

## HƏQİQİ TƏYİN OLUNMAYAN LEPTON FONUNUN “USING ONE LEPTON EFFICIENCY MAP FOR MATRIX” METODU İLƏ TƏDQİQİ

NAZİM Ə. HÜSEYNOV

*Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin Fizika İnstitutu,  
Bakı, 1143, Azərbaycan, H. Cavid pr. 131*

*nguseynov@jinr.ru*

Təqdim olunan işdə  $tHq(bb)$  kanalında həqiqi olmayan leptonlar fonunu qiymətləndirmək üçün istifadə olunan məlumatlar əsasında Matris Metodu (MM) yaxınlaşması əsas ideya kimi təsvir edilmişdir. Tədqiqatın yeniliyi üst kvarkın yarımleptonik parçalanma halında bir lepton üçün hesablanmış yeni effektiv xəritələrin istifadəsindən ibarətdir.

**Açar sözlər:** Hiqq bozonun yaranması, həqiqi olmayan leptonun qiymətləndirilməsi, Matrix metodu, bir leptonun effektiv xəritələri

**PACS:** 12.40.Yx

Matris Metodu tez və həqiqi olmayan elektronların/müonların identifikasiyasının, izolyasiya və təsir parametrlərinin tələblərinin fərqli reaksiyasına əsaslanır. Metod lepton seçimlərindən istifadə etməklə, ilkin seçim bölgəsində olduğu kimi, eyni meyarlarla seçilmiş məlumat hadisələrindən istifadə edir. Nominal seçim kəsiklərində aşağıdan keçən leptonlar sıx leptonlar, daha boş meyarlardan keçən leptonlar isə boş leptonlar kimi qeyd olunur. Elektronlar və müonlar üçün operativ effektivlik həqiqi olan və olmayan elektron və müonların nominal elektron/müon tələblərini keçmə ehtimalı kimi müəyyən edilir və həqiqi olan və olmayan leptonlarla zənginləşdirilmiş xüsusi nəzarət bölgələrində ölçülür. Müvafiq elektron və ya müonların həqiqi olmayan və real effektivlikləri  $p_T$  və  $|\eta|$ -da parametrləşdirilmişdir.

### Həqiqi olmayan lepton və tau fonun qiymətləndirilməsi

Siqnal bölgələrindəki fonları sadələşdirilməyən və sadələşdirilən fonlar kimi təsnif etmək olar. Sadələşdirilməyən fonlar  $t\bar{t}$ ,  $VV$  və nadir prosesləri ( $t\bar{t} WW$ ,  $t\bar{t} Z$ ,  $WtZ$ ,  $VVV$ ,  $tt\bar{t}$  və  $t\bar{t}t$ ) ehtiva edən  $t\bar{t}H$  siqnalı ilə eyni sayda çevik leptonlu hadisələrdir. Onun qiymətləndirilməsi Monte Karlo simulyasiyalarında bu proseslərin yaxşı modelləşdirilməsinə əsaslanır. Sadələşdirilən fonlarda kanaldan asılı olaraq ən azı bir yüklənmiş elektronu, və ya bir həqiqi olmayan/qeyri-çevik lepton (sonradan həqiqi olmayan lepton adlandırılır), və yaxud bir həqiqi olmayan hadronik tau mövcuddur. Həmçinin sadələşdirilən fonlar əsasən  $t\bar{t}$  məhsulundan yaranır. Yüngül leptonun həqiqi olmayan hesablamada proseduru bu fonun aktual və vacib hesab olunan üç kanalı arasında birləşdirilir -  $2ISS$ ,  $2ISS+1\tau$  və  $3l$  və  $4l$  kanal kimi oxşar strategiya ilə şablon uyğunluğunu nəzərdə tutur. Bununla belə,  $4l$  kanalda ümumiləşdirilmiş sıx lepton izolyasiya seçimindən istifadə olunmadığı üçün normalaşdırma faktorları paylaşılır. Şablon uyğunluğu  $0\tau \rightarrow 1\tau_{had}$ , ekstrapolyasiyası potensialı  $0\tau$  olan qiyməti tapmaq üçün  $2ISS+1\tau_{had}$  kanalı sistematika müqayisə məqsədi ilə alternativ “Fake Factor ABCD” metodundan istifadə olunur [1].  $\tau_{had}$ -şırnağı həqiqi olmayan qiymətləndirmə  $2IOS+1\tau$ ,  $3l+1\tau_{had}$  və  $2ISS+1\tau$  analizlərində istifadə olunur, hesablanılır və miqyas amilinin

