

INFLUENCE DE LA ZONE SISMIQUE SUR LA VALEUR DU FACTEUR DE COMPORTEMENT DE STRUCTURES EN PORTIQUES EN BÉTON ARME

INFLUENCE OF THE SEISMIC ZONE ON THE VALUE OF THE BEHAVIOR FACTOR OF THE RC FRAME STRUCTURES

Réception : 15/09/2019

Acceptation : 28/10/2019

Publication : 09/01/2020

LOUZAI Amar¹, ABED Ahmed²¹Département de génie civil, Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, amar.louzai@yahoo.fr²Département de génie civil, Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, abedahm@yahoo.fr

Résumé - Le présent article a pour objectif d'étudier l'influence de la zone sismique sur la valeur du facteur de comportement R de structures en portiques en béton armé en tenant compte du facteur de réduction Ω dû à la sur-résistance de la structure ainsi que de sa capacité de déformation dans le domaine plastique : facteur de réduction R_{μ} , dû à sa ductilité globale. A cet effet, on effectue une analyse statique non linéaire en poussée progressive (analyse push over) du comportement élasto-plastique du portique sélectionné, à savoir : portique R+5. Ce dernier est supposé être localisé dans des zones d'intensités croissantes, à savoir : zones I, IIa, IIb et III, selon le règlement parasismique algérien (RPA 2003). Les résultats des analyses push over montrent que la prescription d'une seule valeur du facteur de comportement en fonction du type de contreventement de la structure n'est pas réaliste et que la prise en compte de la zone sismique d'implantation pour le choix de la valeur du facteur de comportement est nécessaire.

Mots - clés : Portique en béton armé, Zone sismique, Analyse push over, Facteur de sur-résistance, Ductilité globale, Facteur de comportement.

Abstract- The purpose of this paper is to study the influence of the seismic zone on the behavior factor R of reinforced concrete frame structures taking into account the reduction factor, Ω , due to the over-strength of the structure as well as its capacity of deformation in the plastic range : reduction factor, R_{μ} , due to its global ductility. For this purpose, a nonlinear static pushover analysis is carried out on the selected frame, namely six story frames. The latter is supposed to be located in areas of increasing intensity, namely: zones I, IIa, IIb and III, according to the Algerian seismic code RPA 2003. The results of pushover analyses show that the prescription of a single value of the behavior factor according to the type of structure in unrealistic, and that taking into account the seismic zone of implantation for the choice of the value of the behavior factor is necessary.

Keywords: Reinforced concrete frame, Seismic zone, Pushover analysis, Over strength factor, Global ductility, Behavior factor.

1-Introduction

Le règlement parasismique algérien (RPA 2003), ainsi que la plupart des codes réglementaires, à l'échelle internationale, recommandent une valeur du facteur de comportement R fixe en fonction, seulement, de la nature du système de contreventement tout en faisant abstraction d'un très grand nombre de paramètres, parmi lesquels la zone sismique d'implantation de la structure qui constitue l'un des paramètres les plus influents. Dans la

présente étude, l'influence de la zone sismique sur la valeur du facteur de comportement R de structures en portiques en béton armé est investiguée, le facteur de comportement R est évalué en tenant compte du facteur de réduction Ω dû à la sur-résistance de la structure ainsi que de sa capacité de déformation dans le domaine plastique : facteur de réduction R_{μ} dû à sa ductilité globale. Dans ce cadre, on considère un portique R+5 localisé dans des zones sismiques d'intensités croissantes, à savoir : zones I, IIa, IIb et III, selon le règlement parasismique algérien (RPA 2003)

[1]. Des analyses push over sont, ensuite, effectuées sur le portique R+5 sélectionné en considérant une distribution modale proportionnelle aux forces correspondantes à la distribution des forces latérales du premier mode élastique. Les courbes de capacité (courbe push over) ainsi obtenues donnent les relations qui existent entre les différents facteurs, cités ci-haut, à savoir : le facteur de comportement R, le facteur de sur-résistance Ω dû à la sur-résistance et le facteur de réduction R_μ dû à la ductilité globale de la structure (figure 1) [2].

