

بسم تعالی



تحلیل سیستم های انرژی  
پروژه پایانی

امیرحسین زاهدی ۹۹۱۰۱۷۰۵

ملیکا کردمیل ۴۰۰۱۰۱۷۸۶

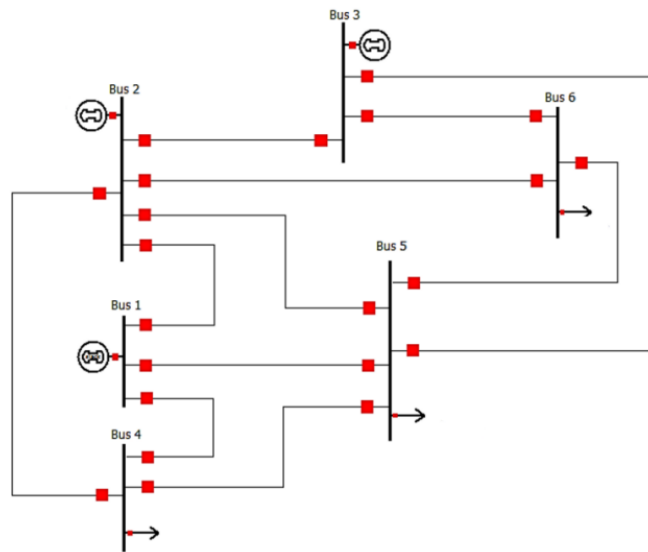
بهار ۱۴۰۳

## بخش اول:

در انجام این پروژه از تولباکس متلب MatPower استفاده می کنیم.

در این بخش خواسته شده است که ابتدا با توجه به مشخصات داده شده پخش بار را بدون در نظر گرفتن محدودیت ها انجام دهیم.

مشخصات سیستم در جداول زیر آمده اند:



Line Data

From Bus	To Bus	R (pu*)	X (pu*)	B (pu*)	MVA Limit
1	2	0.10	0.20	0.04	30
1	4	0.05	0.20	0.04	50
1	5	0.08	0.30	0.06	40
2	3	0.05	0.25	0.06	20
2	4	0.05	0.10	0.02	40
2	5	0.10	0.30	0.04	20
2	6	0.07	0.20	0.05	30
3	5	0.12	0.26	0.05	20
3	6	0.02	0.10	0.02	60
4	5	0.20	0.40	0.08	20
5	6	0.10	0.30	0.06	20

\*  $S_{base} = 100 \text{ MVA}$ ,  $V_{base} = 230 \text{ kV}$

Bus Data

Bus Number	Bus Type	Scheduled Voltage (pu*)	$P_{gen}$ (MW)	$Q_{gen}^{min}$ (MVar)	$Q_{gen}^{max}$ (MVar)	$P_{load}$ (MW)	$Q_{load}$ (MVar)
1	Slack	1.00		-100	100	0	0
2	PV	$\frac{105 - a_4}{100}$	50	-100	100	0	0
3	PV	$\frac{105 - a_4}{100}$	60	-100	100	0	0
4	PQ		0			70	$70 - 5a_1$
5	PQ		0			70	$70 - 5a_2$
6	PQ		0			70	$70 - 5a_3$

\*  $V_{base} = 230 \text{ kV}$

## توان ظاهری پایه:

برای شروع طراحی مدار و تحلیل ها به صورت پریونیت لازم است که ابتدا توان ظاهری بیس مشخص شود که در شبیه سازی انجام شده ۱۰۰MVA تعیین شده است.