(SF) təyininə əsaslanır.  $1l+2\tau_{had}$  həqiqi olmayan tam məlumat əsaslı qiymətləndirilmədən istifadə olunur. Bu məqsədlə istifadə edilən bütün təcrübi və yoxlanılmış bölgələr ümumiləşdirilmişdir. Uyğun modeldə  $2ISS$ ,  $2ISS+1\tau_{had}$  və  $3l$  SR-lər eyni zamanda şablon uyğunluğunda da istifadə olunacaq.

### Fonun qiymətləndirilməsi

$tHq(bb)$  analizi üçün əsas fon mənbəyi “ $t\bar{t}$ -şırnaqlar” hadisələrindən ibarətdir [2]. Ağır şırnaqlar ilə birlikdə  $t\bar{t}$  məhsulunda  $t\bar{t}H(H \rightarrow bb)$  və 4-tops ölçmələr göstərilən MC simulyasiyası ilə yaxşı modelləşdirilmədiyi aşkar edilmişdir. Bu,  $t\bar{t} \geq 1b$  və  $t\bar{t} \geq 1c$  fonlarını məlumat əsasında qiymətləndirilməsini stimullaşdırır. Bu səbəbdən simulyasiya edilmiş  $t\bar{t} + \text{şırnaq}$  hadisələri  $t\bar{t} \geq 1b$ ,  $t\bar{t} \geq 1c$  və  $t\bar{t} \geq 1$  işiq kateqoriyalarına bölünür. Məlumatlara əsaslanan texnikadan istifadə edərək təxmin edilən ikinci fon qeyri-çevik/həqiqi olmayan leptonlar fonudur. Bu fon leptonun (elektron və ya muon) mövcudluğundan qaynaqlanır ki, çevik bir parçalanma nəticəsində yaranır. Mövcud hal  $W$  çoxluğu  $t$  parçalanmasından formalaşır. Çevik olmayan bir lepton adətən HF hadronunun parçalanması, və ya fotonun çevrilməsi nəticəsində yaranır, həqiqi olmayan leptonlar isə ən çox təsadüfən yüngül leptona bənzər bir detektor imzası yaradan yüngül şırnaqlardır. Bu fonun qiymətləndirilməsi Matris Metodundan istifadə etməklə həyata keçirilir və [3]-də təsvir edilmişdir. Digər fonlar MC proqnozu ilə təxmin edilmişdir.

### Yüngül leptonların təyini

Nəzərə alınan bütün hadisələrin  $t \rightarrow Wb$  parçalanması nəticəsində yaranan  $W$ -nin leptonik parçalanmasında dəqiq bir yüngül lepton (elektron və ya muon) olması tələb olunur. Bütün hadisələr tək elektron, və yaxud tək müon hədəfi kimi qiymətləndirilməlidir. Yenidən qurulmuş leptonu hədəf leptona uyğunlaşdırmaq üçün hadisə seçimlərində uyğunluq tələbi tətbiq edilir. Tək lepton hədəfləri  $p_T > 27$  GeV lepton üçün maksimum effektivliyə malik olur, buna görə də, bu  $p_T$  kəsiyi göstərilən halda yenidən qurulmuş leptona tətbiq olunur. PLImprovedVTight izolyasiya tələbi həm elektronlara, həm də müonlar üçün saxlanılır.

