

Dolusavak Akımlarının Modellemesinde Sayısal Hesaplama Yönteminin Güvenli Kullanımı

1. Baraj nedir?

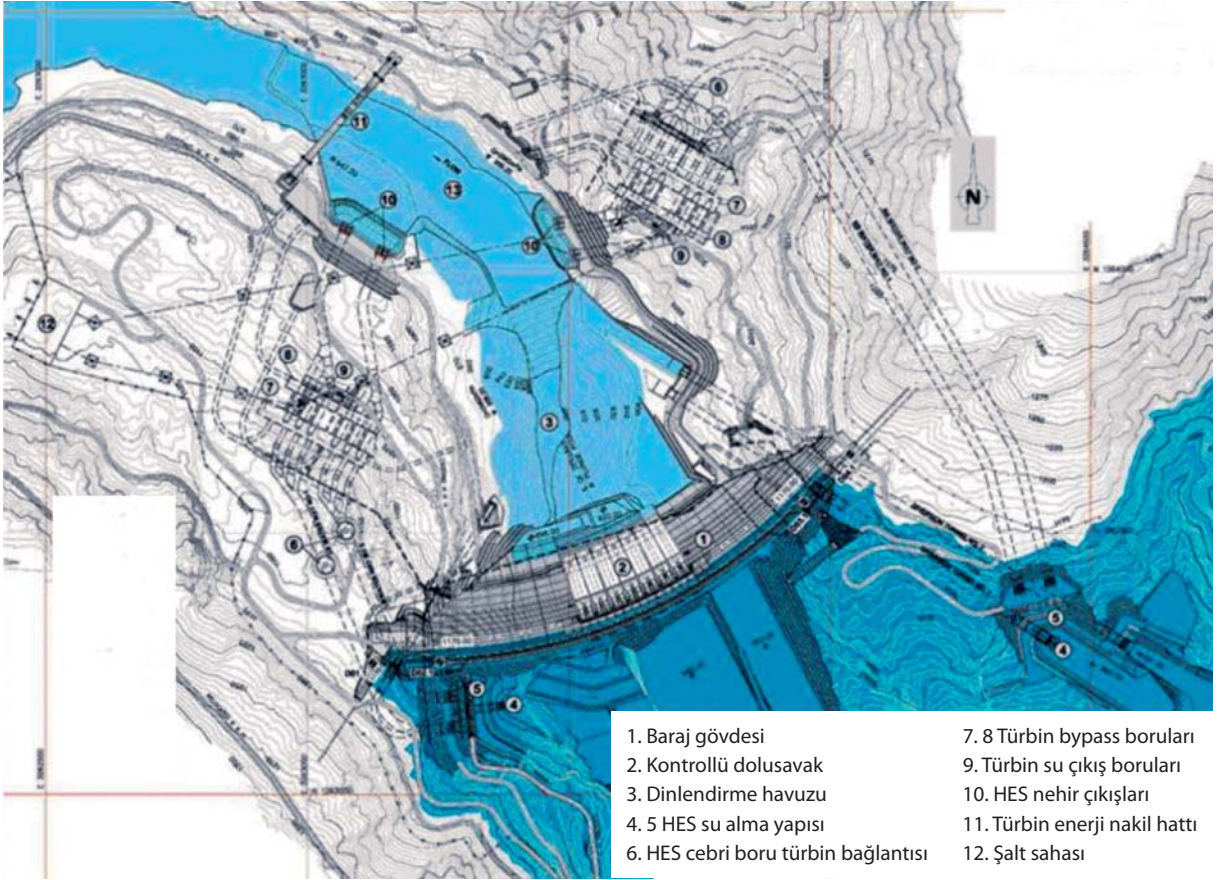
Barajlar insanoğlunun en yaşamsal ihtiyacı olan suyu düzenli olarak kullanmak, taşkınlarla suyun verebileceği zararları önlemek, günümüz modern yaşamının kaçınılmaz ihtiyacı olan enerjiyi sağlamak amacıyla suların depolanması için yapılmış yapılardır. Günümüzden 3500 yıl önce Anadolu topraklarında Hititler tarafından içme suyu, sulama ve taşkın koruma amaçlı barajlar yapılmıştır. Barajlara olan ihtiyacımızın temel nedenleri değişmemesine rağmen günümüz mühendislik bilim ve teknolojisinin gerek mekanik bilimine gerekse malzeme bilimine katkıları ile baraj projelendirme ve inşasında önemli aşamalar kaydedilmiştir. Değişik beton katkı malzemeleri sayesinde sadece küçük toprak ve(ya) kil gövdeli barajlar yapmıyoruz, çok daha ince gövdeleri olan ve çok daha yüksek barajlar da yapabiliyoruz. Mekanik biliminin 19. yüzyılda ortaya koyduğu analitik olarak

çözemediğimiz yüksek dereceli differansiyel denklemleri, hızları saniyede milyarlarca işlem olan bilgisayarlar yardımı ile çok kısa sürede çözüp hem baraj gövdesi davranışını hem de suyun akış hareketinin tamamını modelleyebiliyoruz.

