

OROGRAFİK (YERE-YAKIN) ALANLAR ÜZERİNDE ZAMANLA HIZLI DEĞİŞEN 3 BOYUTLU RÜZGAR GİRDAPLARI VE BUNLARIN UÇUŞ GÜVENLİĞİNE ETKİLERİ

H. Arsev ERASLAN

Boğaziçi Üniversitesi
Bebek – İstanbul
arsev.eraslan@boun.edu.tr

Ütgm. M. Boran ÇİĞİRTKAN *

Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri
Enstitüsü Yeşilyurt – İstanbul
bcigirtkan@yahoo.com

Geliş Tarihi: 29 Temmuz 2008, *Kabul Tarihi:* 19 Ocak 2009

ÖZET

Bu çalışmada Wind-FLOWER sayısal modelleme yeteneğinin uygulamaları ile coğrafi bölgelerde belirlenmiş, gerçek topoğrafya bilgileri kullanarak, dağlık alanlarda yere-yakın (orografik) hava akışlarının sayısal olarak modellenmesi yapılmıştır. Sayısal modelleme yeteneğinin geliştirmiş olduğu benzetim sonuçları, yere-yakın hava akışlarının içerdiği, zamanla hızlı değişen girdap oluşumlarında 3 boyutlu özelliklerin önemini kesinlikle göstermektedir. Sayısal modelleme yeteneğinin uygulamalarında, gerçek "Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)" bilgilerini içeren topoğrafik sayısal yükseklik verileri kullanılmış ve bu sayısal yükseklik verileri, Wind-FLOWER modelinin uygulamaları için gereken yer-yüzeyi verilerini oluşturmuştur. Modelin uygulaması kapsamında ön-işlemci (pre-processor) ve ard-işlemci (post-processor) yazılım derlemleri geliştirilmiştir. Ön-işlemci ve ard-işlemci yazılım derlemleri ile birlikte uygulanması gereken ve sayısal modelin kolaylıkla kullanılmasını sağlayan bir "Görüntüleme Kullanıcı Arayüzü (GKA)" [Graphical User Interface (GUI)] yazılım derlemi de oluşturulmuş ve uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Oroğrafya, Topoğrafya, İnsansız Hava Aracı, Sayısal Akışkanlar Dinamiği, Büyük Girdap Benzetimi.

THE SIMULATION OF TIME-DEPENDANT THREE DIMENSIONS (3D) WIND VORTEX WHICH COMES INTO BEING ON OROGRAPHY AREAS AND USING OF IT IN THE INCREASING FLIGHT SAFETY

ABSTRACT

In this study, it is studied that the augmented Wind-FLOWER numerical modelling skill's applications and land-surface (orographic) air flows' numerical modelling on mountain areas by using real topography datas which are defined on geographic areas. This numerical modelling skill's simulation results show that 3-D specifications are very important for being of time-dependant quick-change vortex which are included by land-surface air flows. In the numerical modelling skill's applications topographical numerical altitude datas that include informations and datas of really "Numerical Altitude Model (NAM)" are used. These real topographic datas, used in application part, are examined very tightly and seperated same size topographic datas before using as initial/beginning datas for Wind-FLOWER numerical modelling. Then, these topographical datas are used as land-surface data for modelling applications. This modelling applications include a pro-processor and a post-processor. The pro-processor runs land-surface numerical datas and uses them in numerical modelling applications. The post-processor constitutes 2-D and 3-D images by using the numerical modelling applications' datas of land-surface air flow and determined vortex formations and vortex-density distributions. Furthermore, a "Graphical User Interface (GUI)" is constituted which is required to work with pre-processor and post-processor and is practiced for easy usage of numerical modelling.

Keywords: Orographic, Topography, Unmanned Air Vehicle, Turbulence Models, Computational Fluid Dynamics.

* Sorumlu Yazar

1. GİRİŞ

Çağımızın havacılığının, tarihi içerisinde bu günlere gelmesinin yaklaşık dört yüzyıl öncesine (Hezarfen Ahmet Çelebi, 1632) dayandığı bilinmektedir. Bu uzun ve sürekli çalışma gerektiren süre zarfında, hava araçları üzerinde güvenli uçuş sergileyebilecek bir yapı oluşturulması için sürekli üzerinde çalışılmıştır. Özellikle bölgesel alanlarda fiziksel yapılarının sebep olduğu yere-yakın (Oragrafik) doğa oluşumları bulut, rüzgar ve önemli olarak yerel rüzgar girdaplarının incelenmesi gereken noktaları oluşturmaktadır. Yerel alanlarda yere-yakın doğa oluşumlarının zamanla-hızlı-değişen Büyük Girdap Benzetimi (BGB) [Large Eddy Simulation (LES)] yaklaşımını ve uygun çözünürlük gereksinimlerini göz önüne alarak incelenmesi gerekir. Hava araçlarının insansız hava aracı (İHA) olarak gelişim sürecine girmesi ve yapmış oldukları görev önceliğine göre yere-yakın bir ortam içerisinde uçuş gerçekleştirmesi uçuş güvenliğinin artık daha fazla artırılması gerektiğini göstermektedir. Ayrıca enerji sıkıntısı yaşadığımız bu günlerde yere-yakın bölgelerde oluşan rüzgar akımlarından elde edilebilecek rüzgar enerjisi, tesislerin yüksek düzeyde verim alınabilecek alanlara kurulabilmesini sağlayacak şekilde incelenmeli ve inceleme sonuçlarına göre yapım ve uygulama adımlarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

2. YERE-YAKIN SAYISAL MODELLEMeye GENEL BİR BAKIŞ

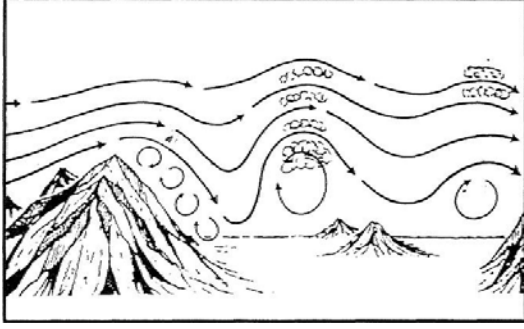
Yerel alanlarda olan yere-yakın zamanla-hızlı-değişen BGB yaklaşımını ve buna uygun çözünürlük gereksinimlerinin incelenmesi sonucunda en ileri fiziksel ve sayısal yöntemleri kullanarak özellikle “Bağlı” (Attached) BGB [BBGB], “Ayrık” (Detached) BGB [ABGB] ve “Kopan” (Shedding) BGB [DBGB] girdap oluşumlarını belirleyebilmek için istenilen düzeye kadar, değişik uygulama alanlarında kullanılacak sayısal modelleme ihtiyacı bulunmaktadır. Çalışma kapsamında kullandığımız sayısal model, topoğrafik alan üzerinde Dağ Dalgaları (Lee waves) oluşumlarının gerçeğe yakın olarak sayısal modelin yapısı, dağ oluşumlarının üzerinde yeterli yükseltide oluşabilen “yüksek-esnek-yüzey” (high-flexible-surface) koşullarını kullanarak gerçekleştirebilmektedir. Özellikle dikey düzlemde oluşan yere-yakın yerel “kopan” büyük girdap oluşumlarını yüksek doğruluk düzeyinde belirleyebilmektedir.

Hava içerisinde olan atmosfer şartlarının yarattığı olaylar insanlar için sürekli bir inceleme konusu olmuştur. Özellikle insan hayatını etkileyecek şekilde olan oluşumlar üzerinde meydana gelen etkinin ölçüsünü değerlendirebilmek, değerlendirme neticesine göre sonuçlar türetmek bir gereksinim halini almıştır. İlk olarak atmosferin troposfer seviyesinde meydana gelmekte olan bu hava olayları,

basınç, ısı ve çevre faktörlerinin meydana getirdiği oluşumların çözümlenebilmesi için Genel Dolaşım Modeli (GDM) [General Circulation Model, GCM] geliştirme çalışmaları başlatılmıştır. Konu ile ilgili olarak akışkanlar dinamiği laboratuvarlarında havada oluşan tüm hava akışları ve oluşumları ile ilgili bölgesel boyut düzeylerinde modelleme çalışmaları yapılmıştır [4]. Özellikle okyanus ve denizler üzerinde oluşan hava akımları [8], bölgesel hava tahminlerine dayalı çalışmalar detaylandırılarak [9] incelenmiş ve incelemeler yerel boyutlarda çalışma yapmak için kaynak olmuştur.

