

## Z= 122 İzotoplarının Alfa Bozunum Zincirleri ve Kendiliğinden Fisyon Yarı-Ömür Hesapları

### *Alpha Decay Chains and Spontaneous Fission Half-Life Calculations of Z=122 Isotopes*

Fahrettin KOYUNCU\*<sup>1,2,a</sup>, Asım SOYLU<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Gölhisar Sağlık Hizmetleri MYO, Optisyenlik Programı, 15400, Gölhisar Burdur

<sup>2</sup>Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 51200, Niğde

• Geliş tarihi / Received: 26.06.2019

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 06.12.2019

• Kabul tarihi / Accepted: 16.12.2019

#### Öz

Bu çalışmada Z=122 çekirdeğinin izotoplarının alfa bozunum zincirleri incelenmiş ve kendiliğinden fisyon yarı-ömürleri için hesaplamalar yapılmıştır. Kendiliğinden fisyon yarı-ömür sürelerini tahmin etmede oldukça yakın bir zaman önce Soylu (2019) tarafından önerilen yeni eşitlikten faydalanılmıştır. Baskın bozunum modlarını belirleyebilmek amacıyla aynı izotoplar için alfa bozunum yarılanma süreleri üzerine hesaplamalarda yapılmıştır. Alfa bozunum hesapları için New RENA ve New RENB eşitlikleri kullanılmıştır. Böylece kendiliğinden fisyon yapması muhtemel olan çekirdekler belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar, henüz deneysel veri olmadığı için Xu formülünün sonuçlarıyla kıyaslanmıştır ve Soylu formülü ile elde edilen sonuçların Xu'nun sonuçları ile davranış benzerliği gösterdiği saptanmıştır. Bu çalışmada kendiliğinden fisyon ve alfa bozunması için elde edilen yarı ömürler gelecekteki deneysel çalışmalara rehberlik edebilir. Hesaplamalarda Python 2.7 programla dili Spyder 2.0 ara yüzüyle beraber kullanılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Alfa Bozunumu, Kendiliğinden Fisyon, Yarı-ömür

#### Abstract

In this study, alpha decay chains of Z=122 nucleus isotopes have been investigated and calculations have been done for the spontaneous fission half-lives. To estimate the spontaneous fission half-lives, it has been utilized from very recently proposed new equality by Soylu (2019). In order to determine the dominant decay modes, calculations on alpha decay half-lives have been done for the same isotopes. For the alpha decay calculations New REN A and New REN B equations have been used. Thus, probable nuclei which are spontaneous fission candidates have been tried to be determined. The obtained results have been compared with results of Xu formula since there is no experimental data yet and it was found that the results obtained with the formula of Soylu showed similar behaviour with the results of Xu. Obtained half-lives in this study for spontaneous fission and alpha decay can guide the future experimental studies. In the calculations Python 2.7 programming language is used with the Spyder 2.0 interface.

**Keywords:** Alpha Decay, Spontaneous Fission, Half-life

\*<sup>a</sup> Fahrettin KOYUNCU; fahretinkoyuncu85@gmail.com, Tel: (0537) 604 02 85, orcid.org/0000-0001-7436-733X

