

**COALSVM: KÖMÜR DAMARI KATI MODELLEME
YARDIMCI ARACI GRAFİKSEL KULLANICI ARAYÜZÜ
(GUI)**

**COALSVM: AN AUXILLARY TOOL FOR COAL SEAM
MODELLING GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI)**

ANIL ÖNCÜL

DR. ÖĞR. ÜYESİ GÜNEŞ ERTUNÇ
Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2022

ÖZET

COALSVM: KÖMÜR DAMARI KATI MODELLEME YARDIMCI ARACI GRAFİKSEL KULLANICI ARAYÜZÜ (GUI)

Anıl Öncül

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Güneş Ertunç

Mart 2022, 62 sayfa

Maden kaynak kestiriminde cevher katı modelinin doğruya en yakın şekilde ortaya konmasının, maden planlaması ve maden işletme stratejisine doğrudan etkisi vardır. Özellikle kömür damarı gibi tabakalı yapılarda damar ve/veya damarların geometrik sürekliliği ne kadar gerçek durumu yansıtırsa, seçilen madencilik yönteminin verimliliği o derece artacaktır.

CoalSVMModel, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde MATLAB programlama dilinde yazılmış, Compiler uygulamasıyla exe uzantılı hale getirilmiş ve kömür damarı modelleme için yardımcı bir uygulama olarak literatüre kazandırılmıştır. Programın bu versiyonunun temel amacı, kömür damarının tavan eş yükselti eğrileri ile kalınlık haritasının tematik hale getirilmesidir.

Kömür damarının diğer tabakalardan ayrılması bir sınıflandırma problemidir. Tez çalışmasında bu sınıflandırma probleminin çözümü destek vektör makineleri yöntemine dayalıdır. Ayrıca, tez çalışması kapsamında bu programın her bir uygulamasının test çalışmaları gerek sentetik gerekse gerçek veri tabanlarından elde edilen veriler ile yürütülmüştür.

Ayrıca, program exe haline getirildikten sonra Türkiye’de bir kömür sahasına ait kömür veri tabanı kullanılarak bir durum çalışması yapılmış ve program çıktıları incelenmiştir. Durum çalışmasında, programın ürettiği kömür kalınlık haritası ile kömür tavan eş yükselti eğrileri sonuçlarına göre sahadaki tektonizmadan etkilenen olası konumlar belirlenebilmiştir. Ayrıca, fay bölgesinin daha iyi karakterize edilebilmesi için ilave sondajların yapılacağı konumlar da önerilmiştir.

Bu program modüler bir yapıdadır ve gelecek çalışmalarda, çeşitli araştırma konuları ile geliştirilmesi, sürekli güncellemeler ile kömür damarı modelleme konusunda literatüre katkı sağlayacaktır. Bu tez çalışmasının bir başka çıktısı ise gelecekte yapılması planlanan iyileştirmeler ve güncellemelere yön vermek olmuştur.

Anahtar kelimeler: stratigrafi modelleme, destek vektör makineleri, kömür, MATLAB GUI

ABSTRACT

APPLICATION OF IMPLICIT 3D MODELLING IN A COAL FIELD

Anıl Öncül

Master of Science, Department of Mining Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Güneş Ertunç

March 2022, 62 pages

The accurate representation of the solid model in mineral resource estimation has a direct impact on mine planning and mining method selection strategy. Especially in stratified orebodies such as coal seams, the more geometric continuity of the veins and/or the veins reflects the real situation, the higher efficiency of the chosen mining method obtained.

CoalSVMModel graphical user interface was compiled in MATLAB programming language at Hacettepe University Mining Engineering Department and introduced in literature as an auxiliary application for coal seam modeling. The main purpose of this executable version is to produce thickness map with top seam contours.

CoalSVMModel graphical user interface (GUI) was compiled in MATLAB programming language at Hacettepe University Mining Engineering Department and introduced in literature as an auxiliary application for coal seam modeling. The main purpose of this executable version is to produce thickness map with top seam contours.

Separation of the coal seam from the other layers can be defined as a classification problem. In the thesis study, the solution of this classification problem is based on the support vector

machines method. In addition, test studies of each application of CoalSVMModel GUI were carried out with data obtained from both synthetic data and real case databases.

In addition, after the program is released, a case study was conducted in a coal field located in Turkey and the outputs of the program were examined. In the case study, possible locations affected by tectonics in the field is determined according to the results of the coal thickness map and contours produced by the program. In addition, additional drilling locations have been proposed to better characterization of the fault zone.

CoalSVMModel has a modular structure and will contribute to the literature on coal seam modeling with continuous updates and development with various research topics in future studies. Final output of this thesis work was to give direction to the improvements and updates planned for the future.

Keywords: Stratigraphy modelling, Support vector machines, coal, MATLAB GUI

TEŞEKKÜR

Üzerimde emeği geçen, akademik ve her türlü konuda bana yardımcı olan ve tecrübeleri ile beni aydınlatan sayın Prof. Dr. Ahmet Hakan BENZER'e

Tezime vermiş olduğu katkılar ve öneriler için sayın jüri yeleri Prof. Dr. A. Erhan TERCAN, Prof. Dr. Bahtiyar ÜNVER, Dr. Öğr. Üyesi Fırat ATALAY ve Dr. Öğr. Üyesi Ali İMER hocalarıma

Bilgi birikimiyle beni aydınlatan, desteğini asla esirgemeyen ve yol göstericim olan sayın danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Güneş ERTUNÇ'a

Benden desteđini hiçbir zaman esirgemeyen canım aileme sonsuz teřekkürler...

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Kapsamı	5
1.2. Tezin Bölümleri.....	6
2. DESTEK VEKTÖR MAKİNELERİ.....	7
2.1. Yöntem.....	9
2.1.1. Doğrusal Ayrılabilen Durum	9
2.1.2. Doğrusal Ayrılamayan Durum.....	16
2.1.3. Doğrusal Olmadan Ayrılabilen Durum.....	17
3. CoalSVMModel KULLANICI ARAYÜZÜ	20
3.1. Veri Girişi, Geçerleme, Doğrulama.....	21
3.2. Tematik Harita	27
3.3. Girdi Verisi Hazırlama	28
3.4. Sayısal Arazi Modeli	30
3.5. Sınıflandırma Blok Modeli	32
3.6. DVM Sınıflandırma.....	33
3.7. Sonuç Ekranı.....	33
4. DURUM ÇALIŞMASI	35
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	42
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 DVM yönteminde kullanılan çeşitli çekirdek fonksiyonlar ve tanımları	19
Çizelge 3.1 Kuyu koordinat dosyası zorunlu alanlar.....	22
Çizelge 3.2 Analiz dosyası zorunlu alanlar.....	22
Çizelge 3.3 Analiz dosyası alanlarında olası hatalar ve doğrulama rutinleri	23
Çizelge 3.4 Tanımlayıcı istatistik değer öğeleri	30

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1	Açık modelleme şematik gösterimi 2
Şekil 2.1	DVM yöntemi ile doğrusal ayrılabilen bir durum 8
Şekil 2.2	Örnek lokasyonları 11
Şekil 2.3	Örnek lokasyonları ile ayırım çizgisi 15
Şekil 2.4	Python kodu ile çözüm 16
Şekil 2.5	Doğrusal ayrılamayan durumdaki dönüşüm. 16
Şekil 3.1	CoalSVMModel kullanıcı arayüzü akış şeması 20
Şekil 3.2	Veritabanı giriş ekranı. a) Kuyu koordinat (Collar) ve analiz (Assay) dosyası, b) Kuyu açığı dosyası (Survey) girişi 21
Şekil 3.3	Veri tabanı uyarı rapor örneği 24
Şekil 3.4	Veri tabanı giriş rapor örneği 25
Şekil 3.5	Veri girişi, geçерleme ve doğrulama algoritması akış şeması 26
Şekil 3.6	Tematik harita ekranı..... 27
Şekil 3.7	DVM girdi verileri hazırlama şematik gösterimi 28
Şekil 3.8	DVM girdi verileri hazırlama ekranı 29
Şekil 3.9	Sayısal arazi modeli ekranı 31
Şekil 3.10	Sınıflandırma Blok Modeli ekranı 32
Şekil 3.11	DVM sınıflandırma çalıştırma ekranı 33
Şekil 3.12	CoalSVMModel sonuç ekranı 34
Şekil 4.1	Durum çalışması: tematik ekran..... 35
Şekil 4.2	Durum çalışması: a) ASCII, b) GEOVIA Surpac™(*.str), c) GeoEAS dosya içeriği 36
Şekil 4.3	Durum çalışması: DVM girdi verisi oluşturma 37
Şekil 4.4	DVM girdi verilerinin GEOVIASurpac™programındaki görüntüsü (Güneybatıdan bakış) 37
Şekil 4.5	Durum çalışması: Sayısal arazi modeli nokta bulutu dosya içeriği 38

Şekil 4.6	Durum çalışması: Sayısal arazi modeli ekranı.....	38
Şekil 4.7	Durum çalışması: Sınıflandırma blok modeli.....	39
Şekil 4.8	Durum çalışması: Sonuçlar	40
Şekil 4.9	Durum çalışması: Olası fay bölgeleri	41

SİMGELER VE KISALTMALAR

2B	: 2 İki Boyutlu
3B	: 3 Üç Boyutlu
2D	: 2 Two Dimensional
3D	: 3 Three Dimensional
CAD	: Computer Aided Design
DA	: Diskriminant Analizi
DVM	: Destek Vektör Makineleri
LCV	: Lower Calorific Value
lhv	: lower heating value
LOO	: Leave One Out
SVM	: Support Vector Machines
SVR	: Support Vector Regression

1. GİRİŞ

Maden kaynak kestirim süreci, temel olarak veri tabanı oluşturma, jeolojik katı modelleme, blok modelleme ve kaynak modelleme adımlarını kapsar. Veri tabanı, cevher yatağı modelleme ve ocak tasarımına temel olan verileri (jeolojik haritalar, sondaj logları, numune analiz değerleri vs.) içermektedir ve cevher modellemesi için girdi parametrelerinin bütünü oluşturur.

Blok modelleme, büyük ölçüde, cevher kütlelerinin geometrisinin gerçeğe yakın bir şekilde modellenmesine bağlıdır. Cevher kütlelerinin geometrisi temel olarak litoloji, mineraloji, alterasyon, yapısal unsurlar gibi jeolojik değişkenler ile sondaj karotlarının analizinden elde edilen ve öznitelik olarak adlandırılan bu verilere bağlı olarak oluşturulur. Jeolojik yapıya uymayan bir cevher modeli, takip eden aşamalarda telafisi mümkün olmayan teknik hatalara yol açabilir.

Maden kaynak kestiriminden sonra teknik, sosyal ve çevresel faktörlerin değerlendirilmesiyle ve buna ek olarak projenin ekonomik analizinin dahil edilmesiyle maden rezerv kestirimi yapılır. Bu analiz sonucunda projenin finanse edilip edilemeyeceği kararlaştırılır. Böylesine kritik bir karar ile sonuçlanan süreçte, cevher kütlelerinin uzanımlarını doğru anlaşılması ve aynı zamanda elde edilen verilerin güvenilirliğinin sorgulanması/sağlanması maden kaynak kestirimi ve dolayısıyla maden rezerv kestiriminin temelini oluşturur. Verilerin doğrulanmasında ve/veya jeolojik model aşamasında yapılacak hatalı işlemlerin birikimli olarak hep bir sonraki aşamaya aktarılması kaçınılmazdır.

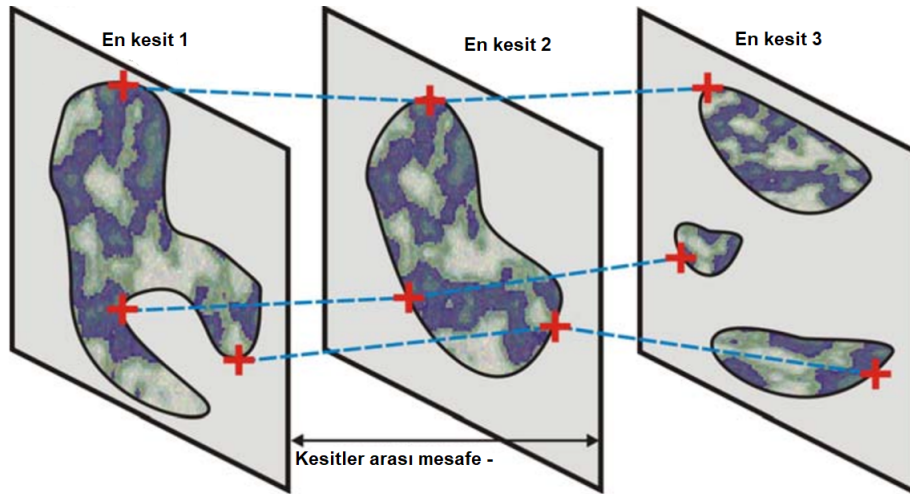
Jeolojik katı modelleme dinamik bir süreçtir. Bir maden projesinin ilk aşamalarında sınırlı sayıda sondajdan elde edilen verilerden yola çıkılarak aşamalı şekilde işleyen süreçlerin hepsi yeni veri geldikçe (yeni sondajlar yapıldıkça) güncellenmektedir. Jeolojik katı modelleme, (1) Açık modelleme ve (2) Örtülü modelleme olmak üzere, iki başlık altında açıklanabilir.

Üç Boyutlu (3B) Açık Modelleme (3D Explicit Modelling) Jeolojik katı modelleme yöntemlerinden açık modelleme, vektör tabanlı bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılım

ürünlerinde kullanılan çizim yöntemlerinin bir uyarlamasıdır. Bu yazılımlarda kullanıcı nesne anahatlarını (dizeler veya çoklu çizgiler) oluşturmak için kesitsel çizgiler çizebilir. Açık modellemenin temelini oluşturan 3B tel çerçeveleme işlemi, bu 2B çizim sürecinin basit bir uzantısıdır. Burada tüm çizgilere, belirli kesit dizisi boyunca düğüm noktaları eklenerek üçüncü boyut oluşturulmaktadır. Kullanıcının kesit dizisinde yer alan tüm en kesitleri açıkça sayısallaştırması gerektiğinden, bu modelleme sürecine "açık modelleme" adı verilir.

En kesitleri oluşturmak ve elle birleştirmek zaman alıcı bir süreçtir. Jeolojik süreklilik gereği, bir en kesit diğerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu sebeple veri tabanına yapılan güncelleme ile mevcut modelin güncellenmesi çok karmaşık ve zaman alan bir süreçtir. Aynı şekilde veri setine yeni bir bilgi eklenmesi halinde bunu takip eden bütün en kesitler değişeceği için en kesitlerin oluşturulması ve birleştirilmesi sürecini tekrar ettirir.

En kesitler oluşturulurken litoloji, levha hareketleri, eğim, alterasyon, fay hatları gibi cevher katı modelini etkileyen unsurlar dikkate alınır. Ancak jeolojik çeşitliliğin çok olduğu karmaşık yapılarından oluşan bir cevher kütesinin modellenmesi kullanıcı bilgisine, deneyimine ve yorumuna açıktır. Ayrıca bu farklılıkları yorumlayacak uzman görüşü de subjektif olacağı için modellerde ve dolayısıyla cevher hacminde farkların ortaya çıkması mümkündür.



Şekil 1.1 Açık modelleme şematik gösterimi

Üç Boyutlu (3B) Örtülü Modelleme (3D Implicit Modelling) Örtülü modellemede jeolojik katı model $f(x,y,z)$ matematiksel hacim fonksiyonu ile ifade edilir. Bu yöntemde, 3 boyutlu cevher kütlesi modelini oluşturmak için seçilen özniteliğin konumunu belirten x vektörünün yüzeyden uzaklığın formülleştiren bir matematiksel fonksiyonu kullanır. Bu fonksiyon skaler alanı (scalar field) temsil eder. Skaler alan, her bir özniteliğin cevher ile kayaç arasındaki sınır yüzeyi ifade eden $f(x) = 0$ fonksiyonuna olan uzaklıkların bütününden oluşmaktadır. Bu bütün, hacim fonksiyonu olarak adlandırılır. Fonksiyonun girdisi özniteliğin skaler alandaki konumunu belirten 3 boyutlu vektör, fonksiyonun sonucu yüzeyden uzaklığı veren skaler bir değerdir.

