

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BELİRSİZLİK ANALİZİ VE BAZI UYGULAMALARI

SİMPER YASEMİN ULUKUŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ. DR. AYŞEGÜL ÖZTÜRK

EDİRNE-2010

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Bu tez 24/09/2010 tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul
Edilmiştir.**

Doç. Dr. Ayşegül Öztürk Doç. Dr. Kamil Kahveci Yrd. Doç. Dr. Nurşen Suçsuz

Danışman

Üye

Üye

ÖZET

Bu çalışmada, deneysel çalışmaların daha sağlıklı sonuçlar verebilmesi amacıyla yapılan belirsizlik analizi hesabının önemi vurgulanmış ve örnek veriler baz alınarak değişkenlerin deney sonucuna etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Sistemin belirsizliğine etki eden değişkenler belirlenmiştir. Farklı gıda maddeleri için verilen efektif difüzyon katsayılarının belirsizlik analizi yapılmıştır. Çalışmada farklı geometrik şekillerde farklı gıda maddelerinin difüzyon katsayıları ele alınmıştır. Difüzyon denklemlerine küçük kareler yöntemi uygulanarak toplam belirsizlik bulunmuştur. Veriler hesaplanırken farklı sıcaklık değerleri ve farklı belirsizlik değerleri seçilmiştir. Bu değerler rastgele seçilmiş, bazı değişkenler sabit kalmak şartıyla diğer değişkenler sık aralıklarla değiştirilmiştir. Her cisim için farklı sıcaklık ve belirsizlik değerleri için rastgele 10 değer verilmiştir.

Bu tez 2010 yılında yapılmıştır ve 85 sayfadan oluşmaktadır.

Anahtar kelimeler: Belirsizlik analizi, deneysel çalışmalarda belirsizlik analizi

ABSTRACT

Aim of this study is that to emphasize the importance of uncertainty analysis calculation for the purpose of giving more healthier results of experimental studies. Effect of variables to the experiment result based on sample dates could be fixed. The variables that effect to the uncertainty of the system were defined. An uncertainty calculation was made according to diffusion coefficient defined for different objects. During the studies diffusion coefficient of different objects at different geometrical shapes were based on. The total uncertainty was obtained when the diffusion coefficient was derived. Different temperature and error values are selected while the dates were calculated. These values were randomized, the other variables were changed frequently provided that one variable steady. 10 random values are given for every object and for different temperature and error values.

This study was completed in 2010 and consists of 85 pages.

Key words: Uncertainty analysis, Uncertainty analysis of experimental studies

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER.....	iv
1. GİRİŞ.....	5
2. BELİRSİZLİK ANALİZİ.....	9
2.1. Hata Kaynakları.....	9
2.2. Hataların sınıflandırılması.....	11
2.3. Ortalama, Standart Sapma ve Ortalamanın Standart Sapması.....	15
2.4. Belirsizlik Çeşitleri.....	17
2.4.1. Model belirsizlik.....	17
2.4.2. Parametrik/Bilgi (Data) Belirsizlik.....	19
2.4.3. Monte Carlo Ve Belirsizlik Hesapları.....	21
2.5. Belirsizlik Analizi Hesabı.....	23
2.6. Belirsizlik ile Sonuçların Belirlenmesi.....	25
2.7. Belirsizlik İle (Miktar) Özellik Karşılaştırılması.....	26
2.8. Belirsizlik Belirleme Basamaklarının Önemi.....	28
2.9. Belirsizliğin Türetilmesi.....	28
2.10. Bazı Durumlar İçin Fonksiyonların Belirsizlik Hesaplamaları.....	31
2.10.1. Olasılık Ve Belirsizliklerde Olasılık Gösterimleri ile Gauss ve Normal Hata Dağılım Hesaplaması.....	32
2.10.2. Nusselt sayısı için belirsizlik.....	34
2.10.3. Sürtünme faktörü için belirsizlik.....	35
2.10.4. Reynolds sayısı için belirsizlik.....	36
3. ANALİZ VE SONUÇ.....	41
KAYNAKLAR.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	85

SİMGELER

d	Çap (m)
D_{eff}	Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)
h	Yükseklik (m)
L	Kalınlık (m)
m	Kuru baza göre nem içeriği (kg nem/kg kuru kütle)
m_m	Birim saat için ortalama nem içeriği (kg su / kg kuru kütle)
m_w	Yaş baza göre nem içeriği (kg su/kg yaş kütle)
\bar{R}	İdeal gaz sabiti (8.314 j/mol K)
T	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
T_{ab}	Mutlak sıcaklık (K)
v	Hız (m/s)
$w_{D_{\text{eff}}}$	Difüzyon katsayısının toplam belirsizliği (m^2/s)
w_m	Kuru baza göre nem içeriğinin belirsizliği (kg nem/kg kuru kütle)
	Birim saat için ortalama nem içeriğinin belirsizliği (kg su / kg kuru kütle)
	Yaş baza göre nem içeriğinin belirsizliği (kg su/kg yaş kütle)
$w_{\bar{R}}$	İdeal gaz sabitinin belirsizliği (j/mol K)
w_T	Sıcaklığın belirsizliği ($^{\circ}\text{C}$)
	Mutlak sıcaklığın belirsizliği (K)
w_v	Hız belirsizliği (m/s)
w_{ρ}	Yoğunluğun belirsizliği (kg/m^3)
q_s	Güneş radyasyonu (W/m^2)
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
φ_e	Bağıl nem

1. GİRİŞ

Bilimsel çalışmalarda gelinen her aşamada elde edilen verilerin geçerliliği bilinmelidir. Ne kadar dikkat edilirse edilsin bir sistem üzerinde yapılan deneysel ölçümler her zaman kesin ve tam değildir. Bu belirsizliğin rakamsal olarak ifade edilmesi gerekir. Hata, ölçümlerden kaynaklanan belirsizliklerin oluşturduğu bir sonuç olarak tanımlanabilir. Bu hatalar, rastgele hatalar, dikkatsizlikler veya sistematik hatalar olabilir. Belirsizlik ise değişik nedenlerle ortaya çıkan etkilerin, ölçümdeki sonuçta belirlenmesidir. Bu da sistemdeki elemanların seçiminde ve etkin bir sistemin oluşturulmasında en etkili faktördür.

Bir sistemi oluşturan elemanların seçiminde ve etkin bir sistemin oluşturulmasında en önemli etken belirsizlik faktörü ve belirsizlik analizidir. Belirsizlik analizi, sadece sonuçların yorumlanmasında değil aynı zamanda ölçüm metodu ve ölçüm aracının belirlenmesinde de büyük rol oynar. Ölçülecek büyüklük ve ölçü araçlarının seçiminden önce belirsizlik analizinin yapılması ve buna uygun büyüklük ve ölçüm aracının seçilmesi, sonuçların içinde yer alacağı belirsizliğin minimuma indirilmesinde yardımcı olacaktır. Diğer taraftan ölçülen büyüklüklerden hangisinin toplam belirsizlik üzerinde en etkin rol oynadığının tespit edilmesi, bu ölçümlerin daha hassas yapılması için önlem almayı gerektireceğinden sonuçların belirsizliğinin azaltılmasına ayrıca katkıda bulunacaktır.

Belirsizlik, sistematik belirsizlikler ve değişken belirsizlikler olmak üzere iki grupta toplanabilir. Sistematik belirsizlikler, genellikle ölçüm yapılan alettaki hatalar veya ölçüm tekniğinin yanlış uygulanması olarak ifade edilir. Değişken belirsizlikler ise ölçümün yapıldığı deney ortamındaki tahmin edilmeyen değişken durumların deneyin performansını etkilemesinden kaynaklanır. Değişken belirsizlikler deneyde ölçüm sonuçlarının yaklaşık olmasını zorlaştırır. Sistematik belirsizlikler ise ölçüm doğruluğunu azaltır.

Spitler vd. (1991) yapmış oldukları deneysel çalışmalarda sıcaklık, panel güç ve hacimsel debi ölçümünde belirsizliği araştırmışlardır. Peng ve Peterson, (1996) mikro kanallarda deneysel olarak yaptıkları ısı transferi ve basınç kaybı çalışmasında akış debisi, ısı transferi katsayısı, sürtünme katsayısı, Nusselt sayısı, Reynolds sayısı gibi büyüklüklerin içerdiği belirsizlikleri tespit etmiştir. Olsson, ve Sunden, (1996) radyatör borularında yaptıkları deneysel çalışmada araçların kalibrasyon değerlerinden elde edilen değerler kullanılarak sürtünme faktörü, Nusselt sayısı, Reynolds sayısı gibi karakteristikler için belirsizlik analizi yapmıştır. Asan ve Namlı, (1997) deneysel ısı transferi ve basınç kaybı çalışmalarında belirsizlik analizi yapmışlardır. Sıcaklık, basınç kaybı ve debi ölçümleri yapmışlar ve ölçüm sonuçlarında Nusselt sayısı, sürtünme faktörü ve Reynolds sayısı için belirsizlik ifadeleri elde etmişlerdir. Sonuç olarak deneyde ölçülen her bir bağımsız değişkenin toplam belirsizlik üzerindeki etkisini Nusselt sayısı için $\pm \%18$, sürtünme faktörü için $\pm \% 10$, Reynolds sayısı için $\pm \% 4$ olarak bulmuşlardır. Asan ve Namlı, (1997) çalışmalarında değerlerin ölçülmesi ile en az belirsizliğin ortaya çıkabileceğinin belirlenmesinin ancak belirsizlik analiziyle mümkün olacağını bildirmişlerdir. Bir güneş borusu için ortalama ısı kaybı katsayısının belirsizlik analizi Tang ve vd., (2006) tarafından yapılmıştır. Isı kayıp katsayısının belirsizliğinin başlıca nedeninin test prosedürünün elverişsizliği olduğunu ve sıcaklık sensörlerinin ve elemanlarının ölçüm hatasının belirsizliğe katkısının az olduğunu belirtmiştir. Akpınar ve Biçer, (2005) çift borulu bir ısı değiştirgecinde ısı transferini incelemiş ve sıcaklık ölçümü, basınç düşüşü, kütleli debi ve termodinamik özelliklerin tablo okuma hatalarını göz önüne alarak Holman (1994) tarafından verilen metodu kullanarak toplam belirsizliği belirlemiştir. Kara, (2005) gövde-boru tipi bir kondenserin performans analizi üzerinde deneysel bir çalışma yapmıştır. Deneyler üç farklı yoğuşma basıncı için yapılmıştır ve üç farklı yoğuşma basıncı elde etmiştir. Belirsizlik analizi Kline ve Mc Clintock, (1953) metodunun Holman, (1994) tarafından verilmiş hali ile yapılmış ve yaklaşık olarak $\pm \%11$ olarak bulunmuştur. Akpınar (2005), siklon tipi kurutucunun deney düzeneğinde, düzenek elemanlarının hata analizini yapmıştır. Bağımsız değişkenler için sıcaklık ölçümlerinde ortaya çıkabilecek hataları, zaman ölçümünden kaynaklanan hataları, kütle kayıplarının ölçümünden kaynaklanan hataları, hız ölçümünden kaynaklanan hataları, örneklerin bünyesindeki nem miktarının tespit

edilmesinde ortaya çıkan hataları analitik ifadelerle sayısal olarak incelemiştir. Hesaplarında Holman (1994) tarafından verilen yöntemi kullanmıştır. Sonuçta sistemdeki en büyük belirsizlik değerinin sıcaklık ölçümünden kaynaklandığını elde etmiştir. Papadopoulos ve Yeung, (2001) belirsizlik tahmini ve Monte Carlo simülasyonu üzerinde bir çalışma yaparak deneysel çalışmalara ışık tutmuşlardır. Monte Carlo simülasyonunun çok fazla deneysel sonuçların simüle edilerek zor problemleri çözme metodu olarak kullanıldığı hususu üzerinde durmuşlardır. Yapılan Monte Carlo simülasyon çalışmalarıyla söz konusu metodun farklı sistem belirsizlik tahminlerinde daha gerekçi yaklaşma önermesini gösterdiğini savunmuşlardır. Pırasacı ve Sivrioğlu, (2004) kısmen açık dik bir kanal içerisinde yatay olarak yerleştirilen ısıtılmış bir plaka üzerindeki karışık konveksiyon ile ısı transferini deneysel olarak incelemiştir. Deney düzeninde bulunan sistem elemanları için sonuçların doğruluğunun tespiti için hesaplanan değerlerin yanı sıra belirsizlik analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda Nusselt sayısındaki belirsizliğin $\pm\% 6$ dan küçük olduğu, Rayleigh sayısındaki belirsizliğin $\pm\% 5$ civarında olduğu ve Reynolds sayısındaki belirsizliğin ise $\pm\% 3$ olduğu elde edilmiştir. Bevington ve Robinson, (2003) 'na göre belirsizlik aşağıdaki nedenlerden dolayı önemlidir.

1. Uyuşmazlıkların temelindeki önemli faktörlerin ve kanıların belirlenmesi,
2. Daha fazla bilginin gerekli olduğu yerleri bilmek için,
3. Model tahminlerine sıra eklemek için,
4. Risklerle ilgili görüşleri anlamak için,
5. Zamanlama bilgisini hesaplamak için.

Günümüzde geliştirilen sistemlerde ve yapılan araştırmalarda ve uygulanan deneylerde en az hata ve minimum belirsizlik ile en doğru elemanları bir araya getirmek amaçlanmaktadır.

Deneysel çalışmalar, incelenen sistemler hakkında daha doğru ve kesin bilgileri vermeleri bakımından her zaman sayısal ve analitik çalışmaların önünde yer almıştır.

Deneysel çalışmalarda, elde edilen sonuçlar kadar önemli bir başka nokta; ölçülen değerlerin doğruluğudur. Doğruluğu etkileyen en önemli etken ise, deneyler sırasında farklı nedenlerden ortaya çıkabilecek hatalardır.

Son yıllarda deneysel çalışmalardaki hata analizine verilen önem giderek artmakta, deneysel çalışmaların önemli ve vazgeçilmez bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu çalışmanın ana amacı deneysel çalışmalardaki hata analizini örnek bir deneysel çalışmaya uygulayarak hataların dereceleri ve miktarları konusunda bilgiler vermektir.

2. BELİRSİZLİK ANALİZİ

Hata ve belirsizlik kavramları çoğu zaman birbirlerine karıştırılır ve birçok problemde bu iki kavram tam olarak ayırt edilemez.

Hata; ölçüm hatası, bir niceliğin ölçülen değeri ile gerçek değeri arasındaki farktır. Belirsizlik; ölçümlerdeki hataların tam olarak bilinmemesidir.

Bir ölçüm hatası, çoğu zaman birçok nedenden kaynaklanan çok sayıda bağımsız hataların sonucunda oluşur. Hata analizi, bu bağımsız hataların genel hata üzerindeki etkilerini değerlendirme çalışmasıdır. Ölçüm hatası hiçbir zaman tam olarak bilinemez. En iyi ihtimalle, içinde gerçek değer yer aldığı bir bölge belirlenebilir. Bu bölge belirsizlik olarak adlandırılır ve hatanın olası bir büyüklüğünün ifadesidir. Belirsizliğin gerçekçi bir ölçümüne ulaşmak için tüm potansiyel hata kaynaklarının etkilerinin tam olarak belirlenmesi gerekir (Erken, 2008).

2.1. Hata Kaynakları

Ayder, (1998) tarafından tespit edilen hata kaynakları aşağıda verilmiştir.

1. Fiziksel niceliği tanımlayan matematiksel modeldeki bir yanlışlık,
2. Ölçme işleminin doğasından kaynaklanan tahminlerin çeşitliliği,
3. Ayarlı cihazlar ve ölçüm standartlarındaki belirsizlik,
4. Standart ve cihazlarda kademeli deđiřikliklere yol ačan zamana bađlı kararsızlıklar,
5. Sıcaklık, nem, basınç gibi çevresel faktörlerine etkisi,
6. Başka kaynaklardan elde edilen sabit değerler ve diğer parametreler,
7. Sinyal karışması, parazitler, homojen olmama, yetersiz çözünürlük ve tam olmayan ayırırma durumlarından ileri gelen belirsizlik,
8. Sayısal belirsizlik ve veri analizi,
9. Yanlış belirlemeler ve prosedür hataları,
10. Temizlik, beceri ve kullanıcı tekniklerini iğereren laboratuvar çalışmaları.

2. 2. Hataların Sınıflandırılması

Ölçme iki özellik içerir:

1. Aynı niceliğe ait tekrarlanan ölçümlerin birbirini tutmaması,
2. Niceliğin gerçek değerinin, ölçüm sonuçlarının limit değerinden farklı olması (ortalama değer limit μ), ölçüm sayısının sonsuza gitmesi durumunda örnek ortalamasının yakınsadığı değerdir. Eğer, \bar{X}_n ölçümün ortalama sonucu ise $n \rightarrow \infty$ iken $\bar{X}_n \rightarrow \mu$). Bu özellikler rastgele ve sistematik hata olmak üzere iki çeşit hatanın sonucudur (Ayder, 1998).

a) Rastgele hatalar

Rastgele hatalar ölçümün tekrarlanması durumunda değişimlere yol açan etkilerle ilişkilidir. Rastgele hataları düzeltmek mümkün değildir. Ölçüm sayısı artırılarak etkisi azaltılabilir.

Herhangi bir rastgele hatanın büyüklüğü saptanamaz çünkü bu tamamen bir rastgele olaydır. Dağılım, olası değerlerin yayılımını tanımlayan standart sapma σ ile karakterize edilir. Bu standart sapma, tekrarlanan ölçümlerin (x_1, x_2, \dots, x_n) sonucu elde edilir ve S ile belirtilir.

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{ve} \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Belli sayıda yapılan ölçüm sonuçlarının ortalaması olan \bar{x} , genellikle ölçüm sonucu olarak alınır. Bu takdirde rastgele hata etkileri azalır ve \bar{x} değerindeki belirsizlik ölçüsü ortalamasının standart sapması (veya standart hata) olarak verilir ve

$$\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n}, \quad S_{\bar{x}} = S_x / \sqrt{n}$$

şeklinde hesaplanır. \bar{x} için rastgele hata limiti, C güvenirlilik seviyesinde $t_c(v)s_{\bar{x}}$ olarak verilebilir. Burada , $t_c(v)$, $v (n-1)$ serbestlik derecesidir. t değeri tablolardan güvenirlilik seviyesine bağlı olarak okunur. Rastgele belirsizlik çoğu zaman t istatistiğini kullanmak yerine standart sapmanın iki veya üç katı olarak verilir. Rastgele hata aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$P_x = tS_x$$

$$P_{\bar{x}} = tS_{\bar{x}} = \frac{tS_x}{\sqrt{n}}$$

Ölçülen niceliği etkileyen rastgele hata nedenleri çok sayıda ise toplam standart sapma hesaplanır. Böylece bağımsız hata kaynaklarının birleşik etkisine de açıklık getirilmiş olunur (Coleman,1989).

b) Sistemik hatalar (bias)

Ölçümün aynı koşullar altında tekrarlanmasına rağmen hata değişmiyorsa bu hata, sistemik hata olarak adlandırılır. Sistemik hatalar tüm ölçümlerin aynı miktarda hatalı olmasına yol açarlar ve ölçümün tekrarlanması ile belirlenemezler. Sistemik hataların belirlenmesi daha karmaşık olup, genellikle istatistikî metotlar ile yapılamaz. Sistemik hatalara yol açan parametrelerden bazıları da deneylerde kullanılan sabitler, çarpanlar, vb. katsayılarıdır. Bu hataların etkileri, ölçülen değerlerin kontrolü ve kişisel beceri ile belirlenir. Hataların büyüklükleri deneysel doğrulamayı gerektirebilir, ancak deneyi yapan kişinin yargı ve tecrübelerine başvurmak gerekli olabilir.

Sistemik hatalar, gerçekçi olarak saptanamadığında güvenirlilik sınırlarının belirlenmesi gerekir. Güvenirlilik sınırları ve rastgele hata limitleri, sistemik hatanın doğru olarak bilinebilmesi için yeterli genişlikte olma gerekliliği açısından, birbirlerine benzeyen kavramlardır.

Her sistemik belirsizlik bileşeni, hata etkisi için bir sanki mutlak üst sınır olarak değerlendirilir ve büyüklüğü tipik olarak $-\delta / +\delta$ aralığı içerisindeki değerler cinsinden hesaplanır.

Sistemik hata kaynaklarının çok sayıda olması durumunda, $-\delta / +\delta$ sınırları, her bileşen için ayrı ayrı elde edilir. Bileşenleri birleştirmede kullanılan en yaygın iki yöntem, lineer toplama ve kareleri toplamının karekökünü hesaplamadır (Coleman,1989).

c) Toplam belirsizlik

Toplam ölçüm hatası δ ölçülen değer ile gerçek değer arasındaki farktır.

ε_i =Rastgele hata

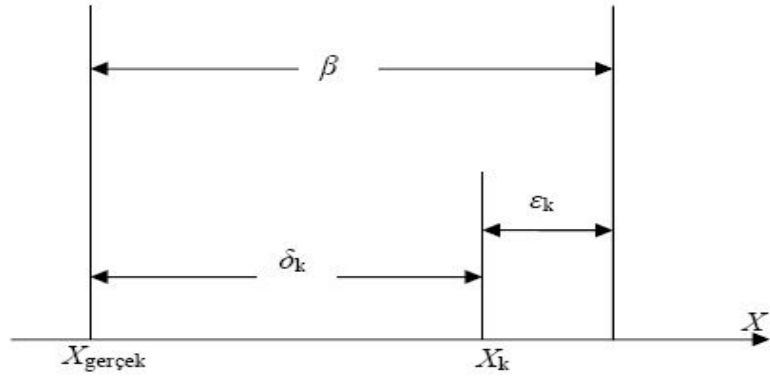
β =Sistemik hata

$$\delta_i = \beta + \varepsilon_i$$

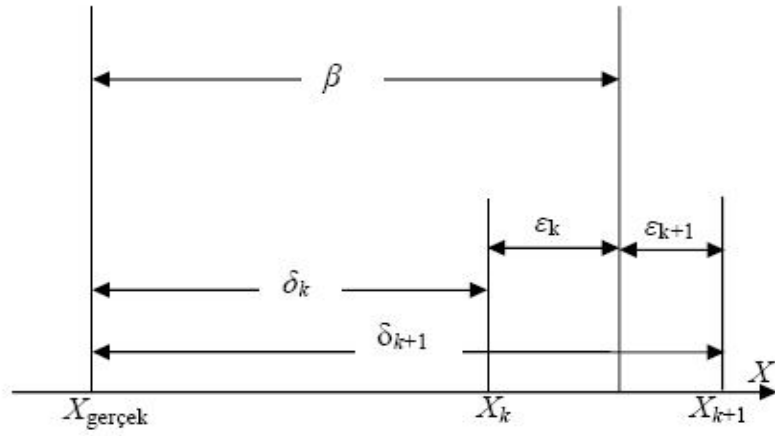
Rastgele hata her ölçüm için farklı değer alır. Buna karşılık sistemik hata tüm ölçümlerde aynıdır değişmez. Ölçüm almaya n adete ulaşana kadar devam edersek veriler Şekil 2.1.c' deki gibi davranacaktır. Sistemik hata n adet ölçümü ortalaması μ ve gerçek değer X arasındaki fark olacaktır. Ölçümlerimize bağlı X değerini ifade etmek istersek % C' lik güven seviyesinde:

$$X \pm U_x$$

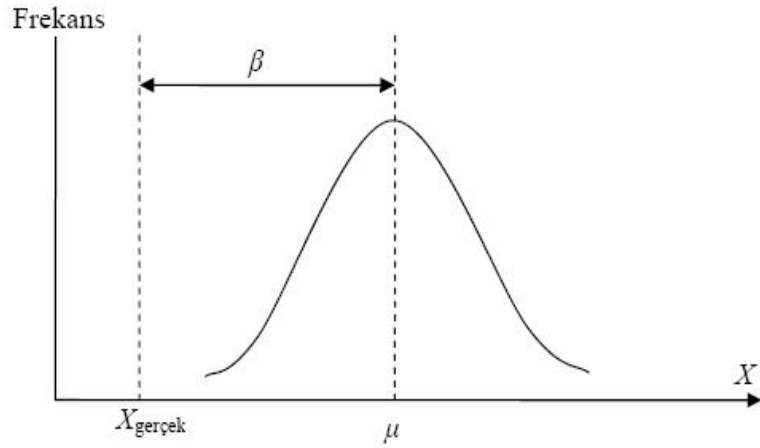
Burada X, n adet ölçümün ortalaması ve U_x rastgele ve sistemik hataların birleşiminden kaynaklanan X ölçümündeki belirsizliktir (Ayder, 1998).



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.1. X değişkeninin ölçümündeki hatalar: a) tek ölçüm, b) iki ölçüm, c) sonsuz sayıda ölçüm (Coleman, 1989).

