

Colaboratory: Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Çalışmalarında Donanım Gereksinimini Karşılama Alternatif Bir Çözüm

Hakan Temiz^{1*}, Hasan Şakir Bilge², Seçkin Uygur³

¹Enformatik, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

³Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye

*Corresponding author: htemiz@artvin.edu.tr

⁺Speaker: htemiz@artvin.edu.tr

Presentation/Paper Type: Oral / Full Paper

Abstract – Yüksek hacimli verilerin makine öğrenmesi (MÖ) ve derin öğrenme (DÖ) yöntem ve teknikleri ile işlenmesi için özel tasarlanmış donanımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu donanımlar ihtiyaç sahipleri açısından önemli bir maliyet unsurudur. Özellikle, araştırmacı, eğitimci ve öğrenciler gibi kısıtlı imkânlarla sahip olanlar açısından bahsi geçen donanımları temin etmek çok daha güç olmaktadır. Google, yakın zamanda MÖ ve DÖ konularında çalışan akademi camiası için Colaboratory (Colab) platformunu hizmete açmıştır. Colab, MÖ ve DÖ çalışmalarının icra edilmesini sağlayan birçok standart yazılım kütüphanesini kullanıma hazır olarak sunmaktadır. Ayrıca, diğer kütüphanelerin de eklenmesi, yüklenmesi vb. işler kolayca halledilebilmektedir. İlave olarak, Colaboratory platformunda bahsedilen özel donanımlar ücretsiz kullanılabilir. Çalışmamızda Colab'ın sunduğu donanımın gücü ortaya koyulmuş ve ne tür işlerde, hangi kısıtlar altında donanım gereksinimini karşılayacağına dair detaylı bir inceleme yapılmıştır. Colab'ın olumlu ve olumsuz yönleri etraflıca ele alınmıştır. Aynı zamanda, işlerin tamamlanma süreleri ve işlenecek veri miktarlarına bağlı olarak, Colab'dan yararlanma, donanımı satın alma veya kiralama alternatiflerinden hangisinin seçilebileceğine dair fikir verecek bir yol haritası da hazırlanmıştır. Çalışmalarımız neticesinde, Colab'ın çoğu çalışmanın yapılabilmesine imkân sağlayacak güçte ve özellikle kısıtlı kaynaklara sahip araştırmacı, eğitimci ve öğrenciler için önemli bir kaynak olduğu gözler önüne serilmiştir.

Keywords – colaboratory, colab, derin öğrenme, makine öğrenmesi, donanım

I. GİRİŞ

Derin Öğrenmenin (DÖ) temelleri, makine öğrenmesinin (MÖ) bir alt alanı olan yapay sinir ağlarına dayanmakla birlikte, günümüzde evrim geçirmiş algoritmalar topluluğuna dönüşmüştür. Sıradan yapay sinir ağı yapısından sıyrılarak çok daha karmaşık mimariler ile yeniden tasarlanmıştır. Farklı ağ türlerinin yanı sıra özel tasarlanmış bağlantı modelleri [1] ve geleneksel ağların sahip olduğundan çok daha fazla katmanlı yapı ile ağın başarımı üst seviyelere çıkmaktadır [2].

Görüntü işleme, bilgisayarla görme, yüz tanıma, konuşma tanıma, makine çevirisi, doğal dil işleme, otonom araçlar, medikal görüntü analizi, uydu görüntülerinin analizi gibi birçok alanda birçok yöntem ve teknikten daha üstün performans sergilemektedir. Yapay zekâ teknolojilerinde günümüzde yaygın kullanılan ve aranan algoritmalar listesinde üst sıralarda yer almaktadır.

Diğer MÖ tekniklerinin aksine, DÖ algoritmalarının performansı genellikle veri miktarı arttıkça daha da iyileşmektedir. Buna paralel olarak, her ne kadar yüksek veri miktarları ile baş edebilecek çok iyi algoritmalar tasarlanırsa da, bu verilerin işlenmesini sağlayacak donanımlara duyulan ihtiyaç son hızla artmaktadır. Bu maksatla birçok firma gelişkin mimariye sahip sistemler üretmiş veya zengin içerikli

hizmetleri faaliyete geçirmiştir. Bu ürün ve hizmetlerin en başında bulut bilişim gelmektedir.