**Matrix metodu ilə çevik və həqiqi olmayan leptonların qiymətləndirilməsi**

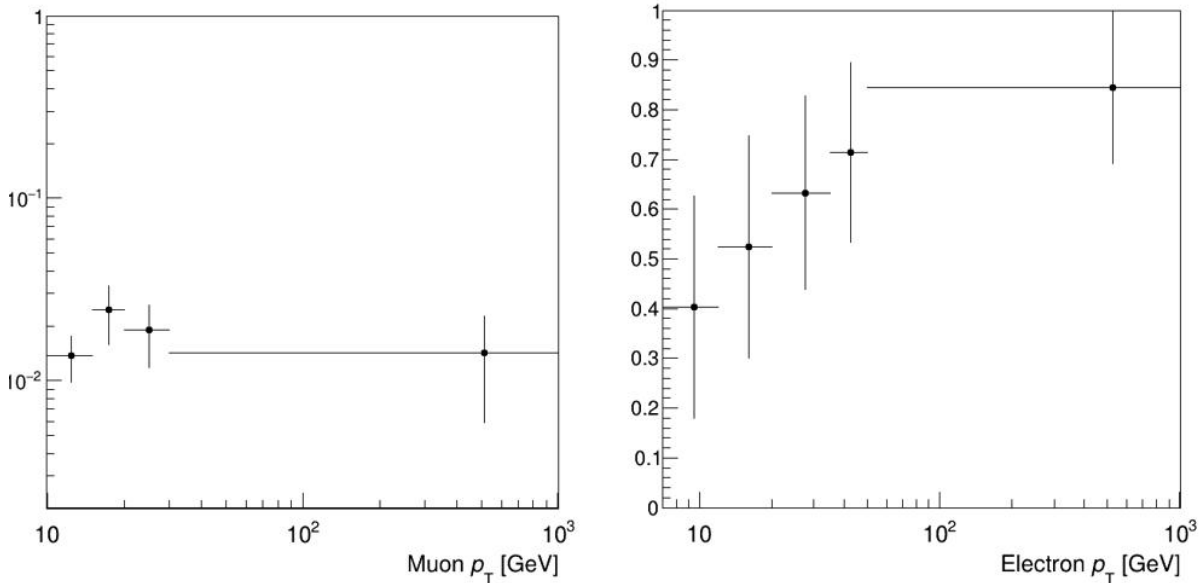
Tədqiqat işində tHq(bb) kanalında həqiqi olmayan lepton fonunu qiymətləndirmək üçün istifadə olunan məlumatlara əsaslanan Matris Metodunun (MM) yanaşması məqsəd kimi qoyulmuş əsas ideyanı qısa şəkildə təsvir edir. Metodun ətraflı təsviri [4] və [5] ədəbiyyatlarında verilmişdir. Qeyd olunan ədəbiyyatlarda həqiqi və həqiqi olmayan effektivliklərin ekstrapolyasiyası üçün istifadə olunan metodu, həmçinin “Şablon Metodu”ndan istifadə edərək çevik olmayan fonu qiymətləndirmək üçün alternativ cəhd kimi təsvir olunur.

Matris metodu çevik və həqiqi olmayan elektronların/müonların müəyyən olunması, izolyasiya və təsir parametirlərinin tələblərinə fərqli reaksiya göstərməsinə əsaslanır. Göstərilən metod, ilkin seçim bölgəsində olduğu kimi, eyni meyarlarla seçilmiş məlum hadisələrdən istifadə edir. Yüngül leptonların təyini üçün göstərilən faktorlar müəyyən edilmiş “sərbəst yüngül leptonların” seçilməsi üçün fərqlidir. Nominal seçim kəsiklərindən keçən leptonlar sıx leptonlar, daha boş meyarlardan keçən leptonlar boş leptonlar kimi qeyd olunur.

