

BELİRSİZLİK HESAPLAMALARI

Halis Emre GÜNEŞ
Çevre Mühendisi

Genel Değerlendirme

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde "Her bir tek ölçüm sonucunun % 95 güven aralığı değerleri, emisyon sınır değerlerinin, aşağıda belirtilen yüzdelerini aşamaz." denilmektedir. Avrupa yönergelerinde ise "tek bir ölçülen sonucun % 95 güven aralığı" kritik miktardır ve "emisyon sınır değerinin yüzdesi" olarak ifade edilir. Bununla birlikte, aşağıdakilerden oluşan gerekli bir genişletilmiş kombine belirsizliğe karşılık gelir:

$$U_g = \text{Yüzde}(\%) * \text{ELV} / 100$$

Kirletici	Emisyon Limit değerinin yüzdesi	Kirletici	Emisyon Limit değerinin yüzdesi
CO	10 % SKHKKY	TOC	30 %
SO ₂	20 % SKHKKY	Hg	40 %
NO _x as NO ₂	20 % SKHKKY	HCl	40 %
DUST	30 % SKHKKY	HF	40 %
O ₂	10 %	H ₂ O	30 %

SKHKKY ve AB yönergeleri (LCPD ve WID) zorunlu değerler.

Bazı Standartlar için Emisyon Sınır Değerine Göre Belirsizlik Değerleri

EN 15058

Ölüm belirsizliği <6 % ELV

EN 14792

Ölüm belirsizliği <% 10 ELV

EN 14789

Ölüm belirsizliği <% 6 llen konsantrasyon

EN 14791-2005

Ölüm belirsizliği <% 20 ELV

TS EN ISO 14956: 2002 Hava kalitesi - Ölçüm prosedürünün uygunluğunun gerekli bir ölçüm belirsizliği ile karşılaştırılarak değerlendirilmesi.

Bu uluslararası standart bir ölçüm yönteminin ilgili performans kriterlerinden ölçüm belirsizliğini belirlemek için bir prosedürü açıklamaktadır. Her kaynak için belirsizlik değeri ayrı olarak verilmektedir. Temel dökümanlar; TS EN ISO 14956: 2002, 2015 (E): prEN 13284-1 ve TGN M2 kullanılmıştır. 2015 (E): prEN 13284-1 dökümanı doğrultusunda Ocak 2018 tarihi itibari ile 123284-1:2003 standardı yenilenmiştir. Ayrıca Bakanlığımız tarafından Belirsizlik hesaplamaları için İngiltere'nin ulusal ölçüm enstitüsü NPL (National Physical Laboratory) tarafından hazırlanan Excel dosyaları

kullanılmaktadır.

Parametre (TS EN 13241 ve bu standarda atıf yapılan, toz, ağır metal, Dioksin furan ve PAH ile EPA metoduna göre örnekleme yapılan HF ve HCL parametreleri)
ÖRNEKLEME BELİRSİZLİĞİ
Hacimden gelen Belirsizlik
Basıncıtan Gelen Belirsizlik
Sıcaklıktan gelen Belirsizlik
Oksijenden Gelen Belirsizlik
Kaçaktan gelen Belirsizlik
Nemden Gelen Belirsizlik
Şahitten gelen belirsizlik
Toplam Belirsizlik (mg/m ³)
genişletilmiş belirsizlik(k=2)

Parametre (NOx, CO, SO2, O2, TOC ve VOC)
Tepki Süresi
ölçüm okumaların sayısı
sıfırda Tekrarlanabilirlik
Span düzeyinde Tekrarlanabilirlik
doğrusallıktan sapma
Zero kayma
Span kayma
hacim veya basınç akış bağımlılığı
atmosferik basınç bağımlılığı
Ortam sıcaklığı Bağımlılığı
NH3 (20 mg/m ³)
CO2 (15%)
H2O (30%)
gerilimi bağımlılığı
converter verimi
Kayıp (leak)
Kalibrasyon gazı belirsizliği

