

YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ ATMOSFERİK AKIŞ ÇÖZÜMLERİ ile RÜZGAR GÜÇ POTANSİYELİ TAHMİNİ

Engin LEBLEBİCİ* , Gökhan AHMET† ve İsmail H. TUNCER‡
Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ),
Rüzgar Enerjisi Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Merkezi (RÜZGEM),
ANKARA

ÖZET

Bu çalışmada türbülanslı atmosferik akış çözümlerinin elde edilmesi amacıyla ticari Navier-Stokes çözücü FLUENT yazılımı, Mezo ölçekli meteorolojik tahmin yazılımı WRF ile akuple edilerek 1 günlük süre için çalıştırılmış, bu çözümden elde edilen verilerle rüzgar güç potansiyeli yerden 71.4 metre yukarısı için hesaplanmıştır. Ayrıca validasyon amaçlı olarak sonuçlar gözlem verileriyle karşılaştırılmıştır. Atmosferik gözlem verileri temin edilen araştırma bölgesi için detaylı topografya bilgisi temin edilmiş, yüksek çözünürlüklü yapısız hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözüm ağı oluşturulmuştur. Çözülecek alan için zamana bağlı başlangıç ve sınır koşulları, yaygın olarak kullanılan meteorolojik tahmin yazılımı WRF'dan elde edilmiştir. Navier-Stokes çözücü ve meteorolojik tahmin yazılımlarında kullanılan ızgara yapılarının ve çözünürlüklerin farklı olması sebebiyle, WRF ile hesaplanan akış değişkenlerinin Navier-Stokes çözücünün düğüm noktalarına interpolasyonu bazı varsayımlar ve kabuller gerektirir. Bu çalışmada düşük çözünürlüklü WRF çözüm ağındaki yer yüzeyinin yüksek çözünürlüklü Navier-Stokes çözüm ağıyla eşleştirilebilmesi için elde edilen sınır koşulları modifiye edilmiştir. Hassas ve zamana bağlı sınır koşulları, ticari hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı FLUENT'de geliştirilen Kullanıcı Tanımlı Fonksiyonlar yardımıyla kullanılmış atmosferik akış dağılımları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar kontur grafikleri, zaman serileri ve rüzgar gücü grafikleri ile sunulmuştur. Akış değişkenleri gerçek gözlem verileri ve WRF sonuçları ile kıyaslanmış gerçek gözlem verilerinin temin edilemediği durumlarda enerji üretim tahmininin ve rüzgar potansiyeli belirleme çalışmalarının yürütülebilirliği sorularına temel oluşturmuştur. Çalışma, zamana bağlı türbülanslı akış çözümlerinin, düşük çözünürlüklü atmosferik hava akış verileri ve yüksek çözünürlüklü topoğrafik araziler üzerinde Navier-Stokes çözümleri kullanılarak doğru bir şekilde elde edilebileceğini göstermektedir.

*Araştırma görevlisi, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: enginl@ae.metu.edu.tr

†Araştırma görevlisi, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: gahmet@metu.edu.tr

‡Prof. Dr., Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: tuncer@ae.metu.edu.tr

GİRİŞ

Zamana bağlı kırsal ve kentsel alanlardaki akış çözümlerinin, rüzgar türbinleri için yer seçimi ve kirlilik takibi gibi güncel araştırma konuları olan ve literatürde birçok örneği bulunan geniş bir kullanım alanı vardır. [Cochran, 2008; Politis, 2008]

Ülkemizde ve dünyada artan enerji ihtiyacının karşılanmasında kömür, petrol ve doğalgaz gibi karbon temelli yakıtlar yerlerini çevre dostu, yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakmaktadır. Rüzgar ve güneş enerjisi bu kaynaklar arasında verimliliği ve kullanım potansiyeli en yüksek olan kaynaklardır. Yeni adı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) olan Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) atmosferik gözlem verilerine ve hava tahmin yazılımları ile yapılan simülasyonlara dayalı rüzgar istatistiklerini derlemiş ve Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlasını (REPA) çıkarmıştır. Dağlarla çevrili ve yüksek platoların geniş alanları kapladığı Türkiye coğrafyasında rüzgardan enerji üretim potansiyeli oldukça yüksektir.

