

İ.T.Ü İNŞAAT FAKÜLTESİ - HİDROLİK DERSİ

Model Benzeşimi

Model benzeşimi, fiziksel bir olayın laboratuvarında yapılan benzerine o olayın *fiziksel modeli* denir.

Geometrik benzeşim, model ve prototipte birbirine karşı gelen uzunluklar arasında sabit bir oran olmasıdır.

Kinematik benzeşim, model ve prototipte birbirine karşı gelen noktalardaki kinematik büyüklükler (hızlar, ivme,zaman,..) arasında sabit bir oran olmasıdır.

Dinamik benzeşim, model ve prototipte birbirine karşı gelen noktalardaki dinamik büyüklükler (kuvvet,..) arasında sabit bir oran olmasıdır.

Model benzeşiminde kullanılan boyutsuz sayılar

Adı	Bağıntı	Oranlanan Kuvvetler	
Froude	$\frac{V^2}{gL}$	Ağırlık Kuv. / Atalet Kuv.	Serbest yüzeyle akımlar; akarsu akımları, dolu savak, yüzen cisimlerin etrafındaki dalgalı akımlar
Reynolds	$\frac{V.L}{\nu}$	Viskoz Kuv. / Atalet Kuv.	Basıncılı boru akımları, denizaltı hareketleri, batık bir cisim etrafındaki harici akımlar
Euler	$\frac{\rho V^2}{p}$	Basınc Kuv. / Atalet Kuv.	Basınc ve basınc farkının önemli olduğu problemler
Mach			Sıkışabilir akışkan akımı problemlerinde
Cauchy	$\frac{\rho V^2}{E}$	Elastisite Kuv. / Atalet Kuv.	Sıkışabilir akışkan akımı problemlerinde
Strouhal			Karakteristik salınım frekansına sahip kararsız akımlar
Weber	$\frac{\rho L V^2}{\sigma}$	Yüzeysel Gerilme Kuv. / Atalet Kuv.	Yüzey geriliminin önem kazandığı problemlerde

Su mühendisliğinde en çok kullanılan Reynolds ve Froude modelleri şeklindeki ayırımı neden gerek duyulmuştur ?

$L_r = 1$ olmadıkça yani prototiple model aynı ölçekte yapılmadıkça vizkozite ve ağırlık kuvvetleri aynı anda modelde gerçekleştirilememektedir.

Reynolds benzeşimi:

$$\boxed{\frac{V_r L_r}{\nu_r} = 1}, \nu_r = 1 \text{ ise } V_r L_r = 1 \rightarrow V_r = \frac{1}{L_r} \quad \text{“ Hız ölçeği ”}$$

$$V_r = \frac{L_r}{T_r} \rightarrow T_r = \frac{L_r}{V_r} = \frac{L_r}{\frac{1}{L_r}} \rightarrow T_r = L_r^2 \quad \text{“ Zaman ölçeği ”}$$

$$a_r = \frac{L_r}{T_r^2} = \frac{L_r}{L_r^4} = \frac{1}{L_r^3} \quad \text{“ ivme ölçeği ”}$$

$$Q_r = \frac{L_r^3}{T_r} = \frac{L_r^3}{L_r^2} = L_r \quad \text{“ debi ölçęęi “}$$

$$F_r = M_r \cdot a_r = \rho_r L_r^3 \frac{1}{L_r^3} = \rho_r \quad \text{“ kuvvet ölçęęi “}$$

Froude benzeşimi :

$$\frac{V_r^2}{g_r L_r} = 1 \rightarrow g_r = 1 \text{ ise } V_r^2 = L_r \rightarrow V_r = \sqrt{L_r} \quad \text{“ Hız ölçęęi “}$$

$$V_r = \frac{L_r}{T_r} \rightarrow T_r = \frac{L_r}{V_r} = \frac{L_r}{\sqrt{L_r}} = \sqrt{L_r} \rightarrow \text{“ Zaman ölçęęi ”}$$

$$a_r = \frac{L_r}{T_r^2} = \frac{L_r}{L_r} = 1 \quad \text{“ ivme ölçęęi “}$$

$$Q_r = \frac{L_r^3}{T_r} = \frac{L_r^3}{\sqrt{L_r}} = L_r^{5/2} \quad \text{“ debi ölçęęi “}$$

$$F_r = M_r \cdot a_r = \rho_r L_r^3 \cdot 1, \quad \rho_r = 1 \text{ ise } \rightarrow F_r = L_r^3 \quad \text{“ kuvvet ölçęęi “}$$