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-4556-7200

## 1. Giriş

Kendiliğinden fisyon (KF) olayı 1930'lu yılların sonlarından beri deneysel ve teorik çalışmalara konu ola gelmiştir. KF yapan bir çekirdek, iki büyük yeni çekirdek ve birkaç nötron salınımına neden olur. Dolayısıyla alfa bozunumunda daha karmaşık bir yapıya sahiptir. KF ilk kez [Bohr ve Wheeler \(1939\)](#) tarafından ortaya atılmış ve bundan çok kısa bir zaman sonra deneysel olarak gözlemlenmiştir ([Flerov ve Petrjak, 1940](#)). Daha sonraki yıllarda,  $^{238}\text{U}$  çekirdeğinden farklı atomlarında KF yaptığı deneysel çalışmalar ile doğrulanmıştır ([Oganessian vd., 2005, 2006](#); [Peterson vd., 2006](#); [Dvorak vd., 2006](#); [Gregorich vd., 2006](#); [Belier vd., 2018](#)). Literatürde alfa ve küme bozunumlarının yarı-ömürlerini tayin etmek için ortaya atılmış farklı formüllerin yanı sıra KF yarı-ömürlerinin hesaplanması için de eşitlikler geliştirilmiştir ve halen bu türden teorik çalışmalara devam edilmektedir ([Viola ve Seaborg, 1966](#); [Qi vd. 2009](#); [Poenaru vd., 2011](#); [Bao vd. 2015](#); [Xu vd. 2008](#)). KF yarı-ömür hesaplamalarını yapmak için kullanılan eşitliklerden bir tanesi [Swiatecki \(1955\)](#) tarafından önerilen yarı-deneysel eşitliktir. Daha sonraki yıllarda Swiatecki'nin formülünü temel alan ve yeni parametreler ile donatılmış bir eşitlik [Ren ve Xu, \(2005\)](#) ve [Xu ve Ren, \(2005\)](#) tarafından literatüre kazandırılmıştır. [Xu ve Ren \(2005\)](#) çalışmalarında geliştirdikleri formül ile  $Z \geq 90$  çekirdekler için KF yarı-ömür hesabı yapmışlardır. Bir diğer eşitlik ise [Xu vd. \(2008\)](#) tarafından önerilmiştir. Geliştirdikleri yeni eşitlik ile [Xu vd. \(2008\)](#)  $Z = 90 - 114$  arasındaki çekirdeklerin KF yarı-ömürleri deneysel verilere uygun bir şekilde üretilmiştir. Beş parametrelili ve dört değişkenli bir yarı-deneysel formül [Santosh vd. \(2010\)](#)'nin çalışmasında ortaya koyulmuştur. Bu çalışmada  $Z = 90 - 114$  çekirdekler için elde edilmiş sonuçların diğer eşitlikler ile karşılaştırmalı sonuçları verilmiştir. [Santosh vd. \(2010\)](#)'nin çalışmasında belirtildiği üzere elde edilen standart sapma değerleri [Ren ve Xu \(2005\)](#), [Xu vd. \(2008\)](#) için sırasıyla 2.853711 ve 1.27461'dir. [Santosh vd. \(2010\)](#)'nin önerdikleri yeni formül ile elde ettikleri standart sapma sonucu ise 1.427353 olarak not edilmiştir. Oldukça yakın bir zaman önce [Xu vd. \(2008\)](#)'nin çalışmasından yola çıkan [Soylu \(2019\)](#) yeni bir fonksiyon (Buradan itibaren Soylu formülü) önermiş ve karşılaştırmalı sonuçlar üretebilmek amacı ile proton sayısı  $Z = 90 - 114$  arasında olan çekirdeklere uygulamıştır. Elde edilen standart sapma sonuçları çalışmada [Xu vd. \(2008\)](#) (Buradan itibaren Xu formülü) için 1.27 olarak not edilirken Soylu formülü ile bu değer 1.22'ye

kadar çekilmiştir. Görüldüğü üzere deneysel verilere en yakın sonuçları elde etmek amacı ile literatüre kazandırılan eşitliklerin sayıları gün geçtikçe zenginlik kazanmaya devam etmektedir. Literatürde yukarıda bahsi geçen eşitlikler kullanılarak farklı çekirdekler ve izotopları için elde edilmiş sonuçlar da bulunmaktadır. [Manjunatha \(2016a, b\)](#) yaptığı iki çalışmada  $Z=122$  ve  $Z=124$  çekirdekleri için KF ve alfa bozunum yarı-ömürlerini hesaplayarak baskın modları elde etmeye çalışmıştır. [Manjunatha \(2016a, b\)](#) KF yarı-ömürlerini hesaplamak amacı ile Xu eşitliğinden faydalanmıştır. [Santosh ve Nithya \(2016a\)](#) çalışmasında ise  $Z=121$  çekirdeğinin izotopları için KF ve alfa yarı-ömür hesapları bunlarla birlikte baskın bozunum modları bulunabilir. Bahsi geçen çalışmada [Santosh ve Nithya \(2016a\)](#) KF yarı-ömür sürelerinin hesabında Xu'nun formülünden faydalanmışlardır. [Pahlavani ve Joharifard \(2018, 2019\)](#)  $^{280}\text{Ds}$ ,  $^{282}\text{Cn}$ ,  $^{284}\text{Cn}$  ve  $^{284}\text{Fl}$  çekirdeklerinin KF hesaplarını izotopik ürün usulü ile incelemişler ve bu çekirdeklerin farklı fisyon türlerini göz önüne alarak muhtemel KF yarı-ömürlerini hesaplamışlardır.