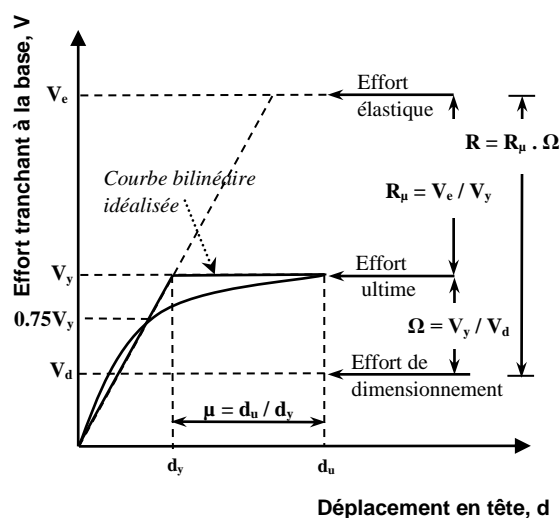


Figure 1 : Relation entre le facteur de comportement R, le facteur de sur-résistance Ω et le facteur de ductilité, R_μ [2].

Figure 1: Relationship between behavior factor R, overstrength factor Ω and ductility factor R_μ [2].

2- Description du portique étudié

Un portique plan en R+5 (6 étages) est considéré dans cette étude (figure 2). Le portique est supposé être encasturé à sa base. Le portique étudié fait partie d'un bâtiment de 6 étages. Ce dernier est à usage de bureaux : portiques auto-stables sans remplissage en maçonnerie rigide. Les charges permanentes (G) du plancher terrasse sont évaluées à 5.8 kN/m² et celles du plancher courant à 5.1 kN/m². Les charges d'exploitation (Q) du plancher terrasse sont de 1 kN/m² et celles du plancher courant de 2.5 kN/m². Le bâtiment sus-cité est de groupe d'usage 2, et est supposé

être localisé dans des zones de sismicité croissante, à savoir : zones I, IIa, IIb et III, de coefficients d'accélération de zone de 0.10, 0.15, 0.20 et 0.25 respectivement. Les charges sismiques agissant sur le portique étudié sont des forces latérales appliquées aux différents niveaux du portique.

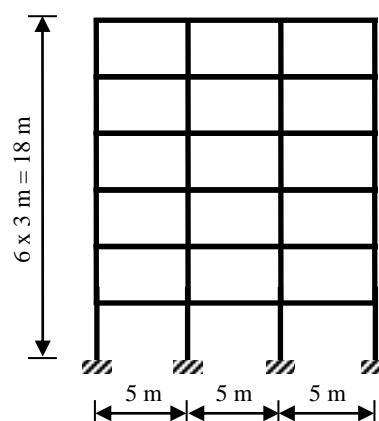


Figure 2 : Portique étudié.

Figure 2 : Studied frame.

Ces forces sismiques horizontales sont calculées sur la base de l'action sismique donnée par le spectre de réponse de calcul, S_a (spectre d'accélération) donné par le RPA 2003. Le site d'implantation du bâtiment est supposé de type S_3 (sol meuble). Le facteur de comportement R pour la structure étudiée est pris égal à 5.

Le dimensionnement des portiques est effectué selon le code de calcul de béton armé aux états limites BAEL91 [3] et le règlement parasismique algérien (RPA 2003).

Les caractéristiques mécaniques des matériaux béton et acier utilisées sont :

- Pour le béton, la contrainte caractéristique à la compression à 28 jours est égale à 25 MPa ;
- Pour l'acier, les armatures longitudinales et transversales utilisées sont de nuance FeE500, c'est-à-dire de contrainte limite élastique égale à 500 MPa.

3- Modélisation non linéaire des éléments structuraux poutres et poteaux

La modélisation non linéaire des structures en portiques en béton armé est effectuée à l'aide du logiciel SAP2000 / V.14 [4]. Les éléments poutres et poteaux du portique en béton armé sont caractérisés par des lois de comportement non linéaires en flexion, le comportement en cisaillement est supposé être linéaire : pas de plastification par cisaillement. Les poutres et poteaux sont modélisés par des éléments poutres élastiques avec des rotules plastiques concentrées à chacune de leurs extrémités. Les rotules plastiques sont localisées comme montré à la figure 3. Le diagramme moment – rotation associé à la plastification par flexion pour les poutres et les poteaux est présenté à la figure 4 [5].

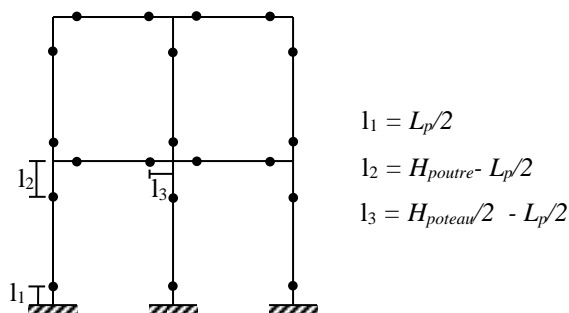


Figure 3 : Localisation des rotules au niveau des poteaux et des poutres.