Örneklerin 3B konumsal verileri girdi vektörleri olarak ifade edilir. Her bir örneklemin x,y,z koordinatları f fonksiyonuna beslenir. Bu $f(x,y,z)$ fonksiyonunun sıfıra eşit olduğu noktalar katı modelin yüzeyinde olduğu kabul edilir. Bu noktalardan üçgenler oluşturulur ve birleştirildiğinde cismin yüzeyi elde edilir.

Örnek olarak yarıçapı bir birim olan bir kürenin hacim fonksiyonu $x^2 + y^2 + z^2 = 1$ örtülü modelleme gösterimi $f(x,y,z) = C$ biçiminde ifade edilebilir. Bu denklem kürenin yüzeyinde sonsuz sayıda (x,y,z) koordinatlı nokta tanımlar. Dolayısıyla kürenin uzaydaki konumu belirten reel koordinatlar hacim fonksiyonundan direkt elde edilemez. Ancak bütün veri girdileri hacim fonksiyonuna sokulur. Fonksiyonun sonucu skaler bir sayı olarak geri döner. Sonucun işaretine göre o örnek konumunun katı modelin sınırını belirleyen yüzeyin içinde veya dışında olduğu anlaşılır.

Açık modelleme ile karşılaştırıldığında örtülü modelleme parametrik yapısından ötürü daha pratiktir. Örtülü modellemede veri setinden fonksiyona bağlı olarak subjektif model üretilir. Örtülü modellemenin diğer avantajı, tekrarlanabilir ve nesnel sonuçlar üretmek için modellerin ek verilerle yeniden hesaplanma hızıdır. Açık modellemede her bir modeli üretmek için önemli miktarda zaman gerekir ve sonuçlar tekrarlanabilir değildir.

Literatürde 3B kömür damarı modelleme ve kömür kalite değişkenlerinin jeostatistiksel kestirim ve benzetimine ilişkin bir çok çalışma yer almaktadır. Heriawan ve Koike, [1, 2];

Kapageridis ve Kolovos, 2009 [3]; Hindistan vd, 2010 [4]; Olea vd, 2011 [5]); Hatton ve Fardell, 2012 [6]; Saikia ve Sarkar, 2013 [7]; Siddiqui vd, 2015 [8].

McLennan ve Deutsch (2006), BOUNDSIM örtülü modelleme aracını literatüre kazandırmışlardır. Örtülü hacim fonksiyonlarının açık modellemede kullanılan yöntemlere göre en önemli avantajı öznitelik kestirimi yapılırken cevher sınır yüzeyinin büyütülüp küçültülmesi arasındaki hacimsel belirsizliğe erişimin olması olarak tanımlamıştır. Toplam 100 adet dik sondajdan oluşan yapay 3B bir veri seti üzerinden sınır yüzeyi modelleme yaklaşımlarını kıyaslamıştır. Sonuçlara göre örtülü modelleme yaklaşımları daha hızlı, objektif olduğu ortaya konmuştur [9].

Wohlberg vd (2006), cevher ile yan kayacı ayıran yüzeyin hesaplanmasında DVM ile jeostatiksel yöntemleri kıyaslamıştır. Yöntemlerin hata oranları LOO (Leave One Out) doğrulaması ile çeşitli yoğunluktaki analiz verilerinde karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre DVM, veri yoğunluğu fark etmeksizin iki farklı sınıfı ayıran yüzey seçiminde jeostatiksel yöntemlere göre daha başarılı sınıflandırma yapmıştır. Ayrıca, düşük yoğunluklu veri setlerinde ise jeostatiksel yöntemlerin etkisiz kaldığı, DVM'nin ise nispeten iyi tahmin sonuçları aldığı gözlemlenmiştir [10].

Wilde ve Deutsch (2012), birden çok kömür damarını geometrik olarak modellemek için "Signed Distanced Function Method" kullanmıştır. Bu yöntem her bir sondaj kuyusundan örneklem uzunluklarından "kömür birikimi" özneliği üreten veri setine dayanır. Kömür birikimlerinin 2B iç kestirimi ile kömür/kayaç kesişim noktalarının 0'a eşit olduğu 3B mesafe fonksiyon iç kestirimi ile kömür damarı kabuğu bir çizgi veya yüzey olarak ifade edilmiştir [11, 12].

Tercan vd. (2013) kömür damarı modellemesi için açık modelleme yöntemine dayalı yöntemler arasında kömür damarı tavan eş yükselti eğrilerini temel alan açık modelleme prosedürü açıklanmıştır [13].

Geranian vd (2015), İran'da Sarı-Günay altın yatağında yeni açılacak sondajlar için jeokimyasal anomalileri ve daha önceki sondaj verilerinin bir kombinasyonunu kullanarak

yeraltı altın mineralizasyonunu modellemek için Diskriminant Analizi (DA) ve destek vektör makineleri kullanmıştır. Verilerin %70'i eğitim verisi, kalan %30'u test verisi olarak kullanılmıştır. Tenör derecesinin (0.5 g/t) üzerindeki kriging ile elde edilen blok notlarının toplamı blokların kalınlığı ile çarpılarak verimlilik indeksi olarak kullanılmıştır. Jeokimyasal eğitim verilerinden DA ve DVM ile 4 adet sınıflandırma fonksiyonu hesaplanmıştır. Eğitim ve test verilerinin sınıflandırılmasında Doğrusal Diskriminant Analizi %60, Nitelikli Diskriminant Analizi %68 doğruluk oranı göstermiştir. DVM de ise dört çekirdek fonksiyonu arasından en iyi sonuç RBF göstermiş parametre optimizasyonundan sonra nu-DVM %73.8, c-DVM %72.3 doğruluk oranı ile göstermiştir [14].

Zhengwei vd (2016) sismik özelliklere dayalı kömür kalınlığı tahmininde DVM uygulanmış ve mevcut yöntemlerle kıyaslanmıştır. DVM model seçiminde üst sınır C ve çekirdek parametresi c'nin optimum değerlerini seçmek için 5 katlı çapraz doğrulama kullanan bir ızgara arama tekniğini kullanılmıştır. Izgara arama yoluyla belirlenen optimum parametre değerleri kömür damarı kalınlığına ait en doğru kestirimi gerçekleştirmektedir. Ampirik analizin sonuçları, DVM'nin daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir. Bu sonuçlarla, DVM'nin kömür kalınlığı tahmini için umut verici bir alternatif olabileceği öne sürülmüştür [15].

Wang vd (2018), örtülü modelleme de hermite radyal temel fonksiyonu (HRBF) algoritması ile 3B modelleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada açık ve örtülü modelleme sonuçları karşılaştırılmalı olarak verilmiştir [16].

Bu tez çalışması, kullanıcının veri tabanı girişi yaptığı ve çıktısı kömür damarı tavan eş yükselti eğrileri ve kömür kalınlık haritası olan kullanıcı arayüzü CoalSVMModel programı ile ilgilidir. Kömür tavanı eş yükselti eğrileri oluşturma prosedürü ise destek vektör makineleri yöntemine bağlıdır.

1.1. Tezin Kapsamı

Tezin kapsamında ilk olarak, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde geliştirilen ve kömür damarı modelleme için yardımcı bir araç olan "CoalSVMModel"

programının tüm modüllerinin sentetik ve gerçek veriler ile testi ile kullanıma hazır hale getirilmesi sağlanmıştır. CoalSVMModel v1.3.4 versiyon numarası ile kullanıma hazır hale gelmiştir.

İkinci olarak, CoalSVMModel v1.3.4 kullanılarak Türkiye’de yer alan bir kömür sahasında durum çalışması yapılmıştır.

Tez çalışmasında kullanılan ve exe kurulum dosyası hazır hale getirilen CoalSVMModel programı, MATLAB ile MATLAB Compiler ile kodlanmıştır. Bu yazılımlar Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü bünyesinde 218M398 No’lu TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında ”Akademik lisans” ile çalıştırılmaktadır. Teze konu olan program, ”Akademik lisans” tanımı gereği herhangi bir ticari faaliyet kapsamında değerlendirilmemektedir.

1.2. Tezin Bölümleri

Tez, 5 ana bölümden oluşmaktadır. Her bölümün içeriği aşağıdaki şekilde listelenmiştir.

- Bölüm 1’de tezin konusu, kapsamı ve tezin bölümleri verilmektedir.
- Bölüm 2’de teze konu olan destek vektör makineleri yönteminin detayları yer almaktadır.
- Bölüm 3’te, CoalSVMModel programının tüm uygulamaları açıklanmaktadır.
- Bölüm 4’te, Türkiye’de yer alan bir linyit sahasının veri tabanı dosyaları kullanılarak CoalSVMModel programı ile durum çalışmasını içermektedir.
- Bölüm 5 tezin son bölümüdür ve tezin sonuçları ile tez konusu ile ilgili ilerleyen dönemlerde yapılması planlanan çalışmalar bu bölümde verilmektedir.

2. DESTEK VEKTÖR MAKİNELERİ

Destek vektör makineleri (DVM), verilerin istatistiksel öğrenme teorisine dayalı denetimli öğrenme (*supervised*) ile sınıflandırma için kullanıldığı bir makine öğrenmesi algoritmasıdır.

İstatistiksel öğrenme teorisi Vladimir N. Vapnik tarafından ortaya konmuştur ve makine öğrenimi kapsamında değerlendirildiğinde bağımlı veya bağımsız değişkenlere göre tahmin modeli oluşturmaya dayanmaktadır. Bu teoriyi temel alan Vapnik-Chervonenkis Teorisi (VC-theory) ise 1960 - 1990 yılları arasında sürekli kendini güncelleyerek "istatistiksel öğrenme"den yola çıkarak "makine öğrenme"nin temelini atmıştır [17, 18].

DVM'nin temel amacı veri setlerinde özniteliklerin sınıflandırılma problemlerinin çözümü olsa da regresyon analizi için de uyarlanabilmektedir [19].

Bu yöntemde iki sınıfa ait verileri birbirinden en uygun şekilde ayırmak için karar sınırları veya hiper düzlemler belirlenir. Geleneksel olarak, DVM yöntemi 1) doğrusal olarak ayrılabilir ikili sınıflandırma, 2) doğrusal olarak ayrılamayan ikili sınıflandırma ve 3) doğrusal olmayan sınıflandırma problemlerine çözümler sunar.

DVM yönteminde bazı önemli terimlerin açıklamaları aşağıda verilmektedir.

Çekirdek: (*Kernel*) DVM yönteminde veri mevcut durumundayken ayırım sınırı belirlenemediğinde çeşitli şekilde daha yüksek boyutlu bir veri kümesine dönüştürülebilir. Bir çekirdek (ya da kernel) bir fonksiyon ile tanımlı hale gelir. Verinin boyutu büyüdüğünde, bilgi işlem maliyeti genellikle artar. Bu fonksiyon bilgi işlem maliyetini düşürürken daha yüksek boyutlu uzayda bir ayırıcı düzlemi aramaya yardımcı olur.

Hiper Düzlem: (*Hyper-plane*) Yüksek boyutlu uzayda ayırıcı düzlem, hiper düzlem olarak adlandırılır.

Sınır çizgileri: (*Boundary lines*) Hiper düzlem dışında, DVM yönteminde iki sınıf birbirinden bir doğru ile ayrılabilir. Bu ayırım bölgesi, şerit genişlikleri birbirine eşit bir karayoluna benzetilebilir. Bu karayolunun alt ve üst sınırları sınır çizgisi olarak

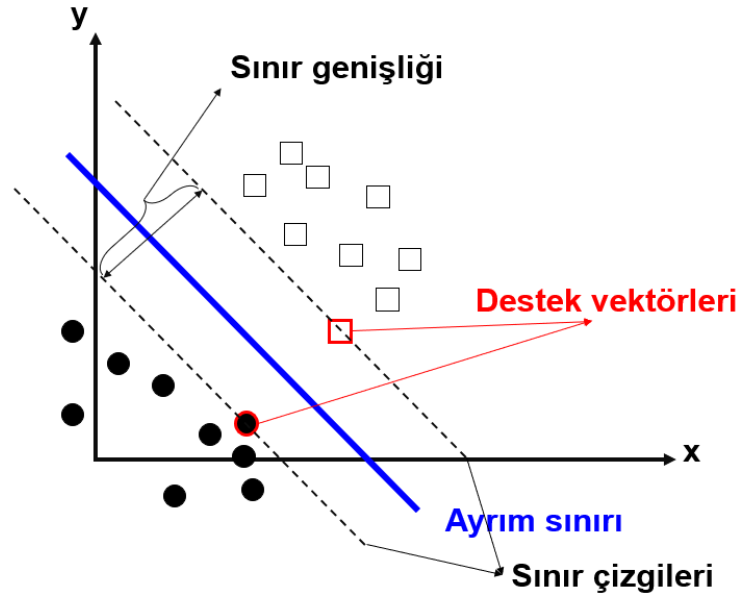
tanımlanabilir. Sınır çizgilerinin bir yanında "+" yani pozitif, diğer yanında ise "-" negatif etiketli değerler alan veriler bulunur.

Ayrım sınırı: (*Separation line*) sınır çizgilerinin tam ortasından geçen sınırdır.

Destek vektörleri: (*Support Vectors*) Sınır çizgisi üzerinde yer alan tüm noktalar destek vektörler olarak adlandırılır.

Sınır genişliği: (*Margin*) Hiper düzleme en yakın noktaların (destek vektörlerin) düzleme dikey mesafesi olarak tanımlanır.

Şekil 2.1'de, doğrusal ayrılabilen bir durum üzerinde sınır çizgileri, ayırım sınırı, destek vektörleri ve sınır genişliği görselleştirilmiştir.



Şekil 2.1 DVM yöntemi ile doğrusal ayrılabilen bir durum

2.1. Yöntem

DVM, farklı kategorik değişken sınıflarını birbirinden en iyi ayıran bir hiperdüzlemi bir takım en küçükleme optimizasyonları ile bularak ayırım sınırını belirler. Basitten karmaşığa doğru (1) doğrusal ayrılabilen durum, (2) doğrusal olarak ayrılamayan durum, (1) doğrusal olmadan ayrılabilen durum ve (4) çok sınıflı sınıflandırma problemlerine çözüm sunmaktadır. Tez kapsamında sondaj verileri kullanılarak kömür ile kömür olmayan litolojilerin birbirinden ayrılması amaçlanmıştır. Dolayısıyla ortaya konan problem ikili sınıflandırma problemidir. Bu yüzden çok sınıflı sınıflandırma yöntemi kapsam dışında bırakılmıştır. Bu bölümün alt başlıklarında Bölüm 2.1.1.'de Doğrusal Ayrılabilen Durum, Bölüm 2.1.2.'de Doğrusal Ayrılamayan Durum ve Bölüm 2.1.3.'te ise Doğrusal Olmadan Ayrılabilen Durum detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

2.1.1. Doğrusal Ayrılabilen Durum

İkili sınıflandırma probleminde, $\{x_i, i = 1, \dots, n\}$ noktalarının ω_1 ve ω_2 sınıflarına ait $y_i = \pm 1$ değerleri bulunur. Doğrusal ayırım fonksiyonu $g(x)$ Eşitlik 1'deki gibi tanımlanır.

$$g(x) = \omega^T x + \omega_0 \quad (1)$$

Eşitlik 1'deki ayırım fonksiyonuna göre ayırım kuralı:

$$\omega^T x + \omega_0 \begin{cases} > 0 \\ < 0 \end{cases} \Rightarrow x \in \begin{cases} > \omega_1, & y_i = +1 \\ < \omega_2, & y_i = -1 \end{cases} \quad (2)$$

şeklindedir. Her nokta için ayırım sınırına göre doğru sınıflandığında $y_i (\omega^T x + \omega_0) > 0$ eşitliği geçerli olacaktır. Algılayıcı algoritma (*perceptron algorithm*) $y_i (\omega^T x + \omega_0) > b$ eşitliğindeki tüm x_i noktalarının ayırım doğrusundan uzaklıklarını $\frac{b}{|\omega|}$ değerinden büyük

olmasını sağlar. $b=1$ alındığında, $y_i = \pm 1$ olduğu için iki tane sınır çizgisi tanımlanmış olur. Bu iki sınır çizgisi Eşitlik 3'te verilmiştir.

$$\begin{aligned} H_1 &= \omega^T x + \omega_0 \geq +1, & y_i &= +1 \\ H_2 &= \omega^T x + \omega_0 \leq -1, & y_i &= -1 \end{aligned} \quad (3)$$

Ayrım çizgisinde fonksiyonun aldığı değer 0'a eşittir.

