



**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ PREZİDENTİ YANINDA
ELMİN İNKİŞAFI FONDU**

**Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Elmin İnkişafı Fondunun
“Elm-Təhsil İntegrasiyası” məqsədli qrant müsabiqəsinin
(EIF/MQM/Elm-Təhsil-1-2016-1(26)) qalibi olmuş
layihənin yerinə yetirilməsi üzrə aralıq
(rüblük olaraq 2-ci mərhələ)**

YEKUN ELMİ-TEXNİKİ HESABAT

Layihənin adı: **Ridge funksiyaların, neyron şəbəkələrin çoxlaylı perseptron (MLP) modelinin
aproksimativ xassələrinin araşdırılması və tətbiqləri**

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **İsmayılov Vüqar Elman oğlu**

Qrantın məbləği: **25 000 manat**

Layihənin nömrəsi: **EIF/MQM/Elm-Təhsil-1-2016-1(26)-71/08/1-M-17**

Müqavilənin imzalanma tarixi: **08 avqust 2018-ci il**

Qrant layihəsinin yerinə yetirilmə müddəti: **12 ay**

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 sentyabr 2018-ci il – 01 sentyabr 2019-cu il**

Layihənin II mərhələ üzrə (rüb) məbləği: **4892 manat**

Hesabatda aşağıdakı məsələlər işıqlandırılmalıdır:

1 Layihənin həyata keçirilməsi üzrə cari rübdə yerinə yetirilmiş elmi işlər

(burada doldurulmalı)

Ridge funksiyalar vasitəsi ilə təyin edilən neyron şəbəkələrin MLP modelinin aproksimativ xassələri tədqiq edilmişdir. Gizli laylarda qabaqcadan qeyd olunmuş sayda neyronlara malik və ixtiyari çoxdəyişənli asılılığı istənilən qədər kiçik dəqiqliklə aproksimasiya edə bilən universal MLP (çoxlaylı perseptron) neyron şəbəkə modelinin varlığı isbat edilmişdir. Bu modelin aktivasiya funksiyası ixtiyari tərtibdən kəsilməz törəmələrə malik funksiyalar sinfindən seçilmişdir. Bundan əlavə aktivasiya funksiyası monotonluq və siqmoidallıq kimi xassələrə malikdir. Bütün bu xassələr seçilmiş aktivasiya funksiyasını gələcək praktiki tətbiqlər baxımından əhəmiyyətli edir.

Ridge funksiyaların aproksimasiya nəzəriyyəsində hamarlıq məsələsi ikidəyişənli funksiyalar üçün həll edilmişdir. Başqa sözlə istiqamətlər üzərinə heç bir şərt qoymadan göstərilmişdir ki, k tərtibdən kəsilməz törəmələrə malik ikidəyişənli funksiya istənilən istiqamətlərə malik ridge funksiyaların cəmi şəklində ifadə edilirsə, onda bu funksiya k tərtibdən kəsilməz törəmələrə malik ridge funksiyaların cəmi şəklində də ifadə edilə bilər. Bu nəticə alındıqdan sonra bir qədər də gücləndirilmiş və cəmdə iştirak edən ridge funksiyaların qurulması üçün konkret

analitik düsturlar tapılmışdır. Bu düsturların köməyi ilə k tərtibdən kəsilməz törəmələrə malik ikidəyişənli funksiyanın ifadəsindəki ridge funksiyaaların praktiki cəhətdən bərpası mümkündür. Bundan əlavə analogi nəticə k -cı tərtib törəmələri Hölder sinfindən olan ikidəyişənli funksiyalar üçün də alınmışdır.

Alınmış nəticə müəyyən bircins xüsusi törəmli diferensial tənliyə tətbiq edilmiş və onun ümumi həllinin yeni ifadəsi tapılmışdır.

Hölder sinfindən olan çoxdəyişənli funksiyaaların ridge funksiyaalarla ifadəsi üçün də nəticələr alınmışdır. Əvvəlcə göstərilmişdir ki, Hölder sinfindən olan çoxdəyişənli funksiya üç ədəd ridge funksiyanın cəmi ilə ifadə olunursa, onda bu funksiya üç ədəd elə ridge funksiya vasitəsilə ifadə oluna bilər ki, bu funksiya da Hölder sinfindən olsun. Daha sonra bu nəticə istiqamətlər üzərinə qoyulan müəyyən şərt daxilində istənilən sayda ridge funksiyaalar halına ümumiləşdirilmişdir.

Ridge funksiyaalar üzrə alınmış nəticələr approksimasiya nəzəriyyəsi sahəsinin tanınmış jurnalı olan Journal of Approximation Theory jurnalında dərc edilmişdir.

2 Layihənin həyata keçirilməsi üzrə planda nəzərdə tutulmuş işlərin yerinə yetirilmə dərəcəsi (cari rüb üçün, faizlə qiymətləndirməli)

(burada doldurmalı)

Cari rüb üçün işlər 100% yerinə yetirilmişdir.