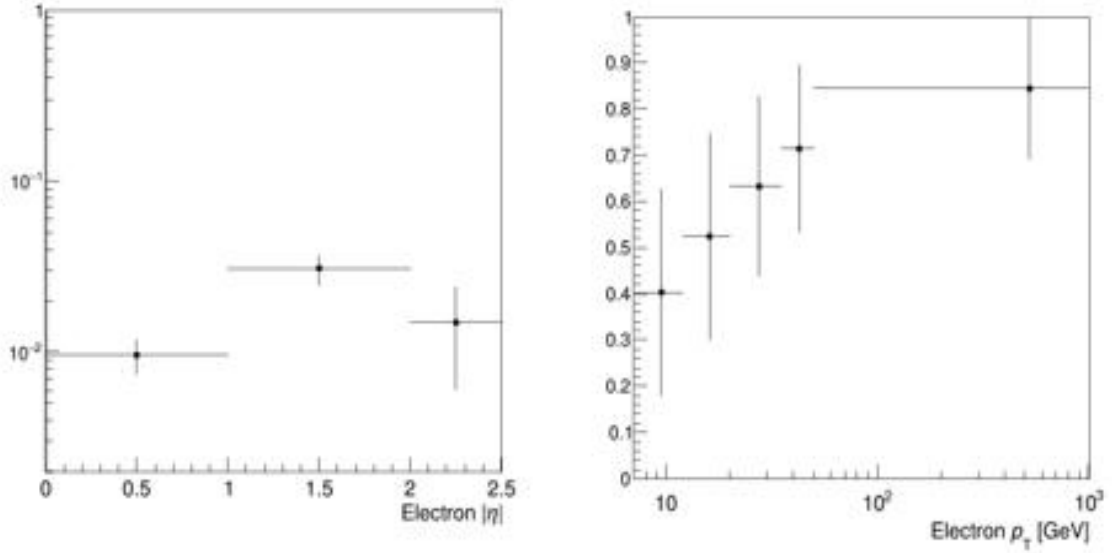
Elektronlar və müonlar üçün həqiqi olmayan və çevik effektivliyi həqiqi olmayan, real elektron və yaxud müonun üçün elektron/müon tələblərini keçmə ehtimalları kimi müəyyən edilir. Həqiqi və həqiqi olmayan leptonlarla zənginləşdirilmiş xüsusi nəzarət bölgələrində ölçülür. Həm həqiqi olmayan, həm də real effektivlik  $pT$  və  $|\eta|$ -da şəkil 1-4-də göstəriləndiyi kimi, müvafiq elektron və ya muon üçün parametrləşdirilir. Həqiqi olmayan idarəetmə bölgəsi kifayət qədər böyük statistikani saxlamaqla kinematik və fon tərkibi baxımından II siqnal bölgəsini təmsil etmək üçün nəzərdə

tutulmuşdur.  $1/ SR$ -yə ortoqonallıq  $E_T^{miss} < 20 GeV$  tələbinin əsas hadisələrdə həyata keçirilir. Həqiqi olmayan artımlarda potensial olaraq böyük dəyişikliklərin qarşısını almaq üçün bunun əvəzinə ən azı 3  $b$  işarəli şırnaq tələbi saxlanılır. Lepton kinematikasından asılı olaraq həqiqi olmayan ehtimalı əldə etmək üçün effektivliklər  $pT$  və  $|\eta|$  əsasında faktorlaşdırılmışdır. Həqiqi nəzarət zonası  $Z$ +şırnaq hadisələri ilə gücləndirilmişdir. Ehtimal olunur ki, göstərilmiş iki lepton həqiqi leptonlardır.  $b$  işarəli şırnaqlar üçün göstərilən tələbdən istifadə olunur və effektivliklər  $pT$  və  $|\eta|$  faktorlaşdırılıb və  $b$  işarəli şırnaqların sayı verilmişdir. Həm elektronlar, həm də müonlar üçün bu analizin  $pT$  diapazonunda real effektivlikləri 70%-dən yüksəkdir. Həqiqi olmayan effektivlik 10-30% intervalında dəyişir (şəkil 1-5). Alternativ həqiqi olmayan effektivliklər 2SS nəzarət bölgəsində təxmin olunur. Şəkil 4 və 5-də uyğun ədəbiyyatlar göstərilmişdir. Bunlar nominal həqiqi olmayan qiymətləndirmədə sistematik qeyri-müəyyənliyi qiymətləndirmək üçün istifadə olunur.

