

## حل دقیق معادلات موقعیت در گیرنده های GPS با استفاده از شبکه های عصبی

مجتبی احمدی<sup>۱</sup> و سید محمدرضا موسوی میرکلائی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده برق دانشگاه علم و صنعت ایران، [Mojtaba27Ahmadi@gmail.com](mailto:Mojtaba27Ahmadi@gmail.com)

<sup>۲</sup>نویسنده مسئول، دانشکده برق دانشگاه علم و صنعت ایران، [M\\_Mosavi@iust.ac.ir](mailto:M_Mosavi@iust.ac.ir)

### چکیده:

امروزه از مزیت های GPS در صنایع مختلف از جمله صنعت هوافضا و نقشه برداری بسیار استفاده می شود. برای محاسبه موقعیت با استفاده از داده های دریافتی در گیرنده GPS، روش های مختلفی ارائه شده است که هر کدام به نوعی سعی در افزایش دقت تعیین موقعیت دارند. شبکه های عصبی مصنوعی روشی تقریباً جدید برای تقریب توابع و پیش بینی حالت آینده سیستم های مختلف می باشند. این شبکه ها برای حالتی که بین ورودی و خروجی سیستم روابط غیرخطی برقرار است، به خوبی به نتایج قابل قبول منتج می شوند و از این رو در بسیاری از حوزه های علمی مورد استفاده قرار می گیرند. در این مقاله روشی مبتنی بر شبکه های عصبی برای حل دقیق معادلات موقعیت در گیرنده های GPS پیشنهاد شده و عملکرد آن ها با یکدیگر و همچنین با روش مرسوم حداقل مربعات خطا مقایسه می گردد. با استفاده از نتایج به دست آمده روشن است که دقت و سرعت روش پیشنهادی از روش های موجود بیشتر است. همچنین این روش در بیشتر حالات و از جمله حالتی که روش حداقل مربعات خطا جوابی به دست نمی دهد نیز به جواب قابل قبولی منتج می شود.

**کلید واژه ها:** شبه فاصله، فاز حامل، گیرنده های GPS، شبکه های عصبی، حداقل مربعات خطا.

گیرنده های مختلفی می توان استفاده کرد. گیرنده های تک فرکانسه دارای خطای زیادی هستند، لذا برای حل این مشکل از الگوریتم های بسیاری استفاده می گردند [4-6].

روش معمول در گیرنده های GPS برای حل معادلات موقعیت، روش حداقل مربعات خطا می باشد که هم به صورت خطی و هم به صورت غیرخطی استفاده می شود [7-9]. اما روش حداقل مربعات خطا برای اجرا به زمان زیادی نیاز دارد و در بعضی حالات نتایج نادقیقی تولید می کند.

شبکه های عصبی مصنوعی یکی از روش های تقریب توابع و پیش بینی حالات بعدی یک سیستم می باشد. در جاهایی که روابط بین ورودی و خروجی یک

### ۱. مقدمه

امروزه در بسیاری از صنایع از جمله صنعت نقشه برداری و هوافضا می توان از مزیت های سیستم GPS بهره برد. این سیستم به صورت رایگان در ۲۴ ساعت شبانه روز و در تمام نقاط دنیا و در هر شرایط آب و هوایی مهیا می باشد. این سیستم مهم ترین و کاربردی ترین سیستمی است که با استفاده از آن می توان مختصات و زمان را به صورت بلادرنگ به دست آورد [1]. سیستم GPS دارای حداقل ۲۴ ماهواره می باشد که هر کدام سیگنالی را به سمت گیرنده ارسال می کنند. گیرنده برای یافتن موقعیت، حداقل به ۴ سیگنال ماهواره نیاز دارد [2,3]. از

اصلاح می شوند. گیرنده ها از ساعت های ارزان قیمت استفاده می کنند که دارای مقدار زیادی خطا می باشند که باید آن ها را به طور دائم اصلاح نمود [11].

این ساعت ها در عمل ایجاد اختلاف جزئی در اندازه گیری زمان می نمایند، اما چون این تفاوت به صورت متقارن بر روی همه اندازه گیری های انجام شده تاثیر می گذارد، می توان تاثیر آن را در نتیجه محاسبات ناچیز فرض کرد. گیرنده فاصله خود تا هر ماهواره را با خطای موجود در ساعت خود محاسبه می کند. فاصله هایی که به این ترتیب محاسبه می شوند، دارای خطای زیاد ولی هماهنگی است. یعنی این که خطا بر روی هر چهار اندازه گیری به یک نسبت اثر می گذارد. به همین جهت به این فاصله های غیرواقعی ولی مفید، شبه فاصله گفته می شود [12]. با توجه به مشخص بودن موقعیت دقیق ماهواره ها می توان خطای ناشی از شبه فاصله را حداقل با حل چهار معادله به دست آورد. با به دست آمدن خطا، می توان پارامترهای موقعیت را تعیین و ساعت گیرنده را تصحیح کرد [13].

با فرض این که زمان انتقال داده از ماهواره  $t^j$ ، زمان تولید داده در گیرنده  $(t_i)$  و خطای ساعت ماهواره و گیرنده به ترتیب  $\delta t_i^j$  و  $\delta t_i$  باشد، شبه فاصله  $(\rho_i^j)$  از رابطه (1) به دست می آید:

$$\begin{aligned} \rho_i^j &= ((t_i + \delta t_i) - (t^j + \delta t^j))c + \varepsilon_\rho \\ &= (t_i - t^j)c + (\delta t_i - \delta t^j)c + \varepsilon_\rho \end{aligned} \quad (1)$$

که در آن  $\varepsilon_\rho$  مبین خطاهای غیرقابل مدل سازی می باشد. تاخیرهای یونسفر و تروپوسفر به خاطر این که سرعت انتشار آن ها همیشه برابر با  $c$  نیست، مطرح می شوند. خطاهای چندمسیره و مداری ماهواره باید برای هر ماهواره به صورت رابطه (۲) مورد بررسی قرار گیرند:

سیستم مجهول است و همچنین این روابط غیرخطی می باشند، استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی نتایج بسیار خوبی به همراه دارند. از این ویژگی شبکه های عصبی در بسیاری کاربردها استفاده می شود [10].