3 Hesabat dövründə alınmış **elmi nəticələr**, onların yenilik dərəcəsi

(burada doldurmalı)

Hesabat dövründə aşağıdakı elmi nəticələr alınmışdır:

1) Gizli laylarda qabaqcadan qeyd olunmuş sayda neyronlara malik və ixtiyari çoxdəyişənli asılılığı istənilən qədər kiçik dəqiqliklə approksimasiya edə bilən universal MLP (çoxlaylı perseptron) neyron şəbəkə modelinin varlığı isbat edilmişdir.

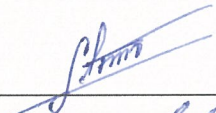
Qeyd edək ki, neyron şəbəkələrin çoxlaylı perseptron modelinin universal approksimasiya xassəsi keçən əsrin sonlarından tədqiq edilməyə başlanmışdır. Bu istiqamətdə Cybenko, Funahashi, Hornik, Stinchcombe, White, Chui, Li, Kurkova, Leshno, Lin, Pinkus, Schocken və bir çox digər tədqiqatçıların nəticələri məlumdur. Bu nəticələrdə aktivasiya funksiyasını müəyyən sinifdən seçməklə göstərilir ki, neyron şəbəkə istənilən kompakt çoxluq üzərində istənilən çoxdəyişənli kəsilməz funksiyanı approksimasiya etmək qabiliyyətinə malikdir. Bu cür nəticələrin sayı neyron şəbəkələr nəzəriyyəsində həddən artıq çoxdur. Bütün bu nəticələrdə gizli laylarda iştirak edən neyronların sayına heç bir məhdudiyyət qoyulmur. Buna görə də verilmiş asılılığı çox kiçik xəta ilə approksimasiya etmək üçün çox böyük sayda neyronlara malik modeldən istifadə etmək lazım gəlir. (Bəzi məqalələrdə hətta neyronlar sayının approksimasiya xətasından asılılığı da öyrənilir). Bizim aldığımız nəticədə indiyə qədər məlum nəticələrdən fərqli olaraq neyronlar sayını əvvəlcədən qeyd etməklə istənilən dəqiqliklə approksimasiyaya nail olmaq mümkündür. Bu nəticə onu göstərir ki, baxılan MLP modeli üçün gizli laydakı neyronlar sayı approksimasiya xətasından asılı deyil.

2) Yuxarıdakı nəticədə gizli layların minimum sayı və hər bir laydakı neyronlar sayı dəqiq müəyyənləşdirilmişdir. Belə ki, göstərilmişdir ki, ixtiyari d -dəyişənli asılılığın istənilən qədər kiçik dəqiqliklə approksimasiya olunması üçün MLP modelində ən azı 2 gizli lay (cəmi 4 lay), birinci gizli layda d neyron, ikinci gizli layda $2d+2$ neyron götürmək lazımdır. Giriş və çıxış layları daxil olmaqla bu modelin ümumi neyronlar sayı $4d+3$ -dür, bunlardan $3d+2$ -si gizli laylardadır.

3) Baxılan modelin aktivasiya funksiyası ixtiyari tərtibdən kəsilməz törəmələrə malik funksiyaalar sinfindən seçilmişdir. Bundan əlavə aktivasiya funksiyası monotonluq və siqmoidallıq kimi xassələrə malikdir.