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Nox için Belirsizlik hesaplama													
Sınır Değer	100	µg/m ³ (dörteliklik) NO2	Gaz	100									
Öçülen Konantrasyon	12,00	ppm	Tam Ölcük	100									
Öçülen Konantrasyon	20,72	µg/m ³ (273K, 101.3kPa) NO2	Çalgın konan	80									
NO/NO2 oranı	2,00		Dörteliklik	2,00									
			Tam Ölcük	200									
			Kalibrasyon belirsizliği	1,00									
Performans Özellikleri	Yüksek	değer											
Tajid Süresi	60	saniye		160.000									
Öçüm okumaların sayısı	120												
5 fide Tekrarlanabilirlik	0,15	% full scale		0,000									
Span ölçerinde Tekrarlanabilirlik	0,4	% full scale		0,000									
Doğrusallıkta sapma	0,4	% of value		0,000									
Zero kayma	0,01	% full scale		0,000									
Span kayma	1	% full scale		0,000									
hacim veya basınç akış bağımlılığı	0,02	% of full scale kPa		0,020									
atmosferik basınç bağımlılığı	0,4	% of value kPa		0,720									
Ortam sıcaklığı bağımlılığı	0,01	% full scale °C/K		0,000									
NH3 (20 mg/m ³)	1,2	mg/m ³											
CO2 (12%)	1,2	% by vol											
H2O (30%)	1,2	% by vol		4,000									
perilim bağımlılığı	0,1	% full scale °D/V		0,000 °D/V									
converter verim	92	%											
doğrusunda kayıplar (leak)	2	% of value		0,000									
Kalibrasyon gazı belirsizliği	2	% of value											
AABB aletleri başlı ölçüm performansı													
Performans Özellikleri			Belirsizlik				Belirsizlik miktar değeri						
5 fide tekrarlanabilirlik Standart sapma			U ₅				Ortalama için						çalışma reg kullanır
Span ölçerinde tekrarlanabilirlik Standart sapma			U ₅				Ortalama için						
çalışma reg kullanır			U ₅										
Kayma			U _{zer}										
hacim veya basınç akış bağımlılığı			U _{bas}										
atmosferik basınç bağımlılığı			U _{bas}										
Ortam sıcaklığı bağımlılığı			U _{temp}										
NH3 (20 mg/m ³)			U _{gas}										
CO2 (12%)													
H2O (30%)													
perilim bağımlılığı			U _{zer}										
Dönüştürücü verim			U _{zer}										
Kayıp Doğrusunda (leak)			U _{zer}										
Kalibrasyon gazının belirsizliği			U _{gas}										
Öçüm Belirsizliği		Sonuç	30,72		mg/m ³								
Kombine belirsizlik			0,72		mg/m ³								
Güncellenmiş belirsizlik	k =	2	1,44		mg/m ³								
SDP ve diğer belirsizlik etkileri			1,44		mg/m ³ (sonuç)								
çalışma reg kullanır	% 95 güven düzeyinde ifade		1,44		% DV								
çalışma reg kullanır	% 95 güven düzeyinde ifade		1,44		mg/m ³ an DV								

Referans koşulları için düzeltme				
ref	Öçüm	O2, %	Basınç, %	Temperatür, K
				101,30
				273,00
Faktör	Öçüm			101,30
Düzeltilmiş Faktör		1,00	1,00	1,00
Düzeltilmiş Faktör		1,00		1,00

Kütle Farkı	
0,02 mg/m ³	
1,07 N Değeri	

	Ortalama	max	Min Değeri
Ortalama	0,9	0,2	0,4
Basınç	101,30	101,3	101,3
Sıcaklık	299	299	299
NH3 ortalama	0	0	0
CO2 ortalama	0	0,2	0
H2O ortalama	0	0,2	0
SDP ve diğer belirsizlik etkileri			0,00
Yüksek	21,2	22,0	21,2

En büyük negatif ya da pozitif girişim ekleme kullanmak	
	0,00
	0,00
	0,00
	0,00
	0,00
Girişim belirsizlik	0,00

NPL Nox Dosyası

<http://www.npl.co.uk/environmental-measurement/products-and-services/emissions-measurement-guidance-and-training>