Çok sayıda rüzgar türbininden oluşan rüzgar santrallerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması rüzgar santralleri için yer seçiminin yüksek hassasiyetle yapılmasını gerektirmektedir. [Damiani, 2008; Derickson, 2004]

Bowen, literatürdeki çalışmaları [Botta, 1992], [Bowen, 1995], [Reid, 1995] [Sempreviva, 1986] da kaynak vererek lokal kompleks topografyanın, rüzgar türbinlerinin varlığının rüzgar türbinlerinden elde edilebilecek enerji üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirtmiştir. [Bowen, 2004]

Bir rüzgar türbininin konuşlandırılmasındaki 30 metrelik yer değişikliğinin, topoğrafyaya bağlı olarak, elde edilebilecek enerjiyi 2 kat artırabildiği veya azaltabildiği bilinmektedir. Düşük çözünürlüklü rüzgar enerjisi potansiyel atlasları rüzgar santrallerinin makro düzeyde konuşlandırılması için gerekli istatistiksel rüzgar bilgisini sağlamaktadırlar. Ancak rüzgar türbinlerinin seçilen bölgede mikro düzeyde konuşlandırılmaları (micro-siting) için yüksek çözünürlüklü, hassas ve zamana bağlı, rüzgar alanı bilgisine gereksinim vardır. Mikro düzeydeki başarılı bir yer seçimi için bölgenin detaylı topoğrafyası, yüzey bitki örtüsü ve rüzgar hızının zamana bağlı değişimi dikkate alınarak yüksek çözünürlükte sınır tabakalı hava akışı analizleri yapılmalıdır.

Bu amaçla sınır tabaka akışlarını ve türbülansı modelleyen sonlu hacimler temelli bir Navier-Stokes akış çözücüsü ile topoğrafik verileri içeren yüksek çözünürlüklü çözüm ağları üzerinde zamana bağlı rüzgar alanları hesaplanacaktır. Global hava tahminlerinde kullanılan açık kaynaklı WRF yazılımından elde edilen düşük çözünürlüklü rüzgar alanı verileri Navier-Stokes çözücü için başlangıç ve zamana bağlı sınır koşullarını sağlaması için etkileşimli olarak kullanılacaktır.

Ayrıca bu çalışmada geliştirilecek olan analiz yöntemi ileriye dönük hava akış çözümleri ile birlikte kurulu rüzgar enerji santralleri için kısa vadeli enerji üretim tahminlerinin yapılabilmesinde de kullanılabilir.

Rüzgar türbinlerinin yer seçimindeki hassasiyetin artırılması için günümüzde hesaplamalı akışkanlar dinamiği (Computational Fluid Dynamics) yöntemleri kullanılması gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Yüksek çözünürlüklü topoğrafyanın modellenbilmesine imkân sağlayan yapısız çözüm ağları üzerinde türbülanslı akışlar için Navier-Stokes çözücülerinin geliştirilmesi ve elde edilen verilerin

değerlendirilmesi oldukça güncel bir araştırma konusudur.

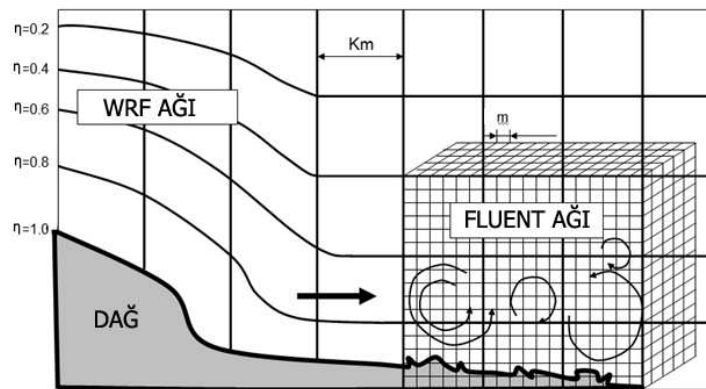
Zajackowski, nümerik hava tahmin modellerini ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonlarını şöyle kıyaslamaktadır; Hava tahmin modelleri ışınım, nemden kaynaklanan taşınım fiziği, satih etkileri parametreleştirmeleri, atmosferik sınır tabaka fiziği gibi etkileri hesaba katabilirken 1km'den daha kaba çözüm ağı kullandığı için türbülans fiziğini hesaba katamazlar. Diğer yandan hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonlarında binalar ve keskin yüzey şekilleri etrafında oluşan küçük ölçekli akışların ve türbülansın iyi ifade edilebildiğini açıkça ortaya koymuştur.[Zajackowski, 2011]