2.3. Ortalama, Standart Sapma ve Ortalamının Standart Sapması

Değişken belirsizlikler sıklıkla standart sapma ile ilişkilidir. Sapma, istatistikî dağılımın, belirlenen bir eğilimden farklılık gösteren herhangi bir parçasıdır ve $\tau = \frac{X - \mu}{\sigma}$ şeklinde ifade edilir (Ayder, 1998). Örneğin, 10 öğrencinin bir çelik topun çapını ölçtüğünü düşünelim ve ölçünün mikrometrik pergele yapıldığını varsayalım. Ölçümü yapan 10 öğrencinin de ölçüm sonuçlarının benzer veya aynı olması beklenemez. Bunun sebepleri sıralanacak olursa;

- a) Kimi pergele çok sıkır
- b) Top mükemmel bir yuvarlak değildir.
- c) Ölçme noktasını dikkat dağınıklığından kaynaklanan bir sorun olabilir, topun üst noktalarından ölçüm yapılmıştır.
- d) Tutma ile sıcaklık artacağından topta bir genişleme olabilir veya ortamın soğuması yüzünden büzülme oluşabilir.
- e) Korozyon yüzünden topun halinde bir değişiklik olabilir.

Deney sonucunu etkileyen yukarıda belirtilen sebepler dışında daha bir çok etken sıralanabilir. Belirsizlik analizi bazı durumlarda güçleşir. Bu güçlükler;

- a) Belirsizliğin çok genişlemesi,
- b) Standart sapmadaki basamağın önemi,
- c) Dijital aletlerle yapılan ölçümlerde numaranın hep tekrarlması.

Peki, en doğru çap değeri nasıl elde edilebilir. Burada ölçme değerlerini bir grafiğe yerleştirirsek nokta halinde değerler bir eğri üzerinde veya bir doğrultuda

olduğu görülmez. En bilinen matematik metodu ise aritmetik ortalama metodudur ve bunu gösterirken \bar{x} simgesi kullanılır.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i$$

İyi bir ortalama değer elde etmek için deneydeki ölçümlerin kaç tane olduğu ve bu değerlerin ortalama değere yakınlığı önemlidir.

Bütün noktaların ağırlıkları eşitse standart sapma eşitliği;

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$$

Eğer bilgi noktalarının aralıkları çok fazla açılır yani grafikte saçılmış bir şekilde durursa, öyle bir durumda S daha büyük bir konuma gelir $\sum (x_i - \bar{x})^2$ i böyle bir durumda büyük bir sonuç verir. Burada S' nin birimi ölçüm birimleriyle aynı olmaktadır. Buradaki standart sapma "S" her bir ölçüm değeri için bulunan sonuçtur. Bu standart sapmada çok sayıda verinin elde edilmesi gereklidir.

Yeterli sayıda veri olduğu durumlarda ise standart sapma için aşağıdaki formülün kullanılması uygun olur.

$$\sigma_M = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}} = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

σ_M bize ölçüler takımının ortalama değerinin standart sapmasını verir. Buradaki ölçüler de eşit statik ağırlıklara sahip olmalıdırlar. σ_M kesinlikle S' den küçük olmalıdır. Benzer durumlarda, ölçüler takımının belirsizliği denildiği zaman anlaşılabilir veya anlatılmak istenen σ' dır, S değildir.

2.4. Belirsizlik Çeşitleri

2.4.1. Model belirsizlik

- Bir modelin içindeki belirsizlik
- Doğrusal küresel ilişki

Yapısal belirsizlik belki en fazla gözden kaçan belirsizlik çeşididir. Belirsizlik hesaplamaları için birçok nicel yöntem bilimi şu kabulü içerir; risk hesaplaması için seçilen model doğrudur. Birçok ekolojistler tarafından gösterileceği gibi her nasılsa orada çevresel risk görüşlerinin içinde birçok örnek vardır. Çevresel risk değerlendirme görüşlerindeki örnekler, model hakkında bilgisizlik içermektedir. Bu problem, görüşlerde özellikle önemli olabilir ki bu görüşler, riskleri zaman üzerinden değerlendirir veya değişebilecek model (veya bileşenleri) şeklinde aralıklarla bırakır. Bu model belirtmeyle belirsizliklerin birleşmesinin açıklaması ve anlamlarının nerede araştırılacağı ihtimali modelleyenin sorumluluğundadır.

Ancak durum sürprizlerinin katılma zorunluluğu olacağı zaman, problem için bir çözüm olmayacaktır. Daha kolay kontrol edilebilir problem, model varyasyonu ile birleştirilmiştir. Kesinlikle başka modelleme yapanlar başka modelleri tavsiye edebilir. Modeldeki varyasyon risk yöntemi için önemli bir ikilem yaratabilir ve aynı zamanda yasaya uygun etmenleri barındırabilir. Bir başka yararlı yaklaşım model haritalanmasıdır. Bu yaklaşım farklı modellerdeki girdilerin karşılaştırılması için yararlıdır. Bayesian yaklaşımı ki modellerin geniş sınıfı içine yerleşmiş modellerden biridir ve bu da aynı zamanda mümkün bir yaklaşımdır.

Daha basit modeller içinde benzer Bayesian yaklaşımı, model ortalaması olarak adlandırılır. Model ortalamalarında, farklı modellerdeki sonuçlar çeşitli modellerdeki ortalama hesaplamalarını sağlamak için tartılır ve birleştirilir. Tartılan modeller, kendi önemlerine dayanır.

Belirsizlik çeşitleri:

- Ölçülen veya istatistik belirsizlik
- İnip çıkmalarda ve değişken değerlerde

Diğer belirsizlikler:

- İstatistikleri bilinmeyen değerler
- Tahmin ederek hesaplanan
- Sistemik hataları kapsayan ama sınırlamayan belirsizliklerdir.

Matematiksel modeller zorunlu bir şekilde incelenen fiziksel olayın basitleştirilmiş bir durumunu ortaya koyarlar. Modelleme prosesinin temeli model kabullerinin makul bir şekilde seçimine dayanır. Bir optimal mekanistik model yapılan basitleştirmelerin yanında göz önüne alınan fiziksel olayı etkileyen proseslerin yeterli doğrulukta ifade edilmesini sağlar. Böylece, transport-transformasyon sistemlerini ifade etmek üzere kullanılan matematiksel modellerin yapısı sıkça belirsizliklerin ana kaynağıdır. Modellemenin doğasında yer alan önemli kabullerin yanında bazen de birbirine alternatif modeller de söz konusu olabilir. Ayrıca, pek çok modeldeki sınırlı uzaysal veya zamansal çözünürlük (örneğin nümerik grid hücre boyutu) model sonuçlarında belirsizliğin bir diğer nedenidir. Bu bağlamda, model belirsizliklerinin farklı nedenleri aşağıda özetlenmiştir.

Model Yapısı: Belirsizlik bir modelin geliştirilmesi esnasında yapılan bir dizi bilimsel veya teknik kabul nedeniyle ortaya çıkar. Bu tür durumlarda, eğer birbirine alternatif modeller benzer sonuçları üretiyorsa, belirsizliğe rağmen alınan karardan emin olunabilir. Bununla birlikte eğer alternatif modeller birbirinden farklı sonuçlar üretiyorsa, modelle ilgili ek değerlendirmelere ihtiyaç duyulabilir.

Model Detayı: Takip edilebilirlik açısından modeller sıkça basitleştirilir. Bu basitleştirmeler göz önüne alınan parametre uzayında kompleks bir nonlinear modeli daha basit bir linear modele dönüştürmeyi içerir. Basitleştirilmiş modellere ait sonuçlardaki belirsizlik bazen bu model sonuçları ile daha detaylı ve karmaşık olan modellere ait sonuçlarla karşılaştırılarak karakterize edilebilir.

Ekstrapolasyon: Parametre uzayının belirli bir kısmı için geçerliliği ifade edilmiş modeller parametre uzayının diğer bölgelerindeki sonuçlar için uygun olmayabilir. Örneğin, bir yüksek doz kısa etki süreli hayvan bazlı testlere dayanan bir doz yanıt modeli düşük doz uzun bir etki süresi için insan bazlı çalışmalara uygulandığında önemli hatalara neden olabilir. Benzer şekilde, atmosfer ile ilgili modellemede, yalnızca ana durum emisyon seviyelerine dayanan modeller önemli derecede farklı emisyon seviyeleri içeren gelecekteki senaryolar ile ilgili çalışmalara uygulandığında önemli derecede belirsizlik içerebilir.

Model Çözünürlüğü: Nümerik modellerin uygulanmasında, belirli bir uzaysal ve/veya zamansal grid boyutunun seçimi genellikle belirsizlik içerir. Bir taraftan hesaplama zamanı (dolayısıyla maliyeti) ve sonuçlardaki doğruluk arasında bir ters orantı vardır. Diğer taraftan, çözünürlük ve modele ait yönetici denklemlerin geçerliliği arasında ters orantı söz konusudur. Çok sık bir şekilde bir büyük grid hücre boyutu model sonuçlarında belirsizliğe neden olur. Bazen ise daha küçük grid hücre boyutları daha doğru sonuçlar elde etmek için gerekli olmayabilir. Örneğin fotokimyasal grid modellemede, atmosferik difüzyon denklemi 2 km ve 20 km arasındaki grid hücre boyutları için geçerlidir. Bu durumda, büyük bir grid hücre boyutlu model önemli alt-grid detaylarını ihmal eder. Bununla birlikte daha küçük grid hücre boyutu daha fazla bilgisayar kapasitesi gerektirir ve yinede yönetici denklemin uygun olmaması söz konusu olabileceğinden yanlış sonuçlar üretebilir. Bu tip bir belirsizlik olmaması söz konusu olabileceğinden yanlış sonuçlar üretebilir. Bu tip belirsizlik bazen model bölge parametre değerlerinin uygun seçimi veya farklı grid ağ boyutlarına dayalı sonuçlar ile karşılaştırma yapılarak giderilebilir.

Model Sınırları: Pek çok model zaman, uzay, kimyasal türlerin sayısı, yörünge tipi bakımından limitli sınırlara sahip olabilir. Bir model sınırına ait seçim basitleştirmenin bir türü olabilir. Sınır içinde model doğru bir tanımlama yapabilir, ancak diğer gözden kaçırılmış fiziksel olaylar modellenen senaryoda önemli bir rol oynayabilir.

2.4.2. Parametrik/Bilgi (Data) Belirsizlik

Model parametreler içindeki belirsizlikler, çeşitli kaynaklardan tahmin edilir. Hatta birçok parametre aracılığıyla, istenilen bir doğruluktan daha iyi ölçüm yapılabilir. İlke olarak, tahminler ile ilgili çoğu kez önemli belirsizlikler vardır. Bazı belirsizlikler ölçüm hatalarından doğabilir; bunlar a) analitik araçtaki rastgele hatalar b) özensiz kalibrasyon nedeniyle meydana gelen sistematik sapmalar içerebilir. Yanlış sınıflandırma içeren parametrelerin tahmindeki diğer potansiyel kaynaklar, küçük bir örnek aracılığıyla parametrelerin tahmini ve temsil edici olmayan örnekler aracılığıyla parametrelerin tahminidir. Ayrıca, belirsizliklerden doğan model uygulaması içindeki belirsizlik, model gelişimi için kullanılan ölçüm datası ile ilgilidir.

2.4.3. Monte Carlo ve belirsizlik hesapları

Çok fazla istatistiksel metotla birlikte belirsizliği tanımlayan yalnızca bir dağılım varsayımı (Poisson, Gaussian gibi dağılımlar kullanılarak yanıt modellenir) veya belirsizliği modellemede kullanılan genel bir dağılım vardır (rastlantısal etkiler için normal model kullanımı). Bu varsayım analizlerin büyük oranda basitleştirilmesiyle, sonuçlar tek bir fonksiyonun ve olasılık fonksiyonunun ve olasılık fonksiyonunun bölümlerinde veya parametreler aracılığıyla (ortalama ve karışıklık) anlatılabilir. Bu yaklaşım bazı risk değerlendirme çalışmalarında kullanışlı iken (özellikle laboratuvar analizlerinde), genel risk analizleri daha karmaşık yapıdadır.

Riskli karmaşık matematik modellerin belirsizlik analizleri sık sık simülasyon ve Monte Carlo metodunun kullanımını içerir. Bu metotlar, risk tahminlerinde dağılımları veya kesinlikleri sağlamada kullanılır. Metotla parametre belirsizlikler değerlendirilebilir. Parametre belirsizliklerinin değerlendirilmesi için yaklaşım aşağıdaki adımları içerir.

1. Parametrenin uygun değerini tanımlamak için bir dağılım seçilir.
2. Bu dağılımdan data oluşturulur.
3. Modeldeki parametrenin uygun değerleri, sonucu bulmak için oluşturulan data da kullanılır.

Bu basit irdelemeyle beraber, potansiyel problemlerin yoğunluğu dağıtılmalıdır. İlk başta dağılım seçimi (veya eksiltme) vardır. Bu risk bölümü üzerinde geniş çalışma alanını içerir, analizci dağılım gibi parametre değerleri çevresinde belirsizliği tanımlar. Dağılım sık sık minimum, maksimum ve beklenen parametre değerleri üzerinde temellendirilir. Dağılım tam ve kesin olarak belirtmek imkânsızdır (lognormal, gamma). Bununla birlikte, deneyimler dağılımların üzerine

kurulmuş olduğu özelliklerin, dağılımın eğri veya simetrik olup olmadığı, ne kadar önemli olduğunu gösterir, kısaltma yapıp yapılmayacağı sınır değerlerde izin verilmelidir.

Bazı uyarılar tabi ki mazur görülür. Zaman içeren modellerde, dağılımın zamanla değişmediğini kabul eden bir varsayım vardır. Shlyakhter, düşük olasılıklı belirsizlikler için emin olunamayan hataların hesaplanamaması gibi durumlarda eğilimimizin iyimser olması konusunda bizi uyarır. Diğer potansiyel problemler, parametreler arasındaki bağıntılarını, zaman aşımındaki bağıntı yapısını, model parametresi oluşturma problemini (aynı modelin farklı parametrelendirilmesi belirsizliğe uygun olarak bizi farklı sonuçlara götürür) ve tanımlanabilirlik eksikliğini içerir. Konunun ana noktalarının geliştirilmesinden önce bu alanda çalışmalar gerekir. Burmaster ve Anderson, (1994) Monte Carlo metodunu kullanarak belirsizliğin tam değerlendirilmesi için konunun bazı ana noktalarını verir.

Diğer bir karmaşıklık belirsizliğin modelidir. Yukarıda belirtildiği gibi parametre seçiminden belirsizlik doğar. Uygulamalarda, model bölgelerine uygun belirsizlikleri hesaba katmalıyız. Bu, insan sağlık risk değerlendirmelerinde insanlar, asit yağmuru risk değerlendirmesinde göller olabilir. Bir grup belirsizliğin birleştirilmesinde B tipi belirsizlik (parametreler) gibi referans alınır. Miktar rastgele olduğu zaman, A tipi belirsizlik ilgili son noktanın dağılımına götürür. Bir örnek uzaydaki değişikliklerin son noktası olabilir. Son olarak bir bölgedeki dağılıma sahip olabilir. Böylece belirsizlik modeli parametrelerdeki belirsizlik için mümkün olduğu kadar iyi bir model içermelidir.

2.5. Belirsizlik Analizi Hesabı

Çok fazla istatistiksel metotla birlikte belirsizliği tanımlayan yalnızca bir dağılım varsayımı veya belirsizliği modellemede kullanılan genel bir dağılım vardır. Dağılım varsayımında analizlerin büyük oranda basitleştirilmesiyle sonuçlar tek bir fonksiyonun ve olasılık fonksiyonunun bölümlerinde veya parametreler aracılığıyla anlatılabilir. Sistem modellerinin sık sık simülasyon veya Monte Carlo metodunun kullanımını içerir. Bu metotlar risk tahminlerinde veya kesinlikleri sağlamada kullanılır. Genellikle deneysel çalışmalarda sistemi etkileyen unsurların belirsizlik analizinde matematiksel yöntemler kullanılmaktadır. Sistemdeki ısı transferi, basınç kaybı, sürtünme kaybı vb. etkenlerin belirsizlikleri Nusselt sayısı, sürtünme faktörü, Reynolds sayısı gibi ölçülebilen ifadelerle dönüştürülerek analiz edilmektedir. Belirsizlik ifadeleri (Nu, f, Re) sayılarının matematiksel yöntemlerle dönüştürülmesiyle elde edilmektedir. Analiz hesaplamalarında bir diğer yöntemde küçük kareler metodudur. Bu metotta sonuçlar bir grafik üzerinde ifade edilir. Grafik çeşitli bilgi noktalarının arasından geçen en uyumlu eğriyi bulmak için kullanılır. Eğer bütün bilgi noktaları yaklaşık olarak aynı ağırlık ve belirsizlikte ise biz bu eğriyi ayarlayabiliriz. Ve ayarlanan eğri etrafında bütün bilgi noktaları toplanır. Ama bu her zaman böyle olmaz ve bazı analitik teknikler bu durum için gereklidir. Fonksiyon formu $f(x,a,b,\dots)$ şeklinde olur ve burada olasılıkta gösterilir. Fonksiyon içindeki a ve b ayarlanabilir parametrelerdir. Bu parametreler uygun eğriyi sağlamak için çeşitli değerler alabilir. Fonksiyon bir doğru ise formu $f(x)=mx+b$ şeklinde olur. Burada m ve b ayarlanabilir parametreler olur, (x_i, y_i) ise her bir bilgi noktasının koordinatlarıdır. x ve y eksenlerine göre ve bu metoda $y_i - f(x_i,a,b,\dots)$ ve bir özellik olan χ^2 (ahi-kare) aşağıdaki formüle göre hesaplanır;

$$\chi^2 = \sum_i \frac{[y_i - f(x, a, b, \dots)]^2}{\sigma_i^2}$$

Burada σ_i her bir nokta için belirsizliktir. Burada en küçük değeri bulana kadar a ve b ye değerler verilir ve en uygun değeri bulmaya çalışılır. Eğer burada N tane bilgi noktası ve n tane ayarlanabilir parametre varsa “indirgenmiş ahi-kare”

$$X_v^2 = \frac{x^2}{v} \equiv \frac{x^2}{N - n}$$

şeklinde bulunabilir.

Burada v indisi problemin serbestlik derecesini gösterir, $X_v^2 \approx 1$ yaklaşması varsa uygun iyi bir şekilde sağlanmış demektir. Bu durumda hata noktaları ve arasındaki fark ortalananmış vaziyettedir. Ama aralarındaki fark çok fazla ise belirsizlikler çok büyük bir derecede artmış denebilir. Bu metot kullanışlı ve görerek, anlayarak ilerlenen bir metottur. Deneysel çalışmalarda uygun eğriyi oluşturabilir ve her parametrenin belirsizliğini de belirtebilir.(Pengra ve Dillman, 1998)

2.6. Belirsizlik ile Sonuçların Belirlenmesi

Ölçümleri alındıktan sonra deneydeki belirsizlik sonuçları iki şekilde belirtilebilir. Biri ortalamanın standart sapması σ_M şeklinde diğeri ise yüzde olarak belirtilmesidir ve Σ ile ifade edilir. Σ ve σ terimleri arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\Sigma_x \equiv \frac{\sigma}{x}$$

Rapor içindeki belirsizlik sonuçları $x + \sigma_x$ şeklinde gösterilebilir. Mesela 9,2g kütlesindeki bir cisim ve belirsizliği 0,3g olarak bulunmuş ise gösterilme şekli;

$$m = 9,2 \pm 0,3g' \text{ dir.}$$

Σ terimi olarak gösterimi ise 0,3g 9,2g' a oranı yüzde olarak %3' e tekabül eder ve gösterimi $9,2 \pm \%3$ olur. Burada σ_x ise x ile aynı birimdedir ve Σ bu durumda birimsiz olarak ifade edilir.

2.7. Belirsizlik ile (Miktar) Özellik Karşılaştırılması

Ani fiziksel özelliklerde ölçüm yapıp iki ayrı sonucun elde edildiğini varsayalım. Her iki sonucun belirsizlikleri birbiriyle örtüşüyorsa bu sonuçların katıldığı söylenebilir. Örnekleme ile katılımı açıklarsak; bir maddenin yoğunluğu $10,00 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ olarak alınmışsa ve bir ölçüm bize $9,8 \pm 0,3 \text{ g/cm}^3$ sonucunu vermişse bunların deneysel olarak birbirine katıldığı söylenebilir. Fakat bir ölçüm değeri bize $9,81 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ sonucunu verirse biz bu durumda bir katılım olduğunu söyleyemeyiz. Katılmama durumlarında deneyci bir problem ile karşılaşmıştır. Problem ise hesaba katılmamış etken veya etkenlerdir. Burada bir kesinlik hatası kaynağı olabilir ki bu fark edilmez veya sonucu etkileyen bir sapma hatası kaynağı da olabilir. (Moffat 1988)

İki hızlı ölçümde katılımsızlığı belirlemek için belirsizlik hesaplamak yerine bu iki değer için katılımsızlığı yüzde olarak gösterilebilir. Eğer biz bu yukarıdaki yoğunluklar için 10 ile $9,8 \text{ g/cm}^3$ seçersek katılımsızlık $\left| \frac{9,8 - 10,0}{10} \right| \times 100 = \%2$ şeklinde belirtilir.

Sonuçları karşılaştırırken genel kurallar şunlardır;

a) Eğer belirsizlik varsa, özelliklerin belirsizliğini göster ve örtüşmeleri gör. Eğer örtüşürse katılım vardır eğer örtüşme yoksa katılım da yoktur ve neden kaynaklandığı açıklanmalıdır. Deneyin fiziksel şartları tartışılmalıdır ve sistematik hataların kaynaklarına gelmeye çalışılmalıdır.

b) Eğer belirsizlik ortaya çıkmıyorsa; katılımsızlığın yüzdesini hesapla, yüzde katılımsızlık yüzde $10'$ dan küçük değerdeyse, sonuç büyük ihtimalle katılımdadır. Katılımsızlık $\%10'$ dan büyük ise sonuç katılımda değildir ve niye olduğu açıklanmalıdır.

Genellikle kesinlik hatalarının kaynaklarını düzeltmek veya indirmek daha kolaydır. Yalnız bu şekilde sapma hataları ortaya çıkar.

Bu problemi çözmek için sıklıkla hataya baskın olan kaynağın hangisi olduğu sorulmalıdır. Genellikle sistematik hataları hesaplamak için belli metotlar yoktur ve bu da problemi güç algılanan bir problem yapar. Bir yöntem olarak şu ipucu kullanılabilir; ölçüler birbiriyle karşılaştırılır ve bakılır eğer kesinlik hatası kaynaklı bir belirsizlik varsa ve diğer beklenen değerlerle örtüşmüyorsa deneyin içinde sistematik hataların baskın olduğu kabul edilir.

Teorik olarak hesaplanan değerlerde sonuçların uygun hale getirilmesi için bazı basitleştirmeler de kullanılabilir. Bunlar ağırlığı ihmal veya sürtünmeyi sıfır kabul etme olarak örneklendirilebilir. Fakat sistematik hatalar genellikle bazı fiziksel şartların ihmalinden ortaya çıkar.

2.8. Belirsizlik Belirleme Basamaklarının Önemi

Belirsizlik analizi sonuçları bazı durumlarda da güçleşir. Bunlar sıralanırsa;

- a) Belirsizliğin çok genişlemesi
- b) σ (standart sapmada basamak önemi)
- c) Dijital aletlerde yapılan ölçümlerde sonucun belirsizliği (voltmetre gibi). Böyle aletlerde numara hep tekrarlar. Bu belirtilen noktalar aklımızı karıştırabilir.

Bu noktalara yardımcı olmak için bazı yollar vardır;

- a) Belirsizlik (σ)' nın en fazla iki basamağı olmalıdır, hatta yaygın olanı 1 basamaktır. Bütün belirsizlik hesaplamalarına bir değer ve σ ' nın birinci basamağı 1 ise 2 basamak kullanılabilir. Örneklesek; $\sigma_x = 0,14g$ veya $\sigma_x = 0,3g$ olabilir. Ancak $\sigma = 0,34$ iki basamaklı olduğundan kullanılamaz.
- b) Eğer sigma geniş bir değer çıkarsa, basamak anlamlarını kaybedebilir. Bir aletle ölçüm yaptığımızı varsayalım ortalama değer 9,52g olarak üç haneli bir değer çıktı ama bizim standart sapmamız 2 olarak bulundu böyle bir durumda virgülden sonraki iki hane anlamını yitirir ve belirsizlik 9 ± 2 olarak gösterilir ve rapora geçirilir. Eğer σ sayının kendinden büyükse, basamak anlamları kullanılmaz. Böyle bir durum "0" sifira yakın ölçümlerde ortaya çıkar.
- c) Eğer σ ölçümün en küçük hanesinden küçük bir ölçüm veriyorsa σ ' nın en son hanesini ölçümün en son hanesine göre 1' e eşitlenir. Örneklesek; kütle ölçüsü 9,25 gram ise 10 kere ölçerek $m = 9,52 \pm 0,01g$ olarak ifade edilir.
- d) Bilgisayar veya hesaplayıcılarda sonuçları kısaltmaya gerek yoktur. Çünkü bu sonuçlar bize belirsizliği verirler.