TGN M2

Belirli koşullar	Değer
İşlem türü	Incineration
Günlük ortalama emisyon limit değeri	75 mg.m ³
İzleme sisteminin MCERTS sertifikasyon aralığı	0 -75 mg.m-3
İzleme sisteminin ölçüm aralığı	0 to 300 mg.m-3
Ölçme tekniği	Infrared , örek kuru
Atmosfer basıncı değişimi	99-100 kPa
Örnek basınç değişimi	100 ±5 kPa
Kalibrasyon sıcaklığına (298 ° C) kıyasla sıcaklık dalgalanmaları	278 - 318 °C
Gerilim değişimi	93V to 121V, 110V nominal voltaj

$$C_{ppm} = C_{reading} + Corr_{fit} + Corr_{0,dr} + Corr_{s,dr} + Corr_{rep} + Corr_{adj} + \sum_{i=1}^p Corr_{inf} + Corr_{int}$$

Performans karakteristiği	Standart Belirsizlik	Standart belirsizlik değeri, mg/ 3
Doğrusallıktan sapma	0.07	$\frac{(0.7/100) \times 75}{\sqrt{3}} = 0.30$
Zero kayma	0.001	$\frac{(0.001/100) \times 75}{\sqrt{3}} = 0.004$
Span kayma	0.1	$\frac{(0.1/100) \times 75}{\sqrt{3}} = 0.43$
Girişimlere duyarlılık	0.4	$\frac{(0.4/100) \times 75}{\sqrt{3}} = 0.61$
Numune hacim ekliğine veya numune basıncına duyarlılık	0.02	$\frac{(0.02/100) \times 75 \times 5}{\sqrt{3}} = 0.04$
Atmofeerik basınca duyarlılık	0.8	$\frac{(0.8/100) \times 75 \times (1/2)}{\sqrt{3}} = 0.17$
Ortam sıcaklığına duyarlılık	0.1/100	$\frac{(0.1/100) \times 75 \times 10}{10} \times \sqrt{\frac{(318-298)^2 + (278-298)(318-298) + (278-298)^2}{3}} = 0.83$
Elektrik voltajına duyarlılık	0.6/100	$\frac{(0.6/100) \times 75 \times 10}{10} \times \sqrt{\frac{(221-110)^2 + (93.5-110)(221-110) + (93.5-110)^2}{3}} = 0.34$
Span seviyesindeki laboratuarda tekrarlanabilirlik	0.5/100	$(0.5/100) \times 75 = 0.3$
Örnekleme Hattı Sızıntı Kayıpları	0.2	$\frac{(0.2/100) \times 75}{\sqrt{3}} = 0.52$
Kalibrasyon Gazının Belirsizliği	2	$\frac{(2/100) \times 75}{\sqrt{3}} = 0.87$

$$u_c = 1.75 \text{ mg.m}^{-3}$$

$$U_c = 2 u_c = \pm 3.5 \text{ mgm}^{-3}$$

±4.7% of the ELV of 75mgm⁻³

Belirsizlik Tahminlerinin Hesaplanması - Manuel İzleme Teknikleri

$$C_m = \frac{Q_m}{V_{std}}$$

$$V_{std} = V_{T.p} \times \frac{T_{std}}{T} \times \frac{P}{P_{std}}$$

Gaz hacminin kombine belirsizliğinin hesaplanması için ifade

$$\frac{u^2(C_m)}{(C_m)^2} = \frac{u^2(Q_m)}{(Q_m)^2} + \frac{u^2(v_s)}{(v_s)^2} + \frac{u^2(V_{std})}{(V_{std})^2}$$

C_m	Ölçülen konsantrasyon	mg/m ³
Q_m	Absorban (su vb) ve filtrede toplanan kütle konsantrasyonu	mg
v_s	Numune solüsyonunun hacmi	l
V_{std}	Standart koşullarda ömeklenen hacim	m ³
T_m	Gaz sayacının ortalama sıcaklığı	K
T_{std}	Standart sıcaklık	273K
$p=p_{rel}+P_{atm}$	Mutlak basınç	kPa
P_{std}		101.325 kPa
$V_{T.p}$	Gaz sayacı tarafından gösterildiği şekilde ömeklenen hacim	m ³

