

## HEURISTIC ALGORITHM TO SOLVE THE MULTI-FLOOR LAYOUT PROBLEM WITH THE CONSIDERATION OF ELEVATOR

M. Saviz Asadi. L.

M.Sc student, Industrial Engineering Department,  
Tarbiat Modares University  
Saviz\_asady@yahoo.com

S.H. Zegordi

Associate professor, Industrial Engineering  
Department, Tarbiat Modares University  
zegordi@modares.ac.ir

**Abstract:** In the past few decades along with the developing industrial units, the use of multi floor factories has increased. On the other hand according to the service provided and being in city centers, office buildings, hospitals, universities, ministries etc. represent the most multi floor buildings. One of the most costly procedures which these factories and buildings (which are multi floored) face is the cost of transporting equipment among different departments. These transportations are divided into horizontal and vertical, according to being a multi floor building. For vertical transportation the machine always recommended is an elevator. Placing and elevator is a costly procedure, therefore the number of elevators needed and their locations should be decided. Since 1967 a number of algorithms have been introduced to solve multi floor buildings designing problems, using a lot of simplifying theories based on the large amount of calculations needed. Therefore they are only described theoretically and mathematically, but can't be used in a real setting. In this research we have tried to define an algorithm to solve multi floor designing problem so that it could be used in real settings. All the simplifying theories used for the previous algorithms have been eliminated. Results show that this algorithm to a large extent can be applied to real settings.

## الگوریتم ابتکاری برای حل مسئله طراحی ساختمانهای چند طبقه با اعمال محدودیتهای واقعی استفاده از آسانسور

محمد ساويز اسدی لاری و سید حسام‌الدین ذگردی

**چکیده:** در این مقاله، مسئله طراحی چیدمان ساختمان‌های چند طبقه مورد بررسی قرار می‌گیرد. تابع هدف کمینه‌سازی هزینه نقل و انتقال مواد در بین دپارتمان‌ها می‌باشد. بررسی ادبیات نشان می‌دهد که نتایج بدست آمده از حل این مسئله قابل اجرا در عمل نمی‌باشد؛ پس از مدل‌سازی ریاضی، بعلت NP-hard بودن مسئله، برای حل از دو الگوریتم ابتکاری استفاده شده است. اولین الگوریتم چیدمان ابتدایی دپارتمان‌ها را تولید می‌کند؛ سپس الگوریتم دوم به جابجایی دپارتمان‌ها با هدف کمینه‌سازی مقدار تابع هدف می‌پردازد. در نهایت تجزیه و تحلیل و مقایسه الگوریتم پیشنهادی انجام می‌شود. نتایج محاسبات نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی دارای کارایی بسیار بالایی در عمل و در دنیای واقعی می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** ساختمان‌های چندطبقه، آسانسور، طراحی چیدمان، مدل‌سازی ریاضی، الگوریتم‌های ابتکاری.

تاریخ وصول: ۸۵/۹/۱۷

تاریخ تصویب: ۸۶/۱۲/۱۲

محمد ساويز اسدی لاری، کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، saviz\_asady@yahoo.com

دکتر سید حسام‌الدین ذگردی، دانشیار بخش مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، zegordi@modares.ac.ir

## ۱. مقدمه

در چند دهه گذشته با پیشرفت واحدهای صنعتی، استفاده از کارخانه های چند طبقه رونق خاصی پیدا کرده است. از طرف دیگر ساختمان های اداری، بیمارستان ها، دانشگاه ها، وزارتخانه ها و ... ، با توجه به نوع خدمت و قرار گرفتن در مرکز شهرها، بیشترین حجم ساختمان های چند طبقه را به خود اختصاص می دهند. یکی از بیشترین هزینه هایی که این نوع کارخانه ها و ساختمان ها (که به صورت چند طبقه ساخته شده اند) با آن در ارتباط هستند، هزینه هایی است که از نقل و انتقال مواد در بین دپارتمان ها بوجود می آید.

با توجه به چند طبقه بودن ساختمان، این جابجایی به نقل و انتقال افقی و عمودی تقسیم می شود. وسیله ای که برای جابجایی عمودی همواره پیشنهاد شده است، آسانسور می باشد. با توجه به هزینه بالای نصب آسانسور، باید آسانسورها از لحاظ تعداد و مکان تعیین شوند.

از سال ۱۹۶۷ تاکنون الگوریتم های زیادی برای حل مسائل طراحی چیدمان ساختمان های چند طبقه مطرح شده است که با توجه به پیچیدگی مساله و حجم بالای محاسبات از فرض های ساده ساز بسیار زیادی استفاده کرده اند [۱] به گونه ای که مساله فقط از نظر ریاضی و تئوری توجیه پذیر است، ولی در عمل و در دنیای واقعی قابل استفاده نمی باشد.

از این رو در این مقاله سعی شده است با ارائه الگوریتمی، مساله چیدمان چند طبقه به گونه ای حل شود که قابلیت استفاده آن در دنیای واقعی وجود داشته باشد. به همین منظور کلیه فرض های ساده ساز الگوریتم های قبلی حذف شده است. نتایج بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی نشان دهنده کارایی قابل توجه این الگوریتم و قابلیت استفاده از آن در دنیای واقعی است. به منظور استقرار تجهیزات در ساختمان های چند طبقه یا مساله چیدمان چند طبقه دو روش عمده وجود دارد:

**الگوریتم های تک مرحله ای:** در این دسته از الگوریتم ها هر دپارتمان، به جز آنهایی که در محل خود ثابت شده اند، می توانند در طول حل مساله هر طبقه ای را به خود اختصاص دهند [۵].

**الگوریتم های دو مرحله ای:** در این دسته از الگوریتم ها در مرحله اول هر دپارتمان به طور ثابت و دائمی به یکی از طبقات اختصاص داده می شود و در مرحله دوم طرح چیدمان برای هر طبقه به صورت جداگانه تعیین می شود [۵].

الگوریتم های تکمیل شده دو مرحله ای نیز وجود دارد که در صورت رسیدن به جواب بهتر اجازه تغییر طبقه را در مرحله دوم به دپارتمانهای ثابت شده می دهند [۱] و [۱۵]. می توان گفت بدون وجود هیچ محدودیتی در زمان حل، الگوریتم های تک مرحله در

مقایسه با الگوریتم های دو مرحله ای دارای عملکرد بالاتری می باشند؛ چراکه در این الگوریتم ها، دپارتمان ها اجازه تغییر طبقه در طی اجرای الگوریتم را دارا هستند. با این حال، در صورتی که زمان حل مساله را نیز در نظر بگیریم، مشخص نیست که روش های تک مرحله ای منجر به جواب های بهتری در مقابل روش های دو مرحله ای شوند. چراکه مجبور به جستجو در فضای جواب بزرگتری هستند. از طرف دیگر عملکرد روش های دو مرحله ای، وابسته به کیفیت تخصیص دپارتمان ها به طبقات است که در مرحله اول انجام می گردد [۱].

کلیه الگوریتم های استقرار چند طبقه دارای حداقل یکی از محدودیت های زیر می باشند:

- دپارتمان ها امکان شکسته شدن بین طبقات را دارند.
- موقعیت های متفاوت برای بالا برها در نظر گرفته نشده است.
- در اکثر الگوریتم ها فرض شده است که کلیه دپارتمان ها دارای مساحت مساوی هستند.
- نادیده گرفتن راهرو ها در حل مساله.
- وقتی که دپارتمان به یک طبقه تخصیص یافت امکان تغییر طبقه وجود ندارد. (در الگوریتم های دو مرحله ای)
- تعداد آسانسورها در این الگوریتم ها مدنظر قرار نگرفته است.
- مساحت آسانسورها نیز در کلیه الگوریتم های پیشنهادی ناچیز فرض شده است.
- تاثیر نداشتن مدت زمان انتظار برای آسانسور بر چیدمان دپارتمان ها در مساله.
- محاسبه فاصله افقی بین دو دپارتمان، بدون در نظر گرفتن دیوارها.

بسط و توسعه الگوریتمی به منظور بهبود الگوریتم های پیشنهادی که تمامی فرضیات ساده ساز بالا را آزاد نماید به عنوان یک نوآوری در حل مساله طراحی چیدمان چند طبقه مطرح می گردد، که در این مقاله مورد بررسی قرار می گیرد.

## ۲. تعریف مساله و مدلسازی ریاضی

مدل سازی مساله چیدمان چند طبقه دارای اهمیت بسیار زیادی می باشد، زیرا با تعیین درست و بجای پارامترها می توانیم، بسیاری از محدودیت هایی که در اینگونه مسائل و الگوریتم های معرفی شده تا به حال، وجود دارد و موجب شده است تا مساله بصورت عملی مورد توجه زیادی قرار نگیرد و تنها به جنبه تئوری آن توجه شود، جلوگیری کنیم.

از طرف دیگر با وارد کردن تاثیر زمان بر چیدمان مساله و تعیین فضا برای آسانسور به عنوان یک دپارتمان و تعیین راهروها پیچیدگی مساله را دوچندان کرده است. زیرا از طرفی باید مساله به صورت عملی قابل قبول باشد و از طرف دیگر جنبه ها و نوآوری های جدید مساله را بپوشاند.

جدول ۱. مقایسه الگوریتم های پیشنهادی

دپارتمان	آسانسور		سال طرح		نوع الگوریتم
	شکسته نشدن	نا مساوی بودن	مهر	فضا	
ALDEP	×	○	×	×	دو مرحله ای
SPS	×	×	×	×	دو مرحله ای
SPACECRAFT	×	○	×	×	تک مرحله ای
MSLP	×	×	×	×	دو مرحله ای
BLOCPAN	×	○	×	×	دو مرحله ای
MULTIPLE	○	○	×	○	تک مرحله ای
SABLE	○	○	×	×	تک مرحله ای
FLEX	○	○	×	×	دو مرحله ای
STAGES	○	○	×	×	دو مرحله ای
MULTI-HOPE	○	○	×	×	دو مرحله ای
MUSE	○	○	○	×	تک مرحله ای
TABU CRAFT	○	○	×	×	تک مرحله ای
F.G.TS	○	○	×	×	دو مرحله ای
الگوریتم پیشنهادی	○	○	○	○	نوع سوم

۲-۱. تعریف متغیرها و مجموعهها

در این قسمت تمامی پارامترها و علائم بکار رفته در مدل و الگوریتم ارائه شده به اختصار توضیح داده شده است.