## مشخصات باس ها:

پس از توان ظاهری لازم است که ماتریس باس ها را تولید کنیم. این ماتریس در هر سطر معرف یک باس است. در سیستم داده شده، ۶ باس داریم که یکی از آن ها باس slack است، دوتا PV و سه تای دیگر PQ هستند که تایپ باس مورد نظر با عدد ۱ تا ۳ مشخص می گردد. عدد ۱ برای باس PQ، عدد ۲ برای باس PV و عدد ۳ برای باس اسلک است. علاوه بر نوع باس، توان حقیقی و توان راکتیو مصرفی باس ها نیز تعیین می شود که در این سیستم صرفاً باس ۴، ۵ و ۶ نیاز به تعیین دارند که با توجه به توان ظاهری پایه و شماره های دانشجویی، برای باس ۴، توان های اکتیو و راکتیو مصرفی به ترتیب ۷۰ و ۴۲.۵ تعیین شده، برای باس ۵، به ترتیب، ۷۰ و ۵۰ و همچنین برای باس ۶، به ترتیب ۷۰ و ۳۵ تعیین می شوند. در ادامه ولتاژ اولیه باس ها به صورت پریونیت مشخص می شوند. ولتاژ اولیه برای باس های ۲ و ۳، ۱.۰۴ و برای باس ۱، ۱ تعیین می شوند. در نهایت نیز بازه ای به عنوان محدودیت برای مکس و مین ولتاژ هر باس همانطور که در صورت سوال گفته است بن ۰.۹۵ تا ۱.۰۵ پریونیت، تعیین می شود.

```

% %%% BUS MATRIX %%%
% busNumber type Pd Qd Gs Bs area Vm Va baseKV zone Vmax Vmin
mpc.bus = [
1 3 0 0 0 0 1 1.00 0 230 1 1.05 0.95;
2 2 0 0 0 0 1 (105-a4)/100 0 230 1 1.05 0.95;
3 2 0 0 0 0 1 (105-a4)/100 0 230 1 1.05 0.95;
4 1 70 (70-5*a1) 0 0 1 1.00 0 230 1 1.05 0.95;
5 1 70 (70-5*a2) 0 0 1 1.00 0 230 1 1.05 0.95;
6 1 70 (70-5*a3) 0 0 1 1.00 0 230 1 1.05 0.95;
];

```

## مشخصات ژنراتور ها:

پس از تعیین باس ها، لازم است که به صورت جداگانه تنظیماتی را به صورت ماتریسی برای باس های ژنراتور نیز انجام دهیم. به همین منظور هر سطر مختص به یک باس ژنراتور است. در این ماتریس توان های حقیقی و راکتیو تأمینی آن ها و محدودیت هایشان مشخص می گردد. برای باس دوم، توان حقیقی ۵۰ مگاوات و برای باس سوم ۶۰ مگاوات طبق جدول گفته شده قرار داده می شود. در سوال اول محدودیت های بر روی توان راکتیو را نیز پیاده می کنیم.

```

% %%% GENERATOR MATRIX %%%
% bus Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax
mpc.gen = [
1 0 0 100 -100 1.00 100 1 500
2 50 0 100 -100 (105-a4)/100 100 1 500
3 60 0 100 -100 (105-a4)/100 100 1 500
];

```

### مشخصات شاخه ها:

برای شبیه سازی خط انتقال ها هم ماتریس خط انتقال را تولید می کنیم که هر سطر آن نشان دهنده خط بین fbus و tbus است. به نوعی مبدا و مقصد را مشخص می کند. سپس می توان مقادیر  $r$ ،  $x$  و  $b$  خط را تعیین کرد. با توجه به مقادیر گفته شده در جدول خط ها، مقادیر را تعیین می کنیم.

%	fbus	tbus	r	x	b	rateA	rateB	rateC	ratio	angle	status	angmin	angmax
mpc.branch = [													
1	2	0.10	0.20	0.04	30	30	30	0	0	0	1	-360	360;
1	4	0.05	0.20	0.04	50	50	50	0	0	0	1	-360	360;
1	5	0.08	0.30	0.06	40	40	40	0	0	0	1	-360	360;
2	3	0.05	0.25	0.06	20	20	20	0	0	0	1	-360	360;
2	4	0.05	0.10	0.02	40	40	40	0	0	0	1	-360	360;
2	5	0.10	0.30	0.04	20	20	20	0	0	0	1	-360	360;
2	6	0.07	0.20	0.05	30	30	30	0	0	0	1	-360	360;
3	5	0.12	0.26	0.05	20	20	20	0	0	0	1	-360	360;
3	6	0.02	0.10	0.02	60	60	60	0	0	0	1	-360	360;
4	5	0.20	0.40	0.08	20	20	20	0	0	0	1	-360	360;
5	6	0.10	0.30	0.06	20	20	20	0	0	0	1	-360	360;
];													

پس از تولید کیس مورد مطالعه، با استفاده از دستور runpf شبیه سازی و تحلیل powerflow را انجام می دهیم.