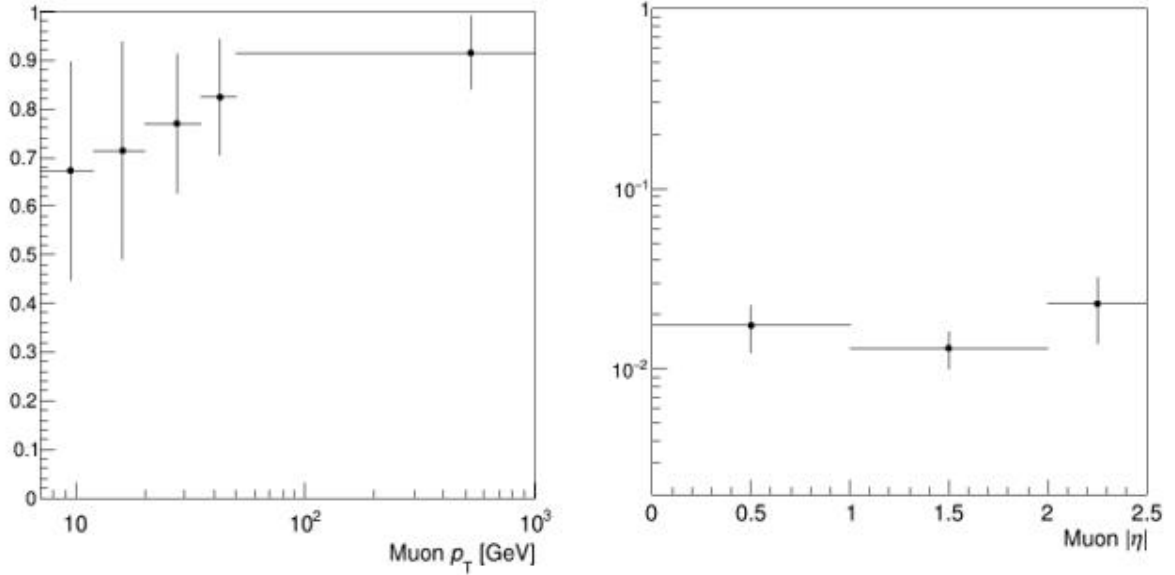
Şablon metodundan istifadə edərək Matris Metodunun nəticələrinin çarpaz yoxlanması həyata keçirilmişdir. Şablon metodu yalnız həqiqi olmayan, zənginləşdirilmiş nümunə ilə ən azı 50% həqiqi olmayan leptonların payı ilə istifadə edilə bilər. Məlum oldu ki, 1L kanalda belə nümunə seçmək mümkün deyil. Həqiqi olmayan lepton fraksiyasını zənginləşdirmək üçün optimal dəyişən eninə kütlədir (şəkil 6). Göründüyü kimi, həqiqi olmayan fraksiya kiçik  $E_T^{miss}$  qiymətlərindən çox aşağıdır.  $E_T^{miss} < 20 GeV$  və  $E_T^{miss} < 30 GeV$  və  $E_T^{miss} < 50 GeV$  kəsikləri ilə iki həqiqi olmayan zənginləşdirilmiş nəzarət zonası seçilmişdir. Beləliklə, belə nəticəyə gəlmək olar ki, 1L kanalı üçün şablon metodunu tətbiq etmək mümkün deyil.