محیط دپارتمان $i$ :	$P_i$	تعداد دپارتمانها :	$n$
حداقل تعداد آسانسورها :	$MinE_n$	هزینه انتقال عمودی بر واحد مسافت یک واحد از دپارتمان $i$ به دپارتمان $j$ :	$C_{ij}^V$
حداکثر تعداد آسانسورها :	$MaxE_n$	هزینه انتقال افقی بر واحد مسافت یک واحد از دپارتمان $i$ به دپارتمان $j$ :	$C_{ij}^H$
ماکسیم فضای موجود در طبقه $k$ :	$A_k$	فاصله افقی بین دپارتمان $i, j$ :	$d_{ij}^H$
سرعت حرکت آسانسور :	$v$	فاصله عمودی بین دپارتمان $i, j$ :	$d_{ij}^V$
مسافت مجازی که به علت انتظار در صف ایجاد می شود :	$h_i$	نشان دهنده دپارتمانها می باشد :	$i, j$
هزینه کلی عمودی بین دپارتمان $i, j$ :	$S_{ij}$	نشان دهنده طبقات می باشد :	$g, k$
هزینه کلی افقی بین دپارتمان $i, j$ :	$Q_{ij}^H$	فاصله عمودی بین دپارتمان $i, j$ هنگامی که در طبقات $g, k$ قرار گرفته اند :	$d_{ij}^{kg}$
آسانسور :	$\ell$	فاصله بین دو طبقه همسایه :	$\delta$
آسانسور شماره $b$ :	$\ell_b$	فاصله بین طبقات $g, k$ :	$D_{kg}$
مدت زمان انتظار آسانسور شماره $b$ :	$t\ell_b$	مقدار جریان بین دو دپارتمان $i, j$ در واحد زمان :	$f_{ij}$
مکان آسانسور $b$ در مرحله قبل که از آن استفاده شده است :	$yj\ell_b$	مینیم فضای مورد نیاز برای دپارتمان $i$ :	$a_i$
مساحت آسانسور :	$A_\ell$	ضریب مورد قبولی شکل :	$\Omega_i$
مساحت راهرو :	$A_c$	مساحت دپارتمان $i$ :	$A_i$
تعداد آسانسورها :	$E_n$		
هزینه نصب هر آسانسور در یک روز :	$E_c$		
نقاط داخلی :	$W_1$		
نقاط مرزی :	$W_2$		
نقاط گوشه :	$W_3$		

۲-۲. معرفی و تعیین تابع هدف

تابع هدف اصلی مساله به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$MinF(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (C_{ij}^H d_{ij}^H + C_{ij}^V d_{ij}^V) f_{ij} + E_n E_c \quad (۱)$$

تابع هدف ذکر شده برحسب هزینه می باشد و در طول حل مساله به مینیمم کردن هزینه‌های ناشی از فاصله های عمودی و افقی و تعداد آسانسور که منجر به مینیمم شدن هزینه کل می‌شود، پرداخته می‌شود. در تابع هدف  $C_{ij}^H$ ،  $C_{ij}^V$ ،  $f_{ij}$  و  $E_c$  پارامترهای مساله (به عنوان اعداد ورودی) بوده و در آن  $d_{ij}^H$ ،  $d_{ij}^V$  و  $E_n$  متغیر تصمیم است. مدل کلی و ساده شده مسائل چیدمان چند طبقه بدون توجه به وجود آسانسور به صورت زیر می‌باشد:

$$MinF(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (C_{ij}^H d_{ij}^H + C_{ij}^V d_{ij}^V) f_{ij} \quad (۲)$$

$$S.t. \sum_{k=1}^k x_{ik} = 1 \quad i = 1, \dots, N$$

$$\sum_{i=1}^N a_i x_{ik} \leq A_k \quad k = 1, \dots, K$$

$$x_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{if department } i \text{ is assigned to floor } k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

در مدل بالا اولین محدودیت مربوط به شکسته نشدن دپارتمان‌ها در بین طبقات می‌باشد. محدودیت بعدی مربوط به قرار گرفتن دپارتمان در طبقات با توجه به مساحت دپارتمان و مساحت باقیمانده در آن طبقه می‌باشد. مدل بالا هیچگونه توجهی به محدودیتهایی که در مورد فاصله‌های عمودی و افقی موجود می‌باشد، ندارد.

۲-۲-۱. تعیین فاصله عمودی و هزینه عمودی

تعیین فاصله عمودی بین دپارتمان‌ها و پس از آن محاسبه هزینه نقل و انتقال عمودی یکی از اهداف اصلی چیدمان چند طبقه می‌باشد. تابع زیر به محاسبه هزینه نقل و انتقال عمودی بین دپارتمان‌های  $i$  و  $j$  هنگامی که دپارتمان  $i$  در طبقه  $k$  و دپارتمان  $j$  در طبقه  $g$  قرار دارد، می‌پردازد.

$$S_{ij} = Min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{g=1}^K f_{ij} C_{ij}^V D_{kg} x_{ik} x_{jg} \quad (۳)$$

$$S.t. \sum_{k=1}^k x_{ik} = 1 \quad i = 1, \dots, N$$

$$\sum_{i=1}^N a_i x_{ik} \leq A_k \quad k = 1, \dots, K$$

$$x_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{if department } i \text{ is assigned to floor } k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

اما مدل بالا مدل کاملی نیست و فواصل داخلی طبقات را در نظر نمی‌گیرد. اگر فاصله بین دو طبقه همسایه را مساوی یا تقریباً مساوی در نظر بگیریم به شرط اینکه خواهیم داشت:

$$d_{ij}^{kg} = \delta |k - g| \quad (۴)$$

در ضمن با توجه به عبارت روبرو می‌توانیم برای هر دپارتمان یک شماره طبقه اختصاص دهیم:

$$y_i = \sum_k^K k x_{ik} \quad (۵)$$

در نتیجه فاصله عمودی به صورت روبرو تعریف می‌شود:

$$d_{ij}^{kg} = \delta |y_i - y_j| \quad (۶)$$

با توجه به موارد ذکر شده خواهیم داشت:

$$S_{ij} = Min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |y_i - y_j| \delta C_{ij}^V f_{ij} \quad (۷)$$

$$S.t. \sum_{k=1}^k x_{ik} = 1 \quad i = 1, \dots, N$$

$$\sum_{i=1}^N a_i x_{ik} \leq A_k \quad k = 1, \dots, K$$

$$\sum_{k=1}^K k x_{ik} = y_i \quad i = 1, \dots, N$$

$$x_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{if department } i \text{ is assigned to floor } k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

### ۲-۲-۲. تعیین فاصله افقی و هزینه افقی

کاملاً واضح است که اگر دپارتمانهای  $i$  و  $j$  در یک طبقه واقع شوند به استفاده از آسانسور نیازی نیست و فاصله افقی در تمامی الگوریتم‌های پیشنهادی، به صورت فاصله مستقیم مرکز دپارتمان تا مرکز دپارتمان دیگر محاسبه می‌شود.

### ۲-۲-۲-۱. محاسبه فاصله افقی بدون در نظر گرفتن زمان انتظار برای آسانسور

این نوع اندازه‌گیری و محاسبه فاصله افقی که در قسمت قبل ذکر شد با توجه به وجود دیوارها، بی‌معنی می‌اشد. در ضمن با وجود راهروها، بدیهی است که این فاصله از طریق راهروها باید محاسبه شود.

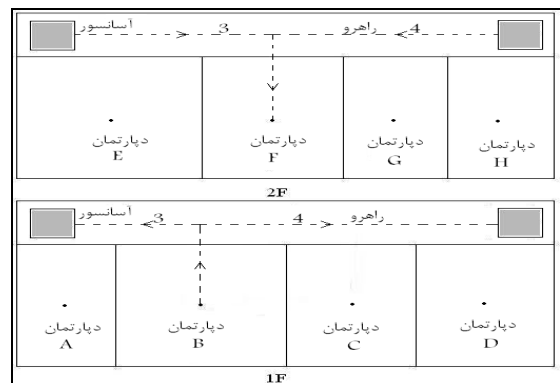
$$d_{ij}^H = d_{ic_i}^H + d_{c_i c_j}^H + d_{c_j j}^H \quad (۸)$$

اگر دپارتمانهای  $i$  و  $j$  در طبقات متفاوت واقع شوند آنگاه  $d_{ij}^H$  برابر با فاصله مرکز دپارتمان  $i$  تا راهرو، فاصله راستای عمودی مرکز دپارتمان  $i$  در راهرو تا آسانسور، فاصله آسانسور (در طبقه بعدی) تا راستای عمودی مرکز دپارتمان  $j$  (در طبقه بعدی) در راهرو و فاصله راهرو تا مرکز دپارتمان  $j$  می‌اشد و به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$d_{ij}^H = d_{ic_i}^H + d_{c_i \ell}^H + d_{\ell c_j}^H + d_{c_j j}^H \quad (۹)$$

همچنین اگر بیش از یک آسانسور جهت نقل و انتقال موجود باشد، فاصله افقی بین دپارتمانها از طریق کلیه آسانسورها محاسبه شده و مینیمم آنها به عنوان فاصله افقی بین دپارتمانها منظور می‌گردد.

$$d_{ij}^H = \text{Min}(d_{ic_i}^H + d_{c_i \ell}^H + d_{\ell c_j}^H + d_{c_j j}^H) \quad (۱۰)$$