Model benzeşiminde Reynolds ve Froude benzeřimleri aynı anda gerçeklenebilir mi?

$$\text{Reynolds Modeli : } \frac{V_r \cdot L_r}{\nu_r} = 1, \text{ aynı akışkan kullanılır ise } \nu_r = 1, \quad V_r = \frac{1}{L_r}$$

$$\text{Froude Modeli : } \frac{V_r^2}{g_r L_r} = 1 \rightarrow g_r = 1 \text{ ise } V_r^2 = L_r \rightarrow V_r = \sqrt{L_r}$$

Reynolds modeli için elde edilen hız ölçęęi Froude modeli için elde edilen hız ölçęęi ifadesinde yerine yazılırsa ,

$$\frac{1}{L_r} = \sqrt{L_r} \rightarrow L_r^{3/2} = 1 \rightarrow L_r = 1$$

sonuç olarak iki denklemin aynı anda gerçeklenmesi modelin, prototiple aynı büyüklükte olması gerekmektedir. Dolayısıyla Reynolds ve Froude benzeşimi aynı anda gereklenmez.

1. **Soru** : 0.61 m, genişlikli bir kanala 1/25 ölçekli bir dolu savak modeli yapılmıştır. Dolu savak prototip yüksekliği 11.4 m ve tahmin edilen maksimum savak yükü 1.52 m. dir.

- Dolusavağın modeldeki yüksekliği ve savak yükü ne olur ?
- Modelde savak yükü 61 mm iken savaktan geçen debi 0.02 m³/s ise, dolusavağın prototipteki birim genişliğinden geçen debi ne olur ?
- Modelde 26 mm. lik bir hidrolik sıçrama gözlenmiştir. Bunun prototipteki karşılığını bulunuz.
- Modeldeki hidrolik sıçrama ile kırılan güç 112 W ise , bunun prototip eşdeğer nedir ?

Çözüm:

Model serbest yüzeyli akım sözkonusu olduğu için Froude modeli olarak kurulmuş olmalıdır.

$$L_r = 1 / 25$$

$$\text{modeldeki dolusavak yüksekliği : } H_m = L_r \cdot H_p = (1/25) \cdot 11.4 = 0.456 \text{ m}$$

$$\text{savak yükü : } h_m = L_r \cdot h_p = (1/25) \cdot 1.52 = 0.061 \text{ m}$$

Froude modelinde :

$$V_r = \sqrt{L_r} \quad \text{“ hız ölçeği “}$$

$$T_r = \sqrt{L_r} \quad \text{“ zaman ölçeği “}$$

$$Q_r = L_r^{5/2} \quad \text{“ debi ölçeği “}$$

Prototip debisi :

$$Q_p = Q_m / Q_r = 0.02 / (L_r)^{5/2} = (25)^{5/2} \cdot 0.02 = 62.50 \text{ m}^3/\text{s}$$

Prototip kret genişliği :

$$B_p = B_m / L_r = 0.61 / (1/25) = 15.25 \text{ m}$$

Prototip birim genişlik debisi :

$$q_p = Q_p / B_p = (62.50 / 15.25) = 4.1 \text{ m}^3/\text{s.m}$$

Prototipteki hidrolik sıçrama yüksekliği :

$$\Delta H_p = \Delta H_m / L_r = 0.026 / (1/25) = 0.65 \text{ m}$$

Prototipte hidrolik sıçrama sırasında kırılan enerji :

$$W_r = \frac{F_r L_r}{T_r} = \frac{m_r g_r L_r}{T_r} = \frac{\rho_r L_r^3 g_r L_r}{\sqrt{L_r}}$$

$$\rho_r \text{ ve } g_r = 1 \rightarrow W_r = \frac{L_r^4}{\sqrt{L_r}} = L_r^{7/2}$$

$$W_r = W_m / W_p \rightarrow W_p = W_m / W_r = 112 / (1/25)^{7/2} = 8750000 \text{ Watt} = 8.75 \text{ Mwatt}$$

2. **Soru** : Bir dalga kıran modelinde herbiri **1 kg_f** ağırlığında beton bloklar kullanılacaktır. Bu model dalga yüksekliği **0.30 m**. ‘yi aşmadıkça iyi sonuç vermiştir. Prototipte, modeldekinin geometrik ve hidrodinamik benzeri olan bir dalga için dalga yüksekliği **6 m**. iken, beton blokların ağırlığı ne olmalıdır ?