در این مقاله به جای روش حداقل مربعات خطا از شبکه های عصبی مصنوعی استفاده شده است که معایب مربوط به روش حداقل مربعات را ندارد. از شبکه های عصبی مختلفی می توان استفاده کرد که در اینجا از شبکه های پرسپترون چندلایه استفاده شده است. این روش نسبت به حداقل مربعات خطا سریع تر بوده و از پردازنده های ارزان تر و ضعیف تر می توان استفاده نمود. همچنین در بعضی از حالات که حداقل مربعات به جوابی منتج نمی شود (به علت صفر شدن دترمینان ماتریس شبه فاصله ها و فاز حامل)، شبکه های عصبی مصنوعی جواب قابل قبولی ارائه می دهند. همچنین نویزپذیری شبکه های عصبی خیلی کم است. هدف از این مقاله افزایش دقت تعیین موقعیت در معادلات شبه فاصله و فاز حامل با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی می باشد.

این مقاله به شرح زیر سازمان دهی شده است. در بخش دوم با معادلات شبه فاصله، در بخش سوم با معادلات فاز حامل و در بخش چهارم با معادلات شبه فاصله- فاز حامل در گیرنده های GPS آشنا می شویم. در بخش های پنجم، ششم و هفتم چگونگی حل این معادلات با استفاده از روش حداقل مربعات خطا و در بخش هشتم استفاده از شبکه های عصبی به عنوان روشی جدید برای حل این معادلات بیان می گردند. نتایج آزمایشگاهی و بحث های مرتبط در بخش نهم و نیز نتیجه گیری در بخش دهم آمده است.

## ۲. معادلات شبه فاصله در گیرنده های GPS

برای محاسبه فاصله دقیق به زمان دقیق در ساعت فرستنده و گیرنده نیاز می باشد. ماهواره ها از ساعت اتمی استفاده می کنند که تا حد زیادی دقیق هستند و همچنین توسط واحد کنترل زمینی هر شبانه روز

در صورت عدم وجود خطای ساعت و خطای اندازه‌گیری، اندازه‌گیری فاز حامل در واحد سیکل را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\phi_i^j(t) = \phi_i^j(t) - \phi_i^j(t - \tau) + N_i^j \quad (5)$$

بنابراین فاز حامل بر حسب متر می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$\lambda \phi_i^j(t) = \lambda \phi_i^j(t) - \lambda \phi_i^j(t - \tau) + \lambda N_i^j \\ \Rightarrow \Phi_i^j = \rho + \delta t_i c - \delta t^j c + \lambda N_i^j \quad (6)$$

معادله فاز حامل بر حسب متر که شامل همه منابع خطا است، به صورت رابطه (۷) نوشته می‌شود:

$$\Phi_i^j = \rho + \delta t_i c - \delta t^j c + T_\rho - I_\rho \\ + M_\rho + \lambda N_i^j + \varepsilon_\rho \quad (7)$$

که در آن،  $\rho$  مبین فاصله بین گیرنده و ماهواره،  $N_i^j$  مبین عدد صحیح ابهام و  $\lambda$  مبین طول موج سیگنال حامل (L1 برابر با 19cm و L2 برابر با 24cm) می‌باشند.

#### ۴. معادلات شبه فاصله - فاز حامل

برای محاسبه موقعیت می‌توان از معادلات شبه فاصله و فاز حامل به صورت همزمان بهره برد. از جمله مزیت‌های این روش نسبت به روش قبلی حجم محاسباتی کمتر و در عین حال دقت بیشتر در محاسبه موقعیت گیرنده می‌باشد. در این روش از تفاضل مرتبه دوم فاز حامل و تفاضل شبه فاصله ماهواره‌های انتخابی به صورت همزمان استفاده می‌شود.

تفاضل‌های مرتبه دوم از دوبار تفاضل‌گیری از معادلات فاز حامل نسبت به زمان و ماهواره‌ها به صورت

$$\Delta \nabla \phi_{t1t2}^{ij} = \Delta \phi_{t1t2}^j - \Delta \phi_{t1t2}^i$$

$$\text{به دست می‌آید.}$$

$$P_i^j = \rho + \delta t_i c - \delta t^j c + T_\rho + I_\rho + M_\rho + \varepsilon_i^j \quad (2)$$

خطاهای مداری ماهواره در پیغام ناوبری ارسال می‌شود، اما خطاهای چندمسیره بسته به موقعیت گیرنده دارد. معادله شبه فاصله بدون در نظر گرفتن این خطا به صورت رابطه (۳) می‌باشد.

$$P_i^j = \rho + \delta t_i c - \delta t^j c + T_\rho + I_\rho \quad (3)$$

که در آن  $\rho$  مبین فاصله دقیق ماهواره از گیرنده در شرایط ایده‌آل است. با فرض این که موقعیت گیرنده  $X_i = (x_i, y_i, z_i)$

موقعیت ماهواره  $X^j = (x^j, y^j, z^j)$  ام به ازای  $j = 1, 2, \dots, J$  باشد، در رابطه (۳) به صورت معادله (۴) محاسبه می‌شود:

$$\rho^j = \sqrt{(x^j - x_i)^2 + (y^j - y_i)^2 + (z^j - z_i)^2} \quad (4)$$

با داشتن  $n$  ماهواره، یک دستگاه  $n$  معادله و ۴ مجهول به دست می‌آید که برای حل آن از روش حداقل مربعات خطا استفاده می‌گردد.

