

# Basınç Yoğunluk Katsayısı

## Pressure Density Coefficient

Sadık ALASHAN <sup>(1)\*</sup>

<sup>(1)</sup> *Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 12000 Bingöl, Türkiye.*

Received date: **05.09.2023**; Accepted date: **19.10.2023**; Published date : **28.12.2023**

**Turkish Journal of Hydraulic (Türk Hid. Der.), Vol (Cilt): 7 , Number (Sayı): 2, Page (Sayfa), 15-21, (2023)**

e-ISSN: **2636-8382**

SLOI: <http://www.dergipark.org.tr>

\*Correspondence e-mail: [sadikalashan@bingol.edu.tr](mailto:sadikalashan@bingol.edu.tr)

### Özet

Basınç hidrolik yapılar üzerinde yıkıcı veya yönlendirici etkilere sahiptir. Yıkıcı etkiler genellikle hareketsiz (ölü) basınç bölgelerinde meydana gelirken yönlendirici olanları genelde hareketli (canlı) akış bölgelerinde meydana gelir. Bir baraj yapısında, gövdeyle temasta olan suyun basıncı gövde üzerinde yıkıcı etkilere sahipken, dolusavak, dipsavak, enerji ve derivasyon tünellerinde yönlendirici etkilere sahiptir. Suyun hareketli olduğu bölgelerde, yatay ve düşey kesitler hidrolik yapının planı ile sağlıklı bir şekilde sağlanabilirse su istenilen alana basıncın etkisiyle kolayca yönlendirilebilir. Mevcut literatürde basıncın şiddeti ( $\text{kN/m}^2$ ) ile alakalı hesaplamalar yapılmasına rağmen basıncın sürekliliği göz ardı edilmektedir. Bu durumun oluşmasında sonsuz hazne kapasitesi, haznede sabit su seviyesi ve belli bir en kesitte hızın sabit olması gibi kabuller son derece etkilidir. Bu çalışmada akışkanlar mekaniğinde kullanılan basınç kavramı incelenmiş ve basınç yoğunluk katsayısı öne sürülmüştür. Basınç yoğunluk katsayısının incelenmesinin, akışkanlarda basınç kavramının daha iyi anlaşılması ve su yapılarının daha sağlıklı planlaması için önemli bir adım olacağı tahmin edilmektedir. Bu çalışmada Amerika Birleşik Devletleri üzerinde inşa edilen birçok baraja ait basınç yoğunluk katsayısının yükseklik ile değişimi incelenmiştir. Elde edilen regresyon eğrisine göre söz konusu barajlar için basınç yoğunluk katsayısı ile baraj yükseklikleri arasında doğrusal olmayan (üssel) artan bir ilişki elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Basınç, Akışkanlar mekaniği, Basınç yoğunluğu, Basınç sürekliliği.

### Abstract

Pressure has destructive or directing effects on hydraulic structures. Destructive effects usually occur in the still pressure zones, whereas directive effects usually occur in the moving (live) flow zones. For example, in a dam structure, the pressure of water in contact with a dam body has destructive effects on the dam body, while it has directing effects on a spillway, bottom outlet, and energy and derivation tunnels. In moving water areas, if the horizontal and vertical flows can be provided in accordance with the hydraulic structure's plan, the water can easily be directed to the desired area under pressure. In the current literature, although the calculations related to the pressure strength ( $\text{kN/m}^2$ ) are made, the continuity of the pressure is ignored. In this case, assumptions such as infinite

reservoir capacity, the constant water level in the reservoir and constant velocity in a certain hydraulic section are quite effective. In this study, the concept of pressure used in fluid mechanics is examined and the concept of pressure density coefficient is proposed. It is estimated that examining the concept of pressure density coefficient will be an important step for a better understanding of the pressure in fluids and for beneficial planning of water structures. In this study, the relationship between pressure density coefficients and dam heights is investigated for some dams built in the United States. It is obtained a non-linear increasing relationship between the pressure density coefficients and dam heights.

