Akım sınırlayıcı sigorta | ≤0.25                   | 0.25-6   | Yok                   |
| Elektronik Recloser      | 3                       | 1-30     | 0-4                   |
| Yağlı kesici (dağıtım)   | 6                       | 1-60     | 0-4                   |
| SF6 yada vakumlu k.      | 2-3                     | 1-60     | 0-4                   |

## II.2 GERİLİM DÜŞÜMÜ HESAPLAMALARI

Dağıtım sistemleri ülkemizde radyal şebekelerden oluşmaktadır. Tipik bir radyal şebeke tek hat şeması şekil.3'de görülmektedir. Bu tür bir şebekede üretici ve tüketici arasındaki hatta meydana gelen bir kısa sonucu tüketicide kesinti olurken, komşu tüketicilerde kesinti yerine gerilim düşmesi yaşanacaktır. Dağıtım sisteminin herhangi bir yerinde bir arıza anında oluşacak kısa süreli gerilim düşümünü hesaplayabilmek için, kaynak ve yük arasında bir ortak bağlantı (O.B.N.) belirlemek gerekir.



Şekil.3 Tipik bir radyal dağıtım sistemi

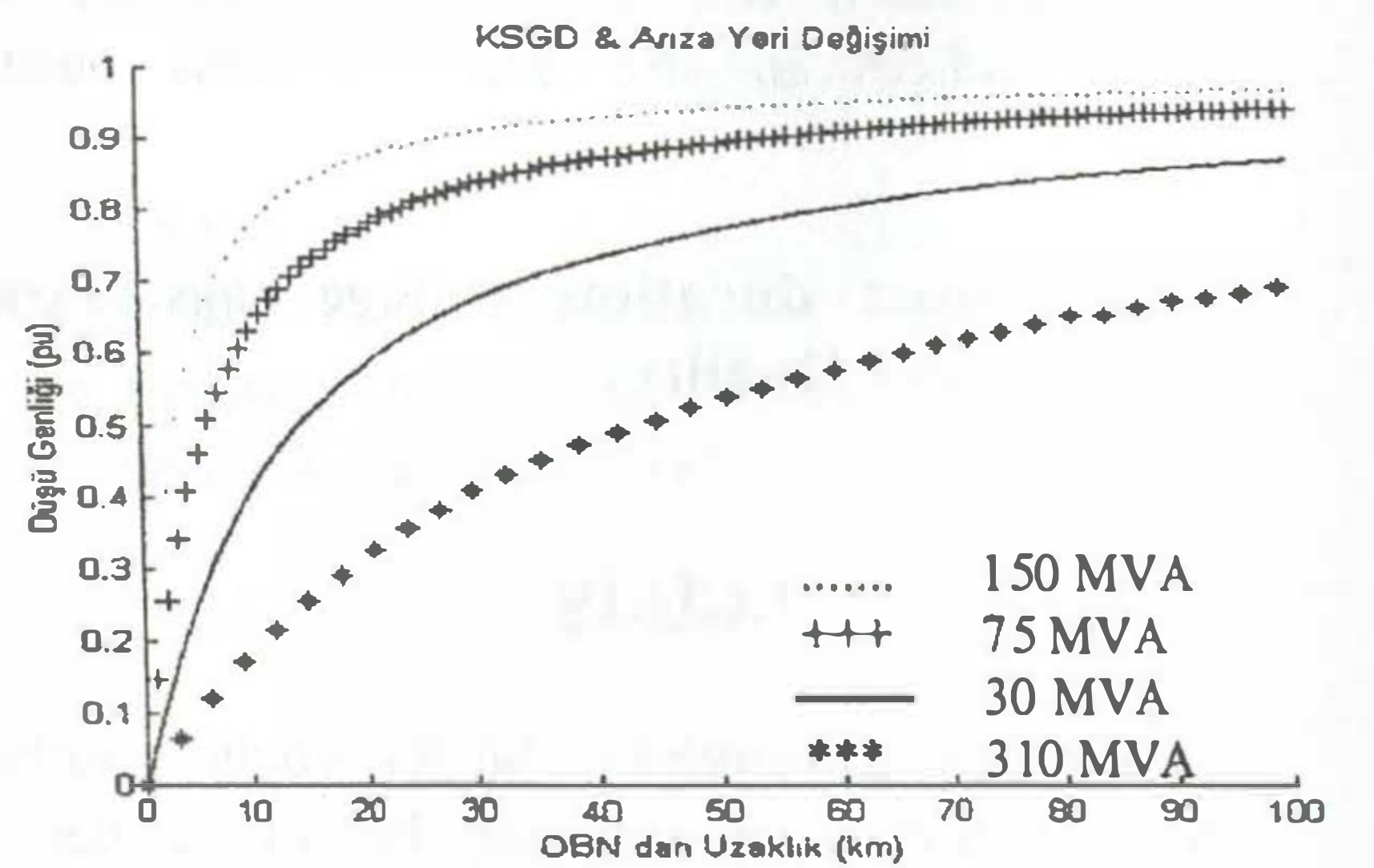


Şekil.4 Genelleştirilmiş radyal şebeke

Şekil.4'deki genelleştirilmiş devrede,  $Z_1$  empedansı kaynak ile O.B.N. arasındaki kısa devre empedansını,  $Z_2$  ise O.B.N. ile arıza yeri arasındaki empedans değeri ifade etmektedir. Eğer arıza akımının nominal yük akımından çok yüksek olduğu kabul edersek, O.B.N.'deki kısa süreli gerilim düşümünün yüzde olarak değeri eşitlik (1)'deki gibi olacaktır [5].

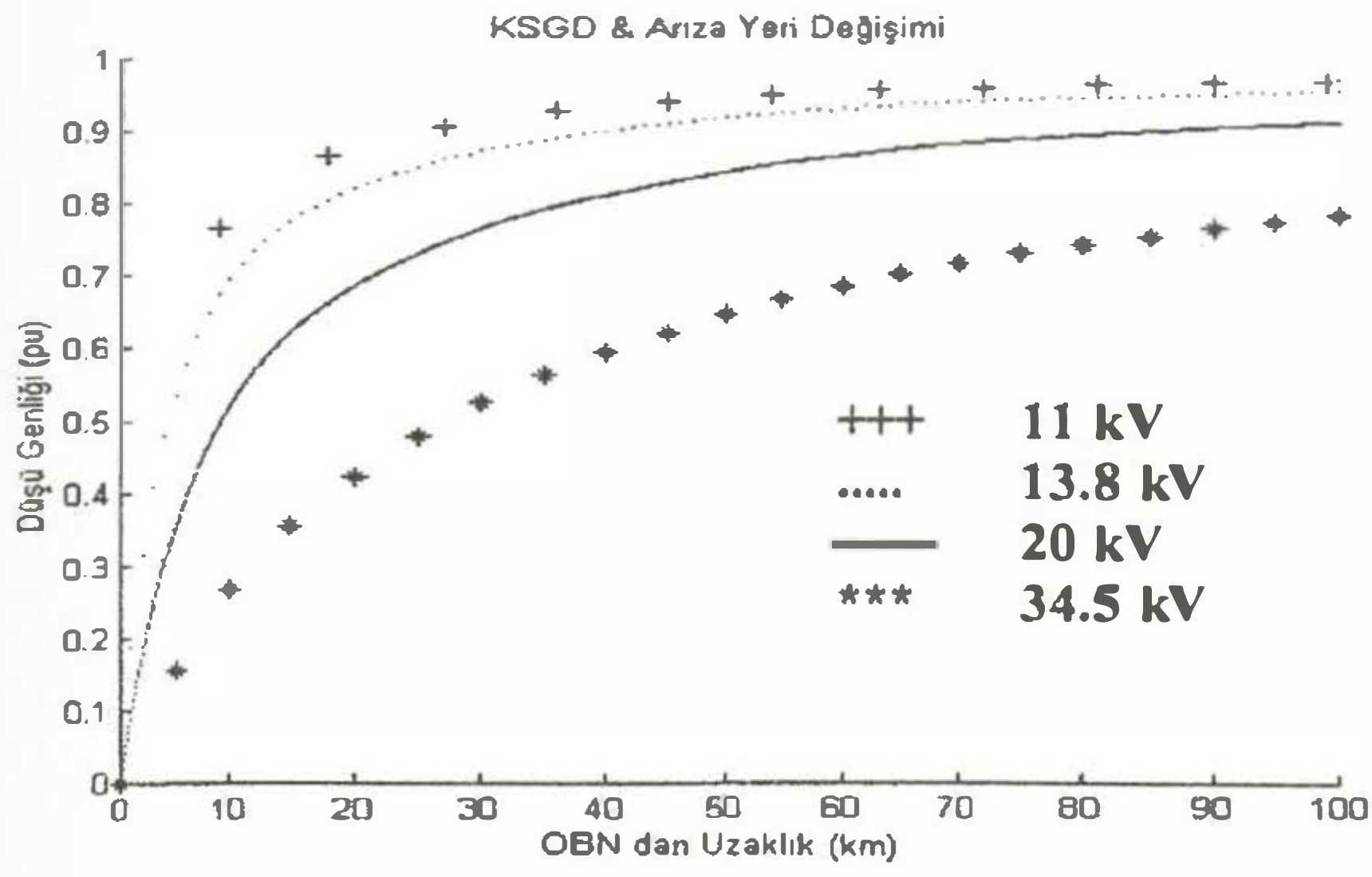
$$V_{\text{sag}} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (1)$$