Şehirsel ve karmaşık alanlar için yapılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği çalışmalarında karşılaşılan en ciddi zorluk sınır koşullarının zamana bağlı verilmesi ve satih etkilerinin modellenmesidir. Kristof çalışmasında; şehirsel alanlarda yapılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği uygulamalarında dikey akışların; lokal rüzgarlar, atmosferik tabakalaşma gibi önemli akış olaylarına sebep olduğundan bahsetmektedir. Ayrıca Coriolis kuvvetleri de atmosferin üst tabakalarında oldukça etkin olduğu için akış alanı çözülürken hesaba katılması gerektiği belirtilmiştir. Aynı çalışmada bu etkiler kullanıcı tanımlı fonksiyonlar (User Defined Functions) vasıtasıyla entegre edilmiş ve akış alanı çözümleri FLUENT yazılımı ile üretilmiştir.[Kristóf, 2009]

Yüksek çözünürlüklü ve türbülanslı atmosferik akış çözümleri, rüzgar enerjisi araştırmaları başta olmak üzere bir çok araştırma alanına oldukça önemli veriler sağlamaktadır. Özellikle önceden hassas tahmin gerektiren parçacık taşınımı, enerji üretim potansiyeli, kirlilik dağılımı ve havasızlık (Suffocation) gibi konulara bu tür analizler temel oluşturur.

YÖNTEM

Bu çalışmada, halihazırda gerçek gözlem direği (met-mast) bulunan bir arazi seçilerek yapısız yüksek çözünürlüklü çözüm ağı üretilmiş olup, bu çözüm ağında gerekli olan zamana bağlı sınır koşullarının belirlenmesi için WRF adlı hava tahmin yazılımından alınan düşük çözünürlüklü çözümler kullanılmıştır. WRF ile Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yazılımının Akuple edilme yöntemini kısaca Şekil 1 'de verilmiştir.



Şekil 1: WRF ile Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yazılımının Akuple Edilmesi

WRF orta ölçekli atmosferik dolanımı simüle ve tahmin etmek için geliştirilmiş sınırlı alanda çözüm yapan, hidrostatik olmayan, topoğrafyayı takip eden Eta koordinatlarını kullanan bir modeldir [NCAR, 2005]. Bu model analiz edilecek bölge için topoğrafyanın yükseklik verisini United States Geograph-

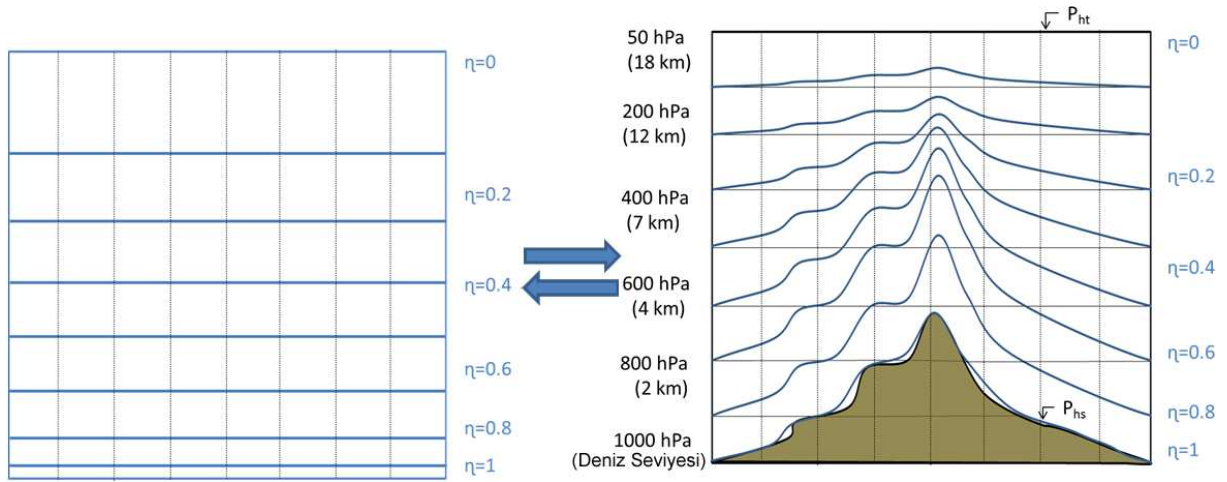
ical Survey (USGS) den alır ve bu alan için yapıli çözüm ağı oluşturur. WRF dikey koordinat olarak topoğrafyayı takip eden η seviyelerini kullanır. η tanım olarak:

$$\eta = \frac{p - p_t}{p^*} \quad (1)$$

Basınç değişim aralığı ise:

$$p^* = p_s - p_t \quad (2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada p basınç, p_s yüzey basıncı, p_t ise Figure 2 de görüldüğü gibi modelin en üst seviyesindeki basınçtır.