Çözüm :

$$G_m = 1 \text{ kg}_f ;$$

$$H_m = 0.30 \text{ m}$$

$$H_p = 6.0 \text{ m}$$

Serbest yüzeyli akım sözkonusu olması nedeniyle ağırlık kuvvetleri etkin Froude benzeşimi kullanılır.

$$\frac{V_r^2}{g_r L_r} = 1$$

$$V_r = \sqrt{L_r} \quad \text{“ hız ölçeği “}$$

$$T_r = \sqrt{L_r} \quad \text{“ zaman ölçeği “}$$

$$L_r = \frac{L_m}{L_p} = \frac{0.3}{6} = \frac{1}{20}$$

$$G_r = \rho_r \cdot \gamma_r = L_r^3 \cdot F_r \cdot L_r^{-3} = F_r = M_r \cdot L_r \cdot T_r^{-2}$$

$$G_r = (\rho_r \cdot L_r^3) \cdot L_r \cdot (L_r^{1/2})^{-2} = \rho_r \cdot L_r^3$$

Model ve prototipte aynı akışkan kullanılırsa , $\rho_r = 1$

$$G_r = G_m / G_p \rightarrow G_p = G_m / G_r = 1 / (1/ 8000) = 8000 \text{ kg}_f = 8 \text{ ton}$$

3. Soru : 2.0 m/s hızla tatlı suda hareket ettirilen 3.0 m uzunluğunda bir gemi modelinin ölçülen mukavemeti 4.40 kg_f bulunmuştur. Buna göre ;

- 45 m. uzunluğundaki prototipte hız ne olacaktır ?
- Prototipi tuzlu suda bu hızla hareket ettirmek için uygulanması gerekli kuvvetin değerini bulunuz.

Not : $\rho_{su} = 102 \text{ kg}_f \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$, $\rho_{deniz} = 105 \text{ kg}_f \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$

Çözüm :

Serbest yüzeyli akım sözkonusu olması nedeniyle ağırlık kuvvetleri etkin Froude benzeşimi kullanılır.

$$V_m = 2 \text{ m/s}$$

$$L_m = 3 \text{ m}$$

$$F_m = 4.4 \text{ kg}_f$$

- a) $L_p = 45 \text{ m}$, $V_p = ?$

$$\frac{V_r^2}{g_r L_r} = 1$$

$$V_r = \sqrt{L_r} \quad \text{“ hız ölçeği “}$$

$$T_r = \sqrt{L_r} \quad \text{“ zaman ölçeği “}$$

$$L_r = \frac{L_m}{L_p} = \frac{3}{45} = \frac{1}{15}$$

$$V_r = (L_r)^{1/2} = (1/15)^{1/2} = 0.2582$$

$$V_r = V_m / V_p \rightarrow V_p = V_m / V_r = 2 / 0.2582 = 7.75 \text{ m/s}$$

b)

$$F_r = M_r \cdot L_r \cdot T_r^{-2}$$

$$F_r = (\rho_r \cdot L_r^3) \cdot (L_r) \cdot (L_r^{1/2})^{-2} = \rho_r \cdot L_r^3$$

$$F_r = \frac{\rho_m}{\rho_p} \left(\frac{1}{15} \right)^3 = \frac{102}{105} \left(\frac{1}{15} \right)^3 = 2.88 \times 10^{-4}$$

$$F_r = F_m / F_p \rightarrow F_p = F_m / F_r = 4.4 / (2.88 \times 10^{-4}) = 15286.76 \text{ kg}_f = 15.29 \text{ ton}$$

4. **Soru** : Prototip debisi $Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$ olan bağlamadan suyun savaklanması incelenecektir.

a) 1/20 ölçekli modelde debi ne olmalıdır ?

b) Aynı modelde 3 m/s olarak ölçülen hıza prototipte hangi hız karşılık gelmektedir ?