İlerleyen dönemlerde ise çalışma bölümleri indirgenmiş ve çalışmalar Yere-yakın Rüzgar Modeli (YRM) [Orographic Wind Model, OWM] kapsamında yerel boyut düzeylerinde incelenmiştir. [10] Yere-yakın rüzgar ve girdap hareketleri bir çok alanda detaylı bilimsel araştırmaya konu olmuştur ve olmaya devam ettiği görülmektedir. Çalışma alanı olarak bölgesel boyut düzeyleri dışında yerel boyutlarda alçak seviye dalga kırılmaları, üst akım oluşumları, kopmaları ve dağ dalgaları seçilmiştir. Çözümlemelerde ana hedef çözümlenebilen ve çözümlenemeyen dinamik, zamanla-hızlı-değişen hava hareketlerini topoğrafik alanda gösterilebilmesidir [11]. Yerel boyut düzeylerinde adalar ve adaların etrafında meydana gelen hava akımına bağlı oluşumlarda [12], büyük vadiler içerisinde olan hava akımlarında [13], akarsu yataklarının olduğu vadilerdeki su ve akımlarının analiz edilmesinde [1], enerji verimine yönelik akımları ve dağlık alanlarda oluşan girdap dökülmeleri ve dağ dalgalarında [14] konu incelenmiş ve incelemeler sonucunda hayata yönelik neticeler elde edilmiştir. Bu çalışmalar günümüz teknolojik çalışmalar altında ve çalışma alanları genişletilerek analiz edilmelerine devam etmektedir. Günümüzde bu konular ile ilgili olarak hem yere-yakın rüzgar ve girdap hareketlerinin incelendiği hem de genel kapsamda tüm bu oluşumların uçaklar üzerinde yaratmış olduğu gerçek zamana bağlı etki modellemelerin yapıldığı ve incelendiği Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) bünyesinde araştırma merkezleri kurulmuştur.

Topoğrafik yapı sebebi ile oluşan ve dağ dalgaları olarak tanımlanan hava akışları yere-yakın rüzgar durumlarında bölgesel olarak gelişmekte ve girdap akımlarını da beraberinde oluşturmaktadır (Şekil 1) [15]. İçinde bulunduğu hava parselinin yukarıya doğru, bir engebe veya engel tarafından yükselişe zorlanmasıyla oluşan rüzgar akımı ve yükselen hava içinde basıncın azalmasını takiben görülen bölge üzerindeki soğuma, çok farklı seviyelerde akışlar olmasını ve bölgede büyük girdap oluşumların meydana gelmesini sağlayacaktır.



Şekil 1. Yere-Yakın Kopan Rüzgar Oluşumları

Hava araçları seyir halinde iken, içinde bulunduğu ortamda meydana gelen rüzgar olayları beklenmedik bir zaman dilimi içerisinde uçuş güvenliğini tehlikeye düşürecek durumlar yaratabilmektedir. Yaşanan bu olayların gözlemlenip ya da tahminlerinin yapıp kullanıcılara sunulması ile zararlarının azaltılması bunun yanında sağlanacak faydanın artırılması mümkün olabilir. Bu noktadan hareketle beklenmedik bir şekilde ama önemli olarak yere-yakın yapıların etkisi ile oluşan ve mevcut akımlarla birleşimi sonucu meydana gelen girdap yayılması durumu incelenmelidir. İncelemeler neticesinde insanlı/insansız hava araçlarının seyir halinde iken karşılaşılabileceği olumsuz şartların önceden uygulamalı modelleme ile bilinmesi ve buna göre düzeltici işlemlerin yapılmasının sağlanabilmesi, uçuş güvenliği açısından önemli bir noktadır. Hava araçlarının uçuşu gerçekleştirebilmesi için üzerine etki eden kuvvetlerin dengelenmiş olması gerekmektedir. Güvenli ve dengeli bir uçuş için bu durum zorunludur [16]. Uzun yıllar boyunca rüzgarın hava araçları üzerine olan etkisi pilotlar arasında önemli bir tartışma konusu olmuştur. Rüzgarın hava aracı üzerindeki bütün etkisi söz konusu iki durumla sınırlı kalmadığı için, bu alanda pek çok anlaşılmayan durum yaşanmış bu da girdap içerisinde bulunan rüzgar kesmesinin (wind shear) hava aracı üzerine olan etkisinin anlaşılmasında büyük zorlukların yaşanmasına neden olmuştur.

Yüksek çözünürlükteki bilgisayar grafik teknolojisinin artması ile birlikte yeni bir sayısal modelleme geliştirme ve uygulama teknoloji alanı oluşmaktadır. Birçok problemin analizinde kullanılacak olan analitik yöntemler günümüz teknolojisindeki uygulamalarda çoğu kez yetersiz kalmaktadır. Analitik veya tam yaklaşımlarla yapılan çalışmalar mühendislik problemlerinin doğasının anlaşılmasına büyük katkılar sağlamıştır. Endüstriyel uygulamanın gereği olarak ya gerçek boyutlarda ya da daha küçük modeller kullanılarak gerçekleştirilen fiziksel olarak yapılan deney çalışmaları çoğu kez yüksek teknoloji içeren ölçüm düzeneklerini ve araçlarını kullanması gerektirmektedir. Bu durumda kuvvetli ve sürekli bir finans kaynağının varlığı gerekmektedir. Bu ve buna benzer sebepler doğrultusunda teorik çalışmalar

arasında son kırk yıl içerisinde giderek gelişen sayısal yöntemler, diğer bir deyişle Sayısal Akışkanlar Dinamiği (SAD) [Computational Fluid Dynamics (CFD)] yöntemleri ön plana çıkmış ve geniş çaplı uygulama alanları oluşturmuştur. Akışkanlar dinamiği daha genel olarak akışkanlar fiziğini, matematiksel olarak düzgün olmayan formlarda çözümlenebilmektedir. Özellikle BGB yaklaşımı, Navier-Stokes denklemlerini, belirtilmiş girdap ağdalığı (eddy-viscosity) modellerine uygun olarak, benzetim gereksinimlere uygun çözünürlüklerde ve kargaşık (Turbulent) akımların doğrudan benzetimini uygulayarak ve gereken sonuçlarında çözümlenmektedir. Sayısal Akışkanlar Dinamiği çözümlerinin BGB yaklaşımı çözümlerinde öncelikli tercih edilen Baldwin-Lomax ve Smagorinsky-Lilly kargaşık alt modellerinin çalışma ortamı içerisinde gerçeğe en yakın neticeyi vereceği bilinmektedir [17].

Bu çalışmada; dağ dalgaları ve kopan girdap oluşumlarını gerçeğe yakın olarak modellenebilmesi için özel sayısal modelleme yeteneği kullanılmaktadır. Sayısal modelleme yeteneğinin geliştirdiği benzetim sonuçları, yere-yakın hava akışlarının içerdiği, zamanla-hızlı-değişen girdap oluşumlarında 3 boyutlu özellikleri ticari bir paket program olmadan tamamen özgün, kaynak kodlarını bilenen ve istenildiği zaman rahatlıkla müdahale edilebilecek seviyede olan bir sayısal modelleme programı ile gerçekleştirilmektedir.

3.MODELLEME YETENEĞİ GELİŞİMİ VE SAYISAL MODELLEME ÜZERİNDE TANIM VE UYGULAMASI

Zamanla-hızlı-değişen 3 boyutlu akışların oluşturduğu BGB sayısal modellenmesi fiziğin üç fiziksel oluşumlarının gerçeğe en yakın sayısal doğrulukla çözümlenmesi ile gerçekleştirilmelidir. Bu eksikliği gidermek için önceki uygulamalarda temel fiziksel kuralların matematiksel betimlenmesinde kullanılan Tümlüsel Kuram (Integral Theory) ve Türevsel Kuram (Differential Theory) olarak kullanılan iki geleneksel yaklaşımdan değişik olarak, yeni bir üçüncü Ayrık Kuram (Discretal Theory) yaklaşımı kullanılmaktadır. Ayrık Kuram ile gerçekleştirilen çözümlerde fiziğin 3 temel oluşumunu Dalga Fiziği Olgusu [Hacmi] (Wave Physics Phenomenon), Taşınım Fiziği Olgusu [Hacmi] (Advection Physics Phenomenon), Yayınım Fiziği Olgusunun [Hacmi] (Diffusion Physics Phenomenon)) gerçeğe en yakın doğruluk düzeyinde çözüldüğü görülmüştür. Gerçeğe en yakın sonuçların alınması için fizik oluşumlarının yüksek doğruluk düzeyinde çözülmesi gerekmektedir.