Eşitlik (1)'deki gerilim düşümü formülü ve genelleştirilmiş devrede 165 mm<sup>2</sup> kesitli hat, 13.8 kV anma gerilimi için O.B.N.'den farklı uzaklıklara göre yani  $Z_2$  empedansının değişimine göre gerilim düşümü oranlarının değişimi dört farklı kısa devre güç seviyesinde (150, 75, 30 ve 10 MVA) şekil.5'deki gibi verilmiştir.



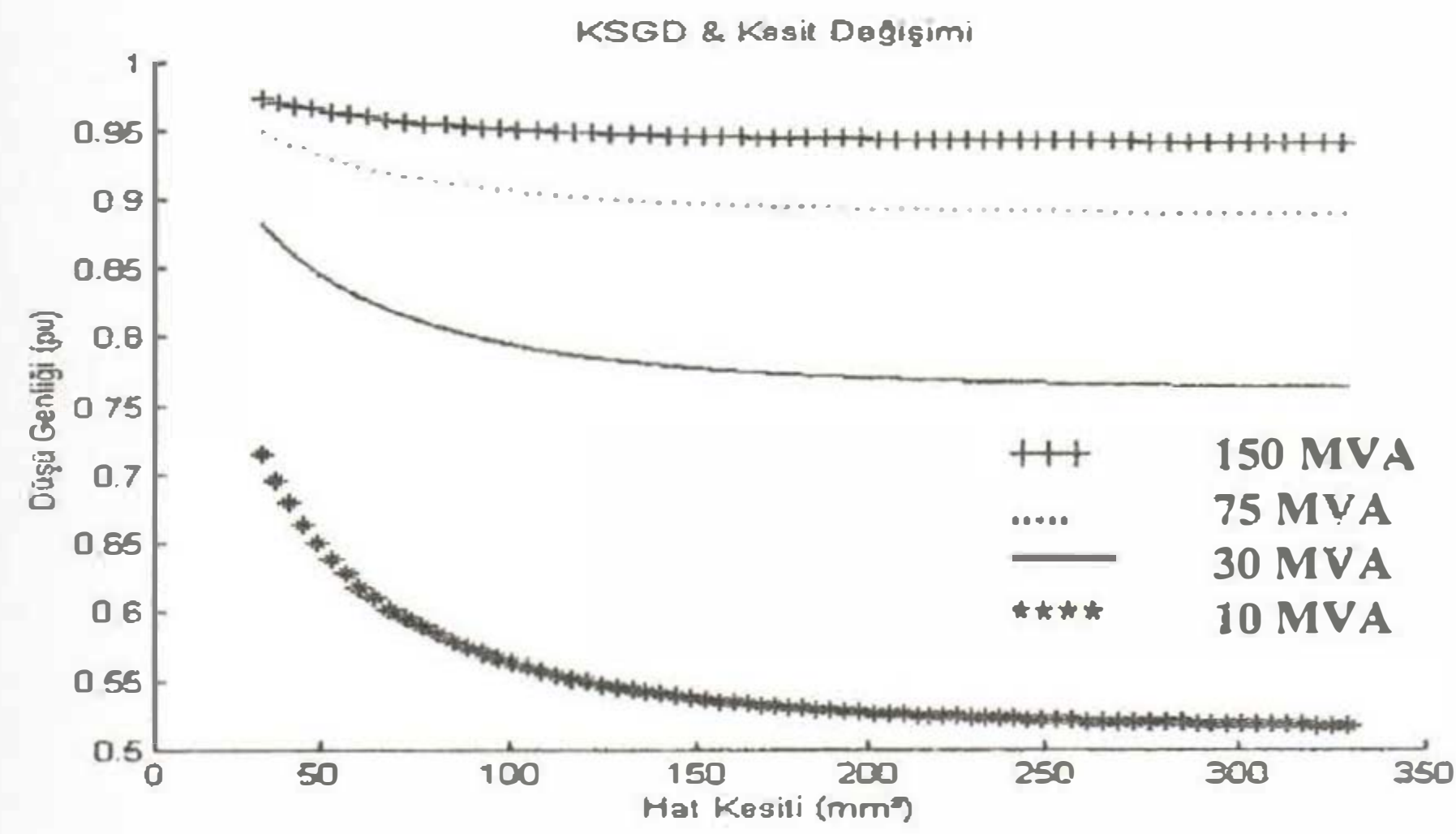
Şekil.5 Farklı güçler için KSGD ve Arıza Yeri Değişimi

Yine yukarıdaki sistem için 100 MVA kısa gücünde ve 165 mm<sup>2</sup> kesitli sistemde farklı gerilim seviyelerinde arıza yeri ile gerilim düşümü değişimi ise şekil.6'da verilmiştir.



Şekil.6 Farklı gerilim seviyeleri için KSGD ve arıza yeri değişimi

Hat kesiti ile meydana gelecek gerilim düşümü arasındaki ilişki ise şekil.7'de verilmiştir. Şekil.7'de, radyal sistem için iletken kesitinin 33mm<sup>2</sup>'den 330 mm<sup>2</sup>'ye kadar değişmesi halinde yine farklı kısa devre güçleri için gerilim düşümü değişimi gözlenmiştir.



Şekil.7 Farklı Gerilimler için KSGD ve kesit değişimi

Kısa süreli gerilim düşümlerinden en çok etkilenen duyarlı cihazların yaygınlaşması sonucu bunların KSGD'lerine dayanımı konuları üzerine yapılan çalışmalar önem kazanmaya başlamıştır. Bu cihazların, gerilimdeki düşmenin kritik bir değerinden sonra problemlerle karşılaşacağı ve bu kritik gerilimin üretim ve test aşamasında belirleneceği muhakkaktır. Buna göre eşitlik (1) deki bağıntı, kritik değerın saptanmasında kullanılabilir. Verilen O.B.N. için (2)'deki eşitsizlik bağıntısı söz konusudur. Burada  $Z_2=L.z$  olarak yani birim empedans ve toplam uzunluğun çarpımıyla ifade edildiğinde ve kritik gerilim için kritik uzaklık tanımı (3)'deki gibi olacaktır.

$$\left| \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \right| < V_{krit} \quad (2)$$

$$L_{krit} = \frac{Z_1}{z} \times \frac{V_{krit}}{1 - V_{krit}} \quad (3)$$

Kritik uzaklıktan büyük olan mesafeler kritik kısa süreli gerilim düşmelerine sebep olur. Kritik uzaklığın artışıyla kritik gerilimin çok hızlı arttığı görülür.