Çalışmamızda, Google'ın araştırmacıların hizmetine ücretsiz sunduğu Colaboratory (Colab) [3] platformundaki hizmetler kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Colab üzerindeki grafik işlem birimi (GİB) performansını çeşitli işlemciler ile kıyaslamak için deneyler yapılmış ve sonuçları sunulmuştur. Bu amaçla iki farklı DÖ ağına farklı işlemciler ile eğitiminin tamamlanma süreleri kıyaslanmıştır. Deney sonuçlarına göre, Colab platformundaki GİB kayda değer performans sergilediği görülmüş; araştırmacı, akademisyen ve öğrenciler adına, MÖ ve DÖ çalışmalarında çok önemli bir donanım ve yazılım kaynağı olduğu gösterilmiştir. İlave olarak, eksikleri ve karşılaşılan bazı zorluklar hakkında da bilgi verilmiş ve çözüm yolları sunulmuştur. Ayrıca, Colab diğer bulut hizmeti sunan firmaların sağladığı ücretli ve ücretsiz hizmetler ile de karşılaştırılmıştır. Ne büyüklükte veriler ile hangi kısıtlar altında fayda sağlayacağına dair çıkarımlarda bulunulmuş ve ayrıca DÖ ve MÖ çalışmalarında ihtiyaç duyulan donanımın temininde izlenebilecek yollara dair bir yol haritası çizilmiştir.

II. GRAFİK İŞLEME BİRİMİ (GIB)

Grafik işleme birimi çok boyutlu veri dizilerinin hızlıca işlenebilmesi için tasarlanmış özel donanımlardır. İlk başlarda bilgisayar oyuncularının oyunlarda yüksek kalitede kesintisiz

oynayabilmesi üretilen donanımlar iken, zamanla bilimsel çalışmalar, mühendislik hesaplamaları gibi pek çok zorlu görevde kullanılmaya başlanmıştır. GİB 'den yararlanan bir başka teknoloji de DÖ'dür. Çok katmanlı ve milyonlarca hesaplama hücrelerinden oluşan mimariler ile Giga, Tera ve hatta Exa baytlar mertebesindeki verilerin sıradan merkezi işlem birimi (MİB) üzerinde işlenmesi mümkün bile değilken, artık grafik işleme birimi (GİB) ile mümkün hale gelmiştir.

NVIDIA [4] firmasına ait GİB donanımları yaygın olarak kullanılmaktadır. Firmaya ait GİB'lerin tercih edilme nedeni KERAS [5], PyTorch [6], Tensorflow [7], MATLAB [8], Caffe2 [9], Theano [10] vb. en bilinen yazılım kütüphanelerinin büyük çoğunluğunu desteklemesi ve yüksek başarımlı paralel hesaplama imkân veren CUDA yazılım platformunu da araştırmacı ve geliştiricilere sunmasıdır NVIDIA firmasının üretmiş olduğu bazı özel donanım sistemleri aşağıda listelenmiştir [4]:

- **AGX SYSTEMS.** Otonom araçlar, tıbbi görüntüleme ve derin öğrenme sistemleri olarak tasarlanmışlardır.
- **DGX SYSTEMS.** DÖ sistemleri için özel olarak tasarlanmış donanımlara sahiptir. Çok sayıda GİB ile paralel çalışılabilir. Fiyatları 100.000\$ mertebesinde.
- **NVIDIA TESLA.** Veri merkezlerinin yüksek başarımlı ve yüksek ölçekli iş yüklerini kotarmak üzere üretilmiştir. DÖ sistemi olarak da kullanıma imkân sunmaktadır.
- **NVIDIA TITAN V.** En iyi GİB'dendir.

Küçük ölçekte işler için tasarlanmış ürünler de mevcuttur. Deneylerimizi, yukarıdaki ürünleri temin etme imkânımız olmadığından küçük ölçekli ürünler üzerinde gerçekleştirmiş bulunmaktayız. Listedeki donanımlar içerisinde en uygun fiyatlı olan TITAN V GPU kartı tek başına 3000\$ civarında fiyata sahiptir. Komple bir DÖ sistemi olarak tasarlanmış olan diğer donanımlar ise 50-100 bin dolar fiyatlara ulaşabilmektedir. Bu sistemler bulut bilişim hizmeti veren firmaların sistemlerinde yaygın kullanılmaktadır.