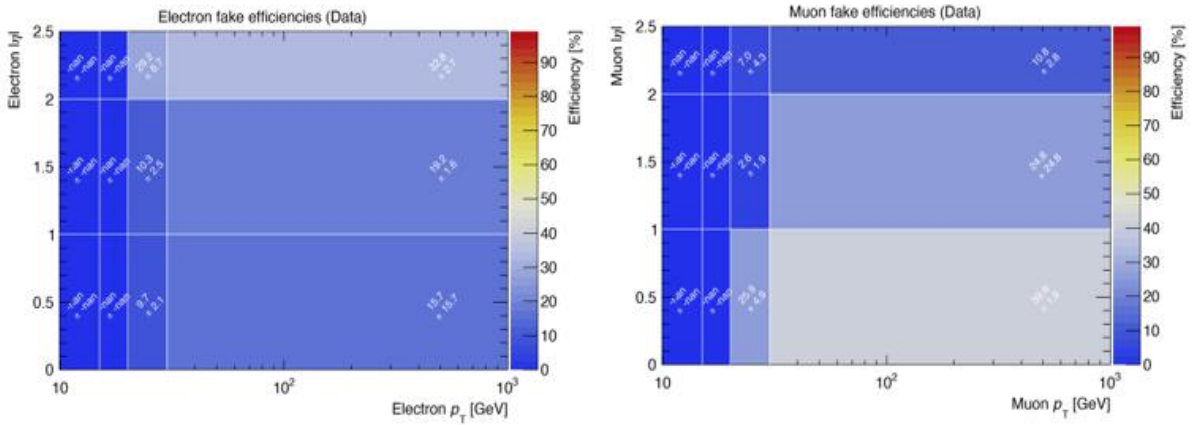
Şəkil 1. Verilmiş məlumatlardan ölçülən elektron (solda) və müonun (sağda) real effektivlikləri.



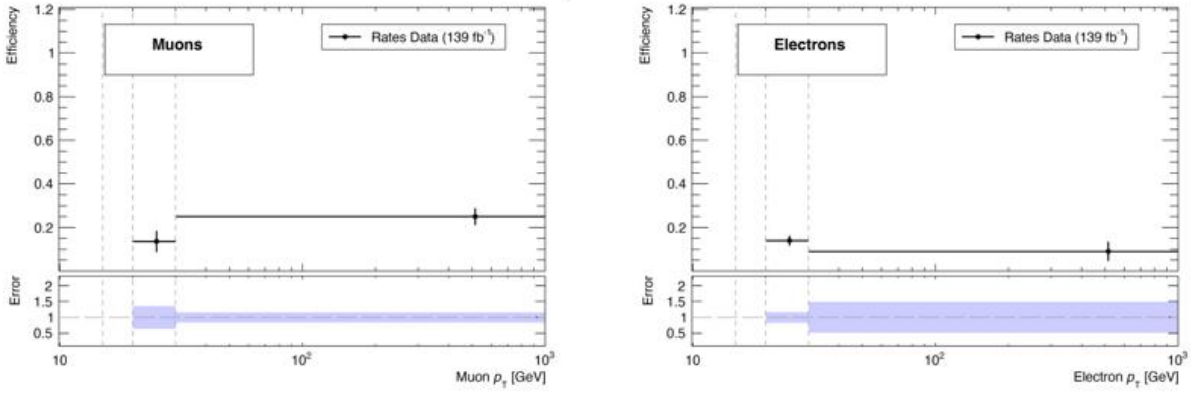
Şəkil 2. Verilmiş məlumatlardan ölçülən elektron (solda) və müonun (sağda) real effektivlikləri.