Tablo-2'de 0.4  $\Omega/km$ 'lik karakteristik empedansa sahip ve ülkemizde kullanılan 34.5 ve 66 kV'luk havai hatlara ait gerilim düşmelerine karşı gelen kritik uzaklıkları verilmektedir.

Tablo.2 Farklı güç ve gerilim seviyelerine ait kritik uzaklıklar

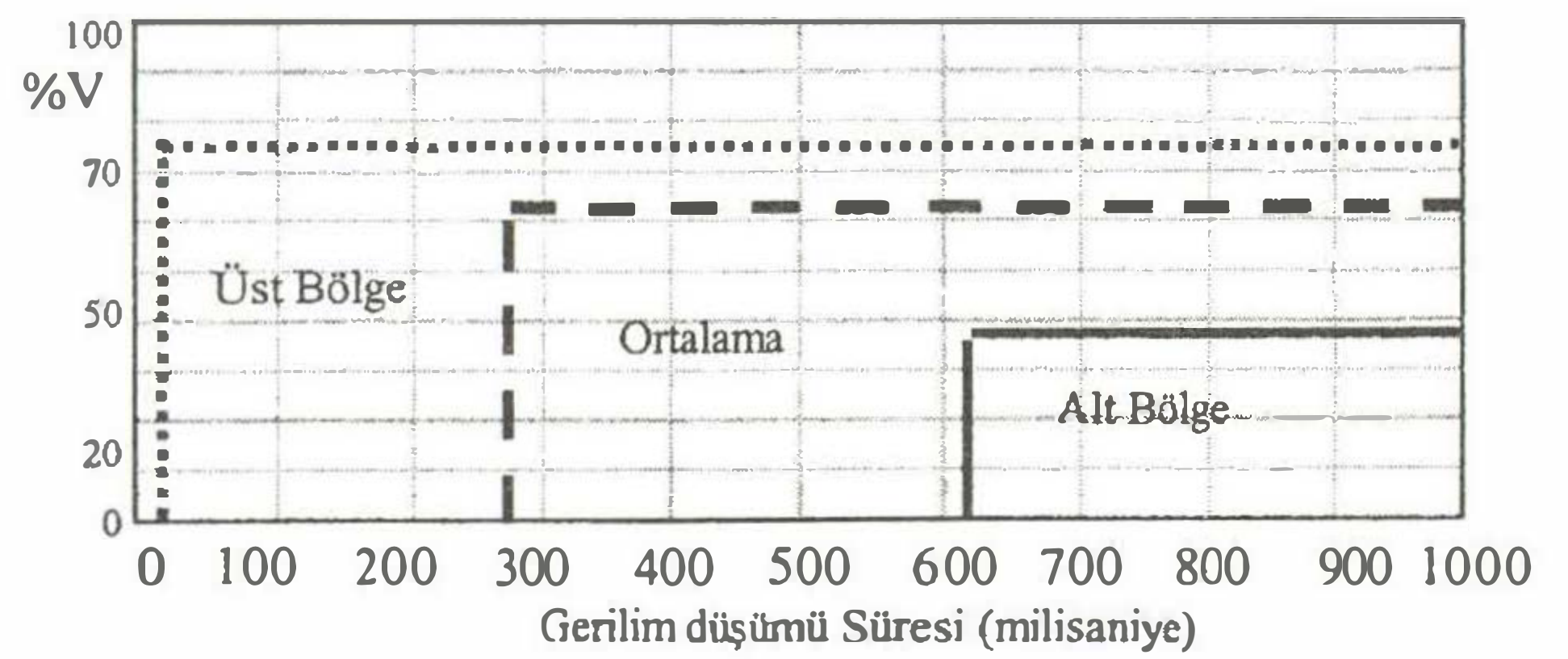
| düşüm | 34.5 kV |         |          | 66 kV   |          |          |
|-------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|
|       | 120 MVA | 500 MVA | 1000 MVA | 500 MVA | 1000 MVA | 2000 MVA |
| % 30  | 10.62   | 2.6     | 1.27     | 9.3     | 4.7      | 2.33     |
| % 40  | 16.53   | 3.96    | 1.98     | 14.5    | 7.26     | 3.63     |
| % 50  | 24.8    | 5.9     | 2.97     | 21.8    | 10.9     | 5.45     |
| % 60  | 37.2    | 8.9     | 4.46     | 32.7    | 16.3     | 8.16     |
| % 70  | 57.86   | 13.8    | 6.95     | 50.8    | 25.4     | 12.7     |
| % 80  | 99.2    | 23.8    | 11.9     | 87.1    | 43.56    | 21.78    |
| % 90  | 223.1   | 53.56   | 26.8     | 196     | 98       | 49       |

NOT : Kritik uzaklıklar km olarak verilmiştir.