Bu çalışmada,  $Z=122$  çekirdeğinin farklı izotopları için öncelikle alfa-bozunum zincir hesapları yapılmıştır. Alfa bozunum hesapları için New REN A ve New REN B eşitlikleri kullanılmıştır ([Akrawy vd., 2019](#)). Alfa bozunum zinciri hesabı yapılan her bir çekirdek için KF hesabı da yapılmıştır. KF yarı-ömür tahminlerini elde etmek maksadı ile Soylu formülünden faydalanılmıştır. KF için elde edilen tahmini veriler Xu formülünden elde edilmiş sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Böylelikle KF için geliştirilmiş iki formül arasında kıyas yapma imkânı elde edilmiştir. Bu çalışmada ki esas amaçlardan birisi muhtemel KF aday çekirdeklerin tespit edilmesidir. Aynı zamanda elde edilen sonuçlar sadece Xu formülünden elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmamış, literatürdeki diğer çalışmalarda verilen muhtemel KF aday çekirdekler de göz önünde bulundurulmuştur. Henüz deneysel verileri bulunmayan  $Z=122$  izotopları için karşılaştırmalı yeni sonuçların türetilmesi ise muhtemel deneysel çalışmalar için yol gösterici nitelikte olabilir. Hesaplamalar için gerekli olan kodların yazılmasında programlama dili olarak Python 2.7, Spyder 2.0 ara yüzüyle beraber kullanılmıştır.

## 2. Gereç ve Yöntem

Bu bölümde KF ve alfa bozunumu yarı-ömür tahminlerini elde etmede kullanılan eşitlikler

verilmiştir. Alfa bozunum yarı ömürleri için; New Ren A ve New Ren B olmak üzere 2 eşitlik kullanılmıştır. KF için ise Soylu formülü kullanılmıştır.

### 2.1. Alfa Bozunum Yarı-ömürlerini Hesaplama Kullanılan Eşitlikler

Alfa bozunum yarı-ömür hesaplamalarında faydalanılan eşitliklerden ilk ikisi New Ren A ve New Ren B olarak bilinen eşitliklerdir. Bunlar Akrawy vd. (2019) tarafından önerilmiştir ve sırasıyla (1) ve (2) şeklinde verilirler.

$$\text{Log}_{10}T_{1/2}^{NRA} = a\sqrt{\mu}Z_1Z_2Q^{-1/2} + b\sqrt{\mu Z_1Z_2} + c + dl + el^2 \quad (1)$$

$$\text{Log}_{10}T_{1/2}^{NRB} = a\sqrt{\mu}Z_1Z_2Q^{-1/2} + b\sqrt{\mu Z_1Z_2} + c + dl + el^2 + f[l(l + 1)] \quad (2)$$

**Tablo 1.** Sırasıyla New Ren A ve New Ren B eşitliklerinin katsayıları (Akrawy vd. 2019)

Çekirdek	a	b	c	d	e	f
Çift-Çift	0.41107	-1.44914	-14.87085	13.38618	-61.47107	
Çift-Tek	0.42795	-1.51802	-12.85355	-29.91325	134.38603	
Tek-Çift	0.45247	-1.36567	-20.43095	-2.84063	-12.84442	
Tek-Tek	0.42803	-1.49781	-14.45798	-8.51460	45.74770	
Tüm Ç.	0.40770	-1.41510	-14.63758	2.57405	-6.83752	
Çift-Çift	0.41107	-1.44914	-14.87085	13.38618	-61.47107	0
Çift-Tek	0.44145	-1.42068	-16.59713	-27.68464	91.70405	0.07947
Tek-Çift	0.44660	-1.32208	-21.09761	-1.64226	-17.02692	0.07767
Tek-Tek	0.43323	-1.40527	-17.13866	-7.66291	22.26925	0.06902
Tüm Ç.	0.41740	-1.35824	-16.86728	0.07916	-16.24873	0.09441