Figure 3: Hinge locations at the columns and beams

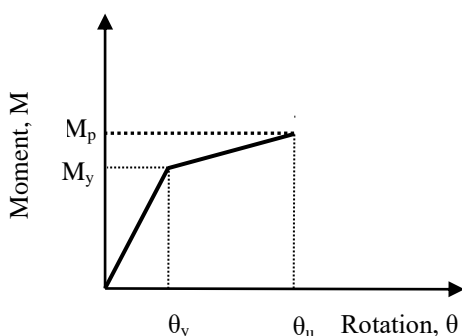


Figure 4 : Relation moment – rotation.

Figure 4 : Moment–rotation relationship

Les paramètres présentés à la figure 4 sont définis comme suit :

- θ_y et θ_u sont respectivement les rotations limites élastique et ultime de la section de béton armé ;
- M_y et M_p sont respectivement les moments élastiques limites et plastiques de la section de béton armé.

Ces paramètres sont calculés sur la base de la loi moment–courbure établie à l'aide du module S.D. (Section Design) du logiciel SAP2000/V.14. Les lois de comportement non linéaire des matériaux utilisées à cet effet sont les modèles de Mander [6] et de Park [7], respectivement pour les matériaux béton *confiné* et *non confiné*, et acier. Une fois les courbures élastique Φ_y et ultime Φ_u , sont obtenues, les rotations élastique limite et ultime sont calculées comme suit :

-La rotation élastique limite θ_y est calculée sur la base d'une hypothèse utilisée par Saidi et Sozen [8] et Park et Paulay [7]. Dans cette hypothèse, le moment est supposé avoir une variation linéaire le long de l'élément avec un point d'inflexion à la mi-longueur de ce dernier. θ_y est donnée par la relation suivante :

$$\theta_y = \Phi_y L/6 \quad (1)$$

avec

L : Longueur de l'élément poutre ou poteau ;
 Φ_y : Courbure élastique limite correspondant au début de plastification des aciers ;

- La rotation ultime θ_u est calculée en utilisant l'équation suivante :

$$\theta_u = \theta_y + \theta_p \quad (2)$$

θ_p : Rotation plastique, calculée en utilisant l'équation proposée par l'ATC40 [9] :

$$(\Phi_u - \Phi_y) \cdot L_p \quad (3)$$

où Φ_y : Courbure élastique limite ;

Φ_u : Courbure ultime ;

L_p : Longueur de la rotule plastique.

La courbure ultime Φ_u correspond à la ruine de la section en béton armé, soit par *traction des aciers tendus* soit par *écrasement du béton comprimé*.

La longueur de la rotule plastique adoptée dans cette étude est celle proposée par l'ATC40 [9] :

$$L_p = 0.5 h \quad (4)$$

h : Hauteur de la section de l'élément poutre ou poteau.

Pour chaque poteau, la loi moment-courbure est établie en considérant un effort normal de compression constant et est pris égal à la somme des charges permanentes plus 20% des charges d'exploitations (RPA 2003) [10].

4- Critères de ruine

Dans le but de déterminer le déplacement ultime (du) de la structure en portique, un ou plusieurs critères de ruine doivent être pris en considération. Une difficulté principale consiste en la manière d'évaluer cette ruine. Dans cette étude, la ruine de la structure en portique est définie soit par l'atteinte de la rotation ultime θ_u dans un élément structural poutre ou poteau (*critère de ruine locale*), ou par l'atteinte du déplacement inter-étages maximum pris, ici, égal à 3% (*critère de ruine globale*) [11].

5- Résultats des analyses

Les résultats donnés dans cet article se rapportent à l'évaluation et à la comparaison des paramètres suivants : la ductilité globale, le facteur de sur-résistance et la valeur du facteur de comportement R de la structure en portique en fonction de la zone sismique.

5.1- Courbes de capacité du portique étudié

Les courbes de capacité et les efforts tranchants de dimensionnement (V_d) du portique étudié, correspondant aux différentes zones sismiques, sont présentés à la figure 5. Le critère de ruine contrôlant l'état limite ultime du portique étudié est le critère de ruine locale, c'est-à-dire par l'atteinte de la rotation ultime θ_u dans un élément structural poutre ou poteau.