2.9. Belirsizliğin Türetilmesi

Bir sonucun içindeki belirsizliklerin belirlenmesi birkaç değişkene bağlıdır. Bu da belirsizliklerin türetilmesi şeklinde veya rastlantısal hata çoğalması şeklinde olur. Bir örnekle açıklarsak; masanın kalınlığını ve boyunu ölçtüğümüzü düşünelim. Buradaki amacımız masanın alanını hesaplamak bilinen formül uzunluk çarpı genişliktir. Ama sorun hangi belirsizliğin alan ile ilişkilendirileceğidir. Bu sorun neticesinde ortaya çıkan iki durum vardır.

- a) Uzunluk ve genişlik içindeki belirsizliklerin tamamen bağımsız olması
- b) Uzunluk ve genişlik içindeki belirsizliklerin tamamen bağımlı olması

Eğer belirsizlikler tamamen bağımsızsa bir çözüm açığa çıkma ihtimali oluşur. Çünkü eğer uzunluk içindeki belirsizlik, alanın çok geniş olmasına yol açıyorsa, genişliğin belirsizliği alanın çok küçük olmasına neden olabilir. Ortalama olarak, toplam alan içindeki belirsizlik, aynı olarak katılımların oluşturacağı belirsizlikten daha az olacaktır.

Diğer taraftan, tamamen bağımlı belirsizlikler ele alındığında bunlar her zaman birbiriyle bağdaştırılmalıdır. Bunların çözüm yolu ise covergans olarak belirlenmiştir. Biz burada tüm dikkatimizi bağımsız özelliklere vereceğiz. Bu hesaplamanın yapılabilmesi için hata analizi teorisi bize genel bir formül verir. Birinci sırada Taylor serisine dayanan bir genişleme vardır. σ , standart sapmaları ve σ deki ise değişkenleri belirtir. Bizim formülde belirtilecek fonksiyonumuz f ise ve bu x, y ve $z...$ ye bağlı bir fonksiyonsa $f(x,y,z,....)$ şeklinde gösterilebilir.

Bu fiziksel özelliklerin belirsizlikleri ise σ_x, σ_y ve σ_z olarak gösterilebilir. Sonuç kısmının belirsizliği ise σ_f olur. Formülde belli fonksiyonlar için belirsizlik formülleri Tablo 1.1' de verilmiştir.

$$\sigma_f^2 = \sigma_x^2 \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \sigma_y^2 \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 + \sigma_z^2 \left(\frac{\partial f}{\partial z} \right)^2 + \dots$$

Bir örnekle belirsizlik çoğaltması yapılacak olursa;

F, r' ye bağlı bir fonksiyon olsun bu formülde K fiziksel sabit olsun ve belirsizlik olmasın.

$$F = -\frac{2\pi K}{r^2}$$

Bu eşitliğin formu $f = x^m y^n$ e uyar. x yerine $2\pi K$ ve y yerine r konursa ve bu durumda $m=1$ ve $n=-2$ alınırsa belirsizlik formülünden;

$$\sum_F = \sqrt{M^2 \sum_{2\pi K}^2 + n^2 \sum_r^2} = \sqrt{1^2 \cdot 0^2 + (-2)^2 \sum_r^2} = 2 \sum_r$$

Bu durumda σ_F ' nin hesaplanması $\sigma_F = \left| F_{\sum_F} \right|$ şeklinde olur. Böyle bir sonuç bulunması durumunda her zaman sonuç pozitif değerde olmalıdır.

Bu tablo değerleri sadece matematiksel değerler vermez aynı zamanda çeşitli fiziksel değerleri de açıklar. Mesela K_x ' in açılımında sonuç $K\sigma_x$ belirsizliğini verir. Buradan anlaşılır ki orantısal olarak sabit katsayıya bağlı belirsizlikte bir artma vardır. Daha da ilginç olarak bir kareyi ele alırsak ve bunun iki bağımsız değişkenle alanın gösterildiğini varsayarsak, fonksiyon $A=x.y$ olarak belirtilir. Bu durumda ölçülerin içindeki hatalar ters olabilir ve bizi doğru sonuca götürür. Ama x ve y' yi aynı uzunluk değerlerinde kabul edersek; ölçüm hataları birbirine karşı çalışır ve yok olur. Bu durumda $A= x^2$ formülü kullanmak zorunda kalırız. Böyle bir durumda ise hatalar birbirlerini engellemez.

2.10. Bazı Durumlar İçin Fonksiyonların Belirsizlik Hesaplamaları

Çarpım fonksiyonları

$$F = x_1^{a_1} \cdot x_2^{a_2} \cdot \dots \cdot x_n^{a_n}$$

diferansiyel denkleme uygulanırsa

$$\frac{1}{R} \frac{\partial R}{\partial x_i} = \frac{a_i}{x_i}$$

Toplam fonksiyon için belirsizlik

$$R = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n = \sum a_i x_i$$

Kısmi türevler;

$$\frac{\partial R}{\partial x_i} = a_i$$

ve sonuçtaki belirsizlik

$$W_R = \left\{ \sum \left(\frac{\partial R}{\partial x_i} \right)^2 w_{x_i}^2 \right\}^{1/2}$$

$$W_R = \left[\sum (a_i w_{x_i})^2 \right]^{1/2}$$

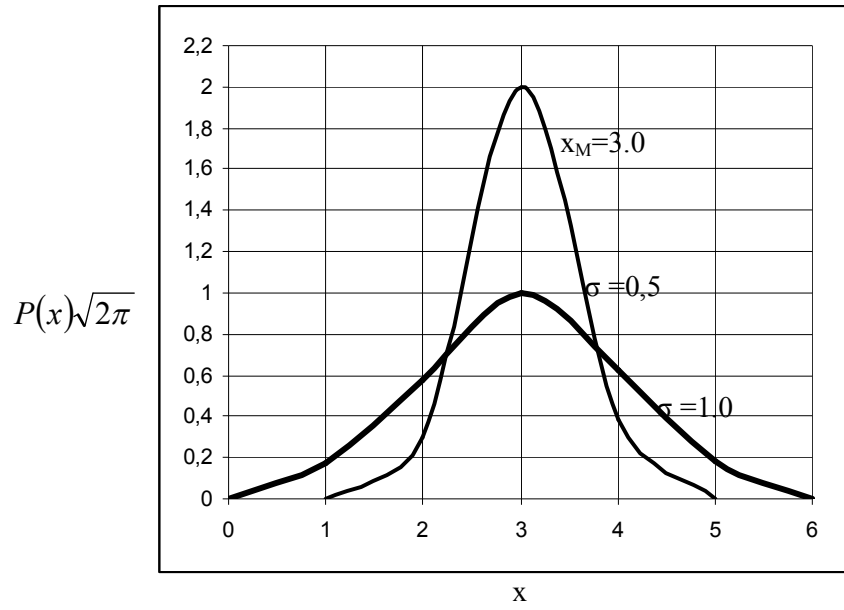
olarak bulunur.

2.10.1. Olasılık Ve Belirsizliklerde Olasılık Gösterimleri İle Gauss Ve Normal Hata Dağılım Hesaplaması

Olasılık, birçok denemeden sonra bir durumun ortaya çıkma frekansı ile ilişkili bir matematiksel büyüklüktür ve tanım genişletilebilir. Belirsizlik hesaplanırken bu belirsizliğin olasılığını da belirtmek gereklidir. Bu belirsizlik kaçta kaç olasılıkla gözlemlenmiştir ve yüzde kaç bu belirsizliği göstermiş şekilde olmalıdır. Bu durum basınç değeri için gösterilirse $p= 100\text{kPa}\pm 1\text{kPa}$ (20:1) veya okunuş itibariyle 20:1 olasılıkla $\pm 1\text{kPa}$ sınırları içindedir. Yukarıda sözü edilen tüm konularda olasılık değerleri aynı kabul edilmiştir. Bu şekilde hesaplamalar daha hızlı ve kolay şekilde yapılmıştır.

Eğer ölçüm sonuçları rastgele hataları etkiliyorsa Gauss ve Normal Hata Dağılımı elde edilebilir. Eğer bir ölçüm x ile belirtiliyorsa gauss dağılımı ölçümünün x ile $x+dx$ arasında olma olasılığını belirleyecektir. Ve bu fonksiyon şöyle verilecektir.

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-x_m)^2/2\sigma^2}$$



Bu ifadeye x_m , ölçümlerin ortalamasını ve σ , standart sapmasını gösterir. $P(x)$ bazen olasılık yoğunluğu olarak da adlandırılır. Standart sapma dağılım eğrisinin genişliğinin bir ölçüsüdür. Σ büyük bir değer ise, ölçümlerdeki tahmin edilen hata büyük, dolayısı ile de eğri yayvan olacaktır. Verilen fonksiyon, eğrinin altında kalan alan 1 olacak şekilde boyutsuzlaştırılmıştır.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} P(x) dx = 1.0$$

Burada elde edilen eğrilerin at nalı ile hedefi vurma problemindekine benzer olduğuna dikkat edilmelidir. Dar bir dağılım oyuncunun başarılı olup hedefi daha çok vurduğu anlamına gelecektir. Bu noktada bir sonraki adım deneysel ölçümlerin kesinliğini normal hata dağılımını kullanarak belirlemek olacaktır. Eğer deney kontrollü yapılmışsa yüksek sayıda ölçüm alındığında ölçümlerin normal hata dağılımını izlediği görülmüştür. Kontrollü deneyler için gauss dağılımının rastgele hataları temsil ettiği görüşü vardır.

Gauss dağılım fonksiyonuna bakılırsa maksimum olasılık $x=x_m$ için gerçekleşir.

$$P(x_m) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$$

$P(x_m)$ bir anlamda kesinlik ölçümüdür ve standart sapmanın küçük değerleri için büyük bir değere ulaşır.

Eğer bir ölçümün ortalama etrafında belirli bir aralıkta olma olasılığına bakılırsa şu eşitlik elde edilir:

$$P = \int_{x_m - x_1}^{x_m + x_1} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-x_m)^2/2\sigma^2} dx$$

Değişken dönüşümü yapılarak

$$\eta = \frac{x - x_m}{\sigma}$$

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\eta_1}^{+\eta_1} e^{-\eta^2/2} d\eta$$

eşitliğine varılır. Burada $\eta_1 = \frac{x_1}{\sigma}$ olur. Gauss dağılım fonksiyonunun değerleri

$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\eta^2/2}$ ile gauss dağılım fonksiyonunun integral değerleri bulunur.

2.10.2. Nusselt sayısı için belirsizlik

Nusselt sayısı, ölçülen değerler cinsinden sabit yüzey sıcaklığı için,

$$\text{Nu} = \frac{\rho V c_p}{k \pi L} \ln \left(\frac{T_y - T_{\text{ag}}}{T_y - T_{\text{aç}}} \right) \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Nusselt sayısı için belirsizlik ifadesi ise;

$$w_{\text{Nu}} = \left[\left(\frac{\partial \text{Nu}}{\partial \rho} w_{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial \text{Nu}}{\partial c_p} w_{c_p} \right)^2 + \left(\frac{\partial \text{Nu}}{\partial k} w_k \right)^2 + \left(\frac{\partial \text{Nu}}{\partial L} w_L \right)^2 + \left(\frac{\partial \text{Nu}}{\partial V} w_v \right)^2 + \left(\frac{\partial \text{Nu}}{\partial T_{\text{ag}}} w_{T_{\text{ag}}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \text{Nu}}{\partial T_{\text{aç}}} w_{T_{\text{aç}}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \text{Nu}}{\partial T_y} w_{T_y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

şeklinde belirlenebilir. (2) eşitliğindeki türev ifadeleri (1) bağıntısı yardımıyla bulunarak yerine yazılır ve elde edilen (1) bağıntısına bölünürse Nusselt sayısı için toplam belirsizlik;

$$\frac{w_{\text{Nu}}}{\text{Nu}} = \left[\left(\frac{w_{\rho}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{w_{c_p}}{c_p} \right)^2 + \left(\frac{w_k}{k} \right)^2 + \left(\frac{w_L}{L} \right)^2 + \left[\frac{w_{T_{\text{ag}}}}{(T_y - T_{\text{ag}}) \ln \left(\frac{T_y - T_{\text{ag}}}{T_y - T_{\text{aç}}} \right)} \right]^2 + \left[\frac{w_{T_{\text{aç}}}}{(T_y - T_{\text{aç}}) \ln \left(\frac{T_y - T_{\text{ag}}}{T_y - T_{\text{aç}}} \right)} \right]^2 + \left[\frac{(T_{\text{aç}} - T_{\text{ag}}) w_{T_y}}{(T_y - T_{\text{aç}})(T_y - T_{\text{ag}}) \ln \left(\frac{T_y - T_{\text{ag}}}{T_y - T_{\text{aç}}} \right)} \right]^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

bağıntısına dönüşür.

2.10.3. Sürtünme faktörü için belirsizlik

Sürtünme faktörü, ölçülen değerler cinsinden;

$$f = \frac{\Delta P D^5 \pi^2}{8 \rho L V^2}$$

(4)

bağıntısı ile hesaplanabilir. Sürtünme faktörü için belirsizlik ifadesi ise;

$$w_f = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial \rho} w_\rho \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial D} w_D \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial L} w_L \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial V} w_v \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \Delta P} w_{\Delta P} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

şeklinde belirlenebilir. (5) eşitliğindeki türev ifadeleri (4) bağıntısından bulunarak yerine yazılırsa ve elde edilen ifade (5) eşitliğine bölünürse sürtünme faktörü için toplam belirsizlik;

$$\frac{w_f}{f} = \left[\left(\frac{w_\rho}{\rho} \right)^2 + 25 \left(\frac{w_D}{D} \right)^2 + \left(\frac{w_L}{L} \right)^2 + 4 \left(\frac{w_v}{V} \right) + \left(\frac{w_{\Delta P}}{\Delta P} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

bağıntısına dönüşür.

2.10.4. Reynolds sayısı için belirsizlik

Reynolds sayısı, ölçülen değerler cinsinden;

$$\text{Re} = \frac{4V}{\pi v D} \quad (7)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir. Belirsizlik ifadesi ise;

$$w_{\text{Re}} = \left[\left(\frac{\partial \text{Re}}{\partial v} w_v \right)^2 + \left(\frac{\partial \text{Re}}{\partial D} w_D \right)^2 + \left(\frac{\partial \text{Re}}{\partial V} w_V \right)^2 \right]^{1/2} \quad (8)$$

şeklinde belirlenebilir. (8) eşitliğindeki türev ifadeleri (7) bağıntısından bulunarak yerine yazılırsa ve elde edilen ifade (7) bağıntısına bölünürse Reynolds sayısı için toplam belirsizlik;

$$\frac{w_{\text{Re}}}{\text{Re}} = \left[\left(\frac{w_v}{v} \right)^2 + \left(\frac{w_D}{D} \right)^2 + \left(\frac{w_V}{V} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

bağıntısına dönüşür.

Ölçülen değerlerin belirsizliklerinin belirlenmesi:

Yukarıdaki (3), (6) ve (9) bağıntılarıyla verilen belirsizlik ifadelerinde ölçülen değerler olarak ifade edilen her bir bağımsız değişken için belirsizliklerin belirlenmesi gerekmektedir. Sözü edilen belirsizlikler için çeşitli kaynaklarda benzer ölçümlerdeki belirsizliklerin esas alınması yanında, yukarıda da belirtildiği gibi ölçü aletlerinin üretici firmaları tarafından önerilen belirsizlik değerleri de dikkate alınmıştır. Bunun yanında belirlenmesi zor veya mümkün olmayan hatalar, deneysel tecrübelerden tahmini olarak belirlenmiştir (Asan ve Namlı, 1997). Bütün

bunların göz önüne alınması ile her bir bağımsız değişken için ortaya çıkabilecek belirsizlik değerleri şu şekilde belirlenebilir:

1. Sıcaklık ölçümünde ortaya çıkabilecek hatalar:

- (a1) Termoeleman çiftlerinden kaynaklanan belirsizlik; $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C} \equiv \pm\% 0.5$.
- (b1) Referans sıcaklıkların (buz banyosundan) kaynaklanan belirsizlik; $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C} \equiv \pm\% 1$.
- (c1) Dijital multimetreden kaynaklanan belirsizlik; $\pm 0.3 \equiv \pm\% 0.3$.
- (d1) Bağlantı elemanları ve noktalarından kaynaklanan belirsizlik; $0.1 \text{ }^\circ\text{C} \equiv \pm\% 0.1$.
- (e1) Giriş sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek belirsizlik; $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C} \equiv \pm\% 0.5$.
- (f1) Çıkış sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek belirsizlik; $\pm 2-3 \text{ }^\circ\text{C} \equiv \pm\% 2-3$.
- (g1) Yüzey sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek belirsizlik; $0.5-1 \text{ }^\circ\text{C} \equiv \pm\% 0.5-1$.

Bu hata değerlerinden (e1), (f1) ve (g1) belirsizlikleri, ayrı ayrı olmak üzere (a1), (b1), (c1) ve (d1) belirsizliklerinden de etkilenmektedir. Buna göre giriş sıcaklığının ölçülmesinde ortaya çıkabilecek toplam belirsizlik;

$$w_{T_{ag}} = \left[(a1)^2 + (b1)^2 + (c1)^2 + (d1)^2 + (e1)^2 \right]^{1/2} \quad (10)$$

şeklinde bulunabilir. Çıkış sıcaklığında ortaya çıkabilecek toplam belirsizlik;

$$w_{T_{ac}} = \left[(a1)^2 + (b1)^2 + (c1)^2 + (d1)^2 + (f1)^2 \right]^{1/2} \quad (11)$$

şeklinde bulunabilir. Yüzey sıcaklığının ölçülmesinde ortaya çıkabilecek toplam belirsizlik ise;

$$w_{T_y} = \left[(a1)^2 + (b1)^2 + (c1)^2 + (d1)^2 + (g1)^2 \right] \quad (12)$$

şeklinde bulunabilir.

2. Basınç kaybı ölçümlerinde ortaya çıkabilecek belirsizlikler:

(a2) Manometrenin okunmasında ortaya çıkabilecek belirsizlik; $\pm\%2-3$.

(b2) Sistem kaçaklarıyla ilgili belirsizlik; $\pm\%0.5-1$.

(c2) Sıcaklık farklarından kaynaklanan belirsizlik; $\pm 0.5-1$.

Bu belirsizlikler, basınç kaybının ölçülmesinde ortaya çıkabilecek toplam belirsizlik olarak;

$$w_{\Delta P} = [(a2)^2 + (b2)^2 + (c2)^2]^{1/2} \text{ şeklinde belirlenebilir.}$$

3. Debi ölçümlerinde ortaya çıkabilecek belirsizlikler:

(a3) Rotametre okuma belirsizliği; $\pm\%1-1.5$.

(b3) Sistem kaçaklarıyla ilgili belirsizlik; $\pm\%2-3$.

(c3) Sıcaklık farklılıklarından kaynaklanan (yoğunluk farkından) belirsizliği; $\pm\%0.5-1$.

Bu belirsizliklerden de debi ölçümünde ortaya çıkabilecek toplam belirsizlik;

$$w_v = [(a3)^2 + (b3)^2 + (c3)^2]^{1/2} \text{ şeklinde belirlenebilir.}$$

4. Diğer belirsizlikler:

(a4) Boru çapında eksen boyunca meydana gelebilecek farklılıklardan kaynaklanan belirsizlik; $w_L = \pm 0.05 - 0.1 \text{ mm} \equiv \pm\%1$.

(b4) Boru boyundaki farklılıklardan kaynaklanan belirsizlik; $w_L = \pm 10 \text{ mm} \equiv \pm\%1.5$.

(c4) Fiziksel özelliklerin tablo değerlerinin okunmasında ortaya çıkabilecek belirsizlik; $w_p = w_k = w_{c_p} = w_v = \pm\% 0.1 - 0.2$.

(10), (11), (12), (13) ve (14) eşitliklerinden elde edilen belirsizlik değerleri ile (a4), (b4) ve (c4) belirsizliklerinin, ilgili (3), (6) ve (9) eşitliklerinde yerlerine

yazılması ile Nusselt sayısı, sürtünme faktörü ve Reynolds sayısı için belirsizlikler belirlenmiş olur.

3. ANALİZ VE SONUÇ

Bir deneysel çalışmada ölçülmesi gereken büyüklük R ve bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişken (x_1, x_2, \dots, x_n) var ise her bir bağımsız değişkene ait belirsizlik değerleri w_1, w_2, \dots, w_n olmak üzere ölçülen büyüklüğün toplam belirsizliği Kline ve McClintock, (1953) metodu Holman, (1994) tarafından

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2}$$

denklemleri ile verilmiştir.

Bu çalışmada, örnek bir uygulama olarak, Kahveci ve Cihan, (2008) tarafından farklı gıda maddeleri için verilen difüzyon katsayılarının toplam belirsizliği Kline ve McClintock, (1953) metodunun Holman (1964) tarafından verilen denklemleri ile belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada elma, kayısı, muz, biftek, taneli siyah çay, havuç, kereviz, chelwa balığı, kestane (Longal), kestane (Martainha), kestane (Viyana), hindistan cevizli kek, üzüm, portakal kabuğu ve pasta (irmik) nin efektif difüzyon katsayılarının toplam belirsizliği, efektif difüzyon katsayısının farklı bağımsız değişkenleri için hesaplanmış ve grafikler ile gösterilmiştir.

a) Elmanın efektif difüzyon toplam katsayısının belirsizliği

Metot ve Geometri	Eğimli silindir
Kurutma Koşulları	Sıcak hava, 0.06 – 8.5, $T=40 - 70$ °C (313K-343K), $v=3$ m/s $d=0.7$ cm, $L=10d$, Ön işlem=su banyosu

Elmanın efektif difüzyon katsayısı D_{eff} (m^2/s),

$$D_{\text{eff}} = 1.65 \times 10^{-6} \exp\left(-\frac{19.34}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

olup, \hat{R} ideal gaz sabiti ve T_{ab} mutlak sıcaklıktır. Efektif difüzyon katsayısının kısmi türevleri,

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} = 31.911 \times 10^{-6} \left(\frac{1}{\hat{R}^2 T_{\text{ab}}}\right) \exp\left(-\frac{19.34}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

ve

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} = 31.911 \times 10^{-6} \left(\frac{1}{\hat{R}T_{\text{ab}}^2}\right) \exp\left(-\frac{19.34}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

dir. Küçük kareler yöntemi kullanılarak, elmanın difüzyon katsayısının toplam belirsizliği, $w_{\hat{R}}$ ideal gaz sabitinin belirsizliği ve $w_{T_{\text{ab}}}$ mutlak sıcaklık ölçüm belirsizliği olmak üzere,

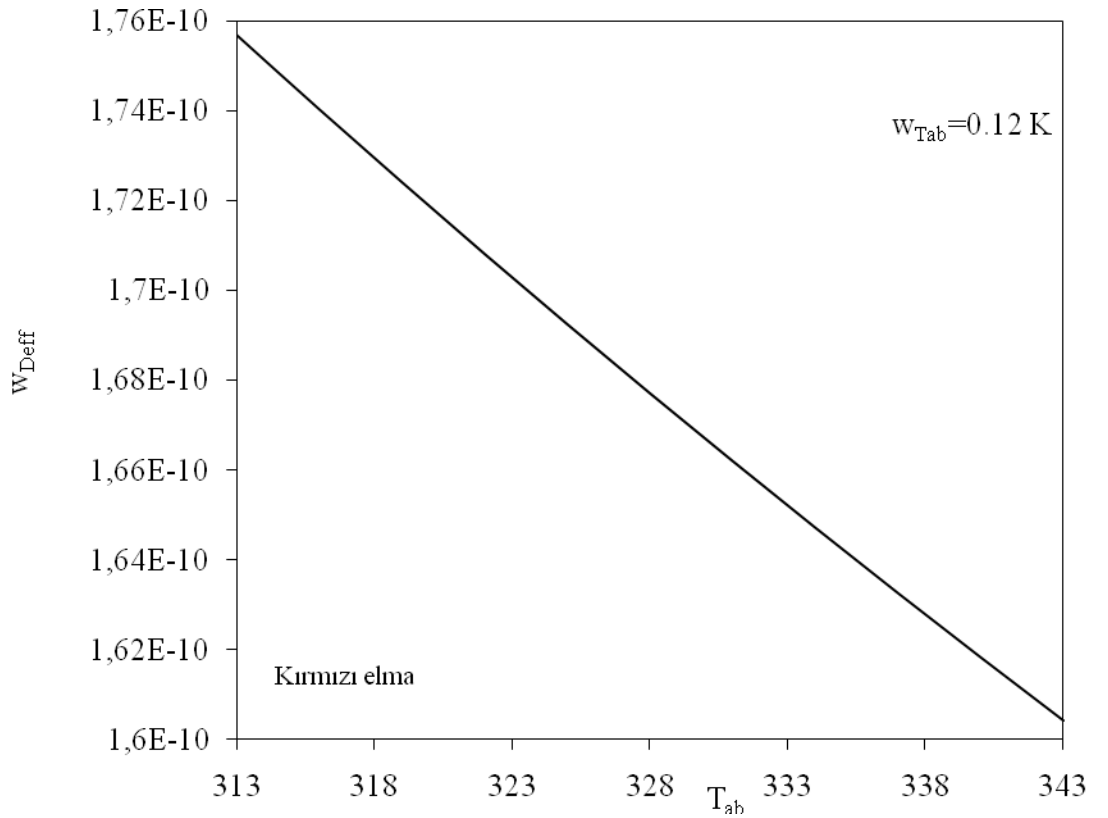
$$w_{D_{\text{eff}}} = \left[\left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} \right)^2 w_{\hat{R}}^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} \right)^2 w_{T_{\text{ab}}}^2 \right]^{1/2}$$

denklemini ile farklı mutlak sıcaklık ve farklı mutlak sıcaklık ölçüm belirsizlikleri için hesaplanmıştır.