DVM'de iki sınıf arasındaki ayrım maksimize eden hiperdüzlemi bularak sınıflandırma gerçekleştirir. Bu optimal hiperdüzlemin tanımlanması için sınır genişliğinin $(\frac{1}{\|\omega\|})$ maksimize edilmesi gerekir. Bu durum, ω değerinin en küçüklenmesi ile eşdeğerdir.

$$y_i (\omega^T x + \omega_0) \geq 1 \quad i = 1, \dots, n \quad (4)$$

En küçükleme, Eşitlik 4 kısıtı altında, hedef fonksiyon (Eşitlik 5) seçilerek gerçekleştirilir.

$$L_p = \frac{1}{2} \omega^T \omega - \sum_{i=1}^n \alpha_i \left(y_i (\omega^T x_i + \omega_0) - 1 \right) \quad (5)$$

Burada α_i , $i = 1, \dots, n$; $\alpha_i \geq 0$ lagrange çarpanlarını; ω ve ω_0 asal parametreleri ifade etmektedir.

$\omega^T \omega$ değerinin en küçüklenmesi, Eşitlik 5'teki'deki L_p fonksiyonun türevinin sıfıra eşitlenmesi ile mümkün olmaktadır. Bu durumda L_p fonksiyonuna göre ω ve ω_0 parametreleri en küçük değeri; α_i ise en büyük değeri almalıdır. L_p fonksiyonunun ω ve ω_0 değerlerine göre türevleri alınıp 0'a eşitlendiğinde;

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i &= 0, \\ \omega &= \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i x_i \end{aligned} \quad (6)$$

oluşur.

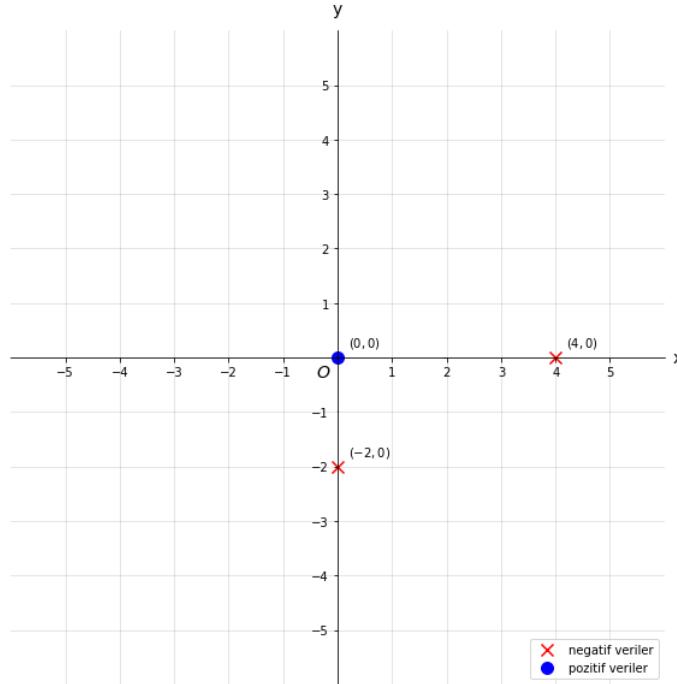
Eşitlik 5, Eşitlik 6 dikkate alınarak yeniden düzenlendiğinde, Lagrange ikili form oluşur ve Eşitlik 7 elde edilir.

$$L_D = \sum_{i=1}^n \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_i \alpha_j y_i y_j x_i^T x_j \quad (7)$$

Eşitlik 7'deki fonksiyonun en büyük değeri, $\sum_{i=1}^n \alpha_i y_i = 0$ ve $\alpha_i \geq 0$ koşulları altında bulunur.

Örnek Çözüm

Bu bölümde, üç noktadan oluşan bir doğrusal sınıflandırma durum çalışması yer almaktadır. Üç örnek lokasyonu kullanılarak ayırım çizgisinin denklemi Bölüm 2.1.1.'de açıklanan eşitlikler ile türetilmiştir. Örnek lokasyonlarının kartezyen koordinat sistemindeki görüntüsü Şekil 2.2'de yer almaktadır.



Şekil 2.2 Örnek lokasyonları

Verilerin koordinatları ve sınıf etiketleri matrisler ile ifade edildiğinde,

$$x = \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 0 \end{bmatrix} \text{ ve } y = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

tüm koordinatların skaler çarpımlarını içeren matris, sınıf etiket matrisi ile de çarpıldığında aşağıdaki gibidir.

$$x^T x = \begin{bmatrix} 16 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Eşitlik 7'ye göre,

$$L_D = \sum_{i=1}^3 \alpha_i - \frac{1}{2} (16\alpha_1^2 + 0\alpha_1\alpha_2 - 0\alpha_1\alpha_3 + 0\alpha_2\alpha_1 + 4\alpha_2^2 - 0\alpha_2\alpha_3 - 0\alpha_3\alpha_1 - 0\alpha_3\alpha_2 + 0\alpha_3^2) \quad (8)$$

$$L_D = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 - 8\alpha_1^2 - 2\alpha_2^2$$

Ayrıca $\sum_{i=1}^n \alpha_i y_i = 0$ koşulu göz önüne alındığında,

$$-\alpha_1 - \alpha_2 + \alpha_3 = 0$$

eşitliği sağlanır.

Bu eşitlik $\alpha_3 = \alpha_1 + \alpha_2$ şeklinde Eşitlik 8'te yerine konduğunda,

$$L_D = 2\alpha_1 + 2\alpha_2 + 8\alpha_1^2 + 2\alpha_2^2$$

haline gelir.

Daha sonra sırasıyla α_1 ve α_2 'ye göre kısmi türevler alınıp eşitlikler sıfıra eşitlenir:

$$\begin{aligned}\frac{\partial L}{\partial \alpha_1} = 0 &\Rightarrow -16\alpha_1 + 2 = 0 \Rightarrow \alpha_1 = 0.125 \\ \frac{\partial L}{\partial \alpha_2} = 0 &\Rightarrow -4\alpha_2 + 2 = 0 \Rightarrow \alpha_2 = 0.5\end{aligned}\tag{9}$$

Eşitlik 9'a göre, $\alpha_3 = \alpha_1 + \alpha_2 = 0.125 + 0.5 = 0.625$ elde edilir. Tüm destek vektörlerinin ağırlıkları elde edildikten sonra, doğrunun eğim parametreleri aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\begin{aligned}\omega &= \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i x_i \\ &= 0.125 [-1] \begin{bmatrix} 4 \\ 0 \end{bmatrix} + 0.5 [-1] \begin{bmatrix} 0 \\ -2 \end{bmatrix} + 0.625 [1] \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} -0.5 \\ 1 \end{bmatrix}\end{aligned}\tag{10}$$

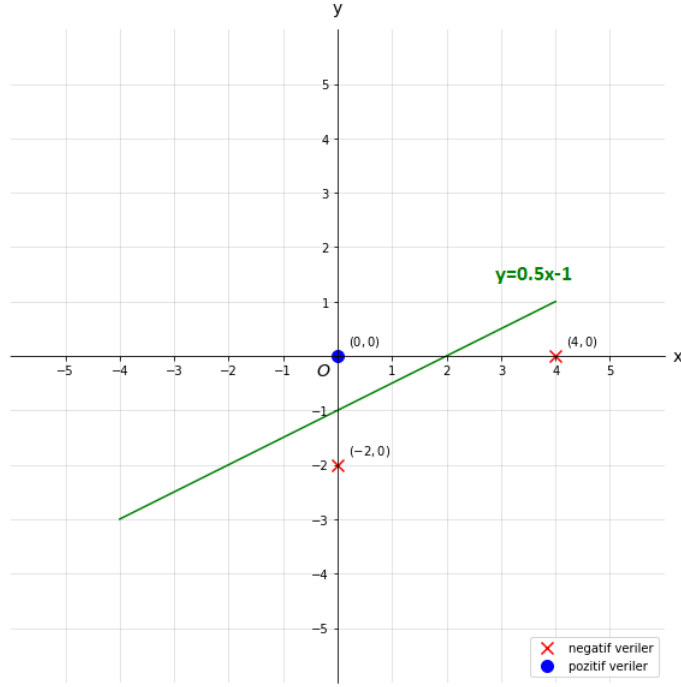
Doğru sabiti ω_0 , herhangi bir destek vektör noktası kullanılarak, Eşitlik 4 kullanılarak bulunur. Buna göre,

$$\begin{aligned}
y_i (\omega^T x + \omega_0) &= 1 \\
[-1] \left(\begin{bmatrix} -0.5 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4 \\ 0 \end{bmatrix} + \omega_0 \right) &= 1 \\
-1 (-2 + \omega_0) &= 1 \\
2 - \omega_0 &= 1 \\
\omega_0 &= 1
\end{aligned} \tag{11}$$

Eşitlik 10 ve 11'den elde edilen parametrelere göre ayırım çizgisinin denklemi Eşitlik 12 olarak belirlenmiştir.

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} -0.5 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + 1 &= 0 \\
-0.5x + y + 1 &= 1 \\
y &= 0.5x - 1
\end{aligned} \tag{12}$$

Ayırım çizgisi ve doğru eşitliği ile beraber örnek lokasyonları, Şekil 2.3'te görselleştirilmiştir.



Şekil 2.3 Örnek lokasyonları ile ayırım çizgisi

Bu bölümde çözüm aşamaları gösterilen problem, Python ile [20] de çözülmüştür. Şekil 2.4'te, Python kodunun ekran görüntüsü yer almaktadır.

```

from sklearn.svm import SVC
import numpy as np

X = np.array([[4,0],[0,-2],[0,0]])
y = np.array([-1,-1, 1])

clf = SVC(C = 1e5, kernel = 'linear')
clf.fit(X, y)

print('w = ',clf.coef_)
print('b = ',clf.intercept_)
print('Destek vektorler indisleri = ', clf.support_)
print('Destek vektorleri = ', clf.support_vectors_)
print('Her sinifa ait destek vektor sayisi= ', clf.n_support_)
print('Katsayilar = ', np.abs(clf.dual_coef_))

```

✓ 0.5s Python

```

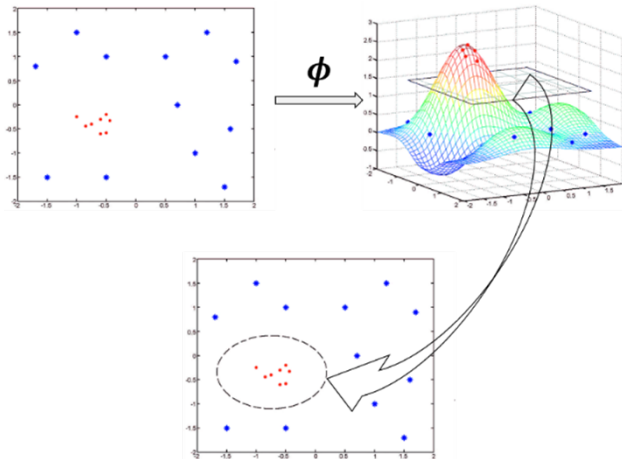
... w = [[-0.5  1.  ]
b = [1.]
Destek vektorler indisleri = [0 1 2]
Destek vektorleri = [[ 4.  0.]
 [ 0. -2.]
 [ 0.  0.]]
Her sinifa ait destek vektor sayisi= [2 1]
Katsayilar = [[0.125 0.5  0.625]]

```

Şekil 2.4 Python kodu ile çözüm

2.1.2. Doğrusal Ayrılamayan Durum

Bu durumda, doğrusal ayırım sınırının geçebileceği genişliği sağlayan, sınır genişliğini arttıran yapay bir değişken (*slack variable*) $\xi_i, i = 1, \dots, n$ tanımlanır ve problem doğrusal ayırım yapılabilen hale getirilir (Şekil 2.5, Kanevski vd. (2009)'dan değiştirilerek [21]).



Şekil 2.5 Doğrusal ayrılamayan durumdaki dönüşüm.

Sınır genişliğinin ötesinde yanlış sınıfa ait olan noktaya olan uzaklığı tanımlayan yapay değişken, Eşitlik 3'te verilen ayırım kuralına Eşitlik 13'teki gibi dahil edilir.

$$\begin{aligned}
\omega^T x + \omega_0 &\geq +1 - \xi_i, & y_i &= +1 \\
\omega^T x + \omega_0 &\leq -1 + \xi_i, & y_i &= -1 \\
\xi_i &\geq 0, & i &= 1, \dots, n
\end{aligned} \tag{13}$$

Başka bir ifade ile yapay değişkenler yanlış sınıflandırmaya göz yumar. Bu durumda yanlış sınıflandırmanın ölçüsünü düzenleyen bir parametreye ihtiyaç duyulur. Bu düzenleme parametresi C ile ifade edilir. Hedef fonksiyon, bu parametrenin dahil edilmesiyle Eşitlik 14'teki hali alır.

$$L_p = \frac{1}{2} \omega^T \omega + C \sum_{i=1}^n \xi_i - \sum_{i=1}^n \alpha_i \left(y_i \left(\omega^T x_i \omega_0 \right) - 1 + \xi_i \right) - \sum_{i=1}^n r_i \xi_i \tag{14}$$

Eşitlik 14'te yer alan C parametresinin eklenmesiyle birlikte en küçükleme işleminde $\sum_{i=1}^n \alpha_i y_i = 0$, $\alpha_i \geq 0$ koşullarına ek olarak $0 < \alpha_i < C$ koşulu eklenmiş olur. Bu koşullar, Karush-Kuhn-Tucker koşulları olarak adlandırılır.

2.1.3. Doğrusal Olmadan Ayrılabilen Durum

Bu tür sınıflandırma koşullarında ayırım sınırı bir doğru ile ifade edilemez. Sınıflandırmada ayırım sınırı, Çekirdek Fonksiyonlar (kernel functions) ile gerçekleştirilmektedir. Çekirdek fonksiyonların DVM yönteminde kullanılmasındaki temel fikir; doğrusal olarak ayrılamayan veri setlerinde doğrusal olarak ayrılabilir hale getiren eşleştirme fonksiyonu ϕ kullanarak daha yüksek bir boyuta çıkarmaktır. Sınıflandırma işlemi dönüştürülmüş bu uzayda gerçekleştirilir ve ayırım sınırı belirlendikten sonra sistem geri dönüşüm ile orijinal uzaya taşınır (Şekil 15).