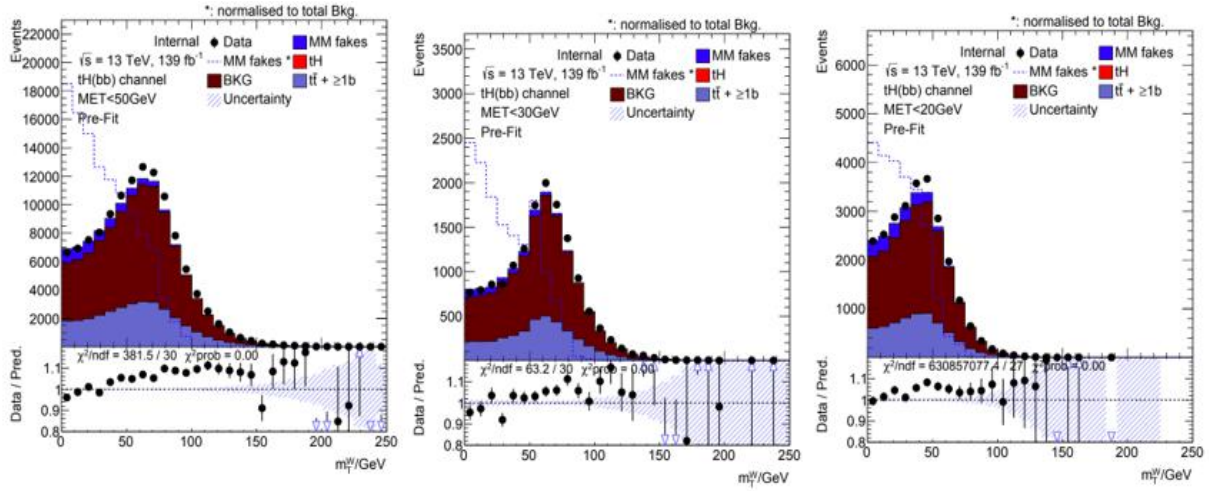
Şəkil 3. Verilmiş məlumatlardan ölçülən elektron (solda) və müonun (sağda) real effektivlikləri.



Şəkil 4. Elektron (solda) və müon (sağda) yüklənmiş leptonun  $p_T$  funksiyası kimi verilənlərə əsasən ölçülən həqiqi olmayan effektivliklər.



Şəkil 5. Elektron (solda) və muon (sağda) yüklənmiş leptonun  $p_T$  funksiyası kimi verilənlərə əsasən ölçülən həqiqi olmayan effektivliklər.



Şəkil 6.  $E_T^{miss} < (50\text{GeV}, 30\text{GeV}, 20\text{GeV})$   $E_T^W$  paylanmasında həqiqi olmayan CR axtarılması.

Cədvəl 1.

Həqiqi olmayan leptonların paylanmasının.

	SR	MET < 20GeV	MET < 30GeV	MET < 50GeV
$tH$	$7.4 \pm 0.4$	$4.73 \pm 0.33$	$2.22 \pm 0.23$	$11.0 \pm 0.5$
BKG	$17250 \pm 50$	$33990 \pm 70$	$16170 \pm 50$	$76980 \pm 110$
$tt + \geq 1b$	$13720 \pm 50$	$13720 \pm 50$	$6479 \pm 33$	$31750 \pm 70$
MM fakes	$1783 \pm 34$	$3430 \pm 50$	$1794 \pm 34$	$6290 \pm 70$
Total	$25700 \pm 70$	$51140 \pm 100$	$24400 \pm 70$	$115020 \pm 150$
Data	26786	53453	25449	120263

Nəticələr cədvəl 1-də ümumiləşdirilmişdir. Həqiqi olmayan leptonların fraksiyaları müvafiq olaraq 6.6% və 4.4% təşkil edir. Beləliklə, belə nəticəyə gəl-

mək olar ki, 1L kanalı üçün şablon metodunu tətbiq etmək mümkün deyil.

