

# ISLAK AYIRICILARDA PARTİKÜL TUTMA MEKANİZMALARI I: ATALET KUVVETİ ETKİSİ

Tevfik Gemci ve Recep İleri

*Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü  
54040 Esentepe Kampüsü, Adapazarı*

**Abstract** - Because of rapid increase in air pollutants and reaching at the critical emission values to disturb the life of livings, it is important to investigate the effective air pollution control methods. In this paper, the wet scrubbers will be examined in terms of their type, application area, collection efficiency and mechanisms of dust collection (specially inertial impaction and flow-line interception effects).

**Özet** - Havayı kirletici maddelerdeki hızlı artış ve emisyon değerlerinin canlıların yaşamını tehlikeli boyutlara sokacak sınırlara ulaşması açısından artık daha etkili hava kirliliği kontrol metotlarının geliştirilmesi bir önem arz etmektedir. Bu makalede ıslak ayırıcılar tip, kullanım alanları, toplayıcı verimi ve toz tutma mekanizmaları (özellikle atalet kuvveti ve akış-çizgisinde değine etkisi) açısından incelenecektir.

## I. GİRİŞ

Islak ayırıcılar endüstride kirli hava temizlenmesinde tozların ayrıştırılması için kullanılan cihazlardır. Başlıca kullanım alanlarını ise çelik, kimya ve metalürji endüstrisi ve yanma prosesleri teşkil etmektedir. Islak ayırıcıların endüstride sıkça kullanılmasının bir başka sebebi ise patlayıcı ve yapışıcı tozların tutulmasında bez ve elektro filtrelerin kullanılmadığı ve ayırcada toz tutulması yanında gaz halindeki zararlı maddelerin (SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, HCl v.b.) yıkanmasının (emisyon kontrolünün) istendiği yerlerde uygulanma alanı bulmaktadır.

## II. ISLAK AYIRICILARIN TİP VE ÇALIŞMA PRENSİBLERİ

Islak ayırıcılar, kirli hava temizlenmesinde yıkama sıvısı kullanan cihazlardır. Temizleme sıvısı olarak ise ıslak ayırıcılarda genellikle su kullanılmaktadır. Islak ayırıcıların çalışına prensibi, istenmeyen kirli maddelerin yıkama sıvısı ile birleşmesini sağlamaktır. Bunu takibinde yıkama sıvısının proses gazından

uzaklaştırılması yer almaktadır. Islak ayırıcıların bu çalışına prensibi dört aşamada gerçekleşmektedir [1]:

1. Yıkama sıvısının toz-gaz karışımına verilmesi
2. Toz partiküllerinin yıkama sıvısıyla birlikte hareketinin temini
3. Toz partiküllerinin yıkama sıvısı üzerine getirilmesi
4. Ortaya çıkan toz-su karışımının gaz akışından ayrılması.

Kuru olarak çalışan toz tutucularla karşılaştırıldığında toz partiküllerin ıslak ayrıştırılması bir çok avantaj sağlamaktadır. Bunlardan başlıcaları ise, ıslak ayırıcıların yanıcı ve patlayıcı tozların patlama ve yanma tehlikesini azaltması, basit yapısı nedeniyle daha ucuz, daha fazla çalışma güvenliliği ve daha düşük işletim masrafı olan bir konstrüksiyona sahip olmalarıdır. Ayrıca katı tozların tutulması yanında, aynı anda gaz halindeki özellikle atık gazlardaki kükürtdioksit gibi zararlı bileşiklerin ayrıştırılmasını sağlar. Bunun yanında gazın soğutulması ve nemlendirilmesi gibi istenen diğer etkilerde gerçekleştirilebilir.

Islak ayırıcılar yıkayıcı sıvının fişkırtılması ve akışın yapısına göre başlıca grublandırılması şu şekildedir: Plakalı yıkama kolonları (plate towers), sprey ayırıcılar (spray scrubber), dolgu-yatak ayırıcılar (packed-bed scrubber), mekanik ayırıcılar (mechanical scrubbers) ve Venturi yıkayıcılar [1] [2] [3] [4] [5]. Islak ayırıcıların dizaynında gözönünde bulundurulan diğer özelliklerden birisi de toz tutma verimi ve cihaz boyunca oluşan basınç kaybıdır. Basınç kaybı hesabı ve değişik uygulamalarına Calvert (1970) [7], Calvert et.al. (1972) [4], Boll (1973) [6], Dau (1977) [8] ve Degani (1981) [9] tarafından yapılan çalışmalar gösterilebilir.