**Keywords:** Pressure, Fluid mechanics, Pressure density, Continuity of pressure.

## 1. GİRİŞ (Introduction)

Kuvvet veya birim yüzeye gelen basınç terimi geçmişten günümüze kadar insanoğlunun zihnini sürekli meşgul etmiştir. Aristoteles, MÖ 4. yüzyılda hareket üzerinde yaptığı çalışmalarda hızın kuvvet ile doğru orantılı ve harekete direnç gösteren ortam ile ters orantılı olduğunu belirtmiştir [1], [2].

Arşimet'in (MÖ 3. yy), hamamda yıkanırken suya batma oranına göre suyun bedenine kuvvet uyguladığını fark etmesiyle, suyun taşıma gücünün bulunduğu ve hidrodinamiğin temellerinin buna dayandığı ifade edilmektedir [3]. Aristoteles'in çalışmaları üzerine yoğunlaşan İbn Sina zorunlu yönlendirme (kasr-ı meyl) yani doğal yönelmenin aksi (aşağıdan yukarı doğru) durumunda cismin aldığı potansiyelin gücün (kuvve) ağırlık (kütle)den doğan ve hız ile doğru orantılı olduğunu ifade etmiştir. Bu ifade günümüzde impuls (güç=kütle\*hız) teriminin ortaya çıkmasına olanak sağlamıştır [4], [5].

El-Cezeri (MS 12. yy) Diyarbakır'da Artuklu hükümdarının emrinde çalışırken suyun basıncını kullanarak çeşitli otomatik araçların tasarımını yapmıştır [6]. Torricelli (MS 17. yy) bir cam tüpe cıva doldurmuş ve bu cam tüpü cıva dolu bir kaba ters batırarak cam tüpteki cıva yüksekliğinden açık hava basıncını ölçmüştür. Pascal (MS 17. yy), kapalı bir kaptaki gaza uygulanan basıncın akışkan tarafından kabın tüm kenarlarına aynı şekilde iletildiğini belirlemiştir. Newton fiziğinin gelişmesi ile birlikte, Bernoulli (MS 18. yy) kapalı bir borunun içindeki basıncı ölçmeye çalışmış ve bu boruya pipet batırarak pipetteki su yüksekliği ile borudaki basıncın ilişkisini bulmuştur ve bu yöntem hastaların kan basıncının ölçümünde uzun yıllar kullanılmıştır [7].

Yerli literatürde akışkan basıncı, ani debi azalması durumunda meydana gelen su darbesinde, yüksek basınçlı türbinlere su ileten cebri borularda [8], [9],

isale iletim hatlarında [10]–[15], küresel valflerde [16],

havalandırma problemlerinde [17], yeraltı suları [18] ve deprem kuvvetlerinin oluşturduğu su dalgalarında incelenmektedir [19].

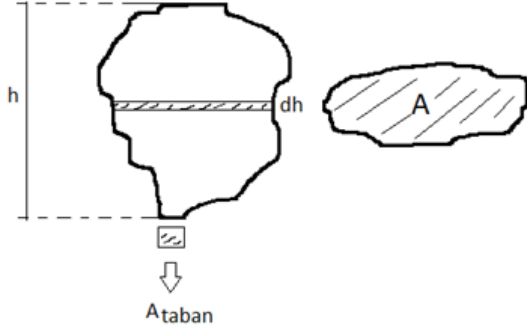
Söz konusu basınç tüm boru tesisatına zarar verebilmekte ve hatta ölümcül kazalara neden olabilmektedir. Ayrıca, baraj gövdesinin acil boşaltılması durumunda kullanılan dip savak yapısı da baraj yüksekliği dikkate alındığında çok fazla basınca maruz kalabilmektedir.