شکل ۱. محاسبه فاصله افقی در الگوریتم جدید

### ۲-۲-۲-۱. محاسبه فاصله افقی با در نظر گرفتن زمان انتظار برای آسانسور

همانطور که در قسمت گذشته نیز اشاره شد، الگوریتم‌های موجود بدون توجه به مدت زمان انتظاری که برای واحدهای قابل انتقال هر دپارتمان، که موجب مشغول بودن آسانسورها می‌وند، ارائه شده‌اند. یعنی «بهترین آسانسور برای حمل واحدی، از دپارتمان  $i$  به  $j$  آسانسوری است که فاصله افقی بین دپارتمان  $i$  و  $j$  را حداقل سازد.» ولی با در نظر گرفتن زمان انتظار، همواره بهترین آسانسور برای حمل، آسانسوری نیست که موجب کوتاه‌ترین فاصله افقی شود. به همین دلیل، باید به طریقی مدت زمان انتظار برای آسانسور را در مدل ریاضی خود به گونه‌ای جای دهیم، که تاثیر مستقیم در انتخاب آسانسور داشته باشد. اگر فردی از دپارتمان  $i$  در یک طبقه بخواهد به دپارتمان  $j$  در طبقه دیگری برود، در مرحله اول مسیر دپارتمان  $i$  تا راهرو سپس راهرو تا آسانسور را باید طی کند، هنگامی که به آسانسور می‌رسد (اگر آسانسور خالی باشد) با سرعت  $V$  شروع به حرکت می‌کند؛ ولی اگر آسانسور مشغول باشد به اندازه  $T$ ، (مدت زمان مشغول بودن آسانسور) باید منتظر بماند؛ پس بدیهی است به اندازه  $VT$  از برنامه سفر خود عقب می‌افتد. مدل زیر نشان دهنده تاثیر زمان بر مسافت طی شده می‌باشد.

$$d_{ij}^H = \text{Min}(d_{ic_i}^H + d_{c_i \ell}^H + \alpha(V(tl_b)) + d_{\ell c_j}^H + d_{c_j j}^H) \quad (۱۱)$$

یکی از علائمی که در بالا مشخص می‌باشد  $tl_b$  است و مفهوم آن مدت زمانی است که آن آسانسور خاص مشغول بوده است. تعیین این مدت زمان در بخش‌های آینده بطور کامل آمده است. ولی در مدل بالا علاوه بر  $V(tl_b)$  علامت دیگری نیز وجود دارد و آن  $\alpha$  (آلفا) می‌باشد و وظیفه آن وزن‌دهی به مسافت مجازی است که از انتظار در پشت در آسانسور بوجود می‌آید. بیشترین تاثیر  $\alpha$  مربوط به انتخاب آسانسور می‌باشد.  $\alpha$  را به دو صورت می‌توان تفسیر کرد:

۱-  $\alpha$  به عنوان یک عدد ورودی در مساله وارد شود. یعنی برای کارفرما، مدت زمان انتظار افراد یا بار برای آسانسور، مهم و یا قابل چشم‌پوشی می‌باشد. به هر حال با تعویض  $\alpha$  به عنوان عدد ورودی می‌توان از اهمیت این موضوع (تاثیر مدت زمان انتظار برای آسانسور بر چیدمان مساله) باخبر شد. بدیهی است در صورتی که  $\alpha = 0$  باشد، مساله بدون تاثیر مدت زمان انتظار برای آسانسور بر چیدمان، حل می‌شود.  $\alpha$  می‌تواند برای تمام دپارتمانها ثابت باشد و یا برای دپارتمان‌های مختلف فرق کند و مانند جدول ارتباط بین دپارتمانها وارد مساله شود و برای ارتباط بین هر دو دپارتمان یک  $\alpha$  خاص وجود داشته باشد.

$$\frac{1}{3} \leq \frac{a}{b} \leq 3 \quad (14)$$

فرمول بالا به این معنی می باشد که اگر نسبت ضلع ها کمتر از ۳ و بزرگتر از یک سوم باشد شکل مورد قبول می باشد، بدیهی است که این اعداد قابل تغییر و بستگی به نظر طراح دارد.

#### ۲-۴. آسانسورها

آسانسورها یکی از مهمترین اجزای تشکیل دهنده ساختمان های چند طبقه می باشند؛ از طرف دیگر هزینه بسیار بالایی از طراحی ساختمان های چند طبقه را به خود اختصاص می دهند. به همین دلیل در هنگام طراحی باید توجه خاصی به آنها شود تا از لحاظ تعداد و محل قرارگیری در جای مناسبی قرار گیرند و در مجموع موجب کاهش هزینه های ناشی از حمل و نقل مواد یا افراد در بین دپارتمان ها شوند. هدف اصلی در این قسمت ارائه راهکارهای طراحی و انتخاب مناسب ترین آسانسور با قابلیت بهره برداری مناسب از لحاظ موقعیت، تعداد، نوع، سرعت و ظرفیت می باشد. ساختمان و نوع عملکرد آن، تعیین کننده نوع آسانسوری است که باید تعبیه گردد.

#### ۲-۴-۱. تعداد آسانسورها

انتخاب تعداد آسانسور یک تصمیم اساسی در طراحی ساختمان است و هرگونه اشتباهی ممکن است منجر به بالا رفتن هزینه های نصب آسانسور، کاهش رضایت مسافری به علت زمان های طولانی انتظار و یا فضای مفیدی از ساختمان را به هدر دهد که همه موارد موجب ضرر اقتصادی بالایی می شود. اگر هزینه نصب آسانسور خیلی بالا باشد از آسانسورهای کمتری استفاده می شود تا هزینه تقلیل یابد. در هر حال هر آسانسور محدوده نقل و انتقال را کاهش می دهد. لذا تعداد آسانسورها با توجه به تعداد طبقات ساختمانی باید بهینه باشد. در صورتی که حداقل تعداد آسانسورهای مورد نیاز را ۱ قرار دهیم؛ حداکثر تعداد آسانسور ها نیز از رابطه زیر بدست می آید:

$$\text{Max} E_n = \left[ \frac{A_f}{A_c} \right] \Rightarrow 1 \leq E_n \leq \left[ \frac{A_f}{A_c} \right] \quad (15)$$

#### ۲-۴-۲. مکان آسانسورها (راهروها)

در طراحی محل آسانسور به اولین موردی که باید توجه کرد ، مقدار فضایی است که توسط آسانسور اشغال می شود. همانطور که در بخش های گذشته نیز مطرح شد، تمامی الگوریتم های طرح شده فضایی برای آسانسور در نظر نمی گرفتند. این امر موجب مشکلات بسیار زیادی در طراحی می شود . از جمله آنها می توان به موارد زیر توجه کرد:

۲- بهترین  $\alpha$  برای مساله داده شده پیدا شود. بر طبق استانداردهای جهانی سه سطح کیفی برای سرویس دهی مطلوب مبتنی بر زمان انتظار برای آسانسور ۶۰ ، ۸۰ و ۱۰۰ ثانیه وجود دارد، که مدت زمان ۶۰ ثانیه بیشتر مورد توجه قرار می گیرد. پس به عنوان مثال مدت زمان انتظار ۶۰ ثانیه طبیعی بوده و مسافر یا بار می تواند منتظر بماند و از آسانسور دیگری استفاده نکند. در نتیجه بهترین  $\alpha$  ،  $\alpha$  ای است که چیدمان مساله را طوری طراحی کند که اکثر دپارتمان ها تا مدت زمان انتظار ۶۰ ثانیه از آسانسوری که موجب کوتاه ترین فاصله افقی شود، استفاده کنند. پس مساله با  $\alpha$  های مختلف باید حل شود، تا به  $\alpha$  برسیم، که در آن بیشترین تعداد دپارتمان ها (نسبت به حل با بقیه  $\alpha$  ها) در زمان کمتر از ۶۰ ثانیه، از کوتاه ترین فاصله افقی از طریق آسانسور استفاده کنند. در کل بیشترین تاثیر  $\alpha$  بر مساله، بر روی چیدمان آسانسورها (مکان آسانسورها)، چیدمان دپارتمان ها و تعداد آسانسورها می باشد. در نتیجه هزینه افقی بین دو دپارتمان به شرح زیر محاسبه می شود:

$$Q_{ij}^H = \text{Min} \left( \underbrace{d_{ic_i}^H + d_{c_i\ell}^H}_{d_{ic}} + \underbrace{\alpha(VT_\ell)}_{h_{ij}} + \underbrace{d_{\ell c_j}^H + d_{c_jj}^H}_{d_{ij}} \right) f_{ij} C_{ij}^H \quad (12)$$

#### ۲-۳. کنترل اشکال دپارتمان ها

منظور از کنترل اشکال دپارتمان ها این است ، که چگونه اشکال دپارتمان ها را تغییر دهیم تا به کمترین بی نظمی برسیم. کنترل اشکال دپارتمان ها را می توان به دو قسمت تقسیم کرد:

۱- اشکال دپارتمان های نامتقارن و نامنظم (غیر مربع و مستطیل) با توجه به تحقیقات انجام شده [۴] حد زیر مقدار قابل قبولی برای اشکال دپارتمان های نامتقارن و نامنظم (غیر مربع و مستطیل) می باشد:

$$\Omega_i = \frac{1}{4} P_i A_i^{-2} \leq 1.5 \quad (13)$$

۲- اشکال دپارتمان های مربع و مستطیل، این اشکال به طور عادی منظم می باشند، تنها حالتی که باید در این اشکال مورد کنترل باشد این است که نسبت طول به عرض آنها زیاد نشود (اشکال اتوبوسی شکل تشکیل نشود). مثلا یک شکل ۳در۳ با یک شکل ۱در۱ هم مساحت هستند و در صورت نبودن این شرط هر دوی شکلها شرط مساحت را برقرار می کنند؛ ولی از لحاظ هندسی در مسائل چیدمان شکل ۱در۱ غیرقابل قبول می باشد. برای این کار از فرمول زیر که برای محدود کردن نسبت طول به عرض می باشد، استفاده می کنیم:

موقعیت بالابر انجام می‌گردد. تفاوت بین استقرار تک‌طبقه با چندطبقه در این است که زمان حمل و نقل در استقرارهای چندطبقه غیرخطی است. زمان سفر بین یک جفت دپارتمان که در طبقات مختلفی قرار گرفته‌اند شامل موارد زیر است:

- زمان جابجایی از دپارتمان اولیه تا بالابر انتخاب شده
- زمان صرف شده در انتظار بالابر
- زمان حمل و نقل عمودی که تابعی از تعداد دفعات توقف بالابر در بین راه است.
- زمان حمل و نقل افقی بین آسانسور و دپارتمان مقصد.