şekil 2: η koordinat sistemi

WRF' in yükseklik tanımından dolayı yüksek çözünürlüklü topoğrafya etkileri WRF çözümlerinde ihmal edilebilmektedir. Bu durum şekil 2' den de görülebilmektedir.

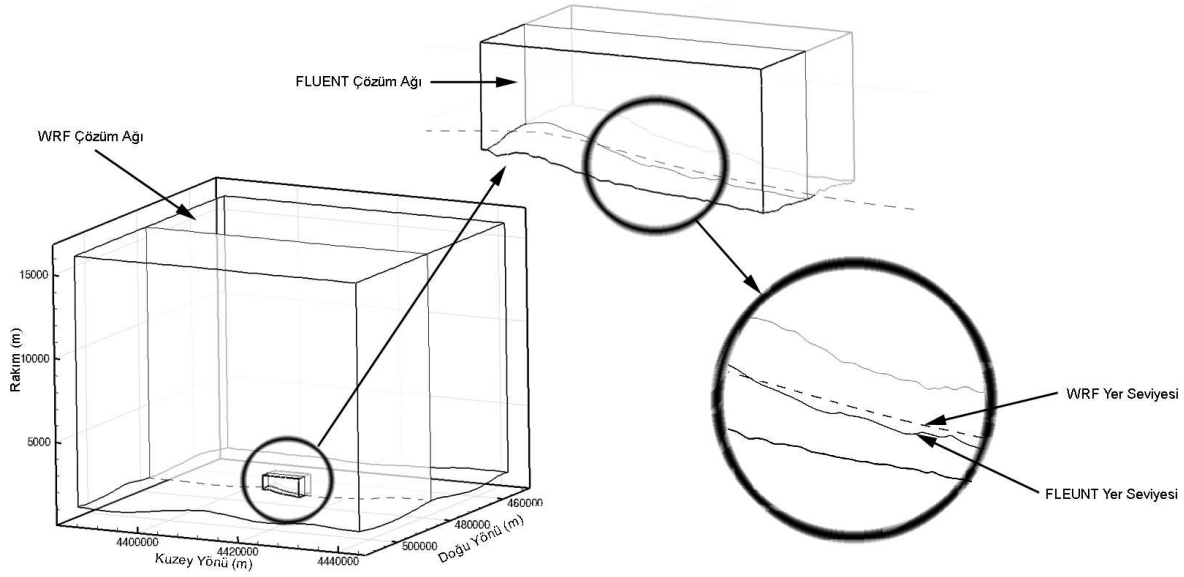
Bu çalışmada ilgilenilen bölgenin meteorolojik akış alanlarının hesaplanması için topoğrafik yükseklik bilgisi UCAR (University Corporation of Atmospheric Research) sunucusundan temin edilmiştir. WRF'de kullanılacak zamana bağlı başlangıç ve sınır koşulları ECMWF (European Centre of Medium Range Weather Forecast) orta ölçekli hava tahmin merkezinin MARS (Meteorological Archival and Retrieval System) sunucusunda istenilen zaman aralığı için oluşturulmuş yazılan betikler aracılığıyla indirilmiştir.

WRF ile elde edilen ve hedeflenen bölgeden daha geniş bir alanı kapsayan zamana bağlı akış alan çözümlerinden, FLUENT çözüm ağının dış sınırlarına denk düşen noktadaki veriler 5 dakikalık zaman aralıklarıyla çıkarılmıştır.

FLUENT ile yapılacak yüksek çözünürlüklü Navier-Stokes çözüm ağının oluşturulması için topoğrafya yükseklik bilgisi METI (The Ministry of Economy, Trade, and Industry of Japan) ve NASA (The United States National Aeronautics and Space Administration)'nın bir ürünü olan ve dünya çapında 1.5 arc-saniye (≈ 30 metre) çözünürlüğe sahip ASTER GDEM veritabanından elde edilmiştir. Yerden yukarı yönde 25 metreden başlayarak büyüyen atmosferik sınır tabaka çözüm ağı deniz seviyesinden

2000 metre yüksekliğe kadar çıkmaktadır.