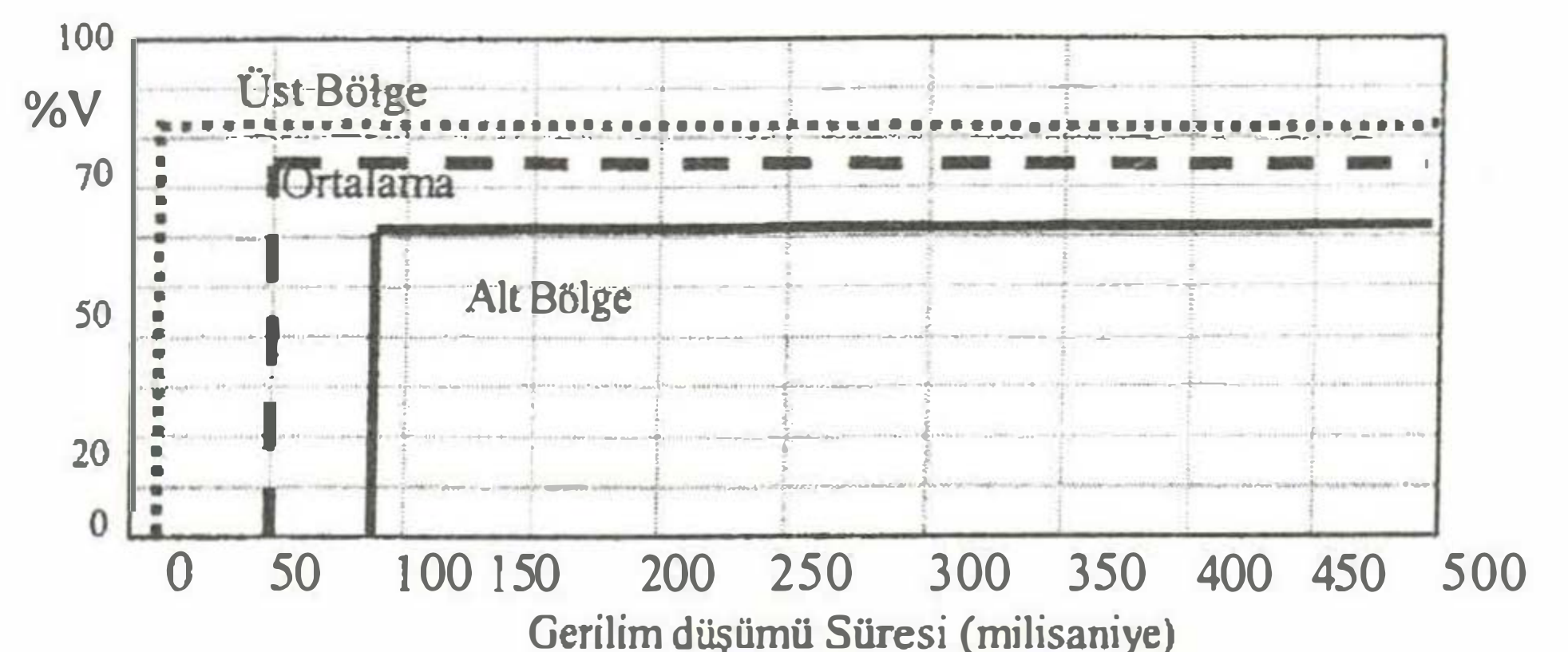
### III. GERİLİM DÜŞÜMLERİNİN ENDÜSTRİYEL YÜKLERE ETKİSİ

#### III.1. ELEKTRONİK CİHAZ PERFORMANSLARI

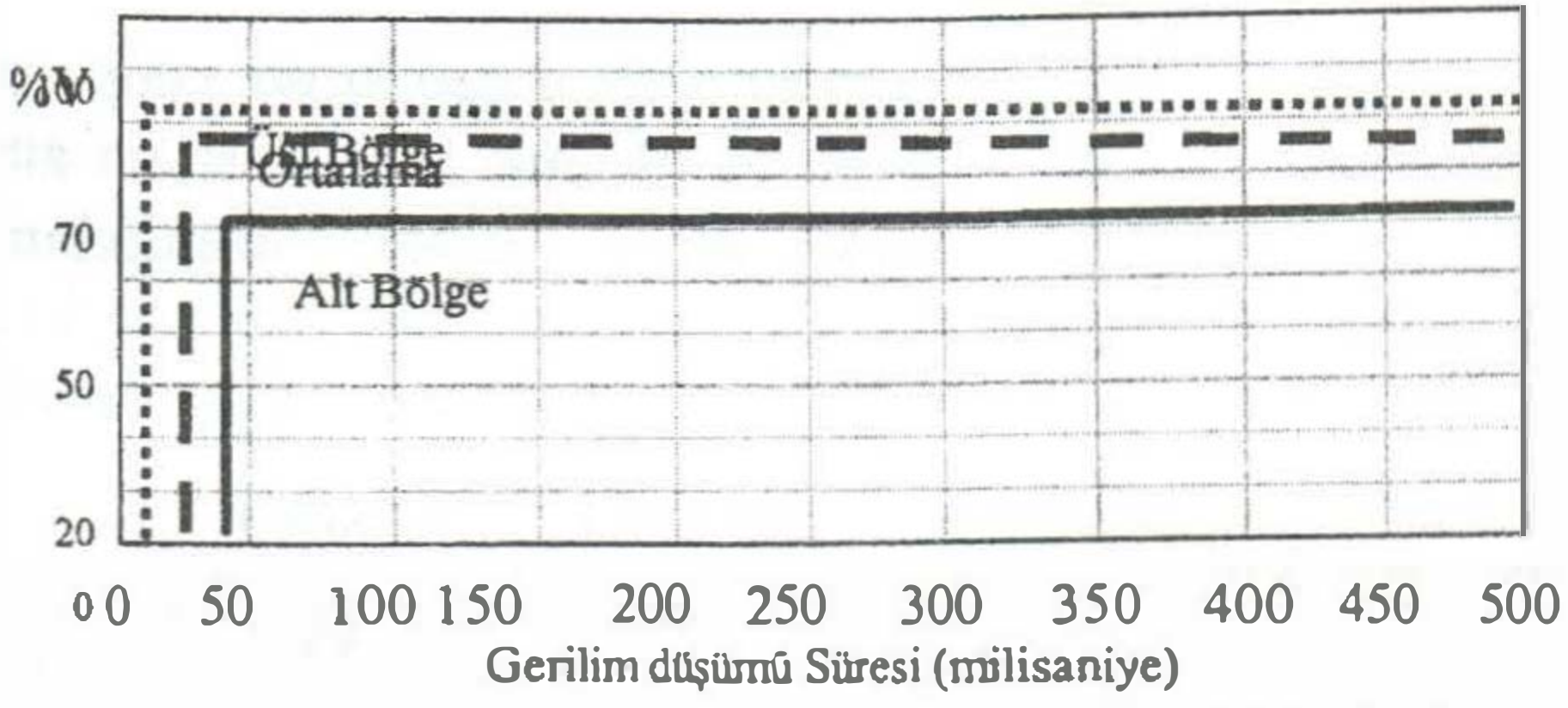
Gerilim düşümleri, elektronik veya mikroişlemci temelli cihazlarda bozulma veya kontrol dışı çalışma gibi problemlere yol açmaktadır. Bu tür cihazlar için uluslararası standart yapıcı kuruluşlarca geliştirilmiş çalışma standartları mevcuttur. Bu standartlar her cihaz için yapılan denemeler sonucu üretilmiştir. Buna göre her cihazın düşük gerilim değerlerinde en çok ne kadar çalışabileceği, bunun dışındaki bir çalışma bölgesinde cihazın çalıştırılmaması gerektiği açıklanmıştır. Günümüzde sanayi tesislerinde en çok kullanılan programlanabilir lojik denetleyicileri (PLC), motor hız kontrolünde kullanılan ayarlanabilir hız sürücüleri (ASD), kişisel bilgisayarlar ve elektromekanik röleler için gerilim düşümü toleransları aşağıdaki şekillerde sırasıyla verilmiştir [6].



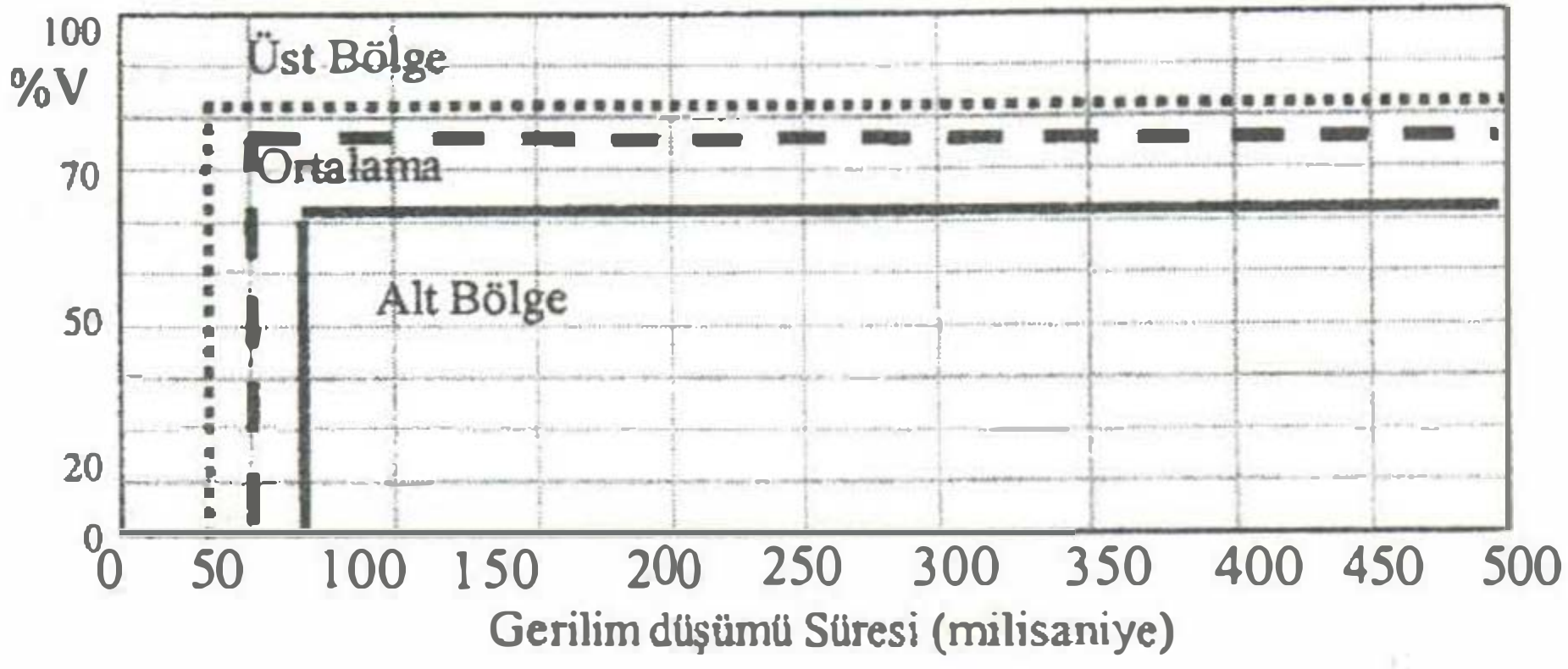
Şekil.8 PLC Gerilim düşümü tolerans eğrisi