ϕ eşleştirme fonksiyonu, iki boyutlu uzayı üç boyuta dönüştürdüğü varsayıldığında, aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\phi(x) = \phi\left(\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}\right) = \begin{pmatrix} x_1^2 \\ \sqrt{2}x_1x_2 \\ x_2^2 \end{pmatrix}$$

a ve b iki boyutlu vektörlere ϕ eşleştirme fonksiyonu uygulandığında,

$$\begin{aligned} \phi(a)^T \phi(b) &= \begin{pmatrix} a_1^2 \\ \sqrt{2}a_1a_2 \\ a_2^2 \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} b_1^2 \\ \sqrt{2}b_1b_2 \\ b_2^2 \end{pmatrix} \\ &= a_1^2b_1^2 + 2a_1b_1a_2b_2 + a_2^2b_2^2 (a_1b_1 + a_2b_2)^2 \\ &= (a_1b_1 + a_2b_2)^2 \end{aligned} \quad (15)$$

Eşitlik 15'teki $\phi(a)^T \phi(b)$ çarpımının parantez kare ifadesi Eşitlik 16'daki şekilde de düzenlenebilir.

$$\phi(a)^T \phi(b) = \left(\begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} \right)^2 = (a^T \cdot b)^2 \quad (16)$$

Eşitlik 16'dan görüldüğü gibi, ϕ ile eşleştirilmiş vektörler, vektörlerin orijinal skaler çarpımlarının karesine eşit olmaktadır. Literatürde bu durum çekirdek fonksiyon hilesi (*kernel trick*) olarak adlandırılmaktadır.

Doğrusal olmayan ayırım problemlerinde çekirdek fonksiyon kullanılması durumunda Eşitlik 7'deki Lagrange ikili forma K çarpanı eklenmektedir (Eşitlik 17).

$$L_D = \sum_{i=1}^n \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j) \quad (17)$$

Burada, $K(x_i, x_j)$ ifadesi, çekirdek fonksiyondur.

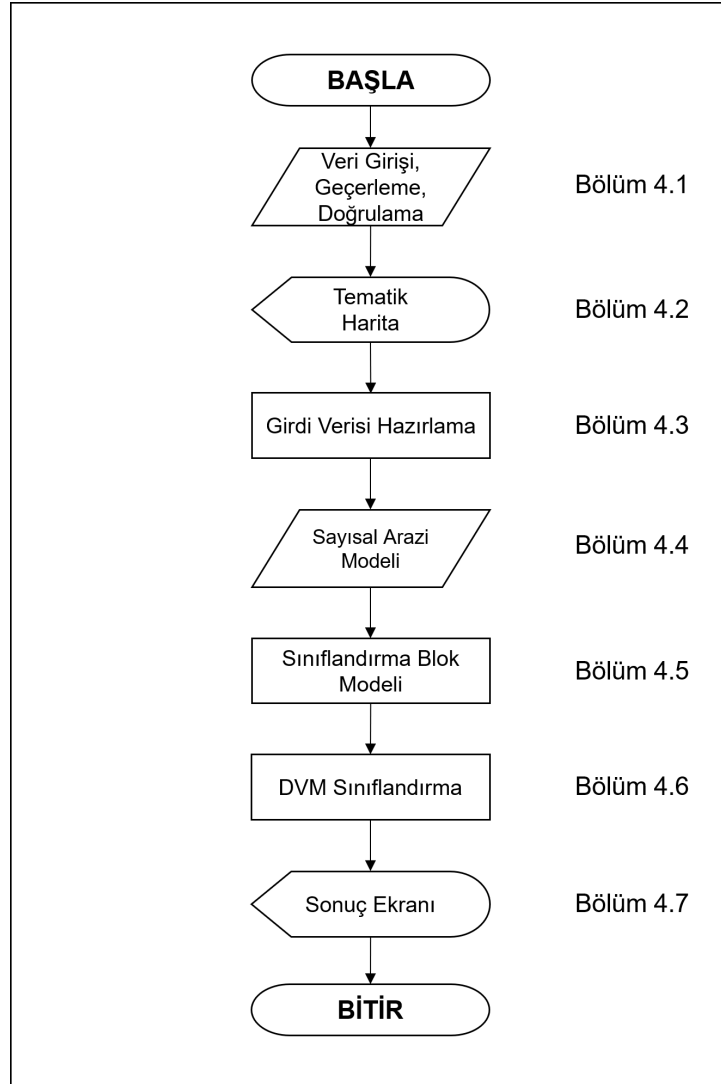
DVM literatüründe çok sayıda çekirdek fonksiyon tanımlıdır [22]. Çizelge 2.1’de, yaygın olarak kullanılan doğrusal (*linear*), polinom (*polynomial*), Gauss radyal temelli fonksiyon (*Gaussian Radial Basis Function*) ve hiperbolik tanjant (sigmoid) (*hyperbolic tangent (sigmoid)*) fonksiyonlarının tanımları verilmiştir.

Çizelge 2.1 DVM yönteminde kullanılan çeşitli çekirdek fonksiyonlar ve tanımları

Fonksiyon adı	Fonksiyon tanımı
Doğrusal	$x_i^T x_j + c$
Polinom	$(x_i^T x_j)^d$
Gauss radyal temelli fonksiyon	$exp\left(-\frac{\ x_i - x_j\ ^2}{2\sigma^2}\right)$
Hiperbolik tanjant (sigmoid)	$tanh(x_i^T x_j + c)$

3. CoalSVMModel KULLANICI ARAYÜZÜ

CoalSVMModel, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde MATLAB programlama dilinde yazılmış ve Compiler uygulamasıyla *.exe uzantılı hale getirilmiştir. Kömür damarı modellemesi için yardımcı bir araçtır. Programın temel amacı, linyit damarının üst kotuna ait eş yükselti eğrileri ile kalınlık haritasının tematik hale getirilmesidir. Linyit damarının diğer tabakalardan ayrılması bir sınıflandırma problemidir, uygulamada destek vektör makineleri yöntemi çözümde kullanılmaktadır. Birbirini takip eden 7 farklı modülden oluşan programın akış şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.



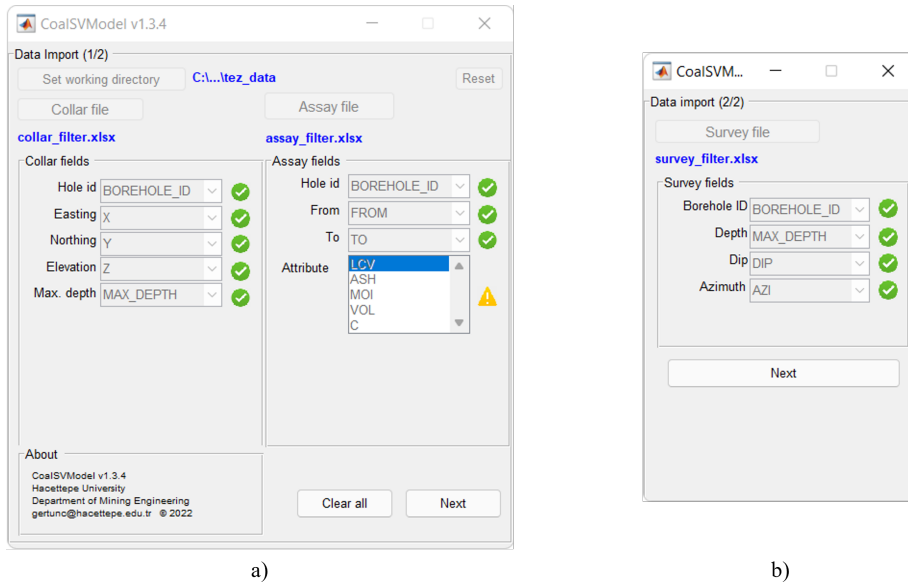
Şekil 3.1 CoalSVMModel kullanıcı arayüzü akış şeması

Bu bölümde CoalSVMModel programını oluşturan tüm modüllerin ayrıntısı alt başlıklar halinde verilmektedir. Modüllerin açıklandığı alt başlıklar, Şekil 3.1’de görülmektedir.

CoalSVMModel programın kullanıcının veritabanı dosyalarını programa aktarması ile başlar. Programın çalışması için toplam 4 dosya gereklidir. Bu dosyalardan 3 tanesi veri tabanına aittir ve diğer dosya ise ASCII (*.txt) formatında; sırasıyla Y (yukarı), X (sağa) ve Z (yükseklik) koordinat bileşenlerini içeren, sayısal arazi modeli nokta bulutudur. Veritabanı girişinden sonra kömür kalite değişken (örneğin alt ısıl değer) özniteliği uygun bir formata dönüştürülür. Kullanıcı tanımlı sınıflandırma uzayını tanımlandıktan sonra son aşamada DVM’ye dayalı sınıflandırma sonuçları program tarafından yorumlanır ve program kullanıcıya çıktı üreterek sonlanır.

3.1. Veri Girişi, Geçerleme, Doğrulama

Kullanıcı veri tabanı dosyalarını programa aktarmaya öncelikle ”Çalışma Klasörü”nü seçerek başlar (Şekil 3.2a’da Set Working Directory). Bu klasör, kullanıcının veri tabanı dosyalarının ve sayısal arazi modeli dosyasının yer aldığı klasördür ve programın ilerleyen aşamalarında üretilecek tüm dosyaların saklanacağı klasördür.



Şekil 3.2 Veritabanı giriş ekranı. a) Kuyu koordinat (Collar) ve analiz (Assay) dosyası, b) Kuyu açığı dosyası (Survey) girişi

Veri tabanına aktarılması zorunlu ilk dosya, temel olarak sondaj koordinat bilgilerini içeren kuyu bilgisi (collar) dosyasıdır. Bu dosyada (MS Excel (*.xlsx, *.csv)) bulunması zorunlu alanlar Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Kuyu koordinat dosyası zorunlu alanlar

Alan Adı	Açıklama
Hole id	Her bir sondajın adı
Easting	Sağa (X)
Northing	Yukarı (Y)
Elevation	Yükseklik
Max. depth	Kuyu derinliği

Veritabanı kuyu koordinat dosyası aktarıldıktan sonra tüm alanlarda hata kontrolü yapılır ve hata varsa *.txt uzantılı bir metin dosyası ile kullanıcıya bilgi verilir. Bu dosyadaki sondaj adı dışındaki tüm alanların sayısal olması gerektiğinden, doğrulama algoritması yalnızca koordinat değerlerinin ve en büyük derinliğin sayısal olup olmadığını bildirir. Sondaj adı alanında, aynı şekilde adlandırılmış sondajlar rapor edilir. Ayrıca, boş girişler hata olarak kabul edilir. Tüm alanlar doğrulandığında, analiz dosyasının veritabanına girişini sağlayan buton aktif hale gelir.

Analiz dosyasında bulunması zorunlu alanlar Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Analiz dosyası zorunlu alanlar

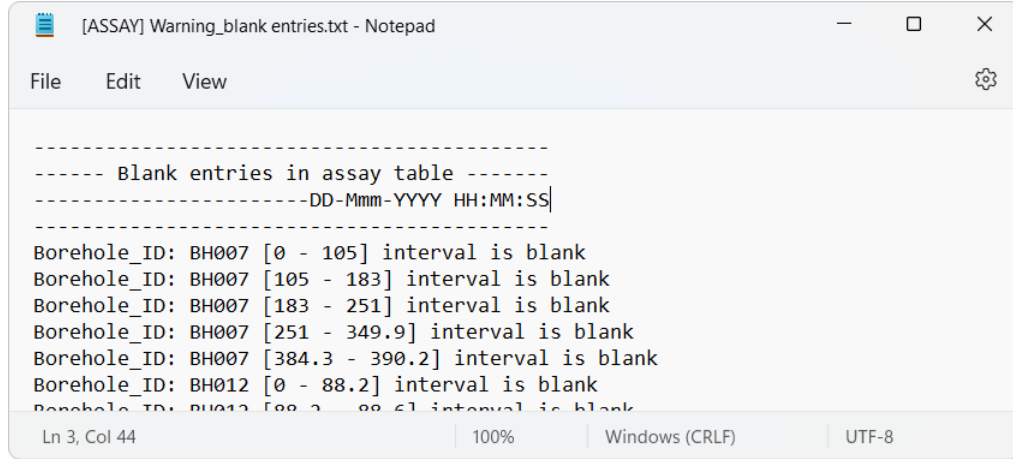
Alan Adı	Açıklama
Hole id	Analiz dosyasının kuyu koordinat dosyasındaki sondaj adları ile bağlantısı, bu alanda seçilen sondaj adı sütunu eşleştirilerek sağlanır
From	Analiz edilen örneğin başlangıç derinliği
To	Analiz edilen örneğin bitiş derinliği. (Bu durumda fark ham örneklem uzunluğudur.)
Attribute	Değişkenin analiz değeri

Analiz dosyasının doğrulama, doğrulama ve hata raporu oluşturma süreci, kuyu koordinat dosyasına kıyasla karmaşık ve daha çeşitlidir. Her zorunlu alan için olası hatalar ve doğrulama rutinleri Çizelge 3.3'te açıklanmıştır.

Çizelge 3.3 Analiz dosyası alanlarında olası hatalar ve doğrulama rutinleri

Alan Adı	Açıklama
Hole id	Analiz dosyasında bulunan ancak kuyu koordinat dosyasında olmayan sondajlar. Aynı durum, tersi için de geçerlidir. Ayrıca analiz dosyasındaki boş değerler de kontrol edilir.
From	Sayısal olmayan veya boş girişler. Sondaj deliğinin “En büyük derinlik” i aşan değerler. “Bitiş” değerlerinden daha küçük “Başlangıç” değerleri. Aynı sondaj boyunca yinelenen ”Başlangıç” değerleri.
To	Sayısal olmayan veya boş girişler. Sondaj deliğinin “En büyük derinlik” i aşan değerler. “Başlangıç” değerlerinden daha büyük “Bitiş” değerleri. Sondaj boyunca üstüste çakışan Başlangıç – Bitiş aralıkları. Aynı sondaj boyunca yinelenen ”Bitiş” değerleri.
Attribute	Sayısal olmayan girişler. Boş girişler uyarı olarak listelenir, hata olarak kabul edilmez.

Şekil 3.2 a’da veritabanı analiz dosyasında öznitelik alanında uyarı işareti görülmektedir. Bu gibi durumlarda uyarı, Şekil 3.3’te içeriği gösterilen dosya ile kullanıcıya bildirilmektedir. Örnek olarak gösterilen bu rapora göre veri tabanı analiz dosyasında hangi sondajların hangi derinlik aralıklarında öznitelik değerinin olmadığı yer almaktadır.

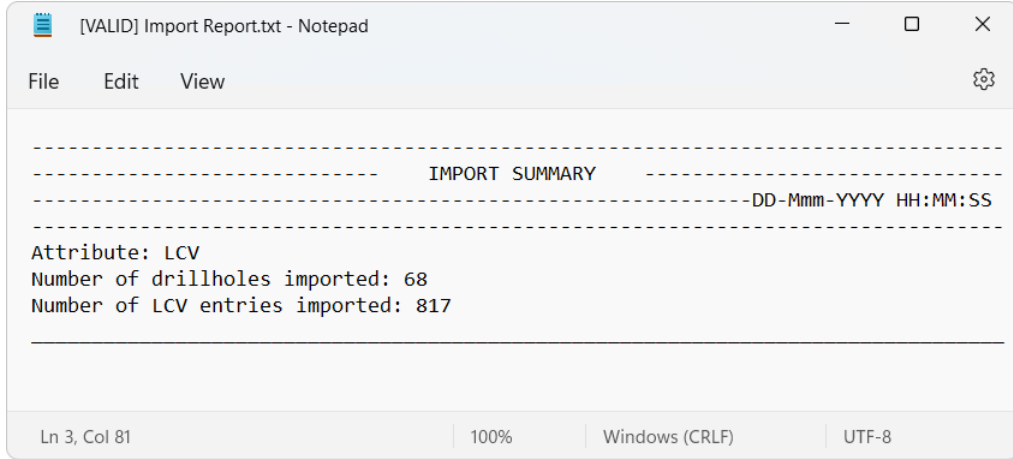


```
[ASSAY] Warning_blank entries.txt - Notepad
File Edit View
-----
----- Blank entries in assay table -----
-----DD-Mmm-YYYY HH:MM:SS|
-----
Borehole_ID: BH007 [0 - 105] interval is blank
Borehole_ID: BH007 [105 - 183] interval is blank
Borehole_ID: BH007 [183 - 251] interval is blank
Borehole_ID: BH007 [251 - 349.9] interval is blank
Borehole_ID: BH007 [384.3 - 390.2] interval is blank
Borehole_ID: BH012 [0 - 88.2] interval is blank
Borehole_ID: BH012 [88.2 - 88.6] interval is blank
Ln 3, Col 44 | 100% | Windows (CRLF) | UTF-8
```

Şekil 3.3 Veri tabanı uyarı rapor örneği

Sonraki adım, açılı dosyasını veritabanına aktarmaktır. Teze konu olan programda veritabanına sadece dik sondajlar değil, açılı (yönlü) sondajlar da girilebilir. Algoritma, açılı dosyasındaki derinlik, eğim ve azimut alanlarını kullanır ve analiz dosyasındaki öznitelik değerlerinin 3 yöndeki (sağa, yukarı, derinlik) koordinat bileşenlerini hesaplar. Şekil 3.2b’de, veritabanına ait kuyu açılı dosyasının programa girişinde kullanılan uygulama penceresi gösterilmiştir.