WRF'nin çözüm ağı yaklaşık 1 km uzaysal çözünürlüğe sahip olup yerden yukarı yönde Şekil 2'de gösterildiği gibi değişmektedir. WRF'nin η seviyelerini kullanan düşük çözünürlüklü çözüm ağı içinde, FLUENT'de kullanılan yüksek çözünürlüklü çözüm ağının özellikle yere yakın bölgelerindeki bazı düğümler tanımlı değildir. Bu fark Şekil 3 'de açıkça gösterilmiştir. Bu farkın neden olduğu sorunların giderilmesi amacıyla; yerden yukarı yöndeki rüzgar profili sabit tutularak aynı doğrultuda aşağı yada yukarı kaydırmak suretiyle WRF ve FLUENT çözüm ağlarındaki yer yüzeyi seviyeleri eşitlenmiştir. [Leblebici, 2013]



Şekil 3: WRF ve Fluent'in çözüm ağlarının yer seviyelerindeki uyumsuzluk

FLUENT çözüm ağının dış sınırlarına düşen düğüm noktalarında tanımlı akış değişkenleri WRF ile elde edilen 5 dakikalık çözümlerden 3 boyutta uzaysal olarak interpolate edilmiştir. Ayrıca FLUENT'in kullanıcı tanımlı fonksiyonları (User Defined Functions) kullanılarak her 5 dakikalık zaman aralıkları için elde edilen akış değişkenleri, her bir zaman adımı için lineer olarak interpolate edilmiştir.

Çalışma kapsamında 3 farklı kullanıcı tanımlı fonksiyon kullanılmıştır. Bu fonksiyonlar doğru zaman adımında WRF den alınan doğru sınır koşullarını okur, akış alanının sınır hücrelerini ve bu hücrelerinin dış yüzeylerini belirler. Bu değerler zamansal olarak interpolate edildikten sonra her bir zaman adımında hücrelerin dış yüzeylerinde tanımlanır.

Zamana bağlı çözümler üretildikten sonra yerden belli yükseklikteki noktalara ait veriler kullanılarak rüzgar hızları vektörel olarak çıkarılmış, güç yoğunluğu haritaları çizdirilmiştir. Güç yoğunluğu, birim alandaki rüzgar gücü dağılımlarını gösterir ve şu şekilde hesaplanır;

$$\text{Güç yoğunluğu} = \frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho U^3$$

Bir güne ait ortalama güç yoğunluğu hesabı için 10 dakikalık aralıklarla alınan rüzgar hızı dağılımları kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca istatistik hesaplarında sıkça kullanılan Weibull olasılık dağılımları

elde edilmiştir. Bu dağılımlar belli rüzgar hızlarının görülme olasılığını (sıklığını) göstermekte olup, rüzgar potansiyeli belirleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Weibull dağılım fonksiyonu şu şekilde hesaplanır;

$$f(v; \lambda, k) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{v}{\lambda}\right)^{(k-1)} e^{-(v/\lambda)^k}$$

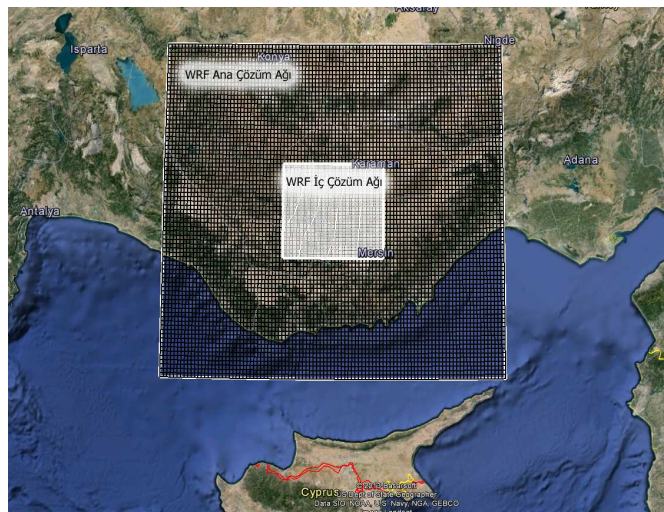
Burada λ ölçek faktörü, k şekil faktörü ve v ise rüzgar hızıdır. Ölçek faktörü, görülmesi en yüksek olasılığa sahip rüzgar hızı, şekil faktörü ise bu dağılımın şekli ile ilgilidir. k 'nın küçük olduğu durumlarda dağınık bir dağılım gözlemlenirken, k 'nın yüksek olduğu durumlarda λ etrafında toplanmış bir dağılım gözlenir.

