



Açık Halka Rezonatörler Kullanılarak Üç Bantlı Mikroşerit Bant Durduran Filtre Tasarımı

Tri-Band Microstrip Bandstop Filter Design Using Open Loop Resonators

Ceyhun Karpuz¹, Murat Emür¹, Ahmet Özek¹, Ali Kürşad Görür²

¹ Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Pamukkale Üniversitesi

ckarpuz@pau.edu.tr, murat_emur@hotmail.com, ozek@pau.edu.tr

² Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi
agorur@pau.edu.tr

Özet

Bu bildiride açık halka rezonatörler kullanılarak üç bantlı bant durduran mikroşerit filtre tasarımı sunulmaktadır. Önerilen filtre yapısında iki tür açık halka rezonatör kullanılmakta olup, bunlardan birinde rezonatörün açık uçları iç tarafa doğru kıvrılarak farklı bir elektriksel uzunluğa sahip olması sağlanmakta, diğesinde ise geleneksel açık halka rezonatörün özelliklerinden faydalanılmaktadır. Kıvrımlı açık halka rezonatör vasıtasıyla birinci rezonans frekansının harmonik frekansı içe kıvrılan iletim hatları arasında oluşan kapasitif etkinin değişimiyle kontrol edilebilmektedir. Dolayısıyla kıvrımlı açık halka rezonatör vasıtasıyla iki bantlı filtre tasarımı gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca, tasarlanan rezonatörlerin giriş-çıkış portlarını birbirine bağlayan iletim hattının alt ve üst taraflarına kuplajlanması suretiyle üç bantlı mikroşerit bant durduran filtre tasarımı gerçekleştirilmektedir. Tasarlanan filtrenin durdurma bandları 1.25/1.79/2.48GHz merkez frekanslarına sahip olacak şekilde ayarlanmaktadır. Önerilen üç bantlı bant durduran filtre imal edilmiş olup ölçüm sonuçlarıyla simülasyon sonuçları arasında mükemmel bir uyum gözlemlenmiştir.

Abstract

In this letter, design of tri-band microstrip bandstop filter is presented by using open loop resonators. Two types of open loop resonators are used in the proposed filter topology, while the first type is constructed by meandering open ends of open loop resonator inwardly, the second one is formed as conventional open loop resonator. By means of the meandered open loop resonator, the first harmonic of the resonance frequency can be controlled by changing the capacitive effect between the meandered transmission lines. Thus, dual-band filter design may be achieved by using the meandered open loop resonator. Besides, tri-band microstrip bandstop filter design can be achieved by coupling the designed resonators to the upper and lower side of the main transmission line that connects the input and output ports. Center frequencies of the stopbands are adjusted as

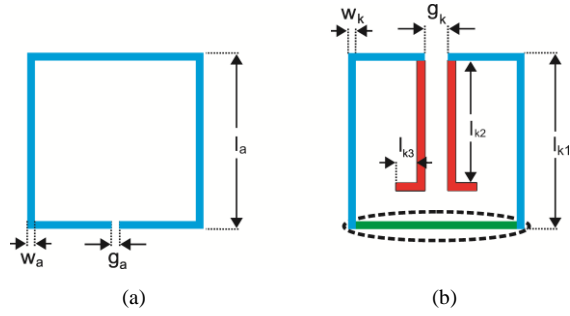
1.25/1.79/2.48GHz. Proposed tri-band microstrip bandstop filter has also been fabricated and measured results show a very good agreement with the simulated results.

1. Giriş

Mikrodalga filtreler, GSM (900MHz,1800MHz), WLAN (2.45GHz), WİMAX (3.5GHz) vb. kablosuz ve mobil haberleşme sistemlerindeki gelişmelerle beraber yoğun olarak kullanılmaktadır. Araya girme kaybı, kalite faktörü, seçicilik gibi farklı gereksinimlerden dolayı mikroşerit yapılar, dalga kılavuzları, dielektrik rezonatörler gibi çeşitli mikrodalga filtre türlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu filtre türlerinden mikroşerit filtreler diğerlerine göre ucuzluk ve minyatürizasyon açısından daha avantajlıdır. Minyatürizasyon ve çok fonksiyonlu bir devre elemanı özelliği taşımaları açısından çok bantlı filtreler farklı frekanslar üzerinde eş zamanlı olarak işlem yapabildiği için oldukça büyük bir öneme sahiptir.