Çözüm :

Serbest yüzeyli akım sözkonusu olması nedeniyle ağırlık kuvvetleri etkin Froude benzeşimi kullanılır.

a) $Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$, $L_r = 1 / 20$

$$\frac{V_r^2}{g_r L_r} = 1$$

$$V_r = \sqrt{L_r} \quad \text{“ hız ölçeği “}$$

$$T_r = \sqrt{L_r} \quad \text{“ zaman ölçeği “}$$

$$Q_r = \frac{L_r^3}{T_r} = \frac{L_r^3}{\sqrt{L_r}} = L_r^{5/2} \quad \text{“ debi ölçeği “}$$

$$\frac{Q_m}{Q_p} = L_r^{5/2} \rightarrow Q_m = Q_p \cdot L_r^{5/2} = (150) (1/20)^{5/2} = 0.08385 \text{ m}^3/\text{s} = 83.85 \text{ lt/s}$$

b)

$$V_r = L_r^{1/2} = V_m / V_p$$

$$V_p = V_m / L_r^{1/2} = 3 / (1/20)^{1/2} = 13.416 \text{ m/s}$$

5. **Soru** : Basınçlı bir boru akımında borudan geçirilen debi $Q=10$ lt/s, borunun iç çapı $D_p=100$ mm, boru boyu 100 m dir. Borudaki akışkan viskoz bir akışkan olup bunun 1/4 ölçeğinde bir modeli yapılacaktır. Hidrodinamik benzeşim için:

- Modelin debisi ne olmalıdır?
- Modeldeki akımın hızı ne olmalıdır?
- Modeldeki ve prototipteki akımların rejimlerini belirleyiniz.
($v=2.5 \times 10^{-4}$ m²/s)

Basınçlı akım Reynolds benzeşimi kullanılacaktır.

$$\boxed{\frac{V_r L_r}{v_r} = 1} \quad , v_r = 1 \quad \text{ise} \quad V_r L_r = 1 \rightarrow V_r = \frac{1}{L_r} \quad \text{“ Hız ölçeği ”}$$

$$V_r = \frac{L_r}{T_r} \rightarrow T_r = \frac{L_r}{V_r} = \frac{L_r}{\frac{1}{L_r}} \rightarrow T_r = L_r^2 \quad \text{“ Zaman ölçeği ”}$$

$$\text{a)} \quad Q_r = \frac{L_r^3}{T_r} = \frac{L_r^3}{L_r^2} = L_r \quad \text{“ debi ölçeği ”}$$

$$Q_m = Q_p \cdot L_r = 10 \times (1/4) = 2.5 \text{ lt/s}$$

$$\text{b)} \quad V_r = \frac{V_m}{V_p} = \frac{1}{L_r}$$

$$Q_p = V_p \cdot A_p \rightarrow V_p = Q_p / A_p = \frac{0.010}{\frac{\pi \cdot 0.10^2}{4}} = 1.273 \text{ m/s}$$

$$V_m = 1.273 / (1/4) = 5.09 \text{ m/s}$$

$$\text{c)} \quad (N_{Re})_p = \frac{V_p D_p}{v_p} = (1.273 \times 0.10) / (2.5 \times 10^{-4}) = 509.2 < 2000 \text{ Akım laminar}$$

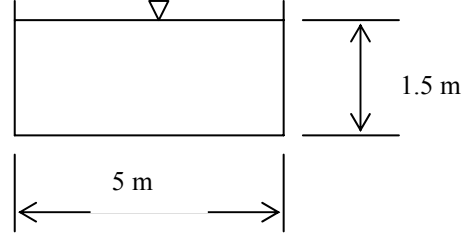
$$(N_{Re})_m = \frac{V_m D_m}{v_m} = (5.09 \times 0.025) / (2.5 \times 10^{-4}) \cong 509.2 < 2000 \text{ Akım laminar}$$

$$D_m = L_r \cdot D_p = (1/4) \times 100 = 25 \text{ mm} = 2.5 \text{ cm}$$

6. Soru : Bir serbest yüzeyli akımda $v_p=2$ m/s'dir. Bu akımın oluştuğu kanalın 1/25 ölçekli modeli yapılacaktır.

- Modele ait debi ve zaman ölçeklerini
- Modeldeki basınç kuvveti ölçümünün prototipe nasıl geçileceğini belirtiniz.