Ölçülen konsantrasyonun kombine belirsizliğinin hesaplanması için ifade

Belirsizlik Tahminlerinin Hesaplanması - Manuel İzleme Teknikleri

$$\frac{u^2(C_m)}{(C_m)^2} = \frac{u^2(Q_m)}{(Q_m)^2} + \frac{u^2(v_s)}{(v_s)^2} + \frac{u^2(V_{T,p})}{(V_{T,p})^2} + \frac{u^2(T)}{(T)^2} + \frac{u^2(p_{rel})}{(p)^2} + \frac{u^2(p_{atm})}{(p)^2}$$

$$u(C_m) = \sqrt{\left(\frac{u^2(Q_m)}{(Q_m)^2} + \frac{u^2(v_s)}{(v_s)^2} + \frac{u^2(V_{T,p})}{(V_{T,p})^2} + \frac{u^2(T)}{(T)^2} + \frac{u^2(p_{rel})}{(p)^2} + \frac{u^2(p_{atm})}{(p)^2} \right)} \times (C_m)^2$$

$$U(C_m) = u(C_m) \times k$$

$$u(C_{m,O_2,ref}) = \sqrt{\left(\frac{u^2(Q_m)}{(Q_m)^2} + \frac{u^2(v_s)}{(v_s)^2} + \frac{u^2(V_{T,p})}{(V_{T,p})^2} + \frac{u^2(T)}{(T)^2} + \frac{u^2(p_{rel})}{(p)^2} + \frac{u^2(p_{atm})}{(p)^2} + \frac{u^2(O_{2,meas,dry})}{(21 - O_{2,meas,dry})^2} \right)} \times (C_{m,O_2,ref})^2$$

$u(C_{m,O_2,ref})$	= O2 referans konsantrasyonundaki kütle konsantrasyonu ile ilgili belirsizlik	mg/m ³
$C_{m,O_2,ref}$	= O2 referans konsantrasyonunda kütle konsantrasyonu	mg/m ³
$O_{2,meas}$	= O2 ölçülen konsantrasyon	% volume
$u((O_{2,meas,dry}))$	= Ölçülen O2 konsantrasyonu ile ilgili belirsizlik	% (relative to O ₂ meas)

Standart miktar Tstd ve Pstd ile ilgili belirsizliklerin önemsiz olduğu varsayılarak Ölçülen konsantrasyonun birleşik belirsizlik hesaplamasında kullanılan ifade.

Oksijen referans konsantrasyonunda ölçülen konsantrasyonun belirsizliği

Partikül Kütlesi

Sembol	Kaynak Belirsizliği	Değer	Birim	Dağılım	Divisor	c_i	U_i
$u(\text{calBal})$	Kalibrasyon		mg	Normal	2	1	
$u(\text{repBal})$	Filtre Tekrarlanabilirlik		mg	Normal	1	2	
$u(\text{repBal})$	Durulama Tekrarlanabilirlik		mg	Normal	1	2	
$u(\text{driftBal})$	Drift (Kararlılık)		mg	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	
$u(\text{resBal})$	Resolution		mg	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	
$u(\text{aceBal})$	Aseton Kalıntısı		mg	Normal	2	1	
$u(\text{buoBal})$	Havanın Kaldırma Kuvveti		mg	Normal	1	1	
$u(\text{mass})$	Birleşik belirsizlik			Normal	-	-	
$u(\text{mass})/\text{mass}$	Bağıl		mg	-	-	-	
						$u(\text{mass})^2/\text{mass}^2$	
$U(\text{Wm})$	Genişletilmiş Kombine tartım Belirsizliği, DELV k = 2'nin Yüzdesi Olarak						%

Örneklenmiş gazın Hacmi

Sembol	Kaynak Belirsizliği	Değer	Birim	Dağılım	Divisor	<i>c_i</i>	<i>U_i</i>
$u(\text{cal}V_{T,p})$	Kalibrasyon		m^3	Normal	2	1	
$u(\text{rep}V_{T,p})$	Repeatability		m^3	Normal	1	1	
$\ddot{u}(\text{drift}V_{T,p})$	Drift		m^3	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	
$u(\text{res}V_{T,p})$	Resolution		m^3	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	
$u(V_{T,i})$	Birleşik Belirsizlik		-	Normal		-	
	Bağıl		m^3	-	-	-	
						$u(\text{Vm})^2/\text{Vm}^2$	