Literatürdeki mikroşerit filtre tasarımları özellikle bant geçiren filtreler üzerine olup bant durduran filtre tasarımlarına nispeten daha az rastlanmaktadır. Çok bantlı filtre tasarımları ise birçok farklı metodla gerçekleştirilebilmekte olup bu filtre tasarım metodlarında basamak empedans tipi rezonatörler [1, 2], yan hat yüklü rezonatörler [3-5], çok modlu rezonatörler [6] sıklıkla kullanılmaktadır. Çok bantlı bant durduran filtre tasarımları ise özellikle iki bant yaklaşımlarıyla sınırlandırılmaktadır [7,8]. Bunun önemli bir sebebi özellikle üçüncü ve dördüncü bandın gerek filtreleme karakteristiği, gerek bant genişliği gerekse kaybı açısından arzu edilen özelliklere sahip olamamasıdır. Çok bantlı bant durduran filtre tasarımlarındaki önemli bir sorunda durdurma bantlarının birbirlerinden bağımsız olarak kontrol edilememeleridir. Bu sebeplerden dolayı üç ve dört bantlı bant durduran filtre tasarımlarına mikrodalga filtre literatüründe nadiren rastlanmaktadır [9-11].

Bu çalışmada geleneksel açık halka rezonatörler ve açık halka rezonatörlerin içe doğru kıvrılmasıyla oluşturulan kıvrımlı açık halka rezonatörler kullanılarak üç bantlı bant durduran filtre tasarımı yapılmaktadır. Bunun için öncelikle bir ve iki bantlı bant durduran filtre tasarımları önerilen rezonatör türleriyle ortaya koyulmaktadır. Diğer yandan, açık halka



Şekil 1: a) Geleneksel açık halka rezonatör konfigürasyonu ve b) kıvrımlı açık halka rezonatör konfigürasyonu

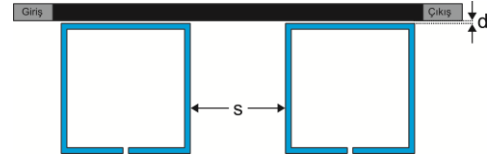
rezonatörün içe doğru kıvrılması birinci rezonans frekansının harmonik frekansının kontrol edilebilmesini sağladığı için iki durdurma bandı tek bir rezonatörden elde edilebilmektedir. Tasarlanan rezonatörlerin giriş-çıkış portlarını birbirine bağlayan iletim hattının alt ve üst taraflarına kuplajlanması suretiyle üç bantlı mikroserit bant durdurucu filtre tasarımı gerçekleştirilmektedir. Tasarlanan bant durdurucu filtrenin durdurma bantlarına ait merkez frekansları 1.25, 1.79 ve 2.48GHz olacak şekilde ayarlanmış ve imal edilmiştir. İmal edilen filtrenin ölçümleri ile simülasyon sonuçları arasında iyi bir uyum gözlenmiştir.

2. Açık Halka Rezonatörler

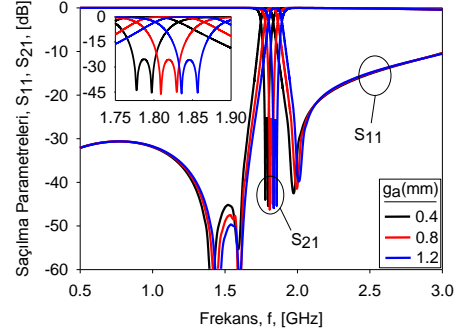
Geleneksel açık halka rezonatör (GAHR) yapısı Şekil 1' de gösterilmektedir. GAHR' nin rezonans frekansı GAHR' nin toplam elektriksel uzunluğu değiştirilerek kontrol edilebilmektedir. GAHR' nin toplam elektriksel uzunluğu değiştirilirken GAHR' nin ilk rezonans frekansıyla birlikte ilk rezonans frekansının harmonik frekansları da kayar. Şekil 1a'da gösterilen GAHR yapısı açık uçlarından içe doğru kıvrılarak Şekil 1b' de gösterilen kıvrımlı açık halka rezonatör (KAHR) yapısı oluşturulmaktadır. Bu yapıda içe doğru kıvrılan iletim hatları arasındaki kapasitansın değişimiyle birinci rezonans frekansının harmoniği bireysel olarak kontrol edilebilmektedir. Böylelikle KAHR yapısı sayesinde birbirlerinden bağımsız olarak kontrol edilebilen iki rezonans frekansı oluşturulabilmektedir. Bir başka deyişle, KAHR kullanılarak iki bantlı filtre tasarımı yapılabilmektedir. Ayrıca KAHR' nin birinci rezonans frekansı da Şekil 1b'de gösterilen KAHR' nin elips içerisinde belirtilen iletim hattının kapasitansının değiştirilmesiyle bireysel olarak kontrol edilebilmektedir.

