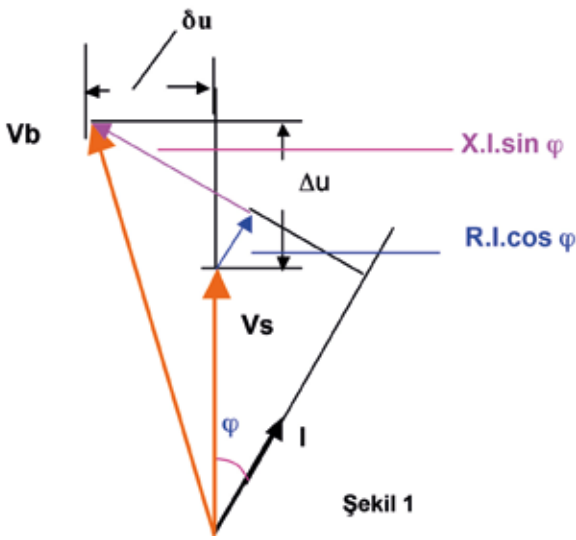


GERİLİM DÜŞÜMÜ VE HESAPLARI

İsa İlisu [Elektrik Yüksek Mühendisi]

Bir hattın başındaki gerilim fazörü ile sonundaki gerilim fazörü arasındaki farka gerilim düşümü adı verilmektedir. Gerilim düşümü boyuna ve enine gerilim düşümleri olarak iki bileşenden oluşur. Alçak gerilim şebekelerinde boyuna gerilim düşümü etkin olup, enine gerilim düşümü dikkate alınmaz. Orta gerilim şebekelerinde gerilim düşümü hesaplarında her iki bileşen de hesaplanmalıdır. Boyuna gerilim düşümü ufak bir hata ile hattın başındaki gerilim fazörünün hat sonu gerilim fazörü üzerindeki izdüşümü ile hat sonu fazörü arasındaki fark gerilim olarak hesaplanır.



$$\Delta u = R.I.\cos \varphi + X.I.\sin \varphi$$

$$\delta u = X.I.\cos \varphi - R.I.\sin \varphi$$

Boyuna gerilim düşümü
Enine gerilim düşümü

Gerilim düşümü hesaplarında kullanılan semboller aşağıda verilmiştir.

I_b	Tasarım akımı (A),
U_n	Şebeke nominal gerilimi (V),
	Bir fazlı devrelerde faz-nötr gerilimi,
	Üç fazlı şebekelerde faz arası gerilim,
φ	Yükün faz açısı,
P	Yükün aktif gücü (W),
L	Hat uzunluğu (m),
χ	Malzeme iletkenlik katsayısı (m/Ω.mm ²),
S	Kesit (mm ²)
ΔU	Gerilim düşümü (V),
e	Gerilim düşümü oranı,
R_h	Hattın metre başına çalışma sıcaklığındaki ohmik direnci (Ω/m),
X_h	Hattın metre başına reaktansı (Ω/m),

Gerilim düşümü, hattın birim ohmik direnci $R_h = 1/(\chi \cdot S)$ Ω ve birim endüktif reaktansı X_h Ω olmak üzere:

Bir fazlı devrelerde $\Delta U = 2L (R_h \cdot \cos \varphi + X_h \cdot \sin \varphi) I_b$ volt $e = \Delta U / U_n$

Üç fazlı devrelerde $\Delta U = \sqrt{3}L (R_h \cdot \cos \varphi + X_h \cdot \sin \varphi) I_b$ volt. $e = \Delta U / U_n$ şeklinde hesaplanır.

Yeni yönetmeliklere göre hattın ohmik direnci **çalışma son sıcaklığındaki (70 C°) alternatif akım direnci** olacaktır. Ayrıca 16 mm² kesite kadar iletkenler için reaktans değeri dikkate alınmayacak; 16 mm² ve daha büyük kesitler için reaktans değerleri için kablo üreticilerinin bildirdiği değerler kullanılacaktır. Aşağıdaki tabloda iletkenlerin kullanılabilir ohmik direnç ve reaktans değerleri verilmiştir.