برای بخش اول، بدون توجه به محدودیت پخش بار را انجام می دهیم. خروجی به دست آمده در ادامه پیوست شده است. همانطور که گفته شده سه جدول بدست می آیند.

اندازه و زاویه ولتاژ همه باس ها:

	Buses Voltage Amplitude (p.u.)	Buses Voltage Phase (Degree)
1	1.0000	0
2	1.0400	-4.6722
3	1.0400	-4.9481
4	0.9835	-5.2552
5	0.9765	-6.3391
6	1.0026	-7.0550

توان های حقیقی و راکتیو ژنراتور ها:

	Generators Active Power (MW)	Generators Reactive Power (MVAR)
1	107.3934	-39.2313
2	50.0000	94.0477
3	60.0000	41.5155

توان های حقیقی، راکتیو و ظاهری کلیه خطوط:

	From Bus	To Bus	Branches Active Power (MW)	Branches Reactive Power (MVAR)	Branches Apparent Power (MVA)
1	1	2	27	-34	43
2	1	4	45	-3	45
3	1	5	36	-3	36
4	2	3	2	-4	4
5	2	4	32	42	53
6	2	5	16	15	21
7	2	6	26	8	27
8	3	5	18	15	23
9	3	6	44	30	53
10	4	5	4	-4	6
11	5	6	1	-12	12

پس از آنکه مشخصات پخش بار را بدست آوردیم لازم است که محدودیت های ولتاژ هر باس و محدودیت توان ظاهری عبوری از هر خط را بررسی کنیم تا ببینیم آیا مواردی از آن ها در تحلیل فعلی نقص شده است یا خیر.

```
% Voltage limitations
Buses_Vm_max = results_1.bus(:,12); % Max of voltage -> 1.05
Buses_Vm_min = results_1.bus(:,13); % Min of voltage -> 1.05

voltage_violations = (Buses_Vm_normal > Buses_Vm_max) | (Buses_Vm_normal < Buses_Vm_min);

if any(voltage_violations)
    disp('Voltage violation on bus:');
    disp(find(voltage_violations));
else
    disp('No voltage violations.');
```

```
% Branch flow limitations
Branches_S_max = results_1.branch(:,6); % Max of powers of each branch

line_violations = (Branches_S_normal > Branches_S_max);

% Display results
if any(line_violations)
    disp('Power violation on branch:');
    index = find(line_violations);
    for i = 1:size(index,1)
        fprintf('%d to %d\n', results_1.branch(index(i),1), results_1.branch(index(i),2))
    end
else
    disp('No line violations.');
```

با توجه به تکه کد بالا و خروجی متناظر آن مشاهده می کنیم که محدودیت ولتاژها پابرجاست ولی محدودیت توان های ظاهر عبوری از خطوط برای خط های انتقال ۱ به ۲، ۲ به ۴، ۲ به ۵ و ۳ به ۵ رعایت نشده است.

البته این مسئله را می شد به صورت چشمی نیز تحلیل و بررسی کرد ولی هر چه کامپیوتری تر کم خطا تر و

```
No voltage violations.
Power violation on branch:
1 to 2
2 to 4
2 to 5
3 to 5
```

سریعتر!

در ادامه سوال خواسته شده که با استفاده از راه حل های پیشنهادی شبکه را طوری تغییر دهیم تا محدودیت ها رعایت شوند و البته این اتفاق در اقتصادی ترین حالت رخ دهد.

ابتدا سعی کردیم تا با برنامه نویسی محدوده ولتاژ های باس های ۱ تا ۳ و همچنین توان های تولیدی باس های ۲ و ۳ را طی کنیم و حالتی رایگان را بیابیم تا محدودیت ها برقرار باشند. که این فرایند طولانی حاوی ۵ فور تو در تو بود که نتیجه ای نداشت.

لذا شانس خود را با تغییرات دست و دید مهندسی امتحان کردیم بدین صورت که هر دو فرایند تغییر ولتاژ های باس های ژنراتوری و تغییر توان های باس های PV را تست کردیم و با دید اختلافات ولتاژ بین باس ها و توان های انتقالی خطوط بالاخره به نتیجه مطلوب رسیدیم و صرف تغییر ولتاژ باس دوم به ۱.۰۰۵ و باس سوم به ۱، توانستیم محدوده مجاز ولتاژ و توان را برقرار کنیم.