### III. SU DAMLACIĞI ÜZERİNDE PARTİKÜL TUTMA MEKANİZMALARI

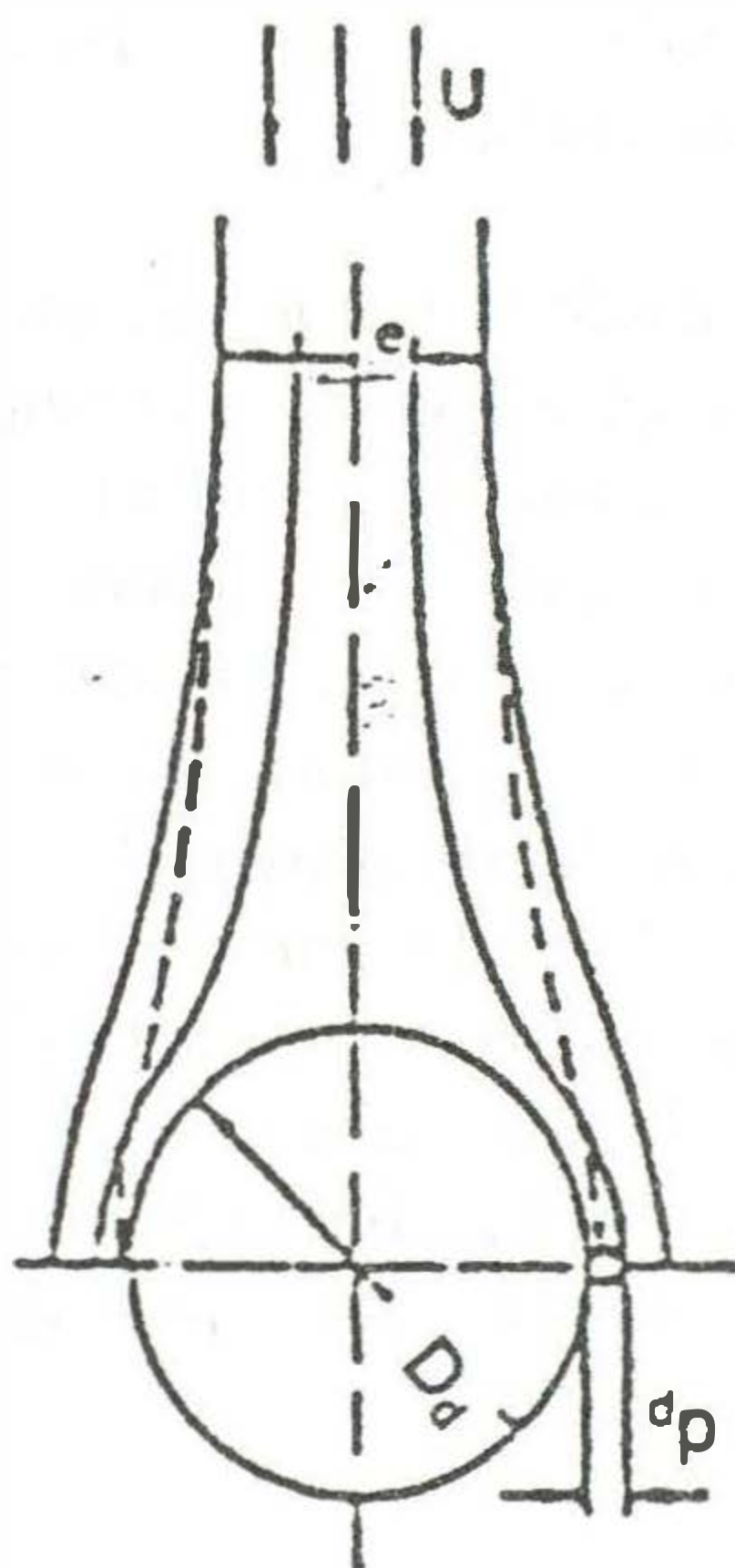
Katı toz partiküllerin su damlacıkları (kollektörleri) üzerine toplanması başlıca şu mekanizmalardan meydana gelmektedir:

- Atalet kuvveti etkisi (inertial impaction)
- Akış çizgisinde değme etkisi (flow-line interception)
- Türbülanslı difüzyon etkisi
- Brown difüzyon etkisi (Brownian diffusion)
- Yerçekimi etkisi
- Elektro-statik alan etkisi
- Termo- ve Difüzyoforese etkileri (Thermo- and Diffusiophorese effects)
- Yoğuşma etkisi (condensation effect)

#### III.A. ATALET KUVVETİ ETKİSİ

Küçük toz partiküllerin atalet kuvveti etkisi ile kendisinden oldukça daha büyük su damlacıkları (kollektör) üzerinde tutulması Sell'in damlacık modeli tanıtımına göre (Şekil 1.), bir sıvı damlacığının yakınındaki gaz akışını izleyen toz partikülleri kütle ataletlerinden dolayı su damlacığı etrafında hareketine devam eden gaz akış çizgilerinden sapmaya başlarlar ve damlacık üzerine çarparlar. Çok fazla küçük mikro-partiküller ( $d_p < 0.01 \mu\text{m}$ ) ise gaz akış çizgisini izlerler ve damlacığa çarpmadan geçerler. Sell (1931) [10] bir sıvı damlacığının (kollektör) izafi partikül tutma verimini, ki bu ayrıca buluşma olasılığı olarak da isimlendirilmektedir, rahatsız edilmemiş bir akıştaki partikül sınır yollarının (limiting paths of particles) arasında kalan alanın ( $\pi e^2/4$ ) damlacığının projeksiyon alanına ( $\pi D_d^2/4$ ) oranı olarak ifade etmektedir:

$$\eta_A = e^2 / D_d^2$$



Şekil 1. Küresel Bir Kollektör (Sıvı Damlacık) Etrafındaki Akışta Partikül Yolu (Sell, 1931) [10].

Bu atalet kuvveti etkisine dayanan kollektör izafi tutma verimi Stokes sayısına (Stk), yani atalet kuvveti parametresine bağlı olarak ifade edilebilmektedir. İzafi tutma veriminin ampirik bir ifadeden çıkarılmasıyla ilgili olarak ise Calvert (1970) [7] aşağıdaki denklemi Walton ve Woolcock'un deney sonuçlarına dayanarak önermektedir:

$$\eta_A = [\text{Stk} / (\text{Stk} + 0.35)]^2$$

Burada Stk, Stokes sayısıdır.

$$\text{Stk} = C_u |w_r| \rho_p d_p^2 / (18 \mu D_d)$$

Bu boyutsuz Stokes sayısında  $C_u$  Cunningham düzeltme faktörünü,  $w_r$  partikül ile damlacık arasındaki izafi hızı,  $\rho_p$  partikül yoğunluğunu,  $d_p$  partikül çapını,  $D_d$  damlacık çapını ve  $\mu$  gaz dinamik viskozitesini göstermektedir. İzafi tutma verimi için yine Behie ve Beeckmans (1973) [11], Schuch (1978) [12], Beizae ve Tien (1980) [13], Placek ve Peters (1980) [14] ve diğer araştırmacılar tarafından değişik ampirik ifadeler literatürde verilmiştir. Schuch [12] ise izafi tutma verimini bilinen bir (gaz) akış alanında iki boyutlu olarak partikül yolunun nümerik olarak hesaplanması yoluyla damlacık Reynold sayısı ( $Re_d$ ) ve Stokes sayısına (Stk) bağlı olarak aşağıdaki denklemle ifade etmiştir.

$$\eta_A = [\text{Stk} / (\text{Stk} + a)]^b$$

Bu denklemdeki a ve b değerleri Tablo 1.'de verilmiştir. Tablo 1.'de potansiyel akış için a ve b parametrelerinin değeri Langmuir tarafından verilmiştir [15]. Behie ve Beeckmans (1973) [11] atalet