Kanal enkesiti:



Serbest yüzeyli akım, Froude benzeşimi kullanılacaktır.

$$a) \quad (Fr)_m = (Fr)_p$$

$$\boxed{\frac{V_r^2}{g_r L_r} = 1} \quad g_r = 1$$

$$V_r = \sqrt{L_r} \quad \text{“ hız ölçeği “}$$

$$T_r = \sqrt{L_r} \quad \text{“ zaman ölçeği “}$$

$$T_r = (1/25)^{1/2} = 1/5$$

$$T_m = \frac{T_p}{5}$$

$$Q_r = \frac{L_r^3}{T_r} = \frac{L_r^3}{\sqrt{L_r}} = L_r^{5/2} = \frac{1}{3125} \quad \text{“ debi ölçeği “}$$

$$Q_m = \frac{Q_p}{3125}$$

$$Q_p = V.A = 2 * 5 * 1.5 = 15 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) P : Basınç kuvveti : F

$$F_r = M_r \cdot L_r \cdot T_r^{-2}$$

$$F_r = (\rho_r \cdot L_r^3) \cdot L_r \cdot (L_r^{1/2})^{-2} = \rho_r \cdot L_r^3$$

Model ve prototipte aynı akışkan kullanılırsa , $\rho_r = 1$

$$F_r = P_r = L_r^3 = (1/25) = 1/15625$$

$$F_m = \left(\frac{1}{15625} \right) F_p$$

7. **Soru** : Bir venturimetre prototipinde $Q = 0.120 \text{ m}^3/\text{s}$, $D = 0.30 \text{ m}$, $v_{su}=1.4 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $\rho_{su} = 102 \text{ kg}_f \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ 'tür. Bu akımın 1/3 ölçeğinde dinamik benzeri yapılırken akışkan olarak $v_{hava}=15 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $\rho_{hava} = 0.13 \text{ kg}_f \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ olan hava kullanılacaktır. Hız, zaman, debi basınç ölçeklerini belirleyiniz

Cözüm:

Basıncılı akım olması nedeniyle Reynolds benzeşimi kullanılacaktır.

$$(N_{Re})_m = (N_{Re})_p$$

$$(N_{Re})_r = \frac{\mathbf{V}_r \mathbf{L}_r}{\mathbf{v}_r} = 1$$

$$\mathbf{V}_r = \frac{\mathbf{v}_r}{\mathbf{L}_r} = \frac{\mathbf{v}_p}{\frac{\mathbf{L}_m}{\mathbf{L}_p}} = \frac{1.4 \times 10^{-6}}{\frac{1}{3}} = 32.14$$

$$\mathbf{T}_r = \frac{\mathbf{L}_r}{\mathbf{V}_r} = \frac{1}{32.14} = 0.0104 =$$

$$Q_r = L_r^3 \cdot T_r^{-1} = \left(\frac{1}{3}\right)^3 \frac{1}{0.0104} = 3.571$$

$$P_r = M_r \cdot L_r \cdot T_r^{-2} = (\rho_r \cdot L_r^3) \cdot L_r \cdot T_r^{-2} = \frac{\rho_m}{\rho_p} L_r^4 \cdot T_r^{-2}$$