[1] *I.R. Boyko, N.A. Huseynov and O. A. Koval.* Monte Carlo study of associated Higgs Boson production with a single top quark, *Physics of Atomic Nuclei*, 2022, Vol. 85, No. 2, p.167–175.  
ATLAS Collaboration, ATLAS-CONF-2014-058, September 30, 2014,

[2] Estimation of non-prompt and fake lepton backgrounds in final states with top quarks produced in proton-proton collisions at  $\sqrt{s}=8$  TeV with the ATLAS detector., *Phys. Lett. B* 716, 1, 2012.  
[3] *M. Aaboud, O. Abidinov and et. al.* Electron reconstruction and identification in the ATLAS experiment using the 2015 and 2016 LHC proton-proton collision data at

- $\sqrt{s} = 13$  TeV, *The European Physical Journal C* volume 79, Article number: 639, 2019.
- [4] *Varnes, Erich W.* A Poisson likelihood approach to fake lepton estimation with the matrix method, arXiv:1606.06817, 2016, p.1-24.
- [5] *Thomas P.S. Gillam and Christopher G., Lester.* Improving estimates of the number of 'fake' leptons and other mis-reconstructed objects in hadron collider event JHEP11(2014) 031.
- [6] The ATLAS collaboration. *Aad, G., Abbott, B. et al.* Search for supersymmetry at  $s^{\sqrt{}} = 8$  TeV in final states with jets and two same-sign leptons or three leptons with the ATLAS detector. *J.High Energ. Phys.* 2014, 35 (2014).
- [7] *G. Aad et al.*(ATLAS Collab.), ATLAS-COM-PHYS-2022-645, 2022.

**Nazim A. Huseynov**

**ESTIMATION OF MISIDENTIFIED OF LIGHT LEPTONS USING ONE LEPTON EFFICIENCY MAP FOR MATRIX METHOD**

This paper describes the basic idea behind the Matrix Method (MM), the data-driven approach used to estimate the fake lepton background in the  $tHq(bb)$  channel. Novelty of research consists the use of new efficiency maps calculated for one lepton in the final state in semileptonic decay mode of top quark. The method relies on a different response of the prompt and fake electrons/muons to identification, isolation and impact parameter requirements. The method uses data events selected with the same criteria as in the pre-selection region, but with looser light-lepton selections. The leptons passing the nominal selection cuts are referred to as tight leptons in the following, while leptons passing the looser criteria are denoted as loose leptons. The fake and prompt efficiencies for electrons and muons are defined as the probabilities of a fake or real electron or muon to pass the nominal electron/muon requirements and are measured in dedicated control regions enriched in real and fake leptons. Both fake and real efficiencies are parametrised in  $p_T$  и  $|\eta|$  of the respective electron or muon.

**Назим А. Гусейнов**

**ВЫЧИСЛЕНИЕ ОШИБОЧНО ИДЕНТИФИЦИРОВАННЫХ ЛЕПТОНОВ МАТРИЧНЫМ МЕТОДОМ**

В данной статье описывается основная идея матричного метода (ММ) основанного на подходе извлечения из реальных данных, который используется для оценки фальшивого лептонного фона в канале  $tHq(bb)$ . Новизна данного исследования в использование новых карт эффективности рассчитанных для одного лептона в конечном состоянии распада топ кварка. Метод основан на различном отклике мгновенных и ложных электронов/мюонов на требования к идентификации, изоляции и прицельным параметрам. Метод использует события данных, выбранные с теми же критериями, что и в области предварительного выбора, но с более слабым выбором лёгких лептонов. Лептоны, прошедшие номинальные разрезы отбора, в дальнейшем называются плотными лептонами, а лептоны, прошедшие более слабые критерии, обозначаются как свободные лептоны. Фальшивая и мгновенная эффективность для электронов и мюонов определяется как вероятность того, что ложный или настоящий электрон или мюон пройдёт номинальные требования к электронам/мюонам, и измеряется в специальных контрольных областях, обогащённых реальными и ложными лептонами. Как фиктивная, так и реальная эффективность параметризуются в  $p_T$  и  $|\eta|$  соответствующего электрона или мюона.

*Qəbul olunma tarixi: 31.01.2023*