#### ۳. معادلات فاز حامل در گیرنده‌های GPS

اندازه‌گیری که دارای دقت بیشتر از کد می‌باشد، فاز حامل دریافت شده از یک ماهواره است. اندازه‌گیری فاز حامل اختلاف بین فاز سیگنال حامل تولید شده در گیرنده و حامل دریافت شده از یک ماهواره در یک لحظه می‌باشد [14]. فاز سیگنال دریافت شده در هر لحظه، متناسب با فاز در زمان انتقال بر حسب عباراتی از زمان گذر سیگنال می‌باشد. اندازه‌گیری فاز حامل، اندازه‌گیری با ابهام و غیرمستقیم از زمان انتقال سیگنال است. اندازه فاز حامل در کسری از یک چرخه ثابت باقی خواهد ماند و فاصله بین ماهواره و گیرنده برابر با تعداد نامعینی از سیکل کامل به علاوه کسری از سیکل اندازه‌گیری شده می‌باشد.

$$l^j = P^j - \rho_0^j, a_{x_i}^j = -\frac{x_j - x_0}{\rho_0^j} \quad (13)$$

$$, a_{y_i}^j = -\frac{y_j - y_0}{\rho_0^j}, a_{z_i}^j = -\frac{z_j - z_0}{\rho_0^j}$$

و نمایش ماتریسی آن به صورت رابطه (۱۴) بیان می - شود:

$$\bar{L} = A\bar{X} \quad (14)$$

و یا:

$$\begin{bmatrix} l^1 \\ l^2 \\ l^3 \\ \vdots \\ l^J \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{x_i}^1 & a_{y_i}^1 & a_{z_i}^1 & c \\ a_{x_i}^2 & a_{y_i}^2 & a_{z_i}^2 & c \\ a_{x_i}^3 & a_{y_i}^3 & a_{z_i}^3 & c \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{x_i}^J & a_{y_i}^J & a_{z_i}^J & c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \\ \Delta z_i \\ \Delta t_i \end{bmatrix} \quad (15)$$

که در آن  $\bar{L}$  برداری از 'n' مشاهدات (باید حداقل تعداد ماهواره ها قابل دسترس ۴ تا باشند)،  $\bar{X}$  برداری از ۴ مجهول و  $A$  ماتریس طراحی با ابعاد  $n \times 4$  می باشند. حل معادله (۱۵) با استفاده از روش حداقل مربعات خطا به صورت رابطه (۱۶) به دست می آید:

$$\bar{X} = (A^T A)^{-1} A^T \bar{L} \quad (16)$$

که مقادیر  $(\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i, \Delta t_i)$  حاصل می شوند. مختصات گیرنده از روابط (۱۷) به دست می آید:

$$x_i = x_0 + \Delta x_i, y_i = y_0 + \Delta y_i, z_i = z_0 + \Delta z_i \quad (17)$$

### ۶. حل معادلات فاز حامل در گیرنده های GPS با استفاده از روش حداقل مربعات خطا

معادله مشاهدات بر مبنای فاز حامل بدون در نظر گرفتن خطاهای محیطی به صورت زیر است:

### ۵. حل معادلات شبه فاصله در گیرنده های GPS با استفاده از روش حداقل مربعات خطا

با فرض این که مکان اولیه گیرنده  $(x_0, y_0, z_0)$  باشد، مکان واقعی گیرنده می تواند به صورت رابطه (۸) بیان شود:

$$x_i = x_0 + \Delta x_i, y_i = y_0 + \Delta y_i, z_i = z_0 + \Delta z_i \quad (8)$$

در رابطه فوق  $(\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i)$  مجهولات جدید می - باشند.  $(x_i, y_i, z_i)$  را می توان به صورت رابطه (۹) نوشت:

$$g(x_i, y_i, z_i) = g(x_0 + \Delta x_i, y_0 + \Delta y_i, z_0 + \Delta z_i) \quad (9)$$

با نوشتن بسط تیلور حول نقطه  $(x_0, y_0, z_0)$ ، ضرایب عبارات خطی به صورت زیر به دست می آیند:

$$\frac{\partial g(x_0, y_0, z_0)}{\partial x_0} = -\frac{x_j - x_0}{\rho_0^j}, \frac{\partial g(x_0, y_0, z_0)}{\partial y_0} = -\frac{y_j - y_0}{\rho_0^j}, \frac{\partial g(x_0, y_0, z_0)}{\partial z_0} = -\frac{z_j - z_0}{\rho_0^j} \quad (10)$$

رابطه شبه فاصله را بدون در نظر گرفتن خطاهای غیرقابل مدل سازی، می توان به صورت رابطه (۱۱) باز نوشت:

$$P^j = \rho_0^j - \frac{x_j - x_0}{\rho_0^j} \Delta x_i - \frac{y_j - y_0}{\rho_0^j} \Delta y_i - \frac{z_j - z_0}{\rho_0^j} \Delta z_i + c \Delta t_i \quad (11)$$

معادله (۱۱) را می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

$$l^j = a_{x_i}^j \Delta x_i + a_{y_i}^j \Delta y_i + a_{z_i}^j \Delta z_i + c \Delta t_i \quad (12)$$

که در آن:

### ۷. حل معادلات شبه‌فاصله- فاز حامل با روش حداقل مربعات خطا

اگر معادلات به دست آمده از تفاضلات مرتبه دوم فاز حامل و تفاضل شبه‌فاصله را به صورت ماتریسی بنویسیم به صورت زیر درمی‌آیند:

$$\bar{L} = A\bar{X} \quad (24)$$

که در آن:

$$\bar{L} = \begin{bmatrix} l_{t1t2}^2 - l_{t1t2}^1 \\ l_{t1t2}^3 - l_{t1t2}^2 \\ l_{t1t2}^4 - l_{t1t2}^3 \\ \vdots \\ l_{t1t2}^J - l_{t1t2}^{J-1} \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$l_{t1t2}^J - l_{t1t2}^{J-1} = [\varphi^J(t1) - \varphi^J(t2) - \rho_0^J(t1) + \rho_0^J(t2)] + [P^J(t2) - \rho_0^J(t2)] \quad (26)$$

$$\Rightarrow l_{t1t2}^J - l_{t1t2}^{J-1} = \nabla \Delta \varphi_{t1t2}^J - P^J - \rho_0^J(t1)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{x_i}^1(t2) & a_{y_i}^1(t2) & a_{z_i}^1(t2) \\ a_{x_i}^2(t2) & a_{y_i}^2(t2) & a_{z_i}^2(t2) \\ a_{x_i}^3(t2) & a_{y_i}^3(t2) & a_{z_i}^3(t2) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{x_i}^{J-1}(t2) & a_{y_i}^{J-1}(t2) & a_{z_i}^{J-1}(t2) \end{bmatrix} \quad (27)$$

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \\ \Delta z_i \end{bmatrix} \quad (28)$$

که با استفاده از رابطه (۲۴) موقعیت گیرنده به دست می‌آید.

### ۸. شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی با پردازش روی داده‌های تجربی، قانون نهفته در آن‌ها را کشف می‌کنند و به داخل ساختار شبکه انتقال می‌دهند. مطابق شکل ۱، هر شبکه عصبی از تعدادی گره که همان نرون‌ها

$$\Phi_i^j = \rho + \delta t_i c - \delta t_i^j c + \lambda N_i^j \quad (18)$$

رابطه (۱۸) با استفاده از بسط تیلور به صورت زیر درمی‌آید:

$$\Phi_i^j = \rho_0^j - \frac{x_j - x_0}{\rho_0^j} \Delta x_i - \frac{y_j - y_0}{\rho_0^j} \Delta y_i - \frac{z_j - z_0}{\rho_0^j} \Delta z_i + c \Delta t_i + \lambda N_i^j \quad (19)$$

حال اگر:

$$d^j = \Phi_i^j - \rho^j \quad (20)$$

قرار دهیم و برای  $J$  ماهواره معادلات فاز حامل را بنویسیم، فرم ماتریسی زیر به دست می‌آید:

$$\bar{D} = A\bar{X} \quad (21)$$

که در آن ماتریس  $A$  برابر است با:

$$\begin{bmatrix} d^1 \\ d^2 \\ d^3 \\ \vdots \\ d^J \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{x_i}^1 & a_{y_i}^1 & a_{z_i}^1 & c & \lambda \\ a_{x_i}^2 & a_{y_i}^2 & a_{z_i}^2 & c & \lambda \\ a_{x_i}^3 & a_{y_i}^3 & a_{z_i}^3 & c & \lambda \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{x_i}^J & a_{y_i}^J & a_{z_i}^J & c & \lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \\ \Delta z_i \\ \Delta t_i \\ \Delta N_i \end{bmatrix} \quad (22)$$

که در آن  $a_{x_i}^j, a_{y_i}^j, a_{z_i}^j$  همانند رابطه (۱۳) می‌باشند. در رابطه (۲۲)، تعداد مجهولات برابر  $J+4$  است که شامل  $J$  عدد صحیح ابهام به علاوه  $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta t$  می‌باشند. در اینجا هم یک دستگاه معادلات داریم که تعداد معادلات بیشتر از مجهولات است. برای حل چنین دستگاهی از روش حداقل مربعات خطا استفاده می‌شود که در بالا توضیح داده شد و از معادله (۲۳) استفاده می‌گردد.

$$X = (A^T A)^{-1} A^T L \quad (23)$$

که در آن  $a_j(n)$  مبین خروجی نرون  $j$  در لایه مخفی و  $f_j$  مبین تابع تصمیم گیری نرون  $j$  در لایه مخفی در تکرار  $n$  است.

گام ۳. محاسبه ورودی نرون لایه خروجی

$$v(n) = \sum_{j=1}^{j=q} w_{j1}(n).a_j(n) - b(n) \quad (31)$$

که در آن  $v(n)$  مبین ورودی نرون لایه خروجی،  $w_{j1}(n)$  مبین وزن اتصالی خروجی نرون  $j$  در لایه مخفی به ورودی نرون لایه خروجی،  $b(n)$  مبین حد آستانه نرون لایه خروجی در تکرار  $n$  می باشد.

گام ۴. محاسبه خروجی نرون لایه خروجی

$$a(n) = f[v(n)] \quad (32)$$

که در آن  $a(n)$  مبین خروجی نرون لایه خروجی و  $f$  مبین تابع تصمیم گیری نرون لایه خروجی در تکرار  $n$  می باشد.

گام ۵. بروزرسانی وزن های اتصالی نرون های لایه های ورودی و مخفی

$$\Delta w_{ji}(n) = -\eta . f'_j[v_j(n)] . [d(n) - a(n)] . f'_i[v(n)] . w_{ji}(n) . x_j(n) \quad (33)$$

که در آن  $\Delta w_{ji}(n)$  مبین میزان بروزرسانی وزن اتصالی خروجی نرون  $i$  در لایه ورودی به ورودی نرون  $j$  در لایه مخفی،  $d(n)$  مبین پاسخ مطلوب برای نرون لایه خروجی و  $\eta$  مبین پارامتر سرعت یادگیری در تکرار  $n$  می باشد.

