



**T.C.**  
**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**  
**TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ**  
**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**  
**BÖLÜMÜ**

**AKIŞKANLAR MEKANİĞİ LABORATUVARI**

**SU JETİ DENEYİ FÖYÜ**

## 1. GENEL BİLGİLER

Akışkan hareketi sonucu kuvvet oluşması bilinen bir durumdur. Örnek olarak, bir yoldaki molozun su etkisiyle temizlenmesi için bu etkiden yararlanılır. Endüstriyel olarak bakıldığında bu etki, yüksek hızlı akışkan kullanarak temizleme ve kabuk giderme amacıyla kullanılmaktadır. Endüstriyel uygulamalara örnek teşkil edecek olan kereste ve kaya kesimi, sıvı basıncının yeterince yüksek olması durumunda mümkün olabilmektedir. Bütün bunlar sıvının serbest püskürtülmesi (jet) ile güç üretilen örneklerdir. Su jeti, sıvının atmosfer basıncında yüksek hızda gönderilmesi olarak tarif edilmektedir. Basınç altındaki akışkan bir lüleden geçirilirse hızı artar. Bu jet akımı bir türbin kanadına çarptırılırsa, türbin şaftını döndürür dolayısıyla suyun enerjisinden mekanik iş elde edilmiş olur. Yüksek hızlı akışkan istenilen geometrideki yüzeye çarptırıldığında akış yönünün değişmesine ve bu yön değişimi ise kuvvet oluşmasına neden olur. Böylece ortaya çıkan kuvvet yukarıda bahsedilen yöntemlerde olduğu gibi yararlı hale getirilir.

## 2. DENEYİN AMACI

Akışkanlar mekaniğinde su jetinin oluşturduğu momentum miktarının, karşı ağırlıklar kullanılarak teori ile uygunluğunun kanıtlanması amaçlanmıştır. Yapılacak olan deneylerde su jeti farklı geometrideki yüzeylere çarptırılarak meydana gelecek olan kuvvet lineer momentum analizi ve karşı ağırlık kullanılarak hesaplanmaya çalışılacaktır.

## 3. TEORİ

### 3. 1. Doğrusal Momentum Denklemi

Atmosferik basınç altında serbest akışlı akışkan jeti, hızının şiddetinde ve yönünde değişmelere neden olan bir kuvvet oluşturmaktadır. Bu kuvvete neden olan etki ilk olarak Newton tarafından tespit edildiğinden onun ismiyle anılmaktadır ve o kuvvet cismin hızının değişmesiyle değişir.  $m$  kütlesine sahip ve  $\vec{F}$  net kuvvetine maruz bir sistem için Newton'un II. yasası,

$$\Sigma \vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada  $m\vec{v}$  sistemin doğrusal momentumudur. Sistemin içinde hem yoğunluğun hem de hızın bir noktadan diğerine değişebileceği dikkate alınarak, Newton' un II. yasası daha genel olarak,

$$\Sigma \vec{F} = \frac{d}{dt} \int \rho \vec{v} dV_{sistem} \quad (2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada  $\delta m = \rho dV$ ,  $dV$  diferansiyel hacim elemanının kütlesi,  $\rho \vec{v} dV$  ise onun momentumudur. Böylece Newton'un II. yasası; *bir sisteme etkiyen dış kuvvetlerin toplamı, sistemin doğrusal momentumunun birim zamandaki değişimine (veya değişim hızına) eşittir* şeklinde de ifade edilebilir. 2 numaralı denklem, belirli bir katı ya da akışkan kütlesi için yazılmıştır ve akışkanlar mekaniğindeki kullanımı sınırlıdır. Bunun nedeni, akış sistemlerinin çoğunun, kontrol hacimleri kullanılarak analiz edilmesidir.