Bu çalışmada gözlem verisinin temin edildiği nokta için WRF, FLUENT ve gözlem verileri kullanılarak Weibull dağılımları hesaplanmış, rüzgar gülü grafikleri ile rüzgar yönleri kıyaslanmıştır.

UYGULAMALAR

Bu çalışmada akış alanı incelenecek bölge olarak Türkiye/MUT bölgesi seçilmiş, WRF'den alınan hava akış verileri FLUENT çözümlerinde zamana bağlı sınır koşulu olarak kullanılarak türbülanslı akış çözümleri üretilmiştir. WRF çözüm ağının konumu Şekil 4 'de gösterilmektedir. 04.04.2010 günü saat 00:00 akış çözümlerleri için başlangıç zamanı olarak seçilmiş ve 24 saatlik çözümler elde edilmiştir. Bu çözümlere dayalı olarak yerden 71.4 metre yükseklikte güç yoğunluğu haritası çıkarılmış, ölçüm noktası için Weibull dağılımları ve rüzgar gülü grafikleri kıyaslanmıştır.

WRF çözümlerinde 04.04.2010 saat 00:00'da başlangıç kabul edilmiş 24 saatlik periyot için 3km ve 1km olarak iki iç içe ağ (Nest) oluşturulmuş ve çözümler üretilmiştir. Daha düşük çözünürlüklü dış ağ büyüklüğü 100x79(yatay)x50(dikey), iken iç ağ 88x67(yatay)x50(dikey) adet düğümden oluşmaktadır.