İletkenlerin çalışma sıcaklığı ohmik dirençleri ve reaktansları için yaklaşık olarak aşağıdaki değerler alınabilir.

Malzeme	r	x
Bakır	22,5 (Ω.mm ² / km) / S (mm ²)	0.08 (Ω / km)
Aluminyum	36 (Ω.mm ² / km) / S (mm ²)	0.08 (Ω / km)

Yükün, gücü esas alınarak yapılan hesaplarda bağıl gerilim düşümü, r ve χ hattın birim ohmik direnç ve reaktansı olmak üzere yandaki şekilde verilmiştir.

$$k = 1 + (x/r) \cdot \tan \varphi \text{ ve}$$

Bir fazlı yüklerde

$$e = 2 \cdot P \cdot L \cdot k / \chi \cdot S \cdot U_n^2$$

Üç fazlı yüklerde

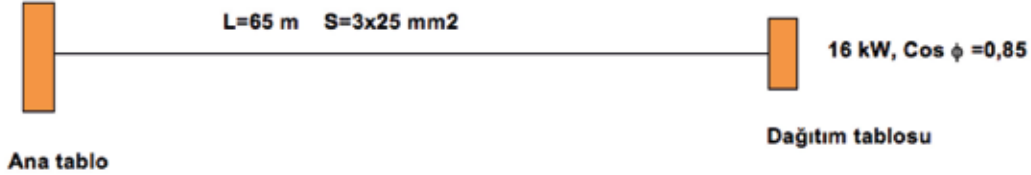
$$e = P \cdot L \cdot k / \chi \cdot S \cdot U_n^2$$

Burada k katsayısı 16 mm² kesite kadar 1 alınır. 16 mm² ve daha büyük kesitler için yukarıdaki formüle göre hesaplanır veya kesit, yükün güç katsayısı ve iletkenlerin döşenme şekline göre hazırlanmış tablolardan seçilebilir. Bu tablolar "Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik Tesisleri Genel Teknik Şartnamesi ve Uygulama Esasları" adlı kitapta c1, c2, c3 tabloları olarak verilmiştir. Bu tablolar ayrıca yazımızın ekinde sunulmuştur.

Yeni Yönetmelikler şartlarına göre yapılacak hesaplar ile eski uygulamaları karşılaştırmak için aşağıda iki örnek hazırlanmıştır.

Örnek 1

230/400 V



k katsayıları

Damarlar aynı dış kılıfda	Üç damar yan yana aynı düzlemde	Damarlar üçgen formda
1,061	1,115	1,078

$$e = \frac{P.L.k}{\chi.S.Un^2} \quad \chi = 44,44 \text{ m}/\Omega.\text{mm}^2 (70^\circ \text{C a.a})$$

$$e = 16.1000.65/56.25.4002 = 0,0046$$

$$e = 16.1000.65.1,061/44,44.25.4002 = 0,0062$$

$$e = 16.1000.65.1,115/44,44.25.4002 = 0,0065$$

$$e = 16.1000.65.1,078/44,44.25.4002 = 0,0063$$

% 0,46 Eski uygulama

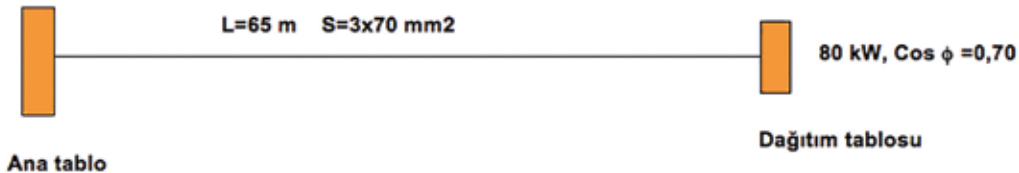
% 0,62 3 damarlı kablo

% 0,65 3 tek damar yan yana

% 0,63 3 tek damar üçgen formda

Örnek 2

230/400 V



k katsayıları

Damarlar aynı dış kılıfda	Üç damar yan yana aynı düzlemde	Damarlar üçgen formda
1,254	1,472	1,309