Genel olarak çok amaçlı bir baraj; temel, gövde, baraj haznesi, dolusavak, dipsavak, su çevirme yapısı ve su alma yapısı kısımlarından oluşmaktadır. Bunun yanında yapım amacına göre elektrik santrali, kum tutma havuzları, arıtma tesisleri gibi ilave yapıları olmaktadır. Gelişen çevre bilinci ile günümüz barajlarında balık geçitleri de barajların vazgeçilmez parçası haline gelmiştir. Baraj yapılarının boyutlandırılmasında istatistikî akım verileri temel girdi olarak kullanılırken, yapılacak olan yapının boyutları ile ilgili çalışmalar yapı ve akışkanlar mekaniği hesaplamaları ile yapılmaktadır.



Hitit antik barajı



Tipik baraj projesi

2. Dolusavak nedir?

Barajların ömürleri boyunca tam kapasite ile kullanılmaları düşük bir olasılık bile olsa, dolusavaklar baraj güvenliği için en önemli yapılardır. Dolusavaklar, taşkın mevsiminde baraj depolamasının kapasitesini aşan miktarlarda gelen suyun kullanılmadan akarsu mansabına güvenle bırakılabilmesi için kontrollü ve kontrolsüz olarak çalıştırabilecek şekilde inşa edilmiş yapılardır. Dolusavaklar taşıdıkları bu önem gereği projelendirmelerinde üzerine dikkatle çalışılmakta, gerekli görüldüğü durumlarda hesaplamaları modellemeler ile desteklenmektedir. Ayrıca dinlendirme havuzu ile beraber dolusavak maliyetleri baraj maliyetinin üçte birini bulabilmektedir.

Temel olarak dolusavaklar kontrollü ve kontrolsüz olarak çalışma şekillerine göre ayrılırsa da, teknik olarak en belirgin özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Buna göre dolusavaklar; "karşıdan alışı", "ogee kesitli", "yan kanallı", "labirent", "şütlü", "şaşırtmalı şütlü", "basamaklı", "düşü girişli", "kontrollü girişli" olarak adlandırılarak ayrılırlar. Her tür dolusavak kendi karakteristik özelliğine göre değerlendirilip hesaplanmaktadır. Ancak dolusavak türü ne olursa olsun, dolusavakların maksimum dizayn debisini baraj maksimum su seviyesinde iken taşıması, maksimum debi ile çalıştırıldığı durumda dolusavağın zarar görmemesi ve son olarakta, mansaba verilecek suyun nehir yatağında bir oyulmaya sebep olmaması istenir. Bu temel gereklilikler altında dolusavaklar türlerine göre kritik kesitleri belirlenerek bu kritik kesitlerin güvenliği sağlanacak şekilde tasarlanırlar.

3. Modelleme Çalışmaları

Bu güne kadar dünya üzerinde gövde yüksekliği 30 metrenin üzerinde 50,000'e yakın büyük baraj inşa edilmiştir. Bunların 7000'e yakınının inşa edildiği Amerika'nın bu konudaki birikimleri ülkemizde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında DSİ tarafından hazırlanmış baraj ve dolusavak projelendirmesinde kullanılan çok önemli kaynaklar mevcuttur. Dolusavaklarda tipik projelendir-

me aşamalarına bakılacak olursa öncelikle dolusavak genişliği ve derinliği maksimum tasarım debisini geçirecek şekilde belirlenir, sonra eğer varsa yaklaşım kanalının ve su alma ağzının etkileri değerlendirilir. Dolusavak girişinden alınan suyun mansaba zarar vermeden bırakılabilmesi için enerjisinin kırılması gerekir; bu amaçla dolusavak gövdesi üzerinde şütler ve çıkışında dinlendirme havuzu tasarlanır. Su yapılarının her birini diğerinden ayıran karakteristik özellikleri gereği tasarım aşamalarında eldeki kaynak bilgilerin dışındaki hallerde yeni yorumlar ve çıkarsamalar yapılması gerekliliği sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Bu durumda ilk olarak tecrübe ve mühendislik bilgisi ile sorunlara yanıt aransa da, baraj güvenliğinin en önemli parçalarından biri olan dolusavaklar konusunda risk almamak için bir çok durumda modelleme çalışmalarına yönelinmiştir. Mühendislik kaynakları arasında bu tür çalışmalardan elde edilmiş sonuçların değerlendirildiği çok sayıda makale bulunmaktadır.

Hidromekanik deneyleri ile yapılan modellemelerin tarihi neredeyse bilimin tarihi ile eşitir. Arşimed'in kaldırma kuvvetini bulmasının üzerinden 20 asırdan daha uzun bir süre, Toricelli'nin akışkanlar içindeki basınç dağılımı ile ilgili çalışmalarının üzerinden iki asırdan daha uzun bir süre geçmiştir.