در محیط‌های ساخت و تولید که بالابرها عموماً دارای حرکت‌های تناوبی هستند، زمان حمل و نقل می‌تواند به صورت یک تابع خطی تخمین زده شود. تخمین خطی زمان سفر در محیط‌های صنعتی مناسب است؛ چراکه زمان انتظار برای بالابر یا آسانسور در اینگونه محیط‌ها معمولاً ناچیز است زیرا ماکزیمم تعداد طبقات در واحدهای صنعتی به طور معمول ۳ است و ترافیک حمل و نقل عمودی در واحدهای صنعتی خیلی کمتر از محیط‌های اداری است اما در محیط‌های اداری این مساله فرق می‌کند. مدت زمان انتظار در محیط‌های اداری دارای ارزش بسیار بالایی می‌باشد به همین دلیل بیشترین توجه در این قسمت به زمان صرف شده در انتظار آسانسور یا بالابر می‌باشد. این زمان انتظار تاثیر مهمی روی تعداد و مشخصات آسانسور و در مجموع بر روی چیدمان دپارتمانها دارد. سه سطح کیفی برای سرویس دهی مطلوب مبتنی بر زمان انتظار ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ ثانیه وجود دارد که مدت زمان ۶۰ ثانیه بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. مدت زمان انتظار، برای استفاده کنندگان به صورت قطعی محاسبه می‌شود. این مدت زمان برابر است با زمانی که آسانسور در بین طبقات مختلف حرکت می‌کند (این مقدار به عنوان عدد ورودی در مساله ذکر می‌شود؛ مثلاً زمان ۵/۳۳ برای حرکت بین یک طبقه و زمان ۱۰/۶۶ برای حرکت بین دو طبقه). البته این مدت زمان برای هر آسانسور محاسبه می‌شود. به عنوان مثال مدت زمان انتظار برای نفر سوم برابر با مدت زمان سفر نفر اول از طبقه مبدا خود تا طبقه مقصد خود، بعلاوه مدت زمان سفر آسانسور (به صورت خالی) از مقصد نفر اول تا مبدا نفر دوم، بعلاوه مدت زمان سفر نفر دوم از مبدا خود تا مقصد خود بعلاوه مدت زمان سفر آسانسور (به صورت خالی) از مقصد نفر دوم تا مبدا نفر سوم، می‌باشد. با توجه به موارد ذکر شده مدت زمان انتظار برای آسانسور شماره  $b$  با توجه به رابطه زیر به روز می‌شود.

$$tl_b \rightarrow tl_b + tl_b |y_i - y_j| + tl_b |y_j' - y_i| \quad (16)$$

$tl_b$ : مدت زمان استفاده شده از آسانسور شماره  $b$  می‌باشد.

$tl_b |y_i - y_j|$ : مدت زمانی که صرف می‌شود تا آسانسور فاصله بین طبقات دپارتمان  $i$  تا  $j$  را طی کند (دپارتمان مبدا تا مقصد).

- آسانسورها در اغلب اوقات داخل دپارتمان‌ها قرار می‌گیرند.
- مقداری از مساحت دپارتمان که در اکثر موارد نسبت قابل توجهی می‌باشد به آسانسورها اختصاص می‌یابد.
- چون آسانسورها به صورت نقطه ای دیده می‌شوند، احتمال اینکه چند نقطه در کنار هم انتخاب شود وجود دارد که در عمل بی‌معنی می‌باشد.
- طرح پیشنهادی در عمل مورد توجه قرار نمی‌گیرد.

در صورتی که بخواهیم فضایی را برای آسانسورها در نظر بگیریم، حداقل به یکی از دو مشکل زیر بر می‌خوریم:

۱- دپارتمان‌ها از شکل مربع، مستطیلی خود درآمده و به شکل‌های نامتقارن تبدیل می‌شوند، که در عمل قابل قبول نمی‌باشند.

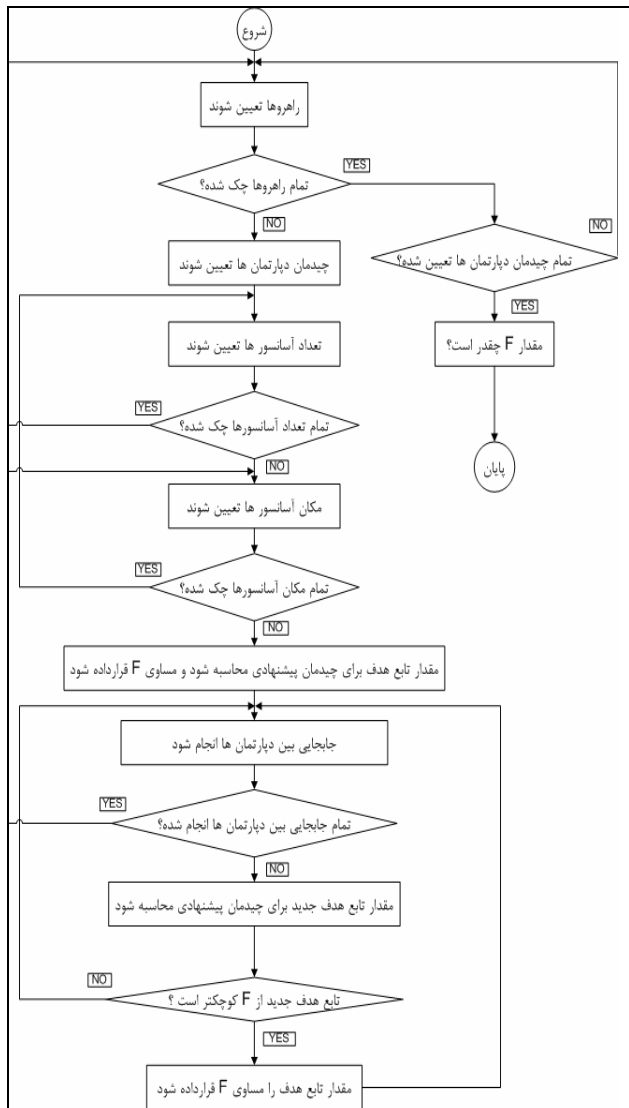
۲- در صورتی که قید مربع، مستطیلی را برای دپارتمان‌ها برقرار نگه داریم، شکل دپارتمان‌ها به مستطیل‌های اتوبوسی شکل (مستطیل‌هایی که نسبت طول به عرض آنها بالا می‌باشد) تبدیل می‌شوند، که در عمل قابل قبول نمی‌باشند.

برای رهایی از این دو مشکل استفاده از راهرو پیشنهاد می‌شود؛ زیرا با قرار گرفتن آسانسورها در راهرو ارتباط مستقیم دپارتمان‌ها با آسانسورها قطع می‌شود و تنها راه ارتباطی از طریق راهروها می‌باشد. ارائه این راهکار علاوه بر حل دو مشکل فوق موجب می‌شود مساله چیدمان در عمل نیز مورد توجه بالایی قرار گیرد. زیرا پیش از این در الگوریتم‌های ارائه شده، هیچگونه راه ارتباطی برای دپارتمان‌ها با یک دیگر و دپارتمان‌ها با آسانسورها پیشنهاد نشده است. راهروها نیز دارای محدودیت‌هایی می‌باشند که در زیر بیان شده است (اگر عرض راهرو را جزء فرضیات و ورودی‌های مساله در نظر بگیریم خواهیم داشت):

حداقل مساحت دپارتمان‌ها + مساحت راهرو  $\leq$  مساحت طبقات  
حداکثر مساحت دپارتمان‌ها + مساحت راهرو  $\geq$  مساحت طبقات  
یکی دیگر از قیودی که باید رعایت شود قید زیر می‌باشد:  
طول طبقه  $\leq$  طول راهرو

### ۳-۴-۲. مدت زمان انتظار برای آسانسورها

یک چیدمان چندطبقه، از تعدادی بالابر یا آسانسور به منظور حمل و نقل عمودی مواد استفاده می‌کند. جریان مواد از یک دپارتمان در یک طبقه خاص به دپارتمانی در طبقه دیگر از طریق هر یک از بالابرها یا آسانسورها که ممکن باشد، صورت می‌گیرد. در تمامی موارد بالابر یا آسانسور با کمترین فاصله افقی از دپارتمان‌ها انتخاب می‌گردد، ولی همانطور که در گذشته نیز مطرح شد: "همواره بهترین آسانسور برای حمل، آسانسوری نیست که موجب کوتاه ترین فاصله افقی شود." هزینه جریان مواد بین دو دپارتمان واقع شده در طبقات مختلف تابعی از بالابر انتخاب شده از بین چندین گزینه ممکن است. تصمیم‌گیری در مورد انتخاب بر اساس هزینه، ظرفیت و



شکل ۲. نحوه عملکرد الگوریتم

شکل شماره ۳ نحوه محاسبه مقدار تابع هدف در هر مرحله را در الگوریتم اصلی نشان می‌دهد.

۳-۱. چیدمان ابتدایی دیوارتمان ها

برای حل مساله طراحی چیدمان چند طبقه ، ابتدا جدول (ارتباط بین دیوارتمان‌ها) بر حسب نزولی مرتب می‌شود، سپس دیوارتمان‌های مربوط به هر کدام از آنها مشخص می‌شود و در طبقه اول تا طبقه آخر جای می‌گیرند؛ یعنی دیوارتمان‌هایی که بیشترین ارتباط را با هم دارند در کنار هم قرار می‌گیرند. این روش، که روشی برای پایین آوردن هزینه ابتدایی مساله چیدمان چند طبقه می‌باشد، در ابتدای اکثر مسائل طراحی چیدمان چند طبقه استفاده شده است. سپس با استفاده از روش‌ها و الگوریتم‌های مخصوص به خود، به جابجایی دیوارتمان‌ها و حل مساله خود می‌پردازند.