$$P_r = \frac{0.13}{102} \cdot (1/3)^4 \cdot (0.0104)^{-2} = 0.145$$

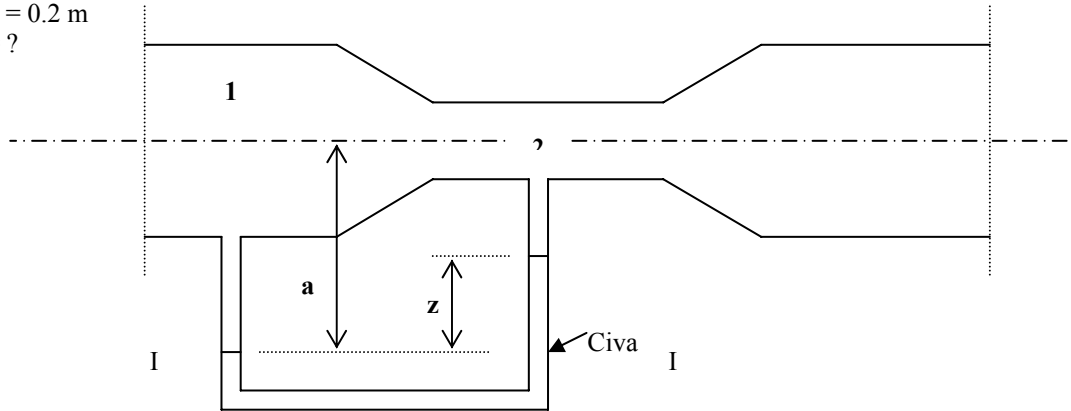
8. Soru : Şekildeki venturi sayacının 1 / 3 ölçeğinde modeli yapılacaktır. Modeldeki hız, debi ve basınç ölçeklerini belirleyiniz.

$$Q = 0.09 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_1 = 0.3 \text{ m}$$

$$D_2 = 0.2 \text{ m}$$

$$z = ?$$



I – I nivo yüzeyi :

$$p_1 + \gamma_{su} \cdot a = z \cdot \gamma_{civa} + (a + z) \gamma_{su} + p_2$$

$$p_1 - p_2 = z \cdot \gamma_{civa} + a \cdot \gamma_{su} - z \cdot \gamma_{su} - a \cdot \gamma_{su}$$

$$p_1 - p_2 = z (\gamma_{civa} - \gamma_{su})$$

$$z = \frac{p_1 - p_2}{\gamma_{civa} - \gamma_{su}}$$

1 – 2 noktaları arasında Enerji (Bernoulli) denklemini yazılırsa ;

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 \quad z_1 = z_2$$

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0.09}{\frac{\pi D_1^2}{4}} = 1.273 \text{ m/s}$$

$$V_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{0.09}{\frac{\pi D_2^2}{4}} = 2.864 \text{ m/s}$$

$$p_1 - p_2 = \gamma \left(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right) = 1.0 \left(\frac{2.864^2 - 1.273^2}{2g} \right) = 0.335 \text{ t/m}^2$$

$$z = \frac{0.335}{13.6 - 1.0} = 0.0266 \text{ m} = 2.66 \text{ cm}$$

Reynolds benzeşiminden ;

$$\boxed{\frac{V_r L_r}{v_r} = 1} , v_r = 1 \text{ ise } V_r \cdot L_r = 1 \rightarrow V_r = \frac{1}{L_r} = \frac{1}{\frac{1}{3}} = 3 \quad \text{“ Hız ölçęęi ”}$$

$$V_r = \frac{L_r}{T_r} \rightarrow T_r = \frac{L_r}{V_r} = \frac{L_r}{\frac{1}{L_r}} \rightarrow$$

$$T_r = L_r^2 = (1/3)^2 = 1/9 \quad \text{“ Zaman ölçęęi ”}$$

$$Q_r = \frac{L_r^3}{T_r} = \frac{L_r^3}{L_r^2} = L_r = \frac{1}{3} \quad \text{“ debi ölçęęi ”}$$

Basınç kuvveti ;

$$P_r = M_r \cdot L_r \cdot T_r^{-2} = (\rho_r \cdot L_r^3) \cdot L_r \cdot T_r^{-2} \quad (\rho_r = 1 , \text{ aynı akışkan kullanılıyor})$$

$$P_r = \frac{L_r^4}{T_r^2} = \frac{L_r^4}{L_r^4} = 1$$

Basınç gerilmesi ;

$$p_r = F_r \cdot L_r^{-2} = (M_r \cdot L_r \cdot T_r^{-2}) \cdot L_r^{-2} = (\rho_r \cdot L_r^3) \cdot L_r \cdot T_r^{-2} \cdot L_r^{-2}$$

$$p_r = \frac{L_r^2}{T_r^2} = \frac{L_r^2}{L_r^4} = \frac{1}{L_r^2} = \frac{1}{\left(\frac{1}{3}\right)^2} = 9$$

Ödev :

Hidrolik laboratuvarında 1/20 ölçekli olarak inşa edilen Kazandere Barajı dolu savak ve enerji kırıcı yapıları hidrolik modelinde aşağıda verilen büyüklüklerin modelde ölçülen değerlerini prototipe taşımak için gerekli olan ölçekleri belirleyiniz.