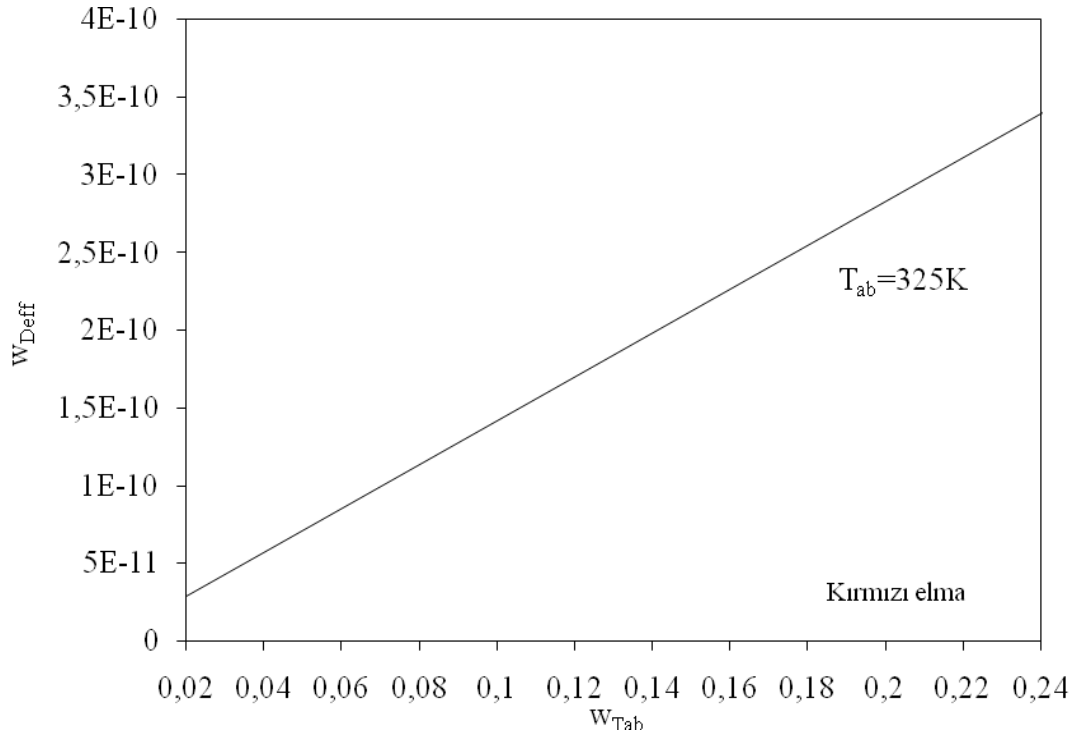
İdeal gaz sabiti $\hat{R}=8.314 \text{ j/molK}$ nin sabit bir sayı olması nedeniyle bütün hesaplamalarda $w_{\hat{R}} = 0$ alınmıştır.

Elmanın (kırmızı, lezzetli) efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliğinin mutlak sıcaklık ile değişimi Şekil 3.1 de görüleceği gibi doğrusal olup, mutlak sıcaklık arttıkça efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliği azalmaktadır.

Şekil 3.2' de mutlak sıcaklık ölçüm belirsizliğinin, toplam belirsizlik ile değişimi gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Mutlak sıcaklık ile toplam belirsizliğin değişimi.



Şekil 3.2: Mutlak sıcaklık ölçüm belirsizliği ile, toplam belirsizliğin değişimi.

b) Kayısının efektif difüzyon toplam katsayısının belirsizliği

Metot ve Geometri	Eğimli levha
Kurutma Koşulları	Sıcak hava, $m_w=0.160-0.78$, $T=50-80^\circ\text{C}$ (323-353)K, $v=0.2-1.5$ m/s

Kayınsının efektif difüzyon denklemi,

$$D_{\text{eff}} = 1.14 \times 10^{-7} + 2.25 \times 10^{-9} T + 1.47 \times 10^{-7} v$$

olup, T sıcaklık ve v hızdır. Efektif difüzyon katsayısının kısmi türevleri aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T} = 2.25 \times 10^{-9}$$

ve

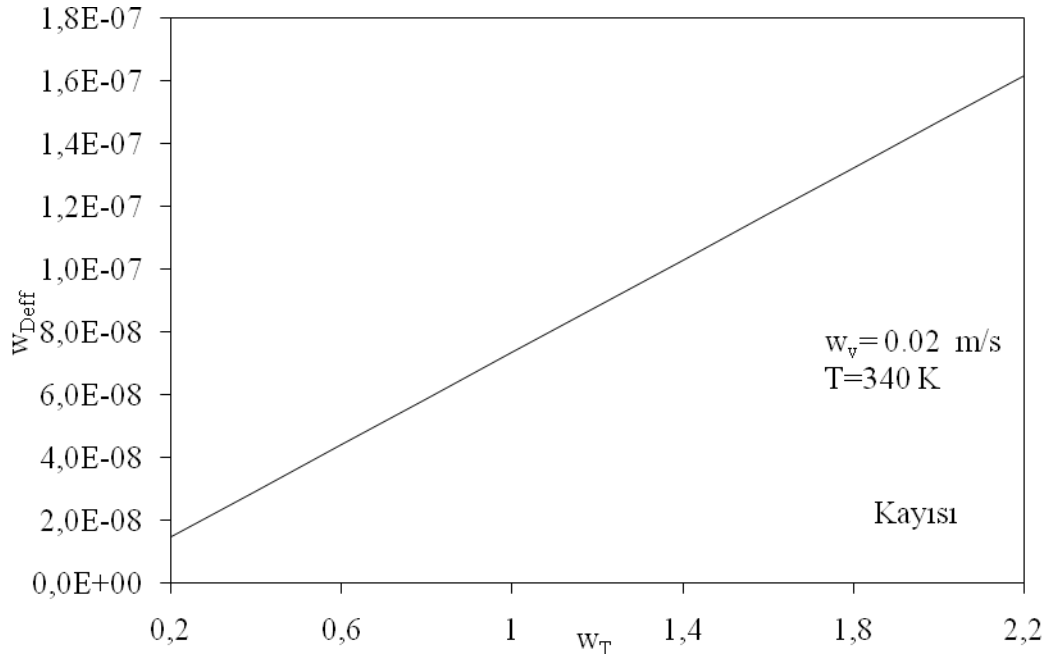
$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial v} = 1.47 \times 10^{-7}$$

Kayıssının efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliği

$$w_{D_{\text{eff}}} = \left[\left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T} \right)^2 w_T^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial v} \right)^2 w_v^2 \right]^{1/2}$$

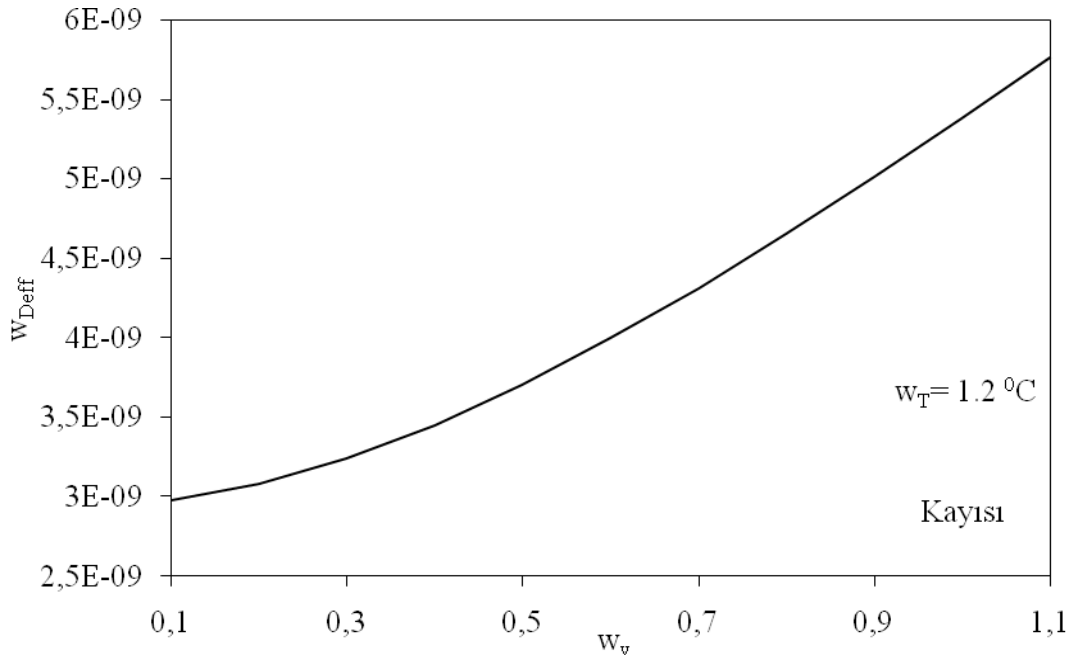
denklemleri ile hesaplanmış olup, w_T sıcaklık ölçüm belirsizliği ve w_v hız ölçüm belirsizliğidir.

Kayıssının efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliğinin, sıcaklık ölçüm belirsizliği, hız ölçüm belirsizliği ve sıcaklık ile değişimi farklı şartlar için sırasıyla Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5’te gösterilmiştir.

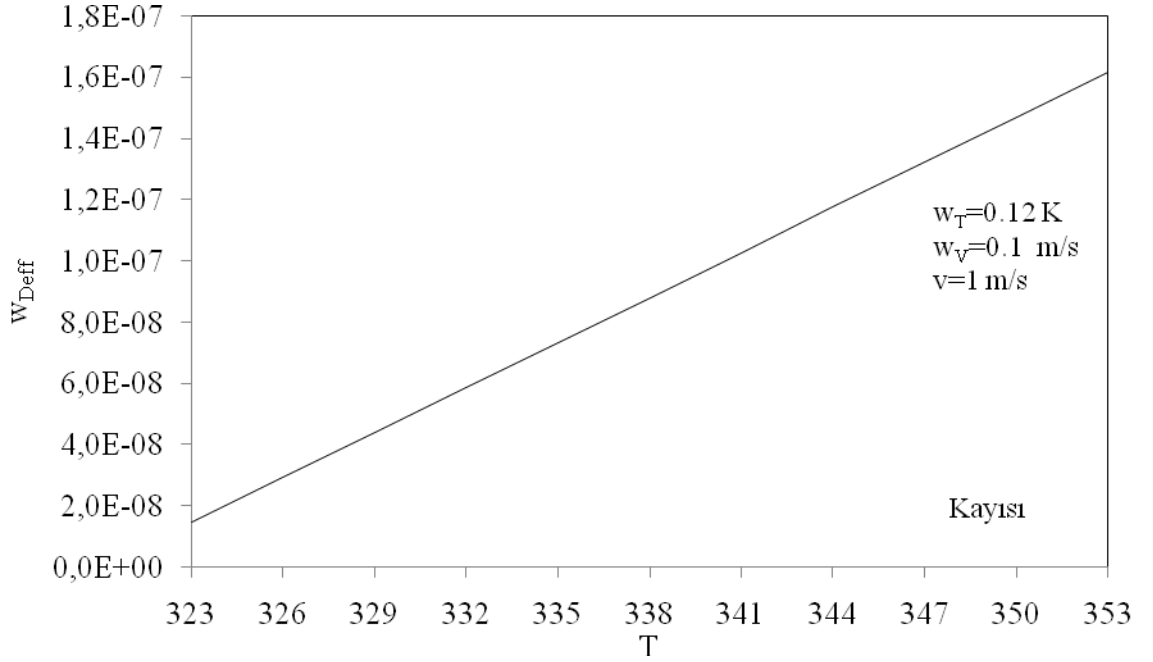


Şe

kil 3.3: Sıcaklık ölçüm belirsizliği ile toplam belirsizliğin değişimi.



Şekil 3.4: Hız ölçüm belirsizliği ile toplam belirsizliğin değişimi.



Şekil 3.5: Sıcaklık ile toplam belirsizliğin değişimi.

c) Muzun efektif difüzyon toplam katsayısının belirsizliği

Metot ve Geometri	Dönen silindir
Kurutma Koşulları	Sıcak hava (tünel), $m=0.2 - 3.8$, $T=60 - 80^\circ\text{C}$ (333K - 353K), $v=1.3$ m/s

Muzun efektif difüzyon katsayısı,

$$D_{eff} = 1.36 \times 10^{-7} \exp\left(-\frac{13.4}{\hat{R}T_{ab}}\right)$$

şeklindedir.

Muzun efektif difüzyon katsayısının kısmi türevleri,

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} = 18.224 \times 10^{-7} \left(\frac{1}{\hat{R}^2 T_{\text{ab}}} \right) \exp\left(-\frac{13.4}{\hat{R} T_{\text{ab}}}\right)$$

ve

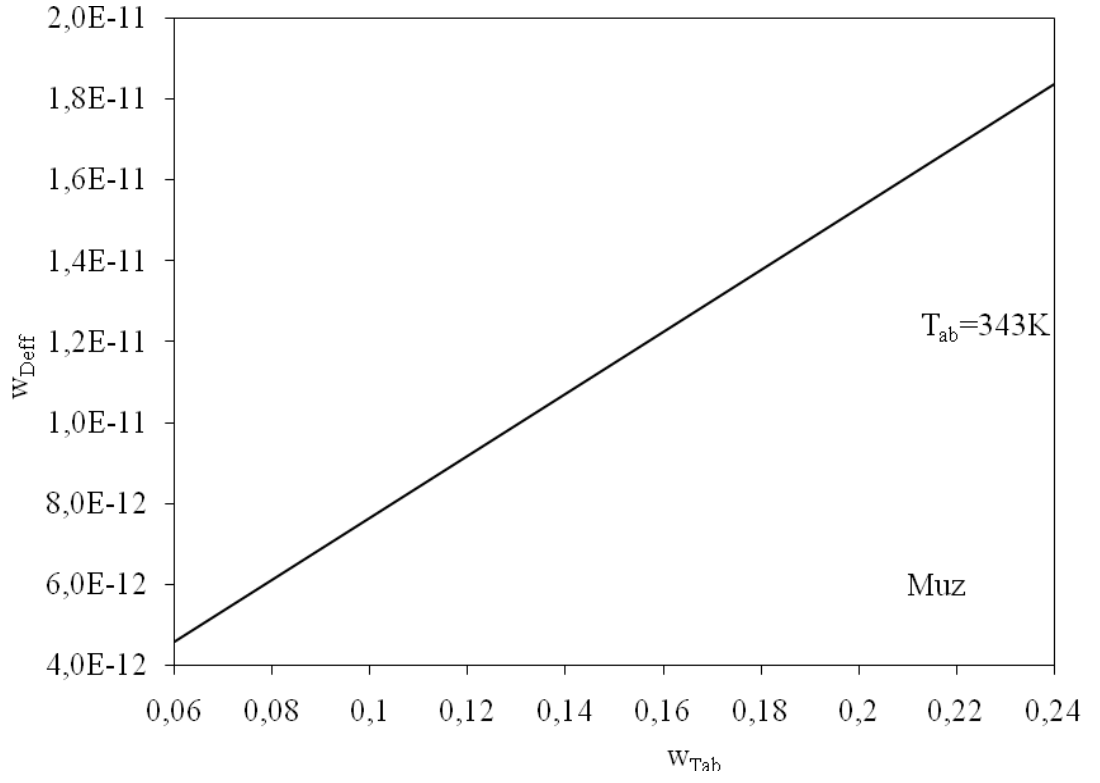
$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} = 18.224 \times 10^{-7} \left(\frac{1}{\hat{R} T_{\text{ab}}^2} \right) \exp\left(-\frac{13.4}{\hat{R} T_{\text{ab}}}\right)$$

dir.

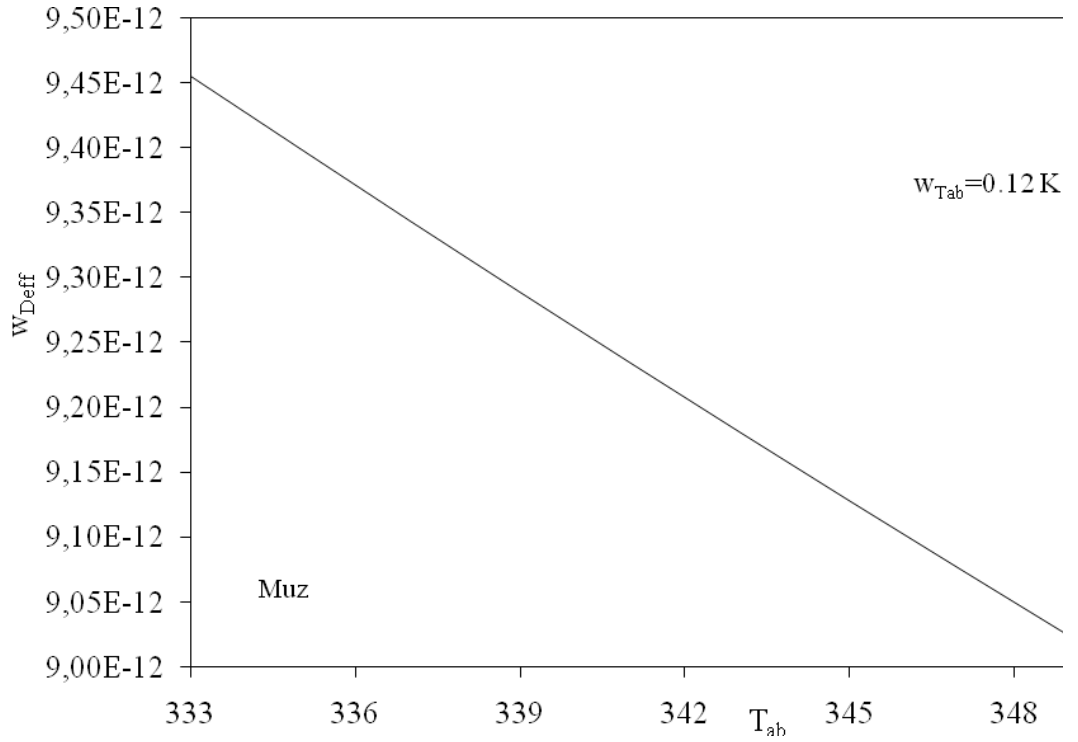
Muzun efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliği aşağıdaki gibidir.

$$w_{D_{\text{eff}}} = \left[\left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} \right)^2 w_{\hat{R}}^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} \right)^2 w_{T_{\text{ab}}}^2 \right]^{1/2}$$

Muzun efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliğinin, mutlak sıcaklık ölçüm belirsizliği ve mutlak sıcaklık ile değişimi Şekil 3.6 ve Şekil 3.7' de gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Mutlak sıcaklık ölçüm belirsizliği ile toplam belirsizliğin değişimi.



Şekil 3.7: Mutlak sıcaklık ile toplam belirsizliğin değişimi.

Metot ve Geometri	Eğimli silindir
Kurutma Koşulları	Sıcak hava, m=0.1-2.8, T=6.6-40°C (279.6K-333.4K), d=38 mm h=10 mm

d) Bifteğin efektif difüzyon toplam katsayısının belirsizliği

Bifteğin efektif difüzyon katsayısı,

$$D_{\text{eff}} = 5.09 \times 10^{-6} \exp\left(\frac{24.643}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

denklemleri ile verilmiştir.

Bifteğin efektif difüzyon katsayısının kısmi türevleri

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} = -125.43287 \times 10^{-6} \left(\frac{1}{\hat{R}^2 T_{\text{ab}}}\right) \exp\left(\frac{24.643}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

ve

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} = -125.43287 \times 10^{-6} \left(\frac{1}{\hat{R}T_{\text{ab}}^2}\right) \exp\left(\frac{24.643}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

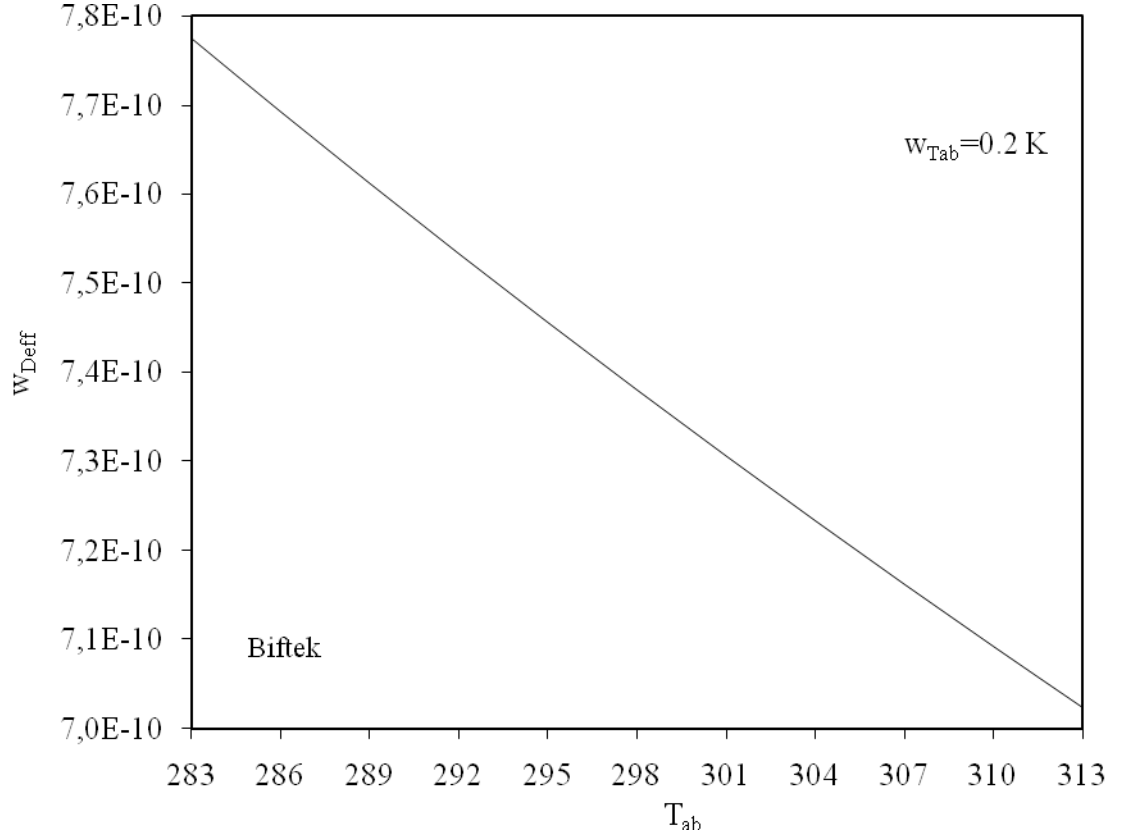
şeklindedir.