$$e = \frac{P.L.k}{\chi.S.Un^2} \quad \chi = 44,44 \text{ m}/\Omega.\text{mm}^2 (70^\circ \text{C a.a})$$

$$e = 80.1000.65/56.70.4002 = 0,0082$$

$$e = 80.1000.65.1,254/44,44.70.4002 = 0,0131$$

$$e = 80.1000.65.1,472/44,44.70.4002 = 0,0153$$

$$e = 80.1000.65.1,309/44,44.70.4002 = 0,0136$$

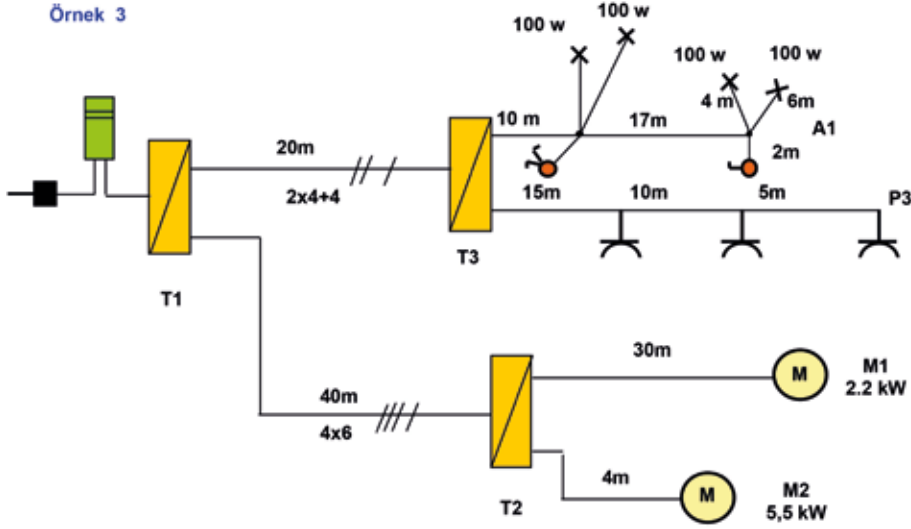
% 0,82

% 1,31 3 damarlı kablo

% 1,53 3 tek damar yan yana

% 1,36 3 tek damar üçgen formda

Aşağıda verilen iç tesisat şemasında gerilim düşümlerinin hesabı gösterilmiştir.



Hesap sonuçları aşağıdadır.

T1-T3	e1	=	$200 \cdot 1300 \cdot 20 / 44,44 \cdot 4 \cdot 230^2 = \% 0,55$
T3-P3	e2	=	$200(15 \cdot 3 + 10 \cdot 2 + 5) 300 / 44,44 \cdot 2,5 \cdot 230^2 = \% 0,714$
		=	$200 \cdot 21000 / 44,44 \cdot 2,5 \cdot 230^2 = \% 0,714$
T3-A1	e3	=	$200(400 \cdot 10 + 200 \cdot 17) / 44,44 \cdot 2,5 \cdot 230^2$
	e4	=	$200(200 \cdot 2 + 100 \cdot 6) / 44,44 \cdot 1,5 \cdot 230^2$
	e3	=	$200 \cdot 7400 / 44,44 \cdot 2,5 \cdot 230^2 = \% 0,251$
	e4	=	$200 \cdot 1000 / 44,44 \cdot 1,5 \cdot 230^2 = \% 0,056$
	e5	=	$\% 0,251 + \% 0,056 = \% 0,307$
T1-T2	e6	=	$100 \cdot 7,2 \cdot 10^3 \cdot 40 / 44,44 \cdot 6 \cdot 400^2 = \% 0,721$
T2-M1	e7	=	$100 \cdot 2,2 \cdot 10^3 \cdot 30 / 44,44 \cdot 4 \cdot 400^2 = \% 0,232$

T2-M2 < T2-M1

T1-P3	e	=	$\% 0,55 + \% 0,714 = \% 1,26$	uygundur.
T1-A1	e	=	$\% 0,55 + \% 0,307 = \% 0,857$	uygundur.
T1-M1	e	=	$\% 0,721 + \% 0,232 = \% 0,953$	uygundur.