Tüm bu hidrolik elemanların tasarımında en önemli etken akışkanın basıncı veya daha doğrusu basınç şiddeti olarak varsayılır. Basınç şiddeti tasarlanan bir yapı elemanının dayanımını aştığı zaman yapının yıkılmasına neden olur. Yani basınç şiddeti bir olayın gerçekleşmesi veya gerçekleşmemesi ile alakalıdır. Meydana gelen olayın zamansal ve konumsal sürekliliği ile alakalı bilgi veremez. Bu çalışmada hidrolik bir yapı elemanında tahribat olması durumunda ortaya çıkacak tahribatın büyüklüğü ile alakalı fikir vermeye olanak sağlayacak basınç yoğunluk katsayısı kavramı öne sürülmüştür.

## 2. MATERIAL ve METOT (Material and Method)

Basınç kavramı kuvveti alanın büyüklüğünden bağımsız duruma getirmek için kullanılmaktadır. En basit tabiriyle birim alana gelen kuvvet olarak tanımlanabilmektedir. Akışkanların zayıf moleküler bağ yapısından dolayı, akışkan maddeler şeklini koruyamamaktadır. Güçlü moleküler bağlar katı cisimlerin basıncını sadece düşey yerçekimi yönünde iletmesine neden olurken zayıf moleküler bağlar akışkanların basıncını tüm yönde iletmesine neden

olmaktadır. Şekil 1 üzerinde serbest şekilli bir cisim bulunmaktadır.



Şekil 1. Serbest şekilli bir cisim (A free-form object)

Cismin toplam yüksekliği  $h$  ve cisim değişken en kesit alanlarına ( $A$ ) sahiptir. Bu cisim katı bir cisim veya katı sınırla çevrili akışkan madde olarak düşünülebilir. Her iki durumda da serbest şekilli

cismin taban alanında ( $A_{taban}$ ) basınç gerilmeleri ve dolayısıyla basınç kuvveti meydana gelecektir. Bu cisim, katı veya akışkan, aynı şekle ve özgül ağırlığa sahip olsa da (katıların özgül ağırlığı daha yüksek) cismin taban alanında farklı basınç kuvveti meydana getirecektir. Bu özellik basınç ile alakalı yeni bir kavrama ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

Basınç yoğunluk katsayısı (bağıl) kavramını birim basınç kuvvetine karşılık gelen ağırlık kuvveti olarak tanımlarsak (Denklem 1), katılarda basınç yoğunluğu daima 1 olarak elde edilir (Denklem 2) ve akışkanlardaki basınç yoğunluğu  $0 < \rho_p < \infty$  aralığında değerler alabilir (Denklem 3). Burada  $\rho_p$  akışkanın basınç yoğunluk katsayısını,  $F_G$  ağırlık kuvvetini,  $\gamma$  özgül ağırlığı,  $A_{ort}$  ortalama en kesit alanını,  $A_{taban}$  taban en kesit alanını ve  $F_p$  basınç kuvvetini temsil etmektedir.

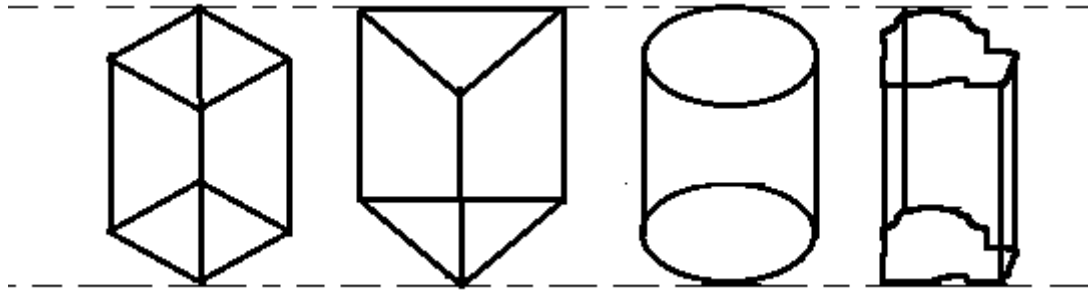
$$\rho_p = \frac{F_G}{F_p} \quad (1)$$

$$\rho_p = \frac{\gamma \cdot \int_0^h A \cdot dh}{\frac{\gamma \cdot \int_0^h A \cdot dh}{A_{taban}} \cdot A_{taban}} = 1 \rightarrow \text{katılar için} \quad (2)$$

$$\rho_p = \frac{\gamma \cdot \int_0^h A \cdot dh}{\gamma \cdot h \cdot A_{taban}} = \frac{\gamma \cdot h \cdot A_{ort}}{\gamma \cdot h \cdot A_{taban}} = \frac{A_{ort}}{A_{taban}} \rightarrow \text{akışkanlar için} \quad (3)$$