Şekil.9 ASD Gerilim düşümü tolerans eğrisi



Şekil.10 AA elektromekanik röleleri için gerilim düşümü tolerans eğrisi



Şekil.11 Kişisel bilgisayar lar (PC) için gerilim düşümü tolerans eğrisi

### III.2. ASENKRON MOTOR PERFORMANSI

Elektriksel yüklerin %60-%70'lik kısmını oluşturan asenkron motorların kısa süreli gerilim düşümleri sırasındaki davranışını bilmek çok önemlidir. Günümüzde asenkron motorlar başta petrokimya, kağıt ve tekstil olmak üzere birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Gerilim düşümlerinden motorların etkilenmesi, bu tür tesislerde üretilen ürünün kalitesine ve maliyetine etki eder. Diğer tüm elektrik ve elektromekanik birimlerde olduğu gibi motorlarda da koruma sistemi mevcuttur. Belirli bir gerilim değerinin altına inildiğinde düşük gerilim ve diğer koruma röleleri görevlerini yapacaktır. Ancak çoğu kez motorun şebekeden ayrılması söz konusudur. Bu da üretimin sürekliliğini azaltarak maliyete önemli bir yük getirecektir. Bu tür tesislerde gerilim düşümlerinin etkisi en aza indirecek şekilde şebeke konfigürasyonu ve koruma koordinasyonu yapmak gereklidir.

Kısa devre kökenli bir gerilim düşümünde asenkron motorun davranışını iki aşamada ele almak gerekir. Arıza esnasındaki davranışı ve arıza temizlendikten sonraki davranışı.

Arızanın ilk anında motor generatör gibi davranıp kısa devreyi verdiği reaktif güç ile besler. Bu olay çok kısa sürer. Bundan sonra motor hızında bir yavaşlama ve rotor milinden yüke aktarılan momentte azalma olur. Bu azalma mekanik yükün hız-moment karakteristiğine göre değişir [7,8]. Bu ilk anda arızanın beslenmesi ve gerilim düşmesi olayı motorda endüklenen zıt elektromotor kuvvetten dolayıdır. Gerilim düşerken motorun çektiği akım hızla artar. Bu akımın yüksek olması gerilim düşümünü körükler [9]. Görüldüğü gibi motor kısa

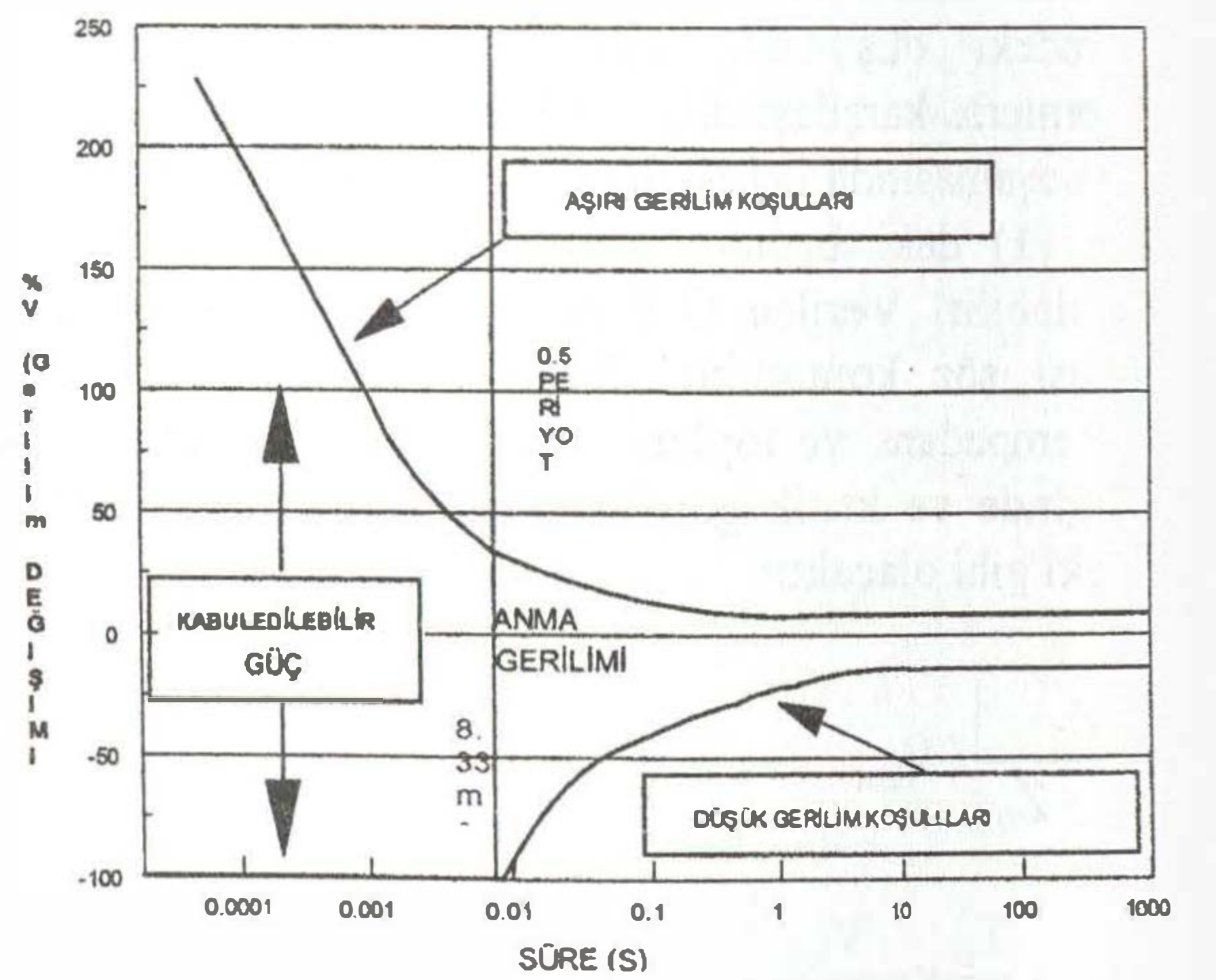
devre anında gerilim düşümünü arttırıcı özelliğindedir. Dengeli ve dengesiz kısa devreler için aynı durum geçerlidir.

Arıza sonrasında ise diğer yüklerde olduğu gibi gerilimin eski değerine birden ulaştığı gözlenmez. Arıza temizlendikten sonra motorun hız kazanmasıyla ilk anda çok yüksek oranda bir akım çeker. Aktif ve reaktif güçte anlık bir artış yaşanır. Bu yüksek akım, kaynak ile motor arasındaki empedanslardan aktığından ilave bir gerilim düşümü daha olur. Bu nedenle arıza temizlendikten sonraki birkaç saniye gerilim %60 ile %90 arasında bir seviyede sürdükten sonra pürüzsüz yani dalgalanma olmaksızın eski değerine ulaşır. Bu olaya arıza sonrası gerilim düşümü denir [8]. Bölüm V.'deki benzetimlerde bu durum açıkça görülmektedir.