Manning, yaptığı derleme çalışması ile o güne kadar açık kanal akımı çözümü için deneyler ile geliştirilen yedi önemli çalışmayı bir araya getirmiş ve çalışmaların hepsinin bir ortalaması olan yani 1844 yılına kadar yapılan modelleme çalışmalarının sonuçlarını bir araya toplayan bir formülasyon ortaya koymuştur. Darcy ve Weisbach teorik olarak boru akımları için enerji kaybı ifadesini geliştirmiştir. Moddy deneysel çalışmaları ile boru akımları için pürüzlülük katsayısının boyutsuz parametrelere bağlı olarak ifade etmiştir. Bu çalışmalar ile elde edilen sonuçlar günümüzde bile tereddütsüzce kullanılan en güvenilir çözümdür.

Modelleme çalışmalarında 21. yüzyılın gelişen bilgisayar teknolojileri ile yeni bir çığır açılmıştır. Elimizdeki süper bilgisayarlar sayesinde atmosferdeki hava akımlarını çözerek bir ay sonrasına dair hava tahmin raporu elde edebiliyoruz. Navier'in ortaya koyduğu differansiyel mekanik deklemlerin Stokes tarafından akışkanlar için yeniden düzenlenerek elde edilen son formu akışkanlar mekaniği çözümlerinin temelini oluşturur. Bu denklem sistemi Kolmogorow tarafından tanımlanan en küçük türbulans boyutunda çözüldüğünde, akım hiç bir varsayıma gerek olmadan bilgisayar hesaplamaları ile modellenilebilir. Doğrudan sayısal benzeşim olarak anılan bu tür çalışmalar henüz mühendislik yapıları çözümleri için kullanılamasa da deneysel çalışmalar ile elde edilemeyecek detaydaki akım davranışları gözlemleyebilmemiz açısından çok önemlidir.

Sayısal ve fiziksel modellemelerin avantaj ve dezavantajlarının karşılaştırılması.

	Avantajlar	Dezavantajlar
Fiziksel Modelleme	<ol style="list-style-type: none"> 1. Daha gerçekçi olması 2. Güvenilir olması 3. Doğrudan gözlem yapılabilmesi 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Model inşaatı maliyeti 2. Doğru ve hassas ölçüm sistemi maliyeti 3. Ölçek etkisi 4. İlk ve sınır koşullarının doğru oluşturulması zorluğu 5. Ölçüm zorlukları 6. İşletme maliyeti 7. Zaman alıcı
Sayısal Modelleme	<ol style="list-style-type: none"> 1. Doğrusal modelleme ile kısıtlı değil 2. Karmaşık fiziksel özellikler modellenilebilir 3. Sonuçlar pratik olarak sınırsız bir şekilde alınabilir 4. Yeni bir tasarım gerektiğinde maliyetler çok küçük 5. Deneysel olarak çalışmanın imkansız olduğu durumlarda modellenilebilir 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Farklı fiziksel olayların ayrı ayrı modellenmesi gerekliliği 2. Sayısallaştırma hataları 3. Sınır koşulları uygulamaları sorunu 4. Bilgisayar olanaklarında sınırlamalar 5. Programların geliştirilmesi 6. Sonuçların doğruluğunun sınanması gerekliliği

Sayısal modelleme ile fiziksel modelleme karşılaştırıldığında birbirlerine kıyasla avantajları ve dezavantajları vardır. Mühendis olarak karar vermek için bu avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurmakta fayda vardır. Bu arada göz ardı edilmemesi gereken bir kaç unsuru da burada hatırlatmakta yarar var. Bilgi ve teknoloji çağı olarak adlandırılan 20. ve 21. yüzyılda bilgisayar donanım ve programlarındaki gelişim takip edilemeyecek düzeyde hızlı. Bu deneysel ve sayısal modelleme çalışmalarına da yeni bir soluk getirmiştir. Deneysel modellemede daha önce hiç ölçemediğimiz büyüklükleri çok hassas ölçebildiğimiz deney sistemleri geliştirilmiştir. Deneysel otomasyon sistemleri ile büyük boyutta veriyi bilgisayar ile toplayıp saklayabiliyor ve çok kısa sürede değerlendirebiliyoruz. Birkaç on yıl önce masamıza gelmeye başlayan kişisel bilgisayarların hızları ve işlem yetenekleri bile katı ve akışkanlar mekaniği problemlerinin önemli bir kısmını çözmek için yeterlidir.