### 2.2. Kendiliğinden Fisyon Yarı-ömürlerini Hesaplama Kullanılan Eşitlikler

Kendiliğinden fisyon hesaplamalarında kullanılan eşitlik Soylu (2019) tarafından önerilmiştir ve (3) ile verilir.

$$T_{1/2}^{KF} = e^{2\pi[aA + bA^{2/3} + cZ(Z-1)/A^{1/3} + d(N-Z)^2/A + eZ^4 + f]} \quad (3)$$

Soylu eşitliği Xu vd. (2008) tarafından önerilen eşitliği temel almaktadır. Xu'nun eşitliğindeki Q değişkenine bağımlılık Soylu (2019) tarafından ortadan kaldırılmıştır. Ancak Soylu'nun eşitliğine ek olarak getirilen e ve f parametreleri Coulomb teriminden gelecek yüksek dereceli katkılar ve diğer ek katkıları hesaba katmak için eklenmiştir. Yukarıda verilen eşitlikler kullanılarak Z=122 izotoplarının alfa bozunum zincirleri, KF yarı-ömürleri ve baskın modlar hesaplanmıştır.

Burada  $\mu$  indirgenmiş kütedir ve etkileşime giren çekirdekler cinsinden  $(A_1 \cdot A_2)/(A_1 + A_2)$  ile verilir. Q bozunum enerjisi,  $Z_i$  çekirdeklerin proton sayısı,  $(I=(N-Z)/A)$  olmak üzere nükleer izospin asimetrisi, l ise açısal momentumu temsil etmektedir. İki eşitlik arasındaki temel fark açısal momentum terimi ve katsayılarıdır. Her iki eşitliğin katsayıları Tablo 1'de verilmiştir.

Denklemler 1 ve 2'de görüldüğü üzere bu eşitlikler hem nükleer izospin asimetri hem de açısal momentum etkilerini içermektedir. Bu çalışmada ilgili reaksiyonlar için açısal momentum transferi göz önüne alınmamıştır.

Burada A ve Z çekirdeğin kütle ve atom numarasıdır, bu eşitlik yıl mertebesinde ve katsayılarısa  $a = -10.0987592959$ ,  $b = 119.319858732$ ,  $c = -0.516609881059$ ,  $d = -9.52538327068$ ,  $e = 1.92155604207E-6$ , ve  $f = -1496.05967574$  ile verilir (Soylu, 2019).

### 3. Bulgular

<sup>307-314</sup>122 izotoplarının alfa bozunum zincirleri için New REN A ve New REN B formülleri kullanılmıştır ayrıca bozunum zincirindeki her bir çekirdek için KF hesabı Soylu formülü ile yapılmıştır. Böylece çekirdekler için baskın olan bozunum modları belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Alfa bozunum yarılanma sürelerini hesaplamakta

kullanılan iki eşitlikte nükleer izospin asimetri etkilerini hesaba katarken, New RENB eşitliği açışal momentum terimini de içermektedir. Fakat yapılan hesaplamalarda herhangi bir açışal

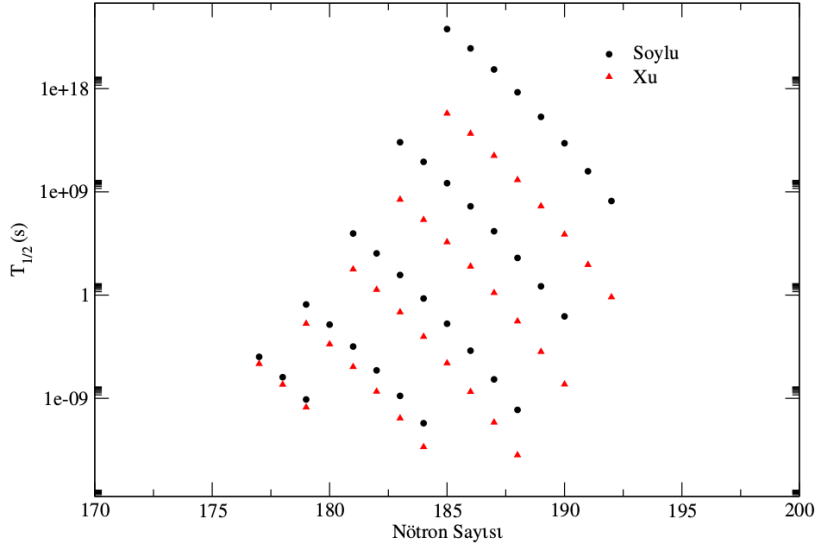
momentum transferi göz önüne alınmamıştır. Katsayılar açısından farklılık gösteren her iki eşitlik ile alfa bozunum yarı-ömürleri için oldukça yakın sonuçlar üretilmiştir.