جداول بدست آمده برای پارامتر های سیستم جدید به صورت زیر هستند:

	Buses Voltage Amplitude (p.u.)	Buses Voltage Phase (Degree)
1	1.0400	0
2	1.0050	-2.7591
3	1.0000	-2.9950
4	0.9718	-4.1773
5	0.9582	-5.0674
6	0.9666	-5.3506

	Generators Active Power (MW)	Generators Reactive Power (MVAR)
1	105.7255	43.7584
2	50.0000	25.9675
3	60.0000	25.5267

	From Bus	To Bus	Branches Active Power (MW)	Branches Reactive Power (MVAR)	Branches Apparent Power (MVA)
1	1	2	28	6	28
2	1	4	43	24	49
3	1	5	35	19	39
4	2	3	2	5	5
5	2	4	33	17	37
6	2	5	16	11	20
7	2	6	26	12	28
8	3	5	17	10	20
9	3	6	45	24	51
10	4	5	4	5	6
11	5	6	1	6	6

No voltage violations.

No line violations.

## بخش دوم:

در بخش دوم روشی که در بخش قبل پیاده کردیم و باعث درست شدن محدودیت های ولتاژ و توان شده بود را می خواهیم در این بخش پیاده سازی کنیم. این بار معیار  $n-1$  را پیاده می کنیم به این صورت که هر مرحله یک خط را از سیستم حذف می کنیم و تحلیل پخش بار را مجدداً انجام می دهیم. پس از تحلیل، امنیت شبکه را مجدداً بررسی می کنیم، یعنی آن که ولتاژ باس ها بین ۰.۹۵ تا ۱.۰۵ پریونیت باشد و محدودیت توان های خطوط نیز رعایت شوند.

خطوط را به ترتیب حذف کرده و بررسی می کنیم. محدودیت های نقص شده ولتاژ و توان را پس از حذف هر کدام بررسی می کنیم که به شکل زیر است. در فایل تکستی نیز ذخیره شده است.

<p>1 to 2 branch is deleted: No voltage violations. Power violation on branch: 1 to 4 , 1 to 5</p>	<p>1 to 4 branch is deleted: Voltage violation on bus: 4 Power violation on branch: 1 to 2 , 1 to 5 , 2 to 4 , 3 to 5</p>	<p>1 to 5 branch is deleted: Voltage violation on bus: 5 Power violation on branch: 1 to 2 , 1 to 4 , 2 to 5 , 2 to 6 , 3 to 5</p>
<p>2 to 3 branch is deleted: No voltage violations. Power violation on branch: 2 to 5</p>	<p>2 to 4 branch is deleted: Voltage violation on bus: 4 Power violation on branch: 1 to 4 , 2 to 5 , 2 to 6 , 3 to 5</p>	<p>2 to 5 branch is deleted: Voltage violation on bus: 5 Power violation on branch: 1 to 5 , 2 to 4 , 2 to 6 , 3 to 5</p>
<p>2 to 6 branch is deleted: No voltage violations. Power violation on branch: 1 to 5 , 2 to 5 , 3 to 6</p>	<p>3 to 5 branch is deleted: Voltage violation on bus: 5 Power violation on branch: 1 to 5 , 2 to 4 , 2 to 5 , 3 to 6</p>	<p>3 to 6 branch is deleted: Voltage violation on bus: 5 , 6 Power violation on branch: 1 to 2 , 1 to 4 , 1 to 5 , 2 to 3 , 2 to 5 , 2 to 6 , 3 to 5 , 5 to 6</p>
<p>4 to 5 branch is deleted: No voltage violations. Power violation on branch: 1 to 5 , 2 to 5 , 3 to 5</p>	<p>5 to 6 branch is deleted: No voltage violations. Power violation on branch: 2 to 5 , 3 to 5</p>	

مشاهده می کنیم که در ۶ حالت از ۱۱ حالت حذف خطوط، محدودیت ولتاژ نقص شده و در همه حالات محدودیت توان نقص شده است. پس روشی که در سیستم کلی پاسخدهی مناسبی داشت با معیار  $n-1$  مشخص می شود که برای امنیت شبکه اصلاً مناسب نیست.