III. GOOGLE COLABORATORY

Google, Colab [10] eğitim ve araştırma maksadıyla özellikle MÖ ve DÖ çalışmalarında kullanılmak üzere Jupyter [11] not defteri (notebook) üzerinden çalışan bir araç olarak araştırmacıların hizmetine sunulmuştur. Kullanıcının kendi Google Drive (GD) hesabındaki veya başka GD hesaplarındaki veriler ile çalışmaya izin verir. Colab ile Python dilinde yaygın kullanılan Tensorflow, Thenao, Keras, Caffe vb. daha birçok kütüphane kurulu gelmektedir. Kullanıcı isterse kolayca diğer kütüphaneleri de ekleyebilmektedir. DÖ algoritmalarının oluşturulması, eğitilmesi, test edilmesi vb. işler için ihtiyaç duyulan yazılım gereksinimleri hızlıca hazır hale getirilebilmektedir. Bu sayede kullanıcılar kendi bilgisayarlarında bir yazılım kurulumu yapmadan; doğrudan Colaboratory üzerinde çalışma imkânı bulabilmektedir. Colab, program geliştirme ve dokümantasyon gibi işlerin Jupyter not defteri üzerinde icra edilmesini sağlamaktadır. Bu sayede Jupyter'in tüm işlevselliği benzersiz bir şekilde platform üzerinde araştırmacılara sunulmuştur.

Colab kendi üzerinde Google tarafından sağlanan MİB, GİB veya tensör işleme birimi (TİB) gibi değişik alternatif

işlemciler barındırmaktadır. Kullanıcı çalışmalarında dilediği işlemciyi kullanabilmektedir. Hesaplama işinin hangi işlemci üzerinde gerçekleştirileceği Jupyter not defteri ayarlarından kolayca seçilebilmektedir. Colab üzerindeki MİB 2.3GHz saat frekansındadır. GİB ise NVIDIA Tesla K80 (11GB) modelidir. Google, TİB kullanımının ilerleyen zamanlarda daha etkin olarak sağlanacağını web sitesinde belirtmektedir. TİB işlemcilerinin kullanımının şimdilik Colab tarafından garanti edilmediğini bir not olarak ekliyoruz.

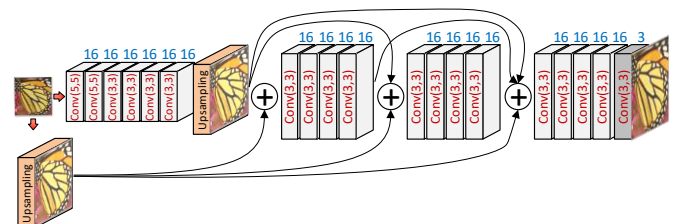
Colab'ın GD içerisinde çalışıyor oluşu GD'nin izin verdiği en veri büyük saklama boyutu olan 15GB büyüklüğünde bir verinin işlenebilmesini sağlar. Ayrıca, Colab başka GD hesaplarına da bağlanıp, bu hesaplardaki verileri de görebilme yeteneğine sahiptir. Bu sayede farklı hesaplar kullanarak başka verileri hızlı bir şekilde işlemek de mümkündür.

Colab, maalesef uzun süreli kullanımı garanti etmemektedir. Uzun süreli kullanımlarda işlemlerin otomatik olarak sonlandırılabilmesi Google tarafından web sitesinde beyan edilmiştir. Uzun süreli çalışmanın ne olduğuna dair bir bilgi web sitesinde bulunmamaktadır. Deneylerimizde 12 saat civarı bir çalışma süresinde herhangi bir kesilmenin yapılmadığı fakat bu süreden uzun seansların sonlandırıldığını görmüş bulunuyoruz. Be nedenle makul en uzun çalışma süresini 12 saat kabul ediyoruz.