1. Uzunluk
2. Genişlik
3. Yükseklik
4. Hız
5. Zaman
6. Debi
7. Hacim
8. Ağırlık
9. Kütle

Baraj yerine ait aşağıda verilen karakteristiklerin modelde alacağı değerleri hesaplayınız.

Kazandere barajı karakteristik bilgileri

- Dere : Kazandere
- Baraj Tip : Zonlu Toprak Dolgu
- Baraj Yüksekliği : 20 m.
- Baraj Kret Kotu : 24 m.
- Baraj Kret Genişliği : 8 m.
- Dolu Savak Tipi : Yan savak
- Dolu Savak Genişliği : 100 m
- 25 Yıllık Taşkın Debisi : 250 m³/s
- 100 Yıllık Taşkın Debisi : 446 m³/s
- 1000 Yıllık Taşkın Debisi : 671 m³/s

Çözüm :

Serbest yüzeyli akım Froude benzeşimi kullanılacaktır.

$$\frac{V_r L_r}{v_r} = 1$$

$$L_r = 1/20 \rightarrow \frac{L_m}{L_p} = \frac{1}{20} \rightarrow L_m = \frac{L_p}{20}$$

$$\text{Hız : } V_r = L_r^{1/2} = (1/20)^{1/2} \rightarrow V_m = \left(\frac{1}{20}\right)^{1/2} V_p$$

$$\text{Zaman : } T_r = L_r^{1/2} = (1/20)^{1/2} \rightarrow T_m = \left(\frac{1}{20}\right)^{1/2} T_p$$

$$\text{Debi : } Q_r = L_r^{5/2} = (1/20)^{5/2} \rightarrow Q_m = \left(\frac{1}{20}\right)^{5/2} Q_p$$

$$\text{Hacim : } \forall_r = L_r^3 = (1/20)^3 \rightarrow \forall_m = \left(\frac{1}{20}\right)^3 \forall_p$$

Ağırlık :

$$G_r = \forall_r \cdot \gamma_r = L_r^3 \cdot F_r \cdot L_r^{-3} = F_r = M_r \cdot L_r \cdot T_r^{-2}$$

$$G_r = (\rho_r \cdot L_r^3) \cdot L_r \cdot (L_r^{1/2})^{-2} = \rho_r \cdot L_r^3$$

Model ve prototipte aynı akışkan kullanılırsa , $\rho_r = 1$

$$G_m = \left(\frac{1}{20}\right)^3 G_p$$

Kütle :

$$M_r = \rho_r \cdot L_r = L_r^3 = (1/3)^3$$

$$M_m = \left(\frac{1}{20}\right)^3 M_p$$

Kazandere barajı karakteristik bilgileri

$$\text{Baraj modeli yüksekliği : } \frac{20}{20} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Baraj modeli kret kotu : } \frac{24}{20} = 1.2 \text{ m}$$

$$\text{Baraj modeli kret genişliği : } \frac{8}{20} = 0.40 \text{ m}$$

$$\text{Baraj modeli dolu savak genişliği : } \frac{100}{20} = 5 \text{ m}$$

Modelde 25 yıllık taşkın debisi :

$$Q_m = \left(\frac{1}{20}\right)^{5/2} Q_p = \left(\frac{1}{20}\right)^{5/2} 250 = 0.140 \text{ m}^3/\text{s} = 140 \text{ lt/s}$$

Modelde 100 yıllık taşkın debisi :

$$Q_m = \left(\frac{1}{20}\right)^{5/2} Q_p = \left(\frac{1}{20}\right)^{5/2} 446 = 0.249 \text{ m}^3/\text{s} = 249 \text{ lt/s}$$

Modelde 1000 yıllık taşkın debisi :

$$Q_m = \left(\frac{1}{20}\right)^{5/2} Q_p = \left(\frac{1}{20}\right)^{5/2} 671 = 0.375 \text{ m}^3/\text{s} = 375 \text{ lt/s}$$