Tablo 1. İzafi Tutma Verimi İçin a ve b Değerleri [12].

| $\eta_A$ için $Re_d$ aralığı | a     | b    |
|------------------------------|-------|------|
| $Re_d \gg 1$ [15]            | 0.25  | 2    |
| $Re_d = 60; 80$              | 0.506 | 1.84 |
| $Re_d = 40$                  | 1.03  | 2.07 |
| $Re_d = 10; 20$              | 1.24  | 1.95 |
| $Re_d < 1$                   | 0.65  | 3.07 |

kuvveti parametresinin  $0.083 \leq \text{Stk} \leq 0.6$  aralığı için Fonda ve Herne'nin analitik sonuçlarına dayanarak önerdikleri izafi tutma verimini aşağıdaki denklemle vermişlerdir.

$$\eta_A = 0.0036 - 0.2323 \text{Stk} + 2.422 \text{Stk}^2 - 2.033 \text{Stk}^3$$

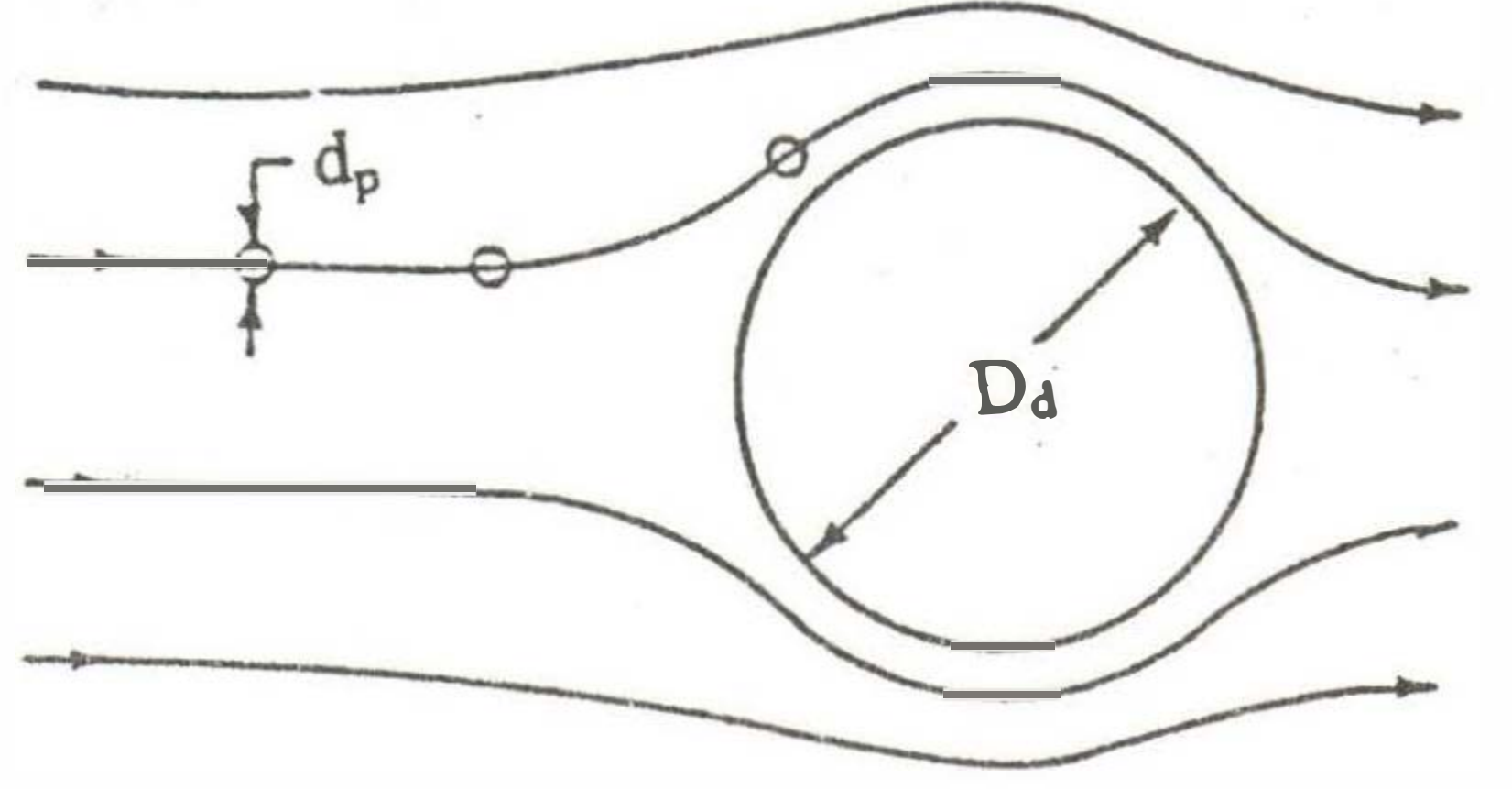
Hahn (1992) [16] sıkıştırılmaz bir akış ortamında üç boyutlu ve zamana bağlı, küresel bir