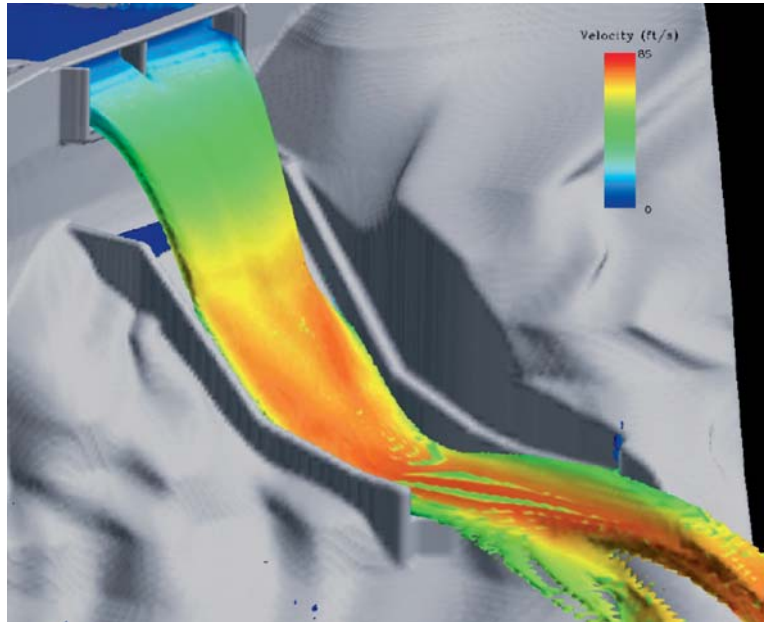
4. Sayısal Modelleme

Computational Fluid Dynamics (CFD) ya da Türkçesi ile Hesaplamalı Akışkan Dinamiği (HAD) akımın bünye denklemlerini bilgisayar yardımıyla çözmekte kullanılan bir tekniktir. Akışkanların hareketini belirlemek için temel denklemlerden yola çıkılarak geliştirilmiş bu teknikle, karmaşık akımların sayısal çözümlenmesi sonlu elemanlar, sonlu farklar veya sonlu hacimler yöntemlerinin uygulanmasıyla mümkün olabilmektedir. Akışkanlar mekaniği konusunda çalışan araştırmacıların HAD'ne olan ilgisini her geçen gün artmaktadır.

Sayısal Modelleme temelleri, Taylor'un bir nokta etrafında fonksiyon için yaptığı seri açılımına dayanır. Sonsuza giden seri açılımında fonksiyonun değerini hesaplamak için kullanılacak terim sayısı, elde edilecek sayısal çözüm denkleminin hassasiyet derecesini gösterir. Sayısal akışkanlar dinamiği çözümlenmesinde kullanılan süreklilik denklemi ve doğrusal olmayan yüksek dereceden Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RO-NS) differansiyel denklemleri Taylor seri açılımı ile sayısallaştırılır. Sayısallaştırılan süreklilik denklemi ve RO-NS denklemi, akım geometrisini kapsayan ağda bulunan hücrelerin herbiri için çözülür. Ardışık olarak tekrarlanan çözüm, akım alanındaki kütle ve kuvvetler denklemini sağlar.

Genel olarak bir akımı çözmek için süreklilik denklemi, momentum denklemi ve yardımcı denklemlerin aynı anda çözümünü gerektirmektedir. 2-boyutlu bir akım için denklem sistemi indirgenerek çözülebilir. Ancak akım 3-boyutlu ve türbülanslı olduğu durumlarda denklem sistemini kapatan bir türbülans modeli sisteme eklenir. Ayrıca eğer akım açık kanal akımı şeklindeyse, su yüzeyinin yerini belirleyebilmek için sisteme yüzey belirleme denklemi katmak gerekecektir. Eğer akım içinde dağılan bir başka madde varsa konsantrasyon denklemleri de çözülür. Tüm bunlar göz önüne alındığında sayısal olarak modellenmek istenen akımın şartlarına göre yeni çözüm denklem sistemi ortaya koyup bu denklemlerin her biri ayrı ayrı sayısallaştırıp çözümlenerek sonuca ulaşılabilir.

Akış, akım ve sınır koşulları dahilinde bir, iki ya da üç boyutta değişkenlik gösterebilir. Bir ve iki boyutlu çözümlerde görece daha kısa zamanda sonuçlar elde edilebilir. Üç boyutlu modellerde çözüm zamanı ve zorluğu artmaktadır. Üç boyutlu hassas çözümler, hızlı ve bellek kapasitesi yüksek günümüz bilgisayarları yardımıyla yeni yeni mümkün olabilmektedir. Hatta bazı problemlerin sayısal çözümlenmesi için sadece bir bilgisayar yeterli olmayıp, işlemci ve bellek kapasitesini arttırmak için birden fazla bilgisayarın paralel çalıştırıldığı sistemler gerekebilmektedir.



Sayısal modelleme ile elde edilmiş dolusavak akımı

5. Sayısal modellemede dikkat edilecek hususlar

Son yıllarda sonlu elemanlar, sonlu farklar ve sonlu hacimler metodları ile çalışan sayısal analiz programları kullanılarak yapılan mühendislik tasarımlarının sayısı giderek artmaktadır. Paket programlarında ve donanımlardaki teknolojik gelişmeler daha karmaşık 3-boyutlu analiz ve daha fazla doğrusal olmayan sistem çözümünü olanaklı kılmıştır. Ancak güçlü paket programlar, hesaplama ve bilgisayar bilgisi olupta yeterince mühendislik bilgisi olmayan analizciler tarafından kullanıldığında bilgisayar destekli afetlere dönüşebilirler. Çözüm garantili sayısal prosedürler uygulanarak yazılan programlar tek başına sayısal modellemenin ve analiz tekniğinin doğruluğunu kanıtlamaz.