### IV. ENDÜSTRİYEL YÜKLER İÇİN KABUL EDİLEBİLİR ÇALIŞMA STANDARTLARI

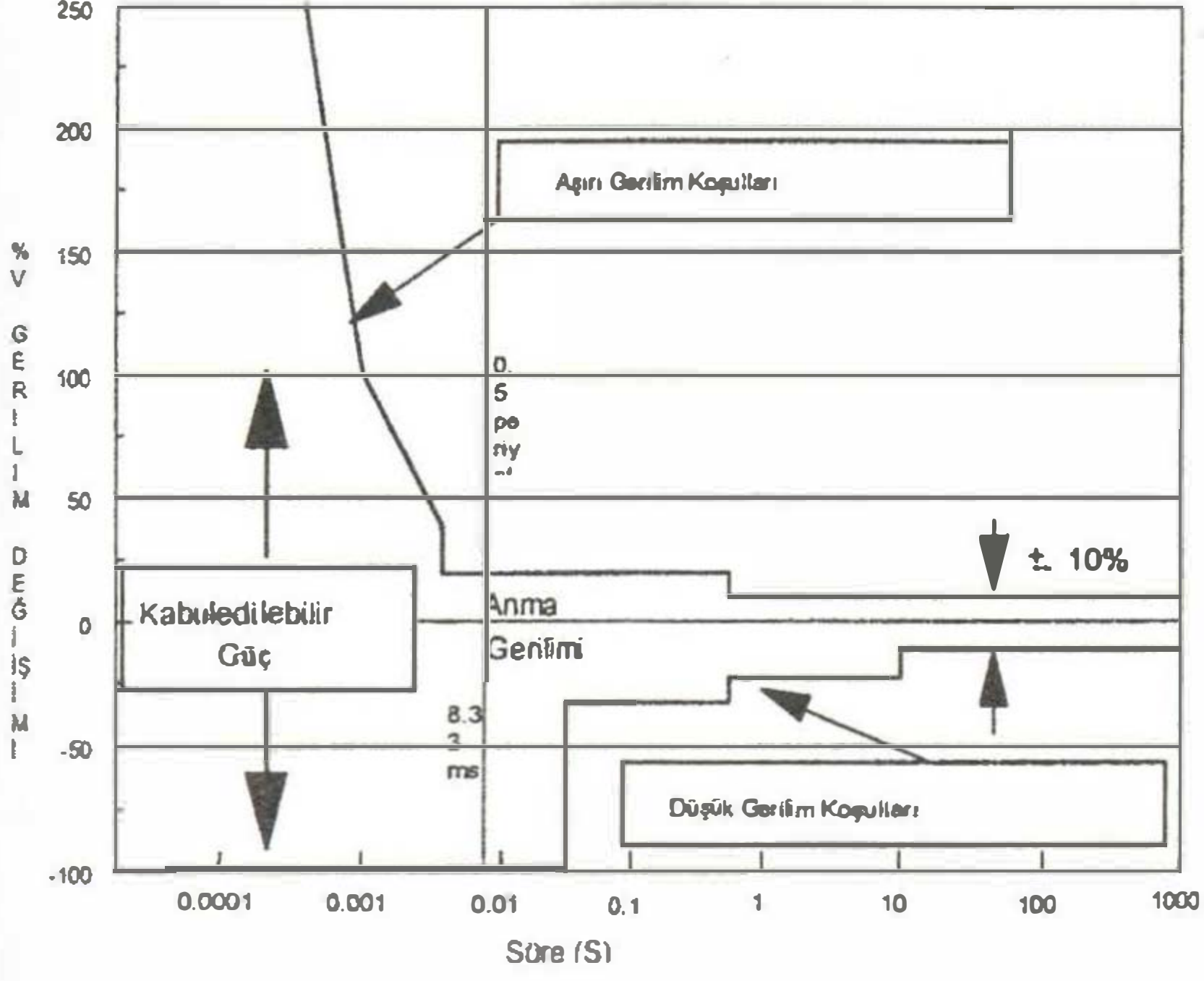
Yük baralarında ki yaşanan kısa süreli gerilim düşümü aynı zamanda yüke aktarılan güçte bir miktar azalma olmasına yol açar. Bu azalmanın kabul edilebilir sınırlar dahilinde olması gerekir. Bu amaçla duyarlı yükler için çıkarılan kabul edilebilir güç eğrileri cihazın verimli çalışması için gerekli koşulları belirlemede önemli bir paya sahiptir.

Güç kabul edilebilirliği eğrisi bara gerilimi ile süreç arasındaki değişimi veren bir eğridir. Bu eğri kabul edilebilir kaynak gücünün, baradaki gerilim bozulması ve sürenin bir fonksiyonu olarak nitelendirilmesinden ibarettir. Şekil.12'deki CBEMA (Computer Business Equipment Manufacturers Association) tarafından belirlenen güç kabuledilebilirlik eğrisi görülmektedir.



Şekil.12 CBEMA'nın Güç Kabul Edilebilirliği Eğrisi

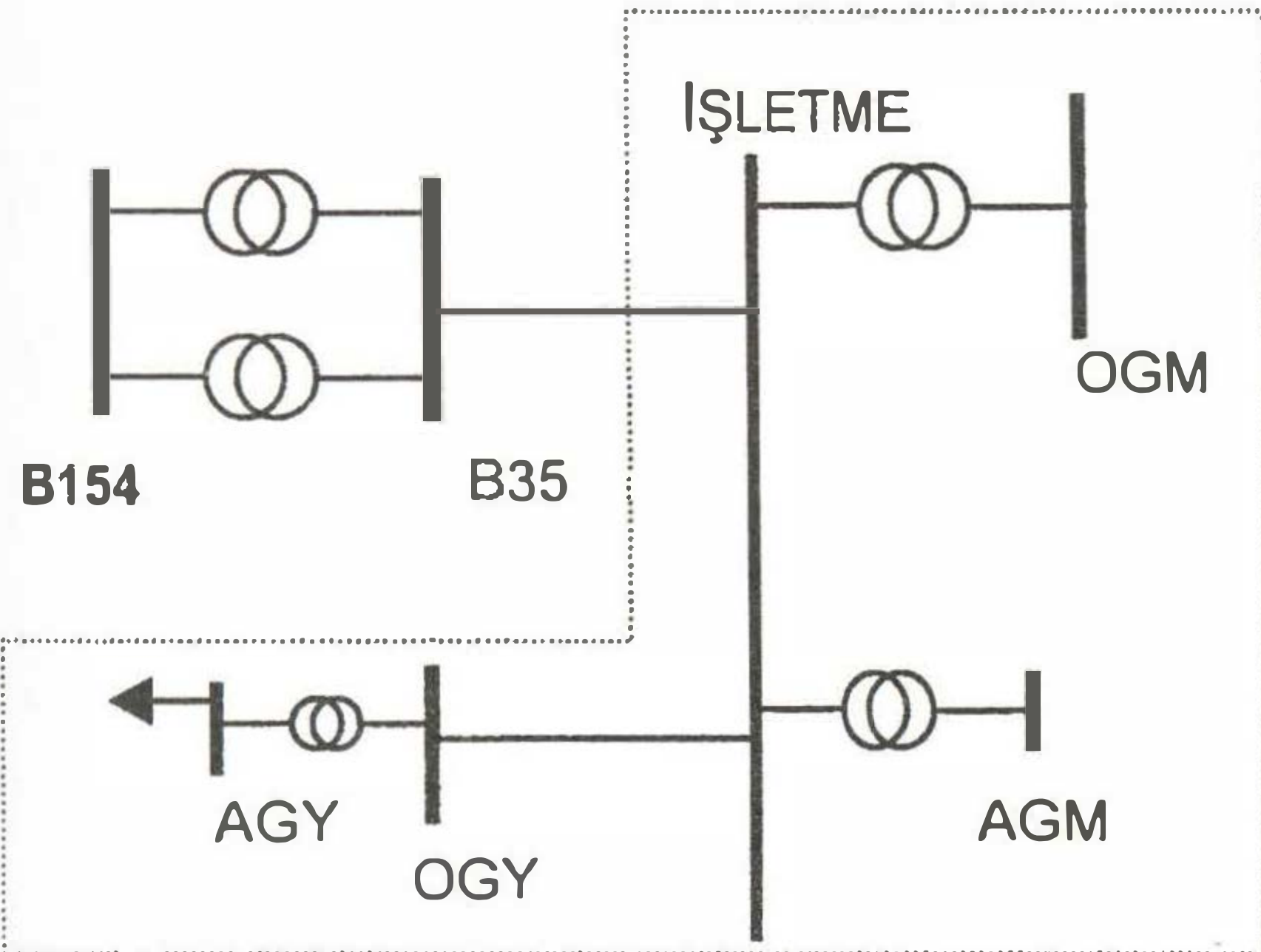
Bu eğri 1970'lerde elde edilmiş ve bilgisayarlara, flüoresan lambalara, hız sürücülerine ve yarı iletken esaslı elektronik cihazlara uygulanmıştır. Bu konuda ortaya atılan başka güç kabul edilebilirlik eğrileri de vardır. CBEMA'nın eğrisi 1996'da revize edilerek ITIC (Information Technology Industry Council) tarafından şekil.13'deki eğri önerilmiştir [10].