Akışkanlar mekaniğinde, kontrol hacimleriyle (KH) çalışmak daha uygundur ve bu yüzden kontrol hacmindeki değişimler ile sistemdeki değişimler arasında bir bağlantı kurmak gerekir. Bir yaygın özelliğin bir sistem için ve bir kontrol hacmi için birim zamandaki değişimleri arasındaki ilişki, 3 numaralı denklemle tarif edilen Reynolds Transport Teoremi (RTT) ile ifade edilir. RTT, sistem ile kontrol hacmi yaklaşımları arasında bir bağ oluşturur. RTT adını, RTT' nin akışkanlar mekaniğindeki uygulamasının iletirmek için çok emek harcayan İngiliz mühendis Osborne Reynolds'dan (1842-1912) almıştır.

$$\frac{dB_{sis}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{KH} \rho b dV + \int_{KH} \rho b (\vec{v}_b \cdot \vec{n}) dA \quad (3)$$

Bu denklemde  $B = m\vec{v}$  ve  $b = \vec{v}$  olacak şekilde düzenlenirse; sabit, hareketli ya da şekil değiştiren kontrol hacimleri için doğrusal momentum denkleminin genel hali,

$$\Sigma \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{KH} \rho \vec{v} dV + \int_{KY} \rho \vec{v} (\vec{v}_b \cdot \vec{n}) dA \quad (4)$$

olarak ifade edilir. Bunu kelimelerle ifade etmek gerekirse,

[Bir KH' ye etkiyen tüm dış kuvvetlerin toplamı] = [KH içeriğinin doğrusal momentumunun değişim hızı] + [Kütle akışı yoluyla kontrol yüzeyinden (KY) çıkan net doğrusal momentum debisi] şeklinde yazılabilir.

Burada  $\vec{V}_b = \vec{V} - \vec{V}_{KY}$ , akışkanın kontrol yüzeyine göre bağıl hızıdır (akışkanın kontrol yüzeyini geçtiği her yerde kütleli debinin hesaplanmasında kullanılır) ve  $\vec{V}$  sabit referans koordinat sistemine göre akışkan hızıdır.  $\rho(\vec{V}_b \cdot \vec{n})dA$  çarpımı,  $dA$  alan elemanından kontrol hacmine giren veya çıkan kütleli debiyi temsil eder. Sabit bir kontrol hacmi için (kontrol hacmi hareketsiz ve şekil değiştirmiyor)  $\vec{V}_b = \vec{V}$  dir ve bu durumda doğrusal momentum denklemi;

$$\Sigma \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{KH} \rho \vec{V} dV + \int_{KY} \rho \vec{V} (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA \quad \text{olarak ifade edilir.} \quad (5)$$

Daimi akış şartlarında kontrol hacminin momentumu sabit kalır ve böylece kontrol hacminin doğrusal momentumunun zamanla değişimi sıfır olur. Denklem aşağıdaki hale gelir.

$$\Sigma \vec{F} = \int_{KY} \rho \vec{V} (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA \quad (6)$$

Yoğunluğun ( $\rho$ ) yaklaşık olarak sabit alınması durumunda, giriş ya da çıkış kesitinden kontrol hacmine giren ya da çıkan kütleli debi şu şekilde ifade edilebilir.

$$\int_{A_c} \rho (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA_c = \rho V_{ort} A_c \quad (7)$$

Üniform giriş ya da çıkışta momentum debisi şu şekilde tarif edilebilir.

$$\int_{A_c} \rho (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA_c = \rho V_{ort} A_c \vec{V}_{ort} = \dot{m} \vec{V}_{ort} \quad (8)$$

Mühendislik uygulamalarındaki giriş ve çıkışların çoğundaki hızlar ne yazık ki üniform değildir. Bununla beraber, 5 numaralı denklemdeki kontrol yüzeyi integrallerinin cebirsel hale dönüştürülebileceği görülür. Fakat bu işlem için **momentum akısı düzeltme faktörü ( $\beta$ )** olarak adlandırılan bir boyutsuz düzeltme faktörünün kullanılması gerekir. Bu durumda 5 numaralı denklem sabit bir kontrol hacmi için ve her bir giriş ve çıkış için farklı bir değer alan momentum akısı düzeltme faktörü kullanılarak,

$$\Sigma \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{KH} \rho \vec{V} dV + \Sigma_{çıkan} \beta \dot{m} \vec{V}_{ort} - \Sigma_{giren} \beta \dot{m} \vec{V}_{ort} \quad (9)$$

şeklinde yazılabilir. Giriş ve çıkıştaki akışın üniform olması halinde ise momentum akısı düzeltme faktörü olan  $\beta$  1'e eşit olarak kabul edilir. Genel olarak bu değer her zaman 1' den büyüktür.

Momentum akısı düzeltme faktörü şu şekilde tarif edilir.