الگوریتم ابتکاری برای حل مسئله طراحی ساختمانهای چند طبقه با اعمال محدودیتهای واقعی ...  
 صورت خالی) فاصله بین مکان قبلی خود تا دیوارتمان  $i$  (دیوارتمان  $i$  (به ترتیب ورود به آسانسور نیز از بیشترین  $f_{ij}$  (ارتباط بین دیوارتمان‌ها) به کمترین  $f_{ij}$  می‌باشد. در ضمن تا هنگامی که یکی از ارتباط‌هایی که بین دو دیوارتمان که  $f_{ij}$  مثبت دارند انجام نشود نوبت دوباره به آنها نخواهد رسید.

در صورتی که ترتیبی بجز این ترتیب از بیشترین  $f_{ij}$  به کمترین  $f_{ij}$  تعیین شود، زمان انتظار در دوره‌های مختلف برای دیوارتمان‌ها فرق خواهد کرد.

۳. معرفی الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم ارائه شده ، تعیین یک الگوریتم برای حل مسائل چیدمان با توجه به موارد گفته شده می‌باشد که رویکرد کمی دارد و در آن مفاهیم در قالب متغیرهای مشخص در آزمون فرض معرفی شده ، سپس جمع آوری داده‌های عددی و تعیین معیارها می‌باشد و در انتها تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده می‌باشد. الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم تکمیل شده دومرحله‌ای می‌باشد که در صورت رسیدن به جواب بهتر اجازه تغییر طبقه را در مرحله دوم به دیوارتمانهای ثابت شده می‌دهند. از آنجا که در این تحقیق از الگوریتمی نوع سومی که مطرح شد، استفاده گردیده، مدل سازی بکار رفته در مساله نیز ترکیبی از مدل‌سازی بکار رفته در الگوریتم‌های تک‌مرحله‌ای و الگوریتم‌های دو مرحله‌ای، می‌باشد. در این الگوریتم ابتدا با هدف کم کردن هزینه عمودی، دیوارتمان‌ها در طبقات چیده می‌شوند؛ سپس فقط جابجایی دیوارتمان‌ها در بین طبقات انجام می‌شود.

در این قسمت هدف فقط کم کردن هزینه عمودی می‌باشد. پس از آن دیوارتمان‌ها، فقط در طبقات جابجا می‌شوند و در این قسمت هدف فقط کم کردن هزینه افقی می‌باشد. در مرحله سوم هر دو نوع جابجایی اتفاق می‌افتد و اگر منجر به بهتر شدن تابع هدف شود جابجایی مورد قبول واقع می‌شود.

در الگوریتم پیشنهادی، ۳ مرحله برای حل مساله طراحی چیدمان چند طبقه وجود دارد:

۱- مرحله چیدمان ابتدایی دیوارتمان‌ها

۲- مرحله جابجایی دیوارتمان‌ها

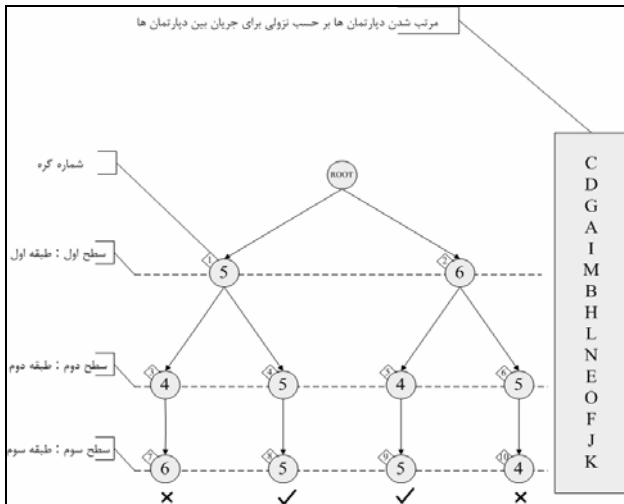
۳- نحوه چیدمان یک دیوارتمان، راهرو یا آسانسور در شکل اصلی هر یک از موارد بالا از روش خاصی استفاده می‌کنند که در بخش مربوط به خود بصورت کامل توضیح داده شده است.



شدن این روش، مثالی در زیر آورده شده است: فرض می‌شود مساله‌ای با ۱۵ دپارتمان وجود داشته باشد.

A B C D E G H I J K L M N O

مرتب شدن دپارتمان‌ها بر حسب نزولی برای جریان بین دپارتمان‌ها به ترتیب زیر می‌باشد:

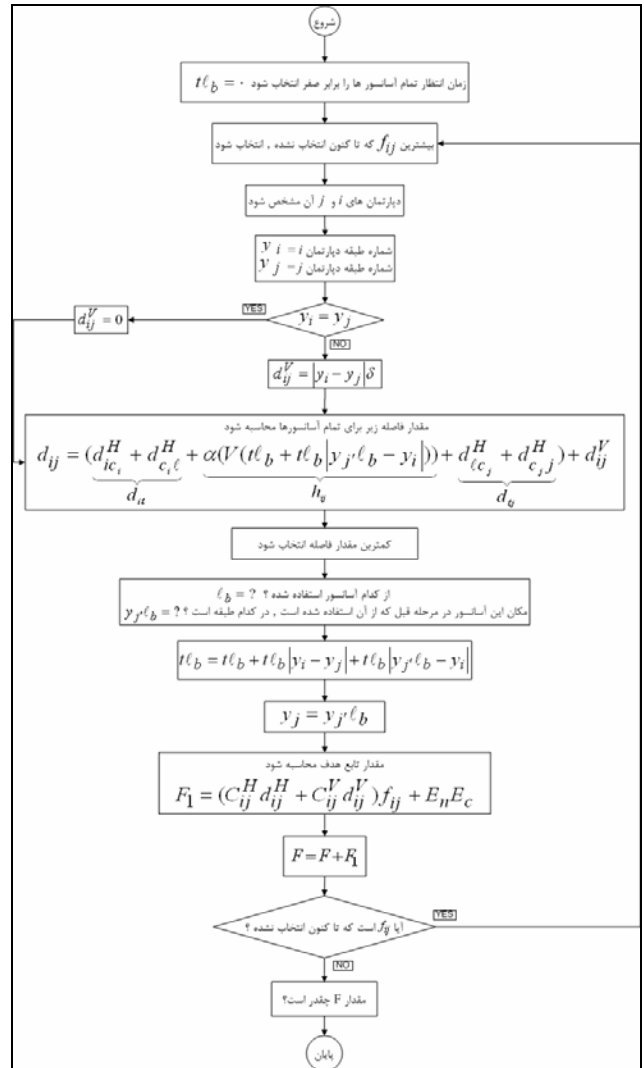


شکل ۴. چیدمان ابتدایی دپارتمان‌ها

سپس با توجه به مساحت طبقه اول، تعداد دپارتمان‌هایی که می‌توانند در آن جای بگیرند در گره‌های ۱ و ۲ مشخص شده‌اند. عدد ۵ در گره ۱ به معنای ۵ دپارتمان اول لیست مرتب شده می‌باشد؛ یعنی دپارتمان‌های C, D, G, A, I. برای گره دوم دپارتمان M نیز به آنها اضافه می‌شود (این تفاوت در تعداد دپارتمان به این دلیل است که هر دپارتمان یک حداقل و یک حداکثر برای مساحت خود دارد و با انتخاب متفاوت آنها مقدار مساحت بدست آمده تغییر می‌کند). برای طبقه دوم نیز گره‌های ۳ و ۴ و ۵ و ۶ مشخص شده‌اند. در سطح آخر (طبقه آخر) تعداد دپارتمان‌های باقیمانده را قرار می‌دهیم. همانطور که در شکل نیز مشخص است، گره ۷ به علت اینکه مجموع حداقل مساحت‌های ۶ دپارتمان آخر بیش از مساحت طبقه آخر (بجز راهرو) می‌باشد و گره ۱۰ به علت اینکه مجموع حداکثر مساحت‌های ۴ دپارتمان آخر کمتر از مساحت طبقه آخر (بجز راهرو) می‌باشد و طبقه را پر نمی‌کند، غلط می‌باشد؛ در نتیجه شاخه‌های مربوط به دو گره ۷ و ۱۰ حذف می‌شود بنابراین جستجو در آنها انجام نمی‌شود.

### ۳-۲. جابجایی دپارتمان‌ها

الگوریتم LOGIC روشی برای جابجایی دپارتمان‌ها می‌باشد. این روش می‌تواند از دپارتمان‌های بد شکل (غیر مستطیلی نا متقارن) اجتناب کند. طراحی به صورت مجموعه‌ای از بخشهای مستطیل شکل انجام می‌شود و به صورت درختی نمایش داده می‌شود.



شکل ۳. محاسبه مقدار تابع هدف

در الگوریتم پیشنهادی برای چیدمان ابتدایی مساله طراحی چیدمان چند طبقه، از روش درختی استفاده شده است. تعداد سطح‌های این روش بر مبنای تعداد طبقات می‌باشد و بر حسب مساحت هر طبقه (بجز مساحت راهرو)، تعداد دپارتمان‌ها در هر گره در سطح‌های مختلف قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر پس از مرتب شدن دپارتمان‌ها (بر حسب نزولی برای جریان بین دپارتمان‌ها) تعداد دپارتمان‌های ممکن بر حسب مساحت (حداقل و حداکثر مساحت دپارتمان‌ها در این قسمت لحاظ می‌شود)، در هر گره در سطح‌های مختلف (که معادل با طبقات مختلف می‌باشد) قرار می‌گیرد و در سطح آخر (که معادل با طبقه آخر می‌باشد) تعداد دپارتمان‌های باقیمانده هر شاخه، در گره‌های مختلف قرار می‌گیرند. با توجه به محدودیت مساحت طبقه آخر (بجز مساحت راهرو) بعضی از گره‌ها با توجه به مساحت تعداد دپارتمان‌هایی که در آنها قرار گرفته‌اند و مساحتی که در طبقه آخر ایجاد می‌کنند، غیر قابل قبول می‌باشند و در نتیجه شاخه‌های مربوط به آن گره حذف می‌شود. برای روشن تر