Özel hal olarak, taban alanı ( $A_{taban}$ ) ve ortalama en kesit alanları ( $A_{ort}$ ) birbirine eşit olan cisimlerde basınç yoğunluğu akışkan madde için katı maddeyle aynı (1) değeri vermektedir (Şekil 2, Denklem 4). Yani özgül ağırlık farklılığı göz önüne alınmadığında ortalama kesit alanı taban alanıyla aynı olan katı ve akışkan cisimler aynı basınç kuvvetini meydana getirir.

Ancak özgül ağırlık farklılığı dikkate alınmasa dahi cismin şeklinden (taban alanı ve ortalama kesit alanı farklı) dolayı akışkan ve katı maddeler aynı basınç kuvvetini meydana getirmeyebilir.



Şekil 2. En kesit alanı sabit; eğrisel, düzgün eğrisel ve doğrusal şekiller (The constant cross-sectional curvilinear, uniform curvilinear and linear shapes).

$$\rho_p = \frac{\text{ağırlık kuvveti}}{\text{basınç kuvveti}} = \frac{\gamma \cdot A_{\text{taban}} \cdot h}{\gamma \cdot h \cdot A_{\text{taban}}} = 1 \rightarrow \text{kati veya akışkan cisim} \quad (4)$$

Diğer özel bir hal olarak, farklı en kesit alanına sahip cisimlerin doğrusal en kesit değişimleri için taban alanları, basınçlı akımların tasarımında genellikle kullanılan, dairesel kesit olarak düşünülebilir (Şekil 3). Bu durumda katı cisimler için, basınç yoğunluğu yine 1 değerini verecektir. Akışkan cisimler için ise taban alanı tavan alanından küçük (büyük) olanlarda basınç yoğunluğunun 1' den büyük (küçük) olduğunu ifade edebiliriz. Bu durumu matematiksel olarak ifade edersek Denklem 5 elde edilebilir. Burada,

$r_t$  taban yarıçapı,  $r$  tavan yarıçapı ve  $\Delta r$  taban yarıçapı ile tavan yarıçapı arasındaki değişimi ifade etmektedir.  $\Delta r/r_t$  ( $\theta$ ) ifadesine taban yarıçapındaki değişim oranı dersek Denklem 6 elde edilebilir. Bu denklem taban yarıçapı değişim oranına ( $\theta$ ) göre basınç yoğunluk katsayısının değişim oranını vermektedir. Taban yarıçapı değişim oranı -1 ile  $\infty$  aralığında değişebilir. Yani doğrusal değişen kesitler için taban alanı en fazla kendi kadar azalabilir ama teorik olarak sonsuza kadar artabilir.

$$\rho_p = \frac{\gamma \cdot h \cdot \left( \frac{A_{\text{taban}} + A_{\text{tavan}}}{2} \right)}{\gamma \cdot h \cdot A_{\text{taban}}} \quad \rho_p = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{A_{\text{tavan}}}{A_{\text{taban}}} \right) = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{\pi \cdot r^2}{\pi \cdot r_t^2} \right) \quad \rho_p = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{(r_t + \Delta r)^2}{r_t^2} \right)$$