Bifteğin efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliği

$$w_{D_{\text{eff}}} = \left[\left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} \right)^2 w_{\hat{R}}^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} \right)^2 w_{T_{\text{ab}}}^2 \right]^{1/2}$$

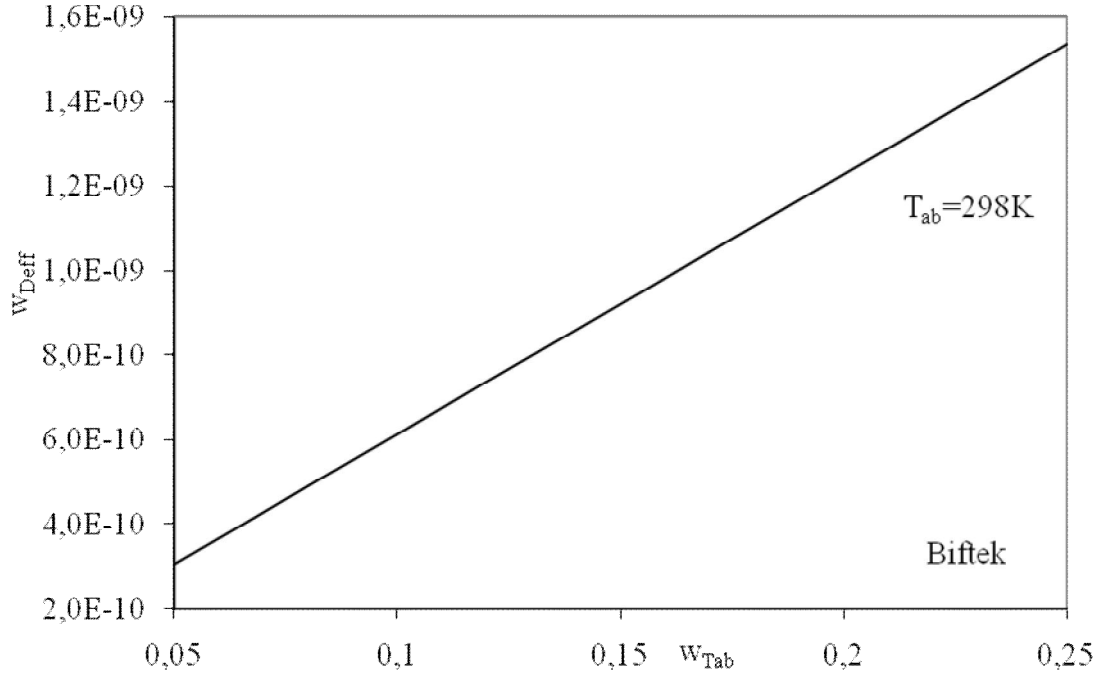
denklemleri ile hesaplanmıştır.

Bifteğin efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliğinin mutlak sıcaklık ve mutlak sıcaklık ölçüm belirsizliği ile değişimi Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 da gösterilmiştir.



Şekil 3.8: Mutlak sıcaklık ile toplam belirsizliğin değişimi.

Metot ve Geometri	Eğimli silindir
Kurutma Koşulları	Sıcak hava, T=40-70°C (313K-343.4K), v=0.25-0.65 m/s



Şekil 3.9: Mutlak sıcaklık ölçüm belirsizliği ile toplam belirsizliğin değişimi.

e) Taneli siyah çayın efektif difüzyon toplam katsayısının belirsizliği

Taneli siyah çayın efektif difüzyon katsayısı aşağıda verilmiştir.

$$D_{\text{eff}} = 1.68 \times 10^{-7} \exp\left(-\frac{406.02}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

Taneli siyah çayın efektif difüzyon katsayısının kısmi türevleri

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} = 682.1136 \times 10^{-7} \left(\frac{1}{\hat{R}^2 T_{\text{ab}}} \right) \exp\left(-\frac{406.02}{\hat{R} T_{\text{ab}}}\right)$$

ve

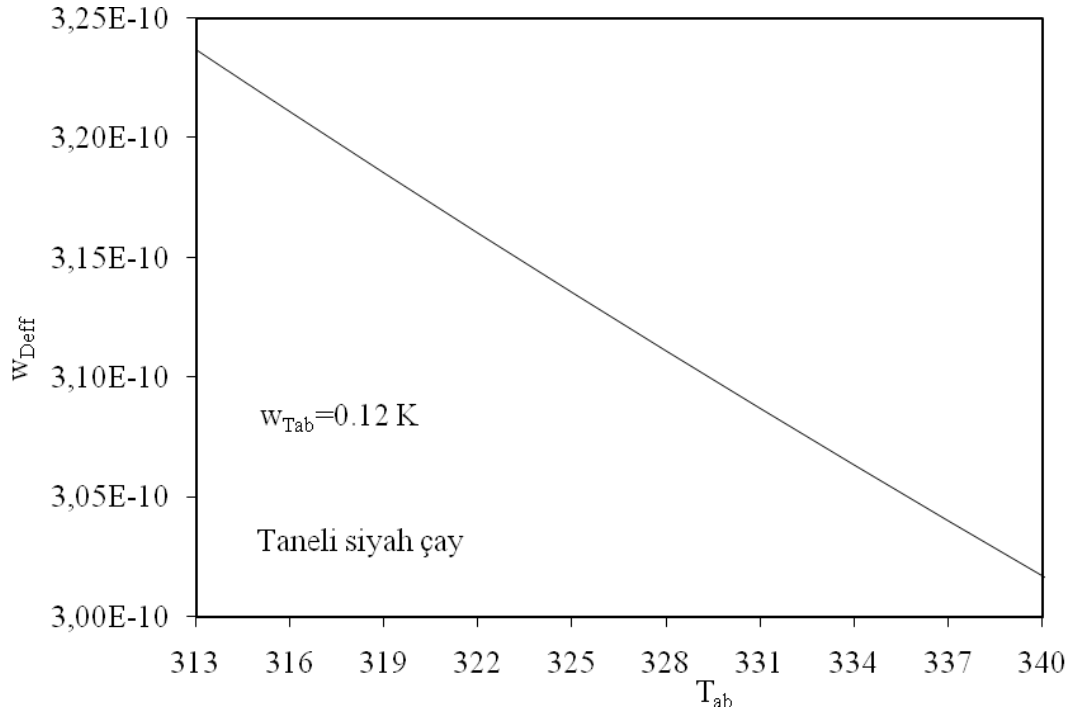
$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} = 682.1136 \times 10^{-7} \left(\frac{1}{\hat{R} T_{\text{ab}}^2} \right) \exp\left(-\frac{406.02}{\hat{R} T_{\text{ab}}}\right)$$

dir.

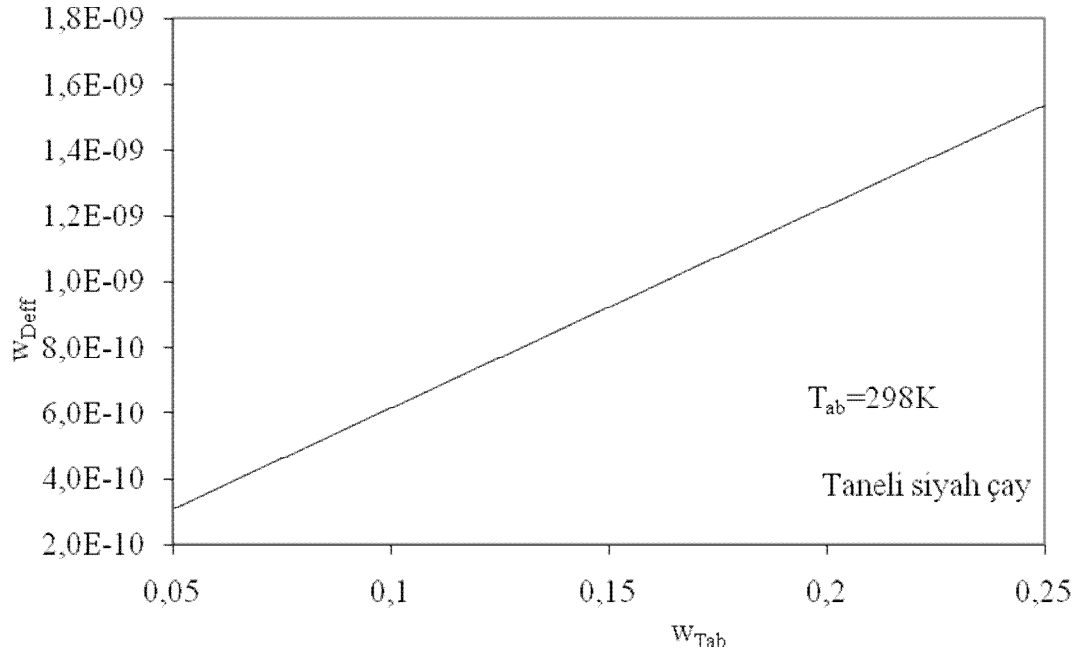
Taneli siyah çayın efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliği

$$w_{D_{\text{eff}}} = \left[\left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} \right)^2 w_{\hat{R}}^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} \right)^2 w_{T_{\text{ab}}}^2 \right]^{1/2}$$

denklemleri ile hesaplanmış ve sıcaklık ölçüm belirsizliği ve mutlak sıcaklık ile değişimi Şekil 3.10 ve Şekil 3.11 de gösterilmiştir.



Şekil 3.10: Mutlak sıcaklık ile toplam belirsizliğin değişimi.



Şekil 3.11: Mutlak sıcaklık ölçüm belirsizliği ile toplam belirsizliğin değişimi.

f) Havucun efektif difüzyon toplam katsayısının belirsizliği

Metot ve Geometri	Eğimli silindir
Kurutma Koşulları	Sıcak hava, $m=0.2-14$, $T=55-75^{\circ}\text{C}$, $v=1.6$ m/s, Boyutu= $1 \times 1 \times 1$

Havucun efektif difüzyon katsayısı

$$D_{\text{eff}} = 3.0 \times 10^{-6} \exp\left(-\frac{22.1426}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

olarak verilmiştir.

Havucun efektif difüzyon katsayısının kısmi türevleri

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} = 66.4278 \times 10^{-6} \left(\frac{1}{\hat{R}^2 T_{\text{ab}}}\right) \exp\left(-\frac{22.1426}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

ve

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} = 66.4278 \times 10^{-6} \left(\frac{1}{\hat{R}T_{\text{ab}}^2}\right) \exp\left(-\frac{22.1426}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

olarak hesaplanmıştır.

Havucun efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliği

$$w_{D_{\text{eff}}} = \left[\left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} \right)^2 w_{\hat{R}}^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} \right)^2 w_{T_{\text{ab}}}^2 \right]^{1/2}$$

denklemleri ile hesaplanmıştır.

Farklı ön işlemler durumunda havucun efektif difüzyon katsayısı farklı olup aşağıda verilmiş ve toplam belirsizliği hesaplanmıştır.

Ön işlem: NaCl

Efektif difüzyon denklemi:

$$D_{\text{eff}} = 4.0 \times 10^{-8} \exp\left(-\frac{10.0017}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

Efektif difüzyon katsayısının kısmi türevleri:

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} = 40.017 \times 10^{-8} \left(\frac{1}{\hat{R}^2 T_{\text{ab}}}\right) \exp\left(-\frac{10.0017}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} = 40.0017 \times 10^{-8} \left(\frac{1}{\hat{R}T_{\text{ab}}^2}\right) \exp\left(-\frac{10.0017}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

Efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliği:

$$w_{D_{\text{eff}}} = \left[\left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} \right)^2 w_{\hat{R}}^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} \right)^2 w_{T_{\text{ab}}}^2 \right]^{1/2}$$

Ön işlem: Sakkoroz

Efektif difüzyon katsayısı:

$$D_{\text{eff}} = 2.0 \times 10^{-7} \exp\left(-\frac{14.8729}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

Efektif difüzyon katsayısının kısmi türevleri:

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} = 28.8729 \times 10^{-7} \left(\frac{1}{\hat{R}^2 T_{\text{ab}}}\right) \exp\left(-\frac{14.8729}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} = 28.8729 \times 10^{-7} \left(\frac{1}{\hat{R}T_{\text{ab}}^2}\right) \exp\left(-\frac{14.8729}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

Efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliği:

$$w_{D_{\text{eff}}} = \left[\left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} \right)^2 w_{\hat{R}}^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} \right)^2 w_{T_{\text{ab}}}^2 \right]^{1/2}$$

Ön işlem: Sakkoroz+sodyum klorür

Efektif difüzyon katsayısı:

$$D_{\text{eff}} = 3.0 \times 10^{-7} \exp\left(-\frac{16.2130}{\hat{R} T_{\text{ab}}}\right)$$

Efektif difüzyon katsayısının kısmi türevleri:

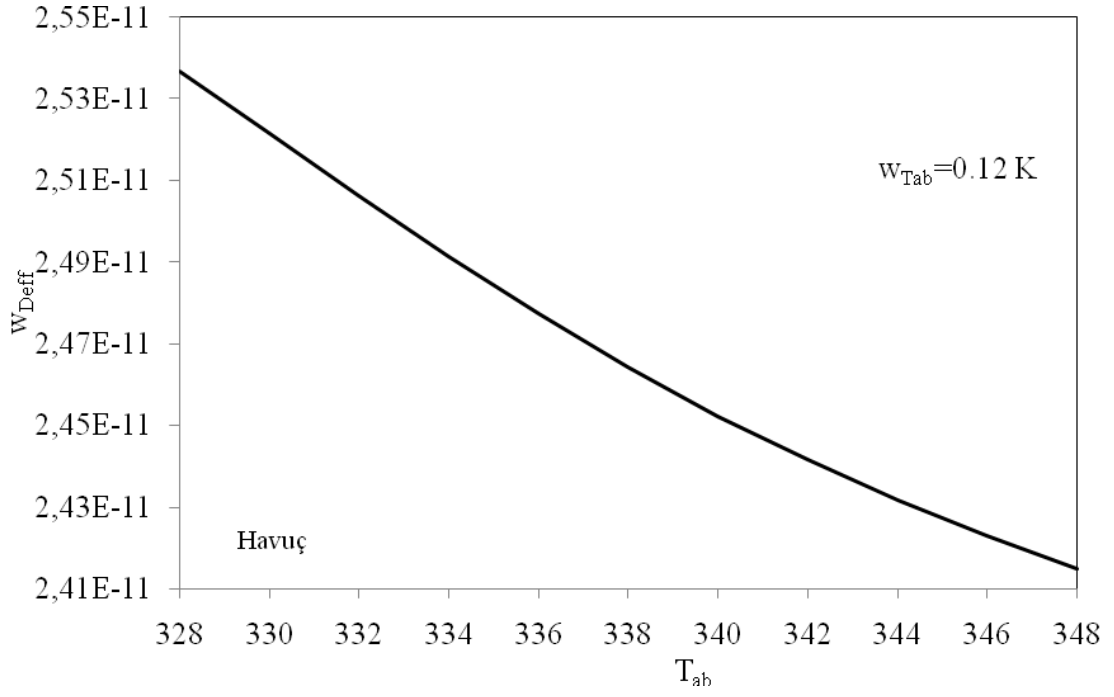
$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} = 48.2130 \times 10^{-7} \left(\frac{1}{\hat{R}^2 T_{\text{ab}}} \right) \exp\left(-\frac{16.2130}{\hat{R} T_{\text{ab}}}\right)$$

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} = 48.2130 \times 10^{-7} \left(\frac{1}{\hat{R} T_{\text{ab}}^2} \right) \exp\left(-\frac{16.2130}{\hat{R} T_{\text{ab}}}\right)$$

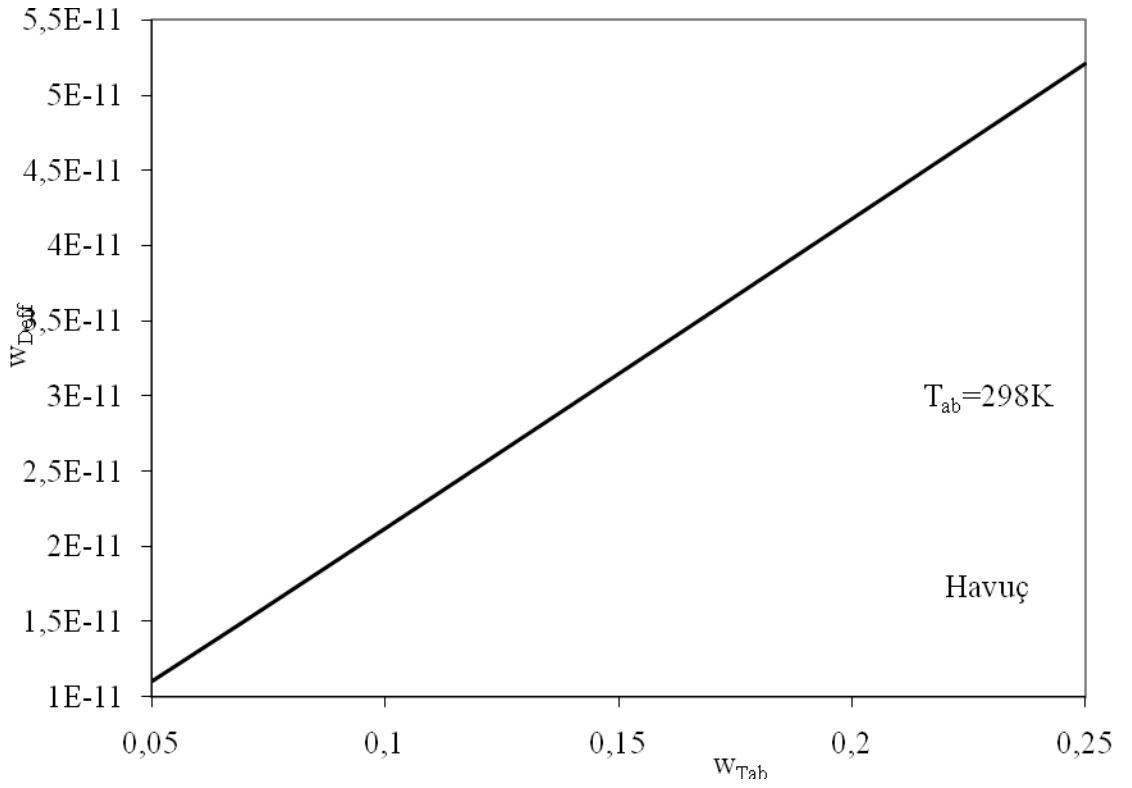
Efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliği:

$$w_{D_{\text{eff}}} = \left[\left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} \right)^2 w_{\hat{R}}^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} \right)^2 w_{T_{\text{ab}}}^2 \right]^{1/2}$$

Havucun efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliğinin mutlak sıcaklık ve mutlak sıcaklık ölçüm belirsizliği ile değişimi Şekil 3.12 ve Şekil 3.13 de gösterilmiştir.



Şekil 3.12: Mutlak sıcaklık ile toplam belirsizliğin değişimi.



Şekil 3.13: Mutlak sıcaklık ölçüm belirsizliği ile toplam belirsizliğin değişimi.

g) Kerevizin efektif difüzyon toplam katsayısının belirsizliği

Metot ve Geometri	Ters M
Kurutma Koşulları	m=0.09-9.82, T=49.1°C (322.1K), $\rho_c=461-1428\text{kg/m}^3$, L=3-10 mm

Kerevizin efektif difüzyon katsayısı,

$$D_{\text{eff}} = 7.980 \times 10^{-4} \exp\left(0.130m - \frac{3217.3}{T_{\text{ab}}} + \frac{1323.7}{\rho_c}\right)$$

denklemleri ile verilmiştir. Burada m kuru baza göre nem içeriği olup birimi kg nem/kg kuru kütle' dir.

Kerevizin efektif difüzyon katsayısının kısmi türevleri:

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial m} = 1.0374 \times 10^{-4} \exp\left(0.130m - \frac{3217.3}{T_{\text{ab}}} + \frac{1327.7}{\rho_c}\right)$$

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} = 2574.054 \times 10^{-4} \left(\frac{1}{T_{\text{ab}}^2}\right) \exp\left(0.130m - \frac{3217.3}{T_{\text{ab}}} + \frac{1327.7}{\rho_c}\right)$$

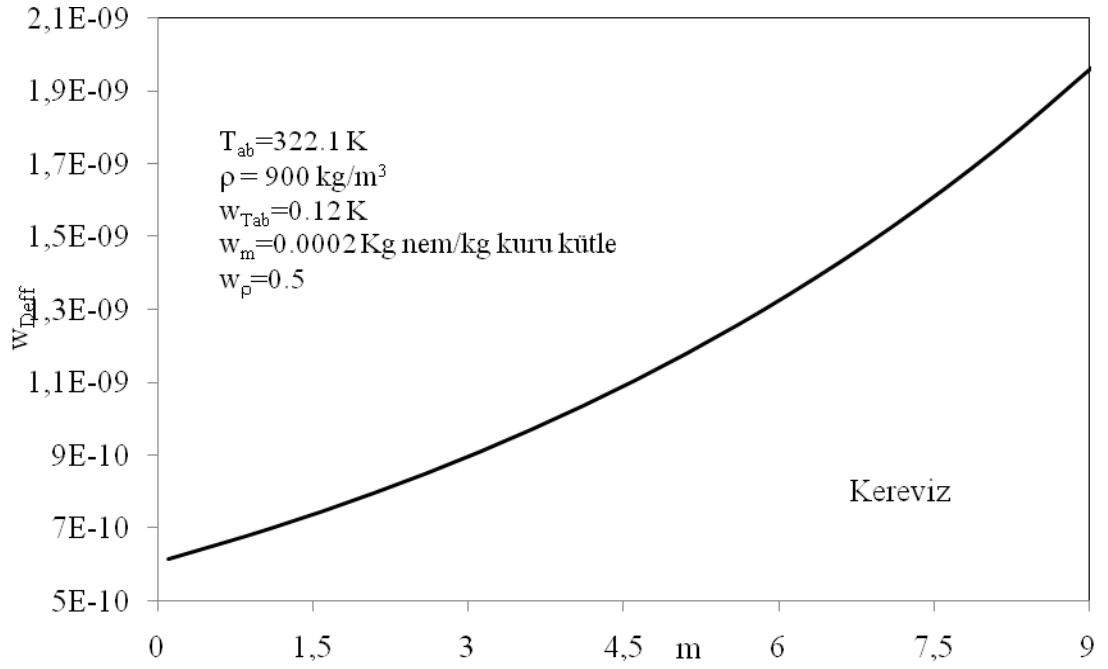
$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \rho_c} = 10563.126 \times 10^{-4} \left(-\frac{1}{\rho_c^2}\right) \exp\left(0.130m - \frac{3217.3}{T_{\text{ab}}} + \frac{1327.7}{\rho_c}\right)$$

Kerevizin efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliği

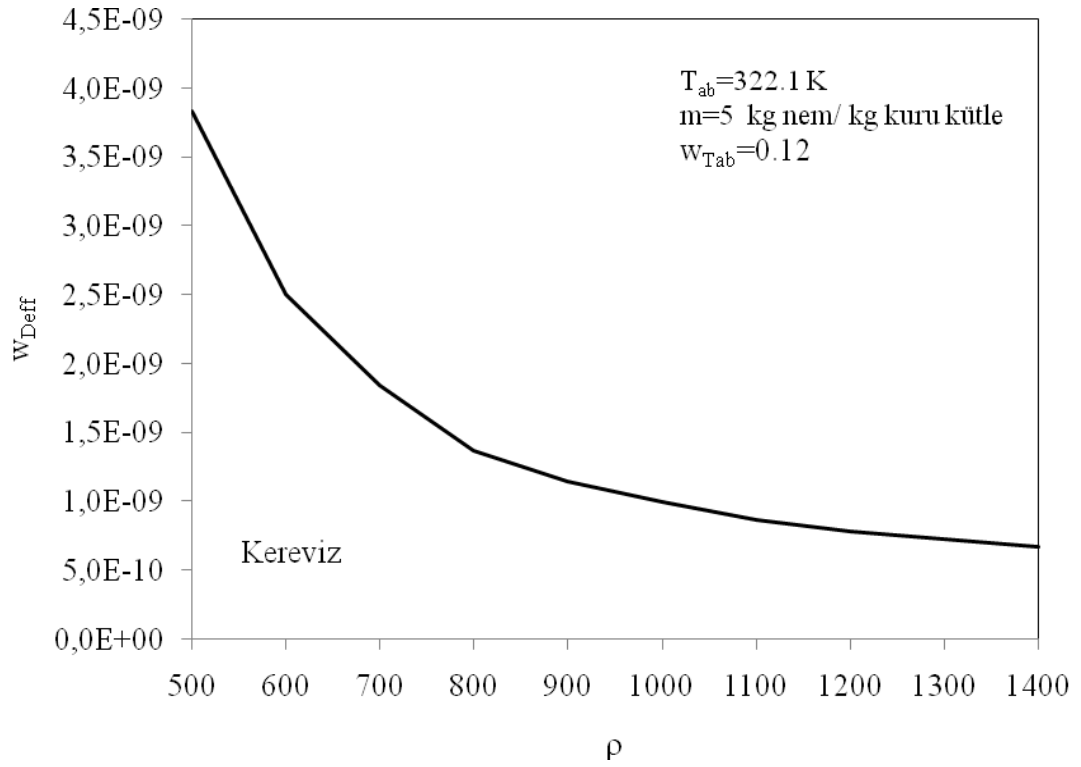
$$w_{D_{\text{eff}}} = \left[\left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial m} \right)^2 w_m^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} \right)^2 w_{T_{\text{ab}}}^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \rho_c} \right)^2 w_{\rho_c}^2 \right]^{1/2}$$

denklemleri ile hesaplanmış olup w_m kuru baza göre nem içeriğinin ölçüm belirsizliği ve w_{ρ_c} kerevizin yoğunluğunun belirsizliğidir.