**Tablo 2.** Z=122 izotopları için alfa bozunum zincirleri, Yarı-ömürler (s) mertebesindedir. [Xu ve Soylu \(2019\)](#) KF, New Ren A ve New Ren B ise alfa bozunumları için elde edilen yarılanma sürelerini temsil etmektedir. Xu ve  $Q_\alpha$  değerleri [Manjunatha \(2016\)](#) çalışmasından alınmıştır.

Çekirdek	$Q_\alpha$ MeV	Xu Formülü <i>Manjunatha (2016)</i>	Soylu Formülü $T_{1/2}(s)$ ( <i>Şu andaki çalışma</i> )	New REN A $T_{1/2}(s)$ ( <i>Şu andaki çalışma</i> )	New REN B $T_{1/2}(s)$ ( <i>Şu andaki çalışma</i> )	Bozunum modu
<sup>307</sup> 122	13.33	6.850E+15	1.546E+23	1.968E-05	1.490E-05	$\alpha 1$
<sup>303</sup> 120	12.71	2.160E+08	2.114E+13	1.075E-04	7.712E-05	$\alpha 2$
<sup>299</sup> 118	12.06	1.799E+02	2.341E+05	7.764E-04	5.306E-04	$\alpha 3$
<sup>295</sup> 116	11.36	3.244E-03	1.518E-01	8.703E-03	5.713E-03	$\alpha 4$
<sup>291</sup> 114	10.56	1.030E-06	4.183E-06	2.247E-01	1.442E-01	KF
<sup>308</sup> 122	13.21	1.210E+14	3.123E+21	3.426E-05	2.531E-05	$\alpha 1$
<sup>304</sup> 120	12.59	3.692E+06	4.160E+11	1.931E-04	1.352E-04	$\alpha 2$
<sup>300</sup> 118	11.95	2.987E+00	4.359E+03	1.374E-03	9.153E-04	$\alpha 3$
<sup>296</sup> 116	11.26	5.220E-05	2.674E-03	1.520E-02	9.714E-03	KF
<sup>292</sup> 114	10.47	1.610E-08	6.959E-08	3.893E-01	2.431E-01	KF
<sup>309</sup> 122	13.08	1.420E+12	4.671E+19	6.302E-05	4.549E-05	$\alpha 1$
<sup>305</sup> 120	12.47	4.195E+04	5.711E+09	3.497E-04	2.390E-04	$\alpha 2$
<sup>301</sup> 118	11.84	3.290E-02	5.647E+01	2.450E-03	1.591E-03	$\alpha 3$
<sup>297</sup> 116	11.15	5.570E-07	3.266E-05	2.830E-02	1.764E-02	KF
<sup>293</sup> 114	10.37	1.670E-10	8.007E-10	7.230E-01	4.399E-01	KF
<sup>310</sup> 122	12.95	1.100E+10	4.765E+17	1.170E-04	8.249E-05	$\alpha 1$
<sup>306</sup> 120	12.35	3.162E+02	5.486E+07	6.389E-04	4.262E-04	$\alpha 2$
<sup>302</sup> 118	11.72	2.400E-04	5.105E-01	4.648E-03	2.948E-03	KF/ $\alpha 3$
<sup>298</sup> 116	11.04	3.950E-09	2.776E-07	5.318E-02	3.234E-02	KF
<sup>311</sup> 122	12.82	5.683E+07	3.420E+15	2.191E-04	1.510E-04	$\alpha 1$
<sup>307</sup> 120	12.22	1.581E+00	3.699E+05	1.239E-03	8.083E-04	$\alpha 2$
<sup>303</sup> 118	11.59	1.170E-06	3.230E-03	9.407E-03	5.833E-03	KF
<sup>299</sup> 116	10.92	1.850E-11	1.646E-09	1.070E-01	6.356E-02	KF
<sup>312</sup> 122	12.69	1.945E+05	1.733E+13	4.143E-04	2.792E-04	$\alpha 1$
<sup>308</sup> 120	12.08	5.246E-03	1.755E+03	2.561E-03	1.635E-03	$\alpha 2$
<sup>304</sup> 118	11.46	3.750E-09	1.435E-05	1.926E-02	1.168E-02	KF
<sup>300</sup> 116	10.80	5.780E-14	6.837E-12	2.177E-01	1.264E-01	KF
<sup>313</sup> 122	12.55	4.416E+02	6.212E+10	8.319E-04	5.488E-04	$\alpha 1$
<sup>309</sup> 120	11.95	1.160E-05	5.881E+00	5.080E-03	3.172E-03	KF/ $\alpha 2$
<sup>305</sup> 118	11.33	8.000E-12	4.487E-08	3.993E-02	2.369E-02	KF
<sup>314</sup> 122	12.41	6.654E-01	1.581E+08	1.690E-03	1.092E-03	$\alpha 1$
<sup>310</sup> 120	11.81	1.690E-08	1.395E-02	1.076E-02	6.579E-03	KF/ $\alpha 2$
<sup>306</sup> 118	11.19	1.130E-14	9.908E-11	8.880E-02	5.164E-02	KF