Önemli olarak, özellikle kopan büyük girdap oluşumlarının kopma frekanslarını yüksek doğruluk düzeyinde belirleyebilmek için dalga fiziği olgusunun özenle modellenmesi gerekir. Bu çalışmada kullanılan sayısal model, üç fiziksel olguyu ve özellikle dalga fiziği olgularını fiziksel olarak modellemekte ve temel

fiziksel kuralların matematiksel betimlenmesinde kullanılan geleneksel iki yaklaşımdan değişik olarak, yeni bir üçüncü Ayrık Kuram yaklaşımı kullanılmaktadır.

3.1 Ayrık - Kuram Fiziksel- Matematiksel Model Gelişimi

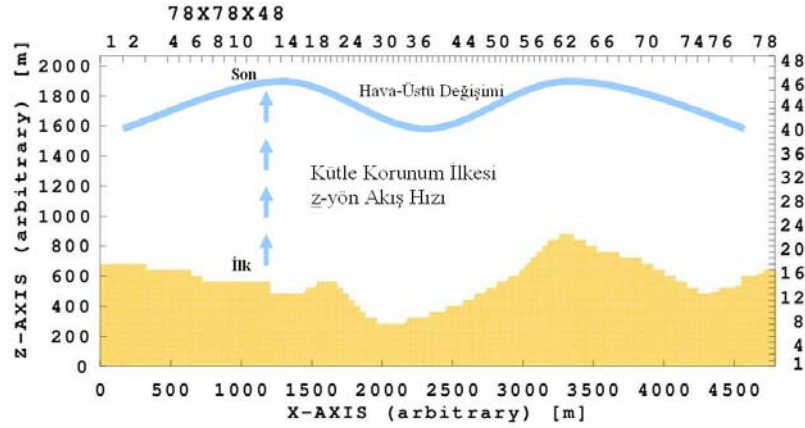
Fiziksel-matematiksel modellemenin daha az kullanılan, birinci, “Tümlevsel Kuram” yaklaşımı, genellikle, “Sonlu Büyük” (Finite-Large) boyutunda oylum üzerine kurulmuş bir kuram olarak tanımlanabilir. Daha çok kullanılan, ikinci, “Türevsel Kuram” yaklaşımı, genellikle, “Sonsuz Küçük” (Infinitesimal) boyutunda (noktaya yaklaşan) oylum üzerine kurulmuş bir kuram olarak tanımlanabilir. Günümüzde, zamanla-hızlı-değişen, akışkanlar fiziği ile ilgili çalışmalarda bu iki tür kuramsal yaklaşım için geliştirilmiş olan explicit (doğrudan), veya implicit

(dolaylı) algoritmalar genellikle birleşik “taşınım fiziği” ve “yayınım fiziği” için gereken sayısal modellerin geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Akışkanlar fiziği modelleme gereksinimleri dikkatle göz önüne alınırsa bu tür sayısal işlemlere en uygun kuralın, “Sonlu Küçük” boyutlu oylum üzerine kurulmuş bir kuram olması gerektiği belirlenir. Belli uygulama alanlarında yüksek doğruluk düzeylerinde sonuçlar elde etmek için gereken SAD uygulamaları için geliştirilen algoritmaların evrensel düzeylerde, yeterli doğru sonuçlar vermediği görülmektedir. Yapılan uygulamalar incelendiğinde, Ayrık Kuram ile geliştirilen SAD uygulamalarının evrensel düzeyde, her uygulama alanında yüksek doğruluk düzeyinde sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

3.2 Sayısal Modellemenin Tanımı Ve Uygulaması

3.2.1 Kütle Korunum İlkesi-z-yön Akış Hızı çözümü



Şekil 2. Kütle Korunum İlkesi-z-yön Akış Hızı çözümü

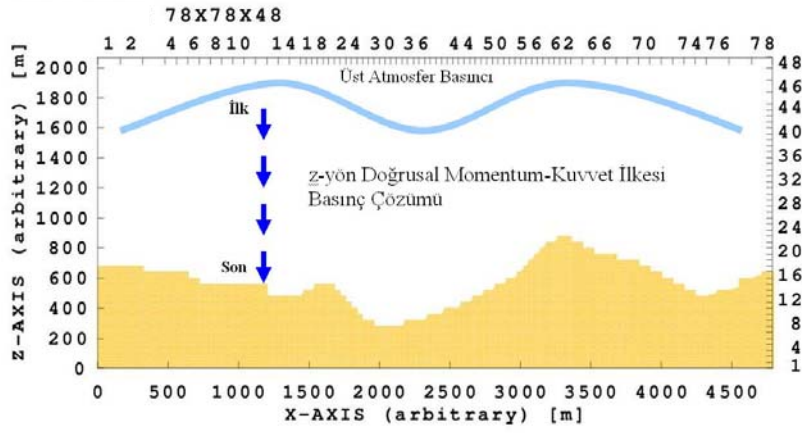
$$\frac{\partial}{\partial t} [\bar{\rho}_{i,j,l} v_{i,j,l}] = \left[\iint_{A_{es}} \tilde{\rho}_s \vec{V}_s \cdot (-\hat{n}_s) dA_s \right]_{i,j,l} + \left[\iint_{A_{es}} (\bar{q}'' \rho) \cdot (-\hat{n}_s) dA_s \right]_{i,j,l} \quad (1)$$

x- yön doğrusal momentum-kuvvet ilkesi

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \bar{V}_{x;i\mp\frac{1}{4},j,l} &= \frac{1}{\bar{\rho}_{i\mp\frac{1}{4},j,l} v_{i\mp\frac{1}{4},j,l}} \left[\iint_{A_{es}} (\tilde{V}_{x,s} - \bar{V}_x) \tilde{\rho}_s \vec{V}_s \cdot (-\hat{n}_s) dA_s \right]_{i\mp\frac{1}{4},j,l} \\ &+ \frac{1}{\bar{\rho}_{i\mp\frac{1}{4},j,l} v_{i\mp\frac{1}{4},j,l}} \left[\iint_{A_{es}} (p_s - \bar{p})(-\hat{n}_s) \cdot \hat{u}_x dA_s \right]_{i\mp\frac{1}{4},j,l} \\ &+ \frac{1}{\bar{\rho}_{i\mp\frac{1}{4},j,l} v_{i\mp\frac{1}{4},j,l}} \left[\iint_{A_{es}} (\sigma_{sx})_s \hat{u}_x \cdot \hat{n}_s dA_s \right]_{i\mp\frac{1}{4},j,l} \\ &+ \frac{1}{\bar{\rho}_{i\mp\frac{1}{4},j,l} v_{i\mp\frac{1}{4},j,l}} \left[\iint_{A_{es}} (\bar{\tau}''_{sx})_s \cdot (-\hat{n}_s) dA_s \right]_{i\mp\frac{1}{4},j,l} + \bar{a}_{x;i\mp\frac{1}{4},j,l} \end{aligned} \quad (2)$$

y- yön doğrusal momentum-kuvvet ilkesi

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial}{\partial t} \bar{V}_{y;i\mp\frac{1}{4},j,l} &= \frac{1}{\bar{\rho}_{i\mp\frac{1}{4},j,l} v_{i\mp\frac{1}{4},j,l}} \left[\iint_{A_{es}} (\tilde{V}_{y;s} - \bar{V}_y) \tilde{\rho}_s \bar{V}_s \cdot (-\hat{n}_s) dA_s \right]_{i\mp\frac{1}{4},j,l} \\
 &+ \frac{1}{\bar{\rho}_{i\mp\frac{1}{4},j,l} v_{i\mp\frac{1}{4},j,l}} \left[\iint_{A_{es}} (p_s - \bar{p})(-\hat{n}_s) \cdot \hat{u}_y dA_s \right]_{i\mp\frac{1}{4},j,l} \\
 &+ \frac{1}{\bar{\rho}_{i\mp\frac{1}{4},j,l} v_{i\mp\frac{1}{4},j,l}} \left[\iint_{A_{es}} (\sigma_{sy})_s \hat{u}_y \cdot \hat{n}_s dA_s \right]_{i\mp\frac{1}{4},j,l} \\
 &+ \frac{1}{\bar{\rho}_{i\mp\frac{1}{4},j,l} v_{i\mp\frac{1}{4},j,l}} \left[\iint_{A_{es}} (\overline{\tau''}_{sy})_s \cdot (-\hat{n}_s) dA_s \right]_{i\mp\frac{1}{4},j,l} + \bar{a}_{y;i\mp\frac{1}{4},j,l}
 \end{aligned} \quad (3)$$