A. MODEL VE DENEY

Colab platformundaki GİB performansının gözler önüne serilmesi ve sunabileceği imkânlar hakkında fikir vermesi açısından iki deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla bir DÖ ağı çeşitli donanımlar üzerinde eğitilmiş ve sonuçlar kıyaslanmıştır. DÖ ağından beklenen görev tipik bir süper çözünürlük (SR) problemini çözmesidir. Bu amaçla, yüksek çözünürlüklü (YÇ) imgeden sentetik olarak üretilen düşük çözünürlüklü (DÇ) imgeler ağına girdi katmanına verilmekte ve ağına çıkışında YÇ görüntüyü inşa etmesi istenmektedir.

İlk deneyde eğitim için ultrasoundcases.info adresinden rastgele alınan 500 adet tek renk kanalına sahip imge ile Şekil 1'de mimarisi verilmiş olan 51441 parametrelili bir DÖ ağı eğitilmiştir. Eğitimler NVIDIA firmasının Geforce GTX 960m, GTX 1050Ti, Colab platformundaki Tesla K80 GİB kartı ve bir adet Intel i7 6700HQ 2.6GHz MİB ile gerçekleştirilmiştir. Tesla K80 kartına ait deney Colab üzerinde yapılmıştır. İkinci deneyde 5.58GB büyüklüğünde ve üç renk kanallı 50 bin imge, bir önceki derin ağa benzer bir mimari ve 28739 parametreye sahip bir derin ağına bir devir eğitimi için kullanılmıştır. İmgeler Image.net [12] veritabanından alınmıştır. Sonuçlar Tablo 2 'de verilmiştir.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan DÖ modeli.

Tablo 1. Örnek bir Derin Öğrenme Ağına 500 imge ile eğitiminin farklı işlemciler ile tamamlama süreleri.

Hesaplama Birimi	500 imge ile Eğitim Süresi
i7-6700HQ MİB	8.85 saat
GTX 960m GİB	1.23 saat
Tesla K80 GİB (Colab)	24 dakika
GTX 1050Ti GİB	23.7 dakika

B. DENEY SONUÇLARI

Tablo 1’de ilk deneyde her bir donanımın 1 devir (epoch) eğitimi tamamlama süreleri verilmiştir. Eğitim, i7 MİB ve GTX 960m, GTX 1050Ti ve Colab üzerinde bulunan Tesla K80 GİB ile sırasıyla 8.85, 1.23, 0.40 ve 0.39 saatte tamamlanmıştır. GTX 1050Ti ve Tesla K80 GİB birbirlerine oldukça yakın sürede eğitimi tamamlamıştır. i7 MİB en uzun sürede eğitimi tamamlamıştır. Sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 2 ‘de verilmiştir. Ayrıca, Colab’ın sunduğu K80 GİB’nin diğer donanımlardan kaç kat daha hızlı olduğu da çizgi grafiği ile gösterilmiştir. Tipik bir MİB ‘nin yaklaşık 9 saatte tamamlayabildiği eğitimi Colab platformunda bulunan Tesla K80 GİB 24 dakika gibi kısa bir sürede tamamlamıştır.

İkinci deneyde kullanılan üç GİB sergiledikleri performansların birbirine oranları önceki performans oranlarına oldukça yakındır. Colab’daki Tesla K80 ve GTX 1050Ti GİB eğitimi tamamlaması yaklaşık 1.5 saat sürmüştür. Deneyden anlaşılacağı üzere Colab, 50 bin imgeyi yaklaşık 30 bin parametreye sahip bir DÖ ağı ile 12 saatlik sürede 8 devir eğitebilecek güçtedir. Söz konusu sürelerin ağı diğer parametreleri, katmanların tipi vb. özelliklere bağlı olarak değişiklik arz edeceği not edilmelidir. Amacımız Colab’ın performansı hakkında yaklaşık bir fikir edinilmesidir.

Özetle, Colab, azımsanmayacak bir hesaplama gücü ve program geliştirme platformunu ücretsiz sunmaktadır. GİB üzerinde çalışma ihtiyacı duyan araştırmacı, eğitmen ve öğrenciler için böyle bir platform önemli bir gereksinimi ilave bir maliyete gerek kalmadan karşılayabilme potansiyeline sahiptir. Bu tür donanımların yüksek maliyetlere sahip oluşu dikkate alındığında gerekli donanımı satın alma veya kiralama gücüne sahip olmayanlar açısından çok kıymetli bir kaynaktır.