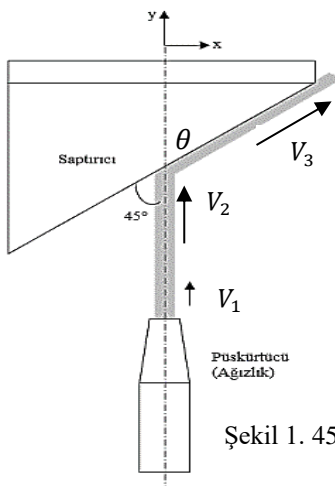
$$\beta = \frac{1}{A_c} \int_{A_c} \left( \frac{V}{V_{ort}} \right)^2 dA_c \quad (10)$$

Bir giriş ve çıkışlı üniform daimi akış şartları altında doğrusal momentum denklemi,

$$\Sigma \vec{F} = \Sigma_{çıkan} \dot{m} \vec{V} - \Sigma_{giren} \dot{m} \vec{V} \quad (11)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu denklem, daimi akışta kontrol hacmine etkiyen net kuvvetin, çıkan ve giren momentum akışlarının hızları arasındaki farka eşit olduğunu ifade etmektedir.

### 3. 2. 45° lik plakaya çarpan su jeti



Şekil 1' deki püskürtücü ağızdan (lüleden) çıkan  $V_1$  hızındaki su jeti, 45° lik eğimli bir plakaya  $V_2$  hızıyla çarpmakta ve sistemi  $V_3$  hızıyla terk etmektedir. Lüle çıkışında suyun akışı daimidir. Su jeti atmosfere açıktır. Dolayısıyla su jetinin ve dağılarak kontrol hacmini terk eden suyun basıncı da atmosferik basınca eşittir. Atmosferik basınç tüm sisteme etkidiği için ihmal edilebilir.

x yönündeki lineer momentumun korunumu dikkate alınır,

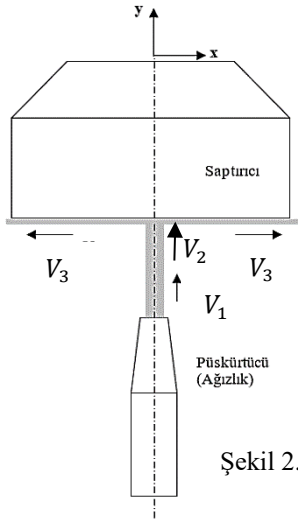
$$\Sigma F_x = \dot{m} (V_3 \sin \theta - 0) \quad (12)$$

y yönündeki lineer momentumun korunumu dikkate alınır,

Şekil 1. 45° lik plakaya çarpan su jeti

$$\Sigma F_y = \dot{m} (V_3 \cos \theta - V_2) \quad (13)$$

### 3. 3. 90° lik plakaya çarpan su jeti



Şekil 2' deki püskürtücü ağızdan (lülleden) çıkan  $V_1$  hızındaki su jeti,  $90^\circ$  lik eğimli bir plakaya  $V_2$  hızıyla çarpmakta ve sistemi  $V_3$  hızında  $+y$  ve  $-y$  yönlerinde terk etmektedir. Lüle çıkışında suyun akışı daimidir. Su jeti atmosfere açıktır. Dolayısıyla su jetinin ve dağılarak kontrol hacmini terk eden suyun basıncı da atmosferik basınca eşittir. Atmosferik basınç tüm sisteme etkidiği için ihmal edilebilir.

x yönündeki lineer momentumun korunumu dikkate alınır,

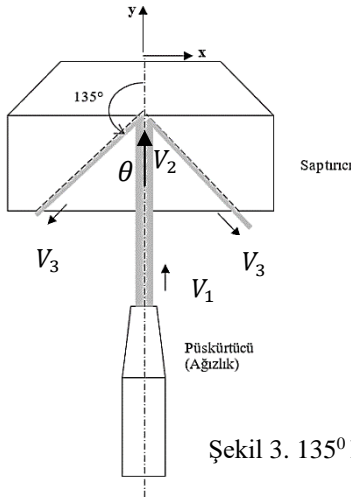
$$\Sigma F_x = \dot{m} (V_3 - 0) \quad (14)$$

y yönündeki lineer momentumun korunumu dikkate alınır,

$$\Sigma F_y = \dot{m} (0 - V_2) \quad (15)$$

Şekil 2.  $90^\circ$  lik plakaya çarpan su jeti

### 3. 4. $135^\circ$ lik plakaya çarpan su jeti



Şekil 3' deki püskürtücü ağızdan (lülleden) çıkan  $V_1$  hızındaki su jeti,  $135^\circ$  lik eğimli bir plakaya  $V_2$  hızıyla çarpmakta ve sistemi  $V_3$  hızında x eksenine açı yapacak şekilde terk etmektedir. Lüle çıkışında suyun akışı daimidir. Su jeti atmosfere açıktır. Dolayısıyla su jetinin ve dağılarak kontrol hacmini terk eden suyun basıncı da atmosferik basınca eşittir. Atmosferik basınç tüm sisteme etkidiği için ihmal edilebilir.