Tüm alanlar doğrulandıktan sonra, kullanıcının seçmiş olduğu çalışma klasöründe “[VALID] Import Report.txt” isimli bir rapor dosyası oluşturulur. Bu dosya içeriğinde (Şekil 3.4) hangi özniteliğin seçildiği (Attribute:), veri tabanında kaç sondaj kuyusu olduğu (Number of drillholes imported:) ve kaç tane analiz değeri olduğu (Number of entries imported:) bulunur. Bu raporda bu bilgilere ek olarak raporun oluşturulduğu tarih ve saat bilgileri de yer almaktadır.

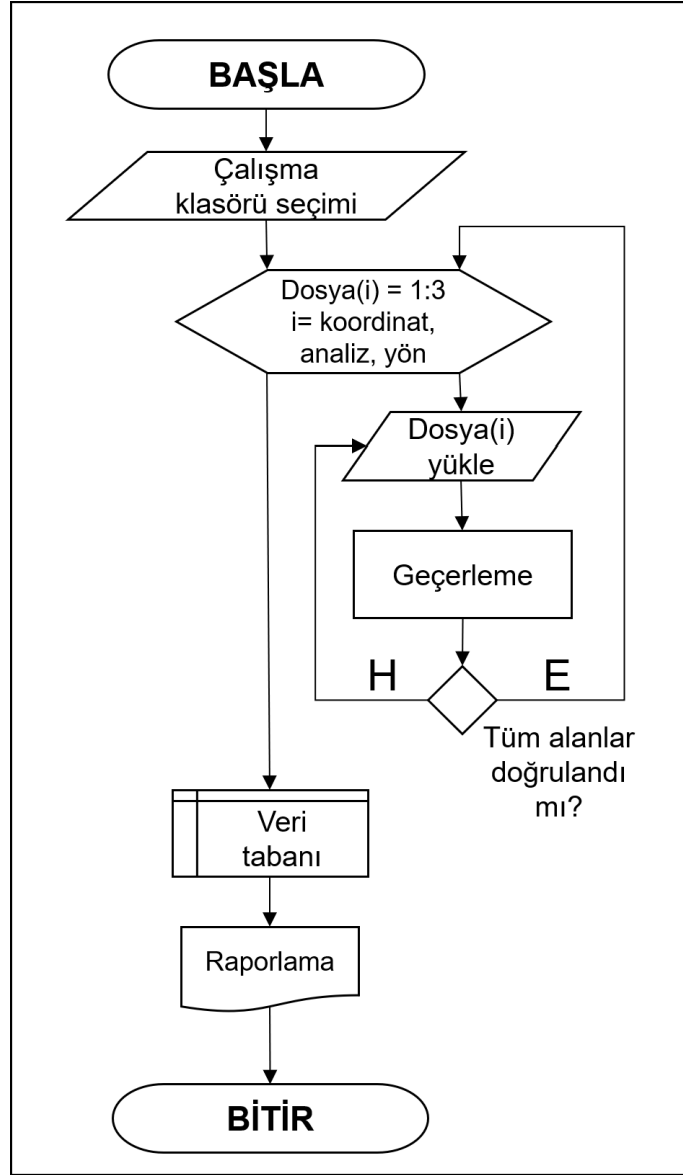


```
[VALID] Import Report.txt - Notepad
File Edit View
-----
IMPORT SUMMARY
-----DD-Mmm-YYYY HH:MM:SS
-----
Attribute: LCV
Number of drillholes imported: 68
Number of LCV entries imported: 817
-----
Ln 3, Col 81 | 100% | Windows (CRLF) | UTF-8
```

Şekil 3.4 Veri tabanı giriş rapor örneği

Şekil 3.4'teki veri tabanı giriş raporuna göre, CoalSVMModel programına 68 adet sondaj aktarılmıştır ve bu sondajlarda "LCV" özniteliğine ilişkin 817 analiz değeri bulunmaktadır.

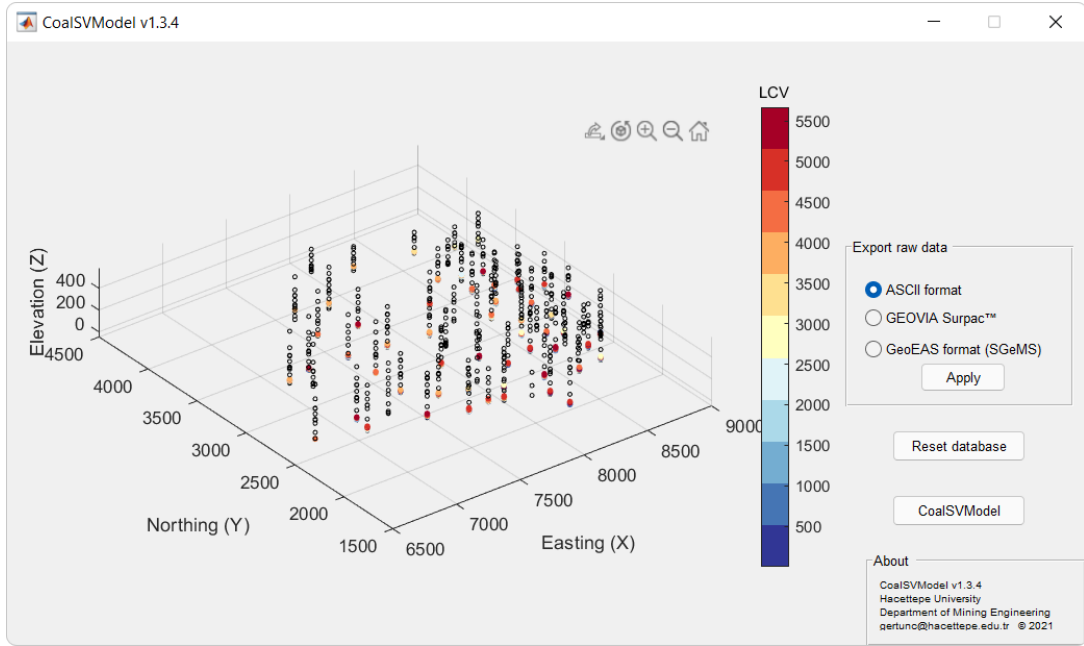
Veri girişi, geçерleme ve doğrulama algoritmasına ilişkin akış şeması 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5 Veri girişi, geçerleme ve doğrulama algoritması akış şeması

3.2. Tematik Harita

Tematik harita uygulamasının amacı bir önceki uygulamada girişi yapılan verilerin görsel olarak kontrol edilmesidir. Tematik harita uygulama ekranında (Şekil 3.6) ham örneklemelerin koordinat bileşenleri ile seçilen öznitelik 3 formatta dışa aktarılabilir. Bu formatlar ASCII, GEOVIA Surpac™(*.str) ve SGeMS programına uyumlu GeoEAS formatıdır. Herhangi bir hata söz konusu ise "Reset Database" ile veri tabanı sıfırlanır ve program bir önceki veri girişi uygulamasına döner. "CoalSVMModel" tuşu ile DVM algoritması için girdi verilerinin oluşturulduğu uygulama ekranı açılır.



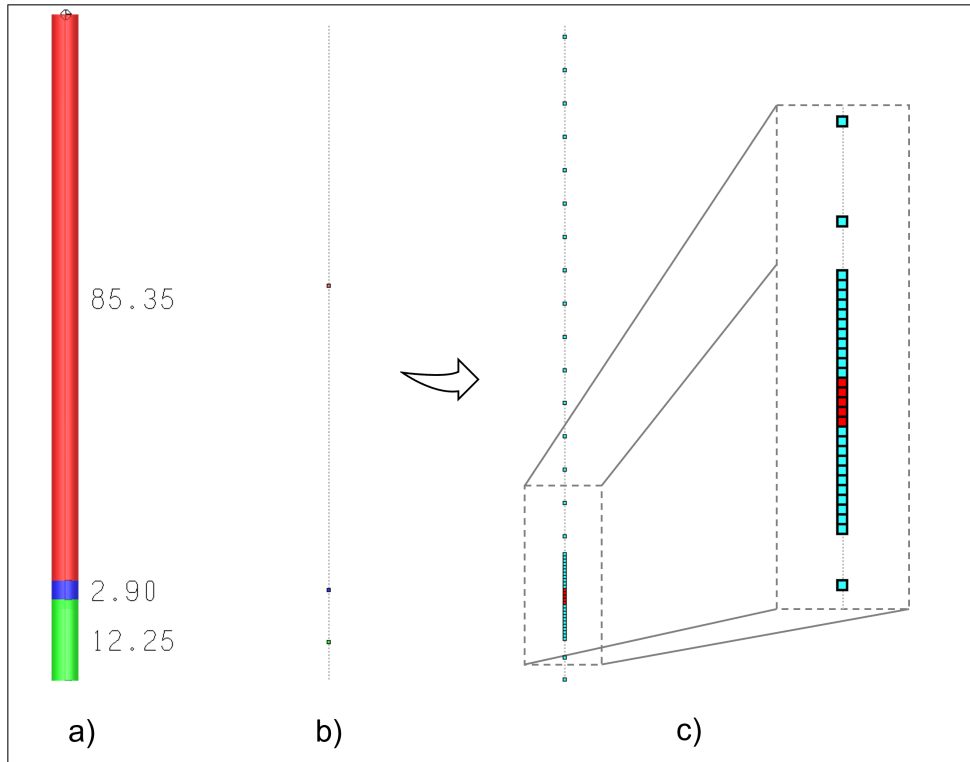
Şekil 3.6 Tematik harita ekranı

3.3. Girdi Verisi Hazırlama

Şekil 3.7’da, veri tabanında yer alan tekil bir sondajın CoalSVMModel programında DVM algoritması için gerekli girdi formatına nasıl hazırlandığı şematik olarak gösterilmektedir. Bu sondajda kömür kalınlığı 2.9 m’dir ve kömür tabakasının üstünde ve altında yer alan diğer iki tabakanın kalınlıkları sırasıya 85.35 m ve 12.25 m’dir (Şekil 3.7 a).

Sınıflandırma girdi verisi olarak yalnızca tabakaların merkez noktaları alınması durumunda bu sondaj; sondaj kuyu başından 85.35 m derinlikte sınıf etiketi ”kömür olmayan” olarak ”0” değerli bir nokta, sondaj kuyu başından 86.8 m derinlikte sınıf etiketi ”kömür” olan ”1” değerli bir nokta ve son olarak yine sondaj kuyu başından 92.93 m derinlikte sınıf etiketi ”kömür olmayan” olarak ”0” değerli bir nokta ile temsil edilecekti (Şekil 3.7 b).

Ancak, sınıflandırma algoritmasına beslenecek verilerin yoğunluğunun düzenli olması amaçlanarak hem kömür hem de kömür olmayan noktalar kullanılarak eş uzunluklu örnek noktaları türetilmiştir (Şekil 3.7 c).



Şekil 3.7 DVM girdi verileri hazırlama şematik gösterimi

CoalSVMModel programında bu eş uzunluklu örnekler jeostatistiksel kestirim yöntemlerinde kullanılan düşey yönde kompozit oluşturma algoritmasına dayalıdır ancak bazı farklı yaklaşımlar benimsenmiştir. Bu farklılıklar aşağıdaki şekilde listelenmiştir:

- Endüstri pratiğinde, jeostatistik kaynak kestirim yeteneği olan bir çok madencilik yazılımında düşey yönde kompozit örneği oluşturmak için kompozit uzunluğu boyunca geçerli veri kabulü belirli bir yüzde ile ifade edilmektedir. CoalSVMModel eş uzunluklu örnek oluştururken bu kabul yüzdesi kullanılmamıştır.
- Kömürün üstünde ve hemen altında yer alan tabakalar için "kompozit boyu \times 5 metre"lik kısım kompozit boyuna eşit olacak şekilde eş uzunluklu örnekler üretilmektedir.
- Geri kalan tüm kısımlar "kömür olmayan" litolojik birimleri temsil etmektedir. Bu kısımlarda algoritma "kompozit boyu \times 10 metre" uzunluğunda eş örnekler üretmektedir.

Girdi verisi hazırlama penceresinde (Şekil 3.8) iki alt pencere (*Raw data exploratory data analysis* ve *Sample length exploratory data analysis*) ile kompozit uzunluğunun girildiği (Composite length) metin kutusu yer alır. "Raw data exploratory data analysis" program başında kullanıcının seçmiş olduğu öznitelige ait ham örneklerin tanımlayıcı istatistiklerini; "Sample length exploratory data analysis" ise örnek uzunluklarının tanımlayıcı istatistiklerini içermektedir.

The screenshot shows the CoalSVMModel v1.3.4 software interface. It features two side-by-side data analysis panels and a composite length input field. The left panel, titled "Raw data exploratory data analysis", displays the following statistics: Data count (817), Minimum (1), Maximum (5668), Mean (2586.49), Variance (3.34815e+06), Q1 (1028.5), Q2 (2661), and Q3 (4132). The right panel, titled "Sample length exploratory data analysis", displays: Data count (817), Minimum (0.05), Maximum (9.15), Mean (1.657), Variance (1.845), Q1 (0.6), Q2 (1.4), and Q3 (2.3). To the right of these panels is a "Composite length" input field with the value "2" and an "Apply" button.