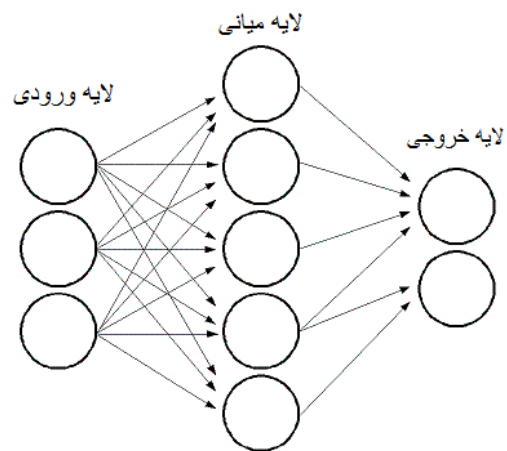
گام ۶. بروزرسانی حد آستانه (بایاس) نرون های لایه مخفی

$$\Delta b_j(n) = -\eta . f'_j[v_j(n)] . [d(n) - a(n)] . f'_i[v(n)] . w_{ji}(n) \quad (34)$$

که در آن  $\Delta b_j(n)$  مبین مقدار بروزرسانی حد آستانه نرون  $j$  در لایه مخفی در تکرار  $n$  می باشد.

گام ۷. بروزرسانی وزن های اتصالی نرون های لایه های مخفی و خروجی

هستند و وزن های ارتباطی که گره ها را به هم وصل می کنند، تشکیل شده است. داده های ورودی در وزن متناظرشان ضرب می شوند و مجموع آن ها به نرون ها وارد می گردند. هر نرون دارای یک تابع فعال سازی می باشد. این مقدار ورودی از تابع فعال سازی عبور کرده و مقدار خروجی نرون را مشخص می کنند. تعداد نرون ها و لایه های شبکه عصبی متناسب با مسئله مورد نظر و با روش سعی و خطا به دست می آید.



شکل ۱: نمایی از یک شبکه عصبی مصنوعی.

برای آموزش شبکه های عصبی چندلایه از الگوریتم پس انتشار خطا استفاده می شود که به صورت زیر است:  
گام ۰. مقداردهی اولیه وزن های شبکه به صورت تصادفی با توزیع یکنواخت و با اعداد کوچک.  
گام ۱. محاسبه ورودی نرون های لایه مخفی

$$V_j(n) = \sum_{i=1}^{i=p} w_{ji}(n) . x_i(n) - b_j(n) \quad (29)$$

که در آن  $V_j(n)$  مبین ورودی نرون  $j$  در لایه مخفی،  $w_{ji}(n)$  مبین وزن اتصالی خروجی نرون  $i$  در لایه ورودی به ورودی نرون  $j$  در لایه مخفی،  $x_i(n)$  مبین عنصر  $i$  ام بردار ورودی،  $b_j$  مبین حد آستانه (بایاس) نرون  $j$  در لایه مخفی در تکرار  $n$  است.

گام ۲. محاسبه خروجی نرون های لایه مخفی

$$a_j(n) = f_j[v_j(n)] \quad (30)$$

$(X, Y, Z)$  می‌باشد. لذا ۳۶ داده معلوم را به عنوان ورودی شبکه عصبی و ۳ داده مجهول را به عنوان خروجی شبکه عصبی در نظر می‌گیریم. بنابراین از یک شبکه عصبی چندلایه با ۳۶ نرون در لایه ورودی و ۳ نرون در لایه خروجی استفاده می‌شود.

### ۸.۳. حل معادلات شبه‌فاصله- فاز حامل در گیرنده‌های GPS با استفاده از شبکه عصبی

در این قسمت هم از داده‌های شبه‌فاصله و هم از داده‌های فاز حامل استفاده شده است. تعداد ماهواره‌های مورد بررسی همچنان ۹ می‌باشد. داده‌های شبه‌فاصله شامل موقعیت ماهواره‌ها و فاصله آن‌ها تا گیرنده می‌باشد که روی هم برابر ۳۶ داده می‌شود. داده‌های فاز حامل هم در اینجا برابر ۹ داده می‌باشد. لذا در این حالت ۴۵ داده معلوم داریم. تعداد مجهولات همچنان برابر ۳ می‌باشد که مختصات موقعیت گیرنده می‌باشد. بنابراین از یک شبکه عصبی چندلایه با تعداد ۴۵ نرون در لایه ورودی و ۳ نرون در لایه خروجی استفاده می‌کنیم.

### ۹. نتایج آزمایشگاهی حاصل از آزمون‌ها

مجموعه داده اول از پایگاه <http://www.zess.uni-siegen.de/> که به صورت رایگان در دسترس همگان قرار دارد، اخذ شده است. این مجموعه داده به شکل قابل تبدیل مستقل گیرنده (Receiver Independent Exchange Format) است که در تاریخ ۲۹ اکتبر ۲۰۰۶ با فواصل نمونه‌برداری یک ثانیه جمع‌آوری شده‌اند. در این جا ما از ۹ ماهواره (PRN) های ۱، ۶، ۱۰، ۱۶، ۱۷، ۲۱، ۲۲، ۲۶ و ۳۰ که در تمام زمان ۶۰۰ ثانیه‌ای جمع‌آوری داده قابل مشاهده بودند، برای شرکت در محاسبات بهره برده‌ایم. مجموعه داده دوم که توسط یک سخت افزار جهت اندازه‌گیری داده‌های واقعی طراحی و ساخته شده است، جمع‌آوری شد. این سیستم شامل دو GPS، تراشه FPGA جهت برنامه‌نویسی سخت‌افزاری و واحد

$$\Delta w_j(n) = -\eta_j \cdot [d(n) - a(n)] \cdot f'[v(n)] \cdot a_j(n) \quad (35)$$

که در آن  $\Delta w_j(n)$  مبین میزان بروسازی وزن اتصالی خروجی نرون  $j$  در لایه مخفی به ورودی نرون لایه خروجی در تکرار  $n$  می‌باشند.

گام ۸. بروسازی حد آستانه نرون لایه خروجی

$$\Delta b(n) = -\eta_b \cdot [d(n) - a(n)] \cdot f'[v(n)] \quad (36)$$

که در آن  $\Delta b(n)$  مبین مقدار بروسازی حد آستانه نرون لایه خروجی در تکرار  $n$  می‌باشد.