KF için elde edilen yarı-ömürler Şekil 1'de bozunuma uğrayan çekirdeğin nötron sayısına göre verilmiştir. Sonuçlar arasında farklılık

olmasına rağmen her iki eşitliğin davranış benzerliği gösterdiği söylenebilir.



**Şekil 1.** Elde edilen KF yarılanma sürelerinin ana çekirdeğin nötron sayısına göre değişimi, Xu değerleri Manjunatha (2016)'dan alınmıştır.

#### 4. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada  $^{307-314}_{122}$  izotoplarının alfa bozunum zincirleri incelenmiştir. Oldukça kısa bir zaman önce literatüre kazandırılan Soylu formülü ise KF yarı-ömür sonuçlarının elde edilmesinde kullanılmıştır. Soylu eşitliği ile elde edilen yarı-ömürlerin Xu verilerine kıyasla daha büyük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bazı çekirdeklerde ( $^{302}_{118}$  ve  $^{309}_{120}$ ) baskın bozunum modunu belirlemede farklılıklar ortaya çıkmaktadır.  $^{302}_{118}$  için alfa yarılanma süresi  $10^{-3}$  mertebesindedir, KF için Xu ve Soylu eşitliklerinin sonuçları sırasıyla  $T_{1/2} (s) = 2.400E-04$ ,  $5.105E-01$ 'dir. Bu veriler ışığında  $^{302}_{118}$  çekirdeğinin farklı bozunum modlarına sahip olduğu görülmektedir. Yine bahsi geçen çekirdek için Santosh ve Priyanka (2014) KF yarılanma süresini  $5.217E-05$  s olarak vermişler ve hesaplamalarında Santosh vd. (2010) tarafından geliştirilen eşitliği (Eşitliğin modifiye edilmiş hali Santosh ve Nithya (2016b)) kullanmışlardır. Benzer bir durum  $^{309-310}_{120}$  çekirdekleri içinde söz konusudur. Diğer yandan Şekil 1 incelendiğinde Xu ve Soylu formüllerden elde edilen sonuçlarının davranış bakımından benzerlik gösterdiği söylenebilir. Xu eşitliği 4 parametrelidir ve Q değerine bağlı bir eşitlik iken Soylu formülünde parametre sayısı Xu'dan iki fazladır ancak denklemin Q değişkenine bağımlılığı ortadan kaldırılmıştır. İki eşitlik arasındaki benzerlik ise

Soylu'nun eşitliğinin Xu'nun formülünden geliştirilmiş olmasından kaynaklanabilir. Ayrıca yazarlar tarafından ortaya atılan eşitlikler farklı etkileri (Kabuk düzeltme faktörü, bozunum enerjisi, nükleer izospin asimetrisi, vb.) içerebilmektedir. Dolayısıyla sonuçlardaki çeşitliliğin sebeplerinden birisi olarak bunu saymak da mümkündür.