Şekil.13 ITIC tarafından Önerilen Güç Kabul Edilebilirlik Eğrisi

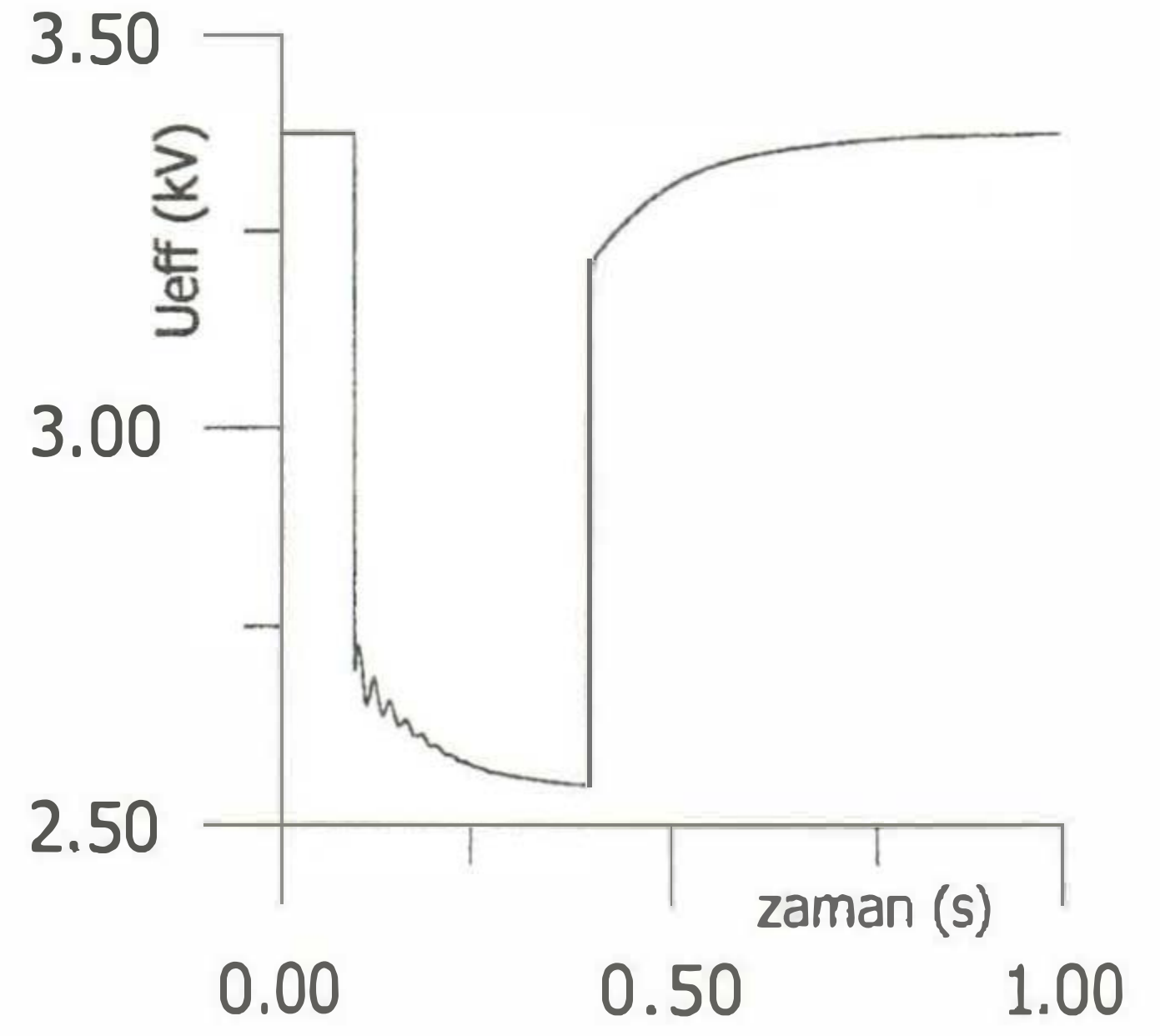
## V. ENDÜSTRİYEL DAĞITIM SİSTEMİNDE KISA SÜRELİ GERİLİM DÜŞÜMÜ BENZETİMİ

Endüstriyel şebekelerde farklı gerilim seviyelerinde çalışan asenkron motorlar önemli bir payı oluştururlar. 380 V'luk alçak gerilim motorlarının yanısıra 3.3 kV, 6.3 kV ve 11 kV anma gerilimlerinde birkaç MVA güce sahip olan bu motorlar şebekedeki diğer yükleri etkileyebilecek durumdadırlar. Yol alma sırasında çekilen akım, şebekede şiddetli bir gerilim düşümü şeklinde kendini gösterebilir. Bunun yanısıra kısa süreli gerilim düşümü artırıcı olma özelliği komşu yüklerin zarar görmesine yol açabilir. Bu bölümde incelenen endüstriyel bir tesis ve onu besleyen orta gerilim dağıtım sistemi şekil.14'deki tek hat şeması ile verildiği gibidir.