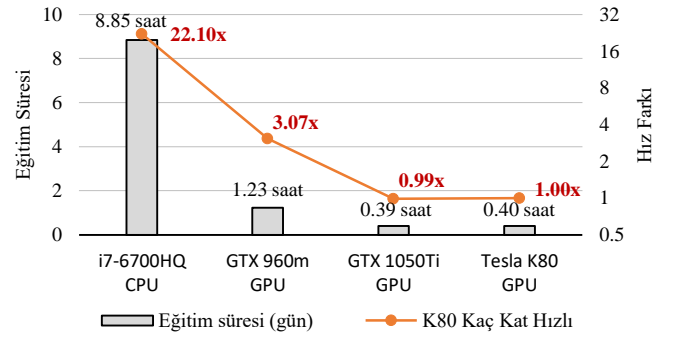
C. ALTERNATİF SEÇENEKLER

Bu bölümde Colab platformundan yararlanmanın dışında alternatif olabilecek, diğer satın alma veya bulut hizmetlerinden yararlanma seçenekleri ele alınmaktadır.

Fiziki donanımın satın alınması bakımından en uygun fiyat/performans gözetildiğinde Colab’daki Tesla K80 GİB performansına çok yakın sonuç veren GTX 1050Ti GİB ilk akla gelen çözüm olabilir. Bu tür bir sistem 2 ile 3 bin \$ arasında değişmektedir. Daha güçlü sistemlere ihtiyaç duyulması durumunda Bölüm 1’de listelenen NVIDIA firmasına ait diğer sistemlere yönelmek gerekecektir. Bu

Tablo 2. Benzeri bir derin ağı 50 bin imge ile bir devir eğitim süresi

Hesaplama Birimi	50 bin imge ile Eğitim Süresi
GTX 960m GİB	5.6121 saat
GTX 1050Ti GİB	1.5323 saat
Tesla K80 GİB (Colab)	1.5192 saat



Şekil 2. Donanımların Eğitimleri tamamlama süreleri ve Tesla K80 GİB diğer işlemcilerle karşılaştırılması. Hız eksenini 2 tabanında logaritmik ölçeklenmiştir.

sistemlerin maliyeti ise 10-100 bin \$ mertebelerine ulaşacaktır.

Diğer bir alternatif olarak, Google, Microsoft veya Amazon vb. firmaların çeşitli bulut hizmetleri değerlendirilebilir. Fikir vermesi açısından Microsoft [13], Amazon [14] ve Google [15] firmalarının uyguladığı ücretler Tablo 3 ‘de verilmiştir.

Ücret politikaları hizmetin verildiği ülke/bölgeye göre değişmektedir. Tabloda mümkün olan en düşük ücretler verilmiştir. Firmalar 3 yıllık abonelik yapılması durumunda daha rekabetçi fiyatlar sunmaktadır. Fakat süre nedeniyle maliyetin çok artacağını düşündüğümüzden, 1 yıllık abonelik seçeneğine ait ücretler (abonelik şart ise) dikkate alınmıştır.

İlave olarak, bulut hizmeti veren firmalar belirli zaman, kredi vb. kısıtlara bağlı olarak ücretsiz hizmetler sunmaktadır. Fakat çok kısıtlı süre veya kullanım hakkı vermeleri veya GİB olmayan sistemler sunmaları nedeniyle, diğer ücretsiz alternatiflerin Colab’ın yerini doldurması söz konusu değildir.

Sonuç olarak, donanımı satın alma, kiralama veya ücretsiz hizmetlerden yararlanma gibi alternatifler arasında, en uygun seçeneğin hangisi olacağına dair bir fikir vermesi ve özellikle, Colab’ın üstlendiği rolün anlaşılması açısından, izlenebilecek yollar öneri niteliğinde Şekil 3’te verilmiştir.

Buna göre, Veri miktarının çok yüksek olması halinde, işin süresine de dikkate alınarak, kiralama ve satın alma maliyetlerinin tespitinin ardından, en az maliyetli olan alternatif seçilebilir. Diğer durumda, işin 12 saat içerisinde tamamlanması mümkünse veya bu süre zarfında kotarılacak küçük parçalara ayrılabilirse Colaboratory platformundaki donanım çoğu ihtiyacı karşılayacaktır.