Günümüzde sayısal analiz birçok mühendislik tasarımının bir parçası haline gelmiştir. Tasarım yapan mühendisler sayısal hesaplama tekniklerini ve metodolojilerini analizlerinde güvenli bir şekilde kullanmaları için bu hesaplamalar ile elde edilen sonuçların doğrulanmaları ve kontrol edilmeleri hayati bir önem taşır. Sayısal hesaplamalar ile elde edilen sonuçların kontrolü için uygulanan yaygın yöntem sonuçların klasik teorik sonuçlar, deneysel sonuçlar, yayınlanmış diğer çalışmalar, benzer yapıların performansı ve yapılmış diğer sayısal hesaplar ile karşılaştırılmasıdır. Bazen program geliştiricileri tersine çözülmüş problemler veya sağlama örnekleri sunarlar, bu çalışmalarda aynı amaç için kullanılabilirler, fakat bu problemler nadiren asıl problemin tüm detaylarını göz önünde bulunduracak kadar geniş olur. Ayrıca akışkanlar mekaniği denklemleri yapılarında doğrusal olmayan ilişkiler barındırmaktadır. Sayısal hesaplamalarda doğrusal olmayan ilişkiler dikkatle ele alınmalıdır.

Sayısal hesaplama işlerini yapmak üzere çalıştırılan mühendislerin bazıları hesaplamalı akışkanlar mekaniği temelinde yatan teoriyi bilmiyor olabilirler veya hidromekanik problemlerinin içindeki tuzakları görebilecek kadar pratik tecrübeye sahip değiller. Analizi yapacak olan mühendis herhangi bir sayısal hesaplamaya başlamadan önce ilk olarak sisteme girdi olarak kullanacağı verinin ne kadar doğru olduğunu, sayısal hesaplamalarda kullanacağı programın çözeceği problemi ne kadar iyi modelleyebileceğini ve elde edeceği sonuçları nasıl kontrol edebileceğini sorgulamalıdır. Bu amaçla, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, kalite ve kontrolü için ön çalışma aşamasında bir prosedür dizisi hazırlanıp takip edilmelidir.

Genellikle kompleks geometrileri oluşturmak, onlara uygun geometrik çözümlene ağını yaratmak, farklı olasılıklar için sınır koşullarını uygulamak, probleme özel detayları atamak ve programın içindeki gerekli ayarlamaları yapıp analize uygun hale getirebilmek çok uzun zaman alır. Ancak problemin geometrisinin yaratılması sayısal modelleme işleminin sadece bir parçasıdır. Tasarım aşamasında en önemli problem aslında ortaya çıkan belirsizliklerdir. Bu belirsizlikler mesela hesaplamalarda kullanılacak olan malzemelerin özelliklerinin yeterince iyi bilinmemesi veya sınır ya da başlangıç koşullarının doğru olarak tahmin edilememesi ile ilgili olabilir. Bu belirsizlikler ayrıca çözüm yolunun uygunluğu ile ilgili de olabilir. Örneğin akışkanlar mekaniği çözümlerinde bir çok zaman kilit noktayı oluşturan basınç hesaplamalarında kullanılacak teknik seçimi gibi.

Aslında sayısal benzeşim çalışmalarında ortaya çıkan problemleri ortadan kaldıracak ve analizleri yapanlar tarafından sonuçların doğruluğunun kontrolünü sağlayacak basit bir kılavuz yoktur. Ancak bu yetenek aşağıda sayılan adımlara dikkat edilerek zaman içinde kazanılabilir:

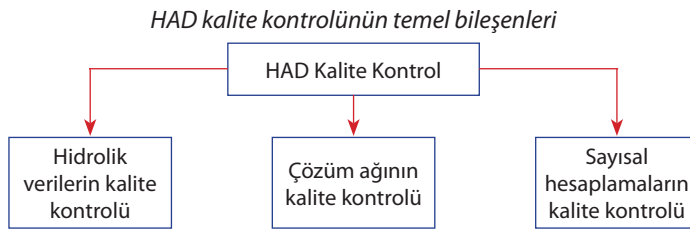
- Sayısal benzeşim metodlarının doğru olarak anlaşılması- bu beceri ve bilgi birikimi lisanüstü ve doktora seviyesinde alınan eğitimler ile ya da bu konuda bilgi birikimine sahip kurum ve kuruluşlarda uzun dönemli çalışmalar sırasında kişisel eğitim ve gelişim çalışmaları ile kazanılabilir.
- Temel teori ve değişik problemlerin çözümlerindeki özel yaklaşım yöntemleri hakkında bilgi. Bu tür bilgi ve beceriler de yine bir önceki madde de belirtildiği gibi eğitim çalışmaları ile kazanılabilir.
- Sayısal benzeşimlerin yapılmasında ve gerçek dünyaya ait problemlerin çözümlerinde mühendislik yaklaşımları ile ilgili tecrübe. Bu tecrübe bu konuda çalışan kurum ve kuruluşlarda çalışmalar sırasında daha tecrübeli uzmanların yardımı ve yol göstermeleri ile kazanılabilir.