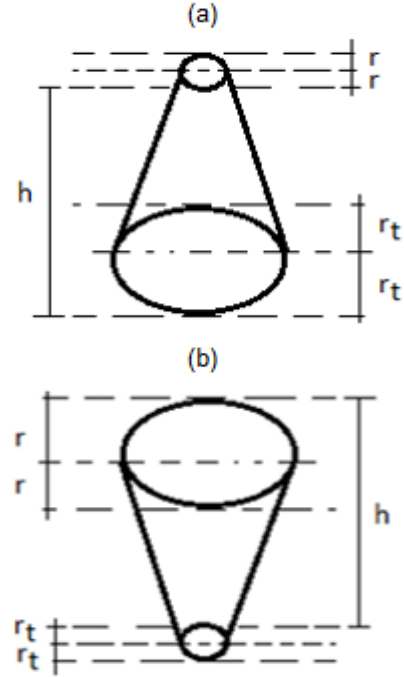
$$\rho_p = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{r_t^2 + 2r_t \Delta r + \Delta r^2}{r_t^2} \right) \quad \rho_p = \frac{1}{2} \left( 1 + \left( 1 + 2 \left( \frac{\Delta r}{r_t} \right) + \left( \frac{\Delta r}{r_t} \right)^2 \right) \right) \quad (5)$$

$$\rho_p = \frac{1}{2} (1 + (1 + \theta)^2) \quad (6)$$

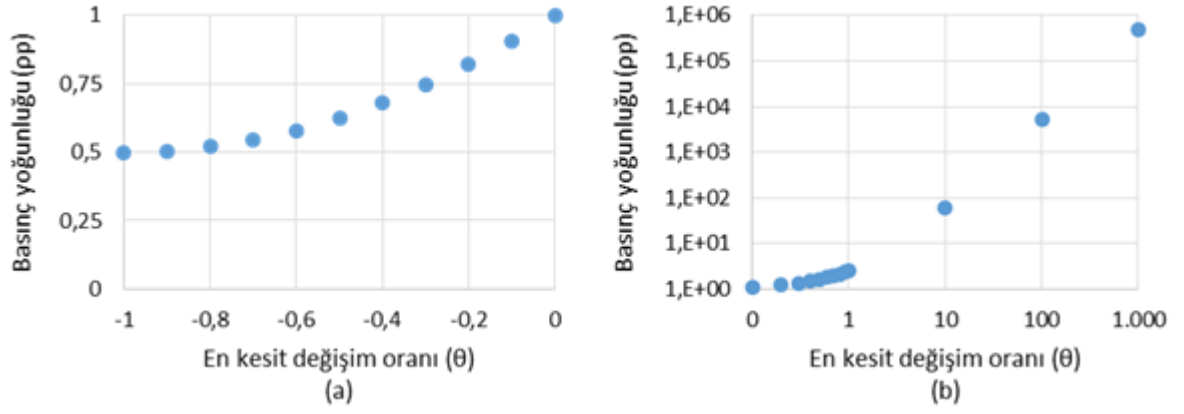
Taban yarıçapı değişim oranı ( $\theta$ ), doğrusal değişen dairesel en kesit alanları için, azalma durumunda basınç yoğunluk katsayısını en fazla 0.5 oranına kadar düşürürken (Şekil 4a) artma durumunda basınç yoğunluğunu teorik olarak sonsuza kadar arttırabilmektedir (Şekil 4b).

Basınç yoğunluk katsayısı ve yükseklik arasındaki ilişkiyi örneklendirmek için Amerika Birleşik Devletleri sınırları içinde inşa edilen yüksek barajlardan bazıları bu çalışmada incelenmiştir. Barajların rezervuar hacimleri ve yükseklikleri kullanılarak, birim taban alanı için basınç yoğunluk katsayısı değerleri elde edilmiştir. Bu barajların konumları Şekil 6 üzerinde görülmektedir.