با احتمال 0 از  $W_1$  و با احتمال  $\frac{1}{3}$  از  $W_2$  و با احتمال  $\frac{2}{3}$  از  $W_3$  برای انتخاب نقطه دوم باید به نکات زیر توجه کنیم:  
 $X$ : نشانگر تعداد دپارتمانی است که باید در طبقه قرار گیرد.  
 $R$ : نشانگر این است که چندمین دپارتمان در حال چیدمان است.  
 $d_f$ : پارامتری است که به تعداد دپارتمانهای چیده شده و تعداد دپارتمانهای باقیمانده، وابسته است.

$$d_f = \frac{R-1}{X-1} \quad (17)$$

در نتیجه نقطه دوم با احتمال های زیر از 3 سری نقطه زیر انتخاب می شود:

$$\text{احتمال } \frac{1-d_f}{6-3d_f} \text{ از } W_1 \text{ و با احتمال } \frac{2-2d_f}{6-3d_f} \text{ از } W_2 \text{ و با احتمال } \frac{3}{6-3d_f} \text{ از } W_3$$

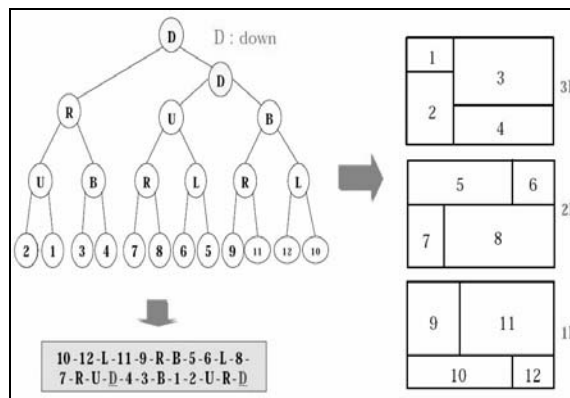
این نوع احتمال موجب می شود که هر چقدر به چیدن آخرین دپارتمان نزدیک تر شویم، نقاط بیشتری از گوشه انتخاب شود و در نتیجه کل طبقه کاملا پر شود؛ و در چیدمان آخرین دپارتمان فقط از نقاط گوشه انتخاب شود که در عمل نیز درست می باشد. تا این مرحله دو نقطه انتخاب شده که بیانگر یک شکل می باشد. در صورتی که تمامی قیدها از جمله مساحت، نسبت طول به عرض، تداخل نداشتن با دپارتمان های دیگر و ... را رعایت کند می تواند به عنوان دپارتمان، راهرو یا آسانسور در چیدمان اصلی مساله قرار گیرد.

#### 4. اجرای الگوریتم و اعتبارسنجی

یکی از مباحثی که از ابتدای این مقاله بر روی آن بحث شده است، تاثیر مدت زمان انتظار برای آسانسور بر چیدمان مساله است. این تاثیر می تواند بر روی مکان آسانسورها، تعداد آسانسورها و جابجایی دپارتمانها باشد. به همین دلیل مساله به دو صورت حل شده است: در قسمت اول هیچگونه زمان انتظاری در محاسبات در نظر گرفته نشده است ( $\alpha = 0$ ). در قسمت دوم، مساله با  $\alpha$  های مختلف حل شده است تا بر اساس تعریف ارائه شده، بهترین  $\alpha$  برای این مساله خاص بدست آید. نتایج بدست آمده از حل قسمت دوم، تاثیرات  $\alpha$  را بر موارد گفته شده به خوبی نشان می دهد.

##### 4-1. روش مورد مقایسه

مساله ای که برای مقایسه با الگوریتم پیشنهادی انتخاب شده است، مساله ای است که بوسیله الگوریتم MULTIPLE که توسط R. D. MELLER, Y. A. BOZER در سال 1994 ارائه گردیده، حل شده است. این الگوریتم از پر استفاده ترین الگوریتمهایی است که تا کنون معرفی شده است.



10-12-L-11-9-R-B-5-6-L-8-7-R-U-D-4-3-B-1-2-U-R-D

شکل 5. جابجایی دپارتمانها

سه نوع جابجایی دپارتمانها در روش LOGIC وجود دارد:

1. جابجایی OPERATOR: جابجایی دو دپارتمان کنار هم
2. جابجایی OPERAND: جابجایی دو دپارتمان که در طبقات مختلف قرار دارند
3. جابجایی طرح نمودار درختی: دو شاخه از نمودار درخت یکدیگر جابجا شده

#### 2-3. چیدمان یک دپارتمان در شکل اصلی

چیدمان دپارتمانها یکی از مهمترین فرایندها در حل الگوریتم می باشد. اکثر الگوریتمها برای چیدمان دپارتمانها از نمودارهای spacefilling استفاده می کردند. یکی از مشکلاتی که این نوع چیدمان دارد، توجه نداشتن به اشکال دپارتمانها می باشد و اکثر دپارتمانها دارای اشکال نامنظم و غیر مربع و مستطیلی می باشند. به همین جهت برای رفع این مشکل روش دیگری در الگوریتم استفاده شده است. در این روش نقاط طبقه به 3 دسته تقسیم می شوند:

نقاط داخلی: نقاطی که در داخل چیدمان دپارتمانها، راهروها یا آسانسورها قرار می گیرند و با  $W_1$  نشان داده می شوند و در چیدمان با \* (در صورتی که فضا هنوز توسط دپارتمانها، راهروها یا آسانسورها پر نشده باشد) و یا با عدد مربوط به آن دپارتمان، راهرو یا آسانسور مشخص می شوند.

نقاط مرزی: نقاطی که در مرز (اضلاع) دپارتمانها، راهروها یا آسانسورها قرار می گیرند و با  $W_2$  نشان داده می شوند و در چیدمان با 1- مشخص می شوند.

نقاط گوشه: نقاطی که در گوشه دپارتمانها، راهروها یا آسانسورها قرار می گیرند و با  $W_3$  نشان داده می شوند و در چیدمان با 2- مشخص می شوند. هر دپارتمان، راهرو یا آسانسور از دو نقطه تشکیل شده است. نقطه اول نقطه ای است که  $(X, Y)$  کوچکتری نسبت به مبدا داشته باشد. نقطه اول با احتمال های زیر از 3 سری نقطه زیر انتخاب می شود:

## ۲-۴. اجرای الگوریتم

برای حل این مساله، الگوریتم ارائه شده با زبان برنامه‌نویسی MathCAD (MathCAD 2001 Professional) برنامه‌نویسی شده و توسط کامپیوتری با مشخصات Pentium(R) 4 CPU 2.80GHz، 512 MB of RAM حل شده است. زبان برنامه نویسی MathCAD یکی از متداول‌ترین زبان‌های برنامه نویسی برای حل مسائل هندسی-ریاضی است، زیرا قابلیت تعریف فضاهای هندسی در این زبان به میزان زیادی وجود دارد. نرم‌افزار تعریف شده user-friendly بوده و کاربر بدون هیچگونه محدودیتی می‌تواند با آن کار کند. این نرم افزار قابلیت حل مسائل بزرگ را داشته تنها محدودیتی که برای این نرم افزار می‌توان بیان کرد حل مسائل بسار بزرگ (مثلا ۱۰۰۰ دپارتمان) می باشد که زمان حل مساله را بسیار بالا می برد.

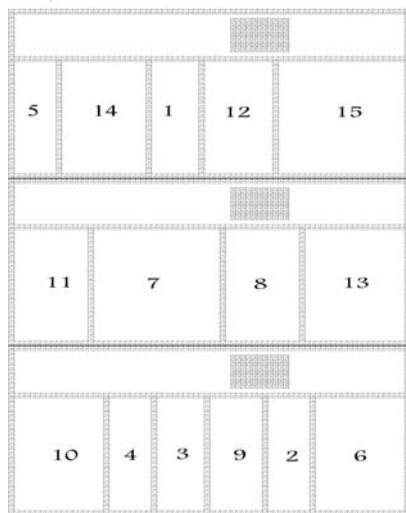
### ۱-۲-۴. مقایسه الگوریتم پیشنهادی با MULTIPLE (حل

مساله بدون در نظر گرفتن زمان انتظار برای آسانسور)

شکل شماره ۶ نشان‌دهنده چیدمان نهایی الگوریتم پیشنهادی می‌باشد. که مقدار تابع هدف آن ۲۱۶۸۰۰ می‌باشد ( $\alpha=0$ ). تعداد آسانسورها در این چیدمان ۱ می‌باشد. شکل شماره ۷ نشان دهنده چیدمان نهایی الگوریتم MULTIPLE می‌باشد. که مقدار تابع هدف آن ۱۸۶۷۳۳ می‌باشد. تعداد آسانسورها در این چیدمان ۶ می‌باشد.

جدول ۲. مقایسه الگوریتم پیشنهادی و MULTIPLE

	مقدار تابع هدف	تعداد آسانسور
الگوریتم MULTIPLE	۱۸۶۷۳۳	۶
الگوریتم پیشنهادی	۲۱۶۸۰۰	۱



شکل ۶. چیدمان نهایی الگوریتم پیشنهادی

داده های مساله استفاده شده به دو دسته تقسیم می شوند:

۱. داده‌های مساله‌ای که در مقاله زیر که مربوط به معرفی الگوریتم MULTIPLE است، آمده است و عیناً مورد استفاده قرار گرفته است. در ابتدا به معرفی داده‌های نوع اول پرداخته می‌شود:

### • حداقل و حداکثر مساحت دپارتمان‌ها

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
Min	۱۲	۷	۶	۵	۷	۲۲	۲۲	۱۳	۷	۲۲	۹	۱۳	۴	۱۷	۲۵
Max	۱۶	۱۱	۱۰	۹	۱۱	۲۶	۲۶	۱۷	۱۱	۲۶	۱۵	۱۷	۲۰	۲۱	۲۹

### • جریان مواد بین دپارتمان‌ها $f_{ij}$

$f_{ij}$	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	۲۴۰
۲	۲۴۰	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
۳	.	.	.	۱۲۰۰	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
۴	.	.	.	.	.	.	.	.	۱۲۰۰	.	.	.	.	.	.
۵	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	۶۰۰	.
۶	.	.	.	.	.	.	.	۴۸۰	.	.	.	.	.	.	.
۷	.	.	.	.	.	.	.	۴۸۰	.	.	.	.	.	.	.
۸	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	۱۲۰
۹	.	.	.	.	.	.	.	.	.	۶۰۰	.	.	.	.	.
۱۰	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	۶۰۰	.	.	.
۱۱	.	.	.	.	.	.	۴۸۰	.	.	.	.	.	.	.	.
۱۲	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	۶۰۰
۱۳	.	.	.	.	.	.	.	۴۸۰	.	.	.	.	.	.	.
۱۴	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	۶۰۰	.	.
۱۵	.	۱۰	۲۵	.	۲۵	۴۰	.	.	۲۵	.	۴۰	.	۲۰	.	.