kollektör etrafındaki akışın nümerik simülasyonunu bu kollektör üzerinde partikül tutulmasını incelemek için yapmıştır. Şekil 2., bu yapılan hesap sonuçlarının Hähner (1992) [17] tarafından elde edilen deney sonuçlarıyla karşılaştırılmasını göstermektedir.

### III.B. AKIŞ-ÇİZGİSİNDE DEĞME ETKİSİ VE DİĞER MEKANİZMALAR

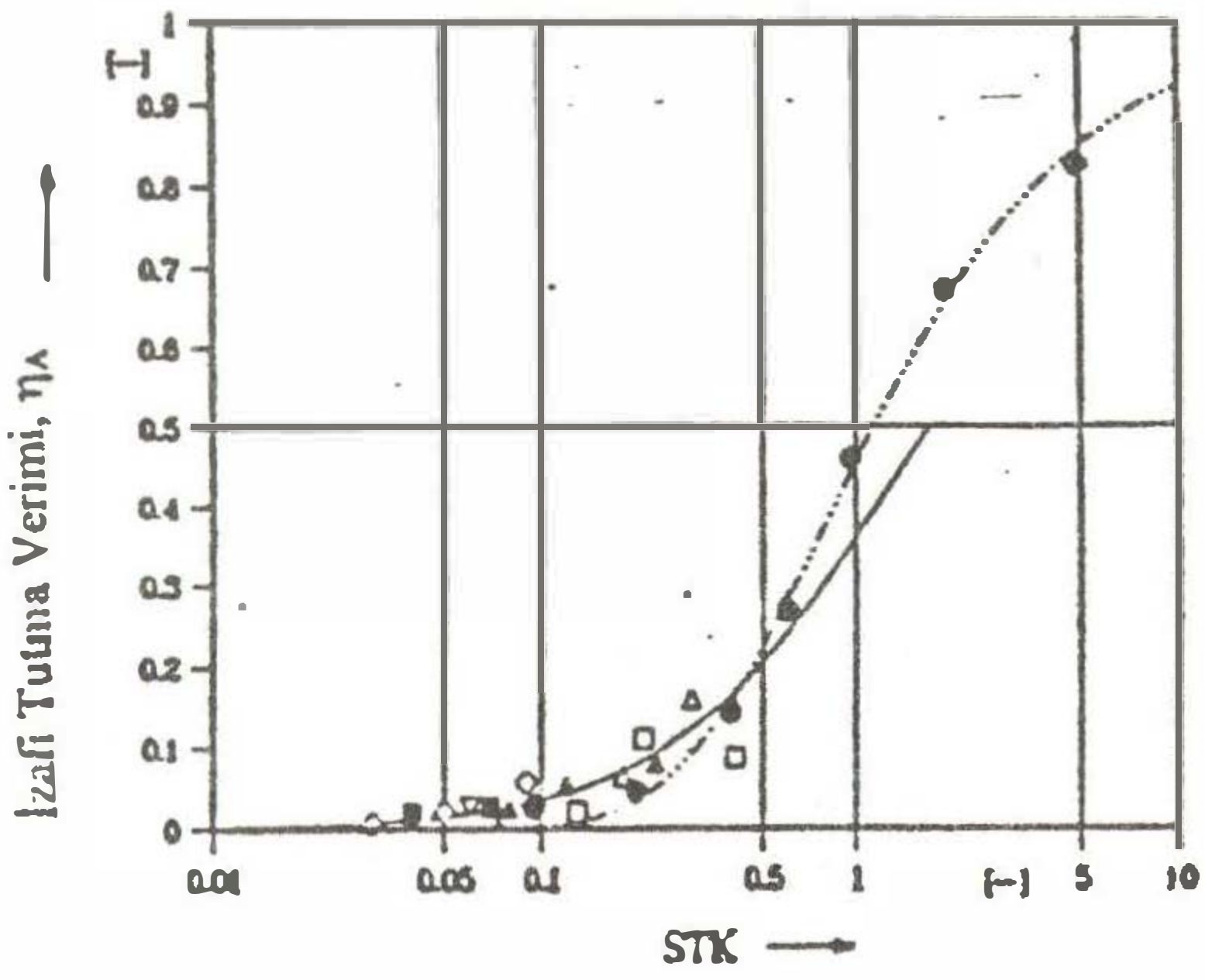
Sıvı damlacığı üzerinde partikül tutma mekanizmalarından akış-çizgisinde değme (flow-line interception) ise Şekil 3.'e göre şu şekilde açıklanabilir. Eğer bir akış çizgisi kollektör çevresinde bir partikül yarıçapı uzaklığı içindeki bir bölgeden geçiyorsa, akış çizgisi boyunca hareket eden bir partikül kollektöre değecek ve atalet kuvveti veya Brown difüzyon etkisi olmaksızın kollektör tarafından tutulmuş olacaktır [3].