Raw data exploratory data analysis	
Data count	817
Minimum	1
Maximum	5668
Mean	2586.49
Variance	3.34815e+06
Q1	1028.5
Q2	2661
Q3	4132

Sample length exploratory data analysis	
Data count	817
Minimum	0.05
Maximum	9.15
Mean	1.657
Variance	1.845
Q1	0.6
Q2	1.4
Q3	2.3

Composite length: 2

Apply

Şekil 3.8 DVM girdi verileri hazırlama ekranı

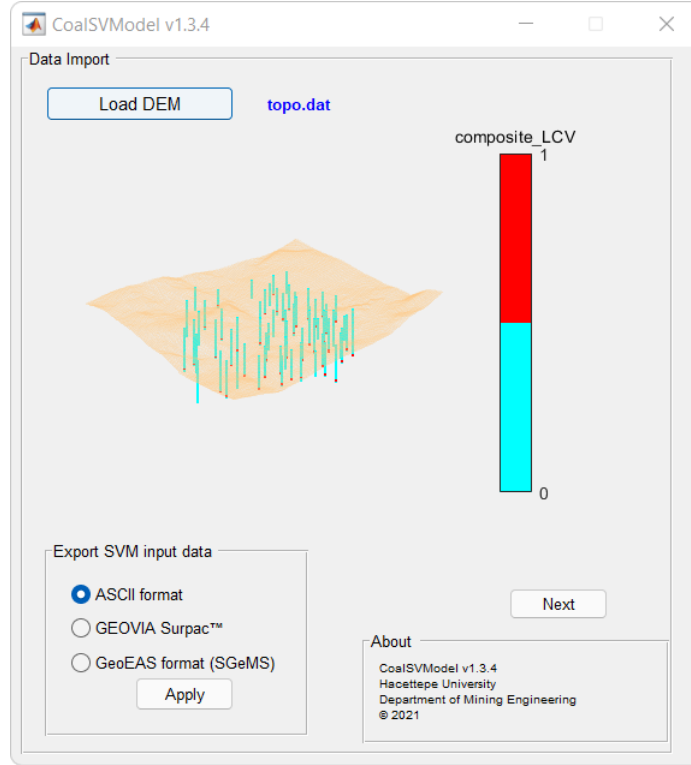
Şekil 3.8’de tanımlayıcı istatistik öğeleri Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4 Tanımlayıcı istatistik değer öğeleri

Öge adı	Açıklama
Data count	Veri sayısı
Minimum	En küçük değer
Maximum	En büyük değer
Mean	Ortalama
Variance	Variance
Q1	1. çeyrek değer
Q2	2. çeyrek değer (ya da Ortanca değer)
Q3	3. çeyrek değer

3.4. Sayısal Arazi Modeli

CoalSVModel programında, endüstride kullanılan Bölüm 3.3.’te adı geçen madencilik yazılım paketlerinde olduğu gibi, cevher kütlelerini ilgilendiren hesaplamalarda kullanılmak üzere yeraltı ve yüzeyin üzerinde kalan (hava) blokları arasındaki ayrımı belirlemek için sayısal arazi modeli (DEM: Digital Elevation Model) kullanılmaktadır. Bu modelin dosya içeriği, sırasıyla Yukarı (Y), Sağa (X) ve Yükseklik (Z) sütunlarından oluşur ve sütunlar arasında herhangi bir ayırıcı (, / ; / TAB vb.) kısıtlamaları bulunmamaktadır. Sayısal Arazi Modeli penceresi Şekil 3.9’da gösterilmektedir.

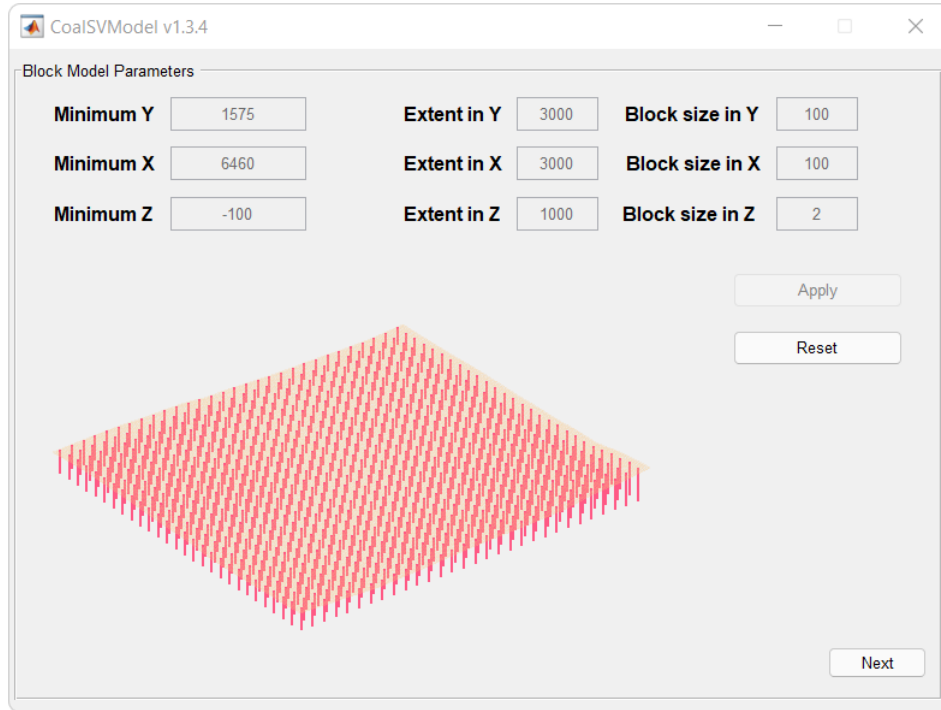


Şekil 3.9 Sayısal arazi modeli ekranı

”Load DEM” tuşu ile çalışma klasörü açılır ve kullanıcı sayısal arazi modeli dosyasını çalışma klasöründen seçer. Sayısal arazi modeli programa yüklendiğinde, topoğrafya (turuncu yüzey) ile Bölüm 3.3.’te üretilen eş uzunluklu girdi verileri ile birlikte uygulama penceresinde görselleştirilir. Bu pencerede, girdi verilerinin lejantındaki 1 değeri kömür damarını (kırmızı) ve 0 değeri kömür olmayan (camgöbeği (*cyan*)) girdi verisi lokasyonları temsil eder. Bu görselleştirmenin amacı, kullanıcının sayısal arazi modeli ile girdi verileri arasında herhangi bir uyumsuzluğu tespit edebilmektir. ”Export SVM input data” alt penceresindeki 3 ayrı format (ASCII, GEOVIA Surpac™(*.str) ve SGeMS programına uyumlu GeoEAS) ile eş uzunluklu girdi verileri çalışma klasöründe dışa aktarılabilir. Next butonu ile bir sonraki aşama olan ”Sınıflandırma Blok Modeli” uygulamasına geçilir.

3.5. Sınıflandırma Blok Modeli

Sınıflandırma Blok Model uygulama penceresinde kullanıcının girmesi gereken 9 metin kutusuna sahiptir. Bunlar, her bir koordinat bileşeni için en küçük değerler (sırasıyla Y, X, Z için en güney, en batı ve en düşük yükseklik koordinat değerleri), blok modelin uzanımı (Extent in Y, Extent in X, Extent in Z) ve 3 yöne ait blok boyutlarıdır (Block size in Y, Block size in X, Block size in Z). Bu değerler girildikten sonra program blok model oluşturur ve blok merkezleri uygulama penceresinde Bölüm 3.4.'te girişi yapılan sayısal arazi modeli ile birlikte bir nokta bulutu olarak görselleştirilir (Şekil 3.10). CoalSVMModel varsayılan olarak, topografyaya bağlı olarak "Sayısal arazi modelinin üzerinde olmayan bloklar" kısıtlamasını bloklara otomatik olarak uygular. "Reset" tuşu ile oluşturulan blok merkezleri sıfırlanır ve metin kutucukları tekrar doldurulabilir hale gelir.

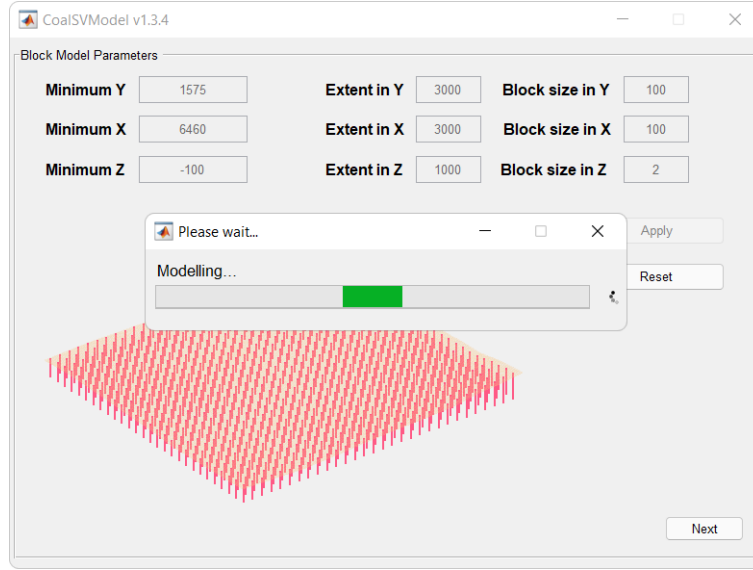


Şekil 3.10 Sınıflandırma Blok Modeli ekranı

"Next" tuşu ile DVM sınıflandırma algoritması çalışır.

3.6. DVM Sınıflandırma

CoalSVMModel programında DVM algoritmasının çalışması kullanıcıya bir dialog penceresi ile bildirilir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 DVM sınıflandırma çalıştırma ekranı

Algoritma sınıflandırmayı tamamladığında sonuç ekranı otomatik olarak açılır.

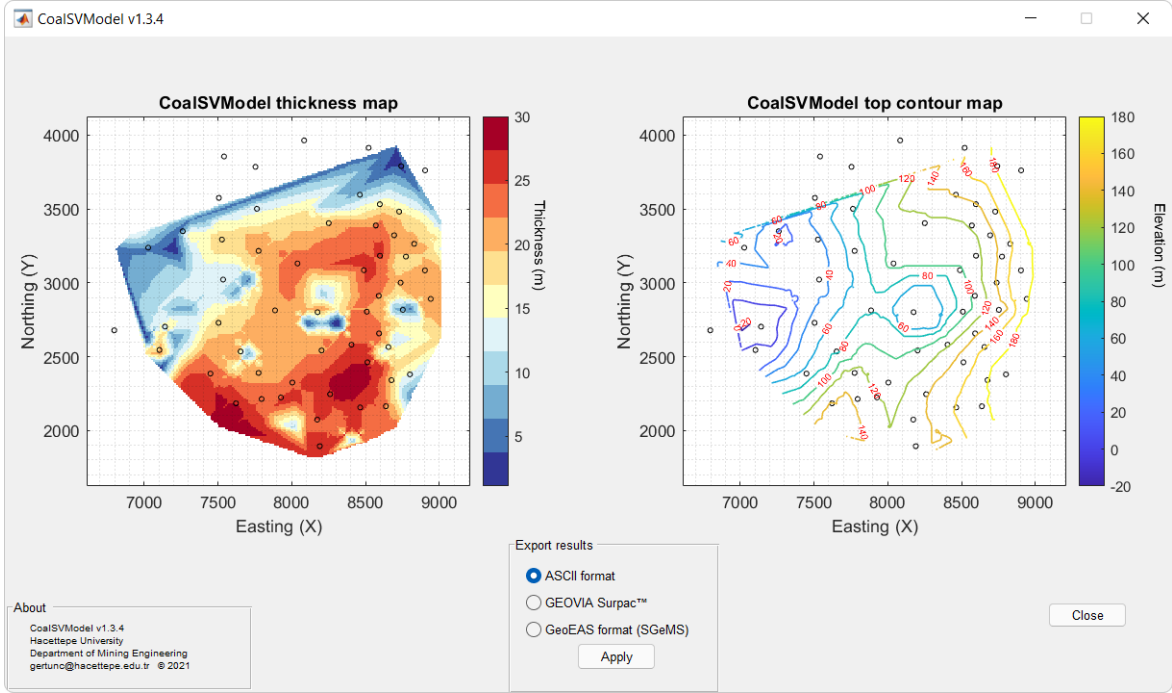
3.7. Sonuç Ekranı

CoalSVMModel programının son aşamasında iki tematik harita üretilir ve bu haritalar sonuç ekranında (Şekil 3.12) kullanıcıya gösterilir.

İlk görsel için DVM sonuçlarına göre kömür olarak sınıflandırılan blokların kalınlıkları programda hesaplanır ve plan görüntüsü ile ekranın sol tarafında "CoalSVMModel thickness map" başlığı altında görselleştirilir.

İkinci görsel "CoalSVMModel top contour map" başlığı altında yer alır yine DVM sonuçlarına göre kömür olarak sınıflandırılan blokların yalnızca en üst noktaları kullanılarak oluşturulur. Daha sonra bu noktalar kullanılarak eş yükselti eğrileri çizdirilir.

Her iki görsel sondaj lokasyonları ile beraber gösterilmektedir.



Şekil 3.12 CoalSVModel sonuç ekranı

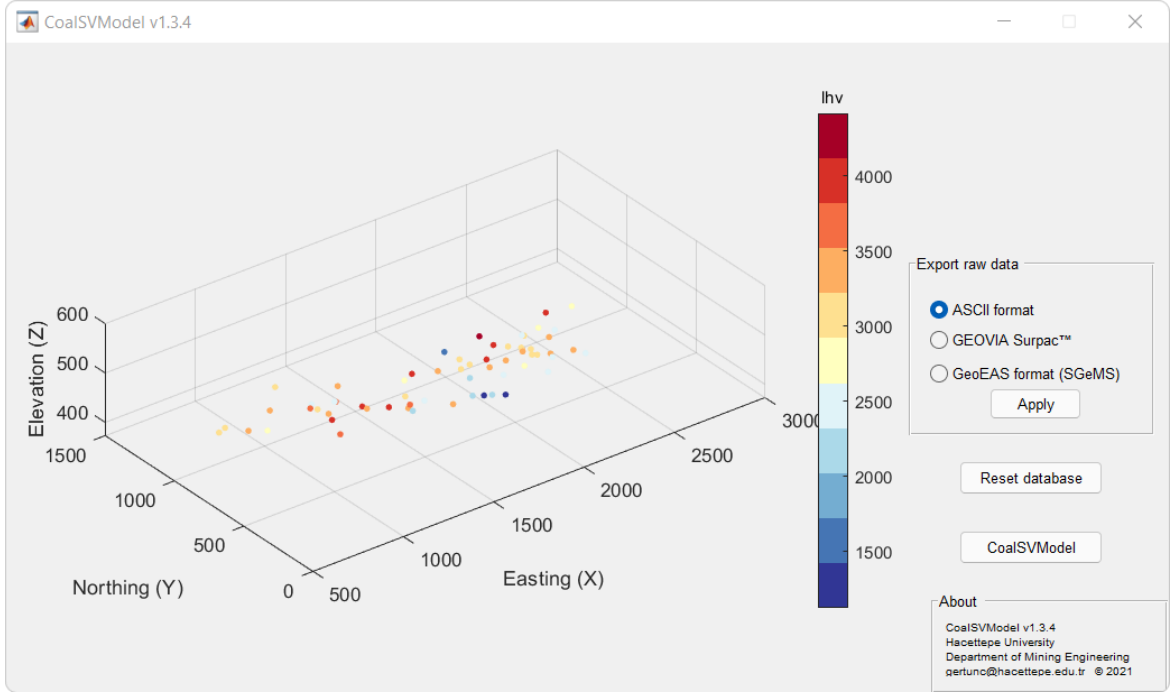
Her iki görseli oluşturmak için kullanılan sonuçlar ASCII, GEOVIA Surpac™(*.str) ve SGeMS programına uyumlu GeoEAS format seçenekleri ile çalışma klasörüne kaydedilebilir.

4. DURUM ÇALIŞMASI

Bu bölümde CoalSVModel programı ile Türkiye’de bir linyit sahasına ait veritabanı kullanılarak yapılan durum çalışmasının aşamaları ve sonuçları yer almaktadır.

Bu veritabanında toplam 62 adet sondaj bulunmaktadır. Sondajlar yaklaşık 2.5 km²’lik alana yayılmaktadır.