x yönündeki lineer momentumun korunumu dikkate alınır,

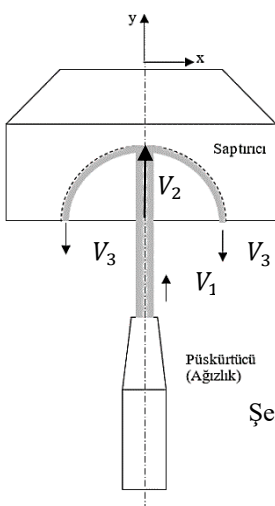
$$\Sigma F_x = \dot{m} (V_3 \sin \theta - 0) \quad (16)$$

y yönündeki lineer momentumun korunumu dikkate alınır,

$$\Sigma F_y = \dot{m} ((-V_3 \cos \theta) - V_2) \quad (17)$$

Şekil 3.  $135^\circ$  lik plakaya çarpan su jeti

### 3. 5. $180^\circ$ lik plakaya çarpan su jeti



Şekil 4' deki püskürtücü ağızdan (lülleden) çıkan  $V_1$  hızındaki su jeti,  $180^\circ$  lik eğimli bir plakaya  $V_2$  hızıyla çarpmakta ve sistemi  $V_3$  hızında y eksenine yönünde terk etmektedir. Lüle çıkışında suyun akışı daimidir. Su jeti atmosfere açıktır. Dolayısıyla su jetinin ve dağılarak kontrol hacmini terk eden suyun basıncı da atmosferik basınca eşittir. Atmosferik basınç tüm sisteme etkidiği için ihmal edilebilir.

x yönünde herhangi bir hız bileşeni olmadığı için momentum oluşmaz.

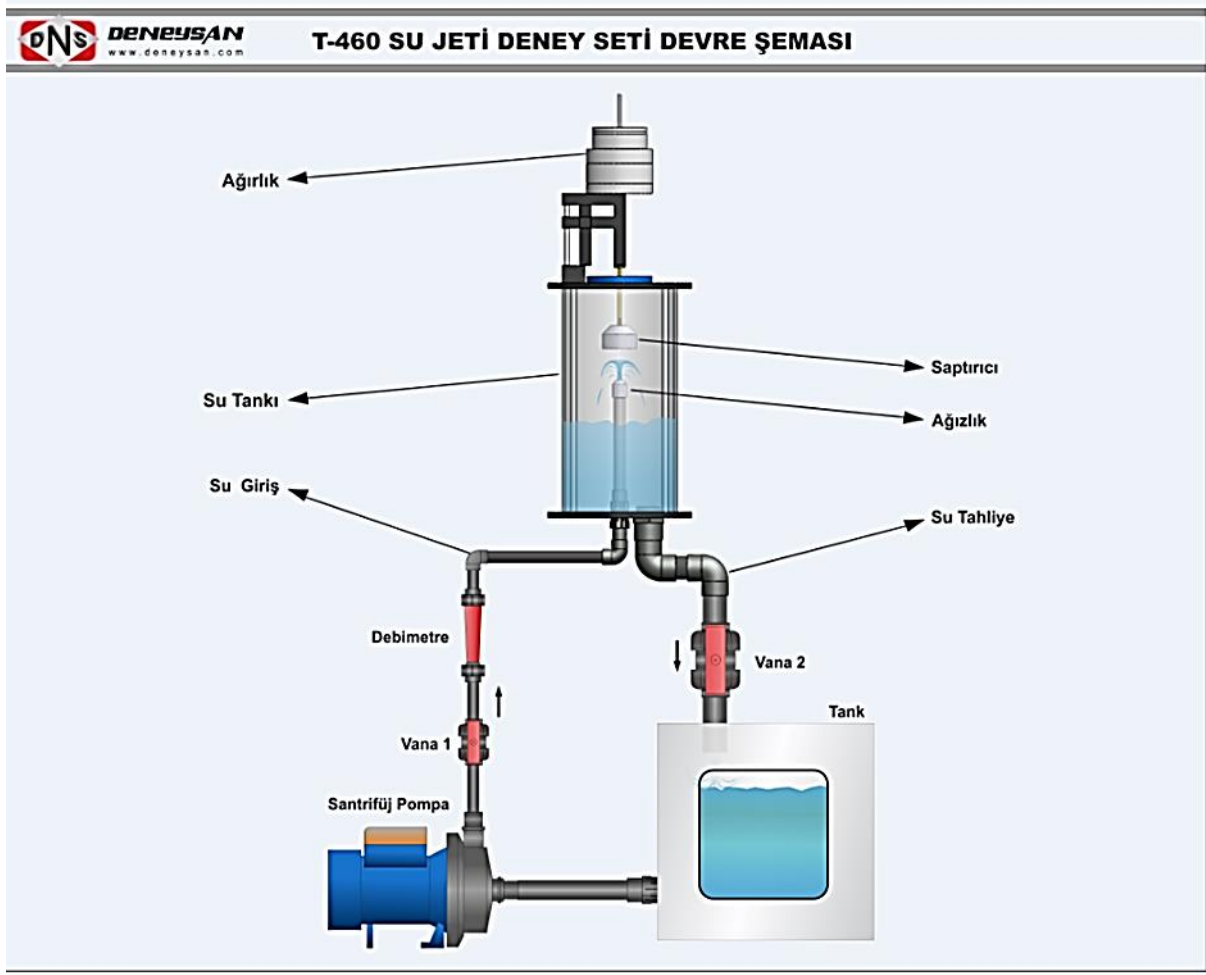
y yönündeki lineer momentumun korunumu dikkate alınır,