Şekil 3. Akış Çizgisinde Değme Etkisi (Flow-line Interception) [3].

Brown difüzyon etkisi daha çok  $0.3 \mu\text{m}$ 'den küçük Brownian hareketini izleyen partiküllerde etkili olmaktadır ve genellikle ıslak ayırıcılarda ihmal edilecek seviyededir. Türbülanslı difüzyon etkisi,  $1 \mu\text{m}$ 'den küçük toz partiküllerin tutulmasında çok etkili olmaktadır. Islak ayırıcılarda türbülanslı difüzyon etkisiyle mikro-partiküllerin sıvı damlacıkları tarafından tutulmasıyla ilgili olarak ilk defa bir matematik modelleme ve hesap yöntemi Gemci (1993) [18] tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Waterloo tipi bir ıslak ayırıcıda katı toz partikülleri içeren türbülanslı gaz akışı pnömomatik bir enjektörden fişkırtılan su damlacıklarıyla (spray) birlikte ıslak ayırıcı toz tutma verimini hesaplamak amacıyla üç boyutlu ve zamana bağlı nümerik bir simülasyonla gerçekleştirilmiştir. Islak ayırıcılarda türbülanslı difüzyon etkisiyle toz tutma verimi atalet kuvveti etkisinin aksine partikül çapının küçülmesiyle artmaktadır [18].

Placek ve Peters (1980) [14] difüzyoforese etkisini incelemiştir. Elektro-statik alan etkisi ise bazı durumlarda ıslak ayırıcılarda verimi dahada artırmak amacıyla kullanılabilir. Yoğuşma etkisinde belirli miktarda ıslak ayırıcının toz tutma verimini iyileştirebilir. Bu etki daha çok ıslak ayırıcıdaki gaz akışı esnasında su buharının toz partiküller üzerinde yoğuşması ve partikül çapını büyülterek onların daha kolay ayrıştırılmasını sağlamak şeklinde ortaya çıkmaktadır.



| $d_p$ | $v_p$                               |
|-------|-------------------------------------|
| x     | $25 \mu\text{m}$   $10 \text{ m/s}$ |
| △     | $25 \mu\text{m}$   $20 \text{ m/s}$ |
| ▽     | $20 \mu\text{m}$   $10 \text{ m/s}$ |
| □     | $20 \mu\text{m}$   $20 \text{ m/s}$ |
| ◇     | $22 \mu\text{m}$   $10 \text{ m/s}$ |
| ▲     | $22 \mu\text{m}$   $20 \text{ m/s}$ |
| ■     | $12 \mu\text{m}$   $20 \text{ m/s}$ |
| —     | Korelasyon Eğrisi                   |
| ●     | Num. Simülasyon                     |
| ---   | Korelasyon Eğrisi                   |

Şekil 2. Deney ve Hesaba Dayalı Kollektör İzafi Tutma Verimi [16].