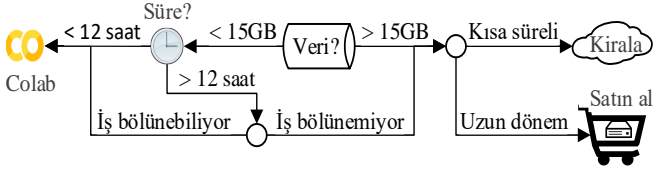
Böylece İlave bir mali yük olmayacaktır. İşlem süresi için 12 saatin üst limit olarak alınmasının nedeninin, Google tarafından daha uzun süreli işlerin çalıştırılabilmesine garanti verilmemesi olduğunu tekrar hatırlatmak istiyoruz.

Tablo 3. Firmaların bazı donanımlar için uyguladığı ücretler (USD \$).

Model	Google		Microsoft*		Amazon*	
	Saat	Ay	Saat	Ay	Saat	Ay
Tesla K80	0.135	98.55	0.673	490.56	0.425**	-
Tesla P100	0.43	313.90	1.595	1164.067	-	-
Tesla P4	0.216	157.68	-	-	-	-
Tesla V100	0.74	540.20	2.226	1624.396	1.99	-
Tesla M60	-	-	1.003	731.563	0.525	-

* 1 yıllık abonelik yapılması halinde;

** 3 Yıllık kısmi peşin ödemeli



Şekil 3. Donanım ihtiyacının temininde önerilen çözümler.

IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu bölümde Colaboratory'nin avantajları ve dezavantajlarına dair bir derlenmiş bilgi sunmak istiyoruz:

Avantajlar

- Ücretsiz MİB, GİB, TPU desteği vermektedir.
- Kişinin GD üzerinde bulundurduğu kendi verileri üzerinde çalışmasına imkân sağlamaktadır.
- Colaboratory, oturum açılışında başka bir GD hesabı ilişkilendirilebilmektedir. Böylece, kullanıcı kendisine ait başka GD üzerindeki veri kümeleri üzerinde de çalışma imkânı bulabilmektedir.
- Standart birçok programlama kütüphane ve çerçeveleri hazır olarak sunulmaktadır.
- İhtiyaç duyulan ilave kütüphane ve çerçeveler kolayca yüklenebilmektedir.
- Jupyter not defteri üzerinde çalışılması birçok kolaylık ve faydayı beraberinde getirmektedir. Jupyter'in sunduğu araçlar, özellikler ve işlevsellikler Colab'ı çok daha kıymetli yapmaktadır.

Dezavantajlar

- TPU desteğinin kullanımı garanti edilmemektedir. Kullanıcı TPU ile çalışmak istese de Colab bu hizmeti genellikle sunmamaktadır.
- Uzun sürecek hesaplama işleri haber verilmeden ve onay alınmadan sonlandırılabilir. Sürenin ne kadar olduğu belirsizdir. Çalışmalarımızda 12 saat ve daha az süren işlerde bir sorun görülmemiştir.
- GD üzerine yüklenen veriler ve program dosyaları yüklemenin ardından Colab tarafından hemen fark edilmemektedir. Çoğu durumda yeniden bağlanma ve oturum açma veya program çekirdeğini yeniden başlatma gibi eylemlerin yapılması gerekmektedir.
- Şu an için sadece Python diline destek vermektedir. Diğer dillerde çalışma ve program geliştirme şimdilik mümkün değildir.

Özetle, şu ana dek verilen bilgiler ışığında, işin 12 saatten daha az sürede tamamlanabilmesi veya 15GB ve daha az veri miktarları ile çalışılması durumunda, özellikle ücretsiz oluşu da dikkate alınarak, Colab en cazip ve en az maliyetli çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. İlave olarak, çoğu durumda bahsi geçen çalışma süresi ve veri boyutu eğitim amaçlı birçok çalışma için kâfi gelecektir. Hatta parçalar halinde icra edilebilecek işlerde birden fazla hesap üzerinde bulunan (GD üzerinde) verilerin işlenmesi de mümkündür.