Kerevizin toplam belirsizliğinin, kuru baza göre nem içeriği ve yoğunlukla değişimi sırasıyla Şekil 3.14 ve Şekil 3.15' de gösterilmiştir.



Şekil 3.14: Kuru baza göre nem içeriği ile toplam belirsizliğin değişimi.



Şekil 3.15: Yoğunluk ile toplam belirsizliğin değişimi.

h) Balığın efektif difüzyon toplam katsayısının belirsizliği

Metot ve Geometri	Eğimli silindir
Kurutma Koşulları	Açık güneş, $m=0.1 - 2.5$, $T_e=32.5 - 42.5$ °C, $\phi_e=0.15-0.32$, $q_s=460-820$ W/m ²

Balığın difüzyon katsayısı,

$$D_{\text{eff}} = 17.57 \times 10^{-11} \exp(-1.591 m_m)$$

denklemleri ile verilmiş olup m_m birim saat için ortalama nem içeriğidir ve birimi kg su/kg kuru kütle' dir.

Chelwanın difüzyon katsayısının türevi:

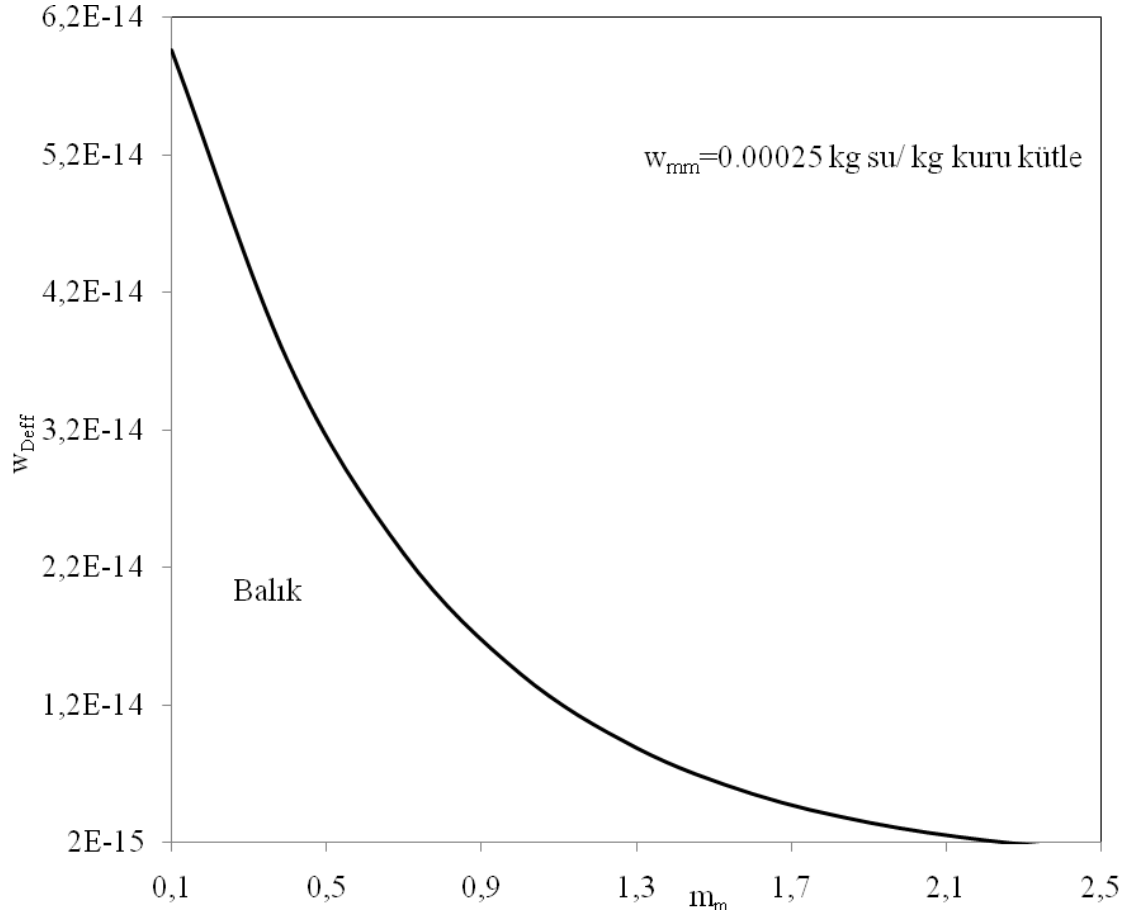
$$\frac{dD_{\text{eff}}}{dm_m} = -27.95387 \times 10^{-11} \exp(-1.591 m_m)$$

ve Chelwanın difüzyon katsayısının toplam belirsizliği

$$w_{D_{\text{eff}}} = \left[\left(\frac{dD_{\text{eff}}}{dm_m} \right)^2 w_{m_m}^2 \right]^{1/2}$$

denklemleri ile hesaplanmıştır. Burada w_{m_m} birim saat için ortalama nem içeriğinin ölçüm belirsizliğidir.

Balığın difüzyon katsayısının toplam belirsizliğinin birim saat için ortalama nem içeriği ile değişimi Şekil 3.16 da gösterilmiştir.



Şekil 3.16: Birim saat için ortalama nem içeriği ile toplam belirsizliğin değişimi.

i) Kestanenin efektif difüzyon toplam katsayısının belirsizliği

Longal çeşidi için;

Kestanenin difüzyon katsayısı

Metot ve Geometri	Eğimli küre
Kurutma Koşulları	Sıcak hava, $m=0.04-0.5$, $T=70-90^{\circ}\text{C}$ (343K-363K)

$$D_{\text{eff}} = 1.2152 \times 10^{-5} \exp\left(-\frac{22.578}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

şeklinde olup kısmi türevleri

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} = 27.436786 \times 10^{-5} \left(\frac{1}{\hat{R}^2 T_{\text{ab}}}\right) \exp\left(-\frac{22.578}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

ve

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} = 27.43678 \times 10^{-5} \left(\frac{1}{\hat{R}T_{\text{ab}}^2}\right) \exp\left(-\frac{22.578}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

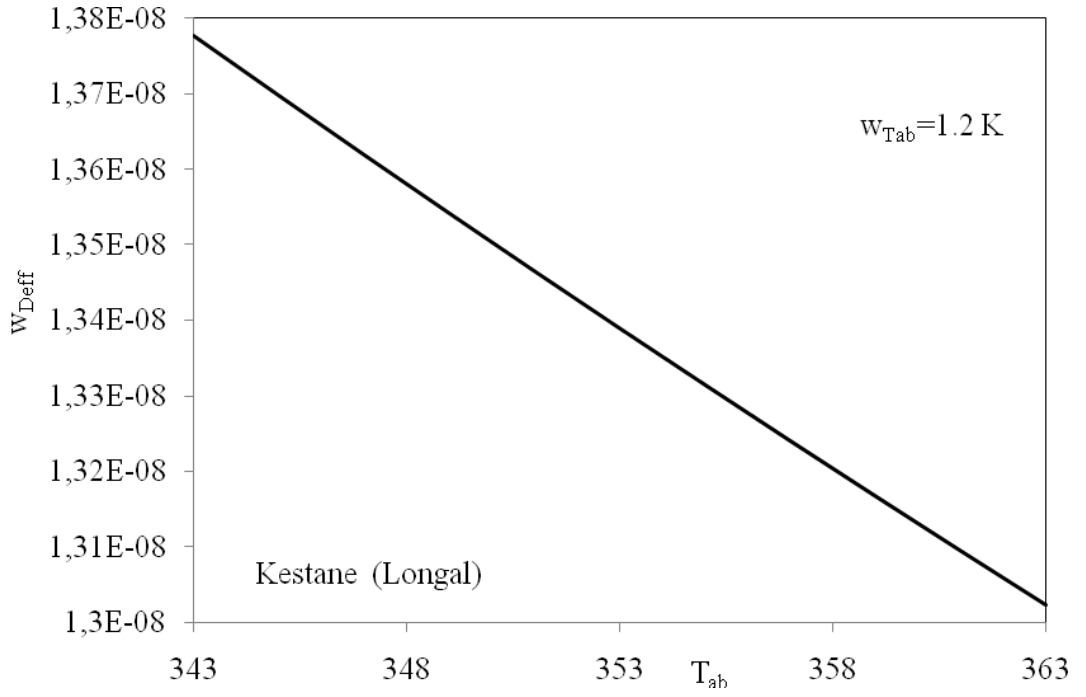
şeklindedir.

Kestanenin efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliği

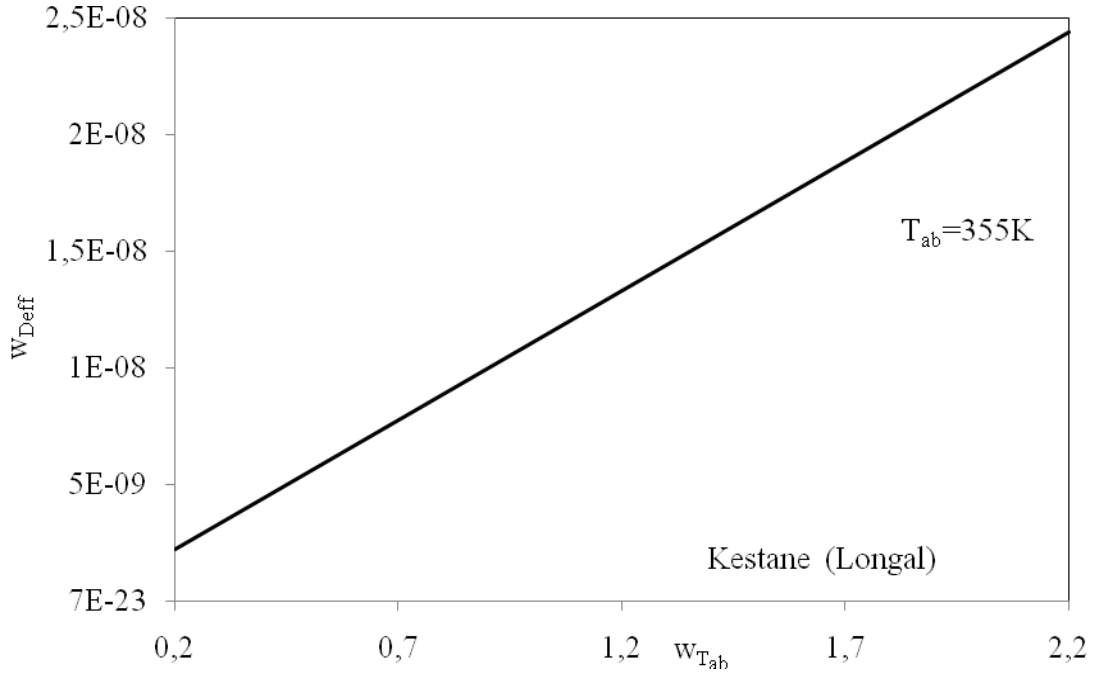
$$w_{D_{\text{eff}}} = \left[\left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} \right)^2 w_{\hat{R}}^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} \right)^2 w_{T_{\text{ab}}}^2 \right]^{1/2}$$

denklemleri ile hesaplanmıştır.

Kestanenin efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliğinin mutlak sıcaklık ve mutlak sıcaklık ölçüm belirsizliği ile değişimi Şekil 3.17 ve Şekil 3.18 de gösterilmiştir.



Şekil 3.17: Mutlak sıcaklık ile toplam belirsizliğin değişimi.



Şekil 3.18: Mutlak sıcaklık ölçüm belirsizliğinin toplam belirsizlik ile değişimi.

Martainha çeşidi için;

Kestanenin efektif difüzyon katsayısı

$$D_{\text{eff}} = 9.8684 \times 10^{-6} \exp\left(-\frac{21.926}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

denklemleri ile verilmiştir.

Kestanenin efektif difüzyon katsayısının kısmi türevleri:

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} = 216.37454 \times 10^{-6} \left(\frac{1}{\hat{R}^2 T_{\text{ab}}}\right) \exp\left(-\frac{21.926}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

ve

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} = 216.37454 \times 10^{-6} \left(\frac{1}{\hat{R}T_{\text{ab}}^2}\right) \exp\left(-\frac{21.926}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

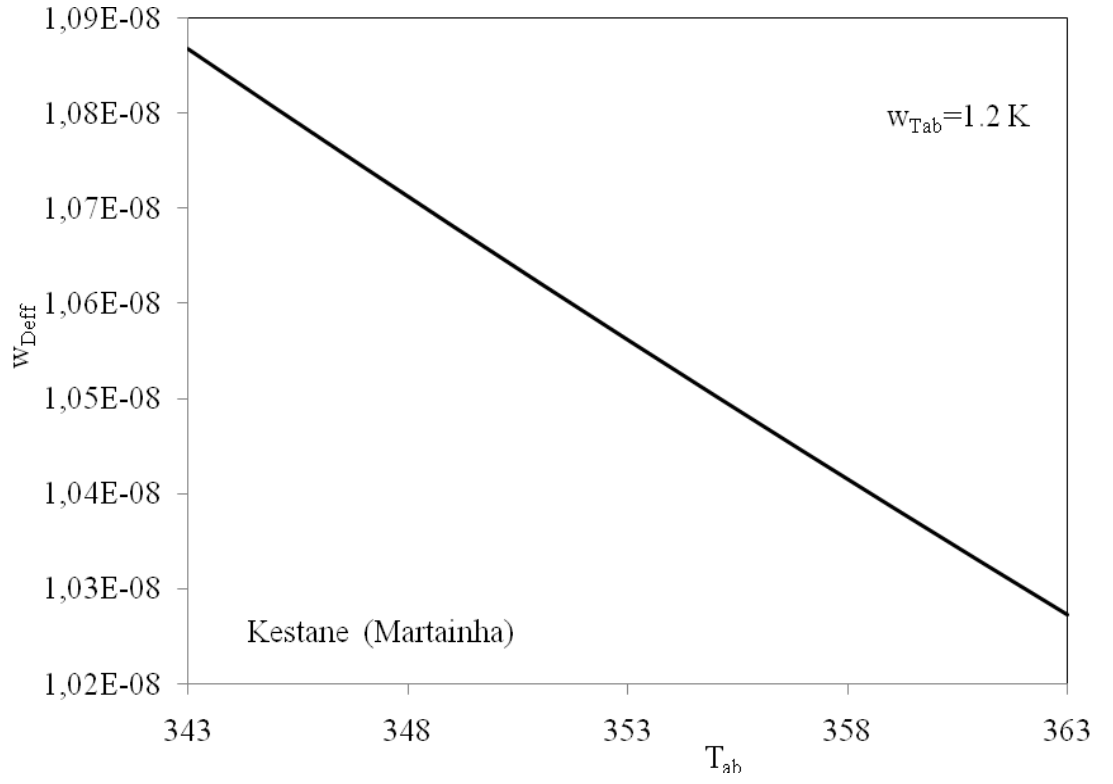
olarak hesaplanmıştır.

Kestanenin efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliği

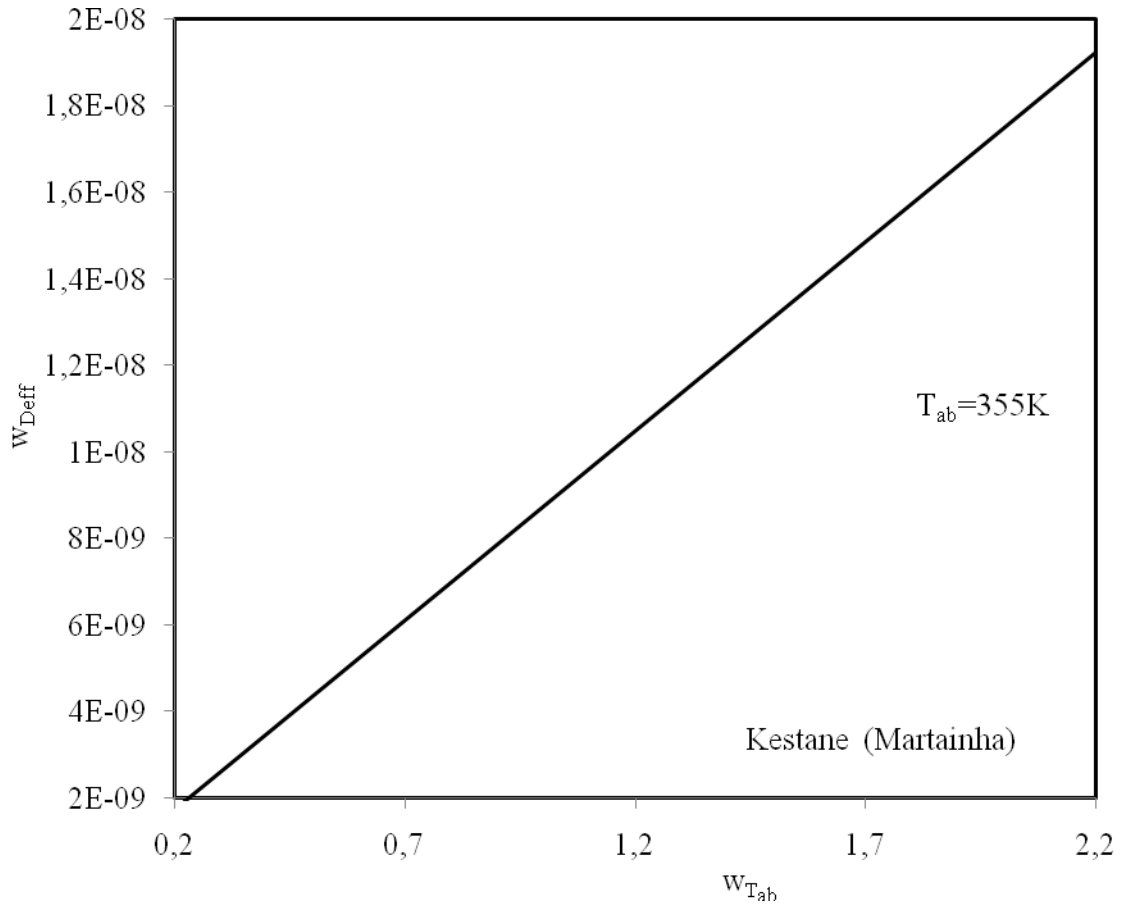
$$w_{D_{\text{eff}}} = \left[\left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} \right)^2 w_{\hat{R}}^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} \right)^2 w_{T_{\text{ab}}}^2 \right]^{1/2}$$

denklemleri ile hesaplanmıştır.

Kestanenin efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliğinin mutlak sıcaklık ve mutlak sıcaklık ölçüm belirsizliği ile değişimi Şekil 3.19 ve Şekil 3.20 de gösterilmiştir.



Şekil 3.19: Mutlak sıcaklık ile toplam belirsizliğin değişimi.



Şekil 3.20: Mutlak sıcaklık ölçümü belirsizliği ile toplam belirsizliğin değişimi.

Viyana çeşidi

Kestanenin efektif difüzyon katsayısı

$$D_{\text{eff}} = 6.6979 \times 10^{-6} \exp\left(-\frac{20.458}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

denklemleri ile verilmiştir.

Kestanenin efektif difüzyon katsayısının kısmi türevleri:

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} = 137.02564 \times 10^{-6} \left(\frac{1}{\hat{R}^2 T_{\text{ab}}}\right) \exp\left(-\frac{20.458}{\hat{R}T_{\text{ab}}}\right)$$

ve

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} = 137.02564 \times 10^{-6} \left(\frac{1}{\hat{R} T_{\text{ab}}^2} \right) \exp\left(-\frac{20.458}{\hat{R} T_{\text{ab}}}\right)$$

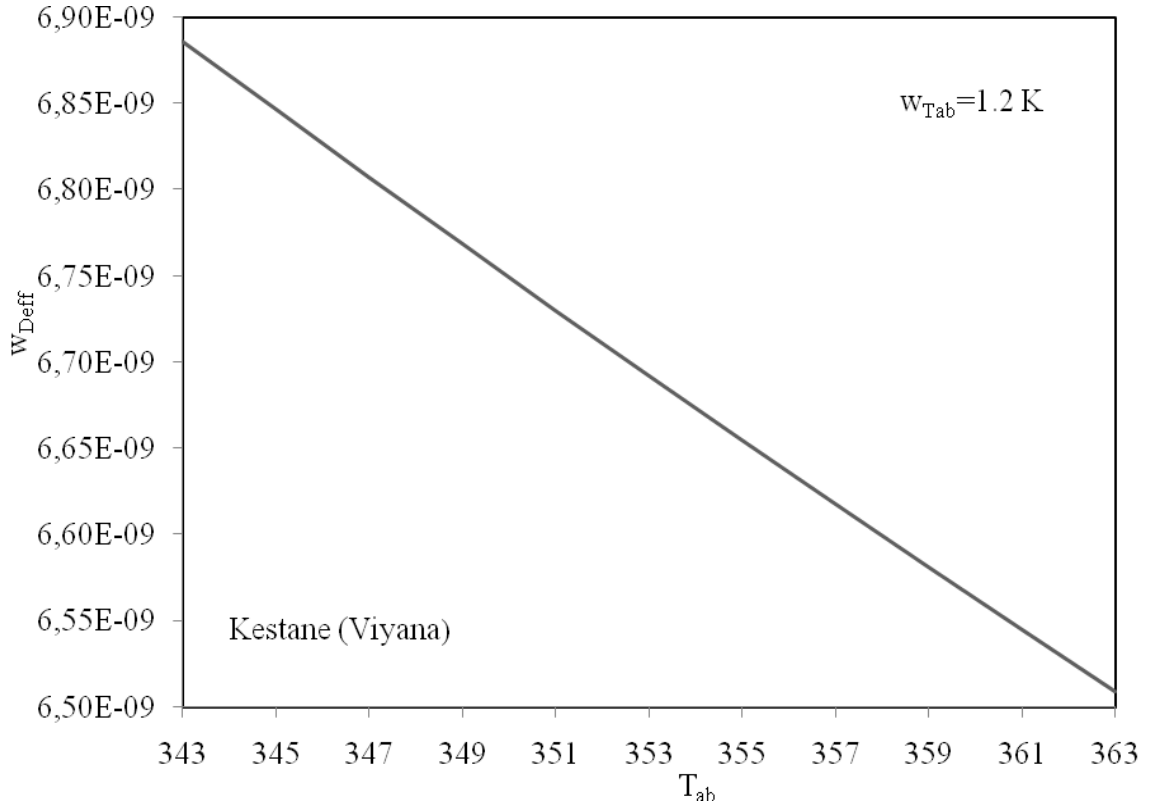
olarak hesaplanmıştır.

Kestanenin efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliği

$$w_{D_{\text{eff}}} = \left[\left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} \right)^2 w_{\hat{R}}^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} \right)^2 w_{T_{\text{ab}}}^2 \right]^{1/2}$$

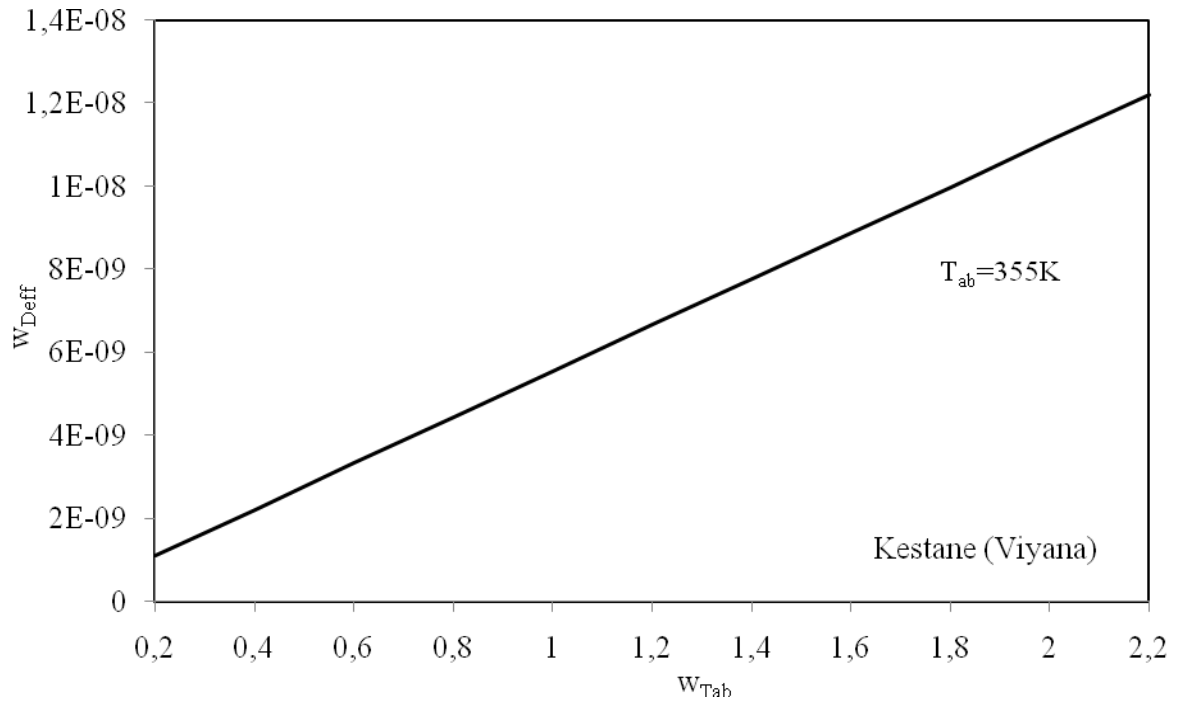
denklemini ile hesaplanmıştır.