3. Bant Durdurucu Filtre Tasarımları

Bu bölümde yukarıda tanıtılan rezonatörler ana besleme hattının üst, alt ve hem üst hem de alt bölgelerine yerleştirilerek sırasıyla bir, iki ve üç bantlı bant durdurucu filtreler tasarlanmaktadır. Tasarımlarda Tam Dalga Elektromanyetik Simülasyon [12] ve 1.27 mm kalınlığa, 10.2 bağıl dielektrik geçirgenliğe sahip RT/Duroid malzeme kullanılmaktadır. Şekil 1'de gösterilen rezonatörlere ait boyutlar, $w_a=0.4$ mm, $l_a=9.2$ mm, $g_k=1.2$ mm, $w_k=0.4$ mm, $l_{k1}=9.2$ mm, $l_{k2}=6.4$ mm, $l_{k3}=1.5$ mm'dir. Şekil 1a'da gösterilen GAHR' nin açık uçları arasındaki boşluk uzunluğu g_a ise rezonans frekansına etki ettiği için farklı değerlerine dair incelemeler ilerleyen bölümlerde yapılmaktadır.



Şekil 2: GAHR kullanılarak oluşturulan bir bantlı bant durdurucu filtre yapısı



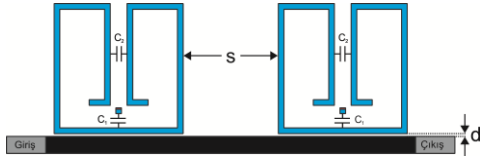
Şekil 3: GAHR'nin açık uçları arasındaki boşluk uzunluğunun değişiminin tasarlanan bir bantlı bant durdurucu filtrenin saçılma parametreleri üzerine etkisi

3.1. Bir Bant Bant Durdurucu Filtre Tasarımı

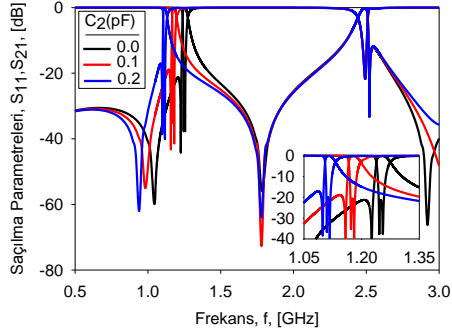
Yukarıda tanıtılan GAHR' den faydalanılarak bir bantlı bant durdurucu filtre tasarlanabilmektedir. Tasarlanan filtre yapısı Şekil 2'de gösterilmektedir. Bu çalışma kapsamında tasarlanan filtrelerin durdurma bantlarında iki kutup elde edip buna bağlı olarak frekans seçiciliğini artırmak için filtrenin simetri ekseninin sol ve sağ taraflarına özdeş rezonatörler yerleştirilmektedir. 2. bölümde de bahsedildiği gibi GAHR' nin açık uçları arasındaki boşluk uzunluğu değiştirilerek tasarlanan tek bantlı filtre yapısının merkez frekansı kontrol edilebilmektedir. Şekil 3' de GAHR'nin açık uçları arasındaki boşluk uzunluğunun değişiminin tasarlanan bir bantlı bant durdurucu filtrenin saçılma parametreleri üzerine etkisi gösterilmektedir. Tasarlanan filtrelerde $d=0.2$ mm ve $s=6.8$ mm'dir.