گام ۹. تکرار

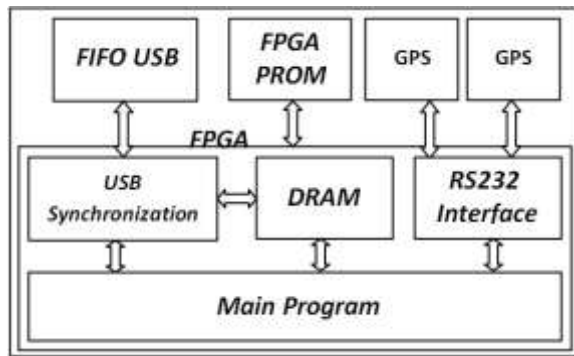
رفتن به گام ۱ تا همگرایی در کلیه وزن‌ها حاصل شود [15,16].

### ۸.۱. حل معادلات شبه‌فاصله در گیرنده‌های GPS با استفاده از شبکه عصبی

در این مقاله برای محاسبه موقعیت در گیرنده GPS از داده‌های ۹ ماهواره استفاده شده است. اطلاعاتی که هر ماهواره در اختیار گیرنده قرار می‌دهد، شامل موقعیت ماهواره  $(X_S, Y_S, Z_S)$  و فاصله آن ماهواره با گیرنده می‌باشد. بنابراین تعداد معلومات مسئله برابر ۳۶ می‌باشد. موقعیت گیرنده  $(X, Y, Z)$  نیز به عنوان مجهولات مسئله لحاظ می‌شود. ۳۶ داده معلوم به عنوان ورودی شبکه عصبی و موقعیت گیرنده  $(X, Y, Z)$  به عنوان خروجی شبکه عصبی در نظر گرفته می‌شود. لذا از یک شبکه چندلایه با تعداد ۳۶ نرون در لایه ورودی و ۳ نرون در لایه خروجی استفاده می‌گردد.

### ۸.۲. حل معادلات فاز حامل در گیرنده‌های GPS با استفاده از شبکه عصبی

هر ماهواره مقدار فاز حامل سیگنال خود را در اختیار گیرنده قرار می‌دهد. از آنجا که از ۹ ماهواره استفاده شده است، تعداد معلومات مسئله برابر ۳۶ می‌باشد. در اینجا نیز مجهولات مسئله همان موقعیت گیرنده



شکل ۲: پیکربندی بسته های سخت افزاری سیستم دریافت اطلاعات GPS

پردازش، یک تراشه پشته USB جهت ارتباط با کامپیوتر و دو عدد آنتن GPS از نوع فعال می باشد. برنامه های GPS، USB و برنامه اصلی بر روی FPGA به وسیله زبان برنامه توصیفی سخت افزاری پیاده سازی شد. ارتباط سریال جهت ارتباط بین FPGA و GPS، پیاده سازی سیگنال های ارتباطی و زمانی برای ارتباط با پشته USB و در نهایت برنامه اصلی جهت ذخیره اطلاعات GPS بر روی حافظه های پویا و کنترل ماشین حالت های دیگر طراحی گردید. پیکربندی واحدهای سخت افزاری در شکل (۲) نشان داده شده است. ابتدا داده های GPS جمع آوری شده و در حافظه پویا ذخیره می گردند. سپس این داده ها توسط پشته USB به کامپیوتر با سرعت 1MS/sec انتقال پیدا می کنند. یک بسته نرم افزاری تحت نرم افزار LABVIEW جهت برقراری سیگنال های ارتباطی USB و همچنین جمع آوری، پایش و ذخیره داده ها طراحی و پیاده سازی شده است. در این بسته توسط پنجره دستور، نرم افزار MATLAB جهت انجام محاسبات فراخوانی می گردد. این بسته نرم افزاری قابلیت های هر دو نرم افزار را دارد: گرافیک و نمای قابل پیکربندی و همچنین انجام محاسبات.

نتایج آزمون های دقیق روی هر دو دسته مجموعه داده های جمع آوری شده، یکسان بوده اند. تمامی آزمایشات بر روی ۶۰۰ داده انجام شد. از این داده ها، تعداد ۴۰۰ داده برای آموزش شبکه عصبی و تعداد ۲۰۰ داده برای آزمون آن استفاده شده است. نتایج حاصله که مقدار موثر خطا را بر حسب متر نشان می دهند به ازای تعداد نرون ها و تعداد دوره های مختلف برای هر سه حالت فوق در جداول ۱ الی ۳ آمده است. نمودارهای منطقی با این جداول آزمون، در شکل های ۳ الی ۵ ترسیم شده اند. از نتایج داده های آزمون به دست آمده، شبکه های عصبی بهینه برای داده های شبه فاصله، فاز حامل و شبه فاصله- فاز حامل، به ترتیب ساختار ۳-۲۵-۳۶، ۳-۲۵-۳۶ و ۳-۳۰-۳۶ دارند.

جدول ۱: خطای مؤثر محاسبه موقعیت با داده های شبه فاصله برای ۲۰۰ داده آزمون.