5.2-Ductilités globales μ du portique étudié

La ductilité globale du portique étudié est donnée à la figure 6, en fonction de la zone sismique. La figure 6 montre que la zone sismique n'a pas d'influence sur la ductilité

globale du portique étudié. En effet, pour les quatre zones sismiques considérées, zones I, IIa, IIb et III, la ductilité globale du portique reste pratiquement constante et présente une valeur moyenne égale à 2.70.

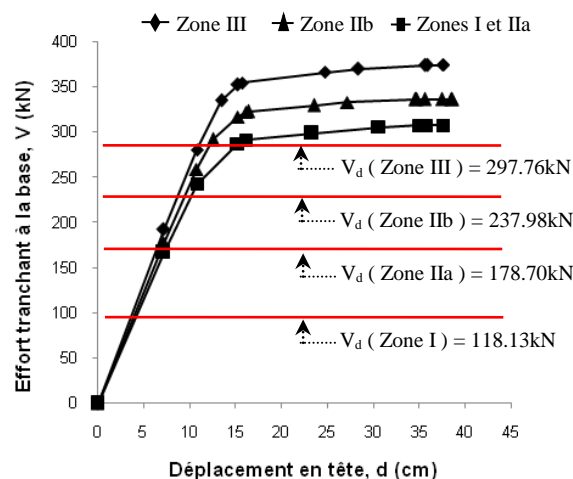


Figure 5 : Courbes de capacité.

Figure 5 : Capacity curves.

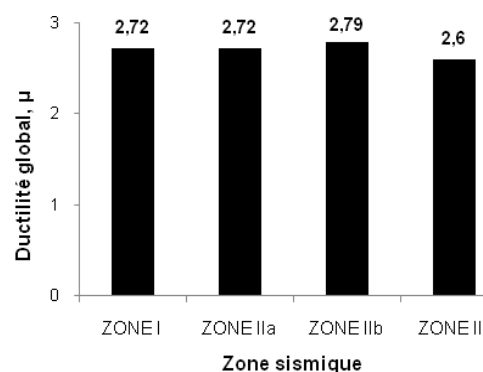


Figure 6 : Ductilité globale.

Figure 6 : Global ductility.

5.3- Facteurs de sur-résistance Ω du portique étudié

Le facteur de sur-résistance du portique étudié est donné à la figure 7, en fonction de la zone sismique. Il est observé que le facteur de sur-résistance diminue avec l'augmentation de l'intensité sismique. Cette diminution est d'autant plus substantielle que la zone sismique considérée est d'une intensité sismique importante. Ainsi, pour la zone I, représentant la zone sismique de faible intensité, le facteur de sur-résistance du portique est égal à 2.6 ; et

pour la zone III, représentant la zone sismique de forte intensité, le facteur de sur-résistance du portique est égal à 1.25, soit une réduction de 51.92%. Cette augmentation du facteur de sur-résistance avec la diminution de l'intensité sismique est due à la prédominance des charges gravitaires dans le dimensionnement pour des zones sismiques de faibles intensités. En effet, comme le montre la figure 5, l'effort tranchant de dimensionnement (V_d) du portique est faible dans les zones sismiques de faibles intensités. Partant de là, les charges gravitaires deviennent plus prépondérantes dans le ferrailage de certains éléments structuraux, ce qui augmente substantiellement les capacités de sur-résistance du portique vis-à-vis des charges sismiques latérales.

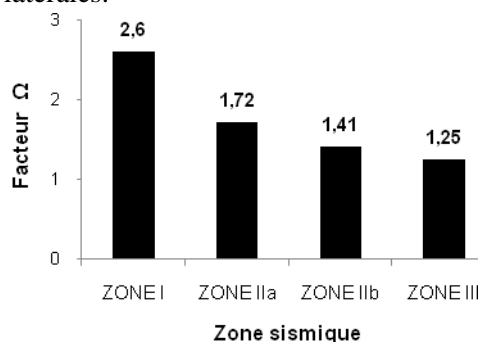


Figure 7 : Facteur de sur-résistance.

Figure 7 : Overstrength factor.

5.4 - Facteur de comportement R des portiques étudiés

Dans la présente étude, le facteur de comportement R du portique étudié est évalué en tenant compte du facteur de réduction Ω dû à la sur-résistance de la structure ainsi que de sa capacité de déformation dans le domaine plastique : facteur de réduction R_μ dû à sa ductilité globale :

$$R = R_\mu \cdot \Omega \quad (5)$$

Avec R_μ : Facteur de réduction dû à la ductilité de la structure.