Alfa bozunum süreçleri incelendiğinde kullanılan her iki modelinde birbirine oldukça yakın sonuçlar ürettiği söylenebilir. Ayrıca alfa bozunması için New REN A ve New REN B elde edilen sonuçların, Manjunatha (2016a)'nın çalışmasında beş farklı yöntem ile elde edilen alfa bozunum sonuçlarından çok uzak değerlere sahip olmadığı görülmüştür. Bu nedenle New REN A eşitliğinin alfa bozunum süreçleri için kullanıma uygun olduğu söylenebilir. Ancak New REN B eşitliğinin bozunum süreçlerine uygunluğu açısal momentum transferi olan etkileşimlerin incelenmesi ile daha sarıh bir hale gelecektir. Tüm sonuçlar göz önüne alındığında  $^{291-292-293}_{114}$ ,  $^{296-297-298-299-300}_{116}$ ,  $^{303-304-305-306}_{118}$  çekirdeklerinin muhtemel KF yapmaya aday çekirdekler olduğu görülmektedir. Bu çekirdeklerin KF olasılığı Manjunatha (2016a) tarafından da doğrulanmaktadır. Ayrıca Naveya vd. (2018)'de  $^{296-298}_{116}$  ve  $^{304}_{118}$  çekirdeklerini muhtemel KF adayları olarak göstermişlerdir. Özetle söylenebilir ki, Soylu (2019) formülünün KF

hesaplamalarında kullanılabilirliği bir kez daha ortaya koyulmuştur.

### Teşekkür

Bu çalışma 118R028 numaralı TÜBİTAK projesi ile desteklenmiştir.