تعداد نرون	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵
تعداد دوره					
۱۰۰۰	۰,۰۶۶۵	۰,۰۶۶۶	۰,۰۸۷۸	۰,۱۶۷۱	۰,۰۴۶۱
۲۰۰۰	۰,۰۲۲۸	۰,۰۲۱۸	۰,۰۴۶۵	۰,۰۸۶۰	۰,۰۶۳۸
۳۰۰۰	۰,۰۲۶۴	۰,۰۲۸۴	۰,۰۱۸۸	۰,۰۷۹۷	۰,۰۴۶۹
۴۰۰۰	۰,۰۱۸۰	۰,۰۱۶۴	۰,۰۱۰۵	۰,۰۷۷۸	۰,۰۳۵۸
۵۰۰۰	۰,۰۳۲۴	۰,۰۱۸۴	۰,۰۲۰۵	۰,۰۵۴۳	۰,۰۳۹۹

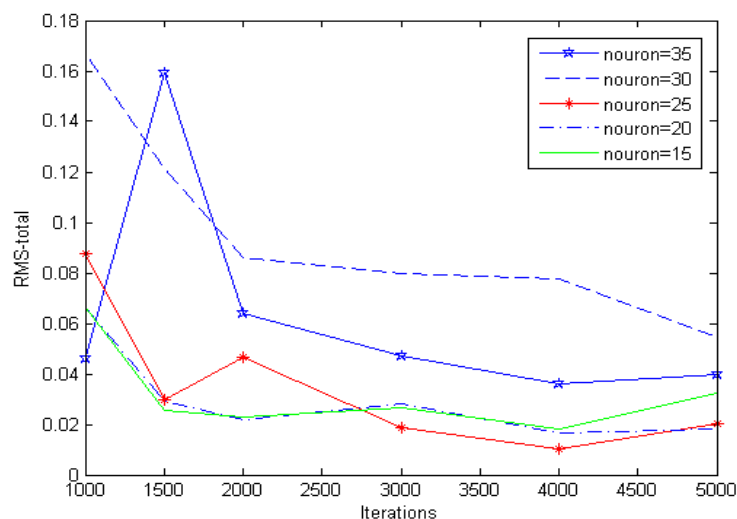


جدول ۲: خطای مؤثر محاسبه موقعیت با داده‌های فاز حامل برای ۲۰۰ داده آزمون.

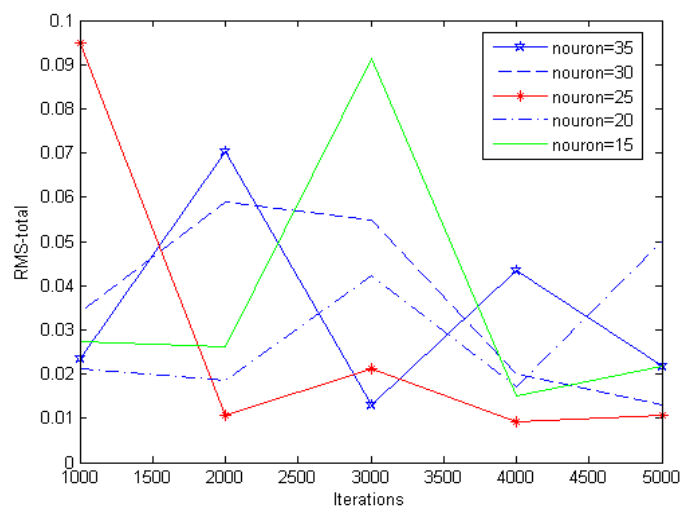
تعداد نرون	تعداد دوره	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵
۱۰۰۰	۰,۰۲۷۳	۰,۰۲۱۱	۰,۰۹۴۹	۰,۰۳۴۰	۰,۰۲۳۴	
۲۰۰۰	۰,۰۲۶۱	۰,۰۱۸۵	۰,۰۱۰۶	۰,۰۵۹۰	۰,۰۷۰۳	
۳۰۰۰	۰,۰۹۱۴	۰,۰۴۲۲	۰,۰۲۱۳	۰,۰۵۴۹	۰,۰۱۲۹	
۴۰۰۰	۰,۰۱۵۱	۰,۰۱۷۲	۰,۰۰۹۳	۰,۰۲۰۰	۰,۰۴۳۳	
۵۰۰۰	۰,۰۲۱۷	۰,۰۵۰۲	۰,۰۱۰۸	۰,۰۱۳۰	۰,۰۲۱۷	

جدول ۳: خطای مؤثر محاسبه موقعیت با داده‌های شبه‌فاصله - فاز حامل برای ۲۰۰ داده آزمون.

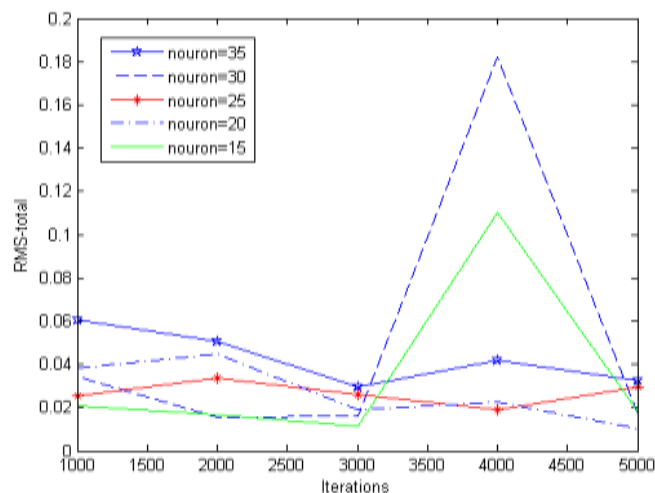
تعداد نرون	تعداد دوره	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵
۱۰۰۰	۰,۰۲۰۶	۰,۰۳۸۳	۰,۰۲۵۵	۰,۰۳۴۳	۰,۰۶۰۶	
۲۰۰۰	۰,۰۱۶۸	۰,۰۴۴۵	۰,۰۳۳۸	۰,۰۱۵۷	۰,۰۵۰۶	
۳۰۰۰	۰,۰۱۱۴	۰,۰۱۹۰	۰,۰۲۶۳	۰,۰۱۶۱	۰,۰۲۹۴	
۴۰۰۰	۰,۱۱۰۵	۰,۰۲۲۸	۰,۰۱۹۱	۰,۱۸۲۳	۰,۰۴۱۹	
۵۰۰۰	۰,۰۱۸۱	۰,۰۲۰۴	۰,۰۲۹۵	۰,۰۱۶۶	۰,۰۳۲۲	



شکل ۳: مقدار مؤثر خطا به ازای نرون‌های متفاوت برای داده‌های شبه‌فاصله.