Ω : Facteur de réduction dû à la sur-résistance de la structure.

Les valeurs du facteur de sur-résistance des portiques étudiés sont données au § 5.3.

Estimation du facteur de réduction R_μ :

Le Facteur de réduction dû à la ductilité est défini pour un système équivalent à un seul degré de liberté. Plusieurs approches pour le calcul du facteur R_μ existent dans la littérature : Newmark et Hall [12], Riddell [13], Krawinkler [14], Miranda [15] et Fadjfar [16]. Dans la version simple de la méthode N2, l'équation proposée par Fadjfar [16] est utilisée, ici, pour le calcul du facteur de réduction R_μ .

$$R_\mu = (\mu - 1) T / T_c + 1 \quad (T < T_c) \quad (6)$$

$$R_\mu = \mu \quad (T > T_c) \quad (7)$$

avec

T : Période fondamentale de vibration de la structure.

T_c : Période caractéristique du sol (correspond à la période T_2 du code parasismique algérien, RPA 2003 : période limite supérieure de la zone d'accélération constante du spectre).

Les valeurs du facteur comportement R du portique avec les différentes zones sismiques sont présentées au tableau 1. Ce tableau montre que la zone sismique a une influence significative sur la valeur du facteur de comportement. En effet, la valeur du facteur R diminue avec l'augmentation de l'intensité de la zone sismique. Ainsi, pour la zone I, représentant la zone sismique de faible intensité, le facteur R du portique est égal à 7.07 et pour la zone III, représentant la zone sismique de forte intensité, le facteur R du portique est égal à 3.25, soit une réduction de 54%. Cette variation du facteur R est beaucoup plus liée à la variation du facteur de sur-résistance Ω qu'à celle du facteur de ductilité, R_μ , (voir figure 8). Une diminution similaire du facteur de comportement due à l'augmentation de l'intensité sismique est aussi rapportée par [17, 18].

Tableau 1 : Valeurs des facteurs de réduction R_{μ} et Ω et du facteur de comportement R.

Table 1: Values of the ductility factor R_{μ} , the overstrength factor Ω and the behavior factor R.

Zone	Période, T(s)	Période, Tc(s)	Facteur R_{μ}	Facteur Ω	Facteur R
Zone I			2.72	2.60	7.07
Zone IIa	0.8	0.5	2.72	1.72	4.67
Zone IIb			2.79	1.41	3.93
Zone III			2.6	1.25	3.25

Il est très utile d'effectuer une comparaison entre les valeurs de R du portique R+5 (06 étages) évaluées dans cet article et celles données par le règlement parasismique algérien (RPA 2003).

Le RPA 2003, *tout en limitant la hauteur de la structure en portiques à 05 étages en zone I, 04 étages en zone IIa et 03 étages en zones IIb et III (article 3.4.1a)*, préconise une valeur de $R = 5$. Il est montré à la figure 8 que cette valeur, c'est-à-dire $R = 5$ n'est pas sécuritaire, pour les zones de moyenne et de forte sismicité, à savoir : les zones IIa, IIb et la zone III, respectivement. Par contre, pour la zone de faible sismicité : zone I, la valeur de R donnée par le RPA 2003 est conservatrice. Partant de là, nous pouvons dire que le critère de limitation de la hauteur de la structure en portique à 05 étages en zone I n'est pas justifié. En effet, on peut observer que la valeur de R évaluée en zone I est supérieure à celle préconisée par le RPA 2003. Ce résultat impliquerait que le dimensionnement de ces structures en portiques, dont leurs hauteurs ne dépassent 05 étages en zone de faible sismicité, est très conservatif.

6- Conclusions

L'évaluation du facteur de comportement R des structures en portiques en béton armé en tenant compte de l'influence de la zone sismique est présentée dans cet article. Des analyses pushover sont effectuées sur un portique en R+5. Les conclusions tirées après analyse se résument comme suit :

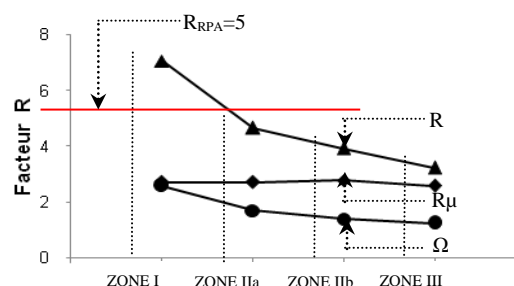


Figure 8 : Influence de la zone sismique sur la valeur du facteur R.