Şekil 3. z- yön doğrusal momentum-kuvvet ilkesi – basınç çözümü

z- yön doğrusal momentum-kuvvet ilkesi – basınç çözümü

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial}{\partial t} \bar{V}_{z;i\mp\frac{1}{4},j,l} &= \frac{1}{\bar{\rho}_{i\mp\frac{1}{4},j,l} v_{i\mp\frac{1}{4},j,l}} \left[\iint_{A_{es}} (\tilde{V}_{z;s} - \bar{V}_z) \tilde{\rho}_s \bar{V}_s \cdot (-\hat{n}_s) dA_s \right]_{i\mp\frac{1}{4},j,l} \\
 &+ \frac{1}{\bar{\rho}_{i\mp\frac{1}{4},j,l} v_{i\mp\frac{1}{4},j,l}} \left[\iint_{A_{es}} (p_s - \bar{p})(-\hat{n}_s) \cdot \hat{u}_z dA_s \right]_{i\mp\frac{1}{4},j,l} \\
 &+ \frac{1}{\bar{\rho}_{i\mp\frac{1}{4},j,l} v_{i\mp\frac{1}{4},j,l}} \left[\iint_{A_{es}} (\sigma_{sz})_s \hat{u}_z \cdot \hat{n}_s dA_s \right]_{i\mp\frac{1}{4},j,l} \\
 &+ \frac{1}{\bar{\rho}_{i\mp\frac{1}{4},j,l} v_{i\mp\frac{1}{4},j,l}} \left[\iint_{A_{es}} (\overline{\tau''}_{sz})_s \cdot (-\hat{n}_s) dA_s \right]_{i\mp\frac{1}{4},j,l} + \bar{a}_{z;i\mp\frac{1}{4},j,l}
 \end{aligned} \quad (4)$$

Enerji Korunum Dengesi:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial}{\partial t} \bar{e}_{i,j,l} &= \frac{1}{\bar{\rho}_{i,j,l} v_{i,j,l}} \left\{ \iint_{A_{cs}} (\tilde{e}_s - \bar{e}) \cdot (-\hat{n}_s) dA_s + \bar{q}_v v_{ev} \right. \\
 &\left. + \iint_{A_{cs}} (\bar{q}_{T,s} + \overline{q''}_s) \cdot (-\hat{n}_s) dA \right\}
 \end{aligned} \quad (5)$$

Kütle-Bileşimi (Nem) Korunum İlkesi:

$$\frac{\partial}{\partial t} C_{k;i,j,l} = \frac{1}{\bar{\rho}_{i,j,l} v_{i,j,l}} \left\{ \iint_{A_{cs}} (\tilde{C}_{k,s} - \bar{C}_k) \cdot (-\hat{n}_s) dA_s + \bar{m}_k v_{ev} \right. \\ \left. + \iint_{A_{cs}} \left(\bar{q}_{k,s} + \bar{q}''_{k,s} \right) \cdot (-\hat{n}_s) dA \right\} \quad (6)$$

$$\sigma_{xx} = \frac{2}{3} \mu \left(2 \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{\partial V_y}{\partial y} - \frac{\partial V_z}{\partial z} \right); \sigma_{yy} = \frac{2}{3} \mu \left(2 \frac{\partial V_y}{\partial y} - \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) \quad (7)$$

$$\sigma_{zz} = \frac{2}{3} \mu \left(2 \frac{\partial V_z}{\partial z} - \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{\partial V_y}{\partial y} \right) \quad (8)$$

$$\sigma_{xy} = \mu \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} - \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) = \sigma_{yx}; \sigma_{xz} = \mu \left(\frac{\partial V_z}{\partial x} - \frac{\partial V_x}{\partial z} \right) = \sigma_{zx}; \sigma_{yz} = \mu \left(\frac{\partial V_y}{\partial z} - \frac{\partial V_z}{\partial y} \right) = \sigma_{zy} \quad (9)$$

$$\frac{1}{\rho} \bar{\tau}''_{ij} = \bar{v}''_{il} \frac{\partial V_j}{\partial x_l} = \left\langle \frac{1}{2} v'_i v'_l \delta t' \right\rangle \frac{\partial V_j}{\partial x_l} \quad (10)$$

$$\frac{1}{\rho} \bar{\tau}''_{ix} = \bar{v}''_{il} \frac{\partial V_x}{\partial x_l} = \bar{v}''_{ix} \frac{\partial V_x}{\partial x} + \bar{v}''_{iy} \frac{\partial V_x}{\partial y} + \bar{v}''_{iz} \frac{\partial V_x}{\partial z} \quad (11)$$

$$\frac{1}{\rho} \bar{\tau}''_{xx} = \bar{v}''_{xx} \frac{\partial V_x}{\partial x} + \bar{v}''_{xy} \frac{\partial V_x}{\partial y} + \bar{v}''_{xz} \frac{\partial V_x}{\partial z} \quad (12)$$

$$\frac{1}{\rho} \bar{\tau}''_{yx} = \bar{v}''_{yx} \frac{\partial V_x}{\partial x} + \bar{v}''_{yy} \frac{\partial V_x}{\partial y} + \bar{v}''_{yz} \frac{\partial V_x}{\partial z} \quad (13)$$

$$\frac{1}{\rho} \bar{\tau}''_{zx} = \bar{v}''_{zx} \frac{\partial V_x}{\partial x} + \bar{v}''_{zy} \frac{\partial V_x}{\partial y} + \bar{v}''_{zz} \frac{\partial V_x}{\partial z} \quad (14)$$

$$\frac{1}{\rho} \bar{\tau}''_{iy} = \bar{v}''_{il} \frac{\partial V_y}{\partial x_l} = \bar{v}''_{ix} \frac{\partial V_y}{\partial x} + \bar{v}''_{iy} \frac{\partial V_y}{\partial y} + \bar{v}''_{iz} \frac{\partial V_y}{\partial z} \quad (15)$$

$$\frac{1}{\rho} \bar{\tau}''_{xy} = \bar{v}''_{xx} \frac{\partial V_y}{\partial x} + \bar{v}''_{xy} \frac{\partial V_y}{\partial y} + \bar{v}''_{xz} \frac{\partial V_y}{\partial z} \quad (16)$$

$$\frac{1}{\rho} \bar{\tau}''_{yy} = \bar{v}''_{yx} \frac{\partial V_y}{\partial x} + \bar{v}''_{yy} \frac{\partial V_y}{\partial y} + \bar{v}''_{yz} \frac{\partial V_y}{\partial z} \quad (17)$$

$$\frac{1}{\rho} \bar{\tau}''_{zy} = \bar{v}''_{zx} \frac{\partial V_y}{\partial x} + \bar{v}''_{zy} \frac{\partial V_y}{\partial y} + \bar{v}''_{zz} \frac{\partial V_y}{\partial z} \quad (18)$$

$$\frac{1}{\rho} \bar{\tau}''_{iz} = \bar{v}''_{il} \frac{\partial V_z}{\partial x_l} = \bar{v}''_{ix} \frac{\partial V_z}{\partial x} + \bar{v}''_{iy} \frac{\partial V_z}{\partial y} + \bar{v}''_{iz} \frac{\partial V_z}{\partial z} \quad (19)$$

$$\frac{1}{\rho} \bar{\tau}''_{xz} = \bar{v}''_{xx} \frac{\partial V_z}{\partial x} + \bar{v}''_{xy} \frac{\partial V_z}{\partial y} + \bar{v}''_{xz} \frac{\partial V_z}{\partial z} \quad (20)$$

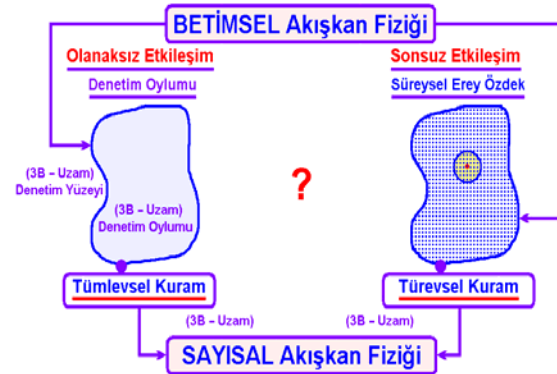
$$\frac{1}{\rho} \bar{\tau}''_{yz} = \bar{v}''_{yx} \frac{\partial V_z}{\partial x} + \bar{v}''_{yy} \frac{\partial V_z}{\partial y} + \bar{v}''_{yz} \frac{\partial V_z}{\partial z} \quad (21)$$

$$\frac{1}{\rho} \bar{\tau}''_{zz} = \bar{v}''_{zx} \frac{\partial V_z}{\partial x} + \bar{v}''_{zy} \frac{\partial V_z}{\partial y} + \bar{v}''_{zz} \frac{\partial V_z}{\partial z} \quad (22)$$