3.2. İki Bant Bant Durdurucu Filtre Tasarımı

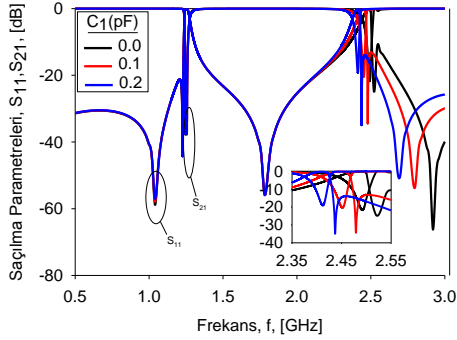
Yukarıda tanıtılan KAHR' den faydalanılarak iki bantlı bant durdurucu filtre tasarlanabilmektedir. Önerilen filtre yapısı Şekil 4'de gösterilmektedir. Açık halka rezonatörler bölümünde de bahsedildiği gibi KAHR' nin kıvrımlı iletim hatları arasındaki kapasitans ve rezonatörün alt kısmındaki iletim hattının kapasitansı değiştirilerek iki bantlı bant durdurucu filtrenin merkez frekansları bireysel olarak kontrol edilebilmektedir. Şekil 5'de KAHR'nin kıvrımlı iletim hatları arasındaki kapasitansın değişimi ve Şekil 6' da KAHR'nin alt kısmındaki iletim hattının kapasitansının değişiminin tasarlanan iki bantlı bant durdurucu filtrenin saçılma parametreleri üzerine etkileri gösterilmektedir. Şekil 5 ve Şekil 6' dan da görüldüğü gibi C_1 kapasitansı ikinci bantın merkez frekansını ve C_2 kapasitansı da birinci bantın merkez frekansını kontrol etmektedir.



Şekil 4: KAHR kullanılarak oluşturulan iki bantlı bant durdurucu filtre yapısı



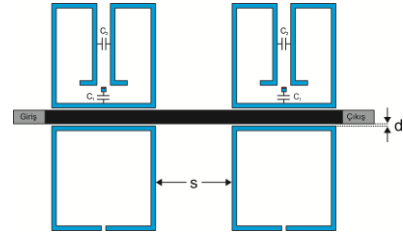
Şekil 5: KAHR'nin kıvrımlı iletim hatları arasındaki kapasitansın değişiminin tasarlanan iki bantlı bant durdurucu filtrenin saçılma parametreleri üzerine etkisi ($C_1=0pF$)



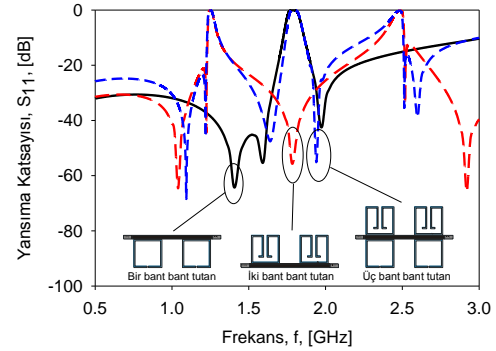
Şekil 6: KAHR'nin alt kısmındaki iletim hattının kapasitansının değişiminin tasarlanan iki bantlı bant durdurucu filtrenin saçılma parametreleri üzerine etkisi ($C_2=0pF$)