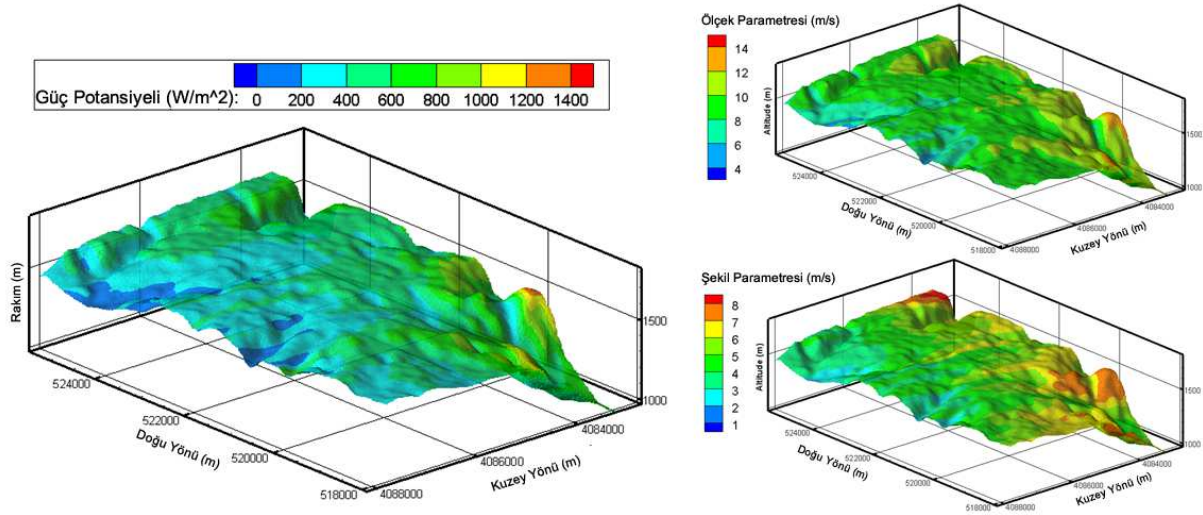


Şekil 4: WRF çözüm ağının konumu

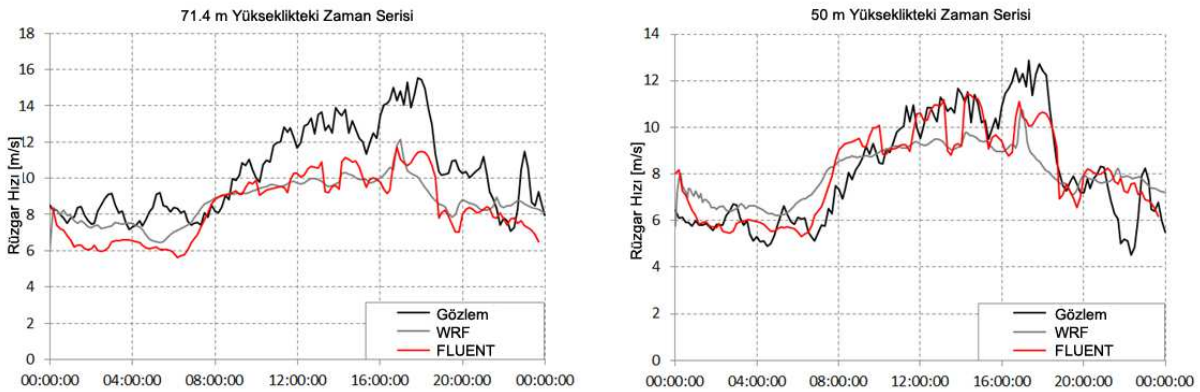
15 saniyelik adımlarla elde edilen çözümler 5dk'lık aralıklarla yazdırılmış, 1 günlük tahminler elde edilmiştir. Elde edilen NetCDF (Network Common Data Form) formatındaki binary veriler,

okunabilir ASCII (American Standard Code for Information Interchange) formatına çevrilmiş gözlem direğinin ölçüm yüksekliği için interpolate edilmiştir.

Ortalama güç yoğunluğu, ölçek/şekil parametreleri ve Weibull dağılımı hesabı için FLUENT'de simülasyon boyunca 10'ar dakikalık aralıklarla 71.4 metre yükseklikteki çözümler yazdırılmış, zamansal olarak integre edilerek birim alan/zaman için rüzgar güç potansiyeli bulunmuştur.



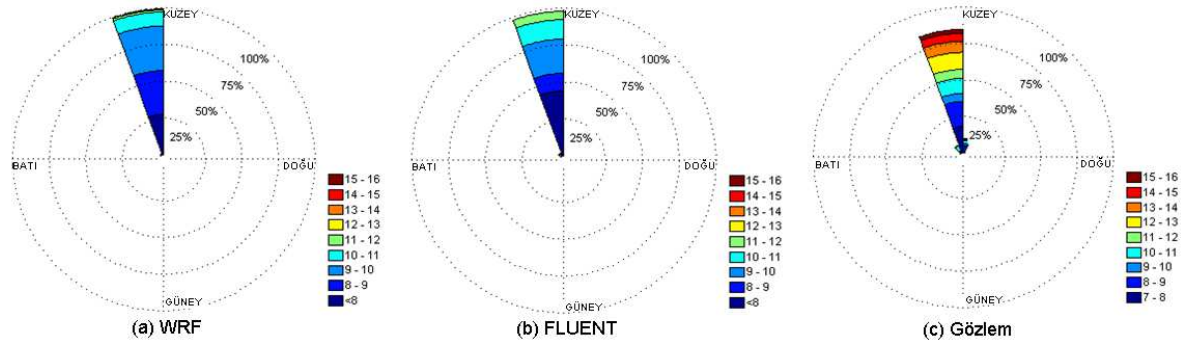
Şekil 5: Yerden 71.4 m yükseklikte Rüzgar Güç Potansiyeli, Ölçek ve Şekil parametreleri



Şekil 6: Rüzgar hızı zaman serileri

Şekil 5 de görülebileceği gibi rüzgar güç potansiyeli, bölgede rüzgarın topoğrafya tarafından engellenmediği ve lokal olarak yüksekliğin fazla olduğu güney-batı köşesinde en yüksektir. Bu durum topoğrafyanın rüzgar potansiyelinde oldukça baskın bir etkisi olduğunu göstermektedir. Burada ölçek ve şekil parametrelerinin de yüksek olması alanın enerji üretimi için uygun bir yer olduğu anlamına gelmektedir.

Şekil 6 'de FLUENT ve WRF ile elde edilen rüzgar hızı zaman serileri gözlem verileri ile kıyaslanmıştır. 71.4 metre yükseklikte WRF ve FLUENT tahminleri çok fazla fark göstermezken, 50 metrede daha büyük bir fark gözlenmiştir. Bu da topoğrafya etkilerinin yere yakın bölgelerde daha baskın olduğunu ve bu etkilerin FLUENT çözümü ile daha doğru modellendiğini göstermektedir.



Şekil 7: Rüzgar Gülü Dağılımları

Şekil 7 ölçüm direğinin ilgili noktasında hesaplanan ve ölçülen 24 saatlik rüzgar yönlerini rüzgar gülü olarak göstermektedir. Burada radyal koordinat, rüzgar hızlarının görülme sıklığını, açisal koordinat rüzgarın yönünü, renkler ise rüzgar hızının büyüklüğünü göstermektedir. Hakim rüzgar yönü tüm hesaplamalarda Kuzey'dir ve gözlem verileri ile uyumludur.