### • فاصله بین دو طبقه همسایه: $۱۰m$

• هزینه نقل و انتقال افقی برای دپارتمان‌های دریافت / پرداخت  $۰/۲۵US\$$

• هزینه نقل و انتقال افقی برای دپارتمان‌های معمولی  $۱/۰۰US\$$

• هزینه نقل و انتقال عمودی برای دپارتمان‌های دریافت / پرداخت  $۱/۲۵US\$$

• هزینه نقل و انتقال عمودی برای دپارتمان‌های معمولی  $۵/۰US\$$

• دپارتمان ۱۵، دپارتمان دریافت / پرداخت می‌باشد و از ابتدا در کنار طبقه اول قرار می‌گیرد.

• هزینه نصب یک آسانسور در یک روز: ۱۰۰۰۰

۲. داده‌های جدیدی که برای رفع محدودیت‌های قبلی و بالا بردن کارایی الگوریتم مورد استفاده قرار گرفته است.

• مساحت هر آسانسور  $۲m \times ۱/۶m$

• سرعت آسانسور  $۱/۸۷۵ m/s$  (آسانسور یک سرعت انتخاب شده)

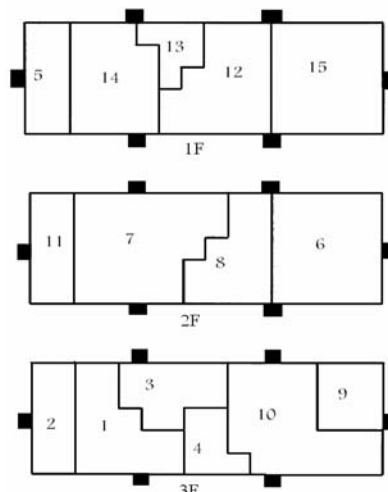
• عرض راهرو  $۲m$

• مدت زمان سفر آسانسور بین طبقات: برای ۱ طبقه  $۵/۳۳$  ثانیه؛ برای ۲ طبقه  $۱۰/۶۶$  ثانیه

• مساحت هر طبقه به مربع‌های  $۰/۲m \times ۰/۲m$  تقسیم بندی شده است.

• در ضمن مساحت هر طبقه  $۱۵m \times ۷m = ۱۰۵m^2$  در ۳ طبقه انتخاب شده است.

تمامی این فرضها اگرچه موجب بالا رفتن مقدار تابع هدف می‌شوند ولی کارایی الگوریتم پیشنهادی را در عمل بالا می‌برند و موجب می‌شوند تا در دنیای واقعی قابل استفاده باشد. همانطور که در شکل شماره ۷ و ۸ مشخص می‌باشد الگوریتم MULTIPLE فقط از لحاظ ریاضی و تئوری قابل توجیح می‌باشد و در عمل هیچگونه کارایی ندارد.



شکل ۷. چیدمان نهایی الگوریتم MULTIPLE

همانطور که در جدول شماره ۲ ملاحظه می‌شود اختلافی که در مقدار تابع هدف به چشم می‌خورد، به دلایل زیر رخ می‌دهد:

۱. اشکال دپارتمانها بسیار نامنظم می‌باشند، این امر موجب می‌شود دپارتمانها به هر نحوی که می‌خواهند و بدون توجه به قاعده و قانونی در طبقات جای گیرند، که این خود باعث پایین آمدن هزینه نقل و انتقال افقی و عمودی می‌شود. ولی در الگوریتم پیشنهادی دپارتمانها فقط با اشکال مربع و یا مستطیل می‌توانند در چیدمان، چیده شوند. در ضمن اشکال دپارتمانها از لحاظ نسبت طول به عرض مورد توجه قرار می‌گیرند تا از اشکال اتوبوسی جلوگیری شود.

۲. در محاسبه فاصله افقی، فاصله مرکز دپارتمان تا مرکز دپارتمان دیگر محاسبه می‌شود؛ که با توجه به وجود دیوارها و در نظر نگرفتن راهرو برای مساله بی‌معنی می‌باشد. در الگوریتم پیشنهادی با وجود دیوارها و در نظر گرفتن راهرو برای مساله، فاصله افقی برای دپارتمانها از طریق راهروها محاسبه می‌شود. این امر موجب می‌شود فاصله افقی بین دو دپارتمان نسبت به از طریق محاسبه فاصله مرکز دپارتمان تا مرکز دپارتمان دیگر، اختلاف چشمگیری پیدا کند و بسیار بیشتر شود.

۳. آسانسورها به هر تعداد و در هر مکانی که می‌خواهند می‌توانند قرار گیرند و هیچ محدودیتی برای آنها وجود ندارد. در الگوریتم پیشنهادی آسانسورها از لحاظ حداقل و حداکثر تعیین می‌شوند و در طول حل مساله از لحاظ تعداد بهینه می‌شوند در ضمن آسانسورها فقط در راهروها می‌توانند قرار گیرند و از لحاظ مکان نیز در طول حل مساله، مکان بهینه آسانسورها برای چیدمان پیشنهادی تعیین می‌شود.

۴. برای آسانسورها فضایی در نظر گرفته نشده است؛ ولی در الگوریتم پیشنهادی برای آسانسورها فضا اختصاص یافته است.

۲-۲-۴. حل مساله با در نظر گرفتن زمان انتظار برای آسانسور  
الگوریتم برای  $\alpha$ های مختلف حل شده، تا بهترین  $\alpha$  با توجه موارد گفته شده:

«برطبق استانداردهای جهانی سه سطح کیفی برای سرویس‌دهی مطلوب مبتنی بر زمان انتظار برای آسانسور ۶۰، ۸۰، و ۱۰۰ ثانیه وجود دارد که مدت زمان ۶۰ ثانیه بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. پس به عنوان مثال مدت زمان انتظار ۶۰ ثانیه طبیعی بوده و مسافر یا بار می‌تواند منتظر بماند و از آسانسور دیگری استفاده نکند.

در نتیجه بهترین  $\alpha$ ،  $\alpha$  است که چیدمان مساله را طوری طراحی کند که اکثر دپارتمانها تا مدت زمان انتظار ۶۰ ثانیه از آسانسوری که موجب کوتاه‌ترین فاصله افقی شود، استفاده کنند پس مساله با  $\alpha$ های مختلف باید حل شود، تا به  $\alpha$  برسیم، که در آن بیشترین تعداد دپارتمانها (نسبت به حل با بقیه  $\alpha$ ها) در زمان کمتر از ۶۰ ثانیه، از کوتاه‌ترین فاصله افقی از طریق آسانسور استفاده کنند.» پیدا شود.

به همین دلیل مساله با مقادیر  $0/1$  و  $0/3$  و  $0/5$  و  $0/7$  و  $0/9$  و  $1$  برای  $\alpha$  حل شده است تا بهترین مقدار آن برای این مساله خاص بدست آید. همانطور که در جدول شماره ۳ نیز مشخص است در  $0/7 = \alpha$  به علت:

- جابجایی دپارتمانها

- تغییر مکان آسانسورها

کمترین استفاده، از آسانسور مربوط به مسیرهای طولانی‌تر، در زمان کمتر از ۶۰ ثانیه، رخ داده است. در نتیجه بهترین  $\alpha$  برای این مساله می‌باشد.

یعنی در تمام چیدمانها ابتدا زمان انتظار برای دپارتمانهایی که با هم ارتباط دارند و در طبقات مختلف قرار گرفته اند محاسبه می‌شود سپس آسانسور با توجه به کمترین مسافت حقیقی و مسافت مجازی (حاصل از انتظار آسانسور) انتخاب می‌شود و در مقدار تابع هدف جای می‌گیرد. پس از آن کلیه محاسبات بدون در نظر گرفتن مسافت مجازی (حاصل از انتظار آسانسور) دوباره تکرار می‌شود. هر مقدار که اختلاف انتخاب آسانسور در این دو حالت کمتر باشد یعنی به حالت بهینه نزدیک شده‌ایم و  $\alpha$  مورد نظر  $\alpha$  مناسبی برای حل مساله می‌باشد.