Gerilim düşümü sınır değerleri

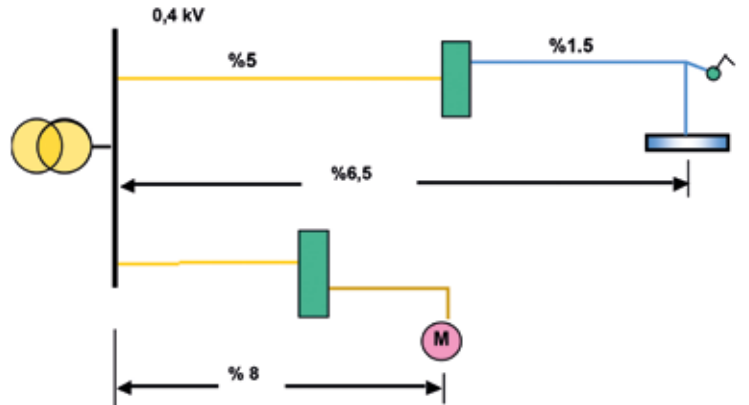
Gerilim düşümü yapı bağlantı kutusu ile tüketim araçları arasında;

- Aydınlatma ve priz devreleri için % 1,5 'u
- Motor devreleri için % 3 'ü

geçmemelidir.

Alçak gerilim şebekesinden enerji alan tüketicilerde dağıtım transformatöründen, örneğin aydınlatma tüketicisine kadar alçak gerilim şebekesinde % 5, iç tesisatta % 1,5 olmak üzere en çok % 6,5 gerilim düşümü kabul edilir.

Transformatör, yapı veya yapı kümesi içinde ise, benzer şekilde, transformatör barasından tüketicilere kadar aydınlatma için % 6,5; motorlar için %8 gerilim düşümü hesaplanır. TS HD 60364-5-52:2011 Tablo G.52.1



TABLO C1
Aynı dış kılıf içinde BAKIR iletken 3+1 damarlı kablolar
K Katsayıları tablosu

R (ohm/km) 20°C D.A.	12,10	7,41	4,61	3,08	1,83	1,15	0,727	0,524	0,387	0,268	0,193	0,153	0,124	0,0991	0,0754
R (ohm/km) 70°C D.A.	14,5	8,87	5,52	3,69	2,19	1,38	0,870	0,627	0,463	0,321	0,231	0,183	0,148	0,1190	0,9020
R (ohm/km) 70°C A.A.	14,5	8,87	5,52	3,69	2,19	1,38	0,870	0,627	0,463	0,321	0,232	0,184	0,150	0,1200	0,0926
μ (mH/km)	0,366	0,34	0,339	0,321	0,301	0,285	0,274	0,261	0,263	0,254	0,253	0,25	0,247	0,248	0,245
X (ohm/km)						0,08954	0,08608	0,082	0,08262	0,079796	0,07948	0,07854	0,0776	0,07791	0,07697
S mm ²	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
Guç katsayısı	1,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,95	1,021	1,033	1,043	1,059	1,076	1,099	1,116	1,133	1,151	1,169	1,187	1,205	1,223	1,241	1,259
0,90	1,031	1,048	1,063	1,086	1,110	1,134	1,158	1,182	1,206	1,230	1,254	1,278	1,302	1,326	1,350
0,85	1,040	1,061	1,081	1,111	1,141	1,171	1,201	1,231	1,261	1,291	1,321	1,351	1,381	1,411	1,441
0,80	1,049	1,074	1,098	1,134	1,170	1,206	1,242	1,278	1,314	1,350	1,386	1,422	1,458	1,494	1,530
0,75	1,057	1,087	1,115	1,157	1,201	1,245	1,289	1,333	1,377	1,421	1,465	1,509	1,553	1,597	1,641
0,70	1,066	1,101	1,133	1,182	1,238	1,294	1,350	1,406	1,462	1,518	1,574	1,630	1,686	1,742	1,798
0,65	1,076	1,116	1,153	1,209	1,274	1,339	1,404	1,469	1,534	1,599	1,664	1,729	1,794	1,859	1,924
0,60	1,087	1,132	1,174	1,238	1,311	1,374	1,437	1,500	1,563	1,626	1,689	1,752	1,815	1,878	1,941
0,55	1,099	1,150	1,199	1,271	1,353	1,415	1,477	1,539	1,601	1,663	1,725	1,787	1,849	1,911	1,973
0,50	1,112	1,171	1,227	1,309	1,401	1,462	1,523	1,584	1,645	1,706	1,767	1,828	1,889	1,950	2,011
0,45	1,129	1,196	1,260	1,354	1,457	1,518	1,579	1,640	1,701	1,762	1,823	1,884	1,945	2,006	2,067
0,40	1,149	1,227	1,300	1,409	1,528	1,589	1,650	1,711	1,772	1,833	1,894	1,955	2,016	2,077	2,138
0,35	1,174	1,265	1,350	1,478	1,616	1,677	1,738	1,799	1,860	1,921	1,982	2,043	2,104	2,165	2,226
0,30	1,206	1,315	1,416	1,567	1,725	1,786	1,847	1,908	1,969	2,030	2,091	2,152	2,213	2,274	2,335
0,25	1,251	1,383	1,506	1,691	1,901	1,962	2,023	2,084	2,145	2,206	2,267	2,328	2,389	2,450	2,511
0,20	1,318	1,485	1,641	1,874	2,184	2,245	2,306	2,367	2,428	2,489	2,550	2,611	2,672	2,733	2,794
0,15	1,428	1,652	1,862	2,176	2,596	2,657	2,718	2,779	2,840	2,901	2,962	3,023	3,084	3,145	3,206
0,10	1,646	1,984	2,301	2,776	3,366	3,427	3,488	3,549	3,610	3,671	3,732	3,793	3,854	3,915	3,976
0,05	2,296	2,976	3,612	4,565	5,966	6,027	6,088	6,149	6,210	6,271	6,332	6,393	6,454	6,515	6,576