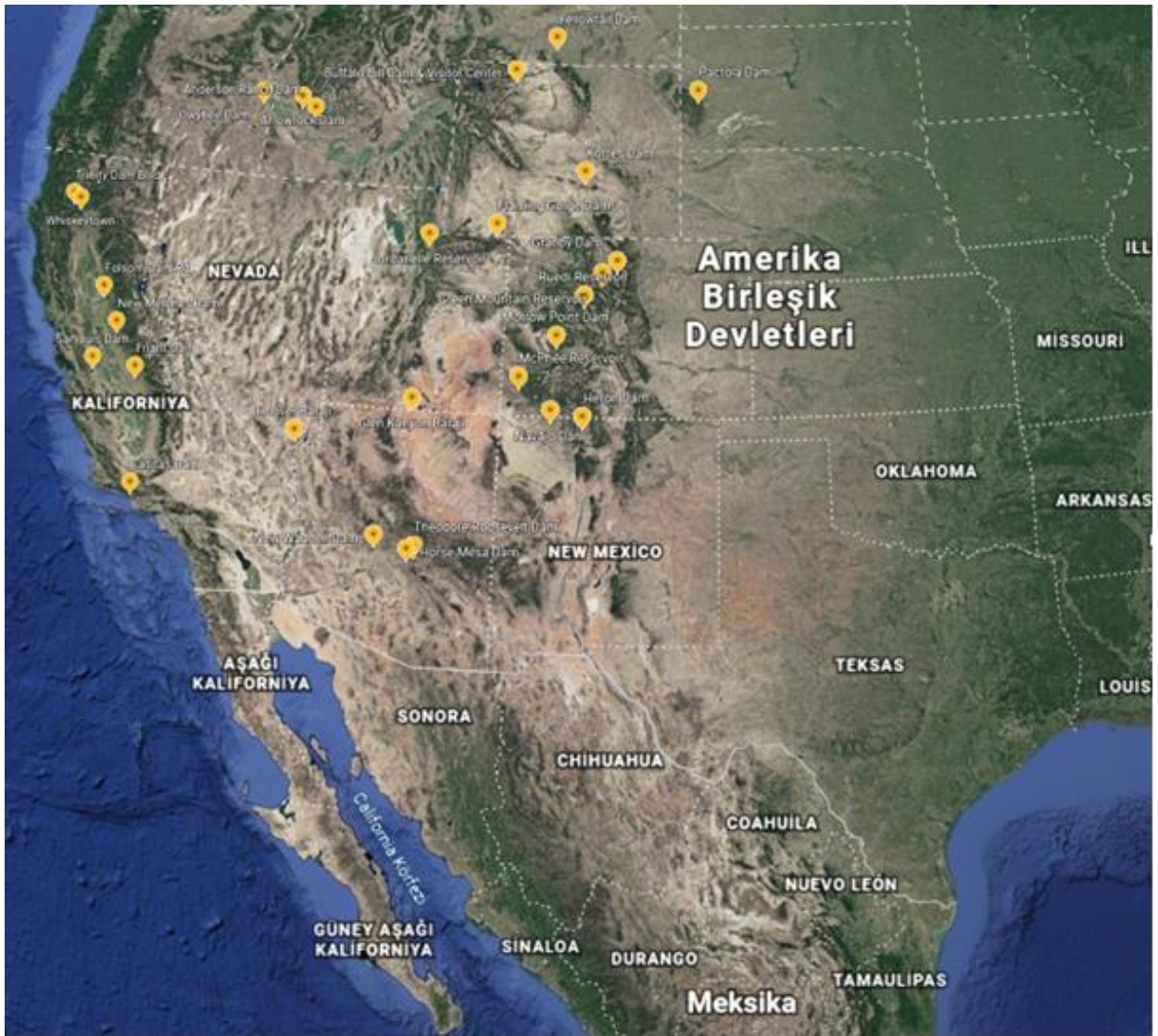
Çalışmada incelenen barajların basınç yoğunluk katsayıları yaklaşık 9500 ile 203 milyon değerleri arasında değişmektedir (Şekil 5). Bu durum baraj rezervuarında bulunan akışkanın basınç yoğunluk katsayısının aynı durumdaki katılara göre özgül ağırlık farklılığı dikkate alınmadığında 9500 ile 203 milyon kat daha fazla olduğunu göstermektedir. Ayrıca çalışma bölgesi için basınç yoğunluk katsayısı, baraj yüksekliğinin üssü oranında değişmektedir.