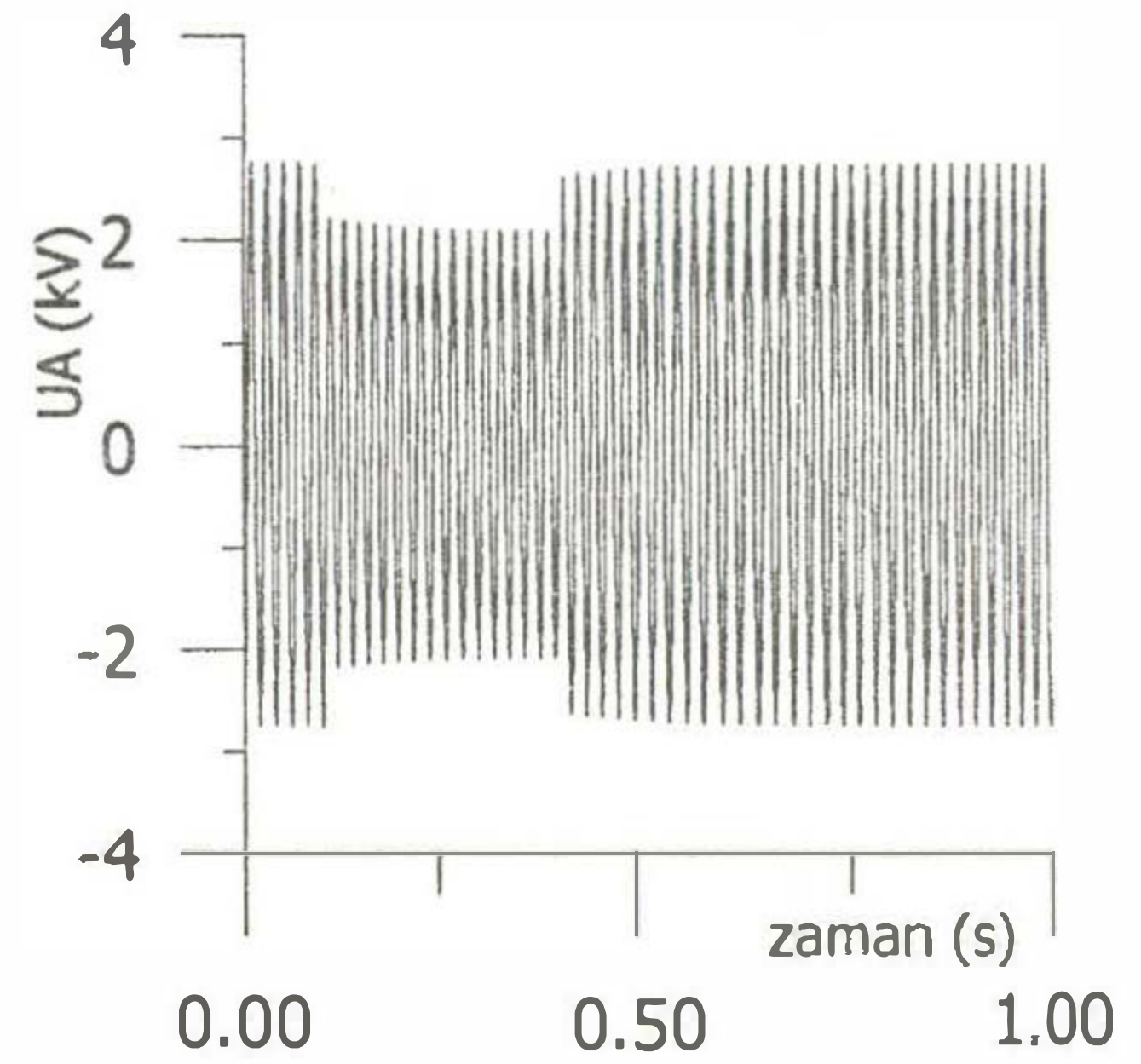


Şekil.14 Örnek dağıtım sisteminin tek hat şeması

B154 barası 154 kV, B35, İŞLETME ve OGY barası 34.5 kV, OGM barası 3.45 kV ve AGY ile AGM baraları ise 0.4 kV anma gerilimindedir. OGM barasında 7 adet 1.5 MVA anma gücünde motor çalışır durumda bulunmaktadır. Motorlar %80 yükte çalışmaktadırlar. Yapılan benzetimlerde AGY barasında meydana gelen ve 0.3 saniye süren üç fazlı kısa devre esnasında orta gerilim motorlarının uç gerilimi değişimi incelenmiştir.



Şekil.15 Orta gerilim motor (OGM) barası gerilim değişimi



Şekil.16 Orta gerilim motor (OGM) barası A fazı gerilimi

## VI. SONUÇLAR

Kısa süreli gerilim düşümleri her zaman bir problem olarak sanayi ve şehirler için sıkıntı oluşturmaya devam edecektir. Şebekede yüzlerce farklı karakterde yük bir aradayken her an bir arıza ile karşılaşmak mümkündür. Özellikle dağıtım sistemlerinde bunun olasılığı daha da yüksektir. Zaten literatürde kısa süreli gerilim düşümlerinin önlenmesi konusunda yapılmış hiçbir çalışma bulunmamaktadır. Daha çok bunların etkilerinin azaltılmasına yönelik araştırmalar mevcuttur.

Bu makalede kısa süreli gerilim düşümlerinin karakteristik özellikleri ve hesaplama yöntemleri verilerek, kritik bazı yüklerin etkilenme durumlarına ilişkin literatürde rapor

edilmiş olayların ışığında elde edilmiş bazı standartlar ve zorunluluklara değinilmiştir. Bunun yanı sıra CBEMA ve ITIC tarafından hazırlanan güç kabul edilebilirlik eğrisi, yüklerin beslenmesinde uyulması gereken zorunlulukları tanımlamaktadır. Elektronik veya elektromekanik her türlü cihaz, üretildiği anma gerilim değerinde en verimli çalışmasını gerçekleştirir. Bu değer üzerinde veya altında çalışma durumu cihazın verimi ve ömrü açısından sakıncalıdır. Özellikle elektronik ve mikroişlemci esaslı cihazlar için sağlanması gereken gerilim değerleri standartlarda belirlenmiştir. Bunun yanı sıra asenkron motorlarda gerilim düşümüne duyarlıdır. Gerilim düşümünü arttırıcı bir özelliğe sahiptir.

Bu bilgiler ışığında kısa süreli gerilim düşümlerinin etkilerinin azaltılması için önerilebilecek iki çözüm vardır. Birincisi dağıtım şebeke yapısı ile ilgilidir. Gerilime olumsuz etki eden yükler ile elektronik cihazlar ve bilgisayarlar aynı kaynaktan beslenmemeli, birbirlerine olan elektriksel uzaklığın yani empedansın büyük olması tercih edilmelidir. Şebeke tasarımında bu husus göz ardı edilmemelidir.

Bir başka çözüm önerisi ise, gerilime duyarlı yüklerin gerilimini arıza anında iyileştirecek yani öteleyecek cihazların kullanılmasıdır. Özellikle orta gerilim dağıtım şebekelerinde dinamik gerilim düzenleyiciler ve gerilim regülatörleri son yıllarda uygulama alanı artan çözümlerdir. Ancak bu tür bir çözüm için maliyet hesabının yapılması gereklidir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Steciuk, P.,B., and Redmon, J.,R., Voltage sag analysis peaks customer service, IEEE Computer Application in Power, pp.48-51, October 1996.
- [2] IEEE Recommended practice for the design of reliable industrial and commercial power systems, chapter 9, Std 493-1997
- [3] IEEE Recommended practice for monitoring electric power quality, Std.1159-1995.
- [4] Bollen, M.H.J., Voltage Sag Indices-Draft 1.2 working document for IEEE P1564 and CIGRE WG 36-07, December 2000
- [5] Bollen, M.H.J., Fast assessment methods for voltage sags in distribution systems, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.32, No.6, pp.1414-1423, Nov/Dec 1996.
- [6] IEEE Recommended practice for evaluating electric power system compatibility with electronic process equipment, Std 1346-1998.

[7] Gomez, J.C. and et al, Induction motor behavior under short interruptions and voltage sags, IEEE Power Engineering Review, Vol.21, No.2, pp.11-15, Feb 2001.

[8] Bollen, M.H.J., The influence of motor re-acceleration on voltage sags, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.31, No.4, pp.667-674, July/Aug 1995.

[9] Tang, Le and et al, Distribution systems voltage sags : interaction with motor and drive loads, Proc. of the 1994 IEEE PES Transmission and Distribution (T & D) Conference, pp.1-6, 1999.

[10] Thallam, R.S., and Heydt, G.T., Power Acceptability and Voltage Sag Indices in the Three Phase Sense, Proc. of the IEEE Summer Meeting 2000,