Sayısal akışkanlar dinamiği analizlerinde kullanılan kalite kontrol prosedürlerin sadece problemin doğru çözümü ve mühendislik yaklaşımı için olmadığını bir kez daha vurgulamakta fayda vardır. Bir çok zaman çözümlene için kullanılan metodun nasıl çalıştığını, benzer problemlerde sayısal çözümlene metodunun nasıl davrandığını tam olarak anlamak için gerçek kompleks modelle-

meden önce daha basit geometri ve problemlerin modellendiği denemeler yapmak gereklidir. Bu konudaki deneyimler göstermiştir ki bu gibi test modelleri bir çok zaman projenin son tasarımının yapılmasını sağlamış ve daha sonraki gerçek karmaşık modelleme sadece bir kontrol olarak kullanılmıştır.

6. Dolusavak HAD modelleme kalite kontrol prosedürü

Dolusavak veya benzeri hidrolik yapılarının HAD ile çözümlenmelerinin yapılması sırasında kalite kontrol mekanizmasını üç önemli aşamanın kontrolü şeklinde gerçekleştirmekte fayda vardır. Bunlardan ilki hidrolik yapı için temel akım verilerinin kontrolüdür. Daha sonra dizayn edilmekte olan yapının geometrisinin tanımlanması ve uygun çözüm ağının oluşturulup, oluşturulan bu HAD çözümlerinde kullanılacak ağın kalitesini sorgulanması, son olarak elde edilen çözüm paket programının veya çözüm için geliştirilen programın kontrolüdür.

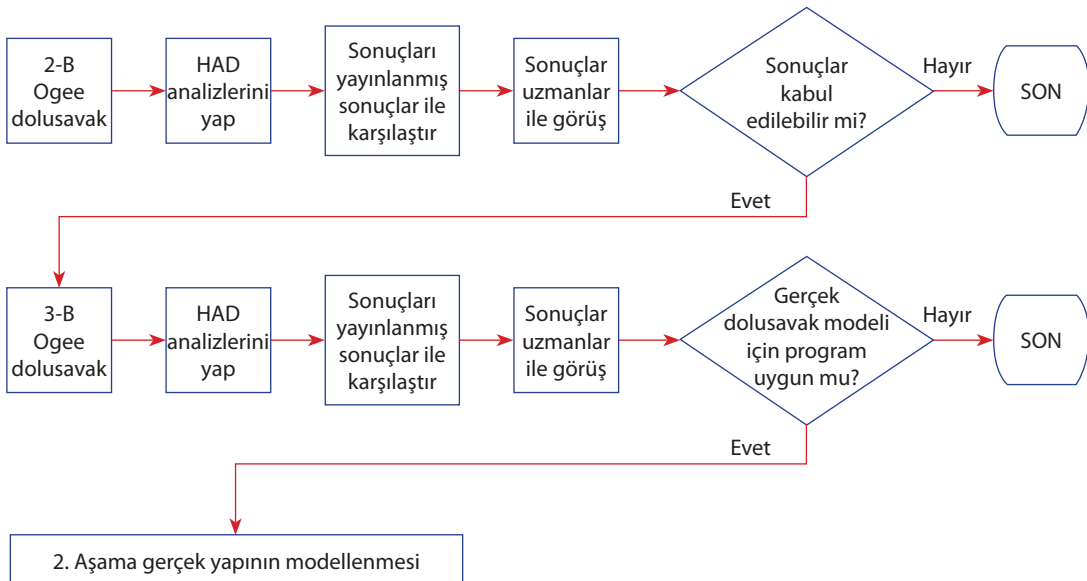


Hidrolojik verilerin kalite kontrolü değişik istatistiksel yöntemler ile gerçekleştirilebilmekte olup bu maddelerin çatısı altında değerlendirilmeyecektir.