Betimsel Akışkan Fiziği ilk uygulamalarında, Şekil 4’ de görüldüğü gibi evrende kabul edilmiş “Tümlevsel Kuram” yasaları kullanılmıştır. Tümlevsel kuramda integral denklemler kullanılarak gerçekleştirilen hesaplamalardan edinilen sonuçlar akışkan içerisindeki etkileşimi belirtmekte yetersiz kaldığı için tümlevsel kuramda “Reynolds Taşıma Teoremi” ve “Gauss Divergence” teoremi kullanılarak “Türevsel Kurama” gidilmiştir. Türevsel kuramda diferansiyel denklemler kullanılmakta olup yapılan hesaplamalar sonlu büyük oylum boyutundan sonsuz küçük oylum boyutuna indirgenmiştir. Sonsuz küçük oylum boyutu üzerindeki hesaplamalarda, boyut olmadığı için ısı, nem vb. hesaplamalar yapılamamaktadır. Nokta üzerinde hesaplamalar yapılabilmektedir. Fakat nokta üzerinde erişilen sonuçlar, etrafındaki diğer noktaların durumunu belirtmeye yetmemektedir. Diferansiyel denklemler ile nokta bazına indirgenen hesaplamalar tekrar üç boyutlu denetim oylumuna erişilebilmek için integral denklemler ile noktalardan denetim oylumu yaratılmaya çalışılmıştır. Fakat bu işlem esnasında “sonlu büyük oylum boyutundan” “sonsuz küçük oylum boyutuna” gelindiğinde kaybedilen değerlere ulaşamadığı için; evrenden nokta bazına inilmeden, noktaya $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ mesafede hesaplama durdurularak sonuçlar alınmıştır. Elde edilen sonuçları doğru kabul edebilmek için; noktaya $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ mesafede elde edilen sonuçlarda; $\Delta x^2, \Delta y^2, \Delta z^2$, den büyük hatalar olmamalıdır.

İlk SAD uygulamalarında, akışkan içerisindeki sonsuz etkileşimi hesaplamak için, evren düzeyindeki teoremlerin sonsuz küçük oylum boyutunda

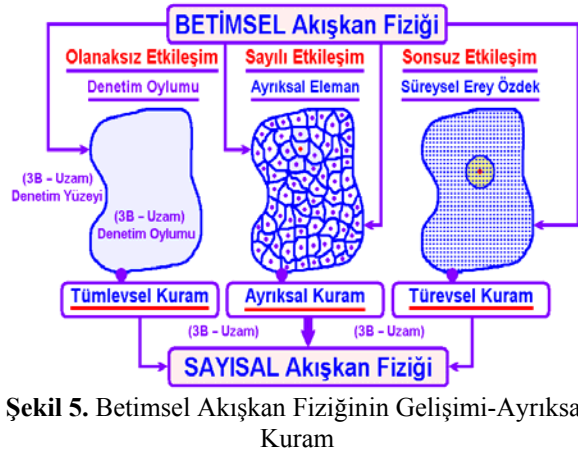
uygulanması Türevsel Kuram ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Betimsel Akışkan Fiziğinin Gelişimi-Türevsel Kuram

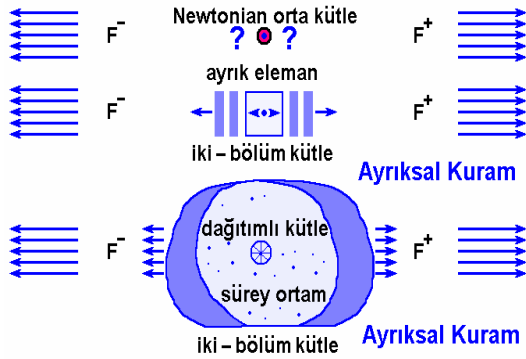
Fakat sonsuz küçük bazında yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçların uygulama alanında yeterli verimi sağlayamamakta olduğu gözlemlenmiştir. Bunun için, Şekil 5’ de görüldüğü gibi sonsuz küçük oylum boyutlarının birleşmesinden oluşan ayrışal elemanlar içerisinde hesaplamalar yapılarak, istenilen sonuçlara varılmıştır.

Orografik (Yere-Yakın) Alanlar Üzerinde Zamanla Hızlı Değişen 3 Boyutlu Rüzgar Girdapları ve Bunların Uçuş Güvenliğine Etkileri



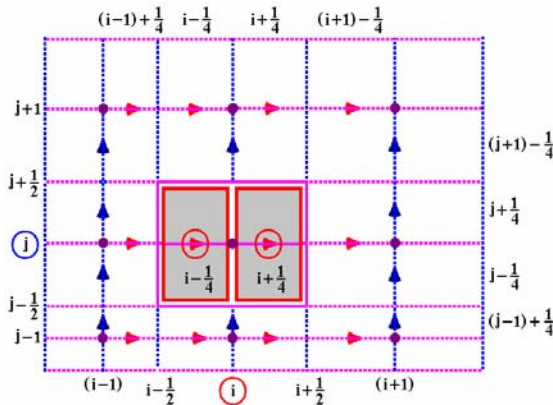
Şekil 5. Betimsel Akışkan Fiziğinin Gelişimi-Ayrıksal Kuram

Akışkana aynı eksen üzerinde zıt yönlü eşit kuvvet uygulandığında, sonsuz küçük oylum boyutlarının ayrışımı gözlenemediğinden dolayı fiziksel hesaplama yapmak güçtür (Şekil 6).

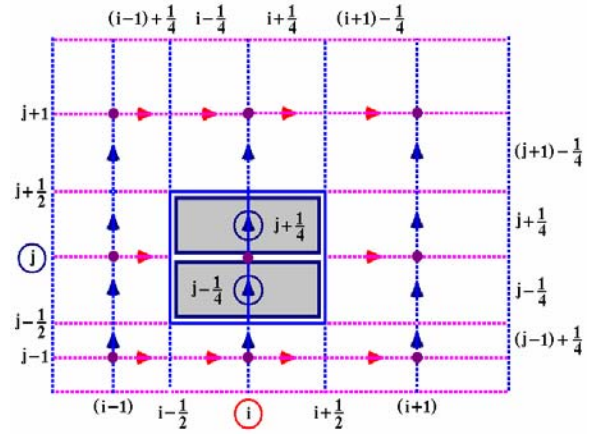


Şekil 6. Ayrıksal elemana etkiyen kuvvetler

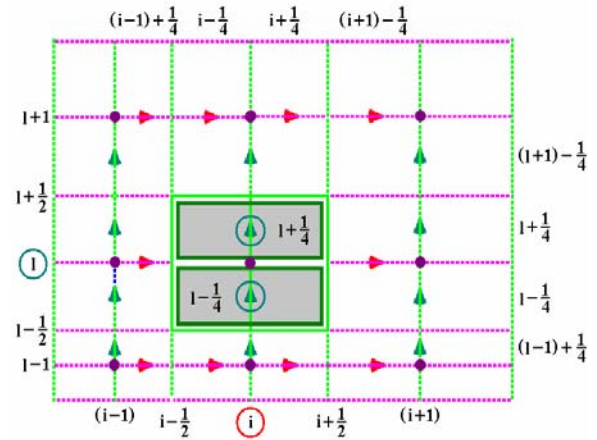
Ayrıksal elemanda ise akışkana aynı eksen üzerinde zıt yönlü eşit kuvvet uygulandığında ayrık eleman daha öncekinden farklı olarak zıt yönlerde doğru ayrılım göstereceğinden $(-V_x)$ ve $(+V_x)$ olmak üzere iki yön hız hesaplamaya katılmaktadır. Aynı işlem üç boyut için (x,y,z) gerçekleştiğinden, ayrıksal eleman her boyutta eşit iki parçaya bölünecektir (Şekil 7, 8, 9).



Şekil 7. X Ekseninde ayrıksal elemanın ikiye bölünümü



Şekil 8. Y Ekseninde ayrıksal elemanın ikiye bölünümü



Şekil 9. Z Ekseninde ayrıksal elemanın ikiye bölünümü

Her bir ayrıksal elemanın orta noktası için tek bir basınç değeri hesaplayabilmek için, nem, ısı ve yoğunluk değerlerinin de hesaba dahil edilmesi gerekmektedir.