شکل ۴: مقدار مؤثر خطا به ازای نرون های متفاوت برای داده های فاز حامل.



شکل ۵: مقدار مؤثر خطا به ازای نرون های متفاوت برای داده های شبه فاصله- فاز حامل.

جدول ۴ بیانگر نتایج به دست آمده از هر دو روش حداقل مربعات خطا و شبکه های عصبی در محاسبه موقعیت گیرنده های GPS می باشد.

جدول ۴: نتایج حاصل از روش های حداقل مربعات خطا و شبکه عصبی چندلایه.

نوع داده های آزمایشی	روش محاسبه	مقدار مؤثر خطای محاسبه موقعیت	زمان اجرا
شبه فاصله	حداقل مربعات خطا	۰,۷۶۷۰	۰,۹۶۰
	شبکه عصبی	۰,۰۱۰۵	۰,۰۰۸۲
فاز حامل	حداقل مربعات خطا	۰,۳۲۲۵	۰,۱۸۷
	شبکه عصبی	۰,۰۰۹۳	۰,۰۰۵۶
شبه فاصله- فاز حامل	حداقل مربعات خطا	۰,۵۱۹۳	۰,۲۰۶
	شبکه عصبی	۰,۰۱۶۶	۰,۰۰۸۶

- [4] M. R. Mosavi, "A Practical Approach for Accurate Positioning with L1 GPS Receivers using Neural Networks", *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, Vol.17, No.2, pp.159-171, March 2006.
- [5] M. R. Mosavi, "Comparing DGPS Corrections Prediction using Neural Network, Fuzzy Neural Network, and Kalman Filter", *Journal of GPS Solutions*, Vol.10, No.2, pp.97-107, May 2006.
- [6] M. R. Mosavi, "GPS Receivers Timing Data Processing using Neural Networks: Optimal Estimation and Errors Modeling", *Journal of Neural Systems*, Vol.17, No.5, pp.383-393, October 2007.
- [7] Y. He, R. Martin and A. M. Bilgic, "Approximate Iterative Least Squares Algorithms for GPS Positioning", *IEEE Symposium on Signal Processing and Information Technology*, pp. 231-236, December 2011.
- [8] X. Du, L. Liu, H. Li, "Experimental Study on GPS Non-linear Least Squares Positioning Algorithm", *IEEE Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, pp. 262-265, May 2010.
- [9] Y. He and A. Bilgic, "Iterative Least Squares Method for Global Positioning System", *Journal of Advances in Radio Science*, Vol. 9, pp. 203-208, 2011.
- [10] M. Chansarkar, "Neural Networks in GPS Navigation", *Journal of GPS Solutions*, Vol.4, No.2, pp.14-18, 2000.
- [11] M. R. Mosavi, "Error Reduction for GPS Accurate Timing in Power Systems using Kalman Filters and Neural Networks", *Journal of Electrical Review*, Vol.87, No.12, pp.161-168, 2011.
- [12] R. B. Langley, "The GPS Obseables", *GPS World Magazine*, Vol. 4, No. 4, pp. 52-59, April 1993.
- [13] M. S. Grewal, L. R. Weill and A. P. Andrews, "Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration", Wiley, 2007.
- [14] P. Misra and P. Enge, "Global Positioning System: Signals, Measurements and Performance", Ganga-Jamuna Press, 2001.
- [15] S. Haykin, "Neural Networks: A Comprehensive Foundation", 2nd Edition, Prentice Hall, 1998.

[۱۶] سید محمد رضا موسوی میرکلانی، "پردازش داده ها در گیرنده های تک فرکانسه GPS"، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۹.

مشاهده می شود که تعیین موقعیت با داده های شبه‌فاصله- فاز حامل از تعیین موقعیت با داده های شبه فاصله تنها، دقیق تر است. همچنین نسبت به تعیین موقعیت با داده های فاز حامل، می تواند مکان یابی را بدون وابستگی به مکان اولیه انجام دهد. همچنین سرعت هر یک از روش ها بر حسب ثانیه در جدول ۴ با هم مقایسه شده اند.

#### ۱۰. نتیجه گیری

برای حل معادلات شبه‌فاصله، فاز حامل و شبه‌فاصله- فازحامل روش حداقل مربعات خطا به طور معمول استفاده می‌شود که دارای عملکرد محدود (دقت پایین، زمان اجرای بالا و غیرمقاوم در برابر نویز) می‌باشد. در این مقاله سعی شد که به نحوه محاسبه موقعیت با استفاده از داده‌های شبه‌فاصله، فازحامل و شبه‌فاصله- فازحامل پرداخته شود. شبکه‌های عصبی به عنوان روشی جدید برای به دست آوردن موقعیت در گیرنده‌های GPS به کار برده شد. نتایج حاصل از آزمون‌های مختلف نشان داد که شبکه‌های عصبی کارایی بسیار مناسبی برای تعیین دقیق و سریع موقعیت در گیرنده‌های GPS داشته به طوری که میزان مؤثر خطای محاسبه را در هر ۳ حالت به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. همچنین زمان محاسبه نیز تقلیل پیدا کرد. لذا استفاده از شبکه‌های عصبی برای حل معادلات موقعیت گیرنده‌های GPS به جای روش‌های سنتی به مراتب مناسب‌تر است.

#### مراجع

- [1] I. A. Getting, "The Global Positioning System", *IEEE Spectrum*, Vol. 30, No. 12, pp. 36-47, Dec 1993.
- [2] T. Moore, "An Introduction to the Global Positioning System and Its Application", *IEEE Conference on Developments in the Use of Global Positioning Systems*, pp.1-6, Feb 1994.
- [3] M. H. Refan, "Satellite Positioning Sensors in Past, Present and Future", *IEEE Conference on Sensors*, pp. 37-46, July 2003.