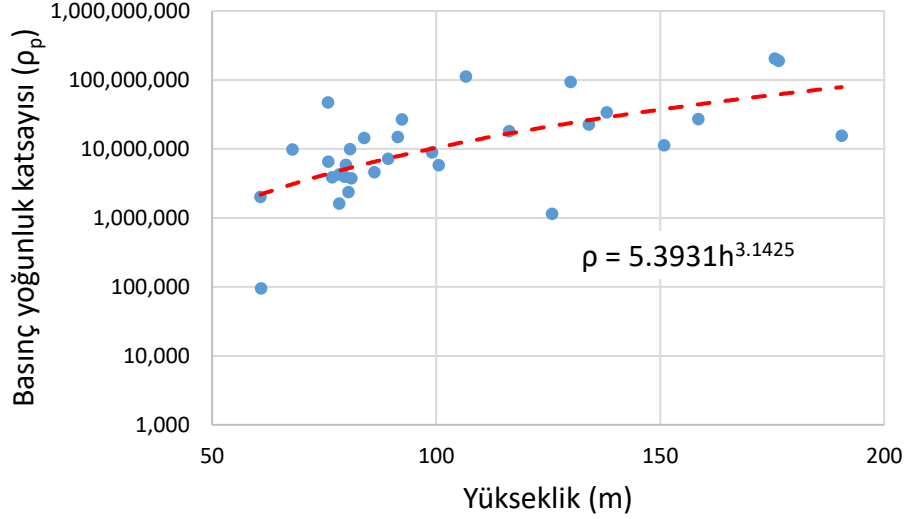
Şekil 3. En kesit alanı doğrusal değişen cisimler a) artan b) azalan (Cross-sectional area linearly changing objects a) increasing b) decreasing).



Şekil 4. Taban yarıçapı değişim oranı ve basınç yoğunluk katsayısı grafiği a) azalan yarıçap oranları ( $-1 \leq \theta \leq 0$ ) b) artan yarıçap oranları ( $0 \leq \theta \leq 1000$ ) (Graph of base radius change rate and pressure density a) decreasing radius ratios ( $-1 \leq \theta \leq 0$ ) b) increasing radius ratios ( $0 \leq \theta \leq 1000$ )).



Şekil 5. Çalışmada kullanılan barajların konumları (Location of dams used in the study).



Şekil 6. Çalışmada kullanılan barajlar için basınç (yoğunluk katsayısı-yükseklik ilişkisi (*Pressure density coefficient-height relationship for the dams used in the study*)).

### 3. SONUÇ ve ÖNERİLER (*Conclusions and Suggestions*)

Bu çalışmada akışkanlarda basınç kavramının daha iyi anlaşılması basınç yoğunluk katsayısı kavramı öne sürülmüştür. Basınç yoğunluk katsayısı katılar için her zaman için 1 değerini verse de akışkanlar için  $0 < \rho_b < \infty$  aralığında değişmektedir. Basınç yoğunluk katsayısı basıncın şiddeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olmasa da basıncın sürekliliği üzerinde ciddi etkileri bulunmaktadır. Yani geniş rezervuar alanına sahip hidrolik yapılar düşük gövde yükseklik değeriyle düşük basınç değerine sahip olsa da yüksek basınç yoğunluk katsayısı değerine sahip olabilir. Literatürde kullanılan basınç (kuvvet/alan) kavramı basıncın şiddeti ile alakalı olup bir hidrolik yapı elemanının çökmemesi için gerekli dayanım değerini verir.

Bu dayanım değerine göre yapı elemanları seçilerek yapı tasarlanır. Ancak olası çökme durumunda oluşacak zararın boyutu ile alakalı herhangi bir öngörü verememektedir. Riskler her yapı elemanın montajında ve imalatında mutlaka belirli bir seviyede vardır. Bu riskleri tamamen sıfıra indirmek mümkün olmayacağı gibi çok küçük değerlere indirmek ciddi maliyet

sorunlarına yol açabilir. Bu bağlamda hangi hidrolik yapının veya elemanın, imalat ve montajında ne kadar hassasiyet gösterilmesi önceden belirlenmelidir. Basınç yoğunluk katsayısı değeri çökme durumunda oluşacak zararın boyutu ve dolayısıyla tasarlanan yapı elemanlarının imalatında ve montajında gösterilmesi gereken hassasiyet derecesi hakkında bir öngörü sağlayabilir.