Akışkanlar mekaniğinde, kullanacağımız temel yasaları sonsuz küçük veya sonlu sistemler ve kontrol hacimleri için ifade edebiliriz. Denklemler, iki durumda farklı yapıda olacaktır. İlk durumda elde edilen denklemler, doğrusal denklemler (lineer) olup elde edilen sonuçlarda ki hata oranı diferansiyel denklemler $(\Delta X$ yerine ΔX^2 , Δt yerine Δt^2) kullanılarak azaltılmıştır.

Diferansiyel yaklaşım (yani hareketi ifade eden diferansiyel denklemlerin kullanımı), akış hakkında ayrıntılı (nokta-nokta) bilgi edinmemizi sağlar. İncelenen problemler akış hakkında ayrıntılı bilgiyi gerektirmez. Bu durumda temel yasaların integral ifadelerini yani sonlu sistem ve kontrol hacmi için yazılmış ifadelerini kullanırız. Integral yaklaşım, genellikle diferansiyel yaklaşımdan daha kolaylıkla uygulanır.

4. SAYISAL ÇÖZÜM UYGULAMALARI

Çalışma yapılan alan olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi Şırnak ili sınırları içerisinde bulunan dağlık alanlar ve çevresi, yüzey analiz uygunluğu ve görüntü incelemeleri sonucunda seçilmiştir. Bu doğrultuda koordinat sisteminde bölge ile ilgili N48-b2 ve N48-b3 bölünmüş bölge alanlarına ait sayısal veriler, Coğrafi Bilgi Sistemi veritabanından 30x30 metre aralıklı olmak üzere “Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)” verileri olarak temin edilmiştir. Temin edilen 30x30 metre aralıklı sayısal yükseklik verilerinin eni 55.000 metre (55 km.) boyu 88.000 metre (88 km.)’dir. Bu sayısal yükseklik verileri doğrultusunda, seçmiş olduğumuz gerçek topoğrafya alanı üzerinde, hava araçlarında oluşan zamanla-hızlı-değişken (fast-transient), 3 boyutlu hava akışlarını belirlemek için gereken özel yazılım yeteneği olan Wind-FLOWER, en ileri bilimsel düzeyde geliştirilmiş ve uygulanmış FLOWER Sayısal Modelinin bir ileri-gelişim derlemi olarak düzenlenmiştir. Genel uygulama için oluşturulmuş modelin temel sayısal yapısı “Ayrık-Element Yöntemi (AEY) yaklaşımını uygulayarak geliştirilmiştir.

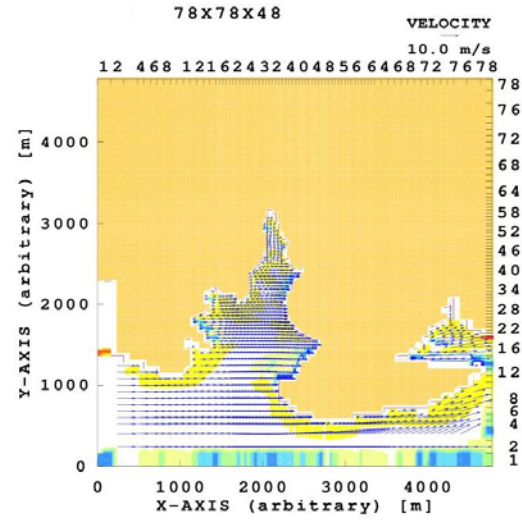
Kullanmış olduğumuz ön işlemci (pre-processor) yazılım derlemi, elimizde bulunan N48-b2 ve N48-b3 kesit alan üzerinde uygun bir bölge tanımlanmasını takiben bölge üzerinden başlayarak ve gereken AEY (DEM) uygulama düzeninin gerektirdiği işlemleri sıralı olarak gerçekleştirerek, Wind-FLOWER sayısal modeli yazılımının gerektirdiği 3B geometrik-özellikleri belirlenmiş ayrık-element toplam verilerini otomatik olarak oluşturabilecek yetenek düzeylerinde geliştirilmiştir. Şekil 10’da çalışma alanının Wind-FLOWER sayısal model ile oluşturulmuş görüntüsü bulunmaktadır.



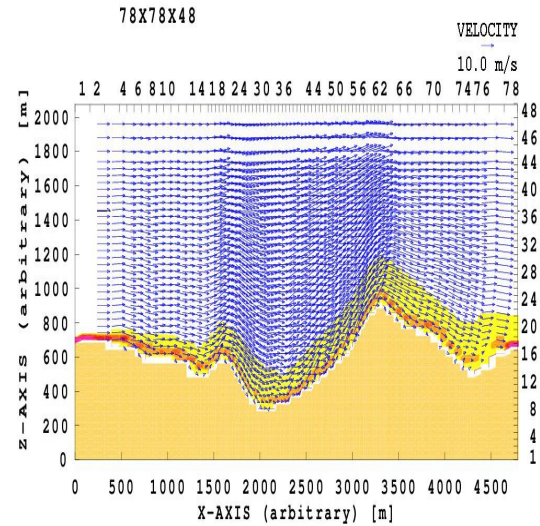
Şekil 10. Çalışma yapılan alan- Dağlık Arazi (Wind-FLOWER)

Ard işlemci (post-processor) yazılım derlemi, sayısal modelin uygulamalarının ürettiği hava akışı bilgilerini içeren verileri otomatik olarak belirlenmiş 2B veya 3B görüntüler olarak sunabilecek yetenek düzeylerinde geliştirilmiştir.

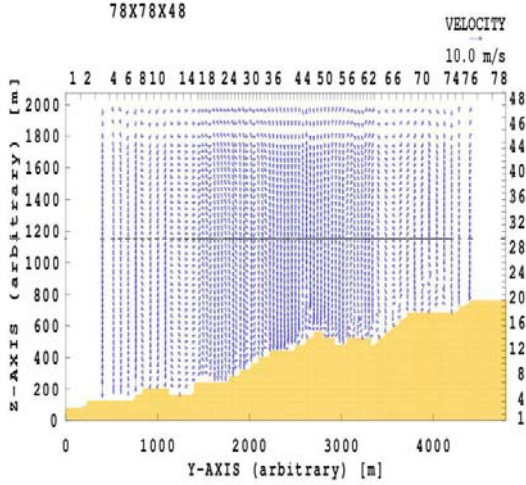
Ön-işlemci ve ard-işlemci yazılım derlemleri ile birlikte uygulanması gereken ve sayısal modelin kolaylıkla kullanılmasını sağlayan bir “Görüntüleme Kullanıcı Arayüzü (GKA)” [Graphical User Interface (GUI)] yazılım derlemi de oluşturulmuş ve uygulanmıştır.



Şekil 11. XY eksenli arazi akış görüntüsü-son



Şekil 12. XZ eksenli arazi akış görüntüsü-son



Şekil 13. YZ eksenli arazi akış görüntüsü-son

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada yere-yakın olarak oluşan, zamanla-hızlı-değişken, 3-boyutlu hava akışlarını belirlemek için gereken, çağdaş düzeyde bir ulusal sayısal modelleme yeteneği olarak belirtilen Wind-FLOWER sayısal modelinin kullanmış olduğu çözüm yöntemi ile uygulamanın matematiksel modelleme ve akım hesaplanmıştır. Tüm çalışılan alan üzerindeki hesaplamalardan önce iki boyutlu ve üç boyutlu daha basit geometriler üzerinde programın kullanımına ve yeteneklerine dair çalışmalar yapılmıştır. Temel fiziksel kuralların matematiksel betimlemesinde, Tümlensel Kuram ve Türevsel Kuram olarak kullanılan iki geleneksel yaklaşımdan kesinlikle değişik olarak, yeni bir üçüncü Ayrık Kuram yaklaşımı özetlenmiştir.

Çalışmaların zaman açısından önemli bir bölümünü geometrilerin, çözüm havzalarının ve sayısal ağların oluşturulması almıştır. Test çalışmaları boyunca yapısal ve yapısal olmayan iki ayrı ağ çeşidi kullanılmıştır. Elde edilen akışa ilişkin sonuçlar ile yapısal ağların yapısal olmayan ağlara oranla daha kısa hesaplama zamanında daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak karmaşık geometrilerde yapısal ağ oluşturmanın zorluğu görülmüştür. Topoğrafik giriş verileri çalışma alanına yüklenmeden önce detaylı olarak incelenmiş ve uygulama alanında kullanılan Wind-FLOWER sayısal yükseklik modeli için bir veri kaynağı oluşturmasının yanında, özellikle rüzgar hesabı için çalışacağımız benzetim ortamına uygun olmadığı sonucuna varılmış ve bu nedenle gereken boyutlarda ve çözüm havzası için uygun bir modele dönüştürülmesi yapılmıştır. Bu özel harita inceleme işlemlerini oluşturmak için gereken ön-işlemci (pre-processor) yazılım derlemi geliştirilmiş ve sayısal modelin uygulamalarında kullanılmıştır. Ard-işlemci (post-processor) yazılım derlemi, sayısal modelin uygulamalarının ürettiği yere-yakın hava akışı bilgilerini içeren verileri, belirlenmiş girdap

oluşumlarını ve girdaplaşım-yoğunluk dağılımlarını 2B ve 3B görüntüler olarak sunabilecek yetenek düzeylerinde olarak geliştirilmiştir. Ön-işlemci ve ard-işlemci yazılım derlemleri ile birlikte uygulanması gereken ve sayısal modelin kolaylıkla kullanılmasını sağlayan bir “Görüntüleme Kullanıcı Arayüzü (GKA)” [Graphical User Interface (GUI)] yazılım derlemi de oluşturulmuş ve uygulanmıştır.