TABLO C2
Tek damarlı BAKIR iletken kablolar 3 adedi yan yana yatay düzlemde döşenmiş
K Katsayıları tablosu

R (ohm/km) 20°C D.A.	1,150	0,727	0,524	0,387	0,268	0,193	0,153	0,124	0,0991	0,0754
R (ohm/km) 70°C D.A.	1,380	0,870	0,627	0,463	0,321	0,231	0,183	0,148	0,1190	0,9020
R (ohm/km) 70°C A.A.	1,380	0,870	0,627	0,463	0,321	0,232	0,184	0,150	0,1200	0,0926
μ (mH/km)	0,535	0,514	0,497	0,489	0,473	0,466	0,458	0,454	0,451	0,445
X (ohm/km)	0,16808	0,16148	0,15614	0,15362	0,148597	0,1464	0,14388	0,14263	0,14169	0,1398
S mm ²	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
Güç katsayısı										
1,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,95	1,040	1,061	1,082	1,109	1,152	1,207	1,257	1,313	1,388	1,496
0,90	1,059	1,090	1,121	1,161	1,224	1,306	1,379	1,461	1,572	1,731
0,85	1,075	1,115	1,154	1,206	1,287	1,391	1,485	1,589	1,732	1,936
0,80	1,091	1,139	1,187	1,249	1,347	1,473	1,586	1,713	1,886	2,132
0,75	1,107	1,164	1,220	1,293	1,408	1,557	1,690	1,839	2,041	2,331
0,70	1,124	1,189	1,254	1,339	1,472	1,644	1,798	1,970	2,205	2,540
0,65	1,142	1,217	1,291	1,388	1,541	1,738	1,914	2,112	2,380	2,765
0,60	1,162	1,247	1,332	1,442	1,617	1,841	2,043	2,268	2,574	3,013
0,55	1,185	1,282	1,378	1,504	1,703	1,958	2,187	2,444	2,793	3,292
0,50	1,211	1,321	1,431	1,575	1,802	2,093	2,354	2,647	3,045	3,615
0,45	1,242	1,368	1,494	1,658	1,919	2,252	2,552	2,887	3,343	3,996
0,40	1,279	1,425	1,571	1,760	2,061	2,446	2,792	3,179	3,705	4,459
0,35	1,326	1,497	1,666	1,888	2,239	2,689	3,093	3,545	4,160	5,041
0,30	1,387	1,590	1,792	2,055	2,472	3,007	3,487	4,024	4,754	5,801
0,25	1,472	1,719	1,964	2,285	2,793	3,444	4,029	4,683	5,573	6,847
0,20	1,597	1,909	2,220	2,625	3,268	4,091	4,831	5,658	6,784	8,396
0,15	1,803	2,223	2,841	3,187	4,051	5,159	6,154	7,267	8,782	10,951
0,10	2,212	2,847	3,478	4,301	5,606	7,279	8,781	10,461	12,748	16,022
0,05	3,433	4,707	5,974	7,628	10,247	13,605	16,620	19,993	24,585	31,157