$$\Sigma F_y = \dot{m} ((-V_3) - V_2) \quad (18)$$

Şekil 4.  $180^\circ$  lik plakaya çarpan su jeti

#### 4. DENEY DÜZENEGİ

Su jeti deneyinde kullanılacak olan deney düzeneğine ait şematik görünüm aşağıdaki gibidir. Saydam bir cam kap içine yerleştirilmiş su jeti üzerine farklı geometrilerde hedefler konabilmektedir. Bu hedeflerin bağlı olduğu mil üzerine kap üzerinde farklı ağırlıklar konularak etki-tepki kuvvetleri ölçülmektedir. Lüle girişindeki vana yardımıyla su hızı yani sisteme giren akışkanın debisi ayarlanmaktadır.



Kullanılan deney tesisatı, şeffaf silindirik kap içine dikey olarak yerleştirilmiş ucu konik bir su borusundan oluşmaktadır. Deneyde test edilecek levha şeklindeki katı yüzey parçaları, su jetinin tam üzerinde, bir ucu döner mesnetli, bir yay ile desteklenmiş ve üzerinde kayar bir kütle bulunan ölçekli bir kirişe bağlı olarak bulunmaktadır. Silindirik kabın tabanında, suyun ölçme tankına aktarıldığı bir delik vardır. Bir katı yüzeye çarparak yön değiştiren su jetinin momentumu ile etkidiği kuvvet arasındaki ilişki deneysel olarak test edilebilmektedir. Mevcut deney tesisatı kullanılarak,

- 180° yarı silindirik hedef ile momentum deneyi,
- 135° konik hedef ile momentum deneyi,
- 90° hedef ile momentum deneyi,
- 45° hedef ile momentum deneyi,

olmak üzere dört adet başlıca momentum deneyi yapılabilmektedir.

Deney düzeneğinde rotametre tipi debimetre, farklı karşı ağırlıklar, PVC vana ile jet akış hızı kontrolü, şeffaf ana gövde ve su jeti çıkış kesitinin 6mm, 8mm ve 10mm boyutlarında değiştirilebilir lüle uçları bulunmaktadır. Farklı lüle çapının su jetinin oluşturduğu kuvvete olan etkisi de incelenebilmektedir.