Literatür taraması sonucu ülkemizde özellikle hava araçlarına yönelik olarak daha önce herhangi bir çalışma yapılmadığı görülmüştür. Yapılan çalışma sonucu elde edilecek bilgi ve tecrübelerin; Hava Kuvvetleri Komutanlığının ihtiyacı doğrultusunda kullanılmakta olan hava araçlarında uçuş güvenliğini artırıcı tedbirler başlığı altında yer alabileceği gibi, ülkemizin enerji ihtiyaçları doğrultusunda rüzgar enerjisi için elverişli bölgelerin kullanılmasında ve hesaplanmasında da kullanılabilecek yetenekte olduğu ve uygulamalara açık olduğu değerlendirilmektedir. Tüm bu hesaplamaları üst bölümlerde bahsedildiği gibi ticari bir paket program olmayan tamamen özgün, kaynak kodlarını olan Wind-FLOWER programı ile gerçekleştirilmektedir

5. KAYNAKLAR

- [1] Eraslan, A. H., Erhan, İ. H., Lin, W. L. 1981. A Fast Transient, Two-Dimensional, Discrete element Rainfall-Runoff Model, For Channelized, composite Subsurface-Surface Flows In Valleys Steep Terrain, Proceedings of the International Symposium on Rainfall-Runoff Modeling held, Mississippi State University, Mississippi State, Mississippi, USA.
- [2] Eraslan, A. H., Ahmadi, G. 1993. A Computer Code For Analyzing Transient Three-Dimensional Rapid Granular Flows In Complex Geometries. Computer Fluids, Vol. 22, No. 1, pp.25-50, USA.
- [3] Eraslan, A. H. 1995. Computationally Challenging Problems in Fast-Transient Multiphase Convective Heat Transfer. American Society of Mechanical Engineering, Energy&Environmental Expo 95, Houston, Texas.
- [4] Huang Y., Ramaswamy V., Huang X., Fu Q., Bardeen C. 2007. A strict test in climate modeling with spectrally resolved radiances: GCM simulation versus AIRS observations, Geophysical Research Letters
- [5] Eraslan, A. H., Lin, W. L., ve Sharp, R. D. 1983. FLOWER: A Computer Code For Simulating Three-Dimensional Flow, Temperature And Salinity Conditions in Rivers, Estuaries and Coastal Regions. Rapor No: NUREG/CR-3172, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research, Washington, D. C., ve Rapor No.: ORNL/TM-8401, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.

- [6] Eraslan, H. A. 2006. Turbulence: Proper Reynolds Transport Theorem Versus Formal Reynolds Decomposition Hypothesis. J. Fluid Mech. (under consideration for publication).
- [7] Eraslan, H. A. 2006. Discretal Theory of Fluid Flow Physics: Toward a Universal Computational Algorithm. Journal of Computational Physics (under consideration for publication).
- [8] Jacob, G., David G. Long, 1994. Mivergence Models for the Near-Surface Oceanic Vorticity and Divergence, Brigham Young University.
- [9] Terra, R., 2002 The impact of orographic variance on boundary layer clouds and its parameterization for climate models, University of California .
- [10] Perlin, N., R.M.Samelson, D. B. Chelton, 2004. Scatterometer and Model Wind and Wind Stress in the Oregon-Northern California Coastal Zone, Oregon State University.
- [11] John, F. S., 2000. Low-Level Topographic Drag in Atmospheric Flows, Post outline, University of Victoria
- [12] Olafsson, H., 2004 Multi-scale Orographic Forcing of the Atmosphere Leading to an Erosion Event, Haskoli Island University.
- [13] Dunja, D., Stiperski I., Tudor M., 2005. Testing The New Sub-Grid Scale Orography Representantion on Bura Cases, Croatian Meteorological and Hydrological Service.
- [14] Lindeman, J., Boybeyı Z., 2006. Orographic Vortex Shedding Comparisons using Different Nested Grid Options in ARW WRF, George Mason University.
- [15] Buss S. , 2006. Orographic Effects, Post Outline.
- [16] Yağan, Y., İpek F., Çamalan İ., 2004. Low Level Wind Shear Alert System, Meteosat Second Generation, Postnote
- [17] Tutar, M. , Celik I. , Yavuz I. , 2006. Modelling Of Effect Of Inflow Turbulence On Large Eddy Simulation Of Bluff Body Flows, Mathematical and Computational Applications.

ÖZGEÇMİŞLER

Prof.Dr. H. Arsev ERASLAN

1958 yılında Robert College (Boğaziçi Üniversitesi) Makine Mühendisliği bölümünde Lisans eğitimini tamamladı. 1959 yılında aynı üniversitede Yüksek Lisans eğitimini bitirdi. 1964 yılında North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA'de Hava-Uzay Mühendisliği ve Uygulamalı Matematik Doktora öğrenimini bitirdi.

Öğretim Görevlisi olarak sırası ile; North Carolina State University, Tennessee Technological University, University of Tennessee Space Institute, University of Tennessee (Full Professor with tenure) olarak (Seçkin Profesör ödülü alarak) ve Clarkson University'de bulundu. İlgili Profesör (Adjunct Professor) olarak sırası ile Georgia Institute of Technology ve Rice University'de bulundu. Davetli özel ders konuşmacısı olarak ABD, Türkiye, ve Taiwan üniversitelerinde sayısal matematik ve fizik (computational mathematics and physics) konuları üzerinde bulundu. İkiyüz-elli üzerinde bilimsel ve teknik raporlar, bildiriler (yılın en iyi bilimsel bildirisi ödülü) ve sunumlar gerçekleştirmiştir.

Kırk sene üstünde bir sürede, ve sürekli olarak, en ileri bilimsel düzeyde sayısal modelleme ve yazılım teknolojileri geliştirme Ar-Ge projelerinin yöneticiliğini yapmıştır. Bu AR-Ge projeleri ABD Federal Devlet (U.S. Federal Government) projeleri olarak, U.S. Department of Defense (Air Force, Navy, Army), NASA (National Aeronautics and Space Administration), U.S. Department of Energy, U.S. Nuclear Regulatory Commission, U.S. Environmental Protection Agency, U.S. Department of Interior, and U.S. Department of Justice tarafından desteklenmiştir. Aynı sürede, bilimsel uzman danışman olarak, ABD Federal Devlet kurumlarına ve özel-sektör AR-GE kurumlarına, U.S. Air Force, Arnold Engineering and Development Center, Oak Ridge National Laboratory (DOE), International Atomic Energy Agency (Vienna, Austria), HDR, Inc. (Vice-President), ve Black and Veatch, Inc. ile çalışmıştır. U.S. Government, U.S. House of Representatives Expert Witness (Uzman Tanık) olarak seçilmiş, ve U.S. Nuclear Regulatory Commission, ve U.S. Federal Power Commission tarafından ABD kongresine Nuclear Plant Environmental Impact and Safety konuları ile ilgili bilimsel bilgiler vermek için çağırılmıştır.

1996 - 2001 yıllarında, NASA National Technology Transfer Center (NTTC) Baş Bilim Adamı (Chief Scientist) olarak görev yapmıştır. Aynı sürede U.S. Department of Justice (DOJ), National Institute of Justice (NIJ), Office of Science and Technology (OS&T), Office of Law Enforcement Technology Commercialization Center (OLETC) Baş Bilim Adamı (Chief Scientist) olarak da görevlendirilmiştir. 2001 yılında ABD'de emekli olmuştur.

TAI, STM (SSM), DPT, ASELSAN gibi firma ve kurumlarda Türkiye'de danışman olarak görev almıştır.