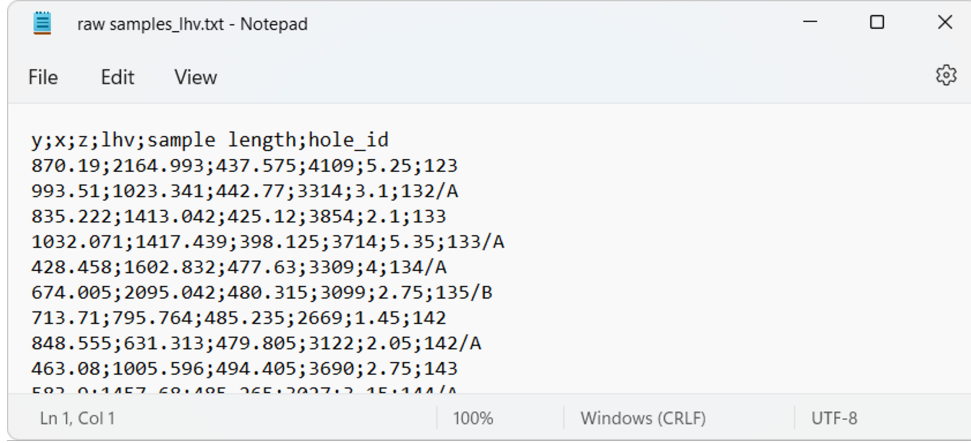
Programda, Bölüm 3.1.’deki veri girişi, geçерleme ve doğrulama aşamalarından sonra ekrana gelen tematik haritanın oblik görüntüsü Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Durum çalışması: tematik ekran

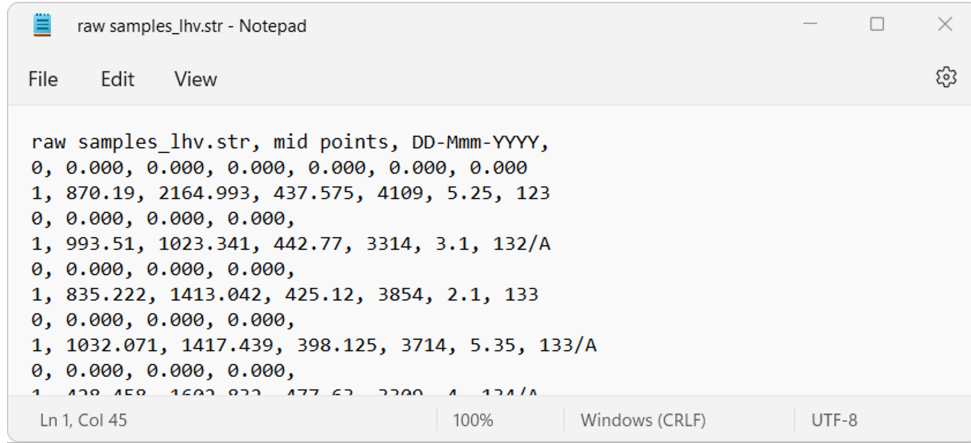
Veritabanında seçilen öznelik kömürü temsil eden "Ihv" alt ısıl değerdir. Bu durum çalışmasında kömür kesmeyen sondaj yoktur ve her bir sondajda yalnızca tek damar kesilmiştir. Şekil 4.1’de yer alan her tematik nokta, alt ısıl değere göre renklendirilmiştir. Buna göre sahanın en güneyinin orta kısmında, sahanın geri kalan kısımlarına göre daha düşük alt ısıl değer (yaklaşık 1500 kcal/kg) gözlemlenmektedir.

Şekil 4.2’de ham örnek lokasyonlarının CoalSVM programında tanımlı 3 farklı dışa aktarma formatına göre çalışma klasöründe oluşturulan dosyaların içeriği verilmektedir.



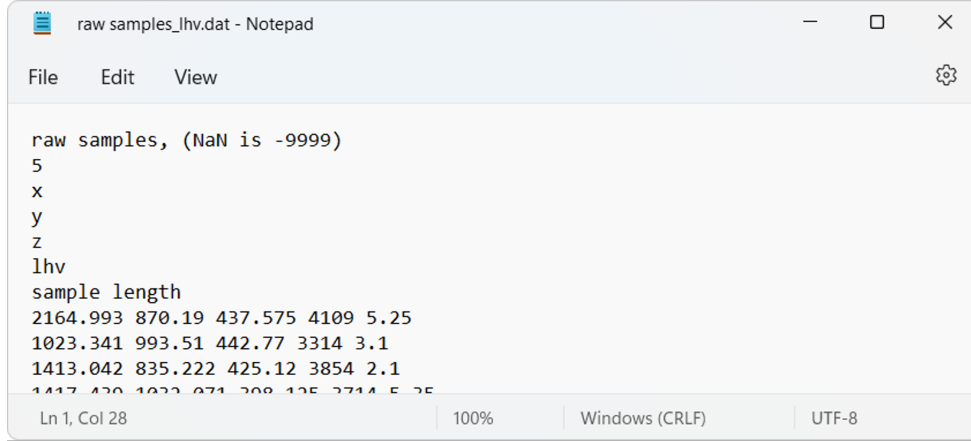
```
raw samples_lhv.txt - Notepad
File Edit View
y;x;z;lhv;sample length;hole_id
870.19;2164.993;437.575;4109;5.25;123
993.51;1023.341;442.77;3314;3.1;132/A
835.222;1413.042;425.12;3854;2.1;133
1032.071;1417.439;398.125;3714;5.35;133/A
428.458;1602.832;477.63;3309;4;134/A
674.005;2095.042;480.315;3099;2.75;135/B
713.71;795.764;485.235;2669;1.45;142
848.555;631.313;479.805;3122;2.05;142/A
463.08;1005.596;494.405;3690;2.75;143
502.0;1457.68;485.265;3037;2.15;144/A
Ln 1, Col 1 | 100% | Windows (CRLF) | UTF-8
```

a)



```
raw samples_lhv.str - Notepad
File Edit View
raw samples_lhv.str, mid points, DD-Mmm-YYYY,
0, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000
1, 870.19, 2164.993, 437.575, 4109, 5.25, 123
0, 0.000, 0.000, 0.000,
1, 993.51, 1023.341, 442.77, 3314, 3.1, 132/A
0, 0.000, 0.000, 0.000,
1, 835.222, 1413.042, 425.12, 3854, 2.1, 133
0, 0.000, 0.000, 0.000,
1, 1032.071, 1417.439, 398.125, 3714, 5.35, 133/A
0, 0.000, 0.000, 0.000,
1, 428.458, 1602.832, 477.63, 3309, 4, 134/A
Ln 1, Col 45 | 100% | Windows (CRLF) | UTF-8
```

b)

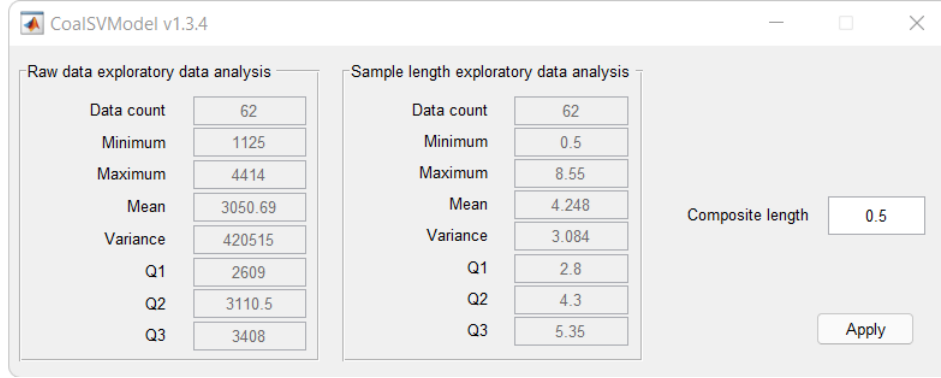


```
raw samples_lhv.dat - Notepad
File Edit View
raw samples, (NaN is -9999)
5
x
y
z
lhv
sample length
2164.993 870.19 437.575 4109 5.25
1023.341 993.51 442.77 3314 3.1
1413.042 835.222 425.12 3854 2.1
1417.439 1032.071 398.125 3714 5.35
Ln 1, Col 28 | 100% | Windows (CRLF) | UTF-8
```

c)

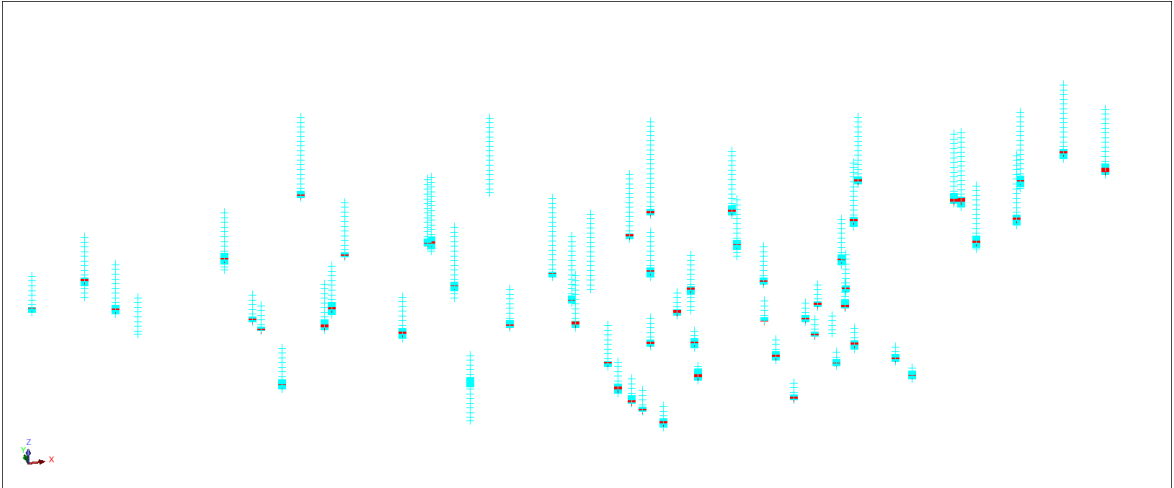
Şekil 4.2 Durum çalışması: a) ASCII, b) GEOVIA Surpac™(*.str), c) GeoEAS dosya içeriği

Linyit damarının ham örnek ve örnek uzunluğu istatistikleri incelendiğinde, en kısa örnek uzunluğu 50 cm (0.5) olduğu görülmüştür (Şekil 4.3).



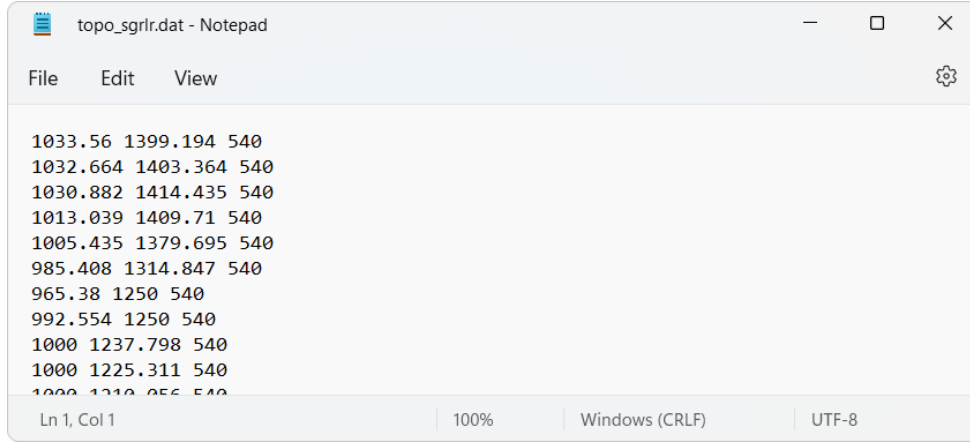
Şekil 4.3 Durum çalışması: DVM girdi verisi oluşturma

DVM algoritması için seçilen eş uzunluklu örnek kalınlığı 50 cm (0.5) seçilmiştir. Şekil 4.4'te, oluşturulan girdi verilerinin GEOVIA Surpac™ programındaki görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 4.4 DVM girdi verilerinin GEOVIASurpac™ programındaki görüntüsü (Güneybatıdan bakış)

Sayısal arazi modeli nokta bulutunun (Şekil 4.5) programa aktarılmasından sonra (Şekil 4.6) blok modelleme aşamasına geçilmiştir.



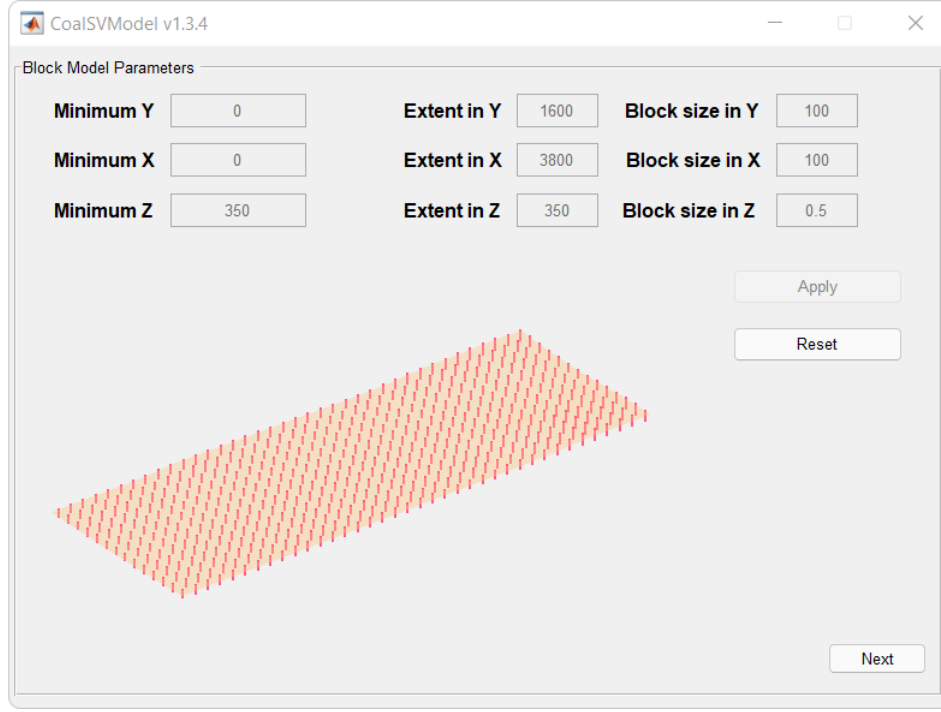
Şekil 4.5 Durum çalışması: Sayısal arazi modeli nokta bulutu dosya içeriği



Şekil 4.6 Durum çalışması: Sayısal arazi modeli ekranı

Şekil 4.7’de sınıflandırma blok model ekranı verilmiştir. Sayısal arazi modelinin uzunlukları Kuzey-Güney yönü boyunca 1.6 km, Doğu-Batı yönü boyunca 3.8 km olduğu için sınıflandırma blok model uzunlukları bu değerler dikkate alınarak girilmiştir. Bu düzlemdeki

blok boyutları ise sondajlar arasındaki ortalama mesafe dikkate alınarak 100 m olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.7 Durum çalışması: Sınıflandırma blok modeli

En düşük kot değeri 350 m, z ekseninde uzanımı 350 m ve z yönünde blok boyutu 0.5 m seçilerek program çalıştırılmıştır. Seçilen blok model parametrelerine göre toplam 425600 blok oluşturulmuştur. Sayısal arazi modeli altında kalan ve sınıflandırılmada kullanılan kısıtlandırılmış blok sayısı yaklaşık 253000'dir.

Windows 11 işletim sisteminde, Intel® Core™ i7-8550U CPU @ 1.80GHz işlemci ve 24 GB RAM konfigürasyonunda bir bilgisayar ortamında yaklaşık 253000 adet bloğun sınıflandırması 56 saniye sürmüştür.