Kestanenin efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliğinin mutlak sıcaklık ve mutlak sıcaklık ölçüm belirsizliği ile değişimi Şekil 3.21 ve Şekil 3.22 de gösterilmiştir.



Şekil 3.21: Mutlak sıcaklık ile toplam belirsizliğin değişimi.

Metot ve Geometri	Eğimli silindir
Kurutma Koşulları	vakum, m=0.02-1.038, P= 65mmHg, T=65 - 75°C (338K-348K), L=2-4 mm



Şekil 3.22: Mutlak sıcaklık ölçümü belirsizliği ile toplam belirsizliğin değişimi.

j) Hindistan cevizli kekin efektif difüzyon toplam katsayısının belirsizliği

Hindistan cevizli kekin efektif difüzyon katsayısı

$$D_{\text{eff}} = 0.3753 \times 10^{-8} \exp\left(549.8L - \frac{171.9}{T}\right)$$

olarak verilmiş olup L kalınlık ve T sıcaklıktır.

Hindistan cevizli kekin efektif difüzyon katsayısının kısmi türevleri:

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial L} = 206.33994 \times 10^{-8} \exp\left(549.8L - \frac{171.9}{T}\right)$$

ve

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T} = 27.43678 \times 10^{-5} \left(\frac{1}{T^2}\right) \exp\left(549.8L - \frac{171.9}{T}\right)$$

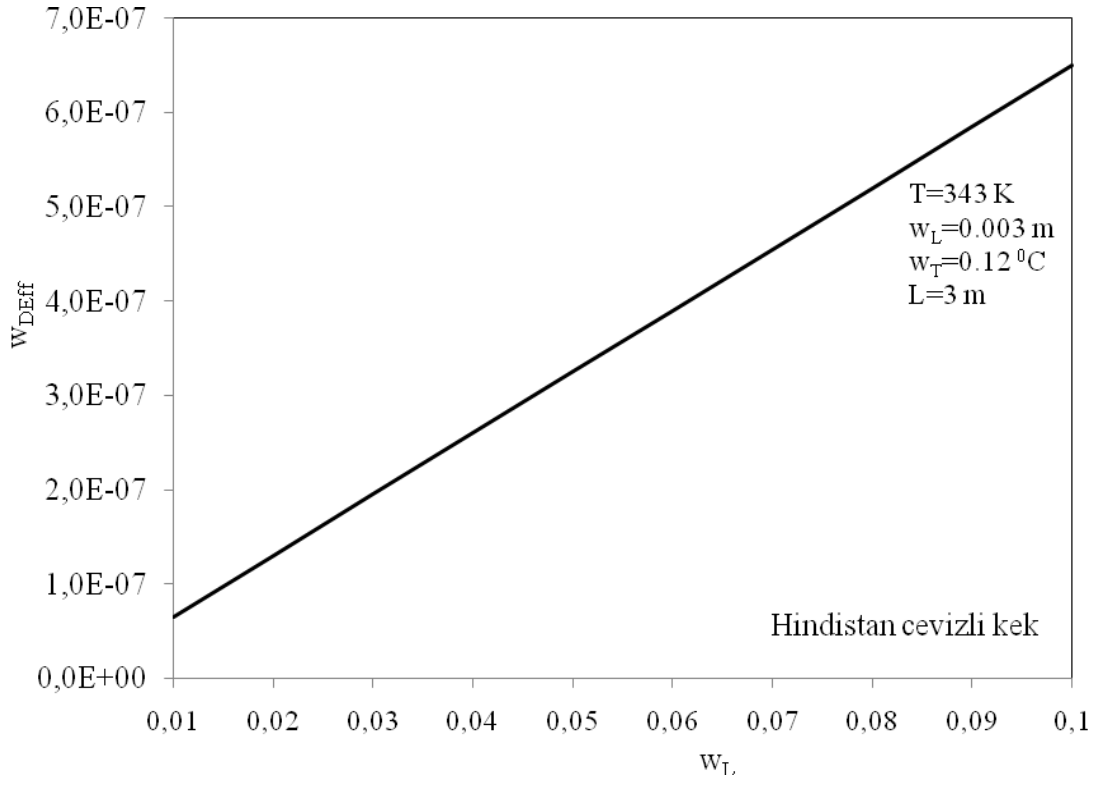
olarak hesaplanmıştır.

Hindistan cevizli kekin efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliği

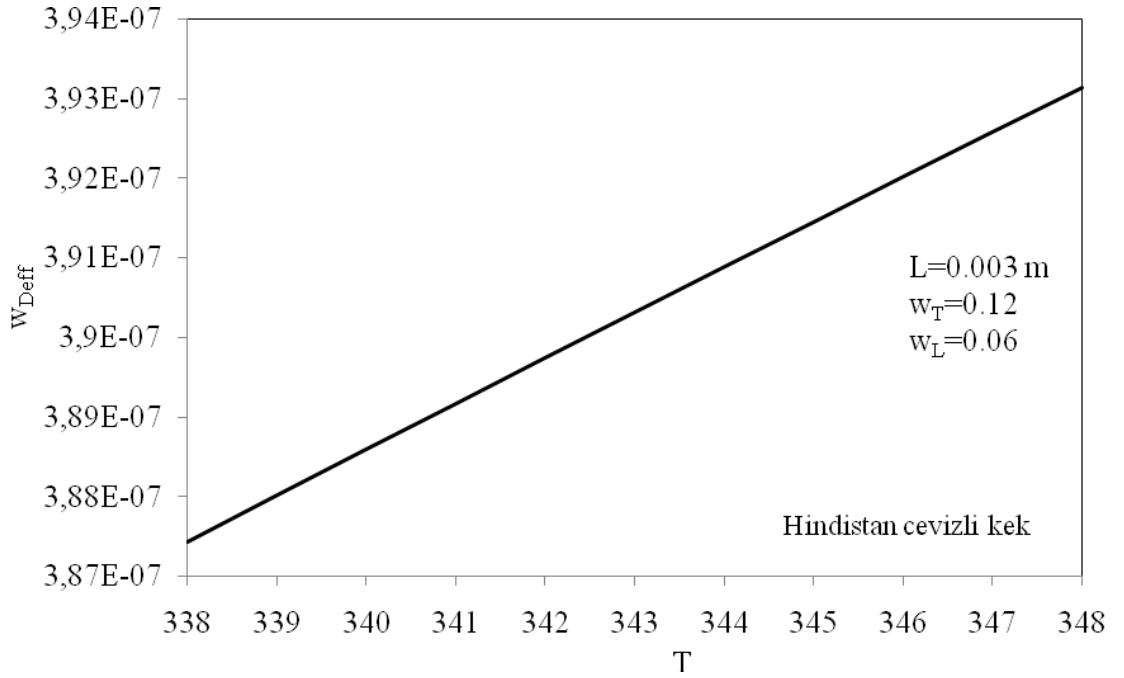
$$w_{D_{\text{eff}}} = \left[\left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial L} \right)^2 w_L^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T} \right)^2 w_T^2 \right]^{1/2}$$

denklemleri ile hesaplanmıştır. Burada w_L kalınlığın ölçüm belirsizliği ve w_T sıcaklık ölçüm belirsizliğidir.

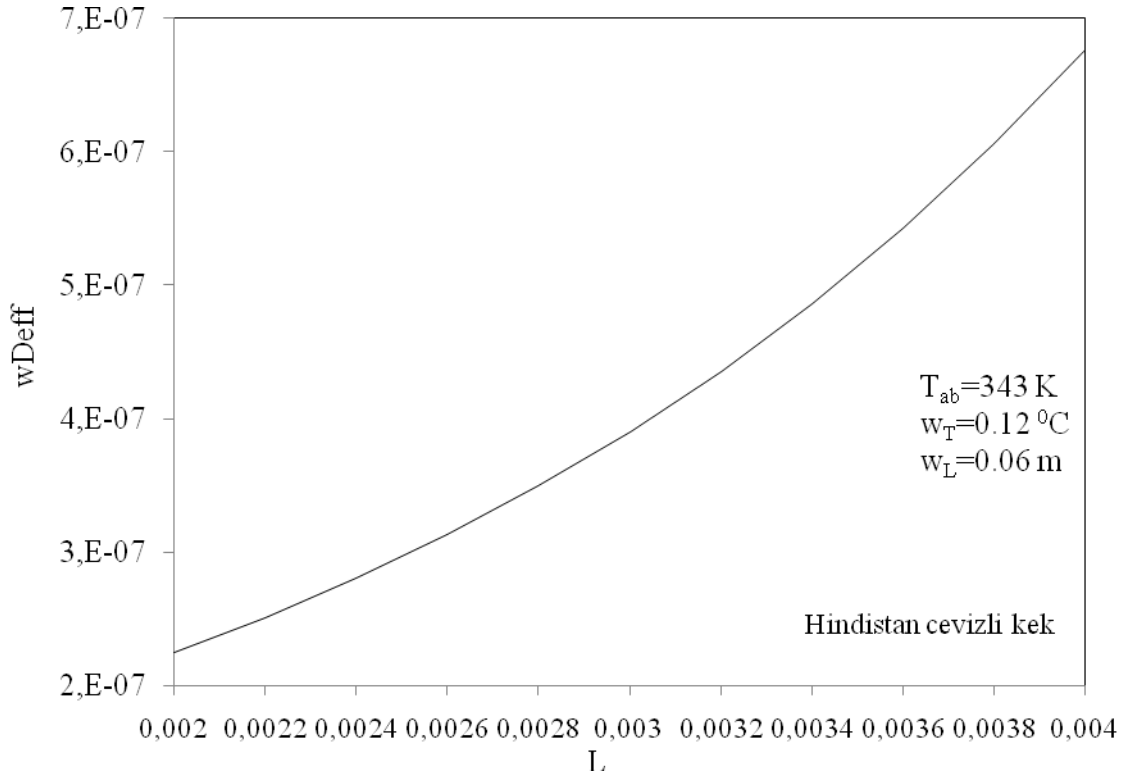
Hindistan cevizli kekin efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliğinin kalınlık ölçüm belirsizliği, sıcaklık ve kalınlık ile değişimi Şekil 3.23 ve Şekil 3.24 ve Şekil 3.25 de gösterilmiştir.



Şekil 3.23: Kalınlık ölçüm belirsizliği ile toplam belirsizliğin değişimi.



Şekil 3.24: Sıcaklık ile toplam belirsizliğin değişimi.



Şekil 3.25: Kalınlık ile toplam belirsizliğin değişimi.

k) Üzümün efektif difüzyon toplam katsayısının belirsizliği

Metot ve Geometri	Dönen küre
Kurutma Koşulları	Sıcak hava, $m=0.2-2.4$, $T=40-70^\circ\text{C}$ (313K-343K), $v=1 - 2.3$ m/s

Üzümün difüzyon katsayısı:

$$D_{eff} = 0.522 \exp\left(-\frac{54}{\hat{R}T_{ab}}\right) \exp[-(0.0075T_{ab} + 1.829)m]$$

olarak verilmiştir.

Üzümün efektif difüzyon katsayısının kısmi türevleri:

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} = 28.188 \left(\frac{1}{\hat{R}^2 T_{\text{ab}}} \right) \exp\left(-\frac{54}{\hat{R} T_{\text{ab}}}\right) \exp[-(0.0075 T_{\text{ab}} + 1.829)m]$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} &= 28.188 \left(\frac{1}{\hat{R} T_{\text{ab}}^2} \right) \exp\left(-\frac{54}{\hat{R} T_{\text{ab}}}\right) \exp[-(0.0075 T_{\text{ab}} + 1.829)m] \\ &\quad - 3.915 \times 10^{-3} (m) \exp\left(-\frac{54}{\hat{R} T_{\text{ab}}}\right) \exp[-(0.0075 T_{\text{ab}} + 1.829)m] \end{aligned}$$

ve

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial m} = -(3.915 \times 10^{-3} T_{\text{ab}} + 0.954738) \exp\left(-\frac{54}{\hat{R} T_{\text{ab}}}\right) \exp[-(0.0075 T_{\text{ab}} + 1.829)m]$$

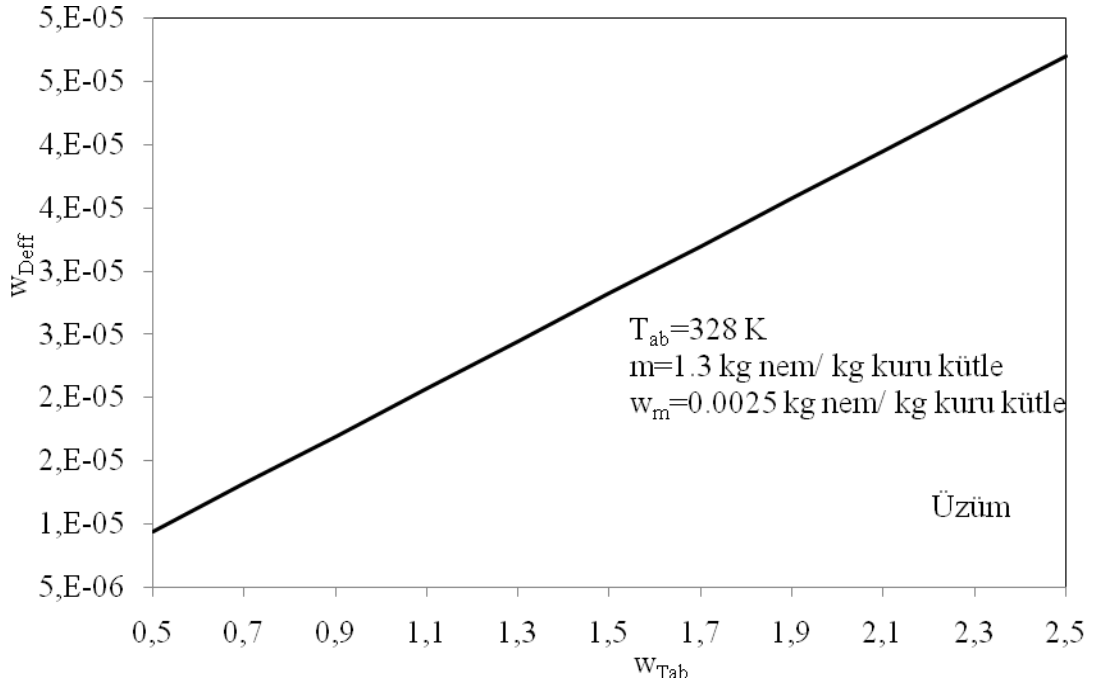
olarak hesaplanmıştır.

Üzümün efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliği

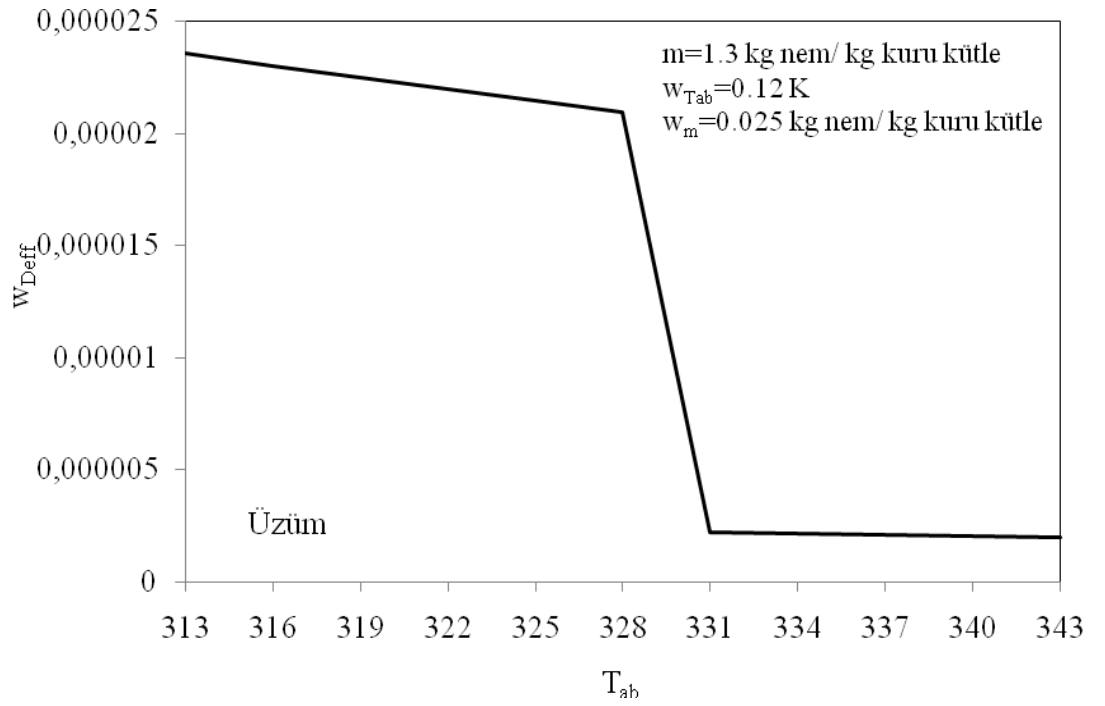
$$w_{D_{\text{eff}}} = \left[\left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} \right)^2 w_{\hat{R}}^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} \right)^2 w_{T_{\text{ab}}}^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial m} \right)^2 w_m^2 \right]^{1/2}$$

denklemleri ile hesaplanmıştır.

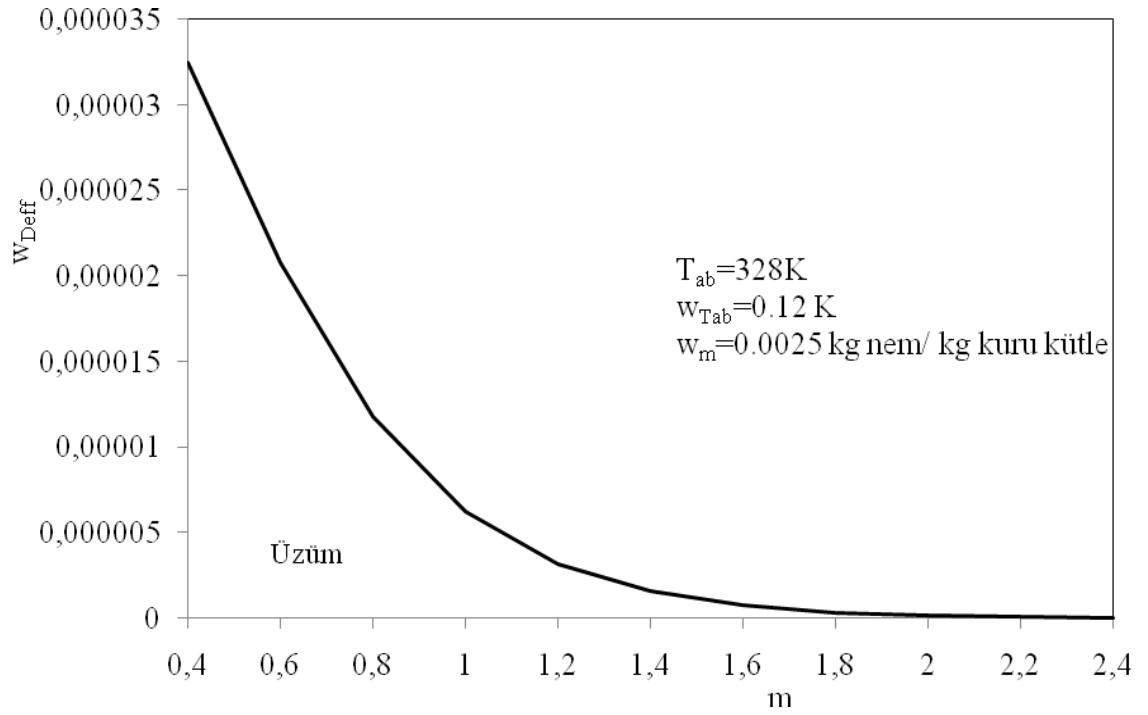
Üzümün efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliğinin mutlak sıcaklık ve mutlak sıcaklık ölçüm belirsizliği ve kuru baza göre nem içeriği ile değişimi Şekil 3.26 Şekil 3.27, Şekil 3.28, Şekil 3.29, Şekil 3.30 da gösterilmiştir.



Şekil 3.26: Mutlak sıcaklık ölçümü belirsizliği ile toplam belirsizliğin değişimi.



Şekil 3.27: Mutlak sıcaklık ile toplam belirsizliğin değişimi.



Şekil 3.28: Kuru baza göre nem içeriği ile toplam belirsizliğin değişimi.

Ön işlem: Alkali solüsyonu (%1 sodyum hidroksit):

Üzümün difüzyon katsayısı:

$$D_{eff} = 1.6 \times 10^{-3} \exp\left(-\frac{49}{\hat{R}T_{ab}}\right) \exp[-(0.0012T_{ab} + 0.309)m]$$

olarak verilmiştir.

Üzümün efektif difüzyon katsayısının kısmi türevleri:

$$\frac{\partial D_{eff}}{\partial \hat{R}} = 78.4 \times 10^{-3} \left(\frac{1}{\hat{R}^2 T_{ab}}\right) \exp\left(-\frac{49}{\hat{R}T_{ab}}\right) \exp[-(0.0012T_{ab} + 0.309)m]$$

$$\frac{\partial D_{eff}}{\partial T_{ab}} = 78.4 \times 10^{-3} \left(\frac{1}{\hat{R}T_{ab}^2}\right) \exp\left(-\frac{49}{\hat{R}T_{ab}}\right) \exp[-(0.0012T_{ab} + 0.309)m]$$

$$-1.92 \times 10^{-6} (m) \exp\left(-\frac{49}{\hat{R}T_{ab}}\right) \exp[-(0.0012T_{ab} + 0.309)m]$$

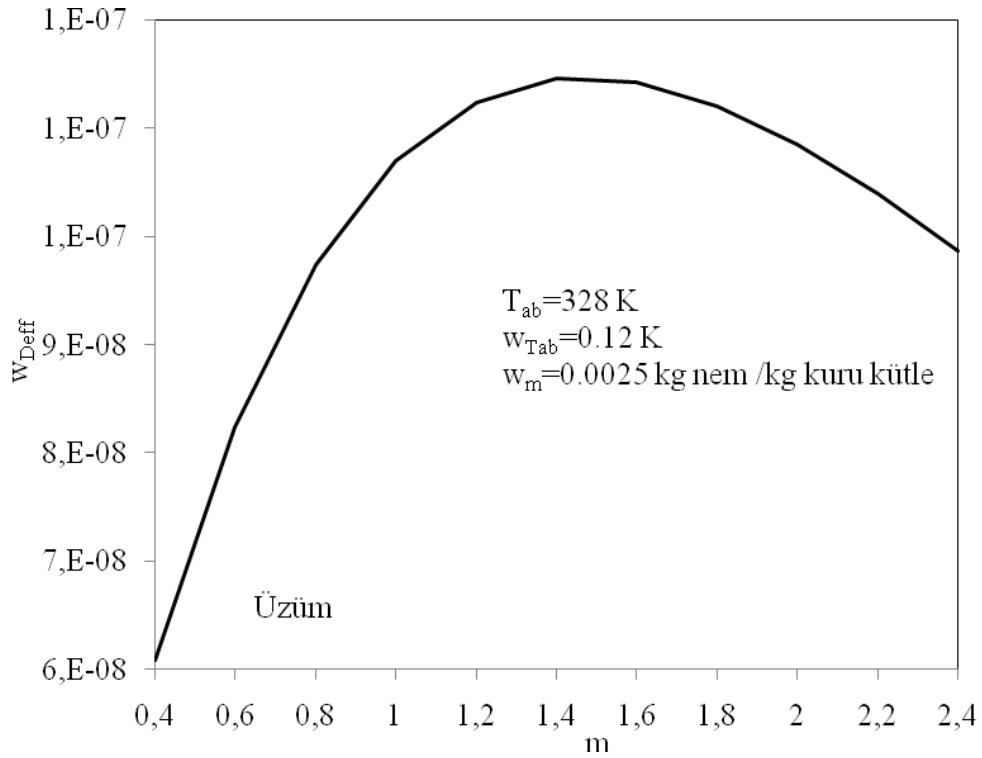
$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial m} = -(1.92 \times 10^{-6} T_{\text{ab}} + 4.944 \times 10^{-4}) \exp\left(-\frac{49}{\hat{R} T_{\text{ab}}}\right) \exp[-(0.0012 T_{\text{ab}} + 0.309)m]$$

şeklinde hesaplanmıştır.