Figure 8: Influence of the seismic zone on the value of the factor R.

- La zone sismique n'a pas d'influence sur la ductilité globale du portique étudié.
- Le facteur de sur-résistance diminue avec l'augmentation de l'intensité sismique. Cette diminution est d'autant plus substantielle que la zone sismique considérée est d'une intensité sismique importante.
- Le facteur de comportement R, lié au facteur de réduction dû à la ductilité R_{μ} et au facteur de réduction dû à la sur-résistance Ω , diminue aussi avec l'augmentation de l'intensité sismique. Cette diminution du facteur R est beaucoup plus liée à la variation du facteur de sur-résistance qu'à celle du facteur de ductilité. Par conséquent, le choix fait par la plupart des codes réglementaires en prenant en compte une valeur forfaitaire unique de ce facteur, et ce quelque soit la zone sismique considérée, n'est pas justifié.

La présente étude n'est pas exhaustive en termes de nombre de structures étudiées et de leurs configurations structurales. Aussi, elle se veut comme une indication importante pour la prise en compte de ce paramètre : zone sismique dans les codes parasismiques en vigueur.

Références bibliographiques

- [1] *Règles Parasismiques Algériennes* (RPA/Version 2003), Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Algérie.
- [2] Elnashai, A.S., Di Sarno, Li., *Fundamentals of Earthquake Engineering.*, John Wiley and Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom, 2008.
- [3] BAEL 91, *Règles Techniques de Conception et de Calcul des Ouvrages et Constructions en Béton Armé suivant la Méthode des Etats Limites*, Edition Eyrolles, 1992.
- [4] Computers and Structures Inc. (CSI), *SAP2000 Three Dimensional Static and Dynamic Finite Element Analysis and Design of Structures V14*, Berkeley, California, 1995.
- [5] Applied Technology Council, ATC-72-1, *Modelling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings*, Redwood City, California, 2010.
- [6] Mander, J.B., Priestley, M.J.N., *Observed Stress-Strain Behavior of Confined Concrete*, Journal of Structural Engineering. ASCE, Vol. 114, No 8, pp. 1827-1849, 1988.
- [7] Park, R., Paulay, T., *Reinforced Concrete Structures*. John Wiley and Sons, Inc., Canada, 1975.
- [8] Saïidi M., Sozen M.A., *Simple Nonlinear Seismic Response of R/C Structures.*, Journal of Structural Division., ASCE, Vol. 107, 937-952, 1981.
- [9] Applied Technology Council, ATC-40, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Volume 1, Redwood City, California, 1996.
- [10] Magliulo, G., Ramasco, R., Realfonzo, R., 2004, *Seismic Vulnerability of R/C Frames with Strength Irregularity in Elevation.*, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 1519, 2004.
- [11] Mwafy, A.M., Elnashai, A.S., *Static Pushover versus Dynamic Collapse Analysis of RC Building.*, Engineering Structures 23, 407-424, 2001.
- [12] Newmark, N.M., Hall, W.J., *Earthquake Spectra and Design*. EERI Monograph Series, EERI, Okland, CA, USA, 1982.
- [13] Ridell, R., Hidalgo, P., Cruz, E., *Response Modification Factors for Earthquake Resistant Design of Short Period of Buildings.*, Earthquake Spectra, No 3, 571-589, 1989.
- [14] Krawinkler, H., Nassar, A.A., *Seismic design based on ductility and cumulative damage demand and capacities*. In: Fajfar P, Krawinkler H (eds) Nonlinear seismic analysis and design of reinforced concrete buildings. Elsevier Applied Science, New York, 1992.
- [15] Miranda, E., Bertero, V.V., *Evaluation of strength reduction factor for earthquake – resistance design.*, Earthquake spectra, 10(2), 357-379, 1994.
- [16] Fajfar, P., *Structural Analysis in Earthquake Engineering a Breakthrough of simplified Nonlinear Methods.*, 12th European Conference on Earthquake Engineering, 2002.
- [17] Pravin Venkat Rao, P., Gupta, L.M., *Effect of Seismic Zone and Story Height on Response Reduction Factor for SMRF Designed According to IS 1893 (Part-1):2002.*, J. Inst. Eng. India Ser. A, 2016.
- [18] Nishanth, M., Visuvasam, J., Simon, J. and Packiaraj, J.S., *Assessment of Seismic Response Reduction Factor for Moment Resisting RC Frames.*, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 263 032034, 2017.