NOT : 16 mm²'ye kadar kesitlerin ohmik dirençleri tablo C1'den alınabilir.

TABLO C3
Tek damarlı BAKIR iletken kablolar 3 adedi üçgen formda döşenmiş
K Katsayıları tablosu

R (ohm/km) 20°C D.A.	1,150	0,727	0,524	0,387	0,268	0,193	0,153	0,124	0,0991	0,0754
R (ohm/km) 70°C D.A.	1,380	0,870	0,627	0,463	0,321	0,231	0,183	0,148	0,1190	0,9020
R (ohm/km) 70°C A.A.	1,380	0,870	0,627	0,463	0,321	0,232	0,184	0,150	0,1210	0,0930
μ (mH/km)	0,371	0,35	0,333	0,325	0,309	0,302	0,294	0,29	0,287	0,281
X (ohm/km)	0,11655	0,10996	0,10462	0,1021	0,097075	0,09488	0,09236	0,09111	0,09016	0,08828
S mm ²	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
Güç katsayısı										
1,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,95	1,028	1,042	1,055	1,072	1,099	1,134	1,165	1,200	1,245	1,312
0,90	1,041	1,061	1,081	1,107	1,146	1,198	1,243	1,294	1,361	1,460
0,85	1,052	1,078	1,103	1,137	1,187	1,253	1,311	1,376	1,462	1,588
0,80	1,063	1,095	1,125	1,165	1,227	1,307	1,376	1,456	1,559	1,712
0,75	1,074	1,111	1,147	1,194	1,267	1,361	1,443	1,536	1,657	1,837
0,70	1,086	1,129	1,170	1,225	1,309	1,417	1,512	1,620	1,760	1,968
0,65	1,099	1,148	1,195	1,258	1,354	1,478	1,587	1,710	1,871	2,110
0,60	1,113	1,169	1,222	1,294	1,403	1,545	1,669	1,810	1,994	2,266
0,55	1,128	1,192	1,253	1,335	1,459	1,621	1,762	1,922	2,132	2,441
0,50	1,146	1,219	1,289	1,382	1,524	1,708	1,869	2,052	2,291	2,644
0,45	1,168	1,251	1,331	1,438	1,600	1,812	1,996	2,205	2,479	2,884
0,40	1,194	1,290	1,382	1,505	1,693	1,937	2,150	2,392	2,707	3,175
0,35	1,226	1,338	1,447	1,590	1,809	2,095	2,343	2,626	2,994	3,541
0,30	1,269	1,402	1,531	1,701	1,962	2,300	2,596	2,931	3,369	4,018
0,25	1,327	1,489	1,646	1,854	2,171	2,584	2,944	3,352	3,866	4,676
0,20	1,414	1,619	1,817	2,080	2,482	3,003	3,459	3,976	4,650	5,650
0,15	1,557	1,833	2,100	2,454	2,993	3,695	4,309	5,003	5,911	7,257
0,10	1,840	2,258	2,660	3,194	4,009	5,069	5,995	7,043	8,414	10,445
0,05	2,687	3,525	4,333	5,405	7,041	9,169	11,027	13,132	15,884	19,961

NOT : 16 mm²'ye kadar kesitlerin ohmik dirençleri tablo C1'den alınabilir.