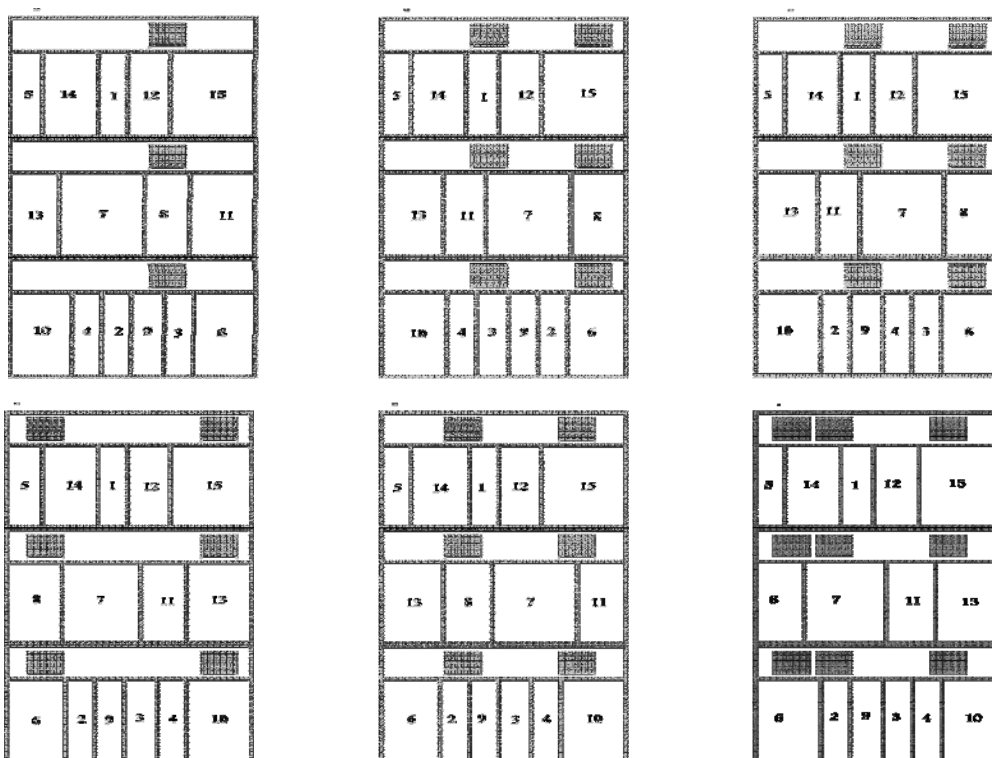
### ۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با پیشرفت صنعت و توسعه کارخانه‌ها و همچنین استفاده روزافزون از ساختمان‌های چند طبقه در داخل شهرها، ارائه راهکاری که بتواند هزینه حمل و نقل را در این گونه ساختمان‌ها و کارخانه‌ها، حداقل سازد. یکی از مشکلات صنعتگران و طراحان ساختمان بوده است. هرچند که در طول این مدت روش‌های متعددی برای حل مسائل طراحی ساختمان‌های چند طبقه ارائه شده است، اما هیچکدام از کارایی لازم را نداشته و قابل استفاده در دنیای واقعی نمی‌باشند؛ فقط از لحاظ تئوری و ریاضی قابل توجیح می‌باشند. یکی از دستاوردهای این تحقیق حل کردن مساله طراحی چیدمان چند طبقه به گونه‌ای می‌باشد، که در عمل مورد استفاده قرارگیرد. یکی دیگر از دستاوردهای این تحقیق در نظر گرفتن زمان انتظار برای آسانسور و تاثیر آن بر حل مساله می‌باشد. در نظر گرفتن این فرض در کارخانه‌های موجب بالا رفتن راندمان تولید و در ساختمان‌های اداری موجب بالا رفتن رضایتمندی مشتریان می‌شود.

### جدول ۳. مقایسه الگوریتم $\alpha$ های مختلف

مقدار $\alpha$	مقدار تابع هدف	درصد استفاده از آسانسور مربوط به مسیر طولانی تر در زمان کمتر از ۶۰ ثانیه
۰/۱	۲۲۲۰۰۰	-
۰/۳	۲۲۷۲۰۰	٪۳۰
۰/۵	۲۲۹۷۰۰	٪۲۰
۰/۷	۲۳۲۲۰۰	٪۱۰
۰/۹	۲۳۴۱۰۰	٪۳۰
۱	۲۳۵۷۰۰	٪۴۰

چیدمان‌های حاصل از تغییرات  $\alpha$ ، در شکل شماره ۸ مشخص می‌باشد. در شکل بالا سمت چپ  $\alpha$  برابر ۰/۱ و به ترتیب تا شکل پایین سمت راست که  $\alpha$  برابر ۱ می‌باشد ادامه پیدا می‌کند.



شکل ۸. تغییرات  $\alpha$  در چیدمان دپارتمان‌ها

### مراجع

- [3] Robin, S., Liggett. "Automated Facilities Layout: Past, Present and Future", Automation in Construction; Vol. 9, 2000, PP. 197-215.
- [4] Bozer, Y.A., Meller, R.D., Erlebacher, S.J., "An Improvement-Type Layout Algorithm for Single and Multiple Floor Facilities", Management Science, Vol. 40, No.7, 1994; PP. 918-932.
- [5] Kenichiro Matsuzaki, Takashi Irohara, Kazuho Yoshimoto. "Heuristic Algorithm to Solve the Multi-Floor Facility Layout Problem", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 16, No.3, 1997.
- [2] Ana Paula Barbpsa-Povpa, Ricardo Mateus, and Augusto Q. Novais. Optimal 3D layout of industrial facilities. int. j. prod. res., Vol. 40, No. 7, 2002, PP.1669-1698.

- [22] Gandhi, A.D., Cassandras, C.G., "Optimal Control of Polling Models for Transportation Applications," *J. Math. Computer Modeling*, Vol. 23, PP. 1-23, 1996.
- [23] Hummet, G.T., Moser, T.D., Powell, B.A., "Real-Time Simulation of Elevators," in Winter Simulation Conf., Miami Beach, FL, Dec. 4-6, 1978, PP. 393-402.
- [24] Kim, C.B., Seong, K.A., Lee-Kwang, H., Kim, J.O., Lim, Y.B., "A fuzzy Approach to Elevator Group Control System," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, Vol. 25, 1995, PP. 985-990.
- [25] Pepyne, D.L., Looze, D.P., Cassandras, C.G., Djaferis, T.E., "Application of Q-learning to Elevator Dispatching," in Proc. IFAC'96 World Congr., 1996.
- [26] Siikonen, M.L., "Elevator Traffic Simulation," *Simulation*, Vol. 61, No. 4, 1993, PP. 257-267.
- [27] David L. Pepyne, Christos G. Cassandras, "Optimal Dispatching Control for Elevator Systems During Up Peak Traffic" *IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY*, VOL.5, NO.6, NOVEMBER, 1997.
- [28] Zimmermann, G., Suter, G., "A Multi-Floor topology to geometry transformation procedure based on shape functions".
- [29] Barbosa-PoÂ voa, A. P., Mateus, R. and Novais, A. Q., 2001, Optimal 2D Layout Design of Industrial facilities. *International Journal of Production Research*, 39(12), 2567±2593.
- [30] Georgiadis, M. C., Rotstein, G. E. and Macchietto, S., 1997, Optimal layout design in multipurpose batch plants. *Industrial Engineering and Chemical Research*, 36(11), 4852±4863.
- [31] J. Gero, V. Kazakov, Space layout problems using evolved design genes, *Artificial Intelligence in Eng.* 12\_3. 1998. 163-176.
- [32] D. Tate, A. Smith, A genetic approach to the quadratic assignment problem, *Computers Ops. Res.* 22\_1\_1995, 73-83.
- [33] D. Tate, A. Smith, Unequal-area facility layout by genetic search, *IIE Trans.* 27\_4. 1995. 465-473.
- [۳۴] نويفرت اطلاعات معماری داخلی؛ ارنست نويفرت و پيتر نويفرت؛ مترجم حسين ترشيزی؛ تهران: آزاده، ۱۳۸۱.
- [۳۵] استانداردهای جامع معماری داخلی و طراحی فضا؛ جوزف دی کيارا؛ مترجم امير حسين سيفی، محمد رضا بیات؛ تهران: شهر آب؛ آینده سازان، ۱۳۸۰.
- [۳۶] مقررات ملی ساختمان، مبحث پانزدهم: آسانسورها و پله های برقی؛ تهیه کننده: دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، معاونت نظام مهندسی و اجرای ساختمان وزارت مسکن و شهر سازی؛ تهران: نشر توسعه ایران، ۱۳۸۰.
- [6] Garey, M.R., Johnson, D.S., "Computers and Interact Ability: A Guide to the Theory of NP-Completeness", Newyork: W H Freeman and Co. 1979.
- [7] Kusiak, A., Heragu, S.S., "The Facility Layout Problem", *European Journal of operational research*, Vol. 29, 1987; PP. 229-251.
- [8] Johnson, R.V., "SPACECRAFT for Multi-Floor Layout Planning", *Management Science* 1982, Vol 28, PP. 407-417.
- [9] Meller, R.D., Bozer, Y.A., "A New Simulated Annealing Algorithm for the Facility Layout Problem", *International Journal of Production Research*. Vol. 34, 1996; No. 6, PP. 1675-1692.
- [10] Seehof, J.M., Evans, W.O., "Automated Layout Design Program", *Journal of Industrial Engineering*. Vol. 18, 1967; PP. 690-695.
- [11] Donaghey, C.E., Pire, V.F., "Solving the Facility Layout Problem with BLOCKPLAN", *Huston TX: Industrial Engineering Dept. Univ. of Houston*. 1990.
- [12] Kaku, B.K., Thompson, G.L., Baybars, I., "A Heuristic Method for the Multi-Story Layout Problem". *European Journal of Operational research*. Vol. 37, 1988; PP. 384-397.
- [13] Sue Abdinnour-Helm, Scott W. Hadley. Tabu search based heuristics for multi-floor facility layout. *int. j. prod. res.* Vol. 38, 2000, No. 2, PP. 365-383.
- [14] Gero, J., Kazakov, V., "Space Layout Problems Using Evolved Design Genes", *Artificial Intelligence in Eng.* Vol. 12, No. 3, 1998, PP. 163-176.
- [15] Kochhar, J.S., Heragu, S.S., "Multi-Hope: a Tool for Multiple-Floor Layout Problems.:", *int. j. prod. res.* Vol. 36, No. 12, 1998, PP. 3421-3435.
- [16] Dimitrios, I., Patsiatzis, Lazaros, G., Papageorgiou. "Efficient Solution Approaches for the Multi floor Process Plant Layout Problem", *Ind. Eng. Chem. Res.* 2003, 42, PP. 811-824.
- [17] Kyu-Yeul Lee, Myung-Il Roh, Hyuk-Su Jeong. "An Improved Genetic Algorithm for Multi-oor Facility Layout Problems Having Inner Structure Walls and Passages", *Computers & Operations Research* 2005; 32, PP.879-899.
- [18] J.M. Apple. *Plant Layout Material Handling*. NewYork: John Wiley & Sons, 1977.
- [19] Francis, R.L., "Facility Layout and Location: An Analytical Approach", *Prentice Hall*, PP. 179, 1974.
- [20] Tam, KY., *A Simulated Annealing Algorithm for Allocating Space to Manufacturing Cells* 1992; 30(1): 63±87.
- [21] Bao, G., Cassandras, C.G., Djaferis, T.E., Gandhi, A.D., Looze, D.P., "Elevator Dispatchers for Down-Peak Traffic," *Elec. and Comp. Eng. Dept., Univ. Mass., Amherst, Tech. Rep.*, 1994.