Bir önemli husus da, şu ana dek ortaya koyduğumuz sonuçların Colab üzerindeki GİB kullanılarak yapılabildiği oluşudur. Deneylerimizde her ne kadar Platformdaki TİB kullanmaya çalışsak da Colab bu donanımların kullanımına

imkân sağlamamıştır. Google, şu an için TİB kullanımını garanti etmemektedir. TİB kullanımı mümkün olduğunda platformdaki GİB başarımından çok daha yüksek başarımla hesaplama kabiliyet ücretsiz sunulmuş olacaktır. Böylece Colab'ın faydası çok daha önem arz edecektir.

Önceki bölümlerde sunulan deney sonuçları ve alternatif seçenekler hakkında verilen bilgiler ışığında Colab'ın araştırmacı, eğitimci ve öğrenciler için ne derece faydalı bir platform olduğu kolaylıkla görülmektedir. Özellikle, MÖ ve DÖ gibi yüksek hesaplama gücüne sahip güçlü donanımlarla çalışma ihtiyacı duyanlar açısından, donanım gereksinimini tamamen ücretsiz olarak karşılayacak kapasitededir.

Ayrıca, hazır kütüphaneler barındırması ve diğer kütüphanelerin kolayca kurulabilmesi oluşuna ilave olarak, Jupyter not defterinin sunduğu tüm fonksiyonelliğin kullanıcılara sunulması oluşu Colab'ı çok daha kıymetli yapmaktadır. Sonuç olarak, kısıtlı imkânlar ile akademik çalışmalar yapan araştırmacı, eğitimci ve öğrenciler açısından, Colab, çok önemli ve faydalı bir hizmet olarak karşımıza çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep Residual Learning for Image Recognition," in *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016, pp. 770–778.
- [2] H. Temiz, A. Tufekci, and H. S. Bilge, "A comparative study on super resolution with deep learning," in *26th IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU 2018*.
- [3] "Welcome to Colaboratory - Colaboratory." [Çevrimiçi]. Available: <https://colab.research.google.com/notebooks/welcome.ipynb#recent=true>. [Erişim tarihi: 09.02.2019].
- [4] "Deep Learning and Artificial Intelligence Solutions | NVIDIA." [Çevrimiçi]. Available: <https://www.nvidia.com/en-us/deep-learning-ai/solutions/>. [Erişim tarihi: 09.02.2019].
- [5] "Home - Keras Documentation." [Çevrimiçi]. Available: <https://keras.io/>. [Erişim tarihi: 09.02.2019].
- [6] "PyTorch." [Çevrimiçi]. Available: <https://pytorch.org/>. [Erişim tarihi: 09.02.2019].
- [7] "TensorFlow." [Çevrimiçi]. Available: <https://www.tensorflow.org/>. [Erişim tarihi: 09.02.2019].
- [8] "MATLAB - MathWorks - MATLAB & Simulink." [Çevrimiçi]. Available: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>. [Erişim tarihi: 09.02.2019].
- [9] "Caffe2 | A New Lightweight, Modular, and Scalable Deep Learning Framework." [Çevrimiçi]. Available: <https://caffe2.ai/>. [Erişim tarihi: 09.02.2019].
- [10] "Welcome — Theano 1.0.0 documentation." [Çevrimiçi]. Available: <http://deeplearning.net/software/theano/>. [Erişim tarihi: 09.02.2019].
- [11] "Project Jupyter | Home." [Çevrimiçi]. Available: <https://jupyter.org/>. [Erişim tarihi: 09.02.2019].
- [12] J. Deng, W. Dong, R. Socher, L.-J. Li, K. Li, and L. Fei-Fei, "Imagenet: A large-scale hierarchical image database," in *2009 IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2009, pp. 248–255.
- [13] "Pricing - Windows Virtual Machines | Microsoft Azure." [Çevrimiçi]. Available: <https://azure.microsoft.com/en-us/pricing/details/virtual-machines/windows/>. [Erişim tarihi: 09.02.2019].
- [14] "Amazon EC2 P3 – Makine Öğrenimi ve HPC için ideal – AWS." [Çevrimiçi]. Available: <https://aws.amazon.com/tr/ec2/instance-types/p3/>. [Erişim tarihi: 09.02.2019].
- [15] "Google Compute Engine Fiyatlandırması | Compute Engine Documentation | Google Cloud." [Çevrimiçi]. Available: <https://cloud.google.com/compute/pricing>. [Erişim tarihi: 09.02.2019].