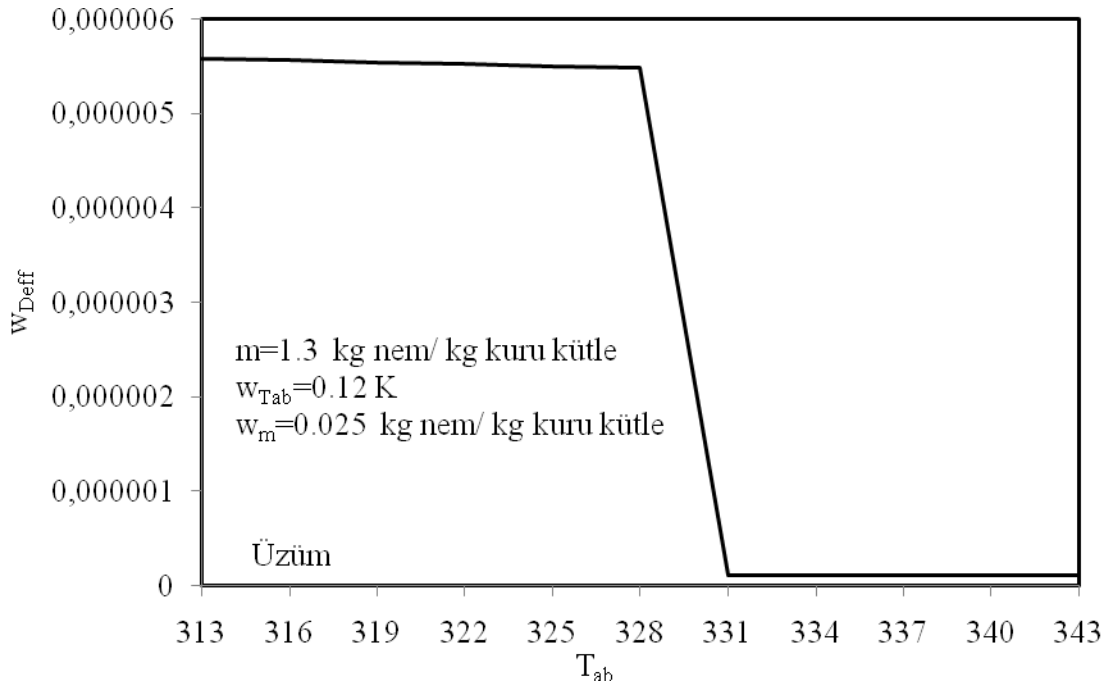
Üzümün efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliği

$$w_{D_{\text{eff}}} = \left[\left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} \right)^2 w_{\hat{R}}^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} \right)^2 w_{T_{\text{ab}}}^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial m} \right)^2 w_m^2 \right]^{1/2}$$

denklemleri ile hesaplanmıştır.



Şekil 3.29: Kuru baza göre nem içeriği ile toplam belirsizliğin değişimi.



Şekil 3.30: Mutlak sıcaklık ile toplam belirsizliğin değişimi.

1) Portakal kabuğunun efektif difüzyon toplam katsayısının belirsizliği

Metot ve Geometri	Dönen levha
Kurutma Koşulları	Sıcak hava, $m=0.2-2.4$, $T=40-70^{\circ}\text{C}$ (313K-343K), $v=1-2.3$ m/s

Portakal kabuğunun efektif difüzyon katsayısı

$$D_{eff} = 3.957 \times 10^{-4} \exp\left(-\frac{36.36}{\hat{R}T_{ab}} m^{-0.0496}\right)$$

şeklinde verilmiştir.

Portakal kabuğunun efektif difüzyon katsayısının kısmi türevleri aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} = 143.87652 \times 10^{-4} \left(\frac{m^{-0.0496}}{\hat{R}^2 T_{\text{ab}}} \right) \exp\left(-\frac{36.36}{\hat{R} T_{\text{ab}}} m^{-0.0496}\right)$$

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} = 143.87652 \times 10^{-4} \left(\frac{m^{-0.0496}}{\hat{R} T_{\text{ab}}^2} \right) \exp\left(-\frac{36.36}{\hat{R} T_{\text{ab}}} m^{-0.0496}\right)$$

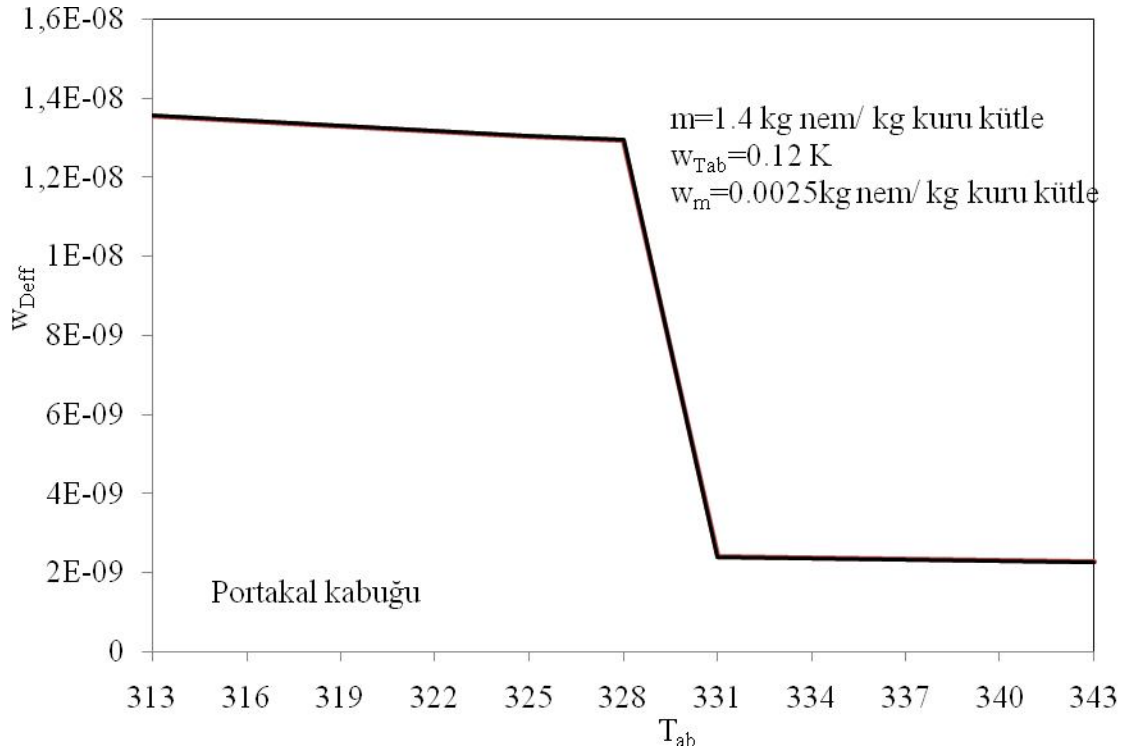
$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial m} = 7.13628 \times 10^{-4} \left(\frac{m^{-1.0496}}{\hat{R} T_{\text{ab}}} \right) \exp\left(-\frac{36.36}{\hat{R} T_{\text{ab}}} m^{-0.0496}\right)$$

Portakal kabuğunun efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliği

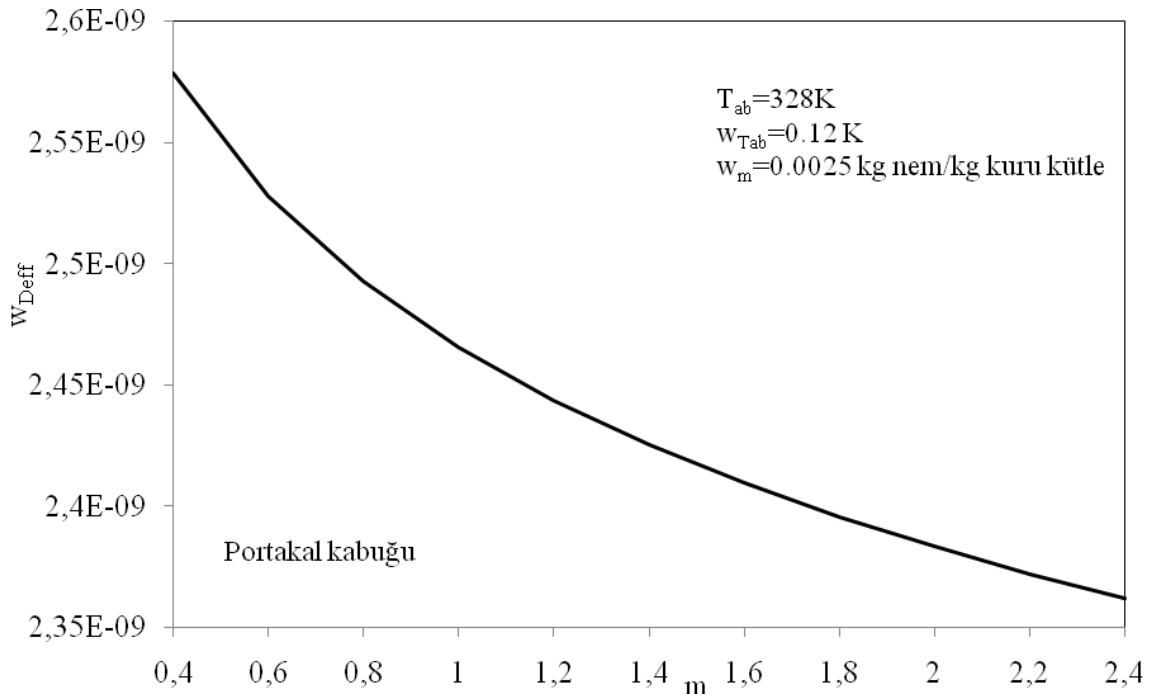
$$w_{D_{\text{eff}}} = \left[\left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial \hat{R}} \right)^2 w_{\hat{R}}^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T_{\text{ab}}} \right)^2 w_{T_{\text{ab}}}^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial m} \right)^2 w_m^2 \right]^{1/2}$$

denklemden hesaplanmıştır.

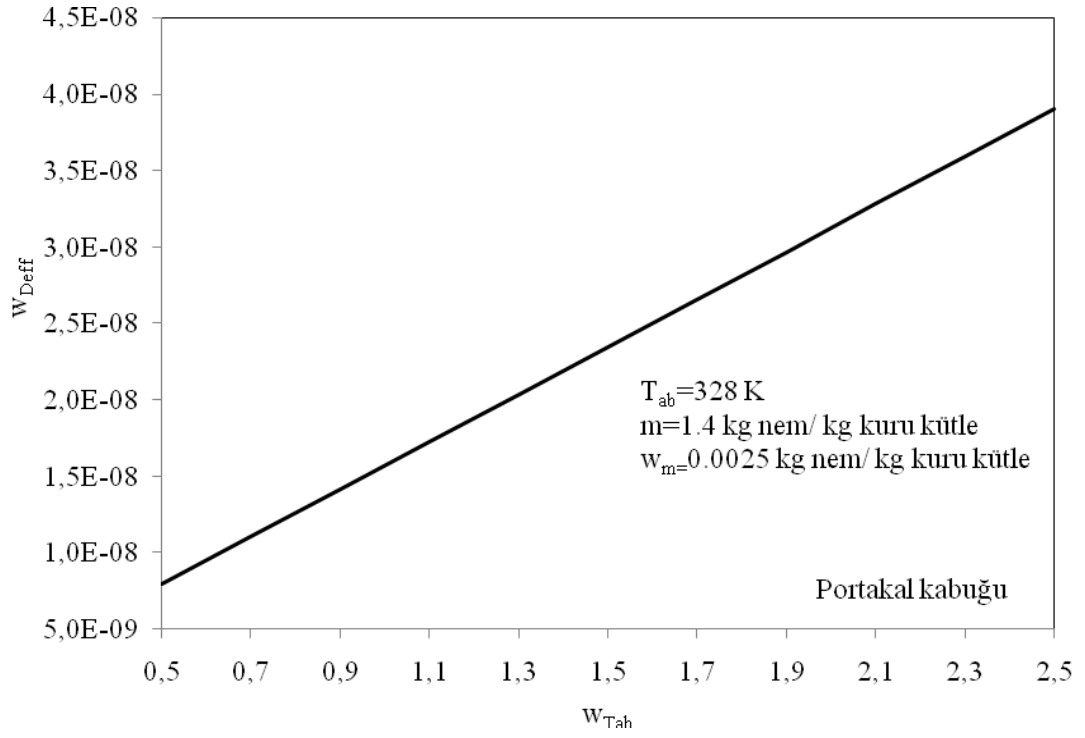
Portakal kabuğunun efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliğinin mutlak sıcaklık ile değişimi Şekil 3.31 de, kuru baza göre nem içeriği ile değişimi Şekil 3.32 de, mutlak sıcaklık ölçüm belirsizliği ile değişimi Şekil 3.33 de gösterilmiştir.



Şekil 3.31: Mutlak sıcaklık ile toplam belirsizliğin değişimi.



Şekil 3.32: Kuru baza göre nem içeriği ile toplam belirsizliğin değişimi.



Şekil 3.33: Mutlak sıcaklık ölçümü belirsizliği ile toplam belirsizliğin değişimi.

m) Pasta (irmik) nin efektif difüzyon toplam katsayısının belirsizliği

Metot ve Geometri	Dönen Levha
Kurutma Koşulları	m=0.14 – 0.5, T=40- 100°C (313K - 373K), boyutlar : 100x20x1.3 mm

Pastanın (irmik) efektif difüzyon katsayısı

$$D_{\text{eff}} = 1.2 \times 10^{-11} \exp\left(-303695\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{293}\right)\right) \exp(6.46m)$$

olarak verilmiştir

Pastanın (irmik) efektif difüzyon katsayısının kısmi türevleri aşağıda verilmiştir

$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T} = 3644.34 \times 10^{-11} \left(\frac{1}{T^2}\right) \exp(-3036.95(\frac{1}{T} - \frac{1}{293})) \exp(6.46m)$$

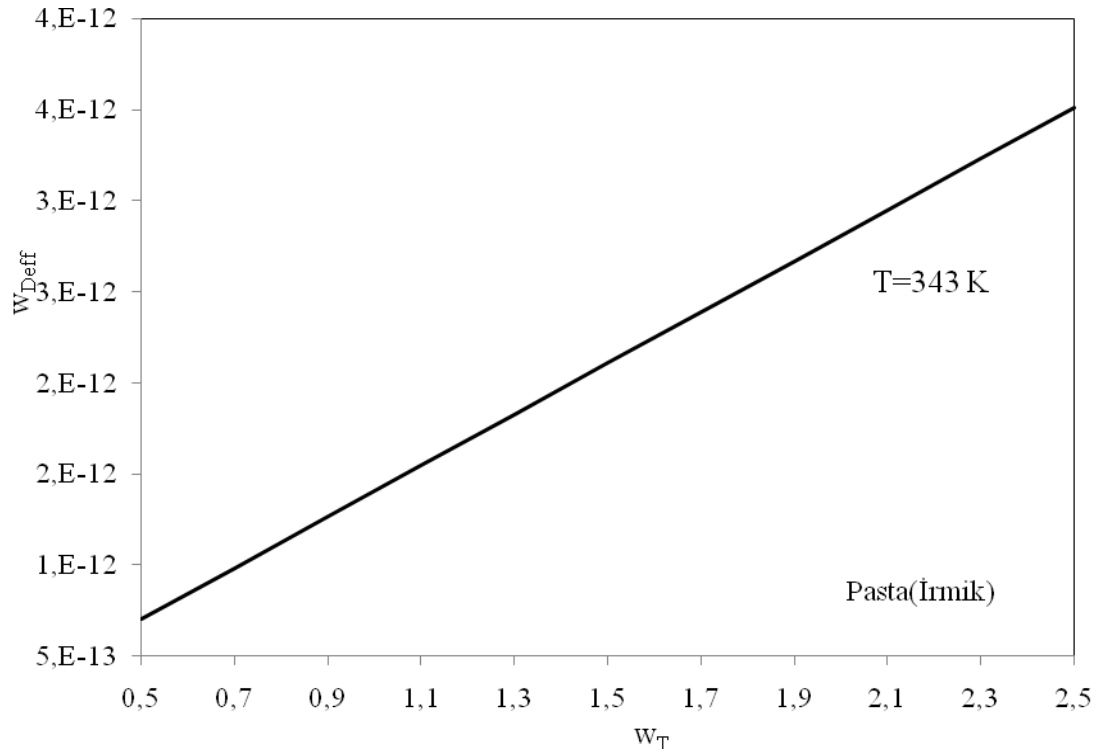
$$\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial m} = 7.752 \times 10^{-11} \exp(-3036.95(\frac{1}{T} - \frac{1}{293})) \exp(6.46m)$$

Pastanın efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliği

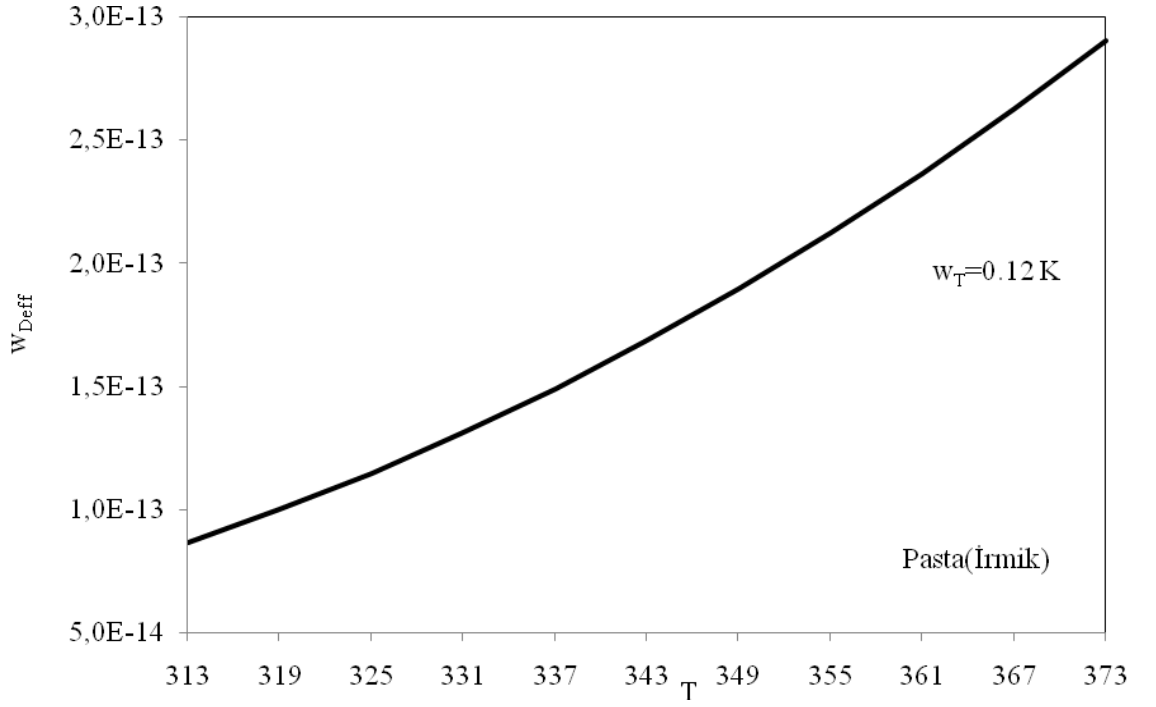
$$w_{D_{\text{eff}}} = \left[\left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial T} \right)^2 w_T^2 + \left(\frac{\partial D_{\text{eff}}}{\partial m} \right)^2 w_m^2 \right]^{1/2}$$

olarak hesaplanmıştır

Pastanın (irmik) efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliğinin sıcaklık ölçüm belirsizliği ve sıcaklık ile değişimi Şekil 3.34 ve Şekil 3.35 de gösterilmiştir.



Şekil 3.34: Sıcaklık ölçümü belirsizliği ile toplam belirsizliğin değişimi.



Şekil 3.35: Sıcaklık ile toplam belirsizliğin değişimi.

Çeşitli gıda maddelerinin efektif difüzyon katsayıları için katsayıda yer alan değişik parametreler dikkate alınarak yapılan belirsizlik analizine göre efektif difüzyon katsayısında yer alan herhangi bir parametrenin ölçüm belirsizliği ile efektif difüzyon katsayısının toplam belirsizliği arasında lineer bir ilişki söz konusudur.

KAYNAKLAR

Akpınar, E.K. ve Biçer, Y., 2005, Investigation of Heat Transfer and Exergy Loss in a Concentric Double Pipe Exchanger Equipped with Swirl Generators, International Journal of Thermal Sciences, Vol. 44, pp. 598-607.

Akpınar, E.K., 2005, Deneysel Çalışmalardaki Hata Analizine Bir Örnek: Kurutma Deneplerindeki Hata Analizi, Mühendis ve Makina, Cilt 46, No:540, s. 41-48.

Asan, H., Namlı, L., 1997, Deneysel Isı Transferi ve Basınç Kaybı Çalışmalarında Belirsizlik Analizi, ULIBTK'97, 17-19 Eylül Edirne, s.369-378.

Ayder, E., Genceli O.F., 1998, Ölçme Tekniği, ASHRAE Temel El Kitabı (Fundamentals), Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar.

Bevington, P. R., Robinson, D. K., 2003, Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences, 3rd edition, McGraw-Hill, New York.

Burmester, D.E., Anderson, P. D., 1994, Principles of Good Practice for the Use of Monte Carlo Techniques in Human Health and Ecological Risk Assessments, Risk Analysis Vol. 14, No. 4, pp.477-481.

Coleman, H. W., Steele, W. G., 1989, Experimentation and Uncertainty Analysis for Engineers, 2th edition, John Wiley&Sons.

Erken, N., 2008, Mikroboru Akışlarındaki Ölçüm Belirsizlikleri, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Holman, J.P., "Experimental Methods for Engineers", 6th edition, McGraw- Hill, 1994.

Kahveci, K. ve Cihan, A., 2008, Drying of Food Materials Transport Phenomena, Nova Science Publishers, New York.

Kara, Y.A., 2005, Gövde-Boru Tipi Bir Kondenserin Performans Analizi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı 87, s. 53-58.

Kline, S.J., and McClintock, F.A., 1953, Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments, Mechanical Engineering, Vol. 75, No. 1, pp. 3-8.

Moffat, R. J., 1988, Describing the Uncertainties in Experimental Results, Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 1, pp. 3-17.

- Olsson, C.O, Sunden, B., 1996, Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of Ten Radiator Tubes, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 39, Issue: 15, pp. 3211-3220.
- Papadopoulos, C.E., Yeung, H., 2001 ,Uncertainty Estimation and Monte Carlo Simulation Method, *Flow Measurement and Instrumentation*, Vol. 12, Issue 4, pp. 291-298.
- Peng, X. F., Peterson, G. P., 1996, Convective Heat Transfer and Flow Friction for Water Flow in Microchannel Structures, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 39, No:12, pp. 2599-2608.
- Pengra, D. B., Dillman, L. T., 1998, Notes on Data Analysis and Experimental Uncertainty, University of Washington, Ohio Wesleyan University.
- Pırasacı, T., Sivrioğlu, M., 2004, An Experimental Study on the Mixed Convection Heat Transfer over a Heated Horizontal Surface in a Partial Enclosure, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, Vol. 17, No: 4, pp.79-88.
- Spitler, J. C., Pedersen, D., Fisher, P., Menne, J., 1991, An Experimental Facility for Investigation of Interior Convective Heat Transfer, *ASHRAE Transactions*, Vol. 97(1), pp.497-504.
- Tang, R. et al., 2006, Assessment of Uncertainty in Mean Heat Loss Coefficient of All Glass Evacuated Solar Collector Tube Testing, *Energy Conversion and Management*, Vol. 47, No. 1, pp. 60-67.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Simper Yasemin ULUKUŞ

Doğum Yeri : Merzifon

Doğum Tarihi : 25.07.1981

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu

İlkokul : 1988-1993 Kemalpaşa İlkokulu

Ortaokul : 1993-1996 Mehmetpaşa Ortaokulu

Lise : 1996-1999 Gümüşhacıköy Lisesi

Lisans : 1999-2003 Kara Harp Okulu

Mesleği : Subay