## بخش سوم:

در این بخش ابتدا سعی کردیم کد مورد استفاده اش را تولید کنیم به این صورت که بتوانیم به هر باس مقادیر خازن یا سلف را هم به صورت موازی و هم به صورت سری اضافه کنیم. تابع را تولید کرده و کد آن را نوشتیم. با سعی و خطاهای مهندسی گونه متعدد، با اضافه کردن خازن ها و راکتورها، همچنان نتوانستیم که محدودیت ها را هم در حالت عادی و هم در معیار  $n-1$  رعایت کنیم.

طی جست و جویی که داشتیم متوجه شدیم که الگوریتم های بهینه سازی را لازم است که پیاده کنیم و این الگوریتم ها ساده نبوند، به طور دستی هم با وجود تلاش گسترده امکانش وجود نداشت.

تفاوتی که تابع ای بخش دارد این است که Bs و Gs را که به ترتیب خازن یا سلف شانت و یا سری اضافه شده به هر باس را مشخص می کنند، به صورت ورودی دستخوش تغییر شده اند.

```

%%%%%% Finding solution (manual) %%%%%%
V1 = 1.04;      % Voltage of bus 1
V2 = 1.005;     % Voltage of bus 2
V3 = 1.00;      % Voltage of bus 3
P2 = 50;        % Power of gen 2
P3 = 60;        % Power of gen 3
B = [0,0,0,-0.1,0.1,0]; % Shunt capacitance or reactance of buses
G = [0,0,0,0,0,0.05];   % Series capacitance or reactance of buses

```

%	busNumber	type	Pd	Qd	Gs	Bs	area	Vm	Va	baseKV	zone	Vmax
mpc.bus = [												
1	3	0	0		G(1)	B(1)	1	V1	0	230	1	1.05
2	2	0	0		G(2)	B(2)	1	V2	0	230	1	1.05
3	2	0	0		G(3)	B(3)	1	V3	0	230	1	1.05
4	1	70	(70-5*a1)		G(4)	B(4)	1	1.00	0	230	1	1.05
5	1	70	(70-5*a2)		G(5)	B(5)	1	1.00	0	230	1	1.05
6	1	70	(70-5*a3)		G(6)	B(6)	1	1.00	0	230	1	1.05
];												



جنگ آئل : کیسے بارودوں تصحیرات

MATPOWER Version 8.0, 17-May-2024  
Power Flow -- AC-polar-power formulation

Newton's method converged in 3 iterations.  
PF successful

Converged in 0.05 seconds

```
=====
|      System Summary      |
=====
```

How many?		How much?	P (MW)	Q (MVar)
Buses	6	Total Gen Capacity	1500.0	-300.0 to 300.0
Generators	3	On-line Capacity	1500.0	-300.0 to 300.0
Committed Gens	3	Generation (actual)	217.4	96.3
Loads	3	Load	210.0	127.5
Fixed	3	Fixed	210.0	127.5
Dispatchable	0	Dispatchable	-0.0 of -0.0	-0.0
Shunts	0	Shunt (inj)	-0.0	0.0
Branches	11	Losses ( $I^2 * Z$ )	7.39	21.35
Transformers	0	Branch Charging (inj)	-	52.5
Inter-ties	0	Total Inter-tie Flow	0.0	0.0
Areas	1			

	Minimum	Maximum
Voltage Magnitude	0.977 p.u. @ bus 5	1.040 p.u. @ bus 3
Voltage Angle	-7.06 deg @ bus 6	0.00 deg @ bus 1
P Losses ( $I^2 * R$ )	-	1.70 MW @ line 1-2
Q Losses ( $I^2 * X$ )	-	4.02 MVar @ line 1-4

```
=====
|      Bus Data      |
=====
```