### Kaynaklar

- Akrawy, D.T., Hassanabadi, H., Qian, Y. ve Santhosh, K.P., 2019. Influence of nuclear isospin and angular momentum on  $\alpha$ -decay half-lives. *Nuclear Physics A*, 983, 310-320.
- Bao, X.J., Guo, S.Q., Zhang, H.F., Xing, Y.Z., Dong, J. M. ve Li, J.Q. 2015. Competition between  $\alpha$ -decay and spontaneous fission for superheavy nuclei. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 42(8), 085101.
- Bélier, G., Aupiais, J., Sibbens, G., Moens, A. ve Vanleeuw, D., 2018. High-precision spontaneous fission branching-ratio measurements for  $^{240,242}\text{Pu}$  and  $^{252}\text{Cf}$  isotopes. *Physical Review C*, 98(3), 034612.
- Bohr, N. ve Wheeler, J.A., 1939. The mechanism of nuclear fission. *Physical Review*, 56(5), 426-450.
- Dvorak, J., Bröchle, W., Chelnokov, M., Dressler, R., Düllmann, C.E., Eberhardt, K. ve Yeremin, A., (2006). Doubly magic nucleus (108) (270) Hs162. *Physical Review Letters*, 97(24), 242501.
- Flerov, G.N. ve Petrzhak, K. A. 1940. Spontaneous fission of uranium. *Physical Review*, 58:(89), 275-279.
- Gregorich, K.E., Gates, J.M., Düllmann, C.E., Sudowe, R., Nelson, S.L., Garcia, M.A., Dragojević, I., Folden, C.M., Neumann, S.H., Hoffman, D.C. ve Nitsche, H. 2006. New isotope  $^{264}\text{Sg}$  and decay properties of  $^{262-264}\text{Sg}$ . *Physical Review C*, 74(4), 044611.
- Manjunatha, H.C., 2016a. Theoretical prediction of probable isotopes of superheavy nuclei of  $Z = 122$ . *International Journal of Modern Physics E*, 25(11), 1650100.
- Manjunatha, H.C., 2016b. Comparison of alpha decay with fission for isotopes of superheavy nuclei  $Z = 124$ . *International Journal of Modern Physics E*, 25(09), 1650074.
- Naveya, G., Philominraj, S.I.A. ve Stephen, A., 2018. Study on alpha decay chains of  $Z = 122$  superheavy nuclei with deformation effects and Langer modification. arXiv preprint arXiv:1810.04421.
- Oganessian, Y.T., Utyonkov, V.K., Dmitriev, S.N., Lobanov, Y.V., Itkis, M.G., Polyakov, A.N. ve Loughheed, R.W., 2005. Synthesis of elements 115 and 113 in the reaction  $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$ . *Physical Review C*, 72(3), 034611.
- Oganessian, Y.T., Utyonkov, V.K., Lobanov, Y.V., Abdullin, F.S., Polyakov, A.N., Sagaidak, R.N. ve Loughheed, R.W., 2006. Synthesis of the isotopes of elements 118 and 116 in the  $^{249}\text{Cf}$  and  $^{245}\text{Cm} + ^{48}\text{Ca}$  fusion reactions. *Physical Review C*, 74(4), 044602.
- Pahlavani, M.R. ve Joharifard, M., 2018. Isotopic yield and half-lives for the spontaneous fission of  $^{280}\text{Ds}$  and  $^{282}\text{Cn}$ , superheavy nuclei. *The European Physical Journal A*, 54(10), 171.
- Pahlavani, M.R. ve Joharifard, M., 2019. Isotopic yield and half-life of spontaneous fission for  $^{284}\text{Cn}$  and  $^{284}\text{Fl}$  superheavy isobars using direct calculation and semiempirical formulas. *Physical Review C*, 99(4), 044601.
- Peterson, D., Back, B.B., Janssens, R.V.F., Khoo, T.L., Lister, C.J., Seweryniak, D. ve Tandel, U.S., 2006. Decay modes of  $^{250}\text{No}$ . *Physical Review C*, 74(1), 014316.
- Poenaru, D.N., Gherghescu, R.A. ve Greiner, W., 2011. Single universal curve for cluster radioactivities and  $\alpha$  decay. *Physical Review C*, 83(1), 014601.
- Qi, C., Xu, F.R., Liotta, R.J. ve Wyss, R. 2009. Universal decay law in charged-particle emission and exotic cluster radioactivity. *Physical Review Letters*, 103(7), 072501.
- Ren, Z. ve Xu, C., 2005. Spontaneous fission half-lives of heavy nuclei in ground state and in isomeric state. *Nuclear Physics A*, 759(1-2), 64-78.
- Santhosh, K.P., Biju, R.K. ve Sahadevan, S., 2010. Semi-empirical formula for spontaneous fission half life time. *Nuclear Physics A*, 832(3-4), 220-232.
- Santhosh, K.P., ve Nithya, C., 2016a. Predictions on the alpha decay chains of superheavy nuclei with  $Z = 121$  within the range  $290 \leq A \leq 339$ . *International Journal of Modern Physics E*, 25(10), 1650079.
- Santhosh, K.P., ve Nithya, C., 2016b. Theoretical studies on the modes of decay of superheavy nuclei. *Physical Review C*, 94(5), 054621.
- Santhosh, K.P. ve Priyanka, B., 2014. Heavy particle radioactivity from superheavy nuclei leading to  $^{298}114$  daughter nuclei. *Nuclear Physics A*, 929, 20-37.

- Soylu, A. 2019. Search for decay modes of heavy and superheavy nuclei. *Chinese Physics C*, 43(7), 074102.
- Swiatecki, W.J., 1955. Systematics of spontaneous fission half-lives. *Physical Review*, 100(3), 937.
- Viola Jr, V.E. ve Seaborg, G.T. 1966. Nuclear systematics of the heavy elements-II Lifetimes for alpha, beta and spontaneous fission decay. *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry*, 28(3), 741-761.
- Xu, C. ve Ren, Z., 2005. Systematical law of spontaneous fission half-lives of heavy nuclei. *Physical Review C*, 71(1), 014309.
- Xu, C., Ren, Z. ve Guo, Y. 2008. Competition between  $\alpha$  decay and spontaneous fission for heavy and superheavy nuclei. *Physical Review C*, 78(4), 044329.