Bu çalışmanın devamı olarak FLUENT ağ çözünürlüğü test çalışmalarının yapılarak elde edilen sonuçların doğruluğu irdelenmelidir. Diğer yandan 10^7 düğümden daha yüksek çözünürlükten oluşan çözümler yazılan kullanıcı tanımlı fonksiyonların çalışma doğası gereği paralelleştirilemediği için çok yüksek işlem kapasitesine sahip hesaplama ortamı gerektirmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada meteorolojik hava tahmin yazılımı WRF ile, daha yüksek çözünürlükte çözüm üretebilen FLUENT yazılımı akuple bir şekilde başarıyla çalıştırılmış, elde edilen çözümler birbiriyle karşılaştırılmıştır. WRF'den alınan zamana bağlı sınır koşulları FLUENT'e girdi olarak verilmiş, elde edilen sonuçlarla rüzgar gücü yoğunluğu, Weibull dağılımları ve rüzgar yönleri tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçların doğruluğu gözlem verileri ile kıyaslanarak irdelenmiş, topoğrafyanın rüzgar gücü potansiyelinde çok önemli bir rol oynadığı, rüzgar potansiyeli çalışmalarında yüksek çözünürlüklü analizlerin önemi gösterilmiştir.

Bu çalışmada uygulanan yöntemlerin, rüzgar türbinlerinin daha verimli çalışmasına olanak sağlayacak şekilde konumlandırılmasına ve ileriye yönelik enerji üretim miktarlarının daha doğru tahmin edilebilmesine imkan vereceği öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR

112M104 nolu proje kapsamında verdikleri desteklerinden ötürü TÜBİTAK'a ve meteorolojik gözlem verilerini paylaşımlarından ötürü BORUSAN-EnBW Energy firmasına teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Botta, G., Castagna, R., Borghetti, M. and Mantegna, D., 1992. *Wind analysis on complex terrain - The case of Acqua Spruzza*, Jour. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 39 pp 357-66
- Bowen Antony J., Mortensen Niels G., 2004. *WAsP prediction errors due to site orography*, Riso National Laboratory, (Denmark, Roskilde)
- Bowen A.J., Saba T., 1995. *The evaluation of software for wind turbine siting in hilly terrain*, 9th International Conference on Wind Engineering, (India)
- Cochran B.C., Damiani R.R., 2008. *Harvesting Wind Power from Tall Buildings*, Wind Power 2008,(Houston, Texas)
- Damiani R., Cochran B., Orwig K., Peterka J., 2008. *Complex Terrain: A Valid Wind Option?*, American Wind Energy Association, (Washington D.C, USA)
- Derickson R.G., Peterka J.A., 2004. *Development of a Powerful Hybrid Tool for Evaluating Wind Power in Complex Terrain: Atmospheric Numerical Models and Wind Tunnels*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, (USA)
- Kristóf G., Rácz N., Balog M.,2009. *Adaptation of Pressure Based CFD Solvers for Mesoscale Atmospheric Problems* Boundary-Layer Meteorology, Cilt.131, s.85-103
- Leblebici E., Ahmet G. and Tuncer I.H., 2013. *Atmospheric Turbulent Flow Solutions Coupled with a Mesoscale Weather Prediction Model*, Eccomas special Interest Conference, 3rd South-East European Conference on Computational Mechanics, (Kos Island Greece)
- Mesoscale and Microscale Meteorology Division, National Centre for Atmospheric Research, 2005. *PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide*, Pennstate
- Politis E.S.,Chaviaropoulos P.K., 2008. *Micrositing and classification of wind turbines in complex terrain*, European Wind Energy Conference and Exhibition, (Brussels, Belgium).
- Reid, S.J., 1995. *Modelling of channelled winds*, BWEA Conference, (Warwick, UK), pp 391-6
- Sempreviva, A.M., Troen, I. and Lavagnini, A., 1986. *Modelling of wind power potential in Sardinia*, European Wind Energy Association Conference and Exhibition, (Rome Italy).
- Zajackowski Frank J., Haupt Sue Ellen, Schmehl Kerrie J., 2011. *A preliminary study of assimilating numerical weather prediction data into computational fluid dynamics models for wind prediction* Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 99 pp 320-329.