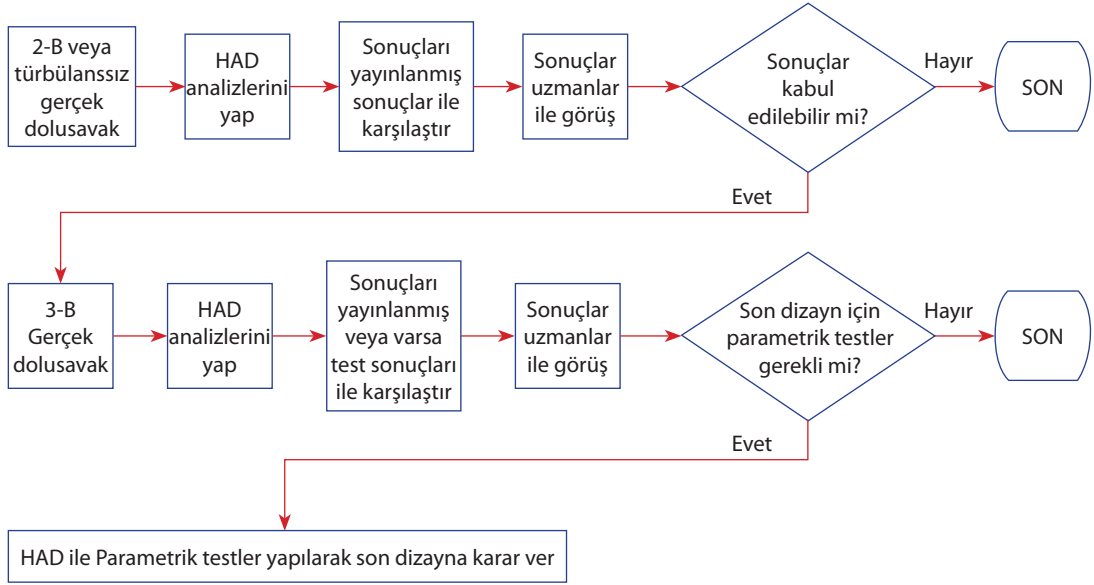
Oluşturulan geometrik çözüm ağının kalite kontrolü için geliştirilmiş birçok algoritma vardır. Ayrıca çözüm ağının oluşturulan programların bir çoğu içinde geometrik ağın kalitesini sorgulayan alt programlar da yer almaktadır. Bunların dışında elde edilen çözüm ağının geometrisinde değişiklikler yaparak çözüm ağının kalitesini düşük olduğu yerlerde ilaveler ile kalitesini yükselten algoritmalar da bu amaç için kullanılabilir.

Bir dolusavakın sayısal modellenmesi ile ilgili olarak kalite kontrol ve sonuçların doğrulanmasında kullanılacak modelleme aşağıdaki prosedür içinde yapılabilir. İki aşamalı kontrol sistemi söz konusu olabilir; bunlardan ilki kullanılmakta olan paket programın ya da geliştirilmiş olan programın çözümü yapılacak olan problemi tanımlama ve çözümündeki başarısının sınanması, ikincisi ise

1. Aşama seçilen yada geliştirilen programın dolusavak modelleme için uygunluğunun test edilmesi



2. Aşama gerçek yapının modellenmesi ve parametrik çalışmalar ile son dizayna karar verilmesi



elimizdeki gerçek problemin tanımı ve çözümündeki başarısının sınanmasıdır. Bu anlamda eldeki paket program veya çalışmalar sırasında geliştirilen sayısal analiz programı daha önceden fiziksel modellemeleri yapılmış bir problem için çözümlenmeler yapılarak elde edilen sonuçlar fiziksel modelleme ve literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılmalıdır. Bu çalışmadan elde edilecek sonuç bize elimizdeki programın güvenle kendi problemimiz içinde kullanılıp kullanılmayacağı hakkında fikir verecektir. İkinci aşamada ise gerçek problemimizin görece sadeleştirilmiş bir halinin mesela gerçek üç boyutlu problemin eğer mümkünse iki boyutlu olarak çözülmesi ya da modelleme zorluğunu ciddi derecede arttıran türbülans olmadan çözülmesi olabilir. Bu modelleme bizi son tasarım konusunda oldukça önemli bir aşamayı geçmemizi sağlayacaktır. Son olarak yapılacak olan modelleme eldeki program ile gerçek problemin olabildiğince gerçeğe yakın modellemesi ise bize geriye dönük olarak yapılmış olan tüm test modellemelerinin doğruluğunu kontrol etmemize olanak sağlarken bir yanda da bize son tasarımımızın davranışını tüm ayrıntıları ile verecektir.

7. Sonuç

Bilgisayar ile modelleme çalışmalarının temeli 18. ve 19. yüzyıllarda elde edilen differansiyel denklemler ve onların sayılaşdırılmasına dayanmasına rağmen, ancak günümüzde gelişen bilgisayar teknolojileri ile mühendislik çalışmaları arasında yerini almaya başlamıştır. Bilgisayar modelleme çalışmaları özellikle sınır koşulları ve malzeme parametreleri kontrol edilebilen ya da doğru olarak belirlenebilen problemlerde kullanımı görece daha önce başlamış olsa bile, hemen hemen her mühendislik alanında gelişimin ilk safhasındadır. Bu anlamda yapılan tüm çalışmalar titiz bir doğrulama ve güvenilirlik sorgulaması ile bu konudaki bilgi birikimine de katkı sağlamaktadır.

Bu sorgulama sırasında dolusavak modellemelerine özel, atlanmaması gereken noktaları bir kez daha sıralayacak olursak:

- Hesaplamalarda kullanılacak verilerin güvenilirliği.
- Geometrinin doğru olarak tanımlanması ve tanımlanan geometri içinde oluşturulan hesap ağının kontrol edilerek düzenlenmesi.
- Kullanılacak olan paket programın veya geliştirilen programın özelliklerinin problemin kendisi ile uyumluluğu.
- Hesaplamalarda kullanılacak teori, yöntem ve algoritmaların güvenilirliği.
- Analizleri yapacak olan teknik personelin gerek hesaplama gerek mühendislik bilgi ve becerisinin yeterli olması.