### KAYNAKLAR (*References*)

- [1] Topdemir, H. G., (2004) "Aristoteles'in Doğa-Fizik- Felsefesi," Felsefe Dünyası, no. 39, pp. 97–113.
- [2] Aristoteles, Fizik (2023), (Çeviren Saffet Babür), 10th ed. Yapı Kredi Yayınları.
- [3] Thomas, L. H., (2009), The works of archimedes: Edited in modern notation with introductory chapters.
- [4] Topdemir, H. G., (2010), "İbn Sînâ ve Yeni Mekaniğin Doğuşu," Bilim ve Teknik, pp. 88–91.
- [5] Sîna, İ., (2004), Kitâbu'ş-şifâ (Çeviren Muhittin Macit, Ferruh Özpilavcı). İstanbul: Litera Yayıncılık.

- [6] Al-Razzāz Al-Jazarī, I. (1974), “The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices.” pp. 51–57.
- [7] Bernoulli, D., (1738), “Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum commentarii,” Opus Acad. ab auctore, dum Petropoli ageret, Congest.
- [8] Kırkgöz, M. S., (2015), “Çatalan Hidroelektrik Santralında Teorik ve Deneysel Su Darbesi Analizi,” Teknik Dergi, vol. 14. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, p.
- [9] Bozkuş Z., Çalamak, M., (2015), “Nehir Tipi Hidroelektrik Santrallerde Su Darbesine Karşı Alınabilecek Önlemler,” Teknik Dergi, vol. 23. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, pp. 6187–6202.
- [10] Bozkuş, Z. (2015), “Çamlıdere - İvedik İsale Hattında Su Darbesi Analizleri,” Teknik Dergi, vol. 19. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, pp. 4409–4422.
- [11] Alashan, S., (2018), “Destekleyici Şebeke Tasarımı,” DÜMF Mühendislik Derg., vol. 9, no. 1, pp. 571–579.
- [12] Alashan, S., (2019), “İçme Suyu Şebekelerinde Hesap Debilerinin Ölü Noktalar Yöntemi ile Şematik Çözümü,” Su Kaynakları, vol. 4, no. 2, pp. 15–21.
- [13] Süme, V., Kerim, A., (2021), “İçmesuyu Şebekelerinden Enerji Elde Edilmesi; Boru İçi Türbin Modeli,” Türk Hidrolik Derg., vol. 5, no. 1, pp. 8–17.
- [14] Bor, A., (2021), “Denizli Buldan Barajı Sarıgöl Sulaması İsale Hattı Su Darbesi Analizleri,” Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Derg., vol. 23, no. 68, pp. 509–519.
- [15] Karakaya, D. , Toprak, Z. F., (2018), “İçme Suyu Şebekelerindeki Su Kayıplarının ZFT Algoritması Kullanılarak Sınıflandırılması,” Su Kaynakları, vol. 3, no. 2, pp. 22–30.
- [16] Gürsel T., Almış, Ç. , (2014), “Küresel Valflerde Su Darbesi Etkisinin İncelenmesi,” Mühendislik Bilim. ve Tasarım Derg., vol. 2, no. 2, pp. 91–101, Oct.
- [17] Ayata T., Yıldız, O. , (2006), “Investigating the potential use of natural ventilation in new building designs in Turkey,” Energy Build.
- [18] Şen, Z., (2008), “Yeraltı suyunun çatlaklı ortamdan gözenekli ortama değişken çaplı ve cidarı geçirimsiz kuyuya akışı,” Su Kaynakları, vol. 1, no. 1, pp. 39–55.
- [19] Demirel E., Aydın, İ., (2009), “Baraj Göllerinde Deprem Sırasında Oluşan Hidrodinamik Basınçların Sayısal Benzetimi,” vol. 22. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, pp. 35–43.