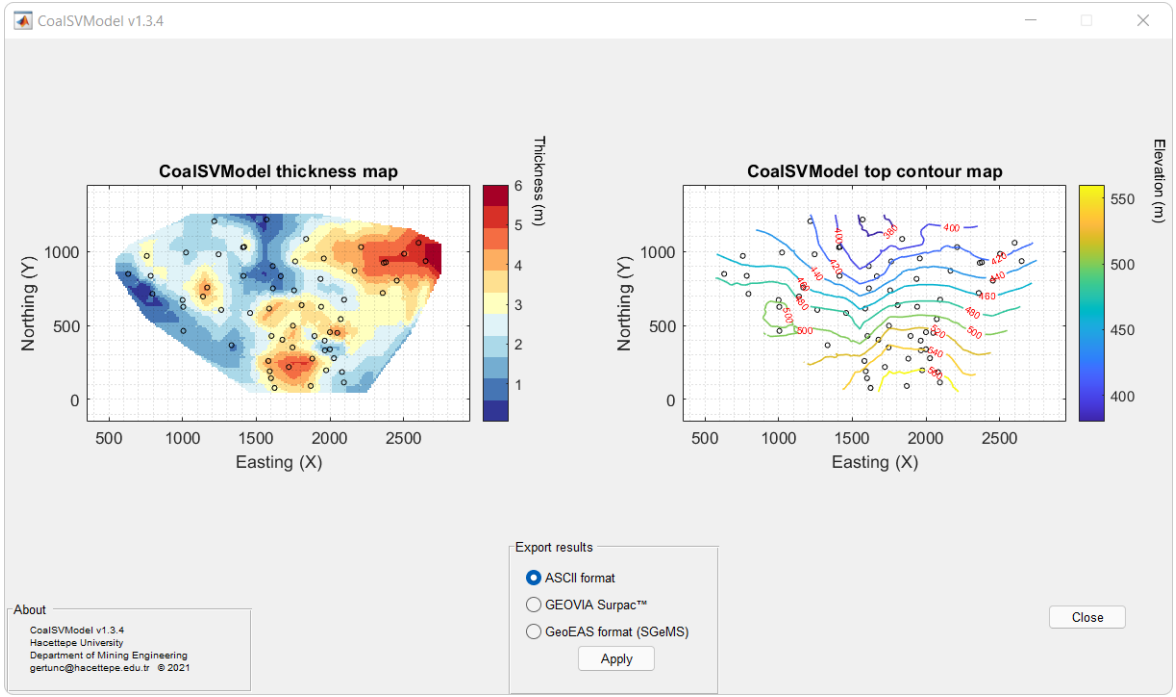
Şekil 4.8'de CoalSVMModel programının sonuç ekranı yer almaktadır.

DVM çözümünden elde edilen kalınlık haritasına göre sahada en kalın kömür tabakası kuzeybatı sektöründe konumlanmıştır. İnce damarların ($\leq 1 - 1.5$ m) bulunduğu alanlar dikkatle incelendiğinde iki olası çıkarımda bulunmak mümkündür. Bu çıkarımlar:

- Sahanın güneybatısındaki ince damarlar, saha sınırlarına yakın olduğu,
- ((N)Yukarı, (E)Sağa) koordinat gösterimine göre kesit hattı başlangıç - bitiş koordinatları sırasıyla (N0, E1250) ve (N1250, E1600) olan güneybatı - kuzeydoğu hattı boyunca gözlemlenen ince damarların faylanmaya işaret ettiği

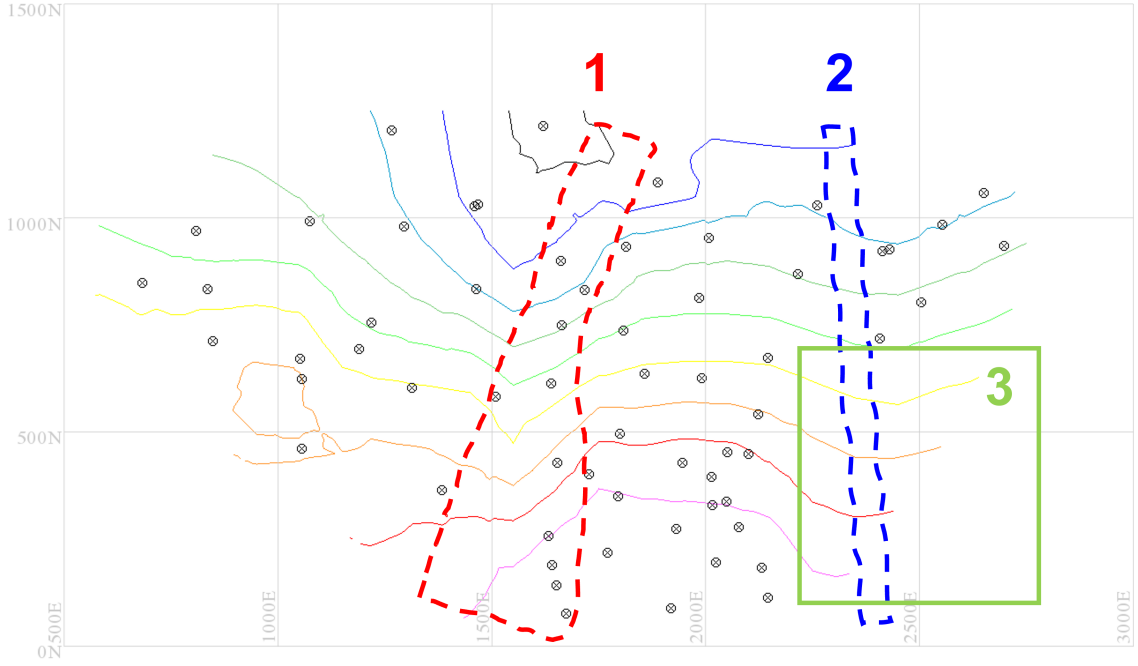
şeklindedir.

Eş yükselti eğrileri incelendiğinde de sahada gözlenen en belirgin fayın (N0, E1250) - (N1250, E1600) güneybatı - kuzeydoğu hattı boyunca olduğu çıkarımı yapılabilir.



Şekil 4.8 Durum çalışması: Sonuçlar

Her iki görsel beraber değerlendirildiğinde, sahada iki fay hattı ile ayrılmış 3 blok olabileceği sonucu çıkarılmıştır. Olası fay bölgeleri GEOVIA Surpac™'a aktarılan eş yükselti eğrileri üzerinde Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9 Durum çalışması: Olası fay bölgeleri

Sahada tektonizmadan etkilenen lokasyonlar Şekil 4.9'da 1 ve 2 numaralı bölgeler ile gösterilmiştir. Bu sınırlar oluşturulurken kömür kalınlık haritasına uyumlu bir şekilde konumlandırılmıştır. Bu fay bölgelerine ek olarak dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli lokasyon ise 3 numaralı yeşil dikdörtgen alandır. Bu çerçevenin plan görünümü kapladığı alan yaklaşık 30 ha'dır. Linyit damarının sınırlarının daha net belirlenmesi ve 2 numaralı olası fay bölgesinin daha iyi karakterize edilebilmesi için ilave sondajların yapılması uygun olacaktır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sunulan tez çalışması iki ana başlıkta özetlenebilir. Bu kapsamda i) CoalSVMModel programının MATLAB Compiler ile uygulama haline getirilmesinden sonra programın her bir uygulamasının test çalışmaları ve ii) Türkiye’de bir kömür sahasına ait kömür veri tabanı kullanılarak yapılan çalışmalarının sonuçları incelenmiştir.

Aralık 2021 itibariyle oluşturulan uygulama exe dosyasının versiyon numarası v1.3.4’tür. Tez çalışmasına konu olan bu versiyon kaynak kestirimi için temel oluşturacak kömür katı modelleme sürecine yardımcı olacak çıktılar üretmektedir.

Aşağıda, teze konu olan CoalSVMModel programının v1.3.4 versiyonu ve yapılan durum çalışmasına ilişkin önemli bulgular ve öneriler listelenmiştir.

- CoalSVMModel v1.3.4 ile ilgili en büyük eksiklik, veritabanında yalnızca analiz (*assay*) dosyası üzerinden kömür damarına ait özniteliğin dikkate alınmasıdır.
 - Farklı tabakaların litoloji bilgileri de programa aktarılabilir olmalıdır. Bazı durumlarda yalnızca kömür tabakasının kalınlığı değil; kömür tabakasının üzerinde yer alan tabakaların kalınlıkları da modellemeye yardımcı olabilmektedir. Özellikle kömür damarının üzerindeki tabakaların da kalınlık haritaları ve tabaka üst sınırlarının eş yükselti eğrileri görsel çıktı olarak üretilebilmelidir.
 - Litoloji dosyasının da programa dahil edilmesi, DVM algoritmasına girdi verisi hazırlama yönteminde de değişikliği beraberinde getirecektir.
 - Litoloji dışında, veri tabanında yer alabilen tüm jeoteknik parametre alanlarının da ayrıca programa aktarılabilir olması programı daha kapsamlı hale getireceği değerlendirilmiştir. (Örneğin: Kaya kütle indeksi (*Rock Mass Rating*), Kaya kalite değeri (*RQD*), birim hacim ağırlık vb.)
 - Kömür gibi sedimanter yataklarda fay ve sahanın tektonizması tabakaların geometrisini doğrudan etkileyen unsurdur. Sahadaki faylar, madencilik yöntemi

seçiminde veya işletme stratejisinde (örneğin uzunayak pano yerleşimi) önemli bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla, tektonizmayı işaret eden her türlü verinin programa aktarılabilmesi gereklidir.

- Yukarıdaki maddelerde listelenen ek veri tabanı dosyalarının programa dahil olmasıyla beraber ham verilerin tanımlayıcı istatistikleri uygulamasının da kapsamlı hale getirilmesi yararlı olacaktır.
- Bölüm 4.’te sunulan durum çalışmasının küçük ölçekte bir kömür sahası olarak değerlendirmek mümkündür. Sahada toplam 62 adet sondaj ve 62 adet analiz değeri bulunmaktadır. Bu sahada yalnızca tek kömür damarı mevcuttur. CoalSVMModel v1.3.4’nin gelecek sürümlerinde çok kömür damarının olduğu durumlar için de çalıştırılabilir olması önerilmektedir.
 - Çok damarlı veritabanlarında kullanıcının hangi damarı nasıl değerlendireceğine ilişkin ilave işlemlere ihtiyaç duyulacaktır. Örneğin sondajlarda ara kesmelere ilişkin mutlaka kullanıcı kontrollü bir programlama altyapısı gereklidir.
 - CoalSVMModel sonuç ekranındaki (Şekil 3.12 ve 4.8) kalınlık haritası ile kömür üst sınır eş yükselti eğrisi tematik haritalarında sondajlar sondaj adı olmadan yalnızca sembolik olarak gösterilmektedir. Kullanıcının fare hareketi ile açılacak şekilde veya tıklama ile sondaj bilgilerinin görüntülenmesi yararlı olacaktır.
 - Yine sonuç ekranında kömür kesmeyen sondajlar kullanıcıyı doğru yönlendirecek şekilde görselleştirilmelidir. Askıda kalan sondajlar da ayrıca detaylı şekilde değerlendirilmelidir.
 - CoalSVMModel programının temeli olan DVM yöntemine ilişkin hiper-parametre seçiminde kullanıcının herhangi bir kontrolü yoktur. Gelecekteki sürümlerde kullanıcıların bu parametreler üzerinde kontrolü sağlanması önerilmektedir.
- Tezin savunma tarihi itibarıyla program yalnızca İngilizce dil seçeneği ile kullanıma sunulmuştur. Yakın gelecekte bir güncelleme ile Türkçe dil seçeneğinin eklenmesi önerilmektedir.

CoalSVMModel'in gelecekteki sürümlerinde olması gereken iyileştirmeler ve programa kazandırılması gereken yetenekler değerlendirildiğinde, kömür damarı modelleme çalışmalarında yeni araştırma soruları için yaygın etkisi yüksektir. Ayrıca, kömür damarı kaynak modelleme konusunda özellikle makine öğrenme yöntemlerinin kolayca bütünleşik hale getirilebilecek bir yapıda olduğu değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] M.N. Heriawan and K. Koike. Identifying spatial heterogeneity of coal resource quality in a multilayer coal deposit by multivariate geostatistics. *International Journal of Coal Geology*, 73:307–330, **2008a**.
- [2] M.N. Heriawan and K. Koike. Uncertainty assessment of coal tonnage by spatial modelling of seam distribution and coal quality. *International Journal of Coal Geology*, 76:217–226, **2008b**.
- [3] I.K. Karageridis and C.J. Kolovos. Modelling and resource estimation of a thin layered lignite deposit. In *APCOM 2009 Proceedings*, pages 95–103. **2009**.
- [4] M.A. Hindistan, A.E Tercan, and B. Ünver. Geostatistical coal quality control in longwall mining. *International Journal of Coal Geology*, 81:139–150, **2010**.
- [5] R.A. Olea, J.A. Luppens, and S.J. Tewalt. Methodology for quantifying uncertainty in coal assessments with an application to a texas lignite deposit. *International Journal of Coal Geology*, 85:78–90, **2011**.
- [6] W. Hatton and A. Fardell. New discoveries of coal in mozambique: Development of the coal resource estimation methodology for international resource reporting standards. *International Journal of Coal Geology*, 89:2–12, **2012**.
- [7] K. Saikia and B.C. Sarkar. Coal exploration modelling using geostatistics in jharia coalfield, india. *International Journal of Coal Geology*, 122:36–52, **2013**.
- [8] F.I. Siddiqui, A.G. Pathan, B. Ünver, A.E Tercan, M.A. Hindistan, G. Ertunç, F. Atalay, M.S. Ünal, and S.Y. Kılıoğlu. Lignite resource estimations and seam modeling of thar field, pakistan. *International Journal of Coal Geology*, 122:84–96, **2015**.
- [9] Jason A McLennan and Clayton V. Deutsch. Implicit boundary modeling (boundsim). *Centre for Computational Geostatistics Department of Civil Environmental Engineering University of Alberta*.

- [10] B. Wohlberg, D.M. Tartakovsky, and A. Guadagnini. Subsurface characterization with support vector machines. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(1):47–57, **2006**. doi:10.1109/TGRS.2005.859953.
- [11] Brandon J. Wilde and Clayton V. Deutsch. *Kriging and Simulation in Presence of Stationary Domains: Developments in Boundary Modeling*, pages 289–300. Springer Netherlands, Dordrecht, **2012**. ISBN 978-94-007-4153-9. doi:10.1007/978-94-007-4153-9_23.
- [12] C.V. Deutsch and B.J. Wilde. Modeling multiple coal seams using signed distance functions and global kriging. *International Journal of Coal Geology*, 122:87–93, **2013**.
- [13] A.E Tercan, B. Ünver, M.A. Hindistan, G. Ertunç, F. Atalay, M.S. Ünal, and S.Y. Killioğlu. Seam modeling and resource estimation in the coalfields of western anatolia. *International Journal of Coal Geology*, 122:94–106, **2013**.
- [14] Hamid Geranian, Seyed Hassan Tabatabaei, Hooshang H. Asadi, and Emmanuel John M. Carranza. Implicit 3d modeling of ore body from geological boreholes data using hermite radial basis functions. *Natural Resources Research*, 25(2):145–159, **2016**. doi:10.1007/s11053-015-9271-2.
- [15] Li Zhengwei, Xia Shixiong, Niuqiang, and Xia Zhanguo. Coal thickness prediction based on support vector machine regression. In *Eighth ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing (SNPD 2007)*, volume 2, pages 379–383. **2007**. doi:10.1109/SNPD.2007.226.
- [16] Jinmiao Wang, Hui Zhao, Lin Bi, and Liguan Wang. Implicit 3d modeling of ore body from geological boreholes data using hermite radial basis functions. *Minerals*, 8(10), **2018**. ISSN 2075-163X. doi:10.3390/min8100443.
- [17] V. N. Vapnik. *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, **1995**. ISBN 0387945598.

- [18] V. N. Vapnik and C. Cortes. Support vector networks. *Machine Learning*, 20:273–297, **1995**.
- [19] S. Theodoridis. Chapter 11 - learning in reproducing kernel hilbert spaces. In Sergios Theodoridis, editor, *Machine Learning (Second Edition)*, pages 531–594. Academic Press, **2020**. ISBN 978-0-12-818803-3. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818803-3.00022-2>.
- [20] F. Pedregosa, G. Varoquaux A. Gramfort, V. Michel, B. Thirion, O. Grisel, M. Blondel, P. Prettenhofer, R. Weiss, V. Dubourg, et al. Scikit-learn: Machine learning in python. *Journal of Machine Learning Research*, 12:2825–2830, **2011**.
- [21] M. Kanevski, A. Pozdnukhov, and V. Timonin. Machine learning for spatial environmental data. EPFL Press, Lausanne, **2009**. ISBN 9780429147814.
- [22] César R. Souza. <http://crsouza.blogspot.com/2010/03/kernel-functions-for-machine-learning.html> (erişim tarihi: **Aralık 2021**).