## 5. DENEYİN YAPILIŞI

Su jeti deney düzeneği ile farklı çaplardaki lüle ve farklı geometrilerdeki saptırıcı yüzey kullanarak lineer momentumun korunumu deneyi yapılacaktır. Karşı cisimler (denge ağırlığı) ile su jetinin oluşturduğu kuvvet hesaplanacak ve meydana gelen momentum değişiminin uygunluğu araştırılacaktır. Bu deneyler için izlenecek olan adımlar aşağıdaki gibidir:

- 1) Kontrol paneli üzerinden ana şalter açılır. (Sigorta, kaçak akım rölesi ve acil stop butonu kontrol edilir.)
- 2) Su jetine 6mm çapındaki ağırlık (lüle) ve su jetinin çarpacağı yüzeye düz şekilli saptırıcı yüzey bağlanır.
- 3) Kontrol paneli üzerinden pompa çalıştırılır.
- 4) Lüleden çıkan suyun çarptığı yüzeyin bağlı olduğu mafsalın üzerinde bulunan karşı cisimlerin (denge kütlesi) kütlesi not edilir
- 5) Sisteme giren suyun debisi, su jetinin uyguladığı kuvveti dengeleyecek olan karşı cisimlerin uyguladığı kuvvet dikkate alınarak rotametre girişindeki vanadan ayarlanır.
- 6) Rotametre üzerindeki debi değeri not edilir.
- 7) Elde edilen veriler ile teori kısmında ifade edilen lineer momentum denklemlerini kullanarak her iki x ve y koordinat eksenlerinde oluşan kuvvetler ve hız ifadeleri hesaplanır.
- 8) Deney tesisatının su jeti püskürtücüsüne sırasıyla 8mm ve 10mm çaplarındaki ağırlıklar takılarak yukarıdaki işlemler tekrar edilir.
- 9) Deney tesisatındaki püskürtücü uç değişimi ile birlikte saptırıcı geometrisini de değiştirerek gerekli hesaplamalar tekrarlanır.

**Lüleden çıkan su jeti hızının  $V_1$  (m/s) hesaplanması:**

$$\dot{Q} = A \cdot V_1 = \frac{\pi D^2}{4} \cdot V_1 \quad (19)$$

$$V_1 = \frac{4\dot{Q}}{\pi D^2} \quad (20)$$

**Lüleden geçerek meydana gelen su jetinin yüzeye çarptığı andaki hızının  $V_2$  (m/s) hesaplanması:**

1-2 noktaları arasında Bernoulli teoremi yazılırsa;

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \sum \text{kayıplar}, \quad (21)$$

$$P_1 = P_2 = P_{atm} = 0, z_1 = 0 \text{ ve } z_2 = 8\text{cm kabul edilirse}, \quad (22)$$

$$\frac{V_2^2}{2g} = \frac{V_1^2}{2g} - z_2 \quad (23)$$

$$V_2^2 = V_1^2 - 2gz_2 \quad (24)$$

$z_2$ : Lüle çıkışı ile su jetinin yüzeye temas ettiği ilk nokta arasındaki mesafe (m)

$g$ : Yer çekimi ivmesi ( $m/s^2$ )

**Karşı cisimlerin uyguladığı kuvvetin (N) hesaplanması:**

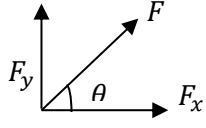
$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{g} \quad (25)$$

**Su jetinin uyguladığı bileşke kuvvetin (N) hesaplanması:**

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (26)$$

$F_x$ : x ekseninde oluşan kuvvet,  $F_y$ : y ekseninde oluşan kuvvet,

**Su jetinin uyguladığı bileşke kuvvetin uygulama noktasının (yönünün bulunması:**



$$\tan \theta = \frac{F_y}{F_x}, \quad \theta = \tan^{-1} \frac{F_y}{F_x} \quad (27)$$

## 6. DENEY RAPORUNDA İSTENENLER

1. Deneyin amacını ve yapılışını kısaca tarif ediniz.
2. Deneyde ölçülen tüm değerleri tablo halinde gösteriniz.
3. Farklı çapa sahip lülelerden geçen akışkanın hızını hesaplayınız.
4. Farklı çapa sahip lülelerden geçen akışkanın yüzeylere çarpma hızını hesaplayınız.
5. Karşı kütle ile akışkanın oluşturduğu momentumları hesaplayarak karşılaştırınız.
6. Lüle çapı ile dengeleyici kuvvetin değişimini grafik çizerek yorumlayınız.
7. Deneyi ve elde edilen sonuçları yorumlayınız.