#### IV. SONUÇ

1  $\mu\text{m}$ 'den büyük toz partiküllerin tutulmasında iki toz tutma mekanizması etkin rol oynamaktadır: Bunlardan biri atalet kuvveti, diğeri ise akış-çizgisinde değme etkisidir. Islak ayırıcılarda (özellikle Waterloo tipi ıslak yıkayıcıda) türbülanslı difüzyon etkisi daha küçük mikro-partiküllerin ( $d_p < 1 \mu\text{m}$ ) ayrıştırılmasında önemli bir yer teşkil etmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] E. Weber ve W. Brocke, "Apparate und Verfahren der industriellen Gasreinigung. Band 1: Feststoffabscheidung", R. Oldenburg-Verlag, München-Wien, 1972.
- [2] R.A. Corbitt, "Standard Handbook of Environmental Engineering", McGraw-Hill, Inc., ABD, 1989.
- [3] R.H. Perry ve D.W. Green, "Perry's Chemical Engineers' Handbook", 6<sup>th</sup> Ed., McGraw-Hill, Inc, 1984.
- [4] S. Calvert, J. Goldschmidt, D. Leicht ve D. Mehta, "Wet Scrubber System Study, Vol. I: Scrubber Handbook", NTIS, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., ABD, 1972.
- [5] VDI Richtlinie: Naßarbeitende Abscheider. "Handbuch Reinhaltung der Luft", VDI 3679, Band 6, 1980.
- [6] R.H. Boll, "Particle Collection and Pressure Drop in Venturi Scrubbers", *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, Vol. 12, No. 1, pp 40-50, 1973.
- [7] S. Calvert, "Venturi and Other Atomizing Scrubbers Efficiency and Pressure Drop", *AIChE Journal*. Vol. 16, No. 3, pp 392-396, 1970.
- [8] G. Dau, "Berechnung des Abscheidegrades von Venturi-Naßentstaubern", Dissertation, Universität Kaiserslautern, Almanya, 1977.
- [9] D.D. Degani ve G.I. Tardos, "Inertial Deposition of Small Particles On a Sphere at Intermediate and High Reynolds Numbers: A Time Dependent Study", *JAPCA*, Vol. 31, No. 9, pp 981-986, 1981.
- [10] W. Sell, "Staubabscheidung an einfachen Körpern in Luftfiltern", *VDI-Forschungsheft*, Nr.347,1931.
- [11] S.W. Behie ve J.M. Beeckmans, "On the Efficiency of a Venturi Scrubber", *The Canadian J. of Chemical Engineering*, 51, pp 430-433, 1973.
- [12] G. Schuh, "Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Auslegung von Naßabscheidern", Dissertation, Universität Karlsruhe, Almanya, 1978.
- [13] M. Beizae ve C. Tien, "Particle Deposition on a Single Spherical Collector: A Three Dimensional Trajectory Calculation", *The Canadian J. of Chemical Engineering*, 58, pp 12-24, 1980.
- [14] T.D. Placek ve L.K. Peters, "A Hydrodynamic Approach to Particle Target Efficiency in the Presence of Diffusiophoresis", *J. Aerosol Sci.*, 11, pp 521-533, 1980.
- [15] N.A. Fuchs, "The Mechanics of Aerosols", Pergamon Press, 1964.
- [16] A. Hahn, "Über die numerische Simulation der instationären Umströmung einer Kugel im Plattenkanal und der Partikelabscheidung an der Kugel bei mittleren bis hohen Reynoldszahlen", Dissertation, Universität Kaiserslautern, Almanya, 1992.
- [17] F. Hähner, "Interner Bericht über die Partikelabscheidung am Kugelkollektor", Universität Kaiserslautern, Almanya, 1992.
- [18] T. Gemci, "Partikelabscheidung in Naßentstaubern unter Berücksichtigung von Wärme- und Stoffaustauschvorgängen", Dissertation, Universität Kaiserslautern, Almanya, 1993.