Gaz Sayacı Sıcaklığı

Sembol	Kaynak Belirsizliği	Değer	Birim	Dağılım	Divisor	c_i	U_i
$u(\text{cal}T_{im})$	Kalibrasyon		K	Normal	2	1	
$u(\text{cal}T_{cm})$	Kalibrasyon		K	Normal	2	1	
$u(\text{res}T_n)$	Resolution		K	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	
$u(\text{drift}T_m)$	Drift		K	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	
$u(T_m)$	Birleşik Belirsizlik		-	Normal	-	-	
$u(T_m)/T_m$	Bağıl		K	Normal	-	-	
						$u(T_m^2/T_m^2)$	

Atmosferik Basınç

Sembol	Kaynak Belirsizliği	Değer	Birim	Dağılım	Divisor	c_i	U_i
$U(P_{atm})$	Atmosfer basıncı		Pa	Normal	$\sqrt{3}$	1	
$u(P_{atm})$	Birleşik Belirsizlik		-	Normal		-	
$u(P_{atm})/P$	Bağıl		-	Normal	-	-	
						$u(P_{atm})/P$	

Relatif Gazsayacı Basıncı

Sembol	Kaynak Belirsizliği	Değer	Birim	Dağılım	Divisor	c_i	U_i
$u(P_{rel})$	DGM Basıncı		Pa	Normal	1	1	
$u(P_{rel})$	Birleşik Belirsizlik		-	Normal	-	-	
$u(P_{rel})/P$	Okunan Basınç		-	-	-	-	
						$u(P_{rel})/P$	

Sembol	Kaynak Belirsizliği	Değer	Birim	Dağılım	Divisor	<i>ci</i>	<i>Ui</i>
u(cm)	Toplanmamış Kütle (şahit)		mg	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	
<i>u(cm)</i>	Birleşik belirsizlik	-		Normal	-	-	
u(cm)/mass	Bağılı	1,5	mg	-	-	-	
						$u(\text{mass})^2/\text{mass}^2$	

Kaçak Belirsizliği							
Sembol	Kaynak Belirsizliği	Değer	Birim	Dağılım	Divisor	<i>ci</i>	<i>Ui</i>
u(Leak)	Kaçak	2	%	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	
	Birleşik belirsizlik	-			-	-	
u(cm)/100	Bağılı	100	%	-	-	-	
						$u(\text{leak})^2/100^2$	

Referans oksijen Konsantrasyonu							
Sembol	Kaynak Belirsizliği	Değer	Birim	Dağılım	Divisor	c_i	U_i
$u(O_2, meas)_{dry} rel$	Ölçülen Oksijen		%	Normal	1	1	
	Oksijen düzeltmesinin belirsizliği		-	-	-	-	
	Ölçülen Oksijen		%			$U(O_{rel})_{2/O_2}$	

Ölçüm Belirsizliği

$u(C_m)$	Birleştirilmiş Standart Belirsizlikler				+		mq/m^3
$u(C_m)$ at ref 0 ₂	Birleştirilmiş Standart Belirsizlikler				+		mq/m^3

Genişletilmiş belirsizlik% 95'lik bir güven düzeyiyle ifade edildi, $k = 2$

$U(C_m)$	Genişletilmiş Birleşik belirsizlik	$k = 2$			+		mq/m^3
$U(C_m, rel)$	Genişletilmiş Birleşik belirsizlik	$k = 2$			+		%
$U(C_m, rel, ELV)$	Genişletilmiş Birleşik belirsizlik	$k = 2$			+		%

Genişletilmiş belirsizlik% 95'lik bir güven düzeyiyle ifade edildi, $k = 2$

$U(C_m)$ at ref 0 ₂	Genişletilmiş Birleşik belirsizlik	$k = 2$			+		mq/m^3
$U(C_m, rel)$ at ref O ₂	Genişletilmiş Birleşik belirsizlik	$k = 2$			+		%
$U(C_m, rel, ELV)$ at ref O ₂	Genişletilmiş Birleşik belirsizlik	$k = 2$			+		%

Raporlama personeli tarafından her bir belirsizlik bileşeni için standartlarda verilen sınır değerlerin ayrıca kontrolü yapılmalıdır.