Hv.Uçk.Bkm.Ütğm. M.Boran ÇIĞIRTKAN

1980 yılında İzmir'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Antalya'da tamamladı. 1997 yılında Hava

Orografik (Yere-Yakın) Alanlar Üzerinde Zamanla Hızlı Değişen 3 Boyutlu Rüzgar Girdapları
ve Bunların Uçuş Güvenliğine Etkileri

Harp Okulu, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2001 yılında Teğmen rütbesiyle 2'nci Ana Jet Üs Komutanlığına (Çiğli/İZMİR) atandı.

2002 yılında Hava Teknik ve Sınıf Okulları Eğitim Merkezi Komutanlığı Gazimir / İZMİR Kursiyer Subay olarak bulunduktan sonra Ağustos 2002'de 8nci Ana Jet Üs Komutanlığı / DİYARBAKIR Uçak Bakım Komutanlığına atandı. 2002-2006 tarihleri arasında Uçak Bakım Komutanlığı bünyesinde sıra ile 182nci Filo Hat Bakım Komutanlığı İhtisas ve Silah Yükleme Komutanlığı, 181nci Filo Hat Bakım Komutanlığı İhtisas ve Silah Yükleme Komutanlığı ve Bakım Harekat Analiz ve Koordinasyon Amirliği Bakım Harekat Subaylığı görevlerini yaptı. 2006 – 2008 tarihleri arasında Hava Kuvvetleri Komutanlığı nam ve hesabına yüksek lisans eğitimi için Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsünde Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimi tamamladı. Evli olup, İngilizce bilmektedir.

SİMGELER DİZİNİ

t = zaman
m = kütle
 $\left(\frac{D}{Dt}\right)_{dev}$ = devingen-bölge (domain) zamanla değişimi (Lagrangian)
 ρ = yoğunluk
cv = durağan-bölge denetim oylumu ile ilgili (control volume)
 v_{cv} = durağan-bölge denetim oylumu
cs = durağan-bölge kapsam (enclosure) denetim alanı(control surface) ile ilgili
 A_{cs} = durağan-bölge kapsam denetim alanı
s = durağan-bölge kapsamı (denetim alanı ile ilgili)
 \vec{V}_s = durağan-bölge kapsam alanı üzerinde yönlü hız (devingen-bölge ile ilgili)
 $\tilde{\rho}_s$ = durağan-bölge kapsam alanından geçen yoğunluk (devingen-bölge ile ilgili)
 \hat{n}_s =durağan-bölge kapsam alanı üzerinde yerel dışarı-artı düzgülü vektör (outward positive normal vector)
 dA_s = durağan-bölge kapsam alanı üzerinde yerel alan ögesi (elemental area)
dv = durağan-bölge oylum ögesi (elemental volume)

V_x = x yön-hız
 P = basınç
 $\vec{\sigma}_{sx}$ = x-yön düzenli (laminar) zorlanım (stress) vektör (denetim-alanı ögesi üzerinde)
 $\overline{\tau}_{sx}''$ = x-yön kargaşık (turbulent) zorlanım vektör (denetim-alanı ögesi üzerinde)
 $\vec{\sigma}_{sy}$ = y-yön düzenli zorlanım vektör (denetim-alanı ögesi üzerinde)
 $\overline{\tau}_{sy}''$ = y-yön kargaşık zorlanım vektör (denetim-alanı ögesi üzerinde)
 $\vec{\sigma}_{sz}$ = z-yön düzenli zorlanım vektörü (denetim-alanı ögesi üzerinde)
 $\overline{\tau}_{sz}''$ = z-yön kargaşık zorlanım vektörü (denetim-alanı ögesi üzerinde)
e = kütle-özel (mass intensive) enerji
 e_T = kütle-özel ısısal (thermal) enerji
 $\frac{V^2}{2}$ = kütle-özel devingen (kinetic) enerji
 \tilde{e}_s = devingen kütle-özel enerji (denetim-alanı ögesi üzerinde)
 $\overline{q}_{e,s}''$ = kargaşık ısısal enerji vektörü (denetim-alanı ögesi üzerinde)
 $\vec{q}_{T,s}$ = düzenli ısısal enerji vektörü (denetim-alanı ögesi üzerinde)
 \dot{q}_v = oyluma-özel enerji üretim/tüketim (generation/dissipate)
 m_k = k-bileşimi kütle
 C_k = oyluma-özel k-bileşim oranı
 \dot{m}_k = oyluma-özel k-bileşim üretim/tüketim hızı
 $\vec{q}_{k,s}$ = düzenli k-bileşimi yayım vektörü (denetim-alanı-ögesi üzerinde)
 $\overline{q}_{k,s}''$ = kargaşık k-bileşimi yayım vektörü (denetim-alanı-ögesi üzerinde)
 σ_{xx} = x-düzgülü alan-ögesi üzerinde, x-yönlü düzenli-zorlanım
 $\overline{\tau}_{xx}''$ = x-düzgülü alan-ögesi üzerinde, x-yönlü kargaşık-zorlanım
 σ_{yx} = y-düzgülü alan-ögesi üzerinde, x-yönlü düzenli-zorlanım

Orografik (Yere-Yakın) Alanlar Üzerinde Zamanla Hızlı Değişen 3 Boyutlu Rüzgar Girdapları ve Bunların Uçuş Güvenliğine Etkileri

$\overline{\tau''_{yx}}$	= y-düzgünlü alan-ögesi üzerinde, x-yönlü kargaşık-zorlanım	A	= ayrık-eleman denetim alanı
σ_{zx}	= z-düzgünlü alan-ögesi üzerinde, x-yönlü düzenli-zorlanım	v_{ev}	= ayrık-eleman denetim oylumu
$\overline{\tau''_{zx}}$	= z-düzgünlü alan-ögesi üzerinde, x-yönlü kargaşık-zorlanım	$\overline{\tau''_{zz}}$	= z-düzgünlü alan-ögesi üzerinde, z-yönlü kargaşık-zorlanım
σ_{xy}	= x-düzgünlü alan-ögesi üzerinde, y-yönlü düzenli-zorlanım	$q_{T,x}$	= x-yönlü düzenli ısısal enerji akışı
$\overline{\tau''_{xy}}$	= x-düzgünlü alan-ögesi üzerinde, y-yönlü kargaşık-zorlanım	$\overline{q''_{e,x}}$	= x-yönlü kargaşık enerji akışı
σ_{yy}	= y-düzgünlü alan-ögesi üzerinde, y-yönlü düzenli-zorlanım	$q_{T,y}$	= y-yönlü düzenli ısısal enerji akışı
$\overline{\tau''_{yy}}$	= y-düzgünlü alan-ögesi üzerinde, y-yönlü kargaşık-zorlanım	$\overline{q''_{e,y}}$	= y-yönlü kargaşık enerji akışı
σ_{zy}	= z-düzgünlü alan-ögesi üzerinde, y-yönlü düzenli-zorlanım	$q_{T,z}$	= z-yönlü düzenli ısısal enerji akışı
$\overline{\tau''_{zy}}$	= z-düzgünlü alan-ögesi üzerinde, y-yönlü kargaşık-zorlanım	$\overline{q''_{e,z}}$	= z-yönlü kargaşık enerji akışı
σ_{xz}	= x-düzgünlü alan-ögesi üzerinde, z-yönlü düzenli-zorlanım	$q_{k,x}$	= x-yönlü düzenli k-bileşim akışı
$\overline{\tau''_{xz}}$	= x-düzgünlü alan-ögesi üzerinde, z-yönlü kargaşık-zorlanım	$\overline{q''_{k,x}}$	= x-yönlü kargaşık k-bileşim akışı
σ_{yz}	= y-düzgünlü alan-ögesi üzerinde, z-yönlü düzenli-zorlanım	$q_{k,y}$	= y-yönlü düzenli k-bileşim akışı
$\overline{\tau''_{yz}}$	= y-düzgünlü alan-ögesi üzerinde, z-yönlü kargaşık-zorlanım	$\overline{q''_{k,y}}$	= y-yönlü kargaşık k-bileşim akışı
σ_{zz}	= z-düzgünlü alan-ögesi üzerinde, z-yönlü düzenli-zorlanım	$q_{k,z}$	= z-yönlü düzenli k-bileşim akışı
		$\overline{q''_{k,z}}$	= z-yönlü kargaşık k-bileşim akışı
		φ	= genel kütle-özel akışkan özelliği (V_x, V_y, V_z, e, C_k)
		$\overline{\rho}$	= ayrık-eleman içinde ortalama yoğunluk
		$\overline{\overline{\rho}}$	= ayrık-eleman içinde ortalananmış kütle-özel akışkan özelliği
		\overline{p}	= ayrık-eleman içinde ortalananmış basınç