	<p>4) Göstərilmişdir ki, k tərtibdən kəsilməz törəmələrə malik ikidəyişənli funksiya istənilən istiqamətlərə malik ridge funksiyaların cəmi şəklində ifadə edilirsə, onda bu funksiya k tərtibdən kəsilməz törəmələrə malik ridge funksiyaların cəmi şəklində də ifadə edilə bilər. Bu nəticə ridge funksiyaların approksimasiya nəzəriyyəsində hamarlıq məsələsini ikidəyişənli funksiyalar üçün həll edir.</p> <p>Qeyd edək ki, indiyə qədər belə tipli nəticələr yalnız ridge funksiyaların istiqamətləri üzərinə müəyyən şərtlər daxilində mümkün idi. Bizim nəticə onu göstərir ki, ikidəyişənli funksiyalar üçün istiqamətlər üzərinə şərt qoymağa ehtiyac yoxdur.</p> <p>5) k tərtibdən kəsilməz törəmələrə malik ikidəyişənli funksiyaların ridge funksiyalarla cəmini mümkün edən və həmin tərtibdən kəsilməz törəmələrə malik olan ridge funksiyaların qurulması üçün konkret analitik düsturlar verilmişdir.</p> <p>6) Göstərilmişdir ki, Hölder sinfindən olan ikidəyişənli funksiya istənilən istiqamətlərə malik ridge funksiyaların cəmi şəklində ifadə edilirsə, onda bu funksiya Hölder sinfindən olan ridge funksiyaların cəmi şəklində də ifadə edilə bilər. Bu nəticə ridge funksiyaların istiqamətləri üzərinə müəyyən şərtlər daxilində çoxdəyişənli funksiyalar üçün də göstərilmişdir.</p> <p>Qeyd edək ki, ridge funksiyalar Hölder siniflərində hələ araşdırılmamışdır. Bu baxımdan nəticələr yenidir.</p> <p>7) İkidəyişənli ridge funksiyalarla bağlı alınmış nəticələr müəyyən bircins xüsusi törəməli diferensial tənliyə tətbiq edilmiş və onun ümumi həllinin yeni ifadəsi tapılmışdır.</p>
4	<p>Layihənin yerinə yetirilməsi zamanı istifadə olunan üsul və yanaşmalar (burada doldurmalı)</p> <p>Layihənin yerinə yetirilməsi zamanı neyron şəbəkələr nəzəriyyəsini, approksimasiya nəzəriyyəsini, həqiqi analizin, funksional analizin, konstruktiv funksiyalar nəzəriyyəsini, funksional tənliklər nəzəriyyəsini üsullarından istifadə olunmuşdur.</p>
5	<p>Layihə üzrə elmi nəşrlər (məqalələr, monoqrafiyalar, icmallar, konfrans materialları, tezislər) (dərəcə olunmuş, çapa qəbul olunmuş və çapa göndərilmişləri ayrılıqda qeyd etməklə) (surətlərini əlavə etməli!)</p> <p>Çap edilmiş məqalələr:</p> <p>1) R.A.Aliev, A.A.Asgarova, V.E.Ismailov, A note on continuous sums of ridge functions. J. Approx. Theory 237 (2019), 210-221. Indexed in SCI, Impact Factor - 0.939</p> <p>2) N.J.Guliyev, V.E.Ismailov, Approximation capability of two hidden layer feedforward neural networks with fixed weights, Neurocomputing 316 (2018), 262-269. Indexed in SCI, Impact Factor - 3.241</p> <p>3) R.A.Aliev, A.F.Amrahova, On the summability of the discrete Hilbert transform, Ural Mathematical Journal 4 (2018), no 2., 6-12.</p> <p>Çapa qəbul olunmuş məqalə: R.A.Aliev, A.A.Asgarova, V.E.Ismailov, On the Holder continuity in ridge function representation, Proceedings IMM.</p>
6	<p>İxtira və patentlər, səmərələşdirici təkliflər (burada doldurmalı)</p> <p>--</p>
7	<p>Layihə üzrə ezamiyyətlər (burada doldurmalı)</p> <p>--</p>
8	<p>Layihə üzrə elmi ekspedisiyalarda iştirak (burada doldurmalı)</p> <p>--</p>

9	Layihə üzrə digər tədbirlərdə iştirak (burada doldurulmalı) --
10	Layihə mövzusu üzrə elmi məruzələr (seminarlar, konfranslar, dəyirmi masalar və s. çıxışlar) (burada doldurulmalı) Layihə mövzusu üzrə AMEA Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun "Funksiyalar nəzəriyyəsi" şöbəsinin seminarında məruzə edilmişdir.
11	Layihə üzrə əldə olunmuş cihaz, avadanlıq və qurğular, mal və materiallar (burada doldurulmalı) --
12	Yerli həmkarlarla əlaqələr (burada doldurulmalı) Layihə mövzusu ətrafında AMEA Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun elmi işçiləri İ.Məhərov, A.M-B.Babayev və Bakı Dövlət Universitetinin müəllimləri Z.S.Əliyev, N.Ə.İlyasov, A.F.Hüseynli ilə birgə ridge funksiyalarla approksimasiya məsələlərinə aid diskussiyalar aparılmışdır.
13	Xarici həmkarlarla əlaqələr (burada doldurulmalı) Layihə mövzusu ətrafında Qəbzə Texniki Universitetinin, riyaziyyat fakültəsinin müdiri Prof.Dr. Mansur İsgenderoğlu ilə elmi fikir mübadiləsi aparılmışdır. Bundan əlavə Journal of Approximation Theory jurnalının redaktoru Professor Paul Nevai ilə internet yazışmaları aparılmışdır.
14	Layihə mövzusu üzrə kadr hazırlığı (burada doldurulmalı) Ridge funksiyaların approksimativ xassələrinin araşdırılması mövzusunda Azərbaycan Dillər Universitetinin Riyaziyyat kafedrasının müəllimi Aysel Əsgərova gələcəkdə bu sahədə yüksək ixtisaslı mütəxəssis olmaq üçün hazırlanmaqdadır.
15	Sərgilərdə iştirak (burada doldurulmalı) --
16	Təcrübəartırmada iştirak və təcrübə mübadiləsi (burada doldurulmalı) --
17	Layihə mövzusu ilə bağlı elmi-kütləvi nəşrlər, kütləvi informasiya vasitələrində çıxışlar, yeni yaradılmış internet səhifələri və s. (burada doldurulmalı) --

Layihə rəhbərinin imzası  İsmayılov Vüqar Elman oğlu

Həm-rəhbərin imzası  Əliyev Rəşid Əvəzağa oğlu

Tarix 05.03.2019

QEYD: bütün hallarda uyğun olan bəndlər doldurulmalıdır.