3.3. Üç Bant Bant Durdurucu Filtre Tasarımı

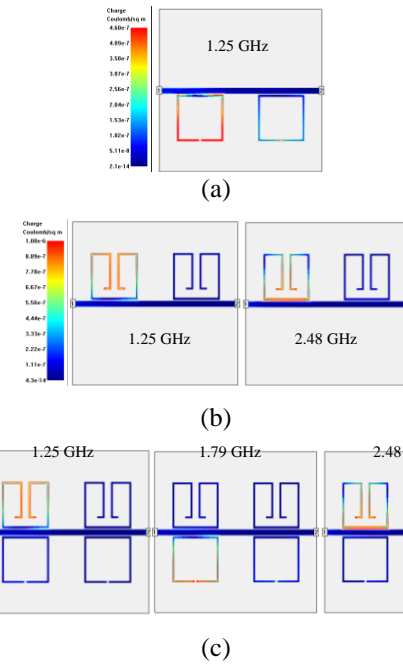
Önceki kısımlarda da görüldüğü gibi GAHR kullanılarak bir bantlı bant durdurucu filtre, KAHR kullanılarak iki bantlı bant durdurucu filtre tasarlanabilmektedir. Bu doğrultuda, rezonatörler birbirleriyle zayıf kuplaj oluşturacak biçimde ana besleme hattının altına ve üstüne yerleştirildiğinde üç bantlı filtre tasarımı gerçekleştirilebilir. Önerilen üç bantlı bant durdurucu filtre topolojisi Şekil 7' de gösterilmektedir. Ayrıca üç bantlı filtrenin rezonans frekansları, rezonatörler birbirlerine göre zayıf kuplajlı biçimde yerleştirildiği için her bir rezonatörün bireysel olarak oluşturduğu rezonans frekanslarıdır. Örneğin GAHR' nin rezonans frekansı f_a , KAHR' nin rezonans frekansları f_b ve f_c olmak üzere; bu rezonatörlerin ana besleme hattının altına ve üstüne yerleştirilmesiyle merkez frekansları f_a , f_b ve f_c olacak şekilde üç bantlı bant durdurucu filtre tasarımı gerçekleştirilebilir. Tasarlanan üç bantlı bant durdurucu filtrenin her bir bantının kontrolü bir bant ve iki bantlı filtrelerde anlatılan bant kontrolleriyle aynı biçimdedir. Dolayısıyla C_1 , C_2 , ve g_a parametreleri değiştirilerek her bir



Şekil 7: GAHR ve KAHR'ler kullanılarak oluşturulan üç bantlı bant geçiren filtre yapısı

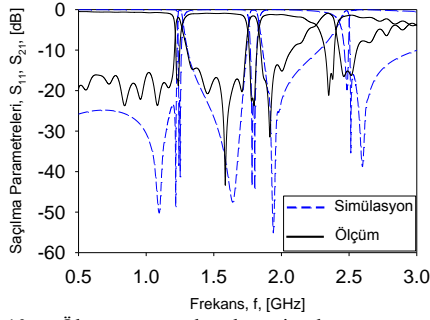


Şekil 8: Tasarlanan bir, iki ve üç bantlı filtrelerin yansımaya katsayıları



Şekil 9: Tasarlanan filtrelere ait yük dağılımları a) Bir bantlı filtre için b) İki bantlı filtre için c) Üç bantlı filtre için

bandın kontrolü birbirlerinden bağımsız olarak yapılabilmektedir. Şekil 8' de, tasarlanan bir, iki ve üç bantlı filtrelerin yansımaya katsayıları gösterilmekte olup her bir durdurucu bantının hangi rezonatör tarafından oluşturulduğu bu grafikten rahatlıkla anlaşılmaktadır. Şekil 9' da tasarlanan filtrelerin rezonans frekanslarındaki yüzeysel yük yoğunluğu dağılımı verilmektedir.



Şekil 10: Ölçüm sonuçlarıyla simülasyon sonuçlarının karşılaştırması



Şekil 11: İmal edilen filtrenin fotoğrafı

4. Deneysel Çalışmalar

Bağıl dielektrik sabiti 10.2 olan ve 1.27 mm kalınlığında RT/Duroid malzeme ile imal edilmiş üç bantlı filtrenin simülasyonları tam-dalga EM simülatör [12] aracılığıyla, ölçümler ise Agilent E5071C Vektör Network Analizör ile yapılmıştır. İmal edilen filtrenin geometrik boyutları, $w_a=0.4$ mm, $l_a=9.2$ mm, $g_k=1.2$ mm, $w_k=0.4$ mm, $l_{k1}=9.2$ mm, $l_{k2}=6.4$ mm, $l_{k3}=1.5$ mm, $d=0.2$ mm, $s=6.8$ mm'dir. Şekil 10'da ise ölçüm sonuçlarıyla simülasyon sonuçlarının karşılaştırması yapılmıştır. Simülasyon ve ölçümlere ait nümerik sonuçlar ise Çizelge 1'de verilmiştir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada üç bantlı mikroşerit bant durdurucu filtre iki tür açık halka rezonatör kullanılarak tasarlanmıştır. Filtre tasarımında kullanılan rezonatörlerden birisi geleneksel açık halka rezonatör olup bu rezonatör vasıtasıyla bir durdurucu bant elde edilmiştir. Diğer rezonatör türü ise kıvrımlı açık halka rezonatör olup bu rezonatör vasıtasıyla da iki durdurucu bant elde edilmiştir. Bu durdurucu bantlarının merkez frekanslarının kontrolü önerilen rezonatörün iki farklı bölgesindeki kapasitif etkilerin değiştirilmesiyle başarılmıştır. Son olarak bu rezonatörler giriş ve çıkış portlarını birbirine bağlayan besleme hattının alt ve üst kısmına kuplajlanmasıyla üç bantlı bant durdurucu filtre ortaya koyulmuş ve tasarlanan