- Problemin geometrisinin ve daha sonra sayısal çözüm ağının yeterli detay ve hassasiyette hazırlanabilmesi.
- Sayısal analizden elde edilen sonuçların daha önce yapılmış deneysel ya da sayısal çalışmalar ile tutarlılık içinde olması.
- Elde edilen sonuçların tasarım ve çözümlerde doğru olarak kullanılması için yapılacak değerlendirmelerde yeterli bilgi beceriye sahip olunması.

Medeniyetin tarihinde ilk inşa edilen yapılardan biri olan barajlar günümüzde de halen inşa edilmekte ya da inşa edilenler kullanılmaktadır. Bilim ve teknoloji çağının en önemli aracı olan bilgisayarların baraj tasarımında kullanılması kaçınılmazdır. Son yıllarda geliştirilen programlar ve bilgisayar donanımları ile sık sık karşılaşmakta olduğumuz su yapılarının modelleme örneklerinin güvenilirliğinin sorgulanması gerekliliği yadsınamaz bir gerçektir. Ancak bu sorgulama önyargılardan ve abartılardan uzak nesnel bir temele oturmalıdır. Bu nesnel temel de yine bilim içinde oluşturulmalı ve deneyimler ile desteklenmelidir. Su yapılarında yapılan modellemenin her aşaması bir neden sonuç ilişkisi içerisinde sorgulanmalı ve kullanılan yöntemlerinin bilimsel tutarlığına dikkat edilmelidir. Ancak bu şekilde güvenliği her aşamada sorgulanan bir modelleme yaklaşımı ile bilgisayar destekli doğal afetlerden korunabiliriz.

Kaynakça

- Chanel P. G., Doering J. C. 2008. "Assessment of Computational Modeling Using Computational of Fluid Dynamics" Canadian Journal of Civil Engineering 35: 1481-1485
- Nielsen K. D., Davis A. L., 2008. "CFD Analysis of Vortex Dropshaft Structure" World Environmental and Water Resources Congress 2008.
- Pathapati S. S., Sansalone J. J. 2009. "CFD Modeling of a Storm-Water Hydrodynamic Separator" Journal of Environmental Engineering April 2009.
- Gessler Dan 2005. "CFD Modeling of Spillway Performance" Ewri 2005.
- Lávička David. "CFD Simulation of Analogy between Compressible and Free Surface Flow"
- Teklemariam E. et. al. 2002. "Computational Fluid Dynamics: Diverse Applications In Hydropower Projects Design And Analysis" Cwra 55th Annual Conference.
- Ho D. K. H., Donohoo S. M., Boyes K. M. and Lock C. C. "Numerical Analysis And The Real World It Looks Pretty But Is It Right?"
- Latif Bouhadji "Three Dimensional Numerical Simulation of Turbulent Flow Over Spillways"
- Yoo. S., Hong K., and Hwang M. 2002. "A 3-Dimensional Numerical Study of Flow Patterns Around A Multipurpose Dam" Hydroinformatics 2002: Proceedings of The Fifth International Conference on Hydroinformatics.
- Zhang C. 2007. "Challenges of High Dam Construction to Computational Mechanics" Front. Archit. Civ. Eng. China 2007, 1(1): 12-33
- Qiu J. and Fang X., 2009. "Challenges on Three Dimensional Simulations of Free Surface Flow" World Environmental And Water Resources Congress 2009: Great Rivers
- Chanel P.G. and Doering J.C. 2007. "An Evaluation of Computational Fluid Dynamics for Spillway Modeling" 16th Australasian Fluid Mechanics Conference Australia
- Savage B. M., and Johnson M. C. 2007. "Flow Over Ogee Spillway: Physical and Numerical Model Case Study" Journal of Hydraulic Engineering / August 2001
- Ho David, et al. 2003. "Numerical Flow Analysis for Spillways" 43rd Ancold Conference Hobart, Tasmania, 24-29 October 2003
- Aydin İ. 2001. "Computational Fluid Mechanics Lecture Notes"
- Aydin C. M. ve Aydın S. 2006. "Dolusavaklarda Hidrolik Karakteristiklerin Sayısal Analiz Yöntemi ile Belirlenmesi" Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi 18 (4), 521-533, 2006.
- Turan C. et al. 2007. "Water entrainment due to spillway surface jets" International Journal of Computational Fluid Dynamics, Vol. 21, Nos. 3-4, March-May 2007, 137-153
- Ebner L. L. 2004. "Practical Use of Computational Fluid Dynamics Models As a Design Tool - Limitations and Assumptions" World Water Congress 2004
- Öztürk M. and Aydın C. 2009. "Verification of 3-D Numerical Model for Spillway Aerator" Mathematical and Computational Applications, Vol. 14, No. 1, pp. 21-30, 2009.
- Groeneveld J. et all. 2007. "Comparison of Intake Pressures in Physical and Numerical Models of the Cabinet Gorge Dam Tunnel" Waterpower XV 2007