Bus #	Voltage		Generation		Load	
	Mag (pu)	Ang (deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.000	0.000*	107.39	-39.23	-	-
2	1.040	-4.672	50.00	94.05	-	-
3	1.040	-4.948	60.00	41.52	-	-
4	0.984	-5.255	-	-	70.00	42.50
5	0.977	-6.339	-	-	70.00	50.00
6	1.003	-7.055	-	-	70.00	35.00
Total:			217.39	96.33	210.00	127.50

```
=====
|      Branch Data     |
=====
```

```

=====
Brnch   From   To   From Bus Injection   To Bus Injection   Loss (I^2 * Z)
#       Bus   Bus   P (MW)  Q (MVar)  P (MW)  Q (MVar)  P (MW)  Q (MVar)
-----
  1      1     2    26.58   -33.56   -24.87   32.80    1.702    3.40
  2      1     4    44.82    -2.89   -43.81    2.98    1.005    4.02
  3      1     5    36.00    -2.78   -34.96    0.80    1.037    3.89
  4      2     3     2.00    -3.64    -2.00    -2.84    0.002    0.01
  5      2     4    31.85    41.79   -30.53   -41.21    1.319    2.64
  6      2     5    15.51    14.82   -15.02   -17.43    0.489    1.47
  7      2     6    25.52     8.27   -25.02   -12.06    0.499    1.43
  8      3     5    17.52    14.72   -16.85   -18.34    0.678    1.47
  9      3     6    44.48    29.63   -43.94   -29.02    0.540    2.70
 10      4     5     4.34    -4.27    -4.30    -3.33    0.039    0.08
 11      5     6     1.13   -11.70    -1.05     6.08    0.083    0.25
-----
                                Total:    7.393    21.35

```

&gt;&gt;

سوال : پائے بار با پائے

MATPOWER Version 8.0, 17-May-2024  
Power Flow -- AC-polar-power formulation

Newton's method converged in 3 iterations.  
PF successful

Converged in 0.04 seconds

```
=====
|      System Summary      |
=====
```

How many?		How much?	P (MW)	Q (MVar)
Buses	6	Total Gen Capacity	1500.0	-300.0 to 300.0
Generators	3	On-line Capacity	1500.0	-300.0 to 300.0
Committed Gens	3	Generation (actual)	215.7	95.3
Loads	3	Load	210.0	127.5
Fixed	3	Fixed	210.0	127.5
Dispatchable	0	Dispatchable	-0.0 of -0.0	-0.0
Shunts	0	Shunt (inj)	-0.0	0.0
Branches	11	Losses ( $I^2 * Z$ )	5.73	18.43
Transformers	0	Branch Charging (inj)	-	50.7
Inter-ties	0	Total Inter-tie Flow	0.0	0.0
Areas	1			

	Minimum	Maximum
Voltage Magnitude	0.958 p.u. @ bus 5	1.040 p.u. @ bus 1
Voltage Angle	-5.35 deg @ bus 6	0.00 deg @ bus 1
P Losses ( $I^2 * R$ )	-	1.20 MW @ line 1-5
Q Losses ( $I^2 * X$ )	-	4.71 MVar @ line 1-4

```
=====
|      Bus Data      |
=====
```

Bus #	Voltage		Generation		Load	
	Mag (pu)	Ang (deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.040	0.000*	105.73	43.76	-	-
2	1.005	-2.759	50.00	25.97	-	-
3	1.000	-2.995	60.00	25.53	-	-
4	0.972	-4.177	-	-	70.00	42.50
5	0.958	-5.067	-	-	70.00	50.00
6	0.967	-5.351	-	-	70.00	35.00
Total:			215.73	95.25	210.00	127.50

```
=====
|      Branch Data     |
=====
```

=====								
Brnch	From	To	From Bus	Injection	To Bus	Injection	Loss ( $I^2 * Z$ )	
#	Bus	Bus	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
-----								
1	1	2	27.65	2.82	-26.92	-5.54	0.730	1.46
2	1	4	43.30	23.80	-42.12	-23.14	1.178	4.71
3	1	5	34.78	17.14	-33.57	-18.63	1.202	4.51
4	2	3	1.98	-1.41	-1.98	-4.60	0.003	0.02
5	2	4	32.79	16.22	-32.11	-16.82	0.679	1.36
6	2	5	16.42	8.45	-16.04	-11.18	0.375	1.13
7	2	6	25.73	8.25	-25.19	-11.57	0.539	1.54
8	3	5	17.20	5.89	-16.76	-9.73	0.439	0.95
9	3	6	44.78	24.24	-44.25	-23.53	0.528	2.64
10	4	5	4.23	-2.55	-4.19	-4.82	0.041	0.08
11	5	6	0.57	-5.63	-0.56	0.10	0.009	0.03
							-----	
Total:							5.725	18.43

&gt;&gt;