filtre imal edilmiştir. İmal edilen filtrenin ölçümleri yapılarak simülasyon sonuçlarıyla önemli ölçüde uyum sağladığı gözlenmiştir.

6. Kaynaklar

- [1] Liu, W. ve Tung, Y., "Tri Band Filter with Partly Combined Stepped-Impedance Resonators", *Asia-Pacific Microwave Conference*, 2011, 975-978.
- [2] Ghatak, R., Pal, M., Sarkar, P., Aditya, A K., ve , Podrar, D R., "Tri-Band Bandpass Filter with Transmission Zeros between Each Band Using a Combination of Dual Step and Tri Step SIR ", *Applied Electromagnetics Conference (AEMC)*, 2011.
- [3] Chen, F C., Chu, Q X., ve , Tu, Z H., "Tri-Band Bandpass Filter Using Stub Loaded Resonators", *Electronics Letters*, 12., 747-749, 2008.
- [4] Lai, X. ve Liang, C H., "Design of Tri-Band Filter Based on Stub Loaded Resonator and DGS Resonator", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 5., 265-267, 2010.
- [5] Yin, Q., Wu, L S., Zhou, L. ve Yin, W Y. "A Tri-Band Filter Using Tri-Mode Stub Loaded Resonators (SLRs) ", *Electrical Design of Advanced Packaging & Systems Symposium (EDAPS)*, 2010, 1-4.
- [6] Doan, M T., Che, W., ve , Nguyen, P L., "Tri-Band Bandpass Filter Using Dual-Mode Resonators", *The 2012 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2012)*, 2012, 187-190.
- [7] Kuo-Sheng Chin; Jun-Hong Yeh; Shuh-Han Chao, "Compact Dual-Band Bandstop Filters Using Stepped-Impedance Resonators," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol.17, no.12, pp.849,851, 2007
- [8] Kuo-Sheng Chin; Jun-Hong Yeh; Shuh-Han Chao, "Compact Dual-Band Bandstop Filters Using Stepped-Impedance Resonators," *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE*, vol.17, no.12, pp.849,851, Dec. 2007
- [9] Jian-Kang Xiao; Yu-Feng Zhu, "Multi-band bandstop filter using inner T-shaped defected microstrip structure (DMS)," *International Journal of Electronics and Communications (AEÜ)*, vol.68, no. 2, pp.90,96, 2014.
- [10] J.-K. Xiao; W.-J. Zhu, " New Defected Microstrip Structure Bandstop Filter," *Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings, 2011, 1471-1474.*
- [11] Karpuz, C.; Gorur, A; Gorur, AK.; Ozek, A, "A novel compact quad-band microstrip bandstop filter design using open-circuited stubs," *Microwave Symposium Digest (IMS), 2013 IEEE MTT-S International*, vol., no., pp.1,3, 2-7 June 2013
- [12] "EM User's Manual", Sonnet Software, Inc., Syracuse Liverpool, NY, 2014.

Çizelge 1: Durdurucu bantlarındaki simülasyon ve ölçüm sonuçları

Bantlar	Simülasyon				Ölçüm			
	f_c (GHz)	RL (dB)	IL (dB)	FBW (%)	f_c (GHz)	RL (dB)	IL (dB)	FBW (%)
1.	1.25	-22.50	-0.18	3.1	1.23	-17.46	-2.07	3.25
2.	1.79	-22.84	-0.14	4.2	1.78	-21.67	-1.64	4.49
3.	2.48	-19.83	-0.27	3.